

EXTREMVATTENSTÅND I KUNGSBACKA

**TITEL**

Extremvattenstånd i Kungsbacka

**FÖRFATTARE**

Maria Andersson, 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

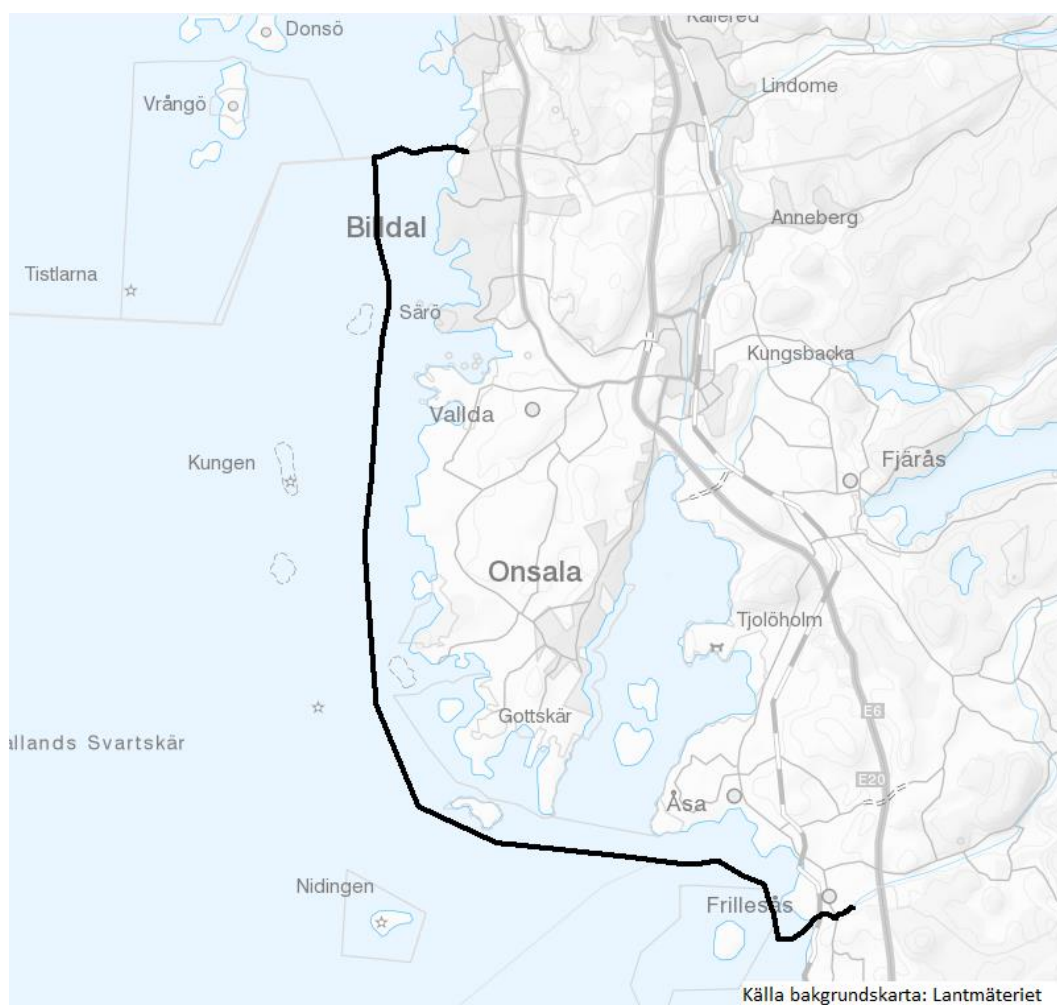
---

Version	Datum	Granskad	Utfört av
03	2018-10-29	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 Kungsbackaområdet.



Figur 1. Geografiskt område för Kungsbackaområdet specificerat av MSB.

## 2 Resultat

### 2.1 Centrala Kungsbacka

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

	100 år	200 år	Högsta beräknade havsvattenstånd
<b>Skattat värde år 2100</b>	214	223	315
<b>Konfidensintervall 95 %</b>	162 - 266	166 - 279	-

Tabell 1. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioderna 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd för centrala Kungsbacka. 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.

