

EXTREMVATTENSTÅND I YSTAD

TITEL

Extremvattenstånd i Ystad

FÖRFATTARE

Signild Nerheim och Lasse Johansson, 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

01
02

Datum

2018-11-20
2018-12-07

Granskad
MSB återkoppling

Utfört av

Maria Andersson, SMHI
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 Ystad.



Figur 1. Geografiskt område vid Ystad 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	237	248	303
Konfidensintervall 95 %	184 - 288	191 – 303	-

Tabell 1. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd för Ystad. 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 hur utsläppet av växthusgaser utvecklas.

Särskild vikt bör läggas vid att observationer från Ystad Fyr, tidigare inte publicerade, visar att högsta uppmätta vattenståndet var 196 cm över medelvattenståndet under Backaflo den 1872, vilket är mycket nära SMHI:s skattning för högsta beräknade havsvattenstånd, 199 cm över medelvattenståndet.

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 markerat 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	157	168	Avsnitt 3.2.3
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	14	14	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (median)	74	74	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-8	-8	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	237	248	

Tabell 2. Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100 för Ystad. 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	12	16
Mätning	5	5
Kombinerad osäkerhet	26	28

Tabell 3. Osäkerheter uttryckta som standardavvikelse i vattenstånd i centimeter för Ystad.

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

	Högsta beräknade havsvattenstånd	
Högsta nettohöjning Ystad	144	SMHI Klimatologi 45, 2017
Högsta vattenstånd före storm i södra Östersjön	55	SMHI Klimatologi 45, 2017
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	14	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (övre percentil)	98	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-8	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	303	

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 normalfördelad 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 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 Historisk bakgrund

Ystad har en särskild betydelse när det gäller våra kunskaper om extrema vattenstånd i Sverige. Södra Östersjön drabbades 1872 av en väldig översvämning som kallas Backafloden. I Fredriksson m.fl. (2017) relateras ett stort antal historiska källor som beskriver förloppet och skadorna som uppstod. Källorna innehåller till viss del motstridande uppgifter om hur högt vattenståndet blev. En källa anger 150-180 cm över medelvattenståndet medan en annan anger 210-240 cm. Malmö Nya Allehanda skrev den 20:e november 1872 att vattnet steg upp till grunden på stora fyrtornet och järnvägsstationshuset. Med »stora fyrtornet» menas troligtvis den inre fyren i Ystad hamn, strax öster om den gamla stationsbyggnaden, och utifrån kunskaper om dessa har vattenståndet skattats till cirka 205 till 225 cm över medelvattenytan år 1872.

En viktig information är att Backafloden förefaller ha uppnått sin maximala nivå vid Falsterbonäset mellan 13:35 och innan 15:00 den 13:e november 1872. Klockan 15:00 anges nämligen vattenståndet ha sjunkit 5 cm jämfört med hur högt det stod klockan 13:35 enligt fyrmästaren i Falsterbos dagbok (Fredriksson m.fl. 2017). Ystad ligger knappt 60 km från Falsterbonäset, och utifrån kunskaper om hur höga vattenstånd brukar variera på kuststräckan, hur snabbt en lång våg (högvattenhändelse) rör sig, och beskrivningen av förloppet, bedömer vi att vattenståndet i Ystad troligtvis kulminerade ungefär samtidigt som vid Falsterbo fyr. Beskrivningen från Falsterbo fyr indikerar också att vattenståndet kan ha haft samma höga nivå under en viss tid.

- Det finns flera pålitliga uppgifter om vattenstånd kring 200 cm över medelvattenstånd i Ystad.

