

Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

Sofie Schöld, Sverker Hellström, Cajsa-Lisa Ivarsson, Per Kållberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern



Pärmbild.

Bilden visar den indelning av mätstationer i kustområden som gjorts i rapporten.

OCEANOGRAPHI Nr 123, 2017

Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

Sofie Schöld, Sverker Hellström, Cajsa-Lisa Ivarsson, Per Kållberg, Helma Lindow, Signild Nerheim, Semjon Schimanke, Johan Södling och Lennart Wern

Förord

Ett projekt startade år 2015 på SMHI för att beskriva havsnivåer längs svenska kusten i dagens och framtidens klimat, medelvattenstånd såväl som höga nivåer. Projektet avslutades år 2017 och finansierades med medel från anslag 1:10 klimatanpassning.

Projektets syfte var att öka kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på havets nivå runt Sveriges kust, och att tillhandahålla underlag för beslut i frågor som påverkas av nutida och framtida havsnivåer, med särskilt fokus på höga nivåer.

Projektet levererade beräkningar av framtida medelvattenstånd för Sveriges kust, en metod för att beräkna högsta havsvattenstånd samt analyser av vattenståndsdynamiken längs kusten och lokala effekter.

Resultaten redovisas i rapporter och som webbtjänster på smhi.se, där även data och GIS-skikt finns för nedladdning. När resultaten används är det viktigt att förstå dess syften och begränsningar. De förklaras i följande SMHI-rapporter som ingår i redovisningen av projektet:

Klimatologi nr 41. Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 45. Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 48. Framtida havsnivåer i Sverige

Oceanografi nr 123. Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

Oceanografi nr 124. Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd

Oceanografi nr 125. Lokala effekter på extrema havsvattenstånd

Sammanfattning

För att skapa ett samhälle väl anpassat till dagens och framtidens havsnivåer behövs besluts- och planeringsunderlag. Skyddsåtgärder och designnivåer för kustskydd är högaktuella frågor och många aktörer är intresserade av information kring potentiella maxnivåer för vattenstånd på olika tidshorisonter. SMHI har därför analyserat de mätdataserier för havsvattenstånd som idag finns tillgängliga från stationer längs Sveriges kust. Det primära syftet var att ta fram en metod för att beräkna det högsta möjliga havsvattenståndet vid mätstationer längs Sveriges kust. Metoden beskrivs i Schöld m.fl. (2017).

I föreliggande rapport beskrivs allmänt havsnivåer, mätdata, modeller och de resultat som erhöles från olika analyser av mätdata. Mätstationerna indelades i åtta olika kustområden inom vilka vattenståndet samvarierar. Det väder och de specifika stormbanor, som under de senaste 40 åren orsakat de högsta stormfloderna på olika platser längs den svenska kusten kartlades, och vattenståndsdynamiken vid olika mätstationer studerades.

Kortvariga höjningar av vattenståndet undersöktes, både med avseende på kraftiga vattenståndshöjningar orsakade av passerande vädersystem och med avseende på förhøjda utgångslägen, som i sin tur kan bidra till att stormfloder blir extra höga.

Det högsta beräknade havsvattenstånd som presenteras är de högsta möjliga stormfloder som skulle kunna inträffa baserat på empiriska analyser av mätdata vid de olika stationerna. Kända extrema händelser, som ägt rum före det att vattenståndet började registreras, ingår inte eftersom de inte har kunnat kvantifieras. Framtida förändringar av medelvattenståndet orsakade av den globala klimatförändringen behandlas inte i denna rapport.

Resultaten från studien visar att vattennivåerna i Östersjön generellt blir som högst i Bottenviken och i de södra delarna. De höga vattenstånden i större delen av Östersjön är inte lika höga som på västkusten och i Öresund. I Östersjön förefaller också utgångsläget, havsnivån före stormen, utgöra en större del av den resulterande vattenståndshöjningen. Vid flera stationer i de centrala delarna av Östersjön är havsnivån före storm i stort sett hälften av det högsta beräknade havsvattenståndet. Längs västkusten är istället de nettohöjningar som orsakas av rena stormeffekter den viktigaste stormflodskomponenten. Lokala förhållanden, till exempel om stationen är belägen vid en öppen, rak kust eller inne i en vik, påverkar hur högt vattenståndet kan förväntas bli på en viss plats.

Analyserna visar att stormfloder skulle kunna bli omkring 20-40 cm högre än hittills observerade maximala nivåer i olika kustområden. En osäkerhetsmarginal på runt +15 cm är lämplig att addera, särskilt i de områden där tidvatten förekommer.

Summary

Data from the oceanographic stations along the Swedish coastline were analyzed with emphasis on storm surge conditions. The stations were divided in eight coastal areas in which sea level dynamics were studied. Results show that the highest levels in the Baltic Sea are found in the Bothnian Bay and the southern parts. The sea level before a storm surge is most important for the resulting highest level in the Baltic Sea, especially in the central part of the Baltic basin. Along the west coast, the net increase in sea level, caused by the storm, is the most important factor.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	SYFTE	1
3	BAKGRUNDSINFORMATION.....	2
3.1	Mätstationer och data	2
3.2	Kustområden.....	5
3.3	Vattenståndsdynamik	7
3.4	Höjdsystem och medelvattenstånd	7
3.5	Tidvatten.....	9
3.6	Meteorologiska modeller	10
4	METODIK	11
4.1	Stormanalyser	12
4.2	Vattenståndsdynamik	12
5	RESULTAT.....	13
5.1	Väder och vattenstånd.....	13
5.1.1	Bottenviken och Bottenhavet.....	13
5.1.2	Södra Bottenhavet	15
5.1.3	Östersjön	16
5.1.4	Södra Östersjön.....	17
5.1.5	Öresund	19
5.1.6	Skagerrak och Kattegatt	21
5.2	Analys av stormfloder	25
5.2.1	Bottenviken	25
5.2.2	Bottenhavet.....	26
5.2.3	Södra Bottenhavet	27
5.2.4	Östersjön	28
5.2.5	Södra Östersjön.....	29
5.2.6	Öresund	30
5.2.7	Kattegatt	31
5.2.8	Skagerrak	32
5.3	Förekomst av höga vattenstånd	33
5.4	Summering	36
6	SLUTSATSER	39
7	REFERENSER	40
8	BILAGOR	43
8.1	Bilaga 1 – Tillgänglighetsmatris.....	43

8.2	Bilaga 2 – Vattenståndsdynamik.....	44
8.3	Bilaga 3 –Stormbanor	45
8.4	Bilaga 4 – Stormar med höga havsvattenstånd	57

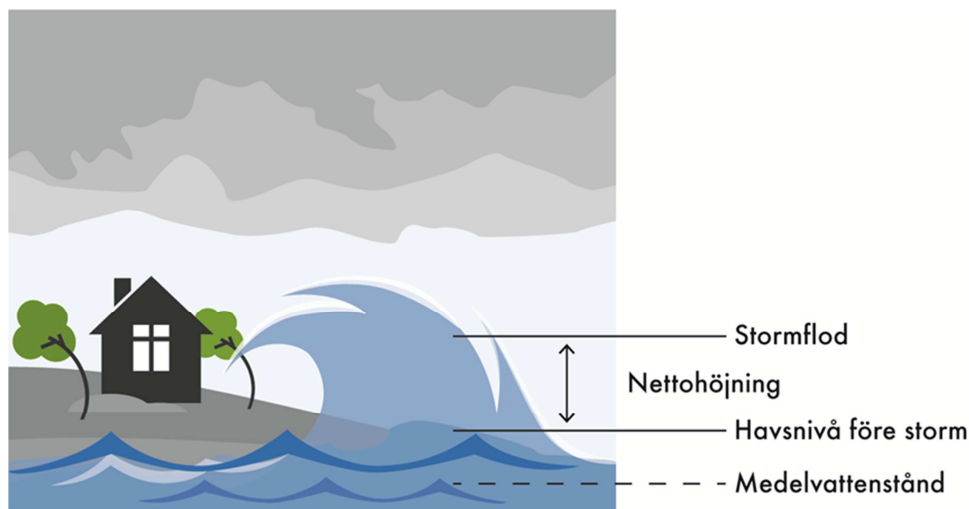
1 Inledning

Under de senaste åren har rekordhöga vattenstånd uppmätts på flera platser längs Sveriges kust. På många ställen har dessa höga stormfloder medfört översvämningar som i vissa fall orsakat större samhällsstörningar. För att i mesta möjliga mån undvika kritiska störningar eller skador i samband med översvämningar behövs planeringsunderlag som bland annat beskriver det högsta vattenstånd som kan förväntas vid olika platser längs Sveriges kust.

Ett mycket högt vattenstånd, en så kallad stormflod (figur 1), kan sägas vara en kombination av olika faktorer. Djupa lågtryck och stark pålandsvind medför nettohöjning av vattennivån. Andra faktorer är tidvatten, seicher och tillfälligt förhöjd havsnivå i området. Teoretiskt skulle alla faktorer maximum kunna infalla samtidigt, och stormfloder högre än observerade maximala värden, skulle då uppstå.

En metod har framtagits för att beräkna det högsta möjliga havsvattenståndet, baserat på observerade vattenstånd. Metoden och slutsatserna beskrivs i Schöld m.fl. (2017). I samband med arbetet att ta fram metoden gjordes analyser av SMHI:s mätserier över höga vattenstånd. I föreliggande rapport redovisas resultat från arbetet tillsammans med beskrivningar av havsnivåer och de mätdata och modeller som används.

Arbetet baseras helt på historiska data och inbegriper inte klimatscenarier.



Figur 1. Illustration av en stormflods olika komponenter.

2 Syfte

Denna rapport syftar till att grundläggande beskriva havsvattenstånd och dess komponenter samt förhållandena längs Sveriges kuster. Rapporten dokumenterar utfallet av SMHI:s analyser av historiskt höga vattenstånd och väderparametrar som kan leda till höga stormfloder. Huvudsyftet är att presentera de högsta beräknade havsvattenstånden baserat på de dataserier som vi har tillgång till idag. Rapporten behandlar alltså inte framtida klimatförändringar.

3 Bakgrundsinformation

I detta kapitel beskrivs de mätdata som finns tillgängliga, hur de samlats in, granskats och lagrats samt indelningen i kustområden för de mätstationer som använts. En allmän beskrivning ges också av höga vattenstånd, höjdsystem, medelvattenstånd, tidvatten och meteorologiska modeller.

Majoriteten av alla stormar och andra oväder som föranleder kraftiga höjningar av vattenståndet i Sverige inträffar på höst- och vinterhalvåret. Vattennivån är då ofta redan förhöjd till följd av frekventa lågtryck och ihållande vindar. I teorin har en storm förutsättningen att höja vattenståndet en given bit i förhållande till utgångsläget. Hur högt havsnivån befinner sig över det lokala normalvattenståndet, innan stormen, kan variera förhållandevis kraftigt. Det är alltså inte säkert att de häftigaste stormarna med de högsta stormfloderna har sammanfallit med en maximal havsnivå före stormen.

3.1 Mätstationer och data

För att med tillfredsställande statistisk säkerhet kunna beräkna längre återkomsttider och återkommande fenomen baserade på naturliga processer, är det önskvärt att ha tillgång till så långa tidsserier med data som möjligt. En riktlinje är att det brukar gå att beräkna tillförlitliga återkomstnivåer för en tidsperiod som är ungefär dubbelt så lång som mätdataserien (se Schöld m.fl., 2017 samt Södling och Nerheim, 2017).

Om en sällsynt händelse beräknas inträffa exempelvis vart 500:e år innebär det inte att det dröjer 500 år tills händelsen inträffar igen. Händelsen kan inträffa *vilket år som helst*, men sannolikheten för att den inträffar är låg, betraktad för varje enskilt år. Den ackumulerade sannolikheten över längre perioder är dock större än vad summan av de enskilda årens sannolikhet är. Betraktat över en längre period så blir sannolikheten allt större för varje år som går, om incidenten inte inträffat (se *Återkomsttider* i Kunskapsbanken på smhi.se och Fredriksson *et al.*, 2016).

Den typ av empiriska beräkningar som presenteras i denna rapport och i Schöld m.fl., 2017 är också beroende av att det finns omfattande dataserier att analysera. Vi har emellertid funnit att man, genom att kombinera olika stormflodskomponenter till en högsta beräknad havsnivå, kan visa på scenarion med lägre sannolikhet än vid klassisk återkomsttidsberäkning.

Lyckligtvis har vi i Sverige tillgång till mycket långa och väl bevarade mätserier för havsvattenstånd, bland annat den så kallade Stockholmsserien där mätningar påbörjades vid Slussen i Stockholm redan år 1774 (se smhi.se). Från 1840-talet och framåt tillkom sedan ett antal mätstationer (mareografer) med daglig registrering, då man ville klargöra den så kallade "vattenminskningen" (egentligen landhöjningen). Efter ett stadsbesök i Preussen beslöt Oscar II att placera ut mareografer vid Ratan, Draghällan, Björn, Stockholm-Skeppsholmen, Landsort, Kungsholmsfort, Ystad, Varberg och Smögen. En enklare havspegel placerades även ut i Göteborgs hamn och under tidigt 1900-tal tillkom fler mätstationer som är aktiva än idag: Smögen, Furuögrund, Visby och Klagshamn. Dessa stationer representerar således de äldsta tidsserier vi har tillgång till idag (se SMHI, 2009).

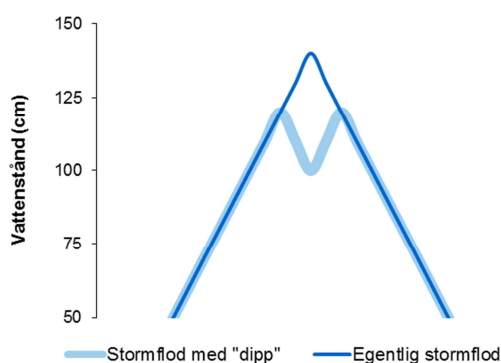
En viktig aspekt, vid alla typer av havsvattenståndsanalyser, är mätseriens kvalitet och upplösning. Under många år registrerades enbart dygnsvärden (se bilaga 1) men idag finns tillgång till högupplöst data (ned till minutvärden) vid vissa mätstationer. Under årens lopp har även stationer lagts ned eller flyttats. Det förekommer även långa avbrott i mätserier. Utrustningens tillförlitlighet och precision har naturligtvis också ökat sedan 1800-talet, även om mätmetodiken i grunden är densamma.

De tidigaste mätningarna av havsvattenståndet skedde genom manuell avläsning av en fast pegelskala en gång per dygn eller en gång per vecka. Mätning med en registrerande pegel började i Sverige år 1886 när de första mareograferna introducerades. Mareograferna installerades i pegelhus med brunn där rörelsen av en flottör i brunnen överfördes mekaniskt på ett diagrampapper. Grundprincipen för själva mätningen har sedan dess varit oförändrad. Under 1960-talet kom de första telefonsvarande pendlarna som ringdes upp och vattenståndet upplästes via en taltrumma. Samtidigt byttes mareograferna ut mot diagramskrivare med horisontal trumma. Vid stationer med snabba vattenståndsrorelser kunde det vara svårt att avläsa värden från diagram. Vid dessa stationer installerades en logger, som tömdes en gång om året. En logger är ett instrument som registrerar och sparar data på plats under en kortare eller längre tid.

Diagramskrivarna finns än idag kvar på de allra flesta stationerna. Diagrammen som skickas till SMHI en gång i veckan eller en gång i månaden används som backup samt för granskning och rättning av havsvattenståndsdata. Idag finns i regel tre flottörer i brunnen; en till en vinkelgivare som automatiskt registrerar och rapporterar vattenståndet i realtid, en till diagramskrivaren som registrerar vattenståndet på ett papper och en med måttband som tjänar som referens mot den lokala nollpunkten som är unik för varje station. Vid ett fåtal stationer används idag sensorer som mäter vattenståndet med hjälp av radar eller tryckmätning. De första av dessa sensorer installerades omkring år 2010.

Överföring och lagring av data vid mätstationer har också förändrats genom åren. Från regelbundet manuellt avlästa värden till telefonsvarande pendlar som installerades på 1960-talet. Under 2000-talet installerades så kallade MAWS (MiniAutomatic Weather Station) som loggar och överför data till SMHI en gång i timmen. Sedan 1980-talet sker överföringen av data via modem. Digitalisering av diagramdata sker vid behov och för stationer där det inte finns vinkelgivare och logger installerat. Från manuell avläsning av diagramvärden gick man på 1990-talet över till att fotografera och senare till att skanna diagrammen och digitalisera vattenståndsdata med hjälp av en speciell programvara.

Dataserier under och omkring stormfloder är generellt sett kvalitetssäkrade eftersom det oftast är dessa data som efterfrågas och analyseras i olika sammanhang. Några typiska orsaker som kan föranleda fel i mätdata för havsvattenstånd är is i brunnen, drift och "dipp" (figur 2). De högsta stormfloderna kontrolleras alltid extra noga, men det kan hända att något "dippfall" har missats vid digitaliseringen av diagrammen.



Figur 2. Vid mycket höga eller låga vattenstånd kan fel, "dipp", uppstå vid registrering av vattenståndet med diagramskrivare. Pappret tar slut, pennan vänder om vid kanten och sjunkande vattenstånd registreras trots att nivån egentligen fortsätter stiga (omvänt vid mycket låga vattenstånd).

Om is fryser till i brunnen där vattenståndsmätaren sitter leder det till konstanta mätvärden under en längre period (dagar till veckor), eventuellt med ett avbrott där vattenståndet verkar sjunka eller stiga snabbt när isflaket lossnar från brunnskanten, för att sedan bli konstant igen. Detta fenomen förekommer mer frekvent under vintrarna förr men kan uppträda än idag, om den värmelampa som är placerad vid mätstationen slutar fungera. Denna typ av mätfel påverkar inte data för stormfloder.

Drift innebär att mätvärden förändras stadigt lite i taget åt ett håll, till exempel när vatten läcker in i flottören eller när det blivit påväxt på den. Andra möjliga fel är att intagsröret till brunnen blir igensatt eller att mätinstrumentet (tryckgivaren) börjat visa fel. När den här typen av fel upptäcks är det ofta svårt att korrigera mätdata eftersom det är svårt att veta exakt när processen har startat. Det är även svårt att avgöra hur ofta drift förekommer i historisk data. Idag besöks stationerna regelbundet och inspektioner samt underhåll genomförs frekvent, så denna typ av fel är inte särskilt vanliga. Det är inte heller något som påverkar data vid stormfloder i särskilt hög utsträckning. Vid SMHI:s mätstationer genomförs en inspektion vartannat år. Då kontrolleras all utrustning på plats och man testar bland annat uppvärmningen i brunnen och genomför en avvägning där man kontrollerar uppmätta data mot fasta punkter med känd höjd.

*Tabell 1. De mätstationer som använts i analysen, ID-nummer, position (lat-long) och mätperiod. Stationerna har indelats i kustområden. *Mätstation 35115 Halmstad tillhör Sjöfartsverket. **Fram till år 1959 finns data som icke-digitaliserade diagram vilka inte har analyserats. ***Data från mätstationen vid Stenungsund analyseras för både Kattegatt och Skagerrak.*

Kustområde	Stationsnamn	ID	Lat WGS84	Lon WGS84	Timvärden tillgängliga
Bottenviken	Kalix	2157	65°41'49"N	23°05'46"E	1974 -
	Furuögrund	2055	64°54'57"N	21°13'50"E	1916 -
	Ratan	2056	63°59'10"N	20°53'42"E	1891 -
Bottenhavet	Skagsudde	2321	63°11'26"N	19°00'45"E	1982 -
	Spikarna	2061	62°21'48"N	17°31'52"E	1968 -
	Draghällan	2062	62°20'00"N	17°28'00"E	1897 - 1969
S. Bottenhavet	Björn	2067	60°38'00"N	17°58'00"E	1891 - 1978
	Forsmark	2179	60°24'31"N	18°12'39"E	1975 -
Östersjön	Stockholm	2069	59°19'27"N	18°04'54"E	1889 -
	Landsort Norra	2507	58°46'08"N	17°51'32"E	2004 -
	Landsort	2073	58°45'00"N	17°52'00"E	1886 – 2006
	Marviken	2076	58°33'13"N	16°50'14"E	1964 -
	Visby	2080	57°38'21"N	18°17'04"E	1960 -
	Ölands Norra udde	2083	57°21'58"N	17°05'50"E	1961 -
	Oskarshamn	2085	57°16'30"N	16°28'41"E	1960 -
S. Östersjön	Kungsholmsfort	2088	56°06'19"N	15°35'22"E	1886 -
	Simrishamn	2320	55°33'27"N	14°21'28"E	1982 -
	Ystad	2093	55°25'00"N	13°49'00"E	1886 – 1987
	Skånör	30488	55°25'00"N	12°49'46"E	1992 -
	Klagshamn	2095	55°31'20"N	12°53'37"E	1929 -
Öresund	Malmö	2098	55°37'00"N	13°00'00"E	1924 – 1963
	Barsebäck	2099	55°45'23"N	12°54'12"E	1992 -
	Viken	2228	56°08'32"N	12°34'45"E	1976 -
Kattegatt	Halmstad*	35115	56°38'59"N	12°50'33"E	2009 -
	Varberg	2104	57°06'00"N	12°13'00"E	1886 – 1982
	Ringhals	2105	57°14'59"N	12°06'45"E	1967 -
	Göteborg Klippan	2108	57°41'00"N	11°54'00"E	1887** – 1978
	Göteborg Torshamnen	2109	57°41'05"N	11°47'26"E	1967 -
	Stenungsund***	2110	58°05'36"N	11°49'57"E	1962 -
Skagerrak	Smögen	2111	58°21'13"N	11°13'04"E	1910 -
	Kungsvik	2130	58°59'48"N	11°07'38"E	1973 -

I tabell 1 anges de stationer som har analyserats och från vilket år timvärden finns tillgängliga för respektive mätstation. En indelning av Sveriges kust i åtta olika kustområden har gjorts baserat på samvariation mellan mätstationerna (se även Schöld m.fl., 2017).

Vi har valt att behandla hela dataserien för samtliga analyserade stationer sammanhängande. Eftersom timvis registrering påbörjades från slutet av 1800-talet och början av 1900-talet analyseras timvärden med startår omkring 1900. Under 2000-talet började vattenståndet observeras oftare än timvis (bilaga 1). Eftersom stormfloder kan ha ett mycket hastigt förlopp anges, i förekommande fall, även det absoluta maxvärdet för stormfloden som hämtats ur högupplösta dataserier (se även kapitel 5.2).

Merparten av de tillgängliga vattenståndsobservationerna hos SMHI är digitalt kvalitetsgranskade, och i samband med detta projekt har även viss manuell kontroll genomförts. Det har inte varit möjligt att granska all data manuellt, beroende på dess omfattning. Därmed kan en viss felmarginal föreligga. Vår bedömning är emellertid att resultatets tillförlitlighet är tillfredsställande, inte minst på grund av den stora mängd data som behandlats.

I analysen har uteslutande data från mätstationer för havsvattenstånd använts. Vattenståndsdata uppmätt med satelliter skulle kunna vara en alternativ datakälla för att få en sammanhängande bild av vattenståndet längs hela Sveriges kust (Madsen *et al.*, 2007). Med syftet att analysera händelser med hög tidsupplösning som kan ha ägt rum långt tillbaka i tiden, är emellertid satellitdata inget alternativ. Dels finns inte satellitdata så långt tillbaks i tiden och upplösningen i tid är låg, jämfört med de havsnivåmätningar som använts i denna analys. Sannolikheten att satellitmätningar skulle fånga de högsta stormfloderna är därmed liten.

