

## EXTREMVATTENSTÅND I KALMAR

**TITEL**

Extremvattenstånd i Kalmar

**FÖRFATTARE**

Lasse Johansson, SMHI

**UPPDRAGSGIVARE**

MSB

651 81 KARLSTAD

**KONTAKTPERSON**

Anna Jansson

MSB

651 81 KARLSTAD

E-post [anna.jansson@msb.se](mailto:anna.jansson@msb.se)

**PROJEKTANSVARIG**

Lasse Johansson

Telefon 031-751 89 92

E-post [lasse.johansson@smhi.se](mailto:lasse.johansson@smhi.se)

**DIARIENUMMER**

2018/955/9.5

---

**Version**

01  
02

**Datum**

2018-10-01  
2018-11-26

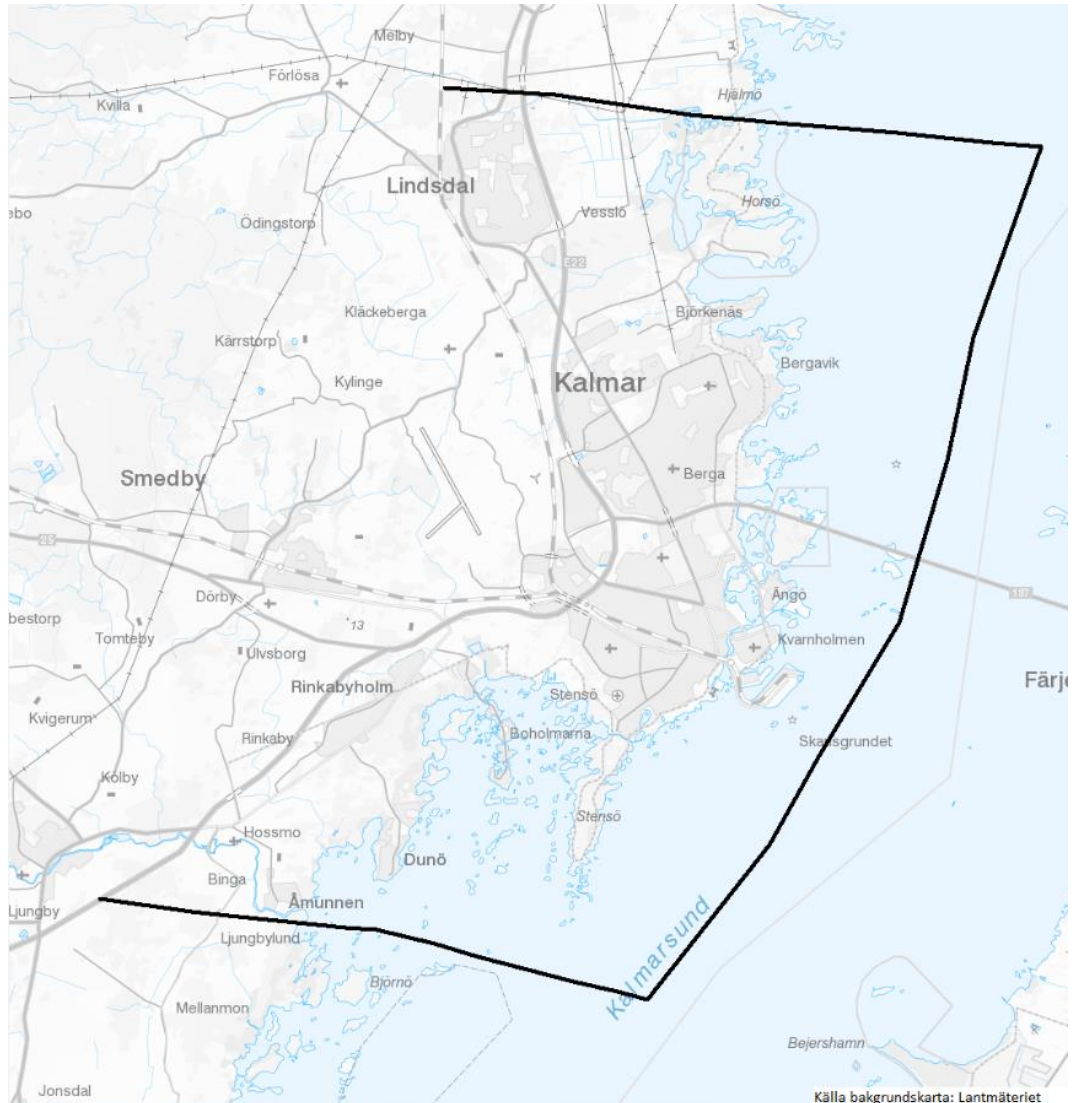
Granskad  
MSB återkoppling

**Utfört av**

Signild Nerheim, SMHI  
Lasse Johansson, SMHI

# 1 Bakgrund

MSB har givit SMHI i uppdrag 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.