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

	100 år	200 år	
<b>Återkomstvärde i medelvattenstånd</b>	161	170	Avsnitt 3.2.4
<b>Medelvattenstånd i RH2000 år 1995</b>	7	7	SMHI Klimatologi 41, 2017
<b>Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (median)</b>	74	74	Church m.fl., 2013
<b>Landhöjningseffekt, 1995-2100</b>	-28	-28	SMHI Klimatologi 41, 2017
<b>TOTAL</b>	214	223	

Tabell 2. Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100 för centrala Kungsbacka. 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	13	17
Mätning	3	3
<b>Kombinerad osäkerhet</b>	<b>27</b>	<b>29</b>

Tabell 3. Osäkerheter uttryckta som standardavvikelser i vattenstånd i centimeter för centrala Kungsbacka.

Posterna i beräkningen av högsta beräknade havsvattenstånd år 2100 anges i Tabell 4 nedan. Notera att man ska bortse från posten högsta beräknade vinduppstuvning för kusten utanför Kungsbackafjorden.

	Högsta beräknade havsvattenstånd	
Högsta nettohöjning Varberg	143	SMHI Klimatologi 45, 2017
Högsta beräknade vinduppstuvning	46	Avsnitt 3.2.3
Högsta vattenstånd före storm i Skagerrak	49	SMHI Klimatologi 45, 2017
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	7	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (övre percentil)	98	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-28	SMHI Klimatologi 41, 2017
<b>TOTAL</b>	<b>315</b>	

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

## 2.2 Kusten utanför Kungsbackafjorden

Vattenståndet utanför Kungsbackafjorden blir inte riktigt lika högt som i centrala Kungsbacka.

Längs kusten utanför Kungsbackafjorden är 100- och 200- årsnivåerna 9 respektive 11 cm lägre jämfört med centrala Kungsbacka.

För högsta beräknade havsvattenstånd gällande kusten utanför Kungsbackafjorden ska man bortse från den högsta beräknade vinduppstuvningseffekten i Kungsbackafjorden på 46 cm.

Beräknade återkomstvärden i höjdsystemet RH2000 för år 2100 inklusive landhöjning anges i *Tabell 5* för kusten utanför Kungsbackafjorden.

	100 år	200 år	Högsta beräknade havsvattenstånd
<b>Skattat värde år 2100</b>	205	212	269
<b>Konfidensintervall 95 %</b>	155 - 254	160 - 264	-

*Tabell 5. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd för kusten utanför Kungsbackafjorden. 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 RCP8,5.*

## 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 Kungsbacka

Den mätstation som ligger närmast Kungsbacka är Onsala. Mätningar av vattenstånd vid Onsala påbörjades september 2014. Timobservationer finns först från juni 2015 och framåt. Mätstationen är Sveriges modernaste mareograf och mätningarna är ett samarbete mellan Chalmers och SMHI. Tillgängligheten av data är 99,8 % under perioden juni 2015 till december 2017 (timobservationer).

Mätserien vid Onsala är endast c:a 4 år lång och är således alldeles för kort för att beräkna vattenstånd med 100 respektive 200 års återkomsttid. Mätstationen vid Ringhals är den station som ligger närmast Onsala, c:a 19 km söderut. Vid Varberg, c:a 17 km söder om Ringhals, pågick mätningar av vattenstånd under perioden 1886-1982. Mätserierna från Varberg och Ringhals har analyserats och jämförts med mätningarna vid Onsala för att undersöka möjligheten hur de på bästa sätt kan användas för Kungsbackaområdet. En översiktlig karta över mätstationerna visas i Figur 2.