3.2 Kustområden

De viktigaste faktorer som orsakar vattenståndsvariationer är vindar, lufttryck och tidvatten (Pugh and Woodworth, 2014). Förenklat kan sägas att pålandsvind och lågtryck gör att havsnivån stiger medan frånlandsvind och högtryck ger lägre vattenstånd. När dessa faktorer samverkar och/eller är särskilt kraftiga, kan mycket höga eller låga vattenstånd uppträda (Dangendorf *et al.*, 2016). Plötsliga förändringar av vattenståndet kan även vara så kallade sjösprång. Sjösprång uppträder oregelbundet och är svåra att förutsäga eftersom flera samverkande villkor måste vara uppfyllda. Snabba förändringar i vind och lufttryck förorsakar en vattenståndsstörning vars höjd, när den träffar kusten, kan vara någon decimeter eller rentav en till två meter i enstaka fall. Ofta rör det sig om en åskfront som rör sig över ett havsområde och sätter vattnet i rörelse (Fonselius, 1995). Sjösprång har observerats på olika platser längs Sveriges kust vid flera olika tillfällen (se *Sjösprång* i Kunskapsbanken på smhi.se).

Kustområdet vid närliggande mätstationer utsätts för likartade väderparametrar ungefär samtidigt vartefter omgivande vattenmassa reagerar på ett sammanhängande vis. Exempelvis kan vattenståndet förväntas stiga vid stationerna Kalix, Furuögrund och Ratan vid vindar med en i huvudsak sydlig vindkomponent, då Östersjöns vatten helt enkelt pressas upp i Bottenviken. Vidare påverkas närliggande stationer likartat av samma vattenmassor, exempelvis av Östersjöns vattenutbyte genom Öresund och Bälten, lågtryckspassager, samt de stående vågor (seicher) som kan uppkomma mellan olika ändar av Östersjön då vattenmassorna strävar efter att återgå till ett jämviktsläge efter att vindar eller lufttrycksvariationer har orsakat vattenståndsskillnader (Samuelsson and Stigebrandt, 1996; Jönsson *et al.*, 2008; Johansson m.fl., 2017). På så vis kan man säga att mätstationerna inom ett visst kustområde samvarierar och att vattenståndet längs aktuell kuststräcka reagerar likartat vid olika vädersituationer.

De 31 mätstationer som inkluderats i denna studie har delats in i olika kustområden inom vilka mätstationerna kan sägas samvariera (tabell 1). Stationerna är indelade efter sitt geografiska läge, från norr till söder längs Sveriges kust. Hypotesen är att de havsnivåer före storm som uppträtt vid en station inom ett område, lika gärna skulle ha kunnat inträffa vid någon av de andra stationerna, och att de faktorer som orsakar stormfloder, och stormflodernas karaktär i sig, är likartad inom hela kustområdet. Detta har sedan utvärderats med hjälp av korrelationsanalyser mellan de olika stationerna, samt detaljstudier av vattenståndsdynamiken vid olika stormtillfällen och högvattenhändelser (se även Schöld m.fl., 2017). De områden som har definierats inom projektet är Bottenviken, Bottenhavet, Södra Bottenhavet, Östersjön, Södra Östersjön, Öresund, Skagerrak och Kattegatt (figur 3).



Figur 3. Karta över mätstationer och indelningen i kustområden. Bottenviken (röd), Bottenhavet (orange), Södra Bottenhavet (gul), Östersjön (grön), Södra Östersjön (mörkgrön), Öresund (ljusblå), Kattegatt (blå) och Skagerrak (lila).

Mellan dessa kustområden kan ingen exakt gräns dras (de färgade linjerna är närmast att betrakta som ungefärliga indikationer), utan samvariationen förefaller generellt avta med geografiskt avstånd. För varje given plats längs kuststräckan finns det givetvis även många andra faktorer som kan påverka vattenståndet. Exempelvis kan västvindar, vilka är vanliga i samband med oväder över Sverige (se *Vind i Sverige* i Kunskapsbanken på smhi.se), innebära kraftig pålandsvind och höga vattenstånd längs västkusten medan ostkusten istället får frånlandsvind och låga vattenstånd.

Längs en rak kust, öppen ut mot havet, är mycket höga vattenstånd inte lika vanliga som i olika havsvikar eftersom vattenmassorna helt enkelt kan spridas ut mer. I vikar å andra sidan, kan vinduppstuvning¹ och resonanseffekter samverka till att driva upp vattenståndet extra högt. Hur stark effekten blir är beroende av vikens djup och geografi (Johansson m.fl., 2017).

Hur översvämningsdrabbad en kuststräcka är och hur högt vattnet kan nå innan det medför samhällsstörningar beror även på geografin, topografin, eventuella barriärer och var man har valt att placera exempelvis bostadshus och samhällsviktig verksamhet.

3.3 Vattenståndsdynamik

De kustområden som definieras i denna rapport är belägna på olika platser längs Sveriges kust. Olika lågtrycksbanor eller vindriktningar kan därför leda till höga vattenstånd på dessa geografiskt skilda platser. Även andra förhållanden påverkar dynamiken i de olika kustområdena. Tidvatten förekommer längs västkusten, men i Östersjön är effekten mycket dämpad och tidvattnet så gott som obetydligt (se även kap 3.5). Östersjön är ett innanhav och fungerar som en avsnörd balja, och det kan uppstå en stående våg mellan olika ändar av baljan. Lokala förhållanden, exempelvis om en plats är belägen vid en rak, öppen kust eller inne i en vik, påverkar hur vattenståndshöjningen kan förväntas se ut där. Se Johansson m.fl. (2017) för mer information om de mekanismer som påverkar vattenståndet.

Det är inte bara ett högsta beräknat havsvattenstånd som kan vara av intresse för planering och sårbarhetsanalyser. Även frekvensen av höga vattenstånd och den tid under vilken en stormflod pågår, dess varaktighet, kan skilja sig åt mellan olika kustområden eller stationer.

3.4 Höjdsystem och medelvattenstånd

Havsvattenståndet mäts i ett lokalt höjdsystem som är unikt för varje mätstation. Det observerade vattenståndet kan sedan relateras till olika nationella höjdsystem som till exempel RH2000 (figur 4) eller relativt medelvattenstånd (Relative Water level, RW, figur 5).

De nationella höjdsystemens nollnivå definieras baserat på en viss tidsperiod. Vattenståndet relaterat till nationellt höjdsystem är inte korregerat för landhöjning eller havsnivåhöjning, utan visar vattenståndets höjd relativt nivån för denna tidsperiod.

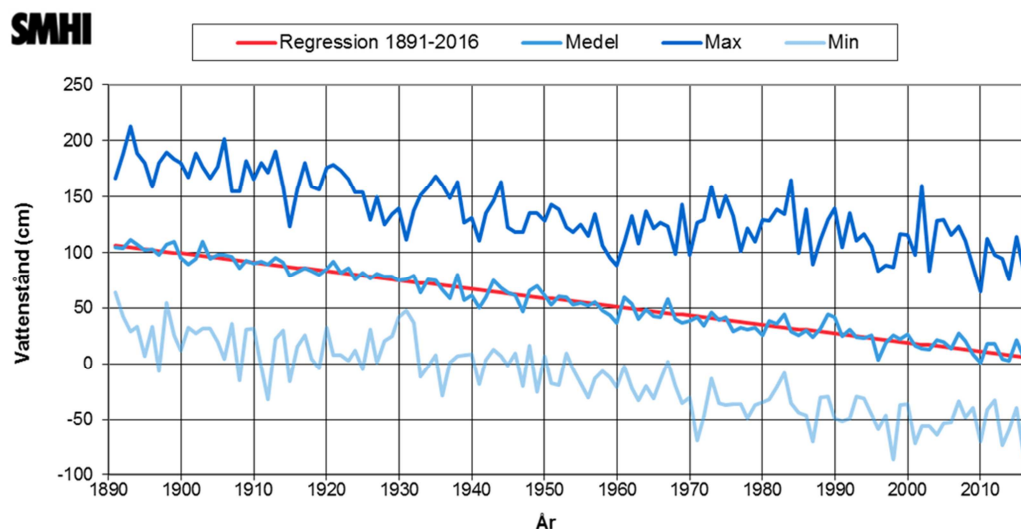
Flera olika nationella höjdsystem har genom åren avlöst varandra i Sverige. Dagens officiella nationella höjdsystem (sedan 2005) kallas rikets höjdsystem år 2000 eller RH2000 (figur 4). Tidigare användes RH00 och RH70 som nationella höjdsystem.

När vattenståndet längs Sveriges kust studeras för långa perioder måste effekten av landhöjningen beaktas. Den senaste istiden tryckte ner jordskorpan i Östersjöområdet med upp till 300 meter. Sedan isen drog sig tillbaka efter senaste istiden har landmassan rört sig uppåt. Längs Sveriges kust varierar den årliga landhöjningen relativt geoiden² med knappt 10 mm i området runt Norra Kvarken och nära 0 mm i Öresund.

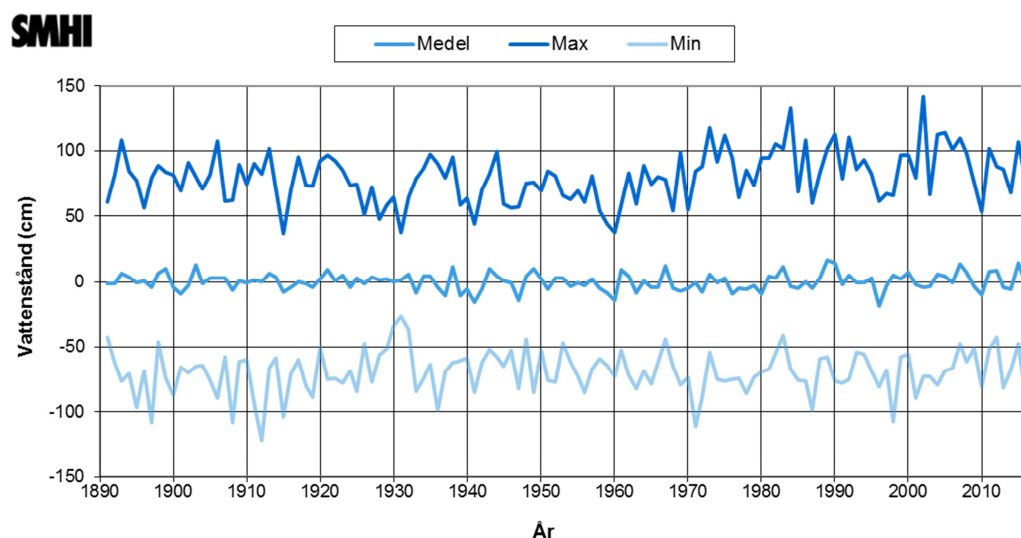
¹ Vinduppstuvning innebär att komponenten av vind längs viken föser vatten in i (ut ur) viken vilket ger en höjning (sänkning) av vattenståndet jämfört med i mynningen mot havet.

² Geoiden = den nivåyta i jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter sig till den ostörda havsytans medelnivå och dess tänkta förlängning genom kontinenterna (NE)

Vattenståndet i relativt medelvattenstånd (RW) är korrigerat för den sammanlagda effekten av landhöjning och långsiktig havsnivåhöjning (figur 5). Dessa båda processer går således inte att urskilja i dataserien. Däremot kan variationer studeras såsom extremvärden eller år-till-år variationer.



Figur 4. Havsvattenstånd vid Ratan 1891-2016 i RH2000. Årsmedelvärden, min- och maxvärden i olika nyanser av blått. Regressionslinje för beräkning av de olika årens medelvattenstånd visas med röd linje.



Figur 5. Havsvattenstånd vid Ratan 1891-2016 relativt årets beräknade medelvattenstånd (RW). Årsmedelvärden, min- och maxvärden i olika nyanser av blått.

I relativt medelvattenstånd (RW) är årets beräknade medelvattenstånd alltid noll (0) och utgörs av havets genomsnittliga nivå vid respektive mätstation. Detta innebär att alla enskilda vattenståndsrörelser är fullständigt jämförbara inom och mellan olika stationer och år. Denna nollnivå är, liksom årets beräknade medelvattenstånd i RH2000, beräknade värden som tas fram genom regression för varje station (figur 4). För att få en bra regressionslinje krävs omkring 30 års data från stationen (se *Årets medelvattenstånd* i Kunskapsbanken på smhi.se). Därefter kan årets medelvattenstånd bestämmas både framåt och bakåt i tiden. I denna rapport presenteras värden för varje mätstation relativt årets beräknade medelvattenstånd (RW).

I figur 4 och figur 5 visas värden för mätstationen Ratan. Sedan mätningarna vid Ratan inleddes år 1891 har landmassan i området stigit cirka 120 cm. Samtidigt har medelvattenståndet vid stationen blivit ungefär 100 cm lägre. Det innebär att havsnivån vid stationen har höjts omkring 20 cm sedan 1891 (figur 4).

3.5 Tidvatten

Tidvatten är främst en effekt av månens och solens dragningskraft samt den centrifugalkraft som uppstår då himlakroppar cirkulerar kring en gemensam tyngdpunkt. Dess förlopp påverkas emellertid även av en rad interagerande faktorer såsom jordens rotation, jordaxelns lutning, variationen i avståndet till månen och solen samt deras respektive banas lutning. Jorden är täckt av mycket djupt vatten, men också landmassor som begränsar och omdirigerar tidvattenvågens rörelse. Havsbassänger med olika djup och topografi bromsar upp vågen och gör att tidvattnet varierar från plats till plats i ett för kustområdet regelbundet mönster.

Vid den delen av jorden som befinner sig närmast månen och den del som befinner sig på motsatt sida (till följd av jordens omloppsrörelse), råder högvatten, så kallad flod. Eftersom månen rör sig runt jorden i samma riktning som jorden roterar runt sin egen axel tar det 24 timmar och 50 minuter innan samma plats på jorden åter befinner sig närmast månen. Därmed har vi i Sverige ebb och flod ungefär två gånger per dygn, så kallat halvdagligt tidvatten, och av denna anledning äger högvatten även rum nästan en timme senare varje dag. Således är det drygt 6 timmar mellan ebb och flod.

Vid fullmåne och nymåne är tidvattnet som högst. Denna företeelse kallas springflod och uppstår då månens och solens gravitationskrafter är i linje och således förstärker varandra. Avståndet mellan jorden och solen är mycket större än mellan jorden och månen. Därför är solens tidvattenalstrande kraft endast cirka hälften så stor som månens, trots solens betydligt större massa. Fullmånen uppträder med 29,5 dygns mellanrum och nymånen i mitten av den perioden. Således äger springflod rum 2-3 gånger i månaden och den resulterande tidvattenkraften blir då omkring en halv gång större än normalt. Vid halvmåne är tidvattenhöjden istället som lägst, så kallad nipflod. I det läget motverkar istället månens och solens dragningskraft varandra då de befinner sig i 90° vinkel i förhållande till jorden. Detta resulterar i att tidvattenkraften istället blir reducerad till hälften av det normala (Fonselius, 1995).

Tidvattenhöjden, alltså avståndet mellan ebb och flod, och tidvattenströmmarna är som högst i smala och grunda sund och vikar och intill kuster, samt där två tidvattenvågor möts. I Bay of Fundy i Kanada är skillnaden mellan ebb och flod över 15 meter (se Bay of Fundy, Canada's Natural Wonder)! Jämfört med detta är tidvattenhöjden i Sverige mycket låg, med som högst cirka 35cm i Skagerrak respektive 25 centimeter i Kattegatt.

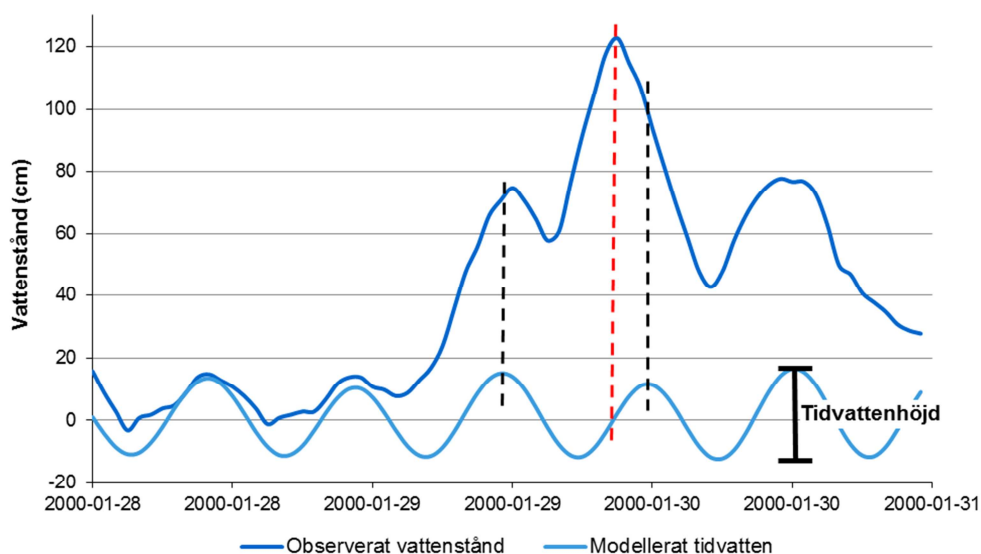
Längs den svenska västkusten är tidvattnet en effekt av öppningen mot Nordsjön och Atlanten. Längs Jyllands västkust och i mynningen mot Nordsjön gör friktionen mot botten att tidvattenvågen försvagas avsevärt och endast en svag våg tränger in i Skagerrak, där tidvattnet ändå är som kraftigast med svenska mått mätt. På sin väg söderut i Kattegatt och genom Öresund försvagas tidvattenvågen ytterligare (Fonselius, 1995).

I Egentliga Östersjön³ och längre norrut i Bottniska viken förekommer så gott som inget tidvatten, då vattenreservoaren är för liten och mynningen till Östersjön för trång och grund. Tidvattenvariationer i Kattegatt dämpas så mycket på vägen genom Öresund och

³ Egentliga Östersjön kallas den del av Östersjön som sträcker sig från Ålands hav till de danska sunden

Bälten att endast en minimal effekt kvarstår när vågen når Östersjön. Därmed blir tidvattenhöjden i Södra Östersjön bara några centimeter och den försvagas ytterligare norrut (Stigebrandt, 2001). Eventuellt tidvatten i Östersjön kan därmed anses vara försumbart i detta sammanhang.

I figur 6 visas en analys av tidvattnet vid station Kungsvik i Skagerrak under ett stormtillfälle i januari år 2000. I figuren ses att det momentana tidvattenståndet vid stormflodens maximum var ganska exakt 0 centimeter. Den maximala tidvattenhöjden i figuren är omkring 30 centimeter. Detta innebär att tidvattnet hade kunnat bidra till en 15 centimeter högre stormflod om stormflodens maximum hade sammanfallit med en maximal tidvattenhöjd. I kapitel 5.2 redovisas denna ytterligare höjning som ett maximalt tidvattenstånd hade kunnat bidra med vid olika stormflodstillfällen i Skagerrak, Kattegatt och Öresund.



Figur 6. Stormflod vid mätstation Kungsvik i Skagerrak och en harmonisk analys (svängningarna) av tidvattnet 28-31 januari 2000. Streckad svart linje visar tidpunkt för maximal tidvattenhöjd. Den streckade röda linjen indikerar tidpunkt för stormflodens högsta havsnivå. Det momentana tidvattenståndet vid denna tidpunkt var 10-15 cm lägre än tidvattenmaximum.

3.6 Meteorologiska modeller

En analys och sammanfattning av väder som föranleder höga stormfloder har genomförts för varje kustområde. Tre olika meteorologiska dataset har använts för att ta fram dessa väderanalyser, MESAN⁴ (Häggmark m.fl., 1997), EURO4M⁵ (Landelius *et al.*, 2016) och ERA-Interim⁶ (Dee *et al.*, 2011). MESAN (MESoskalig ANalys) är en produkt som utvecklats för att bland annat användas i framställningar av nulägesanalyser, korttidsprognoser (så kallad nowcasting) och återanalyser. Medan traditionella numeriska

⁴ MESAN= meteorologisk analysmodell som beskriver det aktuella väderläget i gridrutor. <https://www.smhi.se/klimatdata/oppna-data/meteorologiska-data/analysmodell-mesan-1.30445>

⁵ EURO4M = EU-projekt som återanalyserade klimatdata för perioden 1979-2014 med 22 km grid-upplösning

⁶ ERA-Interim = återanalysmodell med global täckning och gridupplösning ca 80 km, från Europeiska centret ECMWF

väderprognosmodeller (NWP) körs fyra gånger per dygn, körs MESAN varje timme och kombinerar då information från den senaste tillgängliga NWP körningen med de senaste observationerna. På så vis förfinas den första grövre uppskattningen av fältet som NWP-data utgör med hjälp av nya observationer som inte var tillgängliga vid tidpunkten för produktionen av NWP-data. För att på bästa möjliga sätt kunna fylla ut luckor mellan observationspunkter används en teknik som kallas optimal interpolation (OI) i MESAN analysen. OI bygger på hur olika uppmätta data normalt sett varierar i rummet, exempelvis genom att jämföra höjden vid observationspunkten med höjden i aktuell gridruta, och applicera detta på variabelns normalvariation i höjddled. En annan viktig del av tekniken är användningen av så kallade strukturfunktioner vilka är baserade på historiska data och beskriver relationen mellan parametrar i tid och rum.

MESAN producerar griddad information vilken blir tillgänglig kort efter observationstiden. Dessutom kan nya fält beräknas som innehåller efterbehandlad och mer detaljerad information, exempelvis om nederbörden kommer som snö eller som regn. Beträffande användningen av realtidsobservationer, bör det noteras att dessas kvalitet endast kontrolleras till en begränsad grad. Mätdata med stora avvikelser ignoreras automatiskt medan en noggrann kvalitetskontroll inte kan förväntas inom tidsramen för operativ användning. Dessutom utgör de observationer som tillgängliggörs i realtid endast en delmängd av det totala antalet observationer och därmed är mängden observationer för MESAN-systemet begränsad.

Återanalysprodukter, som den globala ERA-Interim eller den regionala EURO4M, liknar MESAN men har tagits fram i ett annat syfte. Medan MESAN är en operativ produkt, främst avsedd för att förbättra korttidsprognoser (så kallade nowcasts), är återanalyser optimerade för att bedöma effekterna av tidigare väder- och klimathändelser och klimatstatistik. Därför utnyttjar återanalysprodukter alla tillgängliga observationer, även de uppgifter som har rapporterats sent. Dessutom har indata hunnit kvalitetskontrolleras mer utförligt.

En annan skillnad är kvalitetsförändring över tid. MESAN är starkt beroende av den underliggande väderprognosmodellen, vilken förbättras och därmed förändras över tid. Sådan utveckling, inklusive förändringar av upplösning, gör att produkten blir inhomogen över tid och det komplicerar exempelvis uppskattning av klimatförändringar.

Återanalyser genomförs därför vanligen med ett system som är fryst över tiden och som spänner över en längre period. ERA-Interim och EURO4M data finns tillgängliga tillbaka till 1979, men andra återanalysprodukter går längre tillbaka än 1900. Slutligen är de stora skillnaderna mellan ERA-Interim och EURO4M det område vilket de täcker och den horisontella upplösningen. ERA-Interim är en global analys med en upplösning på cirka 80 kilometer, medan EURO4M endast omfattar Europa, men har en högre upplösning på 22 kilometer.

Varför används modeller och inte bara mätdata för den här typen av väderanalyser? Observationsnätet är ganska grovt, bland annat av ekonomiska skäl. Observationer finns enbart för ett fåtal punkter i Sverige och är mycket begränsade över havet. Luckor i tid förekommer också och observationer kan utebli då utrustning eller instrument krånglar. Dessa luckor kan lyckligtvis fyllas med hjälp av modeller som beräknar de saknade datapunkterna med hjälp av kända fysikaliska ekvationer.

4 Metodik

Tillfällen som lett till höga havsvattenstånd analyserades dels i relation till väderförhållanden och dels avseende stormfloders nivåer i de olika kustområdena. SMHI utfärdar varningar för höga vattenstånd enligt fastställda nivåer i två klasser (tabell 2). Dynamiken kring dessa klass 1- och klass 2-tillfällen undersöktes också.