Figur 1. MSB:s område i Kalmar.

## 2 Resultat

De beräknade återkomstvärden i höjdsystemet RH2000 för år 2100 inklusive landhöjning är:

	100 år	200 år	högsta beräknade vattenstånd
<b>skattat värde år 2100</b>	185	190	246
<b>konfidensintervall 95 %</b>	137 till 233	141 till 239	-

*Tabell 1. Kalmar. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd. Landhöjningen ingår. Konfidensintervallet innehåller det riktiga värdet med sannolikheten 95 %. Högsta beräknade vattenstånd är ett värde definierat utifrån metodik som tagits fram i SMHI:s havsnivåprojekt.*

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 hur utsläppet av växthusgaser utvecklas.

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 kustområdet i Figur 1. Skillnaderna i vattenstånd mellan olika platser vid högvatten kan vara högst några centimeter.

Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100 i Tabell 1 är:

	100 år	200 år	
<b>återkomstvärde i medelvattenstånd</b>	118	123	Avsnitt 3.2
<b>medelvattenstånd i RH2000 år 1995</b>	14	14	SMHI Klimatologi 41, 2017
<b>global höjning, 1995-2100</b>	74	74	Church m.fl. 2013
<b>landhöjning, 1995-2100</b>	-21	-21	SMHI Klimatologi 41, 2017
<b>TOTAL</b>	185	190	

*Tabell 2. Kalmar. Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100. TOTAL är värdena i Tabell 1.*

Den totala osäkerheten, från vilken konfidensintervallen i Tabell 1 är beräknade, består av tre komponenter enligt följande tabell:

osäkerhetskälla	100 år	200 år
klimatprognos	23	23
extremvärdesberäkning	7	8
mätning	5	5
<b>kombinerad osäkerhet</b>	<b>25</b>	<b>25</b>

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

Posterna i beräkningen av ”Beräknat högsta havsvattenstånd” i Tabell 1 är:

<b>högsta nettohöjning Kalmar*</b>	103	SMHI Klimatologi 45, 2017
<b>högsta vattenstånd före storm i Östersjön</b>	52	SMHI Klimatologi 45, 2017
<b>medelvattenstånd i RH2000 år 1995</b>	14	SMHI Klimatologi 45, 2017
<b>global höjning, 1995-2100 (övre percentil)</b>	98	Church m.fl. 2013
<b>landhöjning, 1995-2100</b>	-21	SMHI Klimatologi 45, 2017
<b>TOTAL</b>	<b>246</b>	

Tabell 4. Kalmar. Posterna i beräkningen av ”beräknat högsta havsvattenstånd”. TOTAL är värdet i Tabell 1. \*Värdet är skattat, ej observerat.

## 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 mittenvärdet 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 återkomstperioderna 100 och 200 år.
- Värdet  $\sigma = 23$  cm är en av de tolkningar 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.