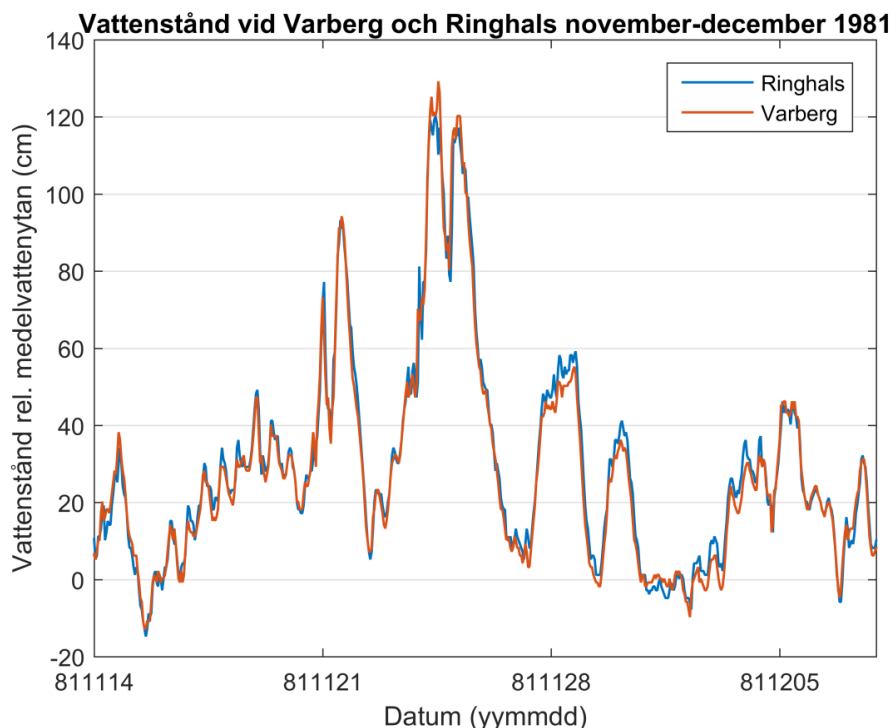


Figur 2. Översiktlig karta med vattenståndsstationerna Onsala, Ringhals och Varberg samt vindstationerna Nidingen, Vinga och Hallands Väderö.

Samvariationen av vattenståndet vid Varberg och Ringhals är hög och mätserierna kan därför slås samman. Ett exempel från mätserierna under en högvattenhändelse i november 1981 visas i Figur 3. Den sammanslagna mätserien från Varberg – Ringhals för perioden 1887 – 2017 har en tillgänglighet på 95,7 % med avseende på timobservationer.

Peglarna i Varberg, Ringhals och Onsala 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.



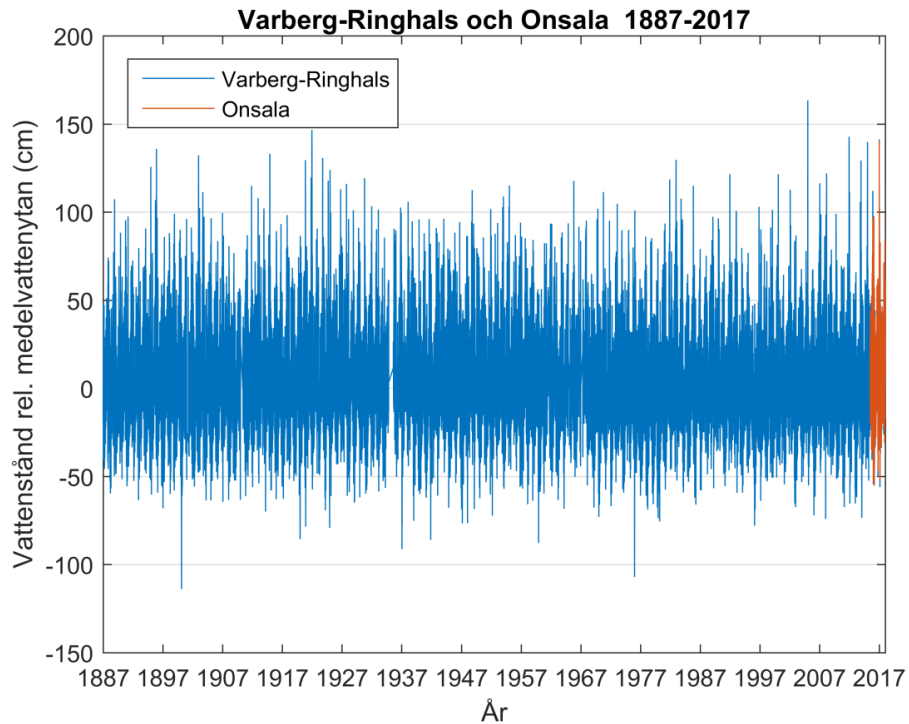


Figur 3. Observerat vattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Ringhals (blå) och Varberg (röd) under en högvattenhändelse i november 1982.

Havsvattenståndet vid Varberg - Ringhals och Onsala visas i Figur 4. Det högsta vattenståndet vid Varberg har uppmätts till 145 cm relativt medelvattenståndet och registrerades den 17 december 1921. Det lägsta vattenståndet som uppmätts vid Varberg är - 116 cm relativt medelvattenståndet och registrerades den 16 februari 1900.