3.2.2 Observationer

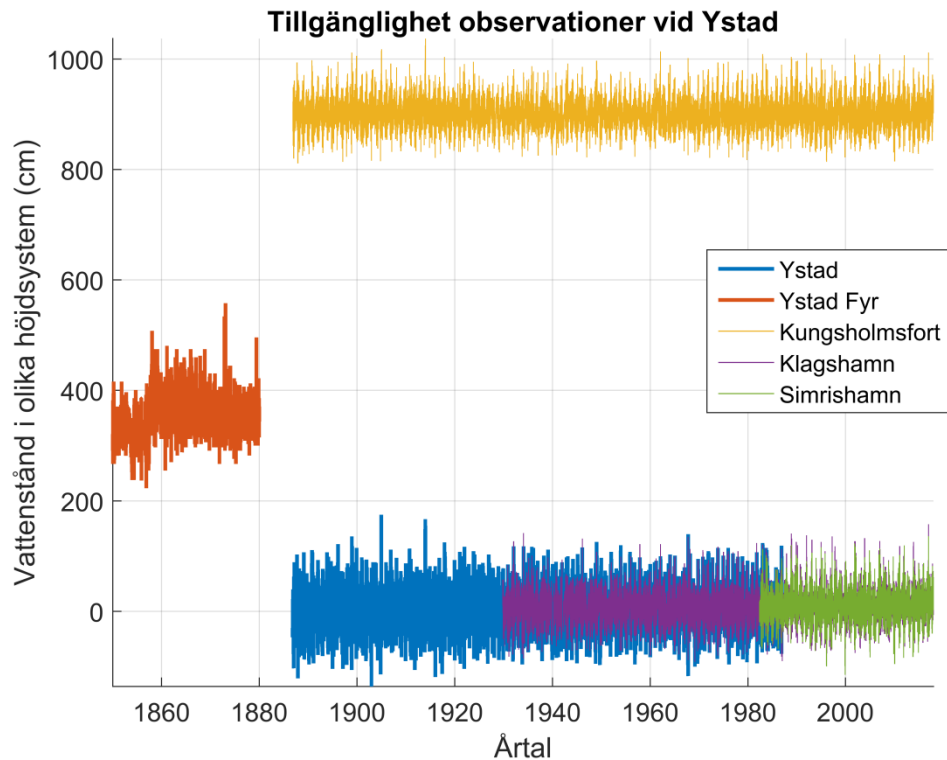
Det finns två observationsserier från Ystad.

- Timobsar (en obs per timme) 1886-1986 av hög kvalitet.
- Dygnsobsar (en obs kl. 14 varje dygn) 1857-1879 av låg kvalitet.

3.2.2.1 Ystad, timobsar 1886-1986

De timvisa observationerna i Ystad startade i november 1886 och avslutades 1986. Högsta vattenståndet uppmättes 1904 till 167 cm över medelvatten. Figur 2 visar de data som analyserats med syfte att ta fram de bästa möjliga resultaten för Ystad. SMHI:s mätningar från Kungsholmsfort, Klagshamn och Simrishamn har använts för att verifiera att Ystad-serien har hög kvalitet och att den inte innehåller uppenbara felaktiga värden. Datatillgängligheten från Ystad är 100 %. Det medför att resultaten inte påverkas av statistiska betingningsfel. Datatillgången från Ystad är därmed mycket god.

Pegeln vid SMHI:s mätplats bestod av en brunn av betongrör förbunden med havet via ett rör som mynnade några meter under havsytan. Konstruktionen gör att kortperiodiska vågrörelser dämpas och möjliggör att mäta vattenståndet även vid is. Pegeln är vid upprepade tillfällen inmätt i rikets höjdsystem vilket betyder att nollpunkten är känd och verifierad.



Figur 2. Observationsdata som använts för att ta fram resultat för Ystad. Vattenståndsdata från Ystad och Ystad Fyr visas som blå/röd tjockare linje för att få fram att mätningarna upphörde 1986. De olika mätningarna är i olika höjdsystem. Ystad, Klagshamn och Simrishamn visas i RH2000. Kungsholmsfort och Ystad Fyr visas i var sitt lokala höjdsystem.

Återkomstvärden från timobsar

Data har reducerats till lokal medelvattenyta. Årsmax hämtas från perioden juli till juni, ett brutet år. Proceduren hindrar att två höga värden som har ett internt beroende kommer med i analysen.