Tabell 2. Varningsgränser klass 1 och klass 2 för de olika kustområdena längs Sveriges kust. Nivåerna är olika eftersom höga vattenstånd är mer eller mindre vanliga på olika platser längs kusten.

Kustområde	Varningsgräns för klass 1	Varningsgräns för klass 2
Bottenviken, Södra Östersjön, Öresund, Kattegatt, Skagerrak	≥ 80 cm över medelvattenstånd	≥ 120 cm över medelvattenstånd
Bottenhavet, Södra Bottenhavet, Östersjön	≥ 65 cm över medelvattenstånd	≥ 100 cm över medelvattenstånd

4.1 Stormanalyser

Kända väder- och vattenståndshändelser i respektive kustområde analyserades utifrån så kallade återanalyser (se kap. 3.6). Havsbassängernas generella karaktär och relationen mellan vattenstånd och väderdynamik beskrivs.

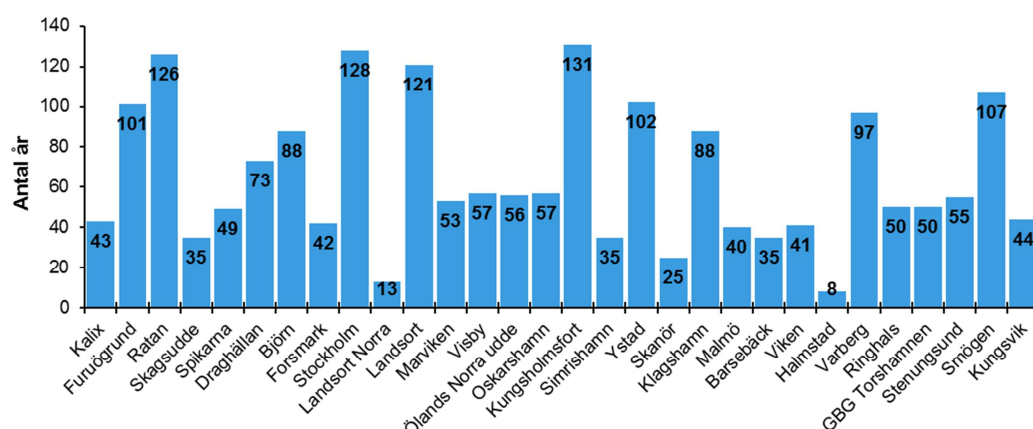
För var och en av de 31 mätstationerna framtoogs de tillfällen som genererat den högsta observerade stormfloden, den högsta nettohöjningen respektive den högsta havsnivån före storm. Resultat för Göteborg Klippan och Göteborg Torshamnen har slagits ihop. Detsamma gäller Landsort och Landsort Norra. Sambandet mellan parametrarna avser:

$$\text{Stormflod} = \text{havsnivå före storm} + \text{nettohöjning}$$

Stormflod är här den högsta havsnivån (cm) vid stormtillfället, havsnivå före storm är medelvärdet av havsnivån en period före stormfloden och nettohöjning är alltså skillnaden dem emellan (se även Schöld m.fl., 2017).

4.2 Vattenståndsdynamik

Vattenståndsdynamiken i samband med varningar för höga havsvattenstånd studerades för de olika stationerna. Antalet klass 1- och klass 2-tillfällen analyserades för hela mätperioden, i medelantal per år, och maximalt antal per månad. Även händelsernas varaktighet analyserades och medel- och maximal varaktighet per tillfälle, samt maximal sammanlagd varaktighet per månad togs fram (se bilaga 2 för en sammanfattning av resultaten).



Figur 7. Antal år för vilka mätdata finns tillgängliga på timbasis för varje mätstation. Antal år är den period för vilken data har analyserats i denna rapport.

Eftersom mätseriens längd (figur 7) och varningsgränserna (tabell 2) skiljer sig åt mellan stationer och kustområden går det inte att direkt jämföra alla resultat. Det framgår dock

tydligt i bilaga 2 att vissa stationer har ett ganska stort antal klass 2-tillfällen trots en förhållandevis kort mätserie. För andra stationer är varaktighet och antal tillfällen mycket lågt, trots att den analyserade perioden är lång. Uppgifter kring medelantal tillfällen per år har också tagits fram. I Schöld m.fl. (2017) beskrivs mer kring metodiken.

5 Resultat

5.1 Väder och vattenstånd

I detta kapitel görs en överblick över havsbassängernas karaktär och vädersituationer sammanfattas som historiskt sett har lett till höga vattenstånd i respektive kustområde. Urvalet av stormtillfällen har baserats på vattenståndsnivån och att stormarna inträffat efter år 1979, då data från ERA-Interim och EURO4M finns tillgängliga.

I bilaga 3 och bilaga 4 visas analyser över stormar. Kartorna över lufttryck avser tidpunkten då det högsta uppmätta vattenståndet nåddes. Lågtrycksbanan under stormen är också illustrerad i kartorna. Data för var sjätte timme av lufttrycket har hämtats från EURO4M eller ERA-Interim (bilaga 3). De kartanalyser (bilaga 4) som även visar den högsta byvinden bygger enbart på MESAN för varje timme. I bilagorna finns också tabeller över de högsta vattenstånden vid respektive stormtillfälle.

Det är inte bara kraftiga vindar som påverkar vattenståndet till havs. Även lufttrycket har en direkt, om än trögare, inverkan på vattenståndet. Lufttryckets medelvärde vid havsytan är drygt 1000 hPa. En ökning eller minskning på 1 hPa ger en vattenståndsskillnad på ungefär 1 cm. Generellt är vattenståndet ofta högt under höst och vinter då det passerar många lågtryck, men lågt under vår och sommar då det ofta är högtryck och svaga vindar. Lufttrycket kan också medföra att vatten pressas in i eller ut ur Östersjön via Öresund om en stabil tryckskillnad föreligger mellan Östersjön och Västerhavet. Det kan även orsaka en snedställning av Östersjön med relativt stora nivåskillnader mellan nord och syd eller väst och öst.

Det förekommer också en mer storskalig, naturlig variabilitet som kan påverka det regionala havsvattenståndet mellan olika säsonger, år eller årtionden. Förändringar i storskaliga klimatmönster kan exempelvis göra att kraftiga oväder med västliga vindar och olika lågtryckssystem blir mer frekventa eller starkare under vissa tidsperioder. Detta påverkar i sin tur havsvattenståndet i Nordsjön och i förlängningen även i områden längs Sveriges kust. Till exempel påverkar storskaliga svängningar i atmosfären över Nordatlanten, den NordAtlantiska Oscillationen (NAO), trycksystemens banor och leder till att havsvattenståndet varierar mellan olika säsonger, år eller rentav årtionden (se exempelvis Chafik *et al.*, 2017 och referenser däri). För mer information om de mekanismer som påverkar havsvattenståndet, se Johansson m.fl. (2017).

5.1.1 Bottenviken och Bottenhavet



I Östersjöns nordligaste del stiger vattenståndet då sydliga eller sydvästliga vindar över Östersjön pressar vatten norrut. Samtidigt sjunker havsvattenståndet i de södra delarna av Östersjön. Det högsta vattenstånd som SMHI har observerat i området, 177 cm över medelvattenstånd, inträffade vid mätstation Kalix i januari 1984. Vid det tillfället blåste stormbyar från söder.

Att havsnivån befinner sig över medelvattenståndet förekommer förhållandevis ofta i Bottniska viken. Då lågtryck eller sydliga vindar har pressat upp vattnet i norra

Östersjön krävs det inte särskilt kraftiga väder för att nivån ska stiga ytterligare och bli märkbart hög. Tryckskillnader, seicher eller vind kan skapa en snedställning eller pendling av havsytan över Östersjön, ungefär på samma vis som vattnet kan pendla i en balja. Eftersom området i nordligaste Bottenviken runt Kalix befinner sig i ena änden av baljan blir dessa effekter särskilt tydliga längst i norr.

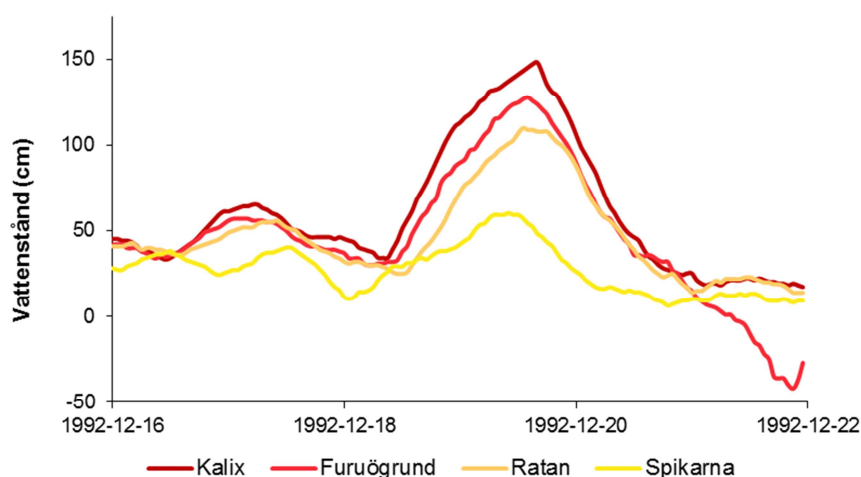
13-14 januari 1984 (bilaga 3 figur 2 och 3). Två lågtryck passerade i området med några dygns mellanrum. Det första rörde sig norrut nära gränsen mellan Sverige och Norge. Det andra rörde sig på en sydligare bana från Nordsjön mot sydligaste Finland.

Resultatet blev en flera dygn lång period med kraftiga sydvindar från södra Östersjön och upp mot Bottenviken vilket orsakade rekordhöga vattenstånd i Bottenviken och Bottenhavet. Vid mätstationen i Kalix uppmättes 177 cm, vid Furuögrund 148 cm, Ratan 133 cm och vid Spikarna 129 cm över medelvattenstånd. Alla nivåer avser nivå över medelvattenstånd. Från Skagsudde och Draghällan finns inte data från detta tillfälle.

En bidragande orsak till det mycket höga vattenståndet kan ha varit att lufttrycket i absoluta tal var mycket lågt. Den 14 januari 00 UTC var lufttrycket över mellersta Sverige under 950 hPa, vilket är mycket lågt om än inte något rekord. På grund av de dubbla lågtryckspassagerna höll sig lufttrycket på låga nivåer under relativt lång tid.

19 december 1992 (bilaga 3 figur 7). Ett djupt lågtryck som rörde sig på en nordostlig bana från området mellan Island och Skottland till Ishavet gav en ungefär 24 timmar lång period den 18-19 december med kraftiga sydvindar längs hela Bottniska viken och delvis även Östersjön. Därefter vred vinden mot sydväst-väst och var då fortfarande mycket kraftig.

Den här lågtryckspassagen orsakade den kraftigaste byvind vi någonsin registrerat i Sverige. Nämligen 81 m/s vid Tarfala i Kebnekaisefjällen. Vid detta tillfälle uppmättes 148 cm över medelvattenstånd vid mätstationen i Kalix, 128 cm vid Furuögrund, 109 cm vid Ratan, och enbart 60 cm över medelvattenstånd vid Spikarna (figur 8). För mätstationerna Skagsudde och Draghällan finns inte mätdata från detta tillfälle.



Figur 8. Havsvattenstånd (cm över medelvattenstånd) vid stationerna Kalix, Furuögrund, Ratan (i Bottenviken) och Spikarna (i Bottenhavet) under stormen december 1992.

23 februari 2002 (bilaga 3 figur 8). Ett lågtryck rörde sig på en nordlig bana från strax norr om Island till Nordnorge. Samtidigt bildades ett dellågtryck över Svealand som rörde sig upp mot Norra Kvarken. Detta gav en 1-1½ dygn lång period med kraftiga sydliga-sydostliga vindar över Bottniska viken och delvis även över Östersjön. Dellågtrycket som bildades var mycket djupt, cirka 955 hPa i centrum, vilket kan ha bidragit till de höga

vattenstånd. Under denna period uppmättes 144 cm över medelvattenstånd vid mätstationen i Kalix och 131 cm över medelvattenstånd vid Skagsudde.

9 december 2011 (bilaga 3 figur 13 och bilaga 4 figur 5). Ett djupt lågtryck rörde sig med sitt centrum i gränsområdet mellan Ålands hav och Bottenhavet. Norr om lågtrycket rådde kraftiga vindar i sektorn mellan syd och ost, vilket pressade vatten mot den svenska Bottenhavskusten.

När lågtrycket nått södra Finland den 10 december vred vinden mot nordost vilket bör ha bidragit till att vatten fortsatte att pressas mot den svenska kusten. Först när lågtrycket fortsatte österut och vinden vred upp mot nord eller nordväst bör pressen ha avtagit.

Dagarna innan, den 7-8 december, hade ett annat men ganska svagt lågtryck passerat över Bottenhavet. Det kan ha bidragit till att vattennivån var relativt hög i bassängen redan när det djupa lågtrycket närmade sig. Vid detta tillfälle steg vattenståndet som mest i Bottenhavet med drygt 120 cm över medelvattenstånd vid Skagsudde och Spikarna. I Bottenviken resulterade det i 102 till 109 cm och vid Forsmark steg vattenståndet till 101 cm över medelvattenstånd.

En annan detalj, som emellertid inte har någon betydelse för havsvattenståndet, är att de kraftiga ostvindarna alstrade för årstiden mycket stora nederbörds mängder en bit innanför kusten.

En gemensam nämnare i de här fallen är lågtryck som på sin bana passerar nordväst om Sverige och därmed skapar en kraftig sydlig vindkomponent över Bottniska viken. I ett par av fallen följs lågtrycket av ytterligare ett lågtryck som förlänger tiden med kraftiga sydvindar. Ovanligt låga lufttryck i lågtryckens centrum kan ytterligare ha bidragit till de höga vattenstånd. I Bottenhavet är ostlig pålandsvind en viktig faktor som gör att vatten pressas upp mot kusten medan främst sydliga vindar ger denna effekt i Bottenviken.

5.1.2 Södra Bottenhavet



Vattenståndet i innanhavet Östersjön varierar bland annat på grund av växlingar i vind och lufttryck. Om det under en längre tid blåser i samma vindriktning stuvats vatten upp i ena änden medan vattenståndet blir lågt i den andra. När vinden sedan avtar sätts systemet i svängning då vattnet strömmar tillbaka. Från norr till söder i Östersjön, befinner sig stationerna i den norra delen av Egentliga Östersjön och i viss mån även Björn och Forsmark ganska nära noden i detta system där vattenytan håller sig konstant, och påverkas därför inte av dessa stationära svängningar i samma utsträckning som mätstationerna i norra och i södra Sverige. Eftersom mätstationen Forsmark är belägen i Öregrundsgrepen kan en mer lokal uppstuvningseffekt göra att vattenståndet här blir högt vid nordliga vindar.

Södra Bottenhavet har definierats som en egen kuststräcka där Björn och Forsmark är belägna. I området är det tämligen glest med mätstationer för havsnivå och någon exakt gräns mellan Södra Bottenhavet och Östersjön går därmed inte att dra. Eftersom kustlinjen söderut böjer av längs Roslagskusten kan olika vindriktningar förorsaka höga vattenstånd i den norra och den södra delen. Den södra delen av området är troligtvis mer utsatt för vind omkring syd/sydöst då den böjer av västerut. Gemensamt för stora delar av den södra kuststräckan är emellertid att den rikliga förekomsten av öar gör att innerskärgården ligger förhållandevis skyddad.

Mätstationerna i Södra Bottenhavet är belägna längs Upplandskusten där kustlinjen istället böjer av österut. Därmed är det framförallt vind omkring nord/nordost som kan orsaka höga vattenstånd vid Björn och Forsmark. Mätstationen vid Forsmark finns dessutom innanför Gräsö i Öregrundsgrepen och är därför förhållandevis skyddad från pålandsvind österifrån. Om vinden istället blåser norrifrån rakt in i området kan vattnet

däremot effektivt pressas upp eftersom sundet smalnar av söderut och vattnet då inte har någonstans att ta vägen. Även höga bakgrunds nivåer kan troligtvis bli mer långvariga eftersom vattnet helt enkelt rinner undan långsammare. Ett typexempel på just en sådan vädersituation är stormen Per som drog förbi i januari 2007 då rekordhög vattenstånd uppmättes vid Forsmark.

Eftersom mätstationen vid Björn avvecklades under 1978 finns det i denna sammanfattning inga illustrationer för stormbanor som föranlett rekordhög vattenstånd vid denna station. Under den nästan 90 år långa mätserien uppmättes rekordet 135 cm över medelvattenstånd under en storm i januari 1914.

Stormen Per 14 januari 2007 (bilaga 3 figur 10 och bilaga 4 figur 2). Under stormen Per i januari 2007 uppmättes rekordhög 145 cm över medelvattenstånd vid mätstationen vid Forsmark. Vattenståndet blev även högt både längre söderut och norrut, förmodligen på grund av att havsnivån i Östersjön pressats upp redan innan stormen. Vid Spikarna uppmättes exempelvis 100 cm över medelvattenstånd.

Tidigare rekord vid Forsmark var på 137 respektive 129 cm över medelvattenstånd i december 1986 och januari 1992. Vid dessa tre tillfällen var vädersituationen tämligen likartad.

Djupa lågtryck passerade med sitt centrum över sydligaste eller mellersta delen av Bottenhavet. På lågtryckens baksida blåste det upp nordlig till nordvästlig storm. Stormvindarna pressade vatten mot Upplandskusten, som böjer av österut och därmed blir mycket utsatt för vind omkring nord. De djupa lågtrycken som föregick nordvindarna bidrog sannolikt till att mycket vatten samlades i Bottenhavet inför stormarna 1992 och 2007 då våra analyser visar att nivån före storm var 43 respektive 53 cm över medelvattenstånd. 1986 hade inte nivån stigit i samma omfattning, då var utgångsläget bara 24 cm över medelvattenstånd.

5.1.3 Östersjön



En viktig utgångspunkt för höga nivåer före storm i kustområde Östersjön är förhärskande väst- till nordvästliga vindar som succesivt höjer vattenståndet. Innanhavet Östersjön är en förhållandevis sluten bassäng och vattenutbytet är begränsat via de trånga passagerna mellan Öresund och Bälten. Därför är det där vanligare med höga utgångslägen än på västkusten. Då kraftiga lågtryck eller ihållande vindar över Nordsjön höjer

vattenståndet i Västerhavet, sker en transport av vatten in genom Bälten och Öresund, och vattenståndet höjs då långsamt och ofta långvarigt i Östersjön.

I Östersjön som helhet är tidvattnet försumbart, och utgörs enbart av någon cm till följd av områdets storlek och trånga mynning. Generellt har kustområdena Västerhavet, Södra Östersjön och Bottenhavet större stormrelaterade variationer i vattenstånd än kustområdet Östersjön. Medelnivån i kustområde Östersjön beskrivs väl av det observerade vattenståndet i de centrala delarna, till exempel vid stationen Landsort Norra.

Nivån före storm kan efter en blåsig höst med kraftiga nordvästvindar stiga till omkring 60 cm över medelvattenstånd. När ett lågtryck sedan passerar, ofta på väg österut över Sverige, kan kraftiga nordostvindar som drar ned efter lågtryckspassagen omfördela vattenmassorna och höja vattenståndet längs med ostkusten.

18 januari 1983 (bilaga 3 figur 1). Ett mycket djupt lågtryck passerade österut över Svealand. Söder om lågtrycket rådde kraftiga västliga till nordvästliga vindar som bör ha bidragit till att pressa in vatten från Skagerrak och Kattegatt till Östersjön. Lågtrycket

följdes av kraftiga nordvindar som pressade vatten från Bottenviken söderut mot Östersjön. I Bottniska viken kan det ha samlats vatten tidigare under månaden eftersom det då ofta rådde västliga till sydliga vindar.

Även det låga lufttrycket i samband med lågtryckets passage över Östersjön kan ha bidragit till det höga vattenståndet. Vid detta tillfälle observerades rekordhöga vattenstånd vid många stationer i området. 117 cm över medelvattenstånd registrerades vid mätstationen i Stockholm och den vid Ölands Norra udde. 96 respektive 95 cm uppmättes vid Landsort och Marviken och 100 cm över medelvattenstånd vid Oskarshamn. Nivån före storm låg omkring 50 cm över medelvattenstånd i Östersjön. Vid detta tillfälle var vattenståndet högt även vid Forsmark. Nivån före storm beräknades till 54 cm över medelvattenstånd och stormfloden mätte 115 cm.

21 januari 2007 (bilaga 4 figur 3). Januari 2007 präglades av en intensiv lågtryckstrafik och mycket vatten samlades i Östersjön. Den 21:a passerade ett lågtryck österut över södra Svealand. Söder om lågtrycket pressade kraftiga västvindar in vatten mot Östersjön från Västerhavet. Lågtrycket följdes av vindar omkring nord och vatten från Bottniska viken bör ha pressats söderut. Vid detta tillfälle uppmättes drygt 100 cm över medelvattenstånd vid mätstationen i Stockholm.

Väderbilden var i stort sett densamma som i fallet från 1983, lågtrycket vid det tillfället var dock något intensivare.

14 januari 2012 (bilaga 3 figur 14). Ett lågtrycksområde passerade den 12:e januari österut över Sverige. Lågtrycksområdet hade två delcentrum, ett över mellersta Norrland och ett över Svealand. Lågtrycket bromsade upp nära Finska viken den 13:e och rörde sig den 14:e söderut över Baltikum.

Detta gav upphov till en ganska lång period med vind omkring nord över Bottniska viken och Östersjön. Den 13-14:e var det stormvindar på Örskär, Söderarm, Svenska Högarna och Fårösund. Drygt 100 cm över medelvattenstånd registrerades vid Ölands Norra udde.

5.1.4 Södra Östersjön



Många av de rekord som noterats i Södra Östersjön har infallit före det att vi har tillgång till data för den typ av väderrelaterade återanalyser som presenteras i denna rapport. Lågtrycken under januari 1983 och 2012 som beskrivs ovan påverkade emellertid även Södra Östersjön i viss utsträckning med stormfloder på

omkring 110 cm över medelvattenstånd.

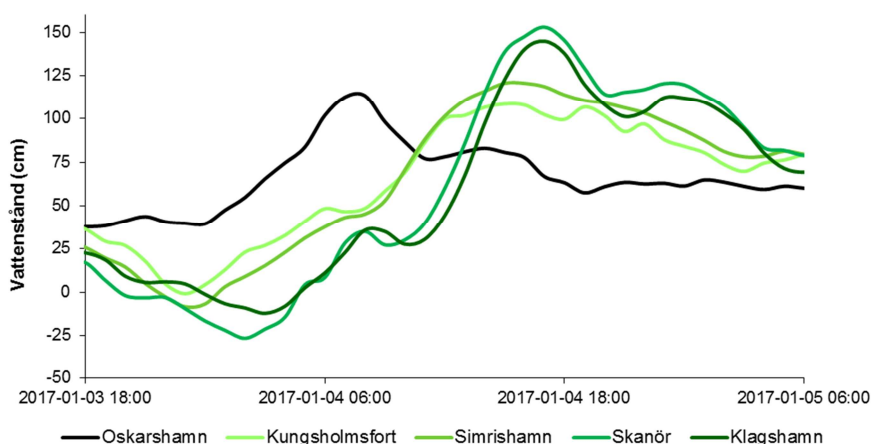
På morgonen den 30:e december 1904 befann sig ett lågtryck mellan Sydnorge och Jylland. Lågtrycket intensifierades hastigt och rörde sig åt sydost. Lågtryckets bana innebar att vinden vred hastigt från kraftiga västvindar till nordostlig vind av storm- eller orkanstyrka. Vinden och tryckfördelningen medförde att vatten pressades mot Södra Östersjön både från Västerhavet och från de östligare delarna av Östersjön och nivån steg till hela 169 cm över medelvattenstånd vid mätstationen i Ystad, ett rekord som står sig än idag (se *Nyårsstormen 1904* i Kunsksbankens på smhi.se). I januari 1914 blev vattenståndet också mycket högt i Södra Östersjön, med det hittills oöverträffade rekordet om 133 cm över medelvattenstånd vid mätstationen i Kungsholmsfort. Den absolut högsta stormflod som drabbat området är emellertid Backafloden i november 1872. Vid det tillfället sägs stormfloden ha varit över 3 meter över medelvattenstånd i Abbekås. Tyvärr inrättades inte mätstationen vid Ystad förrän år 1886 och SMHI har därmed inga mätdata från stationer i området som kan bekräfta det oerhört höga vattenståndet och beskriva väderläget vid tillfället i detalj. Att Backafloden medförde en stormflod av

hittills oöverträffad nivå kan dock sägas vara tämligen säkerställt (Fredriksson m.fl., 2017).