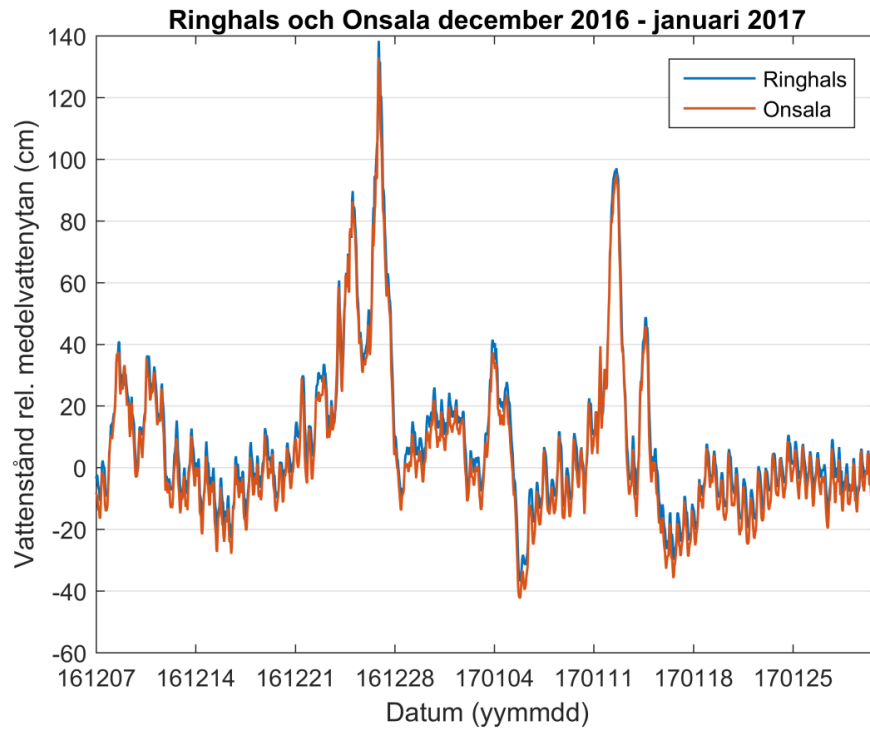
Det högsta vattenståndet vid Ringhals har uppmätts till 165 cm relativt medelvattenytan och inträffade under stormen Gudrun den 8 januari 2005. Det lägsta vattenståndet som observerats vid Ringhals är -107 cm relativt medelvattenytan och registrerades den 3 januari 1976.

Sedan mätningarna i Onsala påbörjades har det högsta vattenståndet uppmätts till 143 cm relativt medelvattenståndet och inträffade under stormen Urd den 26 december 2016. Som lägst har ett vattenstånd på -70 cm relativt medelvattenytan noterats, den 28 februari 2018.

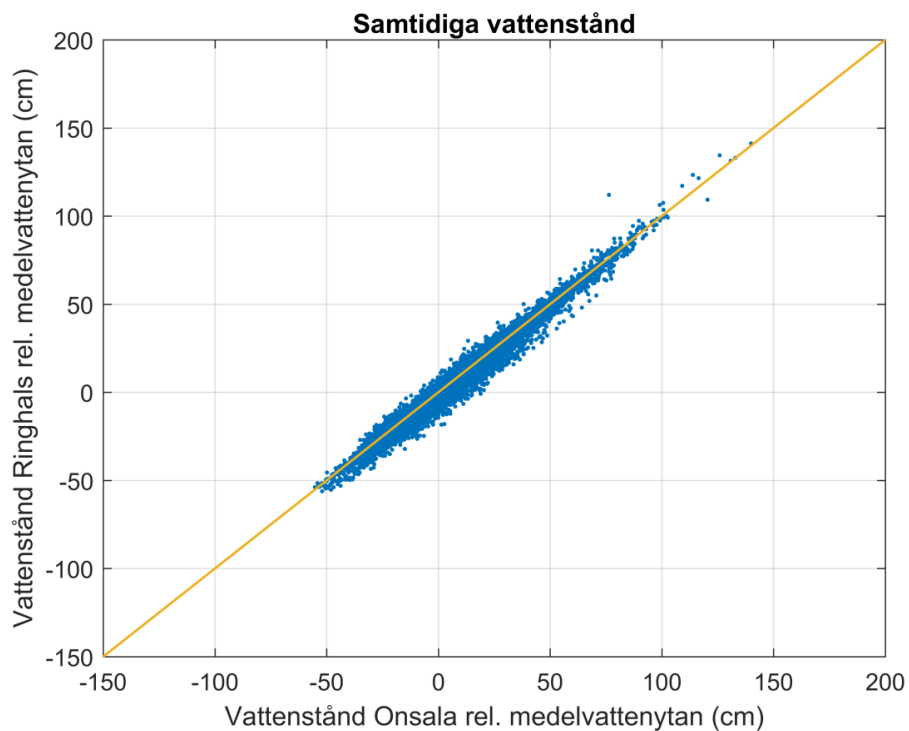


Figur 4. Havsvattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Varberg – Ringhals (blå) 1887-2017 och Onsala (röd) 2015-2017.