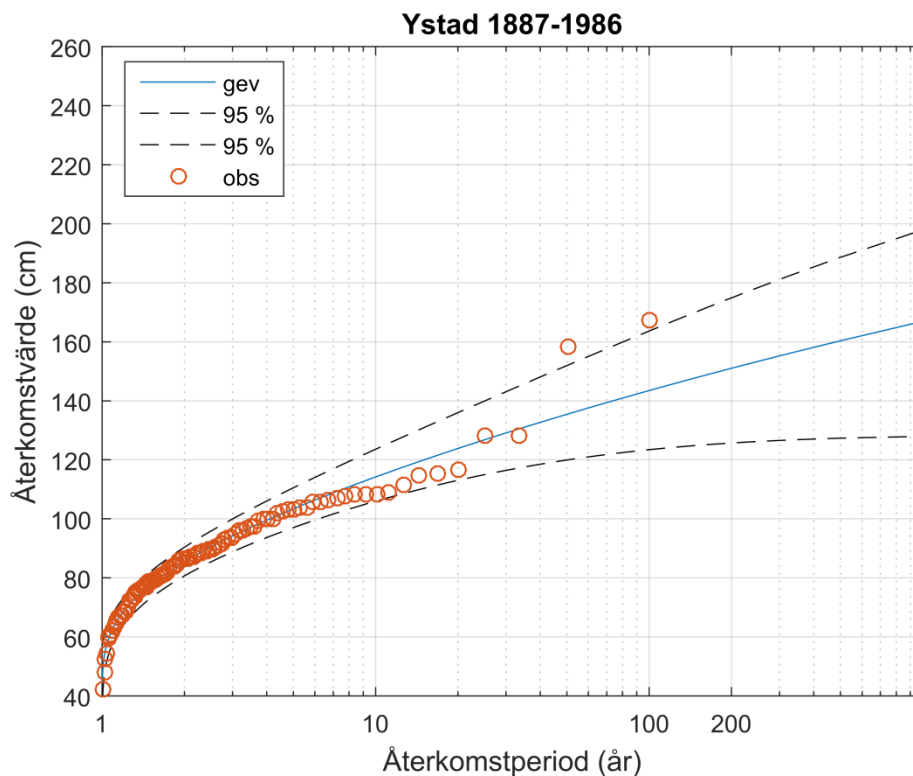
Figur 3 visar årsmax i Ystad 1887-1986. En generaliserad extremvärdesfördelning ”gev” har passats till data. Ett problem är att vi har två observationer som avviker från övriga och från den passade extremvärdesfördelningen. Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid blir 145 cm över medelvattenståndet. Ett 95%-igt konfidensintervall är 123-165 cm, vilket betyder att det med sannolikheten 95 % innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid är återkomstvärdet 153 cm och konfidensintervallet 126-175 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 varierar 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.

Fredriksson m.fl. (2016) beräknade återkomstvärden baserade på timvärden i Ystad 1886-1987, och redovisar resultat efter användande av en Gumbelfördelning. De får ett återkomstvärde på 158 cm för återkomsttiden 100 år, att jämföras med vårt värde 145 cm, från en GEV-fördelning. Om vi tillämpar en Gumbelfördelning får även vi ett högre återkomstvärde, nämligen 160 cm.

Gumbelfördelningen är ett specialfall av GEV-fördelningen. GEV antar Gumbelfördelningens form om GEV:s så kallade formparameter är noll. Med det stickprov årsmax vi har får vi ett 95 % konfidensintervall på formparametern på $-0,190$ till $0,002$. Konfidensintervallet innehåller således nätt och jämt värdet noll på formparametern. Om vi provar vad som händer ifall formparametern istället låg i andra ytterkanten av konfidensintervallet, med värdet $-0,19$, så ger det ett återkomstvärde på 133 cm för 100 års återkomsttid. Skillnaden i återkomstvärde mellan dessa båda olika och möjliga varianter belyser vilken precision som kan uppnås vid skattningen av sannolikheten för extrema händelser. Den understryker värdet i att ta höjd för osäkerhet.