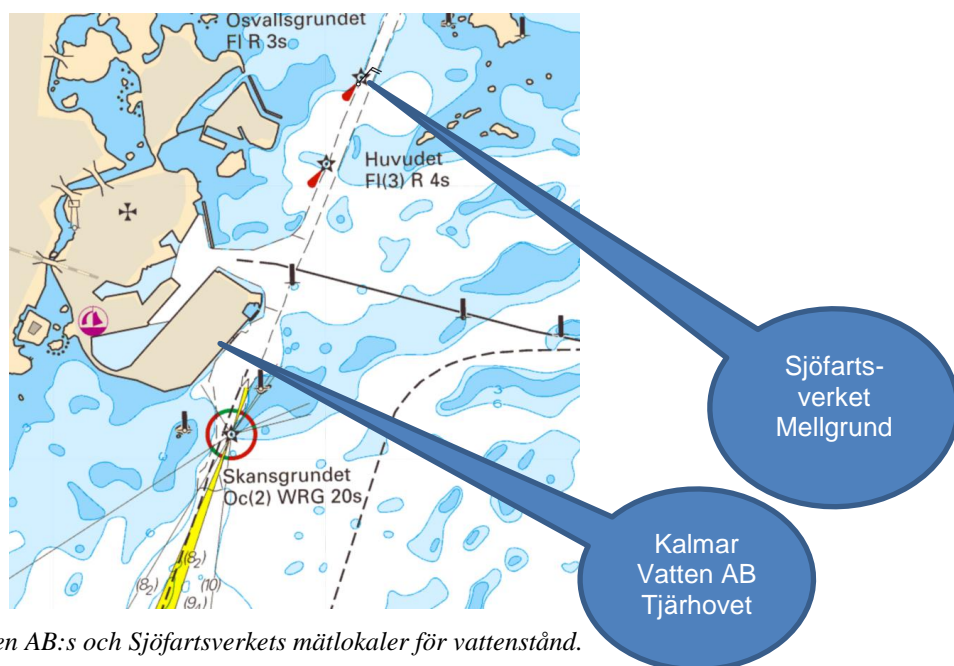
Kunskapsutvecklingen inom detta område är snabb. Allt fler observationer blir tillgängliga och används och mycket annat arbete på att förbättra skattningarna utförs. Den politiska utvecklingen i världen gör att en del tidigare scenarier blir mindre troliga, andra mer troliga. Möjligen måste helt nya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

### 3.2.1 Observationer

För att beräkna återkomstvärden har observationer från SMHI:s mätstationer på Ölands norra udde och Oskarshamn analyserats. Lokalerna har timobsar sedan 1961.

För att kunna räkna om höga vattenstånd från SMHI:s långa mätserier på nyss nämnda platser till högvattenstånd i Kalmar har vi haft två mätningar till vårt förfogande: Kalmar Vatten AB mäter vattenstånd vid Tjärhovet och Sjöfartsverkets mätplats vid Mellgrund vid farleden, se Figur 2. Avståndet mellan platserna är två kilometer.



Figur 2. Kalmar Vatten AB:s och Sjöfartsverkets mätlokaler för vattenstånd.

### 3.2.2 Observationer i Kalmar

Kalmar Vatten mäter vattenståndet med en för lufttrycket kompenserad, dränkbar tryckgivare. Den är inmätt i RH2000. Mätningar finns från 2013 till 2018, med vissa avbrott.

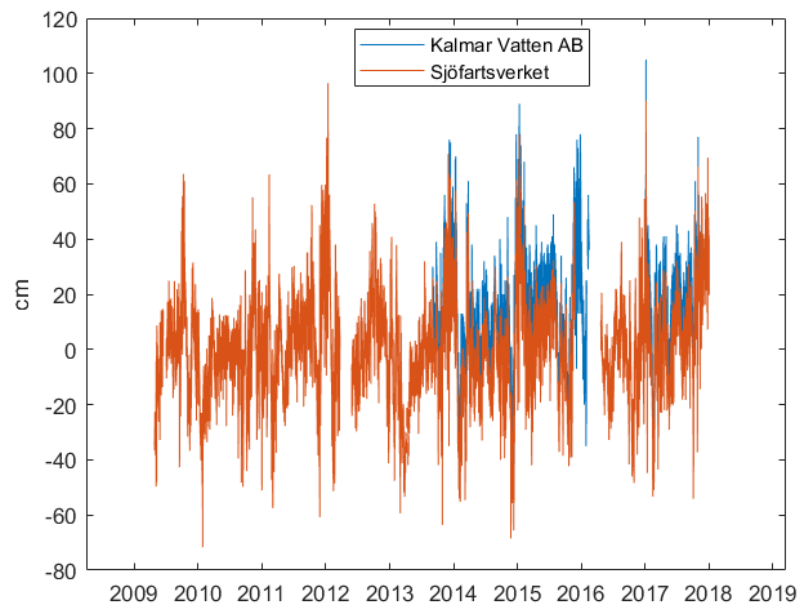
Sjöfartsverket mäter vattenstånd ute i Kalmarsund sedan 2009 med vissa avbrott. Sjöfartsverkets givare är inte helt välbestämd i höjd. En graf av mätningarna visas i Figur 3.

Eftersom Sjöfartsverkets mätserie är längre än Kalmar Vattens är förstnämnda bättre för att etablera ett samband mellan högvatten i Kalmar och högvatten i Oskarshamn eller vid Ölands Norra Udde, vilka båda har mer än 50 mätår. Å andra sidan är Kalmar Vattens mätplats bättre inmätt i höjd än Sjöfartsverkets.