En förstoring av ett utsnitt under stormen Urd i december 2016 visas i Figur 5. Vi ser att det är stor samvariation mellan vattenståndet i Ringhals och Onsala. Samtidiga vattenståndsobservationer vid Ringhals och Onsala visas i Figur 6. Skillnaden mellan de båda lokalerna, särskilt vid högvatten, är obetydlig. Slutsatsen är att SMHI:s observationer vid Ringhals representerar vattenståndet i Onsala väl.



Figur 5. Havsvattenståndet i cm relativt medelvattenytan vid Ringhals (blå) och Onsala (röd) under stormen Urd i december 2016.



Figur 6. Havsvattenstånd vid Onsala mot samtidiga havsvattenstånd vid Ringhals perioden juni 2015 – december 2017. Tillfällena med samma vattenstånd på båda lokalerna ligger på den gula linjen.

### 3.2.2 Centrala Kungsbacka – Vinduppstuvning

Vid pålandsvindar pressas vattnet upp mot land, det kallas vinduppstuvning. SMHI:s stationsnät av havsvattenstånd representerar generellt sett den mer öppna kusten, vilket är fallet med Onsala, Ringhals och Varberg. Vattenståndet kan bli ytterligare högre i vikar och fjordar. Hur stor uppstuvningseffekten blir beror på vindens styrka och riktning, bottenpografi samt vikens/fjordens längd. Vinduppstuvningseffekten blir högre i mer långgrunda vikar och mindre i djupa och/eller korta vikar.

Kungsbackafjorden in mot centrala Kungsbacka är c:a 13 km lång och c:a 7 m i medeldjup. Vinduppstuvningen gör att vattenståndet i inre delen av Kungsbackafjorden kan bli högre än vad vid Onsala och Ringhals. För en given vindhastighet blir vinduppstuvningen som störst när vindriktningen är i samma riktning som fjorden. För Kungsbackafjorden är detta vid vindar från syd (190 grader).

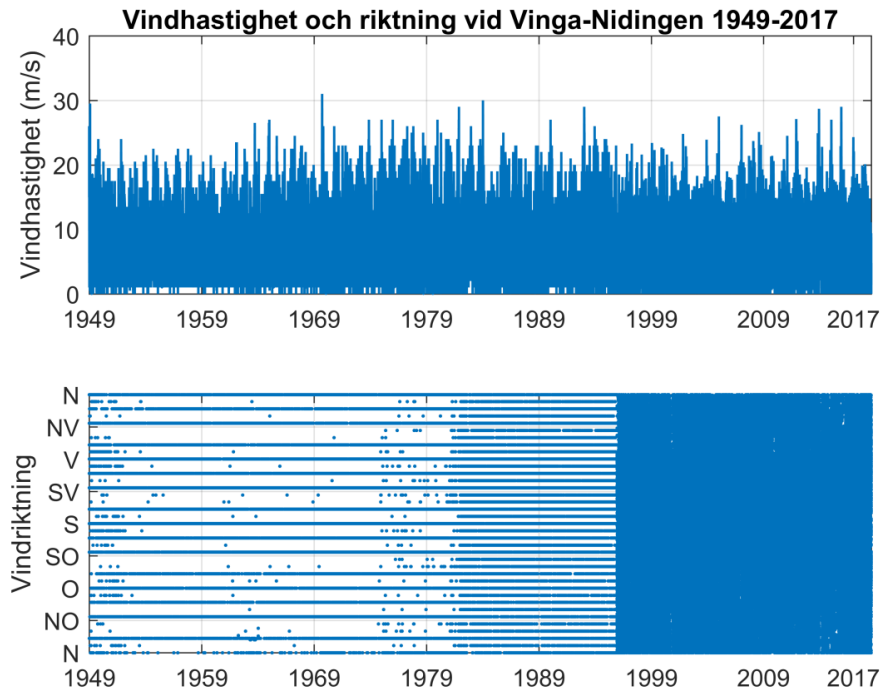
Vinduppstuvningen i Kungsbackafjorden har beräknats överslagsmässigt med vindar från mätstationerna vid Vinga och Nidingen. Nidingen är den station som ligger närmast Kungsbackafjorden och som bedöms mest lämplig i första hand. Observationer av vindhastighet och riktning från Nidingen finns från 1967 till idag. Dessförinnan används vindar från Vinga som är den mätstation som ligger närmast Nidingen och som bedöms mest lämplig för Kungsbackafjorden i andra hand. Observationer av vindens hastighet och riktning vid Vinga finns från 1949 och framåt. Den sammanslagna mätserien från Vinga – Nidingen som använts vid beräkningarna av vinduppstuvning sträcker sig från 1949 till 2017. Vid avbrott i den sammanslagna mätserien från Vinga - Nidingen har vindar från Hallands Väderö använts.