Det finns även mer nutida observationer av höga vattenstånd i området. I början av januari 2017 passerade ett lågtryck sydost över mellan- och södra Sverige. I samband med detta blåste nordvästlig vind på västkusten och bakom lågtrycket blåste det kraftig nordöstlig vind, vilket pressade vattnet mot den svenska ostkusten.

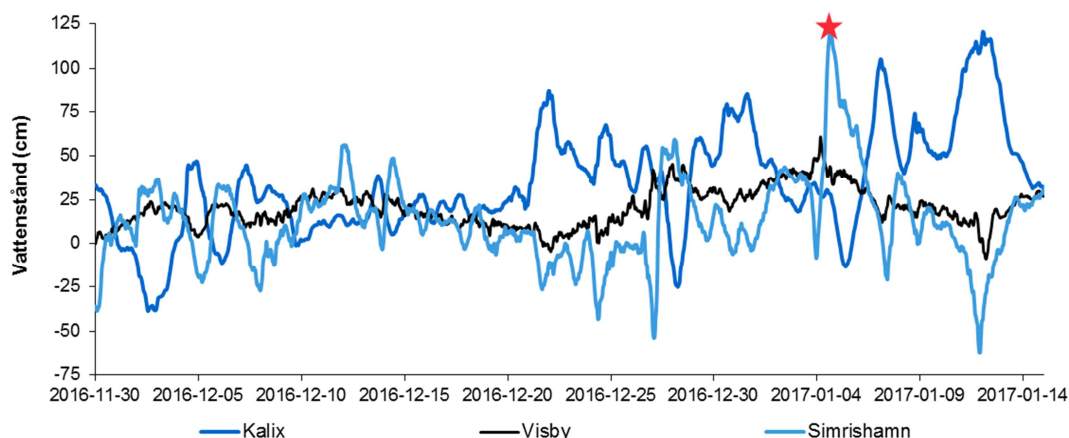
Vattenståndshöjningen drabbade först Oskarshamn och rörde sig åt sydväst i samband med lågtryckets förflyttning (figur 9). Särskilt i den västra delen av Södra Östersjön blev vattenståndet ovanligt högt och 112 cm över medelvattenstånd noterades vid Kungsholmsfort, 123 cm vid Simrishamn, 154 cm vid Skanör och 146 cm över medelvattenstånd vid Klagshamn.

Vid detta tillfälle var nivån före storm i kustområdet omkring 20 cm över medelvattenstånd, alltså bara något förhöjd. Det förekommer dock att havsnivån före storm befinner sig omkring 50-60 cm över medelvattenstånd i de södra delarna av Östersjön. Denna situation uppkommer vanligen då flera lågtryck följer på varandra, eller då ihållande kuling pressar in vatten från Västerhavet via Öresund och Bälten. Om så hade varit fallet inför januari 2017 hade stormfloderna kunnat bli ytterligare en bit högre.



Figur 9. Havsvattenstånd (cm över medelvattenstånd) vid mätstationerna Oskarshamn, Kungsholmsfort, Simrishamn, Skanör och Klagshamn 3-5 januari 2017.

Vid detta tillfälle kan man se att havsnivån i området var i svängning redan innan stormfloden och att denna svängning bidrog till den höga nettohöjningen (figur 10). Stående vågor, seicher, kan uppkomma när vinden lägger sig efter att ha blåst i samma riktning under en längre tid. I Södra Östersjön förekommer seicher mellan kustområdet och exempelvis Bottenviken respektive Finska viken (Wübbert och Krauss, 1979). Svängningarna kan också samverka med varandra (Fonselius, 1995). I januari 2017 ser vågen ut att röra sig mellan norra Bottenviken (Kalix) och Södra Östersjön (Simrishamn m.fl.). Man ser tydligt att området runt Visby utgör en ungefärlig nodlinje där svängningsamplituden är minimal (figur 10). Parallellt med denna seiche verkar även en svängning pågå mellan Södra Östersjön och Finska viken (visas inte i figuren).



Figur 10. Havsvattenstånd (cm) vid mätstationerna Kalix, Visby och Simrishamn. En seiche rör sig mellan Bottenviken och Södra Östersjön och bidrar till det höga vattenståndet 2017-01-04 (röd stjärna).

Innan stormfloden i januari var nivån före storm i kustområdet omkring 20 cm över medelvattenståndet, alltså bara något förhöjd. Det förekommer dock att havsnivån före storm befinner sig omkring 50-60 cm över medelvattenståndet i de södra delarna av Östersjön. Denna situation uppkommer vanligen då flera lågtryck följer på varandra, eller då ihållande kuling pressar in vatten från Västerhavet via Öresund och Bälten. Om så hade varit fallet inför januari 2017 hade stormfloderna kunnat bli ännu högre.

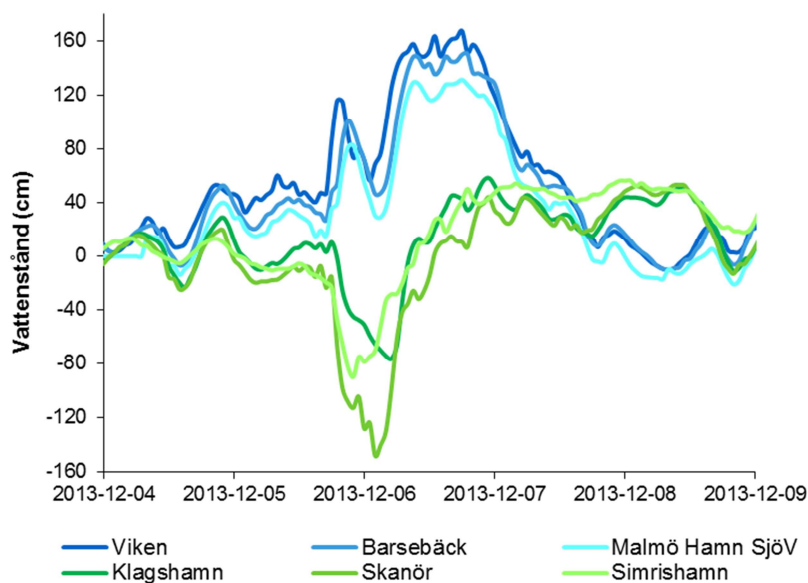
5.1.5 Öresund



Vattenståndsskillnaden över Öresund kan vara stor beroende på variationer i vindriktningen. I norra delen av sundet stiger nivåerna då kraftig vind omkring väst pressar Kattegatts vatten söderut där det stoppas upp i den trängre passagen genom sundet. Vattenståndet blir ofta

extra högt i sundets norra mynning. Vid Viken har vattenstånd över 160 cm över medelvattenstånd registrerats vid flertalet tillfällen. I sundets södra del stiger vattenståndet då kraftiga vindar omkring nord över Östersjön pressar vattnet söderut samtidigt som nivån i Västerhavet är relativt hög. Vid de mest extrema tillfällena kan nivåskillnaden mellan Viken i norr och Skanör i söder vara omkring tre meter. Även variationerna i tid kan vara mycket stora då vattenståndet i sundet kan stiga och sjunka mycket snabbt.

I Öresund och Södra Östersjön påverkar topografin vattnets rörelse i hög utsträckning och därför är vattenståndsdynamiken i dessa områden extra komplex. Höga och låga vattenstånd med en snedställning av havsytan i sundet kan alltså inträffa vid vindstuvning både norr- och söderifrån. Det är inte ovanligt att vattenståndet i området norr om bron är högt medan det istället är lågt söder om bron och vice versa (figur 11). Av denna anledning har mätstationerna i Öresund och Södra Östersjön delats in på ett annat vis än de traditionellt behandlas inom varningsverksamheten på SMHI. Inom varningsverksamheten tillhör Klagshamn och Skanör Öresund (ofta med tillägget ”söder om bron” vid ett varningsläge). I denna rapport är indelningen lite grövre och Klagshamn och Skanör tillhör istället Södra Östersjön eftersom de samvarierar med detta område i högre utsträckning än de gör med de mätstationer som är belägna norr om bron i Öresund.



Figur 11. Havsvattenstånd (cm) under stormen Sven den 6:e december 2013 vid mätstationer i Öresund (Viken, Barsebäck och Malmö) (blå linjer) och Södra Östersjön (Klagshamn, Skanör och Simrishamn) (gröna linjer). Vattenståndsskillnaden mellan Södra Östersjön och Öresund är nästan 320 cm. Sjöfartsverkets mätstation vid Malmö Hamn är operativ idag till skillnad från SMHI:s mätstation Malmö som avvecklades under 1963.

6 november 1985 (bilaga 3 figur 4). Ett lågtryck rörde sig från Brittiska öarna mot Sydnorge och Bohuskusten. Samtidigt intensifierades det kraftigt. Sedan lågtrycket nått sitt mest intensiva stadium splittrades det upp på två dellågtryck, det ena fortsatte mot Bottenhavet medan det andra drog upp mot Trondheimstrakten.

Lufttrycket vid Bohuskusten var ett av de lägsta som observerats i Sverige i november. Vid både Vinga och Kullen blåste västlig orkan 33-34 m/s. Lågtryckets bana medförde kraftiga västliga vindar över Nordsjön och in mot södra Skandinavien, vilket bidrog till att pressa in vatten från Nordsjön till Skagerrak och Kattegatt och vidare in i Öresund.

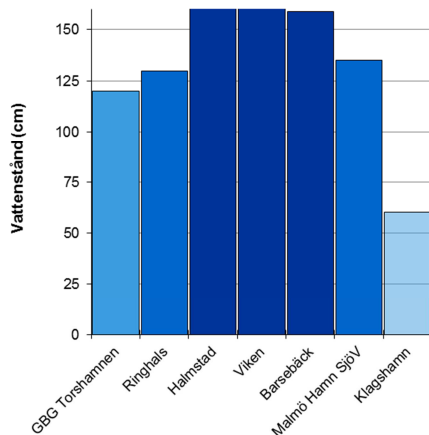
Vid detta tillfälle uppmättes 166 cm över medelvattenstånd vid Viken. Övriga mätstationer i Öresund (Malmö och Barsebäck) var inte aktiva under 1985. Vid Klagshamn i Södra Östersjön var nivån istället strax under medelvattenstånd.

27 november 2011 (bilaga 3 figur 12 och bilaga 4 figur 4). Söder om ett lågtryck på en nordlig bana skapades från den 23:e november en västlig luftström från Atlanten väster om Brittiska öarna över Nordsjön och Skandinavien. Natten mot den 27:e passerade ett första mindre lågtryck på en bana över sydligaste Norrland. Det följdes senare den 27:e av ett intensivare lågtryck på samma bana. Bakom detta lågtryck vred den mycket kraftiga västvinden mot nordväst sent den 27:e och avtog efterhand något.

Som mest blåste det V 30 m/s på Hanö och NV 30 m/s på Väderöarna. Vid detta tillfälle registrerades 162 cm över medelvattenstånd vid Viken, 136 cm vid Barsebäck och 123 cm över medelvattenstånd vid Sjöfartsverkets station vid Malmö Hamn.

Stormen Sven 6 december 2013 (bilaga 4 figur 8). Ett mycket intensivt lågtryck passerade den 5-6:e december med sitt centrum över nordligaste Götaland. Stormen fick namnet Sven. I samband med lågtrycket blåste det upp mycket kraftiga vindar, först från sydväst, senare väst och från sent på kvällen den 5:e eller natten den 6:e nordväst. De mycket kraftiga nordvästvindarna bestod hela dygnet den 6:e och avtog sedan under den 7:e december. Som mest blåste det NV 30 m/s på Nidingen och Väderöarna.

Under stormen Sven blev vattenståndet mycket högt både i Öresund och i Kattegatt. Nivåer närmare 170 cm över medelvattenstånd registrerades vid Viken och Sjöfartsverkets station vid Halmstad (figur 12).



Figur 12. Högsta havsvattenstånd (cm över medelvattenstånd) under Stormen Sven 6 december 2013 vid Klagshamn (Södra Östersjön), Malmö, Barsebäck och Viken (Öresund) samt Halmstad, Ringhals och Göteborg (Kattegatt).

5.1.6 Skagerrak och Kattegatt



Längs med västkusten kan vattenståndet stiga snabbt till mycket höga nivåer när kraftiga västliga vindar pressar upp vattnet mot kusten. En sådan vädersituation uppkom i slutet av november 2015 då stormen Gorm drog in över södra Sverige med mycket kraftiga vindar som vred från syd till väst. Vid Hallands Väderö registrerades byvindar på 39,8 m/s och en medelvind på 29,5 m/s. Vid mätstationen i Halmstad steg vattenståndet mycket hastigt och rekordhöga 235 cm över medelvattenstånd registrerades.

Lokalt, särskilt i de sydliga delarna av Kattegatt, kan vattenståndet snabbt stiga till omkring två meter över medelvattenstånd när kraftiga nordvästvindar pressar vatten söderut. I vikar, bukter och Öresunds mynning möter vattnet topografiska förhållanden som stoppar upp och bidrar till en extra hög stormflod. Dessa vattenståndsförlopp är ofta hastiga och föregås många gånger av sydvästvindar som pressar upp vatten mot kusten och höjer vattenståndet över det normala.

I Skagerrak och Kattegatt finns ett så kallat halvdagligt tidvatten, vars period är på 12 timmar och 25 minuter. Tidvattnet på västkusten uppkommer till följd av öppningen mot Nordsjön och Atlanten och även om tidvattenhöjden längs Sveriges västkust är förhållandevis liten, omkring 35 respektive 25 cm som högst i Skagerrak och Kattegatt, så kan hög- respektive lågvatten göra viss skillnad för vilken nivå en stormflod uppnår.

Vid Sveriges västkust är nettohöjningar orsakade av kraftiga väderhändelser den främst bidragande faktorn till de högsta stormfloderna. Här förefaller havsnivån före stormen inte utgöra en lika viktig komponent som i exempelvis Bottenviken. Längs västkusten finns en större vattenreservoar än i Östersjön och stora mängder vatten kan snabbt pressas in från Atlanten via Nordsjön vid kraftiga lågtryck och västvindar. Omvänt kan vattnet

också sjunka undan hastigt då det slutar blåsa. Stormar förekommer främst under höst- och vinter, då temperaturkontrasten mellan nordlig och sydlig luft som möts är störst. Eftersom Sverige ligger i västvindsbältet och vinden på västkusten kan blåsa förhållandevis ostörd, är vindriktningen där just övervägande västlig eller sydvästlig.

Stormen Gudrun 8 januari 2005 (bilaga 4 figur 1). Gudrun är den svåraste storm vi haft i Sverige på senare tid. Den förde med sig stora skador på skog och egendom och orsakade mycket omfattande samhällsstörningar.

Ett intensivt lågtryck rörde sig med sitt centrum från Sydnorge, över norra Svealand och till Bottenhavet. Lufttrycket var som lägst cirka 960 hPa under kvällen den 8:e. Söder om lågtrycket rädde i Götaland på många håll västliga orkanvindar eller orkanbyar. Flera djupa lågtryck hade redan tidigare tryckt in mycket vatten i Västerhavet och Östersjön och i samband med orkanvindarna steg vattenståndet ytterligare. Vid Göteborg blev stormfloden 149 cm hög och vid Ringhals registrerades rekordhög 165 cm över medelvattenstånd. I Skagerrak registrerades vattenstånd på omkring 130 cm över medelvattenstånd.

Stormen Simone 28 oktober 2013 (bilaga 4 figur 7). Under stormen Simone tog lågtrycket en sydligare bana jämfört med Gudrun, från Jyllands nordspets över norra Götaland mot Ålands hav. Det kraftigaste vindbandet nådde inte lika långt upp längs västkusten som under Gudrun.

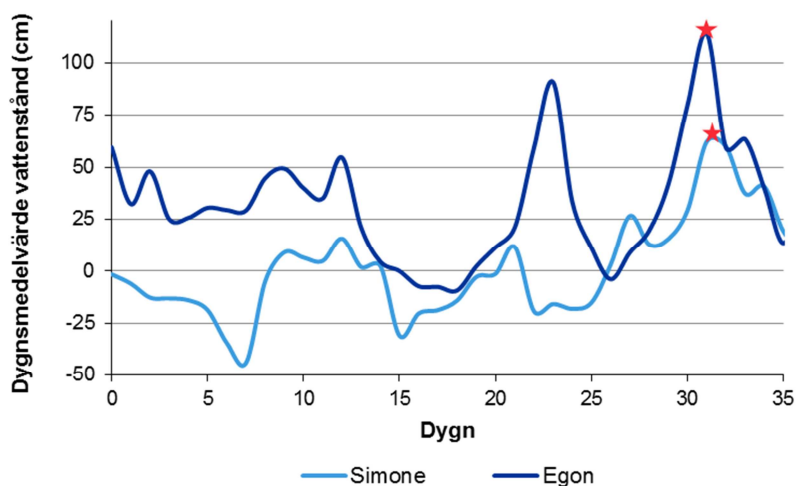
I större delen av Kattegatt och Skagerrak blev den resulterande stormfloden inte högre än 110 cm över medelvattenstånd (förmodligen delvis tack vare ett lågt utgångsläge), men i Halmstad skedde en mycket hastig vattenståndshöjning och Sjöfartsverkets mätstation registrerade hela 170 cm över medelvattenstånd. Det faktum att lågtryckets centrum passerade ganska långt söderut, med full storm och orkanbyar över södra och mellersta västkusten, ledde troligtvis till att vattnet pressades in just i Laholmsbukten.

Stormen Egon 10 januari 2015 (bilaga 4 figur 9). Under stormen Egon tog lågtryckets centrum en bana från södra Norge, över södra Svealand mot Mälardalen. Söder om lågtrycket rädde en kraftig västlig vind in mot hela västkusten. Den nådde inte full orkanstyrka, men i alla fall 30 m/s.

Vattenstånden blev höga längs hela västkusten, från Halmstad i söder till Kungsvik i norr uppmättes vattenstånd på mellan 125 och 160 cm över medelvattenstånd. Högst blev nivåerna i Halmstad och Uddevalla, platser där lokala förhållanden gör att vattenståndet ofta pressas upp extra högt.

Redan innan stormen Egon drog in över Sverige var vattenståndet längs västkusten förhöjt. Tidigare, under december 2014 blåste kraftiga sydvästliga vindar som pressade in vatten mot västkusten och vidare in i Östersjön. Inflödet till Östersjön var det största på 20 år. Precis i början av januari 2015 drog stormen Svea förbi med ett lågtryck som passerade med sitt centrum över södra Norrland. Söder om lågtrycket blåste kraftiga västvindar och vid SMHI:s mätstation vid Väderöarna på Skagerrak uppmättes en medelvind på 22,5 m/s. Gränsen för storm går vid 24,5 m/s i medelvind, men även om regelrätt stormstyrka inte uppnåddes, så räckte vindarna till för att pressa upp vattenståndet på vissa håll i Kattegatt över gränsen för klass 2 varning.

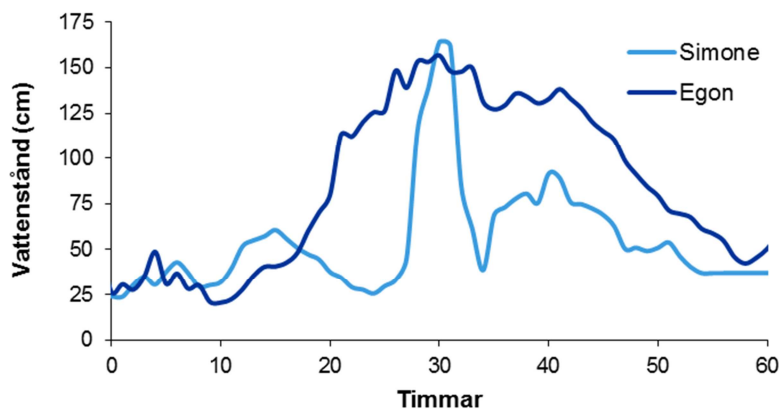
Således var havsnivån omkring 30 cm över medelvattenstånd redan innan Egon drog förbi. Inför Simone var förutsättningarna helt andra. Under hösten 2013 rädde istället ett stabilt högtrycksbetonat väder och vattenstånden längs Sveriges kust var låga. Innan Simone drog förbi var vattenståndet i Kattegatt omkring medelvattenstånd eller strax där under (figur 13).



Figur 13. Havsvattenstånd (cm) angett som dygsmedelvärden för Sjöfartsverkets station vid Halmstad under månaden innan respektive storm. Tidpunkten för stormfloden är markerad med en röd stjärna.

Under Simone steg vattenståndet i Halmstad till 170 cm över medelvattenstånd och under Egon till 158 cm. I Halmstad var alltså de båda stormfloderna i samma storleksordning. Egon orsakade en hög och långvarig förhöjning av vattenståndet på många platser längs västkusten, medan vattenståndshöjningen i Halmstad under Simone blev kraftig men snabbt övergående.

Eftersom vattenståndet under stormen Egon var förhöjt under en ovanligt lång tid orsakades på många håll betydligt större samhällsstörningar än många andra stormfloder av samma nivå eller högre. Det är således inte enbart nivån på en stormflod som är av betydelse, utan även varaktigheten. Stormflodens dynamik skiljer sig mycket tydligt åt mellan de båda stormarna Egon och Simone (figur 14).



Figur 14. Vattenståndsförlopp under stormarna Simone och Egon vid Sjöfartsverkets station vid Halmstad.

Vid mätstationer i Göteborg och Väderöarna uppmättes en högre medelvind under Egon än under Simone och lågtrycket tog längre tid på sig för att passera. Troligtvis var det flera faktorer som sammantaget bidrog till att vattenståndsdynamiken under de båda stormtillfällena blev så väsensskild, varav den tid det tog för Egon att passera och det faktum att det vid detta tillfälle passerade två lågtryck tätt inpå varandra säkerligen var av betydelse.

Gorm 29 november 2015 (bilaga 3 figur 19 och bilaga 4 figur 10). I november 2015 drog en storm in över Sverige som skulle komma att orsaka en dramatisk

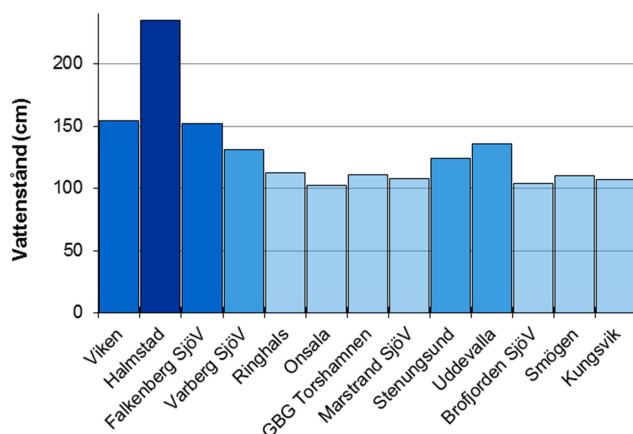
vattenståndshöjning i Kattegatts södra del. Lågtrycket tog en likartad bana som under stormen Simone, från norra Jylland, över Götaland och sedan upp mot norra Östersjön.

De högsta vindstyrkorna var ungefär desamma som under Egon, det vill säga cirka 30 m/s. Det kraftigaste vindbandet nådde inte riktigt upp till de nordligare delarna av västkusten. Däremot kan lågtryckets passage, med dess centrala delar över sydligaste Skagerrak och nordligaste Kattegatt, ha bidragit till det extremt höga vattenståndet i södra Kattegatt.