Figur 3. GEV-fördelning över Ystad-serien. En intressant aspekt är att de två högsta observationerna ligger utanför konfidensintervallet för skattningen av fördelningsfunktionen. De två högsta observerade värdena under en 100-årsperiod har en beräknad återkomsttid på mer än 200 år.

3.2.2.2 Ystad Fyr dygnsobsar 1857-1879

Figur 2 visar dygnsobservationerna från Ystad Fyr 1857-1879. De har tidigare inte analyserats i detalj, eftersom dygnsvärdena inte lämpar sig för att ta fram extremvärdesstatistik.

Av Svenska fyrsällskapets wikisida framgår att pegeln vid Ystad Fyr som vi har hämtat data från, var belägen vid fyren Ystad Övre. Pegeln bestod av en skala monterad på ett fast underlag. Mot denna avläste man rådande vattenstånd. I äldre tid var skalan inhuggen i berget. Den kunde utgöras av linjer och årtal. I modern tid påminner skalan ofta om en skoltavlelinjal, där varannan decimeter har en mörk bakgrund (ofta svart eller röd) och varannan en ljus bakgrund (ofta gul eller vit). Mätningarna gjordes i svenska fot, men har räknats om till centimeter vid digitalisering.

I en pegel kan vågrörelser ibland försvåra avläsningen. Man får då göra en bästa uppskattning av rådande medelvärde. Avläsningen har gjorts klockan 14 dagligen, vilket

innebär att de högsta vattenstånden är underskattade om de inträffat vid en annan tidpunkt på dygnet.

Analys av datakvalitet

I Figur 2 visas data från Ystad Fyr så som de har digitaliserats. Höjdsystemet är inte stabilt i början av perioden. Data före 1858 har därför tagits bort. Svenska fyrsällskapet beskriver en stor del ombyggnation under tiden innan 1858 vilket troligtvis påverkat pegeln.

Figur 4 visar nedtecknade observationer av temperatur och vattenstånd från Ystad Fyr i november 1872. Temperatur och vind antecknades tre gånger per dygn (observation av vind finns på motstående sida och visas inte här).

Figur 5 visar anteckningarna från februari 1873. Här är bläcket tydligare och vi ser att anteckningar förts med stor noggrannhet och omtanke, bland annat är handstilen tydlig och det finns relevanta kommentarer om väderläget under natten. Vi drar slutsatsen att mätningarna genomförts så noggrant som möjligt med de förutsättningar som funnits.

Den samlade bilden från dagböckerna är att vind, temperatur och vattenstånd, samt övrig information har nedtecknats med stort nit fler gånger dagligen. Vi känner därför förtroende för observationerna från Ystad Fyr.

		Månad						år 1872.		
Dag	Yttre Therm.			Vattenhöjden			Anmärkingar.			
	kl. 8.	kl. 2.	kl. 9.	kl. 8.	kl. 2.	kl. 9.				
	f. m.	e. m.	e. m.	f. m.	e. m.	e. m.				
1	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och therm under Matten.
2	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut Regn och therm under Matten.
3	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och therm under Matten.
4	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn och bläst under Matten.
5	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och Matten.
6	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn, tjär och hård bläst under Matten.
7	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn och bläst under Matten.
8	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn och bläst under Matten.
9	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och Matten.
10	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och Matten.
11	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn och bläst under Matten.
12	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och bläst under Matten.
13	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Snö och hård storm under Matten.
14	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Under Matten allt ut Regn och bläst under Matten.
15	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Under Matten Regn och bläst under Matten.
16	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Under Matten Regn.
17	0	0	0	1	"	"	"	"	"	Regn och tjär under Matten.
18	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut och Regn under Matten.
19	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut och bläst under Matten.
20	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut under och Matten.
21	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut och bläst under och Matten.
22	0	0	0	1	"	"	"	"	"	allt ut och bläst under och Matten.