Tidsupplösningen är var 6:e timme i början av serien, därefter var 3:e timme och från 1996 är tidsupplösningen varje timme. För att inte förlora data har vinden interpolerats till en tidsupplösning på 1 timme för hela perioden. Vindens hastighet och riktning från den sammanslagna mätserien visas i Figur 7.

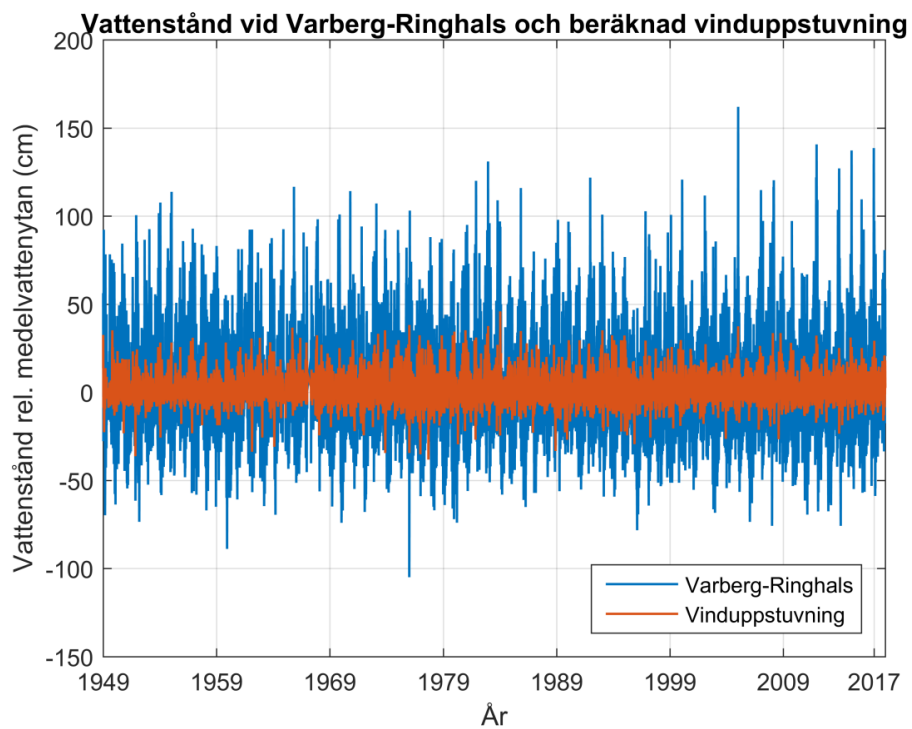
Med hjälp av den sammanslagna mätserien av vindens hastighet och riktning har vinduppstuvningseffekten för Kungsbackafjorden beräknats. Den adderas därefter till observationerna av vattenstånd vid Varberg – Ringhals. Vattenståndet från Varberg – Ringhals samt den beräknade vinduppstuvningen för Kungsbackafjorden för den gemensamma observationsperioden (1949 – 2017) visas i Figur 8.

Högsta uppmätta vattenstånd vid Ringhals inträffade under stormen Gudrun i januari 2005. Samtidigt som vattenståndet kulminerade under stormen var vinduppstuvningen i Kungsbackafjorden c:a 9 cm. Vindens hastighet och riktning respektive vattenståndet vid Ringhals samt den beräknade vinduppstuvningen adderad till Ringhalsserien under stormen Gudrun i januari 2005 visas i Figur 9 respektive Figur 10.