Under en period i mitten av november hade ett antal lågtryckspassager dragit förbi vilka pressade in vatten mot västkusten och vidare in i Östersjön. Till viss del hann vattnet sjunka tillbaka, men havsnivån före storm i området var i alla fall något förhöjd innan Gorm drog in, omkring 10 cm över det normala. Hade nivån före storm varit 40 cm högre vid stormens startskede, vilket våra beräkningar visar vara teoretiskt möjligt, hade stormfloden kunnat bli ytterligare en bit högre.

Även under Gorm var vattenståndsförloppet mycket hastigt. På 3,5 timmar höjdes nivån med hela 2 meter i Halmstad. Stormfloden uppgick till 235 cm över medelvattenstånd, vilket är den högsta stormflod som det finns mätdata för längs Sveriges kust. I Skagerrak och i norra Kattegatt blev inte vattenståndshöjningen lika hög. Där steg nivåerna till omkring 110 cm över medelvattenstånd längs den öppna kusten och till cirka 130 cm över medelvattenstånd vid Uddevalla och Stenungsund där det trånga fjordsystemet gör att vattenståndet pressas upp ytterligare.

Från Varberg/Falkenberg och söderut blev vattenstånden ytterligare en bit högre. I norra Öresund, vid Viken registrerades 155 cm över medelvattenstånd (figur 15). I övrigt förefaller Gorm, liksom Simone, ha förorsakat extremt höga vattenstånd primärt i sydligaste Kattegatt, i Laholmsbukten och i Skälderviken, där det rapporterades om vattenstånd på över 2 meter över medelvattenstånd i Ängelholm.



Figur 15. De högsta vattenstånden vid olika mätstationer längs västkusten under stormen Gorm.

Vid mätstationen i Halmstad har mycket höga vattenstånd observerats vid flertalet tillfällen under en förhållandevis kort mätdata serie (se även figur 23 i kap. 5.4)). Denna mätstation finns i Laholmsbukten där komplicerade topografiska förhållanden gör att vattnet pressas upp betydligt högre än längs en rak, öppen kust och vattenståndsdynamiken vid just Halmstad förefaller vara tämligen unik. Dessutom är placeringen av vattenståndsmätaren i Halmstad väl vald för att fånga dessa extremer. Det gör att de ovanligt höga nivåer som uppmäts där inte är representativa för Kattegatt som helhet.

5.2 Analys av stormfloder

I detta kapitel redovisas resultaten från stormflodsanalyser för respektive mätstation sammanställda för respektive kustområde.

Mellan år 2002 och 2009 startade registreringar oftare än varje timme vid samtliga mätstationer för havsvattenstånd som är aktiva idag (tabell 1). För dessa stationer finns under 2000-talet observationer tillgängliga för upp till varje minut. Eftersom vissa stormar kan leda till hastiga vattenståndsförlopp har vi noterat att det uppmätta värdet för stormflodens maximum kan vara omkring 20 cm högre i det högupplösta datasetet jämfört med de timvärden som använts i den övergripande dataanalysen. Det förekommer även att observationer registrerats för stormflodsmaximum längre tillbaka i tiden då man under vissa stormar valt att genomföra extra avläsningar utöver de ordinarie för att kunna registrera stormflodens högsta nivå. I de fall högre stormfloder finns registrerade i det högupplösta datasetet än i det timbaserade presenteras dessa nedan och i förekommande fall beräknas även nettohöjningarna utifrån dessa. I de fall där rekordnivåer registrerats utöver ordinarie mätningar presenteras dessa även om de olika stormflodskomponenterna inte går att beräkna då vattenståndet så långt tillbaka i tid bara mättes en gång per dygn.

Vid en mätstation mäts vattenståndet i en brunn. Brunnen i sig filtrerar effektivt bort vindvågor och dyning, men det går inte att utesluta helt att en viss vågeffekt kan ingå i de uppmätta extremvärdena, åtminstone i det högupplösta datasetet.

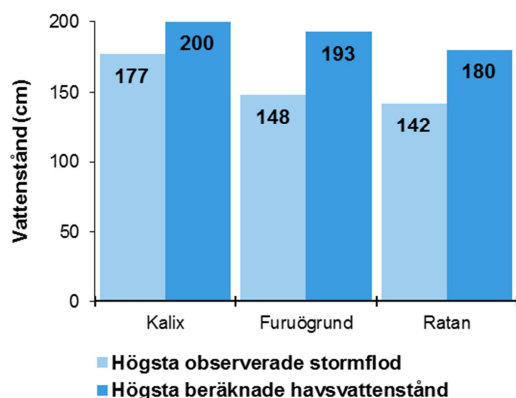
Resultaten är sammanställda för respektive kustområde. ***I tabellerna återfinns de tillfällena som, under respektive stations mätperiod (se bilaga 1), genererat den högsta observerade stormfloden, den högsta nettohöjningen och den högsta havsnivån före storm (HFS) för varje enskild station. De högsta värdena är fetmarkerade.*** För de områden som berörs av tidvatten finns även den ytterligare höjning som ett maximalt tidvattenstånd skulle ha kunnat bidra med angivet.

Det högsta beräknade havsvattenståndet för varje station är en funktion av den högsta nivån före storm inom området adderat till varje stations individuella högsta nettohöjning. För Visby har stationens individuella maxvärden använts eftersom den är belägen så pass långt ut från kusten.

5.2.1 Bottenviken

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Bottenviken. De högsta observerade vattenstånden är 177, 148, och 142 cm vid Kalix, Furuögrund och Ratan. De högsta nettohöjningarna är 126, 119 och 106 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 74, 70 och 65 cm vid de tre stationerna. Högsta havsnivå före storm i bassängen är således 74 cm. Detta ger ett beräknat högsta havsvattenstånd på 200, 193 och 180 vid Kalix, Furuögrund och Ratan. Ratan är beläget sydligast av de tre stationerna och Kalix ligger längst norrut i Bottenviken där uppstuvningseffekter gör att stormnivån blir något högre.

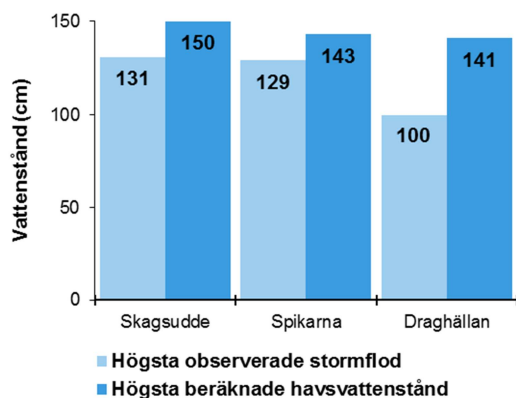
Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station
1984-01-14	176	177	126	51	Kalix
2007-01-16	127		53	74	Kalix
1984-01-14	147	148	98	50	Furuögrund
1962-02-01	133		119	14	Furuögrund
2007-01-16	115	117	47	70	Furuögrund
2002-02-23	142		93	49	Ratan
1973-02-13	118		106	12	Ratan
1990-03-15	113		48	65	Ratan



5.2.2 Bottenhavet

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Bottenhavet. De högsta observerade vattenstånden är 131, 129 och 100 cm vid Skagsudde, Spikarna och Draghällan. De högsta nettohöjningarna är 87, 80 och 78 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 60, 63 och 50 cm vid de tre stationerna. Den högsta havsnivån före storm i bassängen är således 63 cm. Detta ger ett beräknat högsta havsvattenstånd på 150, 143 och 141 cm vid Skagsudde, Spikarna och Draghällan. Tyvärr saknas data från Skagsudde under de båda stormarna i januari 1983 och 1984 (bilaga 1).

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station
2002-02-22	131		87	44	Skagsudde
2007-01-16	93	94	34	60	Skagsudde
1984-01-14	129		77	52	Spikarna
2002-02-23	126		80	46	Spikarna
1983-01-30	92		29	63	Spikarna
1913-12-04	100		59	41	Draghällan
1916-01-15	90		78	12	Draghällan
1922-01-10	89		39	50	Draghällan



Draghällan och Spikarna är belägna mycket nära varandra utanför Sundsvall medan Skagsudde ligger en bit längre norrut utanför Örnsköldsvik. Trots det förefaller observerade maxnivåer och nivå före storm vara mer likartad vid Spikarna och Skagsudde än vid Spikarna och Draghällan. Det är möjligt att man valt att ersätta mätstationen vid Draghällan med den vid Spikarna eftersom mätstationens placering inte var helt representativ för området. Hur en station är belägen kan ha stor betydelse och den

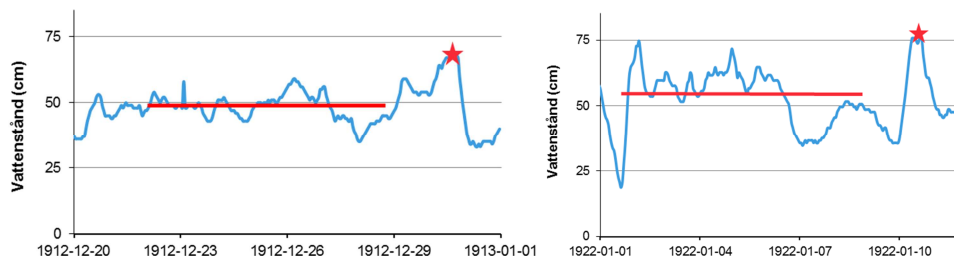
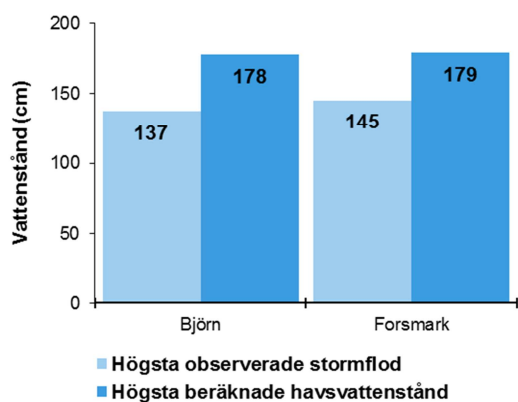
lokala geografin kan göra att vattenståndet varierar mycket även på en förhållandevis liten rumslig skala.

Data från mätstationen vid Draghällan finns tillgänglig mellan åren 1897-1969, medan stationerna vid Spikarna och Skagsudde varit aktiva under senare år (från -68 respektive -82) då flera av de högsta värdena registrerats. Därför är det rimligt att det högsta beräknade havsvattenståndet är mer samstämmigt mellan alla tre stationer i Bottenhavet än de observerade maxvärdena förefaller vara.

5.2.3 Södra Bottenhavet

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Södra Bottenhavet. De högsta observerade vattenstånd är 137 och 145 cm vid Björn och Forsmark. De högsta nettohöjningarna är 112 och 113 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 56 och 66 cm vid de två stationerna. Den högsta nivån före storm i bassängen är således 66 cm över medelvattenstånd och de högsta beräknade havsvattenstånd blir därmed 178 respektive 179 cm över medelvattenstånd vid Björn respektive Forsmark.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station
1914-01-09	137		102	35	Björn
1922-01-10	77		22	56	Björn
1969-11-01	108		112	-4	Björn
2007-01-14	143	145	92	53	Forsmark
1986-12-02	121	137	113	24	Forsmark
1983-02-02	106		40	66	Forsmark



Figur 16. Exempel på tillfällen då bakgrundsnivån vid Björn har varit förhöjd. Röd linje indikerar havsnivån före storm under medelvärdesperioden och röd stjärna visar den (i dessa fall låga) stormflod som beräkningen utgått ifrån.

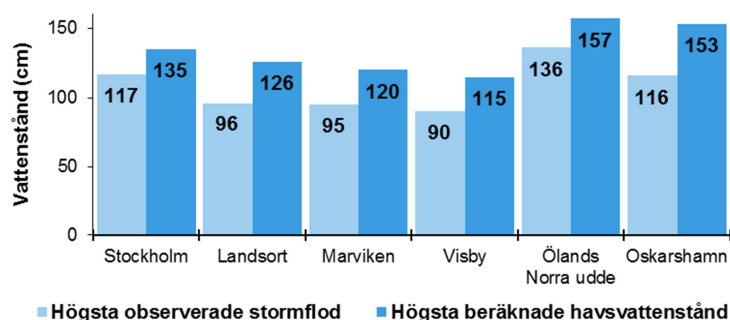
Vid en första anblick ser det ut som att nivån före storm blir betydligt högre vid Forsmark än vid Björn. Den högsta stormflodsrelaterade bakgrundsnivån som återfinns i vårt

dataset för Björn är 36 cm över medelvattenstånd, alltså 30 cm lägre än havsnivån före storm vid Forsmark. Detta stämmer emellertid enbart delvis. Mätstationen vid Forsmark ligger innanför Gräsö i Öregrundsgrepen. Från Forsmark och längre in i Öregrundsgrepen blir havsnivån före storm och mest sannolikt även nettohöjningen något högre under en längre tid än vid Björn som ligger mer öppet. Nivåer före storm på 60 till 70 cm förekommer vid flertalet tillfällen vid Forsmark. Även vid Björn kan dock utgångsläget vara förhöjt, här förekommer perioder med bakgrunds nivåer på 50 till 60 cm över medelvattenstånd, om än mindre frekvent (figur 16). Under dessa tillfällen har det dock inte dragit förbi någon regelrätt storm i området. Vår bedömning är emellertid att dessa nivåer bör ingå i ett värstascenario för mätstationen och att den något högre nivån som återfinns vid Forsmark är lämplig att använda även här. Stationerna överlappar enbart under en mycket kort tid och det går därmed inte att utesluta att nivån före storm vid Björn kan bli lika hög som den vid Forsmark. Dessutom skulle en kraftig stormflod mycket väl kunna sammanfalla med de förhöjda bakgrunds nivåer som återfunnits vid Björn, även om så inte skedde under den period som stationen var aktiv.

5.2.4 Östersjön

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Östersjön. De högsta observerade vattenstånden är 117, 96, 95, 90, 136 och 116 cm vid Stockholm, Landsort, Marviken, Visby, Ölands Norra udde och Oskarshamn. De högsta nettohöjningarna är 70, 61, 55, 58, 92 och 88 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 65, 62, 56, 57, 62 och 55 cm vid de sex stationerna. Den högsta havsnivån före storm i bassängen är således 65 cm. Detta ger ett högsta beräknat havsvattenstånd på 135, 126, 120, 157 och 153 cm vid Stockholm, Landsort, Marviken, Ölands Norra udde och Oskarshamn. Visby är belägen tämligen långt ut från övriga kuststationer. Därför används stationens (inte kustområdets) högsta havsnivå före storm för att bestämma det högsta beräknade havsvattenståndet, 115 cm (58+57) över medelvattenstånd.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station
1983-01-18	116	117	65	52	Stockholm
1983-02-01	111		46	65	Stockholm
1898-12-15	94		70	24	Stockholm
1983-01-18	95	96	44	52	Landsort
1967-10-18	82		61	21	Landsort
1990-03-13	76		14	62	Landsort
1983-01-18	89	95	47	48	Marviken
1983-01-29	90	91	35	56	Marviken
1993-01-24	86		55	31	Marviken
1917-12-03	90		-	-	Visby
1967-10-18	85		58	27	Visby
1983-01-29	79	82	25	57	Visby
1914-01-09	136		-	-	Ölands Norra udde
1983-01-19	117		68	49	Ölands Norra udde
1983-02-02	108		46	62	Ölands Norra udde
1995-11-17	98	99	92	7	Ölands Norra udde
2017-01-04	114	116	88	28	Oskarshamn
1983-02-02	97	99	44	55	Oskarshamn



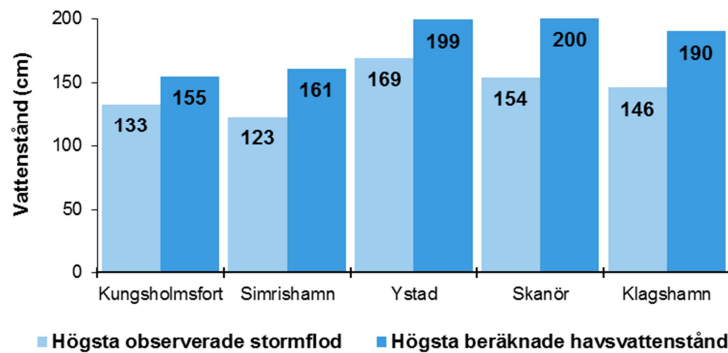
Vid Visby och Ölands Norra udde har de högsta stormfloderna uppmätts före det att data började registreras varje timme. Data för rekordnivån vid Ölands norra udde 1914 bedöms vara av god kvalitet och vid samma tillfälle finns även rekordnivåer registrerade vid Björn och Kungsholmsfort. Mätningen vid Visby 1917 går inte att verifiera men en stormflod på 90 cm vid den lokalen är inte alls osannolik.

I de centrala delarna av Östersjön är havsnivån före storm nästan lika hög eller rentav högre än nettohöjningen vid flera stationer. Utgångsläget är således en betydande stormflodskomponent i området. Detta orsakas delvis av att inflöden till Östersjön via Öresund och Bälten kan höja nivån en bra bit över det normala, och dels av att stormar som orsakar kraftiga vattenståndshöjningar i området är tämligen ovanliga. Jämfört med majoriteten av övriga kustområden längs Sveriges kust blir de stormrelaterade vattenståndshöjningarna i kustområdet Östersjön, särskilt norr om Oskarshamn och Öland, helt enkelt inte lika höga.

5.2.5 Södra Östersjön

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Södra Östersjön. De högsta observerade vattenståndsen är 133, 123, 169, 154, och 146 cm vid Kungsholmsfort, Simrishamn, Ystad, Skanör och Klagshamn. De högsta nettohöjningarna är 100, 106, 144, 145 och 135 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 52, 47, 49, 55 och 52 cm vid de fem stationerna. I Södra Östersjön är högsta havsnivå före storm i bassängen således 55 cm. Detta ger ett högsta beräknat havsvattenstånd på 155, 161, 199, 200 och 190 cm vid Kungsholmsfort, Simrishamn, Ystad, Skanör och Klagshamn.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station
1914-01-09	133		100	33	Kungsholmsfort
1913-12-30	117		65	52	Kungsholmsfort
2017-01-04	121	123	106	17	Simrishamn
2012-01-14	104	106	59	47	Simrishamn
1904-12-31	169		144	25	Ystad
1913-12-15	115		66	49	Ystad
2017-01-04	153	154	145	9	Skanör
2007-01-27	114	118	63	55	Skanör
2017-01-04	145	146	133	13	Klagshamn
1934-02-09	134		135	-1	Klagshamn
2007-01-27	109	110	58	52	Klagshamn

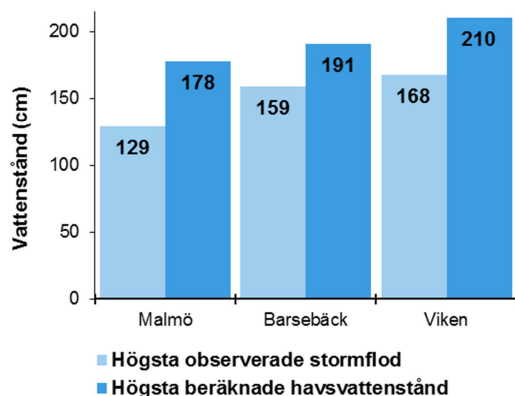


Vid mätstationen i Simrishamn inträffade det första klass 2 tillfället under mätseriens längd i januari 2017. Då observerades rekordhöga vattenstånd även längre norrut, vid mätstationen vid Oskarshamn, där 116 cm över medelvattenstånd registrerades. Även vid Kungsholmsfort är vattenstånd över 120 cm över medelvattenstånd sällsynta och har inte observerats sedan 1914. Längre söderut är höga vattenstånd emellertid vanligare. I Södra Östersjön är det vind som vrider från omkring väst till nordost som orsakar de högsta vattenstånden genom att vatten pressas mot området både från Västerhavet och från Östersjöns östliga delar. Särskilt höga blir nettohöjningarna vid Sveriges allra sydligaste spets.

5.2.6 Öresund

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Öresund. De högsta observerade vattenstånden är 129, 159 och 168 cm vid Malmö, Barsebäck och Viken. De högsta nettohöjningarna är 132, 145 och 164 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 31, 44 och 46 cm vid de tre stationerna. Den högsta havsnivån före storm i bassängen är således 46 cm. Detta ger ett högsta beräknat havsvattenstånd på 178, 191 och 210 cm vid Malmö, Barsebäck och Viken.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station	Tidvatten- potential
1925-12-18	129		120	9	Malmö	
1953-02-21	127		132	-5	Malmö	4
1943-02-20	98		67	31	Malmö	
2013-12-06	151	159	144	15	Barsebäck	12
2011-11-27	135	136	145	-9	Barsebäck	5
2007-01-19	124	126	82	44	Barsebäck	
2013-12-06	168		155	13	Viken	
2011-11-27	158	162	164	-2	Viken	5
2007-01-19	110	111	65	46	Viken	



I Öresund orsakas höga nettohöjningar av att kraftiga nordvästvindar pressar vatten från Västerhavet söderut. Särskilt höga blir nivåerna från Helsingborg och norrut. Vid Viken registreras mycket höga stormfloder tämligen frekvent.

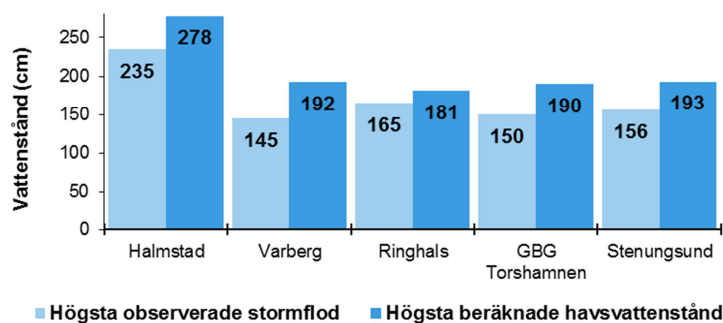
Tidvattenhöjden i Öresund är förhållandevis låg och tidvattenpotentialen är inte inkluderad i de högsta beräknade havsvattenstånden. Uppskattningsvis skulle en maximal tidvattenhöjd kunna resultera i en nettohöjning och värsta stormflod som blev ytterligare omkring 5-10 cm högre.

5.2.7 Kattegatt

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Kattegatt. De högsta observerade vattenstånden är 235, 145, 165, 150 och 156 cm vid Halmstad, Varberg, Ringhals, Göteborg Torshamnen och Stenungsund. De högsta nettohöjningarna är 229, 143, 132, 141 och 144 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 35, 28, 46, 45 och 49 cm vid de fem stationerna. Den högsta havsnivån före storm i bassängen är således 49 cm. Det ger ett högsta beräknat havsvattenstånd på hela 278 cm i Halmstad där lokala effekter gör att stormnivåer kan bli mycket höga, 192, 181, 190 och 193 cm vid Varberg, Ringhals, Göteborg (GBG) Torshamnen och Stenungsund.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station	Tidvatten- potential
2015-11-29	216	235	229	6	Halmstad	4
2012-01-04	130	137	102	35	Halmstad	
1921-12-17	145		143	2	Varberg	8
1981-11-24	129		101	28	Varberg	
2005-01-08	163	165	132	33	Ringhals	6
2008-03-02	122	123	77	46	Ringhals	
1914-12-04	170		-	-	GBG Ringön*	
1985-11-06	147	150	135	14	GBG Torshamnen	4
2011-12-10	146	147	102	45	GBG Torshamnen	
2008-02-22	132	136	141	-5	GBG Torshamnen	
1990-02-27	156		116	40	Stenungsund	
2000-01-29	132	136	144	-8	Stenungsund	12
2008-03-01	122		73	49	Stenungsund	

* Mätstationen vid Göteborg (GBG) Ringön var aktiv under åren 1887-1958 och registrerade under denna period dygnsvärden. Stationen var belägen vid Götaälvbron, en bra bit längre in i älven än stationen Göteborg (GBG) Torshamnen. Rekordet från år 1914 är en mätning som gjorts utöver den ordinarie dygnsmätningen.