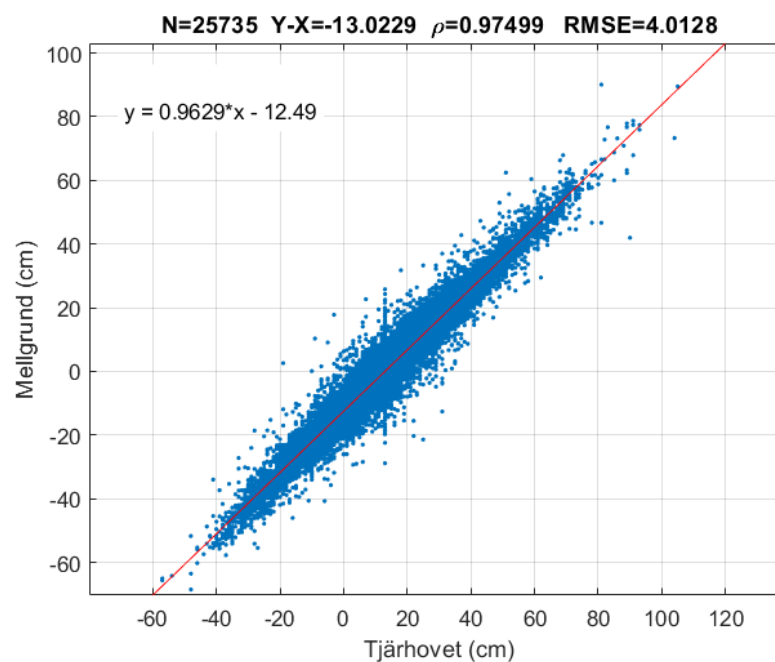
För att dra bästa nytta av båda mätlokalerna, använder vi därför Kalmar Vattens vattenståndsmätningar för att fastställa hur mycket Sjöfartsverkets nollpunkt avviker från nollnivå i RH2000. Sjöfartsverkets mätning justeras för detta till rätt nivå. Sedan används den justerade Sjöfartsverksmätningen för att ta fram ett samband mellan högvatten i Kalmar och SMHI:s långa serier i Oskarshamn och Ölands norra udde.

Vi ser i Figur 4 att Sjöfartsverkets serie ska justeras med c:a +12 cm för att få rätt nivå i RH2000. I figuren ser vi även en spridning av parvisa obsar (punkterna). Spridningen är ganska stor med tanke på att mätlokalerna ligger bara två kilometer från varandra. Den

beror på att tiden inte överensstämmer helt mellan mätserierna. Det kan skilja en timme eller två. Vi har använt metoder som är okänsliga för detta för att beräkna återkomstvärden. Det betyder att vårt resultat inte påverkas av ensfelen i tid.



Figur 3. Översikt av mätningarna i Kalmar.



Figur 4. Vattenståndet vid Mellgrund (Sjöfartsverket) mot det vid Tjärhovet (Kalmar Vatten). Spridningen av punkterna (obsar) runt den röda linjen beror till stor del på att observationerna inte är helt ensade i tid.



### 3.2.3 Observationer Oskarshamn och Ölands norra udde

SMHI har pågående observationsserier av vattenstånd i Oskarshamn och vid Ölands norra udde. Båda har timvärden från 1961. Observationerna är av hög kvalitet. Peglarna är placerade i pegelbrunnar, vilka eliminerar störningar från vågor samt skyddar från väder och vind. Peglarna har hindrats att frysa. Oskarshamn har ett avbrott på 73 dygn 19800127-1980409. Ölands norra udde har ett dataavbrott på drygt tre år 19690831-19730101.