Figur 4. Ur fyrdagboken på Ystad Fyr, november 1872. Backafloden inträffade den 13 november. Vindar på 12 Beaufort inträffade både innan och under Backafloden visar dagbokens motstående sida. Bläcket har bleknat vilket gör skriften svårläst. På raden för den 13:e står: 18 fot ” tum, Snö och hård storm under natten.

Backafloden inträffade den 13:e november 1872, och anteckningen i Figur 4 är 18 fot ” tum. Vår tolkning, baserad på att siffran 0 visas på fler ställen, är att ” (citationstecken) är nedflyttningstecken, d.v.s. 18 fot 8 tum. Anteckningarna har räknats om till centimeter vid digitaliseringen. Vi har verifierat omräkningen genom att göra stickprovskontroller från ett antal månader. Mätnoggrannheten är som bäst 3 cm, då minsta enhet är en decimaltum = 29,96 mm.

Vid digitaliseringen har man tolkat ” som 0, men som tur är har vi kunnat kontrollera värdet mot dagboken, Figur 4.

- Observationen 196 cm över medelvattenståndet stödjer ögonvittnesobservationerna att vattenståndet var extremt högt.
- Vi finner inte stöd för att det högsta vattenståndet vid kusten var 240 cm, vilket ögonvittnesuppgifter på land gjort gällande.

En spekulation från vår sida är att de högsta skattningarna på upp till 240 cm kan ha uppkommit på grund av att vattnet har blåsts vidare inåt över marken.

Den observanta läsaren kan i Figur 5 se att det uppmättes 18 fot 8 tum även den 3:e februari 1873, motsvarande 196 cm över medelvattenstånd, d.v.s. ett lika högt värde som Backafloden. Man har antecknat "Mulet väder och snö samt hård blåst under natten".

- 196 cm den 3:e februari 1873 är ett sannolikt korrekt och tills nu okänt värde.

Månad							år 1873.		Anmärkningar.
Dag	Yttre Therm.			Vattenhöjden					
	kl. 8.	kl. 2.	kl. 9.	kl. 8.	kl. 2.	kl. 9.	f. m.	e. m.	
	0	0	0	1	"	"	"	"	
1	-4.3	-4.3	-2.4	"	"	12. 6.	"	"	allt väder och hård blåst under natten
2	-4.0	-1.3	-1.2	"	"	12. 7.	"	"	allt väder och hård blåst under natten
3	+0.7	+0.7	+0.2	"	"	18. 8.	"	"	allt väder och snö samt hård blåst under natten
4	-1.0	-1.2	-1.0	"	"	11. 7.	"	"	allt väder och hård blåst under natten
5	-0.3	-0.2	-1.5	"	"	11. 5.	"	"	allt väder under natten
6	-1.5	-0.3	-2.0	"	"	11. 5.	"	"	allt väder under natten
7	-0.7	-0.1	-0.4	"	"	11. 5.	"	"	allt väder under natten
8	-1.6	-1.2	-2.0	"	"	11. 2.	"	"	allt väder under natten
9	-2.1	-1.6	-1.8	"	"	11. 1.	"	"	allt väder och hård blåst under natten
10	-1.9	-1.7	-1.8	"	"	10. 7.	"	"	allt väder under natten
11	-4.7	-4.0	-7.3	"	"	11. 8.	"	"	hårt väder under natten
12	-10.0	-5.0	-7.0	"	"	11. 7.	"	"	allt väder på förmiddagen, hårt på eftermiddagen
13	-2.1	+0.1	-1.6	"	"	11. 9.	"	"	allt väder under natten
14	-2.9	+0.8	-1.2	"	"	11. 2.	"	"	allt väder under natten
15	-1.7	+2.1	-1.0	"	"	11. 3.	"	"	allt väder under natten
16	-3.0	+1.0	+2.0	"	"	11. 2.	"	"	hårt väder och hård blåst under natten
17	+2.4	+2.9	+2.0	"	"	11. 7.	"	"	allt väder och hård blåst under natten
18	+1.3	+6.0	+4.8	"	"	10. 8.	"	"	allt väder och snö samt hård blåst under natten