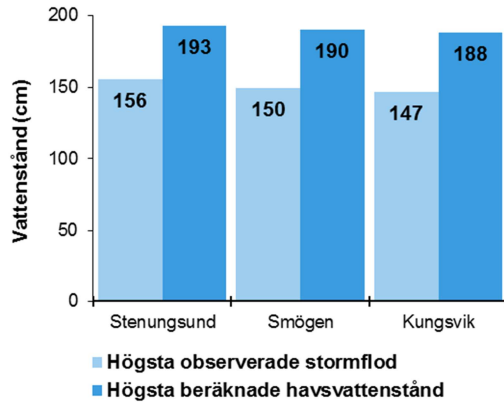
I Västerhavet är höga nettohöjningar den främsta orsaken till mycket höga vattenstånd. Många höga stormfloder i Kattegatt, Skagerrak och även Öresund har ägt rum då utgångsläget varit omkring, eller i vissa fall till och med under medelvattenstånd. I bukter och vikar, såsom i Laholmsbukten vid Halmstad, kan vattenståndet under vissa förhållanden bli mycket högt (Johansson m.fl., 2017). Vid Sjöfartsverkets mätstation vid Varberg (alltså en annan station än den som tillhörde SMHI och som använts i denna analys) har nivåer över 120 cm över medelvattenstånd uppmätts vid 6 olika tillfällen sedan början av 2009. Den högsta av dessa stormfloder ägde rum i december 2016 och mätte 146 cm över medelvattenstånd.

Även i Kattegatt är tidvattnet förhållandevis lågt, omkring 25 cm maximalt och ytterligare lite högre vid Stenungsund. Analyser av tidvattenpotentialen indikerar att ett maximalt tidvattenstånd skulle kunna ge nettohöjningar som var ytterligare mellan knappt 5 och drygt 10 cm högre (visas ej i figuren).

5.2.8 Skagerrak

Högsta stormflod, nettohöjning och havsnivå före storm vid analyserade stationer i Skagerrak. De högsta observerade vattenstånden är 156, 150 och 147 cm vid Stenungsund, Smögen och Kungsvik. De högsta nettohöjningarna är 144, 141 och 139 cm och de högsta havsnivåerna före storm är 49, 43 och 37 cm vid de tre stationerna. Den högsta havsnivån före storm i bassängen är således 49 cm. Detta ger ett högsta beräknat havsvattenstånd på 193, 190 och 188 cm vid Stenungsund, Smögen och Kungsvik.

Datum	Stormflod	Stormflod högupplöst	Nettohöjning	HFS	Station	Tidvatten-potential
1990-02-27	156		116	40	Stenungsund	
2000-01-29	132	136	144	-8	Stenungsund	12
2008-03-01	122		73	49	Stenungsund	
1920-11-16	150		129	21	Smögen	
2008-02-22	130	135	141	-6	Smögen	8
2011-12-10	120	130	87	43	Smögen	
1987-10-16	147		125	22	Kungsvik	
1990-02-27	142		105	37	Kungsvik	
2000-01-29	123	124	139	-15	Kungsvik	15



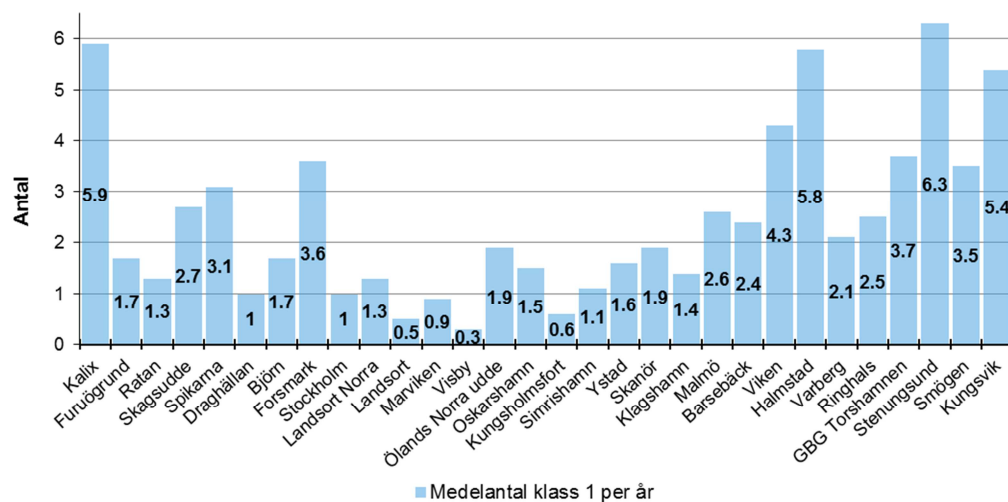
I Skagerrak är tidvattenhöjden lite högre än i Kattegatt, omkring 35 cm maximalt. Uppskattningsvis hade tidvattenpotentialen kunnat leda till nettohöjningar och stormfloder som var omkring 10-15 cm högre (visas ej i figuren). Exempelvis befann sig tidvattnet ungefär mitt emellan ebb och flod vid de högsta nettohöjningarna vid Stenungsund och Kungsvik i januari 2000. Vid detta tillfälle var även utgångsläget i området ovanligt lågt. Om samtliga komponenter vid detta tillfälle istället hade befunnit sig i sitt maximala läge hade stormfloden kunnat uppgå till strax över 2 meter vid de båda stationerna.

5.3 Förekomst av höga vattenstånd

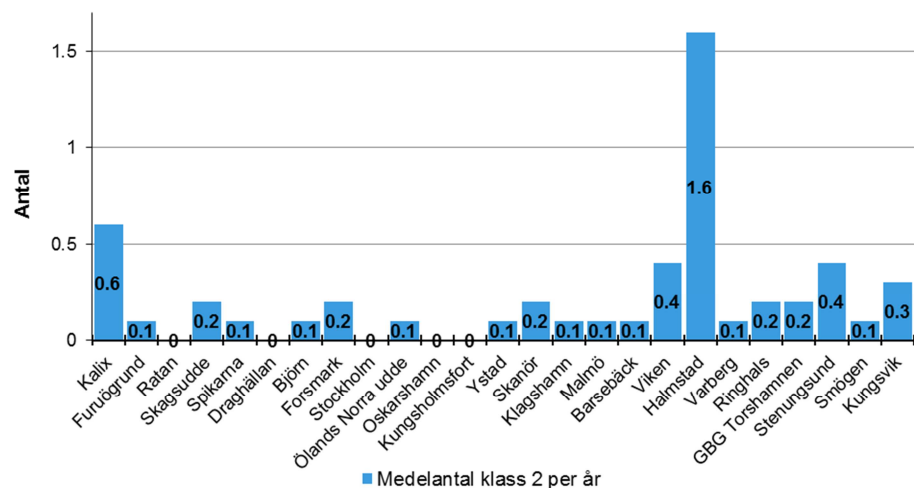
Vattenståndsdynamiken i de olika kustområdena studerades med avseende på exempelvis förekomst och varaktighet av höga vattenstånd. I Schöld m.fl., 2017 beskrivs metodik och tillvägagångssätt för dessa analyser i detalj.

I Bottenviken är höga vattenstånd klart vanligast vid den nordligaste kusten. Trots att mätserien från Kalix är betydligt kortare än de från Furuögrund och Ratan, så har där förekommit avsevärt fler högvattenhändelser. I kustområdena Bottenhavet, Södra Bottenhavet och Östersjön framgår det att tillfällena då vattenståndet överstiger klass 1 eller klass 2, 65 eller 100 cm över medelvattenstånd, inte är fler mellan Skagsudde och Oskarshamn, trots att varningsgränserna (tabell 2) är lägre i dessa områden och att där finns ett antal stationer med långa mätserier (figur 17, 18 och 19). Mellan Landsort och Visby har vattenståndet aldrig överstigit 100 cm över medelvattenstånd under den analyserade perioden (figur 19).

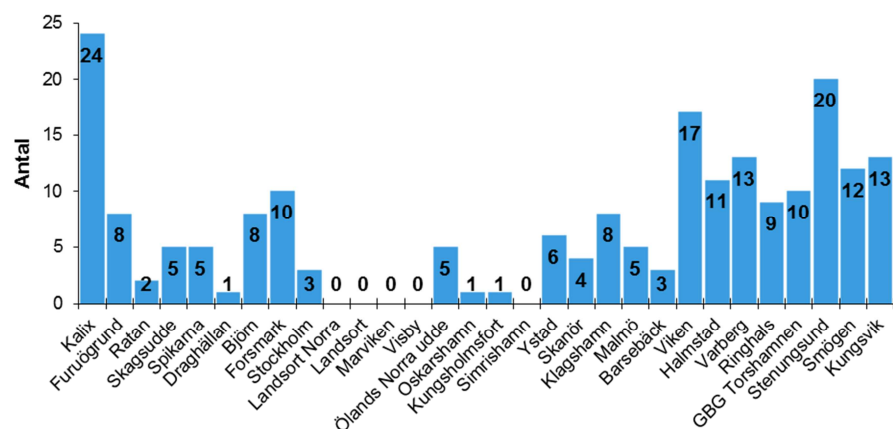
Även i Södra Östersjön är höga vattenstånd tämligen ovanliga. Vid Simrishamn inträffade det första klass 2-tillfället under den förhållandevis korta mätserien i januari 2017. Vid detta tillfälle översteg nivåerna även klass 2 vid bland annat Oskarshamn (figurerna baseras på data fram till år 2016). Det är först vid Sveriges sydligaste spets som vattenstånd över 80 eller 120 cm (klass 1 respektive klass 2) börjar bli mer frekventa. Både Kungsholmsfort och Ystad har över 100 år långa mätdataserier och troligtvis påverkar platsernas geografiska läge frekvensen av höga vattenstånd i stor utsträckning. Vid Kungsholmsfort har 1 klass 2-tillfälle inträffat under 131 år och vid Ystad har 6 klass 2-tillfällen noterats under 102 år. I Öresund och längs västkusten blir effekten av lokala förhållanden ännu tydligare. Här sticker Viken, Halmstad och Stenungsund tydligt ut med flertalet klass 2-tillfällen trots att det i dessa områden finns flera andra stationer med lika långa eller betydligt längre dataserier. Över lag är det påtagligt att höga vattenstånd är vanligare längs västkusten än i Östersjön och att i Östersjön är det framförallt norra Bottenviken som drabbas (figur 18 och 19).



Figur 17. Antalet klass 1-tillfällen i medeltal per år för varje mätstation. Medeltalet är antalet varningstillfällen under hela perioden delat med antalet år för vilka det finns mätdata.



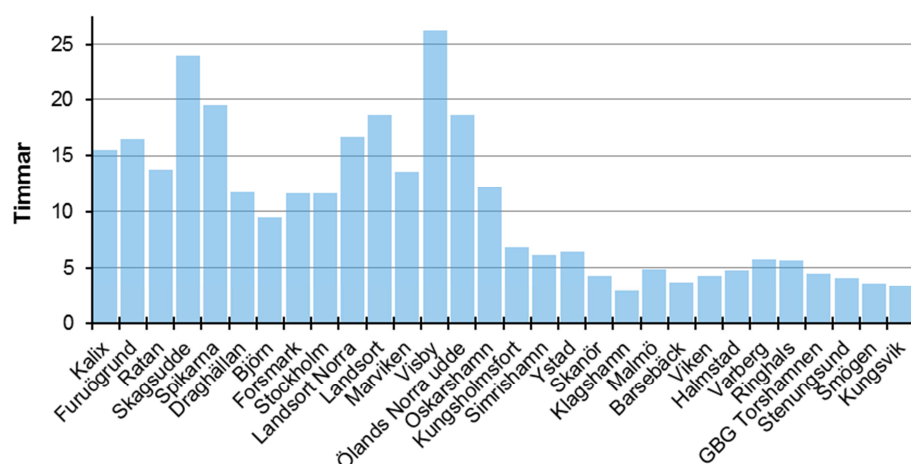
Figur 18. Antalet klass 2-tillfällen i medeltal per år för varje mätstation. Medeltalet är antalet varningstillfällen under hela perioden delat med antalet år för vilka det finns mätdata. I figuren visas enbart de mätstationer där klass 2 nivåer registrerats under den analyserade perioden.



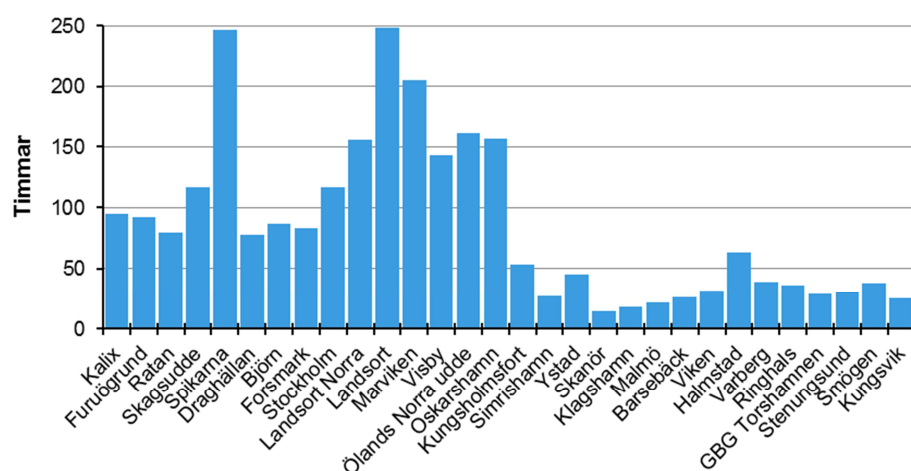
Figur 19. Antalet klass 2-tillfällen under hela perioden för respektive mätstation.

Det är inte bara hur ofta vattenståndet blir högt som är av intresse för planering och sårbarhetsanalyser. Även hur lång tid som vattenståndet är högt, alltså stormflodens varaktighet, spelar stor roll för den samhällsstörande effekten av vattenståndet. Vid Sjöfartsverkets mätstation vid Varberg (visas inte i figur 16 till 21) har det förekommit 6 olika klass 2-tillfällen sedan början av 2009. Det längsta av dessa tillfällen pågick under ungefär 17 timmar. Det är både en längre maximal varaktighet och en högre frekvens än de 13 tillfällen under 97 år som registrerades mellan 1886-1982 vid SMHI:s station.

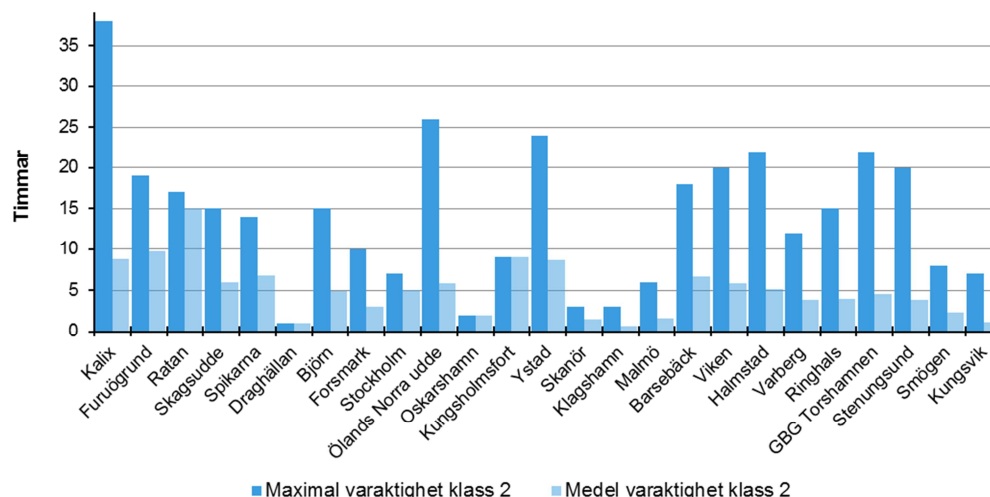
När det gäller varaktigheten (se Schöld m.fl. (2017) för mer information kring metodik för analyser) så skiljer både max- och medelvaraktighet per tillfälle för klass 1 och klass 2 en hel del mellan olika kustområden (figur 20, 21 och 22). I Östersjön, från Oskarshamn och norrut, är klass 1-tillfällen med lång varaktighet betydligt vanligare än på västkusten, i Öresund och i Södra Östersjön. Detta stämmer väl överens med det faktum att havsnivån före storm är en viktigare stormflodskomponent i dessa områden.



Figur 20. Medelvärde av varaktighet per tillfälle (timmar) för klass 1-tillfällen.



Figur 21. Maximal varaktighet (timmar) för klass 1- tillfällen.



Figur 22. Maximal varaktighet (mörkare blå stapel) och medelvärde av varaktighet (ljusblå stapel) för klass 2-tillfällen.

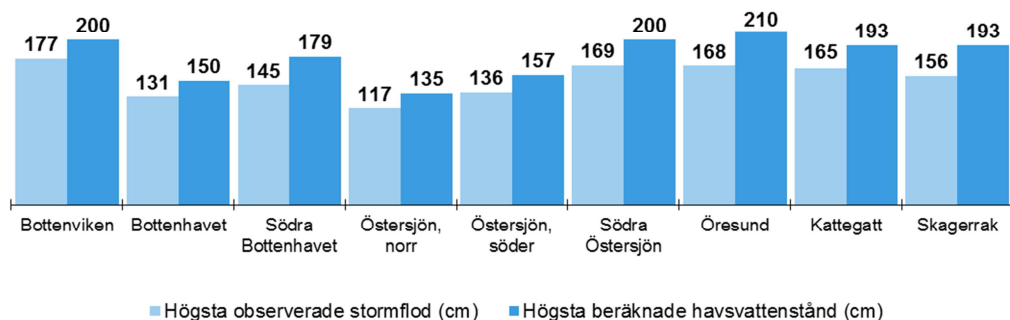
Eftersom fyllningen av Östersjön är en tämligen trög process, kan förhöjda nivåer som inte är direkt stormrelaterade, utan snarare orsakas av ihållande kuling eller kraftig vind på västkusten pågå under en längre tid. Notera att gränsen för klass 1 mellan Skagsudde och Oskarshamn är 65 cm över medelvattenstånd och således nästan i nivå med de högsta nivåerna före storm i dessa områden. I Bottenviken är gränsen emellertid 80 cm över medelvattenstånd och även där ser man en lång varaktighet för klass 1.

När det gäller klass 2, det vill säga tillfällen över 100 eller 120 cm över medelvattenstånd, är förhållandena nästan de omvända. Här är varaktigheten i medel per tillfälle tämligen lika i de olika kustområdena, men med lite längre varaktighet vid de stationer där mycket höga vattenstånd är mer vanligt förekommande. Den maximala varaktigheten är tydligt hög i Kattegatt, norra Öresund, vid Ystad, Öland och Kalix. Notera att de stationer i Östersjön där nivån aldrig överstigit 100 cm över medelvattenstånd inte visas i figur 21.

Detta tyder på att de lägre vattenståndshöjningar som förknippas med klass 1 nivåer är ett regionalt fenomen och således främst skiljer sig mellan öst- och västkust, medan de högre stormfloderna som når upp till klass 2 varierar mer lokalt och därmed skiljer sig mellan olika mätstationer.

5.4 Summering

I kustområdena Bottenhavet, i viss mån Södra Bottenhavet och i de norra delarna av Östersjön är både observerat max och beräknat max lägre än längs övriga kuststräckor (figur 23). I områdena finns tillgång till långa mätdata serier på flera platser. Därför dras slutsatsen att väderförhållanden, kustens utformning och läget nära noden i Östersjön, gör att nivåerna här inte blir lika höga som på många andra platser. Vindarna österifrån har en tämligen begränsad sträcka att blåsa över och förutsättningar saknas för att lika stora mängder vatten ska kunna pressas upp mot kusten som längs övriga kuststräckor. Detta speglas väl av det faktum att SMHI i dessa områden varnar för högt vattenstånd klass 2 redan vid 100 cm över medelvattenstånd istället för 120 cm som i övriga kustområden. I Södra Bottenhavet blir de högsta beräknade nivåerna något högre längs den kuststräcka som böjer av österut och därmed blir utsatt för vind omkring nord.

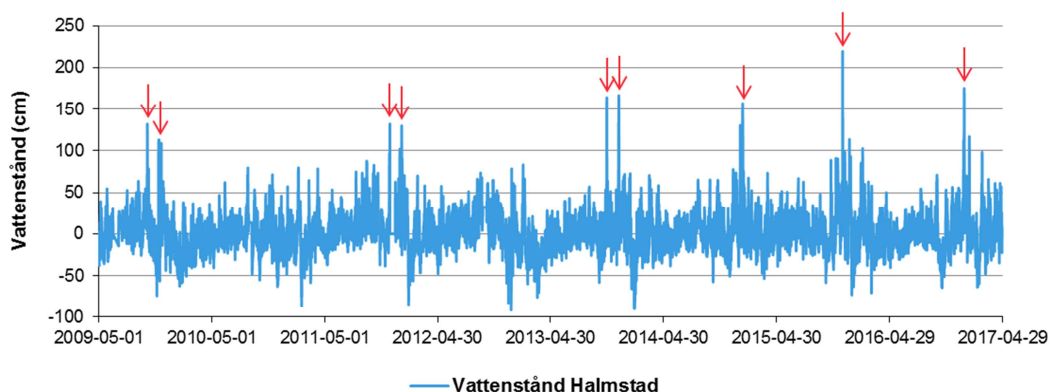


Figur 23. Observerade och beräknade högstanivåer för stormfloder i olika kustområden längs Sveriges kust. Den norra delen av Östersjön omfattar Stockholm, Landsort, Marviken och Visby och den södra avser Ölands Norra udde och Oskarshamn.

Vattenstånd som är så höga att de medför samhällsstörningar är oftast både sällsynta och kortvariga och beror till viss del på utgångsläget. Huruvida en nettohöjning av vattenståndet på 120 cm som orsakas av en storm medför problem eller inte kan till stor del bero på om utgångsläget är exempelvis 40 cm över eller under medelvattenstånd.

Ett samhälles resiliens eller sårbarhet i förhållande till de högsta beräknade havsvattenstånden är beroende av var samhällsviktig infrastruktur och bebyggelse är placerad i förhållande till havet. Detta tillsammans med lokal geografi och typ av verksamhet avgör hur allvarliga konsekvenserna av en mycket hög stormflod kan bli.

På vissa platser längs kusten kan exempelvis kombinationer av höga vattenstånd till havs och en kraftig nederbörd med höga flöden på land orsaka stora problem med översvämningar. När vatten pressar på från flera håll finns det helt enkelt ingenstans som det kan rinna undan. Särskilt i låglänta trakter omgivna av större vattendrag och hav kan kombinationseffekter orsaka kraftigare översvämningar och ställa till mer problem under en längre tid än en extremt hög stormflod vid kusten gör på egen hand.

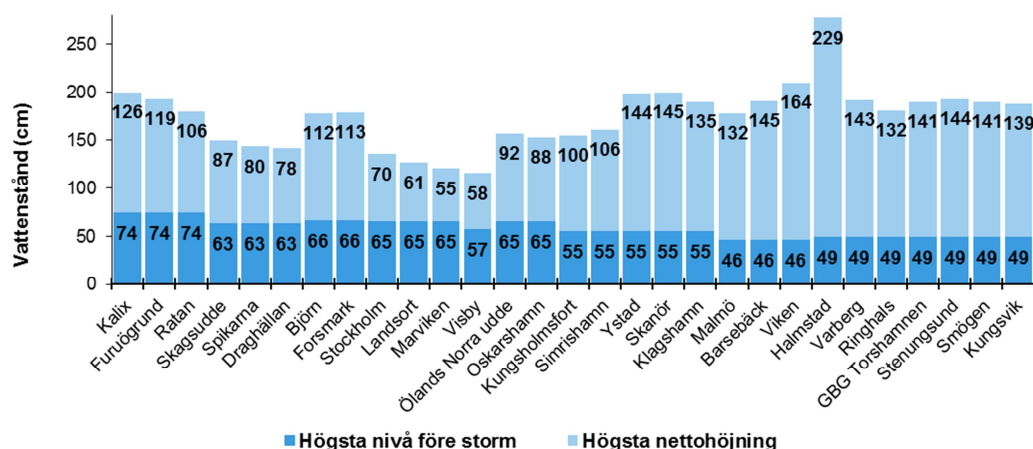


Figur 24. Timvärden från mätdataserien vid Halmstad. Vid flera tillfällen under den förhållandevis korta dataserien har vattenståndet varit högt eller mycket högt, särskilt under de senaste 3-4 åren. Röda pilar pekar ut några av de högsta stormfloderna.