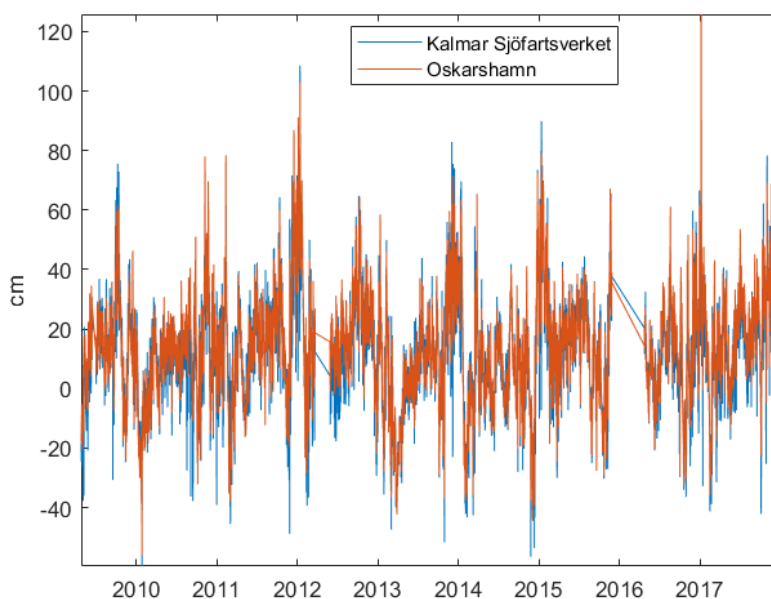
Dataåterbäringen är hög trots avbrotten. Det medför att resultaten inte påverkas av statistiska betingningsfel. Pegeln är upprepade gånger inmätt i rikets höjdsystem. Det betyder att nollpunkten är känd och verifierad.

Det högsta uppmätta vattenståndet i Oskarshamn är 126 cm i RH2000 och observerades 20170104. På Ölands norra udde är det högsta 133 cm i RH2000 observerat 19830119.

### 3.2.4 Beräkning av högvatten i Kalmar

Sambanden mellan högvatten vid Ölands norra udde och Kalmar är svagare än mellan Oskarshamn och Kalmar. Vi väljer därför det senare paret för att beräkna högvatten i Kalmar.

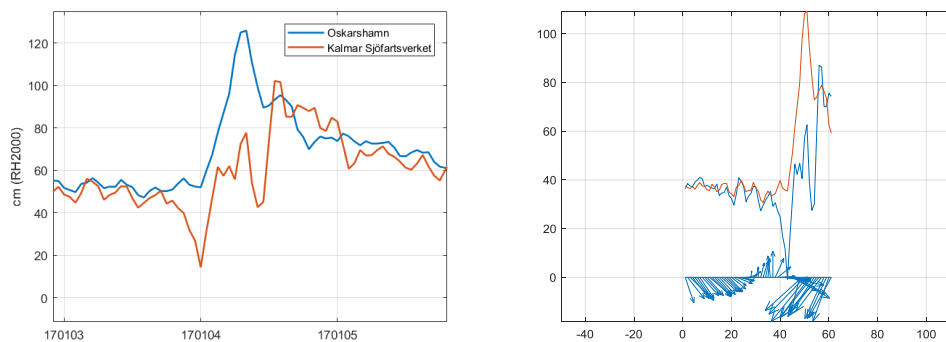
Vi har ungefär åtta års samtidiga observationer från Kalmar och Oskarshamn, Figur 5. Av den anledningen är det samband mellan högvatten i Oskarshamn och det motsvarande (justerade) i Kalmar vi får fram relativt osäkert. Om vi lägger till vinden på Ölands norra udde som förklarande faktor, ökar förklaringsgraden.



Figur 5. Oskarshamns- och Kalmarserien i översikt.

För att kunna utnyttja de 57 observationsåren i Oskarshamn med vind som förklarare måste vi använda en icke-homogen vindtidsserie, nämligen manuella tretimmarsobsar 1961-1995 och automatiska, timvisa vindobsar från 1995. För att välja detta tillvägagångssätt har vi delvis lutat oss mot de statistiska måtten på noggrannhet, vilka påvisar en viss ökning av förklaringsgraden när vinden inkluderas. Vår oceanografiska erfarenhet säger emellertid att vinden har en signifikant vattenståndshöjande effekt i Kalmar vid hård vind från norr.

Ett indirekt stöd för detta finns i form av en observation, nämligen rekordhögvattnet +125 cm (RH2000) i Oskarshamn den 4:e januari 2017, Figur 6. Nivån i Kalmar nådde vid detta tillfälle 102 cm, (RH2000 justerat enligt ovan), en rekordnivå men inte så extrem som man kunde förväntat om man bortsåg från vinden. Det visar sig nämligen att vinden timmarna innan vattenståndets kulmen i Oskarshamn var hård sydlig, vilket gjorde att Kalmarsund ”tömdes” på vatten. Högvattenhändelsen i Kalmar, som kom norrifrån och gav rekordet i Oskarshamn mötte därför ett relativt lågt vattenstånd i Kalmarsund, vilket sammanlagt gav ett högt men inte det högsta observerade vattenståndet i Kalmar. Denna händelse var alltså tydligt påverkad av vinden, och är därför ett starkt skäl att inkludera vinden som förklarare av höga vattenstånd i Kalmar.