Figur 5. Fyrdagbok från Ystad Fyr februari 1873. Högsta vattenståndet har antecknats som 18 fot, 8 decimaltum. "Mulet väder och snö samt hård blåst under natten" har antecknats, kanske av Fyrmästare Carl Oskar Enebuske (Fyrwiki). Tillhörande dagboksida för vind visar att vinden skattades till 8 Beaufort (17-21 m/s) innan och vid högvattenhändelsen.

Sammanfattningsvis

- Nollpunkten för avläsning vid Ystad Fyr är osäker före 1859.
- Efter 1859 är observationerna från Ystad Fyr pålitliga
- Problemet är att det bara finns dygnvisa observationer.

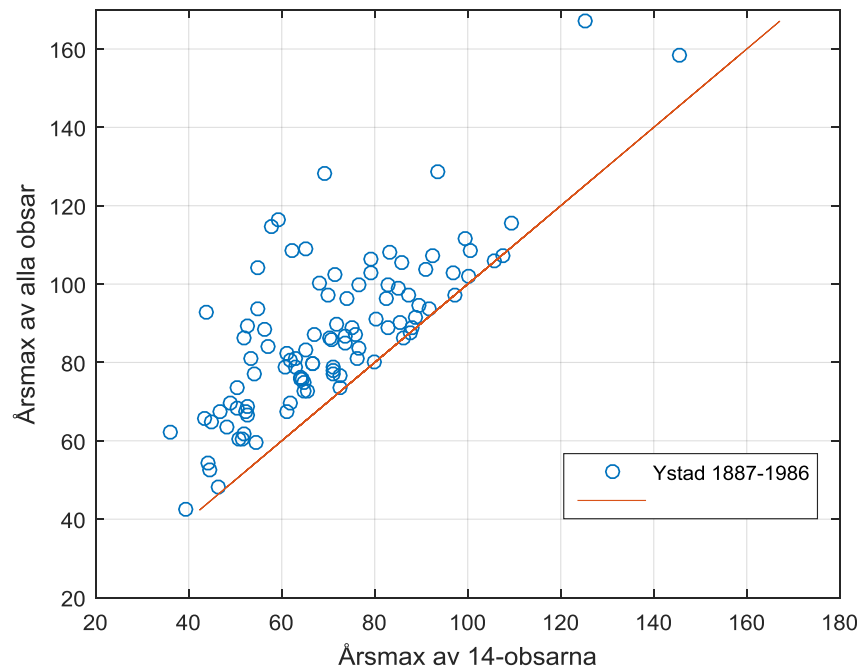
Konsekvenser av dygnsupplösning

Sannolikheten att en dygnobservation inträffar den timme som har högsta vattenstånd under ett dygn är 1/24. Vattenståndet stiger ofta fort till maximum och/eller sjunker snabbt efter detsamma. Det har som följd att en vattenståndobservation som görs ett antal timmar efter högvatten kan ge ett mycket lägre vattenstånd. Dygnsvärden är av denna anledning inte användbara som skattning av högvattennivåer.

För att undersöka konsekvensen av dygnsupplösning har Ystad-serien från 1886 med timobsar reducerats till dygnsupplösning genom att från varje dygn endast ta ut observationen kl. 14.

Figur 6 visar årsmax av timobservationerna mot årsmax av observationerna klockan 14. Varje ring representerar ett sådant årsmax-par. Figuren visar att det inte finns något användbart samband mellan årsmax från timobservationer och årsmax från dygnsobservationer. Årsmax från dygnsobsar underskattar de verkliga årsmaxen (från timobsar) och det på ett osystematiskt, slumpmässigt sätt.

- Figur 6 visar oss att det inte finns något systematiskt samband mellan dygnsobservationer och timmesobservationer.
- Det betyder att det är omöjligt att säga något om hur höga de högsta vattenstånden har varit varje år utifrån dygnsmätningar.