För Bottenviken, Södra Östersjön och i Västerhavet visar analysen av observerade stormfloder att nivåer på omkring två meter över medelvattenstånd är en rimlig högstanivå baserat på tillgängliga mätdata (figur 23). På platser i vikar och sund kan topografisk förstärkning göra att vattenståndet drivs upp extra högt, något som illustreras

tydligt av den mycket korta men tämligen extrema dataserien från Sjöfartsverkets mätstation vid Halmstad (figur 24).

Havsnivån före storm är generellt högre i hela Östersjön än längs västkusten och har således större betydelse för resulterande vattenståndshöjning i dessa områden. Vid flera stationer i de centrala delarna utgör havsnivån före storm i stort sett hälften av beräknat högsta havsvattenstånd (figur 25), på grund av en begränsad stormeffekt och en potentiellt hög fyllnadsgrad i Östersjön. I Bottenviken kan nivån före storm bli ytterligare lite högre. Då ihållande sydvästvindar orsakat ett stort inflöde till Östersjön, och ihållande kuling eller lågtryck sedan har snedställt vattenytan upp mot Bottenviken, kan havsnivån där befinna sig över 70 cm över medelvattenstånd. Då krävs inga extrema väderförhållanden för att driva upp vattenståndet till klass 2 nivåer och förutsättningarna finns för mycket höga vattenstånd om en storm skulle dra förbi. I Östersjön är således de högsta vattenstånden en kombination av att utgångsläget är högt före en storm och stormeffekten i sig.



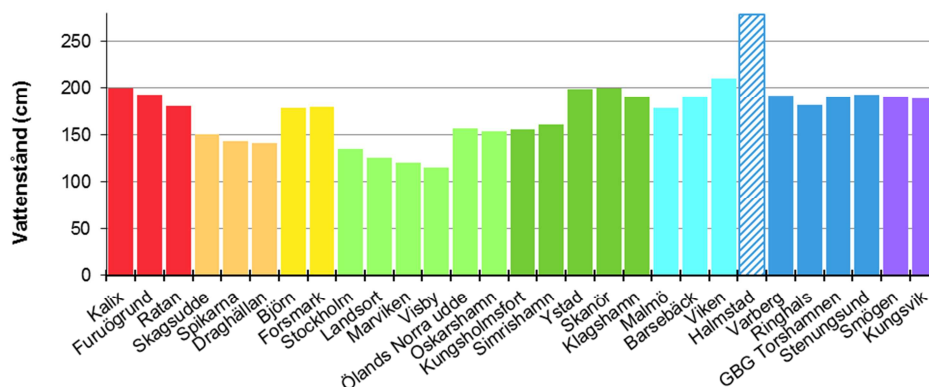
Figur 25. Respektive kustområdes högsta havsnivå före storm och högsta nettohöjning för varje enskild station. Värdena för respektive parameter ses i figuren.

Längs västkusten är det istället stormeffekten, alltså nettohöjningen, som är den viktigaste mekanismen för mycket höga stormfloder. Här förekommer det att vattenstånden är förhöjda före de högsta stormfloderna, men generellt pågår detta inte under lika långa perioder som i Östersjön, och nivån blir inte riktigt lika hög. Vidare är vädret längs kusten i sig så kraftigt att det kan driva upp vattenstånden till mycket höga nivåer oavsett utgångsläge, och den vattenreservoar som Atlanten och Nordsjön utgör ger helt andra förutsättningar än den begränsade mängd vatten som finns i Östersjön.

I det slutgiltiga resultatet har den högsta nivån före storm inom respektive kustområde kombinerats med varje stations individuella nettohöjning (figur 25). Dessa båda parametrar utgör sammantaget det högsta beräknade havsvattenstånd som skulle kunna inträffa vid varje mätstation baserat på empiriska analyser av tillgänglig mätdata (figur 26). För mätstationen Visby har stationens egen nivå före storm använts eftersom den är belägen långt bort från övriga kuststationer i Östersjön.

Nivåerna inkluderar i viss mån även tidvatteneffekter i Skagerrak, Kattegatt och Öresund, men om det högsta beräknade havsvattenståndet skulle sammanfalla med ett maximalt tidvattenstånd skulle resulterande vattenståndshöjning kunna bli upp till cirka 15 centimeter högre (se resultattabeller i kapitel 5.2.6, 5.2.7 och 5.2.8). Hieronymus *et al.* (2017a) visar utifrån modellexperiment att olika komponenter av högvattenhändelser i Östersjön har en positiv återkoppling, och förstärker varandra, medan bidraget från tidvatten i Västerhavet oftast inte gör det. Stormfloders maxnivåer sammanfaller generellt inte med högsta eller lägsta tidvattenstånd, utan inträffar oftast under den stigande fasen

av tidvattnet på grund av icke-linjär interaktion mellan tidvatten och stormfloder (Horsburgh and Wilson, 2007).



Figur 26. Högsta beräknade havsvattenstånd för respektive station. Staplarna är färgade i enlighet med det kustområde som respektive station tillhör (se figur 1). Sjöfatsverkets station Halmstad är markerad med raster.

6 Slutsatser

Den här typen av analys kan enbart säga något om ett värsta scenario baserat på mätdata som finns tillgänglig för de stationer som analyserats. För att bestämma havsnivån före storm förefaller dataserierna kunna fånga nivåer nära ett förväntat maximum. Extremvärden inom denna parameter torde inte heller avvika från ett normalläge i samma utsträckning som en hypotetisk värsta storm med påföljande nettohöjning. För havsnivån före storm planar extremvärdeskurvan ut efter 45 eller 70 cm över medelvattenstånd beroende på var längs kusten som avses. Mer exakt information kan snarare erhållas genom detaljerade studier där analysen optimerats för dynamiken vid varje enskild mätstation, än via längre mätdataserier.

För stormar och nettohöjningar är situationen en annan, denna parameter är inte begränsad uppåt på samma sätt som nivån före storm. Det finns många långa dataserier men vi vet att det ändå förekommit stormar som drivit upp vattenståndet till betydligt högre nivåer än vad som finns registrerat i observationsserierna. Exempelvis drabbades Sveriges sydkust och Öresund under 1872 respektive 1902 av stormfloder som nådde omkring 2-3 meter över medelvattenstånd eller ännu högre (SMHI, 2009; Fredriksson *et al.*, 2016; Fredriksson m.fl., 2017). Eftersom dessa stormar inträffade så långt tillbaka i tiden är stormfloderna dessvärre omöjliga att kvantifiera eftersom vattenståndet helt enkelt inte mättes på aktuella platser vid dessa tillfällen. De ger oss emellertid en bekräftelse på att mycket höga stormfloder visserligen är väldigt ovanliga, men inte fullständigt osannolika.

De nivåer som presenteras i denna rapport är således att betrakta som mycket sällsynta men ändå fullt möjliga stormfloder i samband med en, med avseende på havsvattenståndet, mycket svår storm. Särskilt om denna storm skulle inträffa då utgångsläget i aktuellt kustområde redan är förhöjt. Analysen ger en bra uppfattning om hur högt ett vattenstånd skulle kunna bli som i vissa fall är nära eller i nivå med anekdotiska⁷ extremnivåer. Sådana händelser är lyckligtvis mycket sällsynta.

⁷ Välkända och dokumenterade händelser men utan oceanografiska mätdata.

Vattenståndsextremer förväntas inte heller förändras av ett stigande medelvattenstånd (Hieronymus *et al.*, 2017b).

Förändringar i klimatet kan emellertid påverka förekomsten av och intensiteten i de kraftiga vädersystem som kan föranleda stormfloder. Hur förändringar i klimatet kommer att påverka vindklimat och stormfloder i Nordsjön, och i förlängningen Skagerrak, Kattegatt och Östersjön, är svårt att fastställa. Det finns många variabler (till exempel NAO) som påverkar vindklimatet över Nordsjön på tämligen stora tidsskalor. Det är svårt att skilja denna naturliga variabilitet i klimatet från effekter av regional klimatförändring (Schrum *et al.*, 2016). Klimatförändringar leder till flera olika effekter som påverkar stormars banor på motstridiga sätt, vilket gör det än mer komplicerat att förutsäga hur stormbanor kan komma att förändras i framtiden (Shaw *et al.*, 2016). Några studier indikerar en generell ökning av västliga vindar över Nordsjön. Det skulle kunna leda till mer frekventa eller kraftigare stormfloder i Skagerrak och Kattegatt. Det förefaller dock som att den naturliga variabiliteten, i de vädersystem som föranleder höga stormfloder, än så länge är större än eventuella effekter av klimatförändringen (May *et al.*, 2016; Schrum *et al.*, 2016).

Tack vare att många av SMHI:s mätstationer har mycket långa dataserier för vattenstånd, så är den naturliga variabiliteten i klimat och havsvattenstånd i hög utsträckning inkluderad i beräkningarna i denna rapport. Viktigt att notera är emellertid att metoden för att ta fram högsta beräknade havsvattenstånd inte ger någon information om eventuella förändringar i vattenståndsdynamiken i framtiden. Resultatet ska ses som en övre gräns för det vattenstånd som hade kunnat uppträda under de väderhändelser som inträffat under mätperioden. Metoden kan inte användas för att bedöma om värre stormar kommer att inträffa än de som redan förekommit.

Alla stormfloder som inträffar ger mer kunskap kring med vilken regelbundenhet de sker, vattenståndsdynamiken, faktorer som påverkar översvämningar med mera. Det är således betydelsefullt att kontinuerligt utvärdera och analysera de översvämningsincidenter som inträffar. En mycket sällsynt händelse kan vara mycket svår att förutsäga i god tid. Det är även orealistiskt att förvänta sig att ett samhälle ska vara fullständigt resiliert inför alla extrema händelser. Vid riskbedömning måste emellertid även händelser med låg sannolikhet beaktas då de kan ha mycket allvarliga konsekvenser.

7 Referenser

- Bay of Fundy, Canada's Natural Wonder. Websida <http://bayoffundytourism.com/worlds-highest-tides/> 2017-11-10.
- Chafik, L., Nilsen, J.E.Ø. and Dangendorf, S. (2017) *Impact of North Atlantic Teleconnection Patterns on Northern European Sea Level*. Journal of Marine Science and Engineering, 5(3), 43.
- Dangendorf, S., Arns, A., Pinto, J.G., Ludwig, P. and Jensen Jürgen. (2016) *The Exceptional Influence of Storm 'Xaver' on Design Water Levels in the German Bight*. Environmental Research Letters Vol 11, Nr 5.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F. (2011) *The ERA-Interim reanalysis: configuration and*

- performance of the data assimilation system*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137: 553–597.
- Fonselius, S. (1995) *Västerhavets och Östersjöns oceanografi*. SMHI Oceanografi. ISBN 91-87996-07-3. 200 sidor.
- 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.
- Hieronimus, M., Hieronymus, J. and Arneborg, L. (2017a) *Sea Level modelling in the Baltic and the North Sea. The respective role of different parts of the forcing*. Ocean Modelling Vol 118, October 2017, Pages 59-72.
- Hieronimus, M., Dieterich, C., Andersson, H. and Hordoir, R. (2017b) *On the response of the Baltic Sea sea level to perturbations in mean sea level and wind speed*. PLOS ONE, submitted.
- Horsburgh, K. J., and Wilson, C. (2007) *Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea*. Journal of Geophysical Research, 112, C08003.
- Häggmark, L., Ivarsson, K-I. och Olofsson, P-O. (1997) *MESAN Mesoskalig analys*. SMHI Meteorologi och klimatologi Nr 75.
- Johansson, L., Gyllenram, W., Andersson, M. och Nerheim, S. (2017) *Lokala effekter på extrema havsvattenstånd*. SMHI Oceanografi Nr 125.
- Jönsson, B., Döös, K., Nycander, J. and Lundberg, P. (2008) *Standing Waves in the Gulf of Finland and their Relationship to the Basin-Wide Baltic Seiches*. Journal of Geophysical Research Vol 113, Issue C03004.
- Landelius, T., Dahlgren, P., Gollvik, S., Jansson, A. and Olsson, E. (2016) *A high-resolution regional reanalysis for Europe. Part 2: 2D analysis of surface temperature, precipitation and wind*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 142: 2132–2142.
- Madsen, K. S., Høyer, J.L. and Tscherning, C.C. (2007) *Near-coastal satellite altimetry: Sea surface height variability in the North Sea–Baltic Sea area*. Geophysical Research Letters 34, L14601.
- May, W., Ganske, A., Leckebusch, G.C., Rockel, B., Tinz, B. och Ulbrich, U. (2016) *Projected Change – Atmosphere*. I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 149-173. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.
- Pugh, D. and Woodworth, P. (2014) *Sea-Level Science: Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea-Level Changes*. Cambridge University Press. ISBN 978-1-107-02819-7. 407 sidor.
- Samuelsson, M. and Stigebrandt, A. (1996) *Main Characteristics of the Long-Term Sea Level Variability in the Baltic Sea*. Tellus A 48: 672–683.
- Schrum, C., Lowe, J., Meier, H.E.M., Grabemann, I., Holt, J., Mathis, M., Pohlmann, T., Skogen, M.D., Sterl, A. and Wakelin, S. (2016) *Projected Change – North Sea*. I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 175-217. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.

- Schöld, S., Ivarsson, C.-L., Nerheim, S. och Södling, J. (2017) *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust*. SMHI Klimatologi Nr 45.
- Shaw, T.A., Baldwin, M., Barnes, E.A., Caballero, R., Garfinkel, C.I., Hwang, Y.-T., Li, C., O’Gorman, P.A., Rivière, G., Simpson, I.R. and Voigt, A. (2016) *Storm track processes and the opposing influences of climate change*. Nature Geoscience, 9, 656–664.
- SMHI (2009) *Havsvattenstånd vid svenska kusten*. Faktablad Nr 41.
- Stigebrandt, A. (2001) *Physical Oceanography of the Baltic Sea*. I Eds. Wulff, F.V., Rahm, L.A. och Larsson, P. A Systems Analysis of the Baltic Sea: 19-74. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. ISBN 3-540-67769-0.
- Södling, J. och Nerheim, S. (2017) *Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd*. SMHI Oceanografi Nr 124.
- Wübbert C., and Krauss, W. (1979) *The two-dimensional seiches of the Baltic Sea*. Oceanologica Acta Vol 2 Nr 4.

8 Bilagor

8.1 Bilaga 1 – Tillgänglighetsmatris

Nummer, namn, geografisk position, observerad period (om inget slutår anges pågår mätningarna fortfarande). Färgkodningen anger mätstationernas tidsupplösning och om data är digitaliserade.

Nr	Station name	Lat	Lon	Obsperiod	1850	1860	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
2157	Kalix	6542	2306	1974-																	
2055	Furuögrund	6455	2114	1916-																	
2056	Retan	6359	2054	1891-																	
2321	Skagsudde	6311	1901	1982-																	
2061	Spikarna	6222	1732	1968-																	
2062	Draghällan	6220	1728	1897-1969																	
2067	Björn	6038	1758	1891-1978																	
2179	Forsmark	6025	1813	1975-																	
2069	Stockholm-Skeppsholmen	5919	1805	1889-																	
2507	Landsort Norra	5846	1752	2004-																	
2073	Landsort	5845	1752	1886-2006																	
2076	Märviken	5833	1650	1964-																	
2080	Visby	5738	1817	1916-																	
2083	Olands norra udde	5722	1706	1851-																	
2085	Oskarshamn	5717	1629	1960-																	
2088	Kungsholmsfort	5606	1535	1886-																	
2320	Simrishamn	5533	1421	1982-																	
2093	Ystad	5525	1349	1886-1987																	
30488	Skandör	5525	1250	1992-																	
2095	Klagshamn	5531	1254	1929-																	
2098	Malmö	5537	1300	1924-1963																	
2099	Barsebäck	5545	1254	1937-																	
2228	Viken	5609	1235	1976-																	
351115	Helmsstad Sjöfartsverket	5639	1251	2009-																	
2104	Varberg	5706	1213	1886-1982																	
2105	Ringhals	5715	1207	1967-																	
2108	Göteborg-Klippan	5741	1154	1887-1978																	
2109	Göteborg-Torshamnen	5741	1147	1967-																	
2110	Stenungsund	5805	1148	1962-																	
2111	Smögen	5821	1113	1910-																	
2130	Kungsvik	5900	1108	1973-																	
Grå	Icke-digitaliserade diagram/blanketter (dygns- eller timupplösning)																				
Gul	Dygnsvärden (en avläsning per dygn)																				
Orange	Timvärden (värdet på jämn timme)																				
Röd	Högupplösta värden (timvärden, 10-min medelvärden och min&max varje timme)																				

8.2 Bilaga 2 – Vattenståndsdynamik

Resultat från analys av vattenståndsdynamik vid de olika mätstationerna. Period och analyserad period är den tidsrymd inom vilken timvärden analyserats, därefter redovisas de satta klassgränserna och antalet klass 1- och klass 2- tillfällen totalt under hela perioden, i medel per år och maximalt under samma månad. Även den maximala tid under vilken en händelse pågått och när den händelsen ägde rum, samt varaktigheten i medel per tillfälle redogörs för. Vattenståndshändelser under vintersäsongen 2016-2017 är inte inkluderade i analysen.

Station	Period	Analyserad period (år)	Klass 1	Klass 2	Totalt antal klass 1	Totalt antal klass 2	Medelantal klass 1 per år	Medelantal klass 2 per år	Max antal klass 1 per månad	Max antal klass 2 per månad	Max varaktighet klass 1	Max varaktighet klass 2	Medel varaktighet klass 1	Medel varaktighet klass 2
Kalix	1974-2016	43	79.5	119.5	244	24	5.9	0.6	9 st okt	2 st jan 1975	95 h 1989-02-04	38 h 1984-01-13	15.5	8.8
Furuögrund	1916-2016	101	79.5	119.5	171	8	1.7	0.1	8 st dec	1 st feb 1962	92 h 1989-02-04	19 h 1984-01-14	16.5	9.7
Ratan	1891-2016	126	79.5	119.5	157	2	1.3	0	8 st dec	1 st jan 1984	79 h 2005-01-10	17 h 1984-01-14	13.8	15
Skagsudde	1982-2016	35	64.5	99.5	68	5	2.7	0.2	7 st dec	2 st dec 2011	117 h 2005-01-15	15 h 2002-02-22	24	6
Spikarna	1988-2016	49	64.5	99.5	149	5	3.1	0.1	9 st jan	1 st jan 1975	247 h 1983-01-23	14 h 1984-01-13	19.5	6.8
Draghällan	1897-1969	73	64.5	99.5	70	1	1	0	5 st dec	1 st dec 1913	78 h 1903-02-25	1 h 1913-12-04	11.7	1
Björn	1891-1978	88	64.5	99.5	145	8	1.7	0.1	5 st feb	1 st feb 1894	87 h 1913-12-03	15 h 1894-02-12	9.5	4.9
Forsmark	1975-2016	42	64.5	99.5	148	10	3.6	0.2	11 st jan	2 st jan 2007	83 h 1983-01-29	10 h 1983-01-18	11.6	3
Stockholm	1889-2016	128	64.5	99.5	129	3	1	0	8 st jan	1 st jan 1983	117 h 1983-01-27	7 h 2007-01-21	11.6	5
Landsort Norra	2004-2016	13	64.5	99.5	15	0	1.3	0	7 st jan	0 st	156 h 2007-01-17	0 h	16.7	0
Landsort	1886-2006	121	64.5	99.5	59	0	0.5	0	8 st dec	0 st	248 h 1983-01-27	0 h	18.6	0
Marviken	1964-2016	53	64.5	99.5	48	0	0.9	0	6 st jan	0 st	205 h 1983-01-28	0 h	13.6	0
Visby	1960-2016	57	64.5	99.5	19	0	0.3	0	4 st jan	0 st	143 h 1983-01-30	0 h	26.2	0
Ölands Norra udde	1961-2016	56	64.5	99.5	99	5	1.9	0.1	9 st jan	1 st nov 1973	161 h 2007-01-18	26 h 1983-01-18	18.6	5.8
Oskarshamn	1960-2016	57	64.5	99.5	86	1	1.5	0	12 st jan	1 st jan 1983	157 h 1983-01-30	2 h 1983-01-18	12.2	2
Kungsholmsfort	1886-2016	131	79.5	119.5	79	1	0.6	0	6 st jan	1 st jan 1914	53 h 1913-12-29	9 h 1914-01-09	6.8	9
Simrishamn	1982-2016	35	79.5	119.5	39	0	1.1	0	6 st jan	0 st	27 h 1983-01-19	0 h	6.2	0
Ystad	1886-1987	102	79.5	119.5	162	6	1.6	0.1	7 st dec	1 st dec 1898	45 h 1899-12-05	24 h 1913-12-30	6.4	8.7
Skånör	1992-2016	25	79.5	119.5	45	4	1.9	0.2	7 st jan	1 st feb 1993	15 h 2007-01-24	3 h 2001-11-16	4.3	1.5
Klagshamn	1929-2016	88	79.5	119.5	119	8	1.4	0.1	6 st jan	1 st feb 1934	18 h 1957-11-29	3 h 1988-11-29	2.9	0.7
Malmö	1924-1963	40	79.5	119.5	98	5	2.6	0.1	4 st jan	2 st dec 1925	22 h 1949-01-30	6 h 1948-10-23	4.9	1.6
Barsebäck	1982-2016	35	79.5	119.5	58	3	2.4	0.1	8 st jan	1 st jan 2007	26 h 1999-02-05	18 h 2013-12-06	3.7	6.7
Viken	1976-2016	41	79.5	119.5	171	17	4.3	0.4	10 st jan	2 st nov 1981	32 h 1999-02-04	20 h 2013-12-06	4.3	5.8
Halmstad SjöV	2009-2016	8	79.5	119.5	41	11	5.8	1.6	8 st nov	3 st nov 2015	63 h 2009-11-09	22 h 2015-01-10	4.8	5.1
Varberg	1886-1982	97	79.5	119.5	189	13	2.1	0.1	4 st dec	3 st dec 1921	39 h 1912-12-14	12 h 1921-12-17	5.8	3.8
Ringhals	1967-2016	50	79.5	119.5	116	9	2.5	0.2	5 st jan	1 st dec 1982	36 h 1981-11-24	15 h 2015-01-10	5.7	4
GBG Torshamnen	1967-2016	50	79.5	119.5	178	10	3.7	0.2	7 st jan	1 st nov 1981	29 h 1984-01-01	22 h 2015-01-10	4.5	4.6
Stenungsund	1962-2016	55	79.5	119.5	319	20	6.3	0.4	9 st jan	2 st nov 1981	31 h 1984-01-01	20 h 2015-01-10	4.1	3.9
Smögen	1910-2016	107	79.5	119.5	374	12	3.5	0.1	10 st jan	2 st dec 1921	38 h 1911-02-23	8 h 1920-11-16	3.6	2.3
Kungsvik	1973-2016	44	79.5	119.5	233	13	5.4	0.3	12 st jan	2 st jan 2005	25 h 1990-01-17	7 h 1985-11-06	3.4	1.2

8.3 Bilaga 3 –Stormbanor

För de tjugo studerade fallen har en karta sammanställts för lufttrycket för den tidpunkt som är närmast tidpunkten då det högsta vattenståndet mätts. På samma karta finns också lågtrycksbanan uppritad (röd linje). Lufttrycken har ibland rört sig på ett komplext sätt, flera lågtryck kan vara inblandade och trycken har delat på sig eller slagits ihop.