Figur 6. Till vänster ser vi vattenstånd i Oskarshamn och Kalmar vid högvattnet 20170104. Till höger ser vi dessa kurvor igen. Under dem ser vi vindpilar för Ölands norra udde. X-axeln är graderad i timmar från en godtycklig nolltidpunkt.

Sammanfattningsvis gör vi på följande sätt:

- vi skattar ett regressions samband mellan årsmaxvattenstånd i Kalmar (Sjöfartsverket, korrigerad) och i Oskarshamn samt vinden på Ölands norra udde 2010-2017
- vattenståndsobsar i Oskarshamn och vindobsar från Ölands norra udde 1961-2017 räknas med regressionen om till vattenstånd i Kalmar
- återkomstvärden beräknas

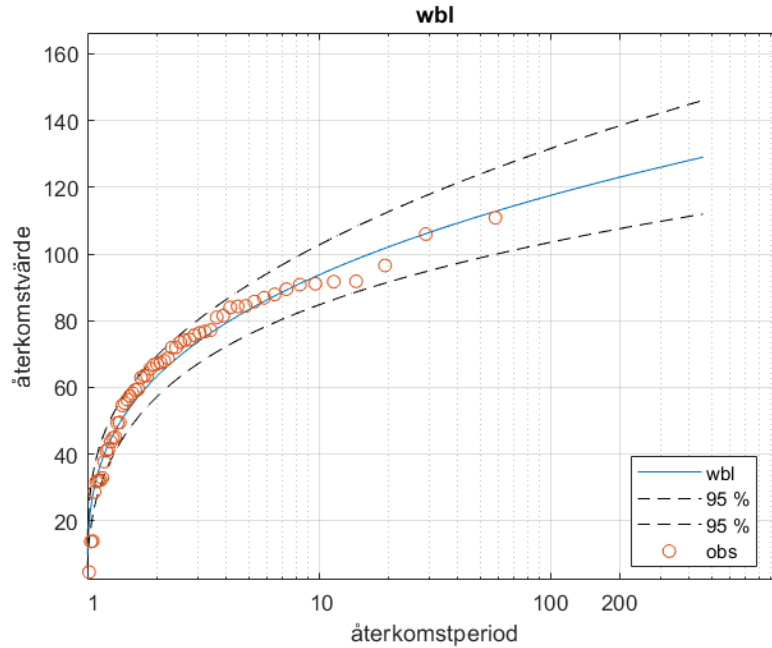
### 3.2.5 Beräkning av återkomstvärden

Figur 7 visar passningen av fördelningsfunktionen, en Weibullfördelning, till årsmax av data. Vi har använt ett brutet år, juli till följande juni.

Återkomstvärdet är 118 cm över medelvattenstånd för återkomsttiden 100 år. Ett 95-procentigt konfidensintervall är 103-131 cm, vilket betyder att det med sannolikheten 95 % innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid är återkomstvärdet 123 cm och konfidensintervallet 108-139 cm. Återkomstvärdet ökar alltså svagt med ökande återkomsttid.

Valet av fördelningsfunktion är i viss mån godtyckligt. Man tar vanligen den man tycker passar bäst, men det är sällan ett entydigt val vilket exemplifieras i SMHI:s rapport ”Framtida havsnivåer i Sverige” (Nerheim m.fl., 2017). Konfidensintervallens vidd varierar likaså. Det finns även olika sätt att passa den valda fördelningen till det föreliggande stickprovet, och de ger skilda resultat.



Figur 7. Kalmar. Beräknat återkomstvärde vid olika återkomsttid, blå kurva. Streckade kurvor anger ett 95-procentigt konfidensintervall. Ringarna visar observerade årsmax. Höjdsystem: Lokalt medelvattenstånd.

### 3.3 Landhöjning

Den avvägda landhöjningen i Kalmar är 2,0 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 Kalmar är  $103+52=155$  cm över medelvattenståndet. Detta värde har skattats från motsvarande värden i Kungsholmsfort och Oskarshamn (Schöld m.fl. 2017) och justerats för vindpåverkan i Kalmarsund.

## 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) Framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust. Klimatologi Nr 41.