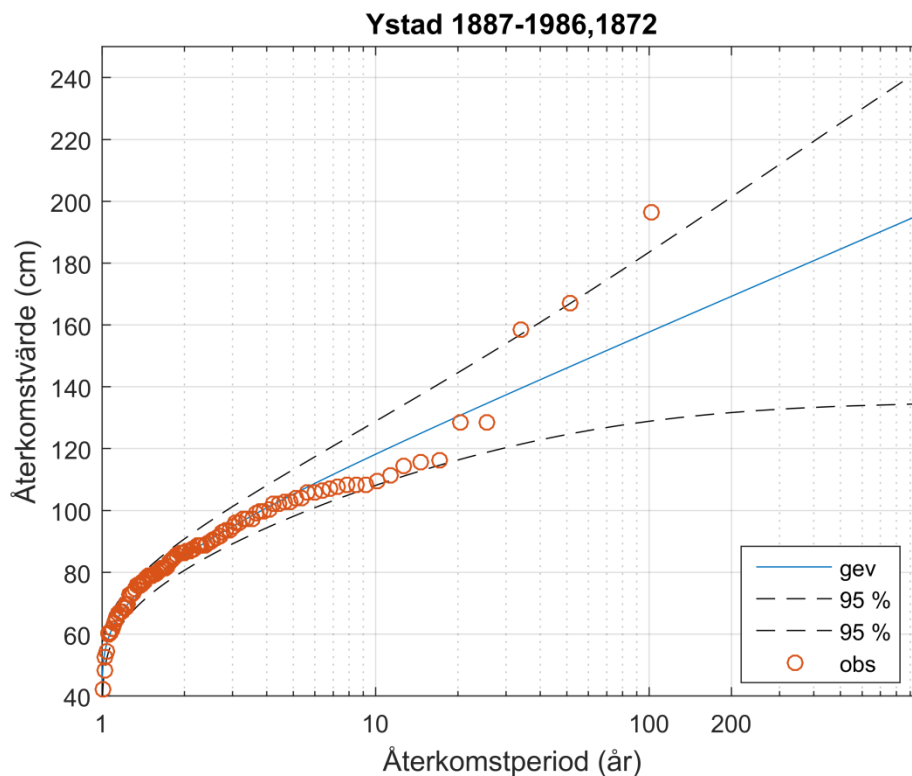
Figur 6. Årsmax av Ystad-serien baserat på värdet klockan 14 ritat mot årsmax av Ystad baserat på alla värden. Linjen visar hur data skulle ha fördelats om 14-obsarna hade samma fördelning som timvisa observationer.

3.2.3 Återkomstvärden från Ystad och Backafloeden

För att beräkna återkomstvärden gällande för Ystad görs en statistisk analys av mätdata från Ystad. SMHI:s data från Ystad 1887-1986 har anpassats till lokalt medelvattenstånd och tidsserien har justerats så att årets högsta vattenstånd hämtas från perioden juli till juni, ett brutet år. Årsmax har sedan hämtats från tidsserien. Proceduren hindrar att två höga värden som har ett starkt internt beroende kommer med i analysen. Det första årets data, 1886, har exkluderats från extremvärdesanalysen då det är ofullständigt.

Mätserien har sedan kompletterats med årsmax från 1872. Detta görs för att få fram så representativa återkomstvärden som möjligt från Ystad, i och med att vi vet att Backafloeden har hänt. Man kan tänka sig att stormen hade kunnat inträffa 1987, eller 1886 i stället och på så sätt motivera att man lägger till ett ytterligare värde inför analysen.

Figur 7 visar skattningen av återkomstvärde för höga vattenstånd mot återkomsttid utifrån SMHI:s dygnsobservationer från 1886 till 1986 kompletterat med värdet från Ystad Fyr 1872. Den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till observationerna är en Weibullfördelning med tre parametrar, en så kallad GEV-fördelning.