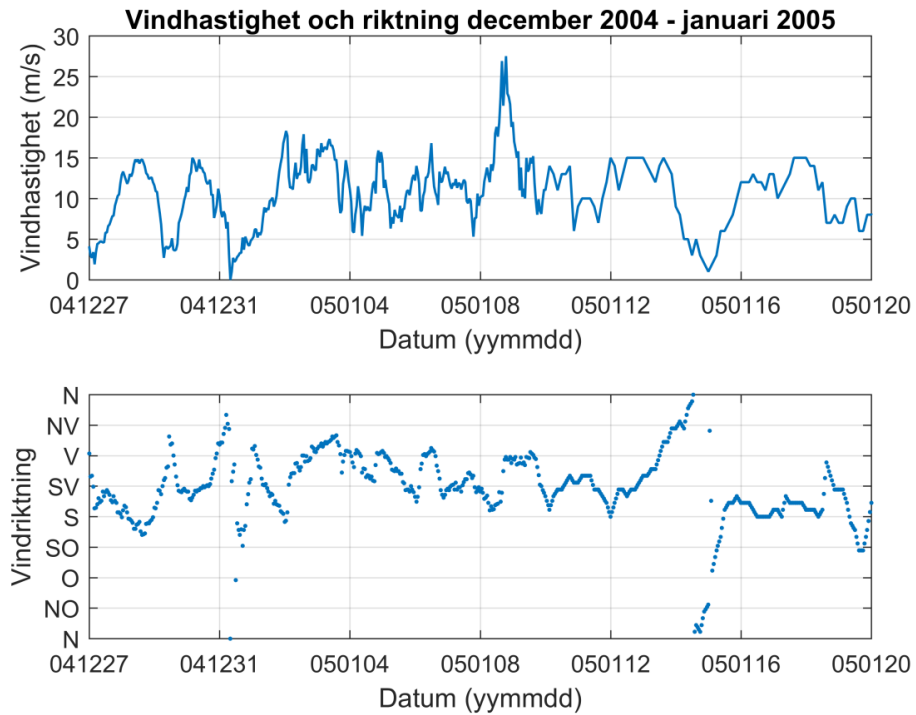
Som mest har vinduppstuvningen beräknats till 46 cm för Kungsbackafjorden, vilket inträffat vid ett tillfälle i januari 1984 med vindriktning på 190 grader (syd) och en vindhastighet på 27 m/s. Vid detta tillfälle uppmättes vattenståndet vid Ringhals till c:a 84 cm relativt medelvattenståndet. Högsta uppmätta vattenstånd i Ringhals inträffar således inte samtidigt som den högsta beräknade vinduppstuvningen för Kungsbackafjorden.



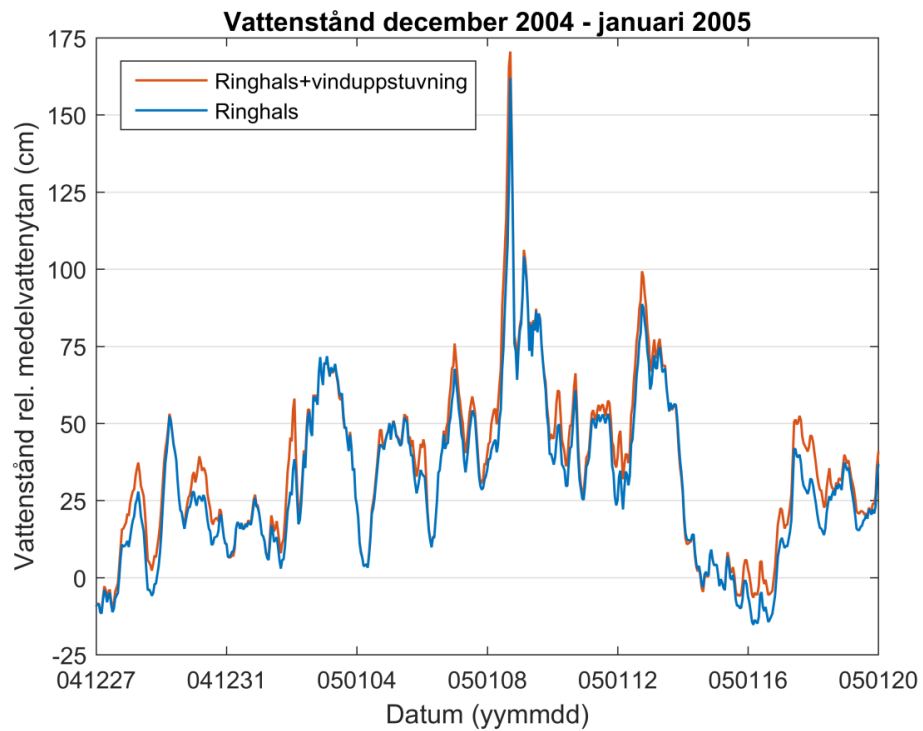
Figur 7. Vindhastighet (övre figur) och vindriktning (undre figur) vid Vinga - Nidingen för perioden 1967-2018.



Figur 8. Vattenstånd vid Varberg-Ringhals (blå) relativt medelvattenståndet och beräknad vinduppstuvning i Kungsbackaffjorden baserat på vindar från Vinga - Nidingen.