Kartorna baseras på lufttrycksdata för var sjätte timme (blå punkt). Data för de 18 första fallen i tabell 1 har hämtats från EURO4M medan de två sista är hämtade från ERA-Interim.

En bättre bild över vad som hände fås ofta genom att animera händelsen. Exempel på animerade stormfloder kan hittas på SMHI:s hemsida:

- Stormen Simone: <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/storm-okt-2013>
- Stormen 18 till 19 januari 2017:
<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/storm1701/storm.php>

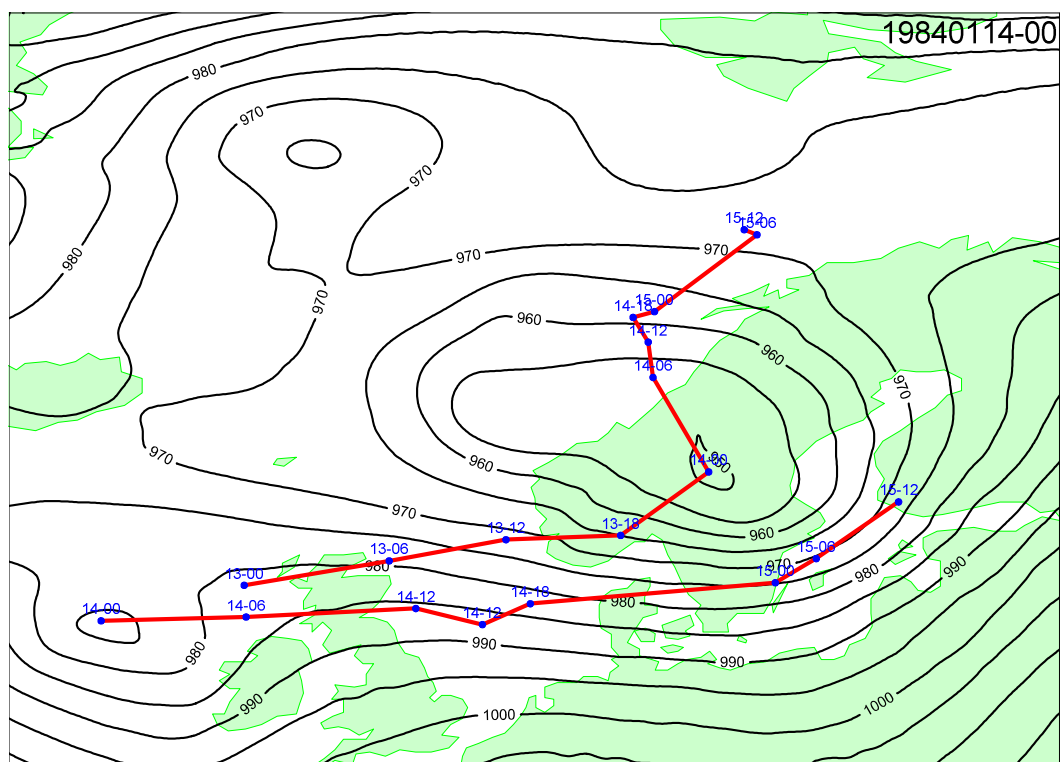
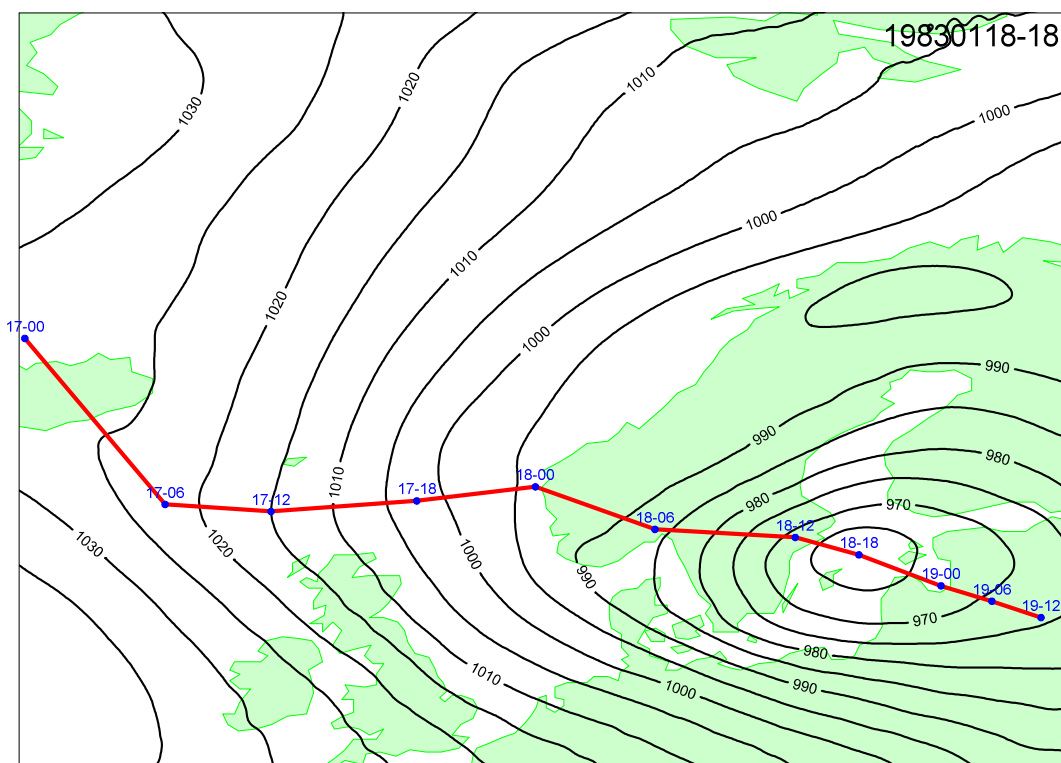
Det går även att animera och studera väderkartor för var sjätte timma på den tyska vädertjänstens hemsida:

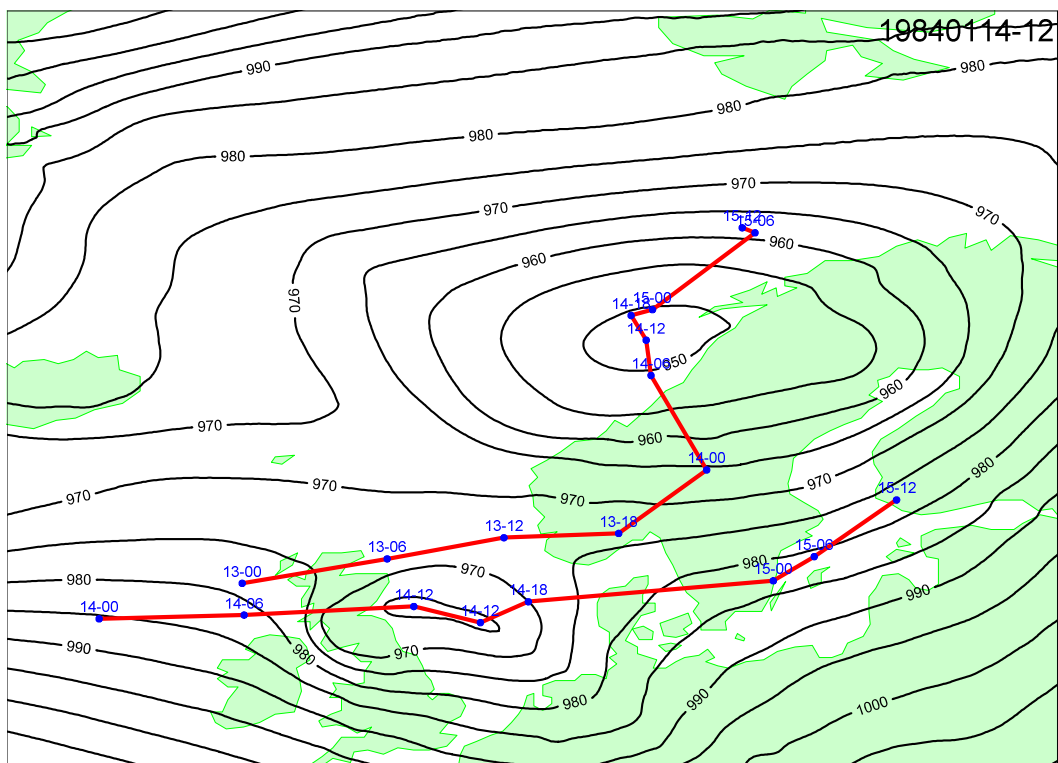
<http://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.aspx>

<http://www.wetterzentrale.de/de/reanalysis.aspx?map=1&model=cfsr&var=1>

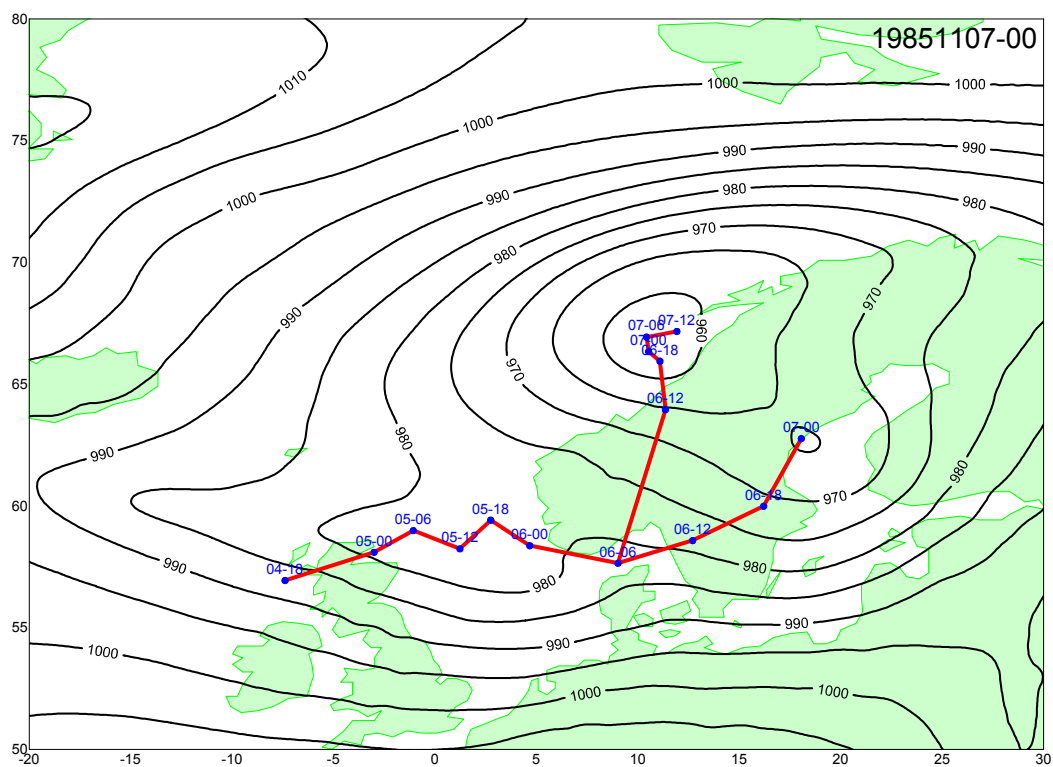
Tabell 1. Studerade fall. Högsta observerade vattenstånd är det högsta vattenstånd som observerats vid tillfället i centimeter över medelvattenstånd.

Fig.	Datum	Tid (UTC)	Högsta observerade vattenstånd (cm)	Stat.nr.	Station	Kustområde	Storm
1	1983-01-18	19:34	117	2069	Stockholm	Östersjön	
2	1984-01-13	23:54	129	2061	Spikarna	Bottenhavet	
3	1984-01-14	12:50	177	2157	Kalix	Bottenviken	
4	1985-11-06	22:38	166	2228	Viken	Öresund	
5	1986-12-02	04:31	137	2179	Forsmark	Södra Bottenhavet	
6	1992-01-16	18:19	129	2179	Forsmark	Södra Bottenhavet	
7	1992-12-19	16:00	148	2157	Kalix	Bottenviken	
8	2002-02-22	22:00	131	2321	Skagsudde	Bottenhavet	
8	2002-02-23	00:00	144	2157	Kalix	Bottenviken	
9	2005-01-08	17:26	165	2105	Ringhals	Kattegatt	Gudrun
10	2007-01-14	18:17	145	2179	Forsmark	Södra Bottenhavet	Per
11	2007-01-21	07:37	104	2069	Stockholm	Östersjön	
12	2011-11-27	19:24	162	2228	Viken	Öresund	Första adventsstormen
13	2011-12-09	14:48	123	2321	Skagsudde	Bottenhavet	
14	2012-01-14	02:34	101	2083	Ölands Norra udde	Östersjön	
15	2013-10-28	19:34	170	35115	Halmstad	Kattegatt	Simone
16	2013-12-06	13:15	169	35115	Halmstad	Kattegatt	Sven
17	2013-12-06	17:39	168	2228	Viken	Öresund	Sven
18	2015-01-10	22:48	158	35115	Halmstad	Kattegatt	Egon
19	2015-11-29	22:46	235	35115	Halmstad	Kattegatt	Gorm

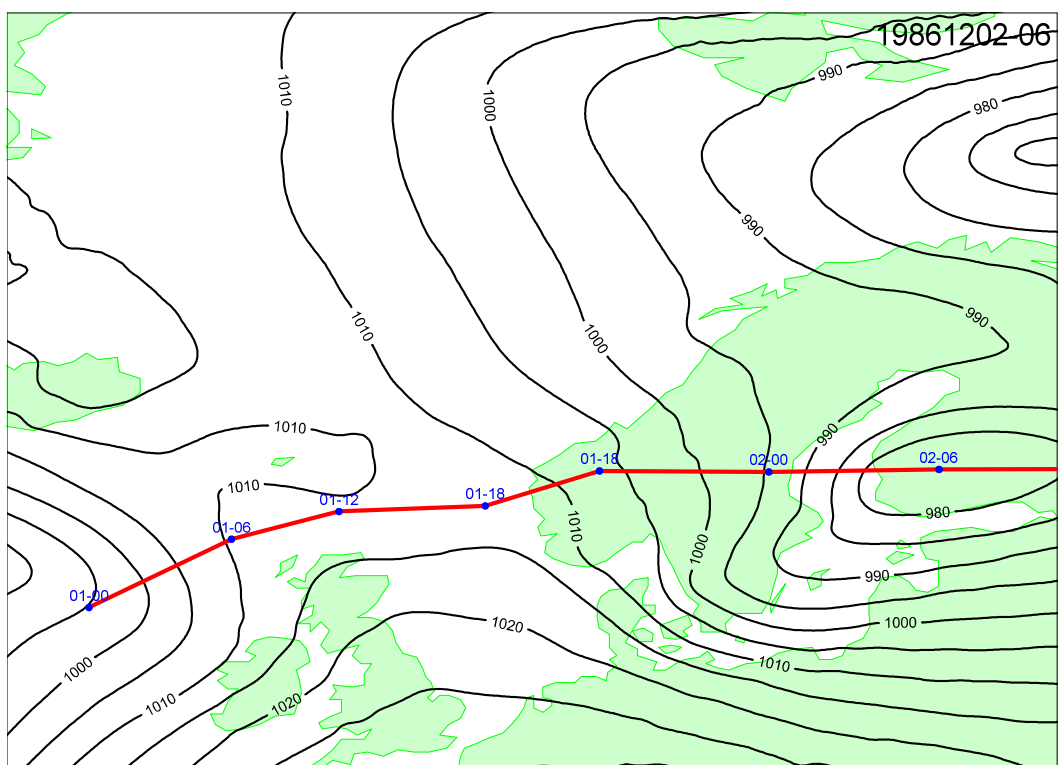




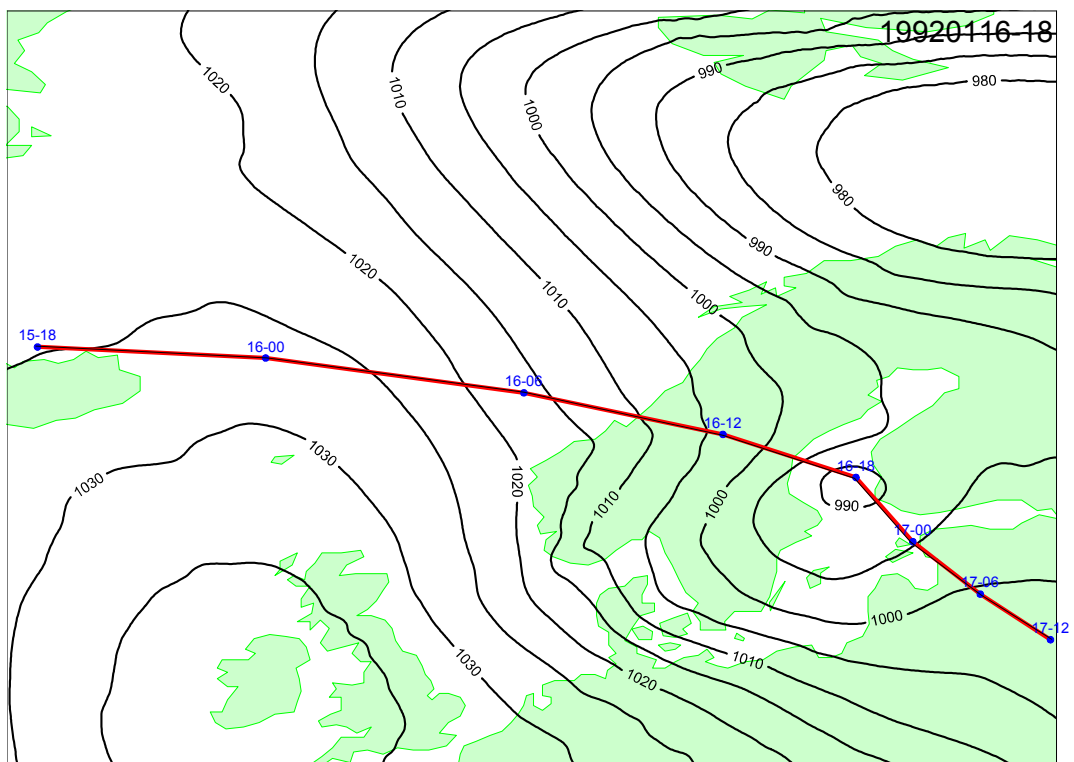
Figur 3. 1984-01-14, 12:50 UTC, Högsta vattenstånd: 177 cm i 2157 Kalix.



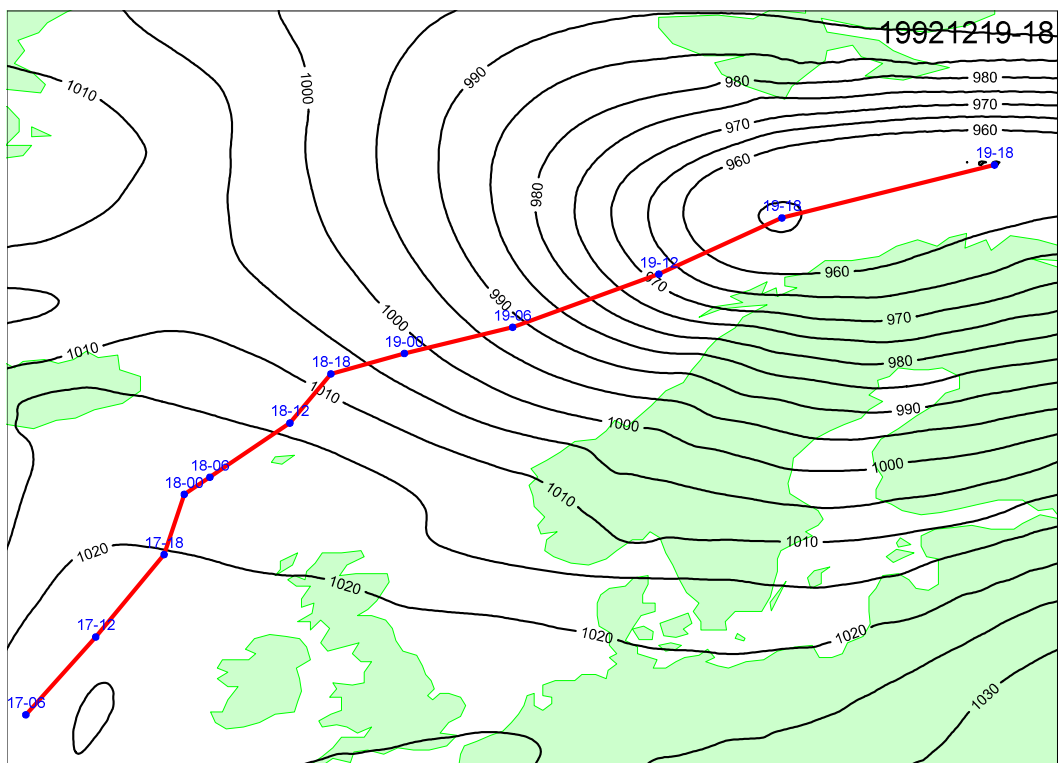
Figur 4. 1985-11-06, 22:38 UTC, Högsta vattenstånd: 166 cm i 2228 Viken.



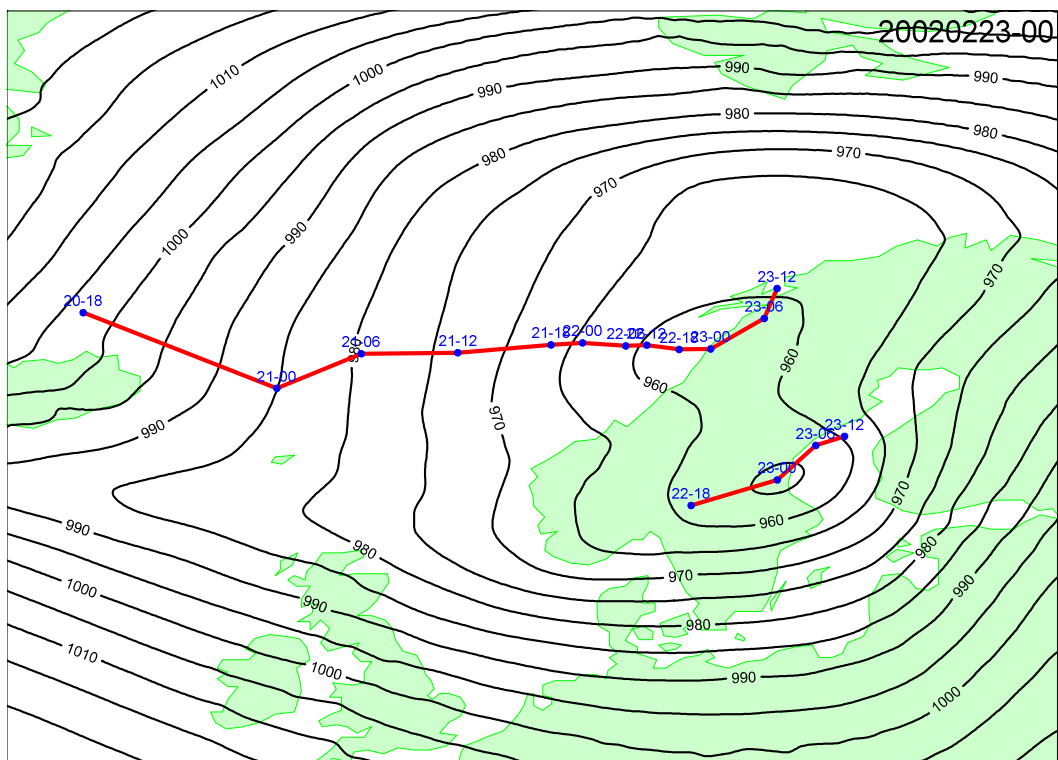
Figur 5. 1986-12-02, 04:31 UTC, Högsta vattenstånd: 137 cm i 2179 Forsmark.