Figur 7. Anpassning av en GEV-fördelning till data från Ystad, där värdet från 1872 har medtagits.

Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid har beräknats till 157 cm över medelvattenståndet. Ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall har beräknats till 128-183 cm, vilket betyder att det med 95 % sannolikhet innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid har återkomstvärdet beräknats till 168 cm över medelvattenståndet och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan 133-201 cm. Alltså en svag ökning av återkomstvärdet med ökande återkomsttid.

Vi har alltså räknat återkomstvärden från Ystad med och utan Backaflodens värde. Tabell 5 visar återkomstvärden för 100 och 200 återkomsttid för de båda varianterna. Det skiljer 12 cm mellan de två sätten att räkna värden med 100 års återkomsttid, och 15 cm för 200 år.

Dataunderlag	Återkomstvärde för 100 års återkomsttid (cm)	Återkomstvärde för 200 års återkomsttid (cm)
Ystad (SMHI) 1887-1986, brutet år	145	153
Ystad (SMHI) 1887-1986 + Ystad Fyr 1872	157	168

Tabell 5. Återkomstvärden för olika dataurval.

Kunskapen om Backafloden är i sammanfattning:

- Från Falsterbo fyrmästares dagbok framgår att vattenståndet där kulminerade under tidig eftermiddag.
- Eftersom Ystad Fyr ligger 60 km från Falsterbo måste vattenståndet även i Ystad ha kulminerat under tidig eftermiddag, högst någon timme tidigare än i Falsterbo.
- Observationen kl. 14 vid Ystad Fyr är således gjord nära Backaflodens kulmen.
- Observationerna från Ystad Fyr 1872 är pålitliga.
- Vi får ett förhållandevis lågt återkomstvärde, 145 cm (100 år), baserat på stickprovet årsmax 1887-1986.
- Om observationen Backafloden, 196 cm, läggs till stickprovet, får vi återkomstvärdet 157 cm.
- Trots att det inte är statistiskt renlärigt att på detta sätt lägga till ett extremvärde till ett stickprov, väljer vi att göra det med motiveringen att vi därigenom tar hänsyn till en mycket viktig händelse som vi har pålitliga observationer av. Att helt lämna Backafloden utanför beräkningen av återkomstvärdet vore utmanande.

Fredriksson m.fl. (2016) beräknade att 1872-stormens återkomsttid var mellan 7000 och 16000 år. Med ett justerat vattenstånd på 196 cm snarare än 240 cm får vi en återkomsttid på runt 1000 år. Undersökningar av historiska stormar i Tyskland tyder på att översvämningar liknande Backafloden har förekommit med ungefär 300 års mellanrum (C. Fredriksson, föreläsning 2017-11-23).

3.3 Landhöjning

Den avvägda landhöjningen i Ystad är 0,08 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 Ystad har beräknats till $144+55 = 199$ cm relativt medelvattenståndet (Schöld m.fl. 2017). Detta är alltså bara 3 cm högre än observationen från 1872. Man kan se det som ett uttryck för att Backafloden var en mycket extrem

händelse, eller som en indikation på att vi fortfarande kan behöva förstå ännu mer om södra delarna av Östersjön.

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.

Fredriksson, C., Tajvidi, N., Hanson, H. and Larson, M. (2016) Statistical Analysis of Extreme Sea Water Levels at the Falsterbo Peninsula, South Sweden. *Vatten, Journal of Water Management and research* 72:129-142.

Fredriksson, C., Feldmann Eellend, B., Larson, M. och Martinea, G. (2017) Historiska stormhändelser som underlag vid riskanalys. *Vatten, Journal of Water Management and Research* 73:93-108.

Fredriksson C. (föreläsning, 2017): Program från konferensen ”No more Atlantis”: <http://www.water.lu.se/news/article/article/invitation-to-no-more-atlantis/>

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.

Svenska fyrsällskapets wiki-sida om Ystad Fyr: <https://fyr.org/wiki/index.php/Ystad>