Figur 9. Vindhastighet (övre figur) och vindriktning (undre figur) under stormen Gudrun i januari 2005.



Figur 10. Vattenstånd vid Ringhals (blå) och vattenståndet vid Ringhals + beräknad vinduppstuvning (röd) under stormen Gudrun i januari 2005.

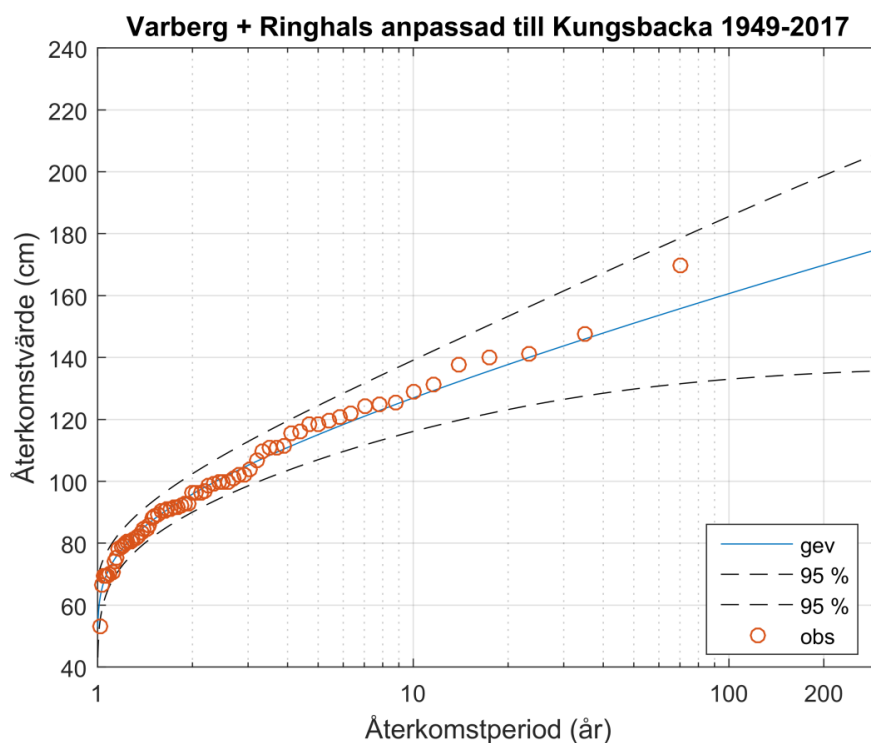
### 3.2.3 Beräkning av återkomstvärden

För att beräkna återkomstvärden gällande för centrala Kungsbacka görs en statistisk analys av mätserien från Varberg - Ringhals plus vinduppstuvningen i Kungsbacka. I Figur 11 visas skattningen av återkomstvärde mot återkomsttid för höga vattenstånd. Den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till observationerna är en Weibullfördelning med tre parametrar. Brutet år har använts.

Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid har beräknats till 161 cm över medelvattenståndet. Ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall har beräknats till 133-186 cm, vilket betyder att det med 95 % sannolikhet innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid har återkomstvärdet beräknats till 170 cm över medelvattenståndet och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan 135-199 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 Varberg – 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 11. Beräknade återkomstvärde vid olika återkomsttider (blå) baserat på data från Varberg - Ringhals anpassad med vinduppstuvning till Kungsbacka för perioden 1949-2017. Streckade linjer anger ett 95-procentigt konfidensintervall. Cirkelarna visar observerade årsmax vid Varberg - Ringhals anpassade till Kungsbacka. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenståndet.

Nedan visas principskisser för beräkning av återkomstvärde för centrala Kungsbacka respektive respektive kusten utanför Kungsbackafjorden.

## Centrala Kungsbacka



## Kusten utanför Kungsbackafjorden



## 3.3 Landhöjning

Den avvägda landhöjningen i Kungsbacka är 2,7 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 Kungsbacka har beräknats utifrån högsta nettohöjning för Varberg, högsta beräknade vinduppstuvning för Kungsbackafjorden samt det högsta vattenståndet före stormen för havsbassängen (Schöld m fl. 2017). Högsta beräknade havsvattenståndet för centrala Kungsbacka har skattats till 238 cm relativt medelvattenståndet. Utanför fjordens mynning, såsom exempelvis i Åsa, ska man bortse från den beräknade uppstuvningseffekten i Kungsbackafjorden – högsta beräknade havsvattenstånd blir då 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.

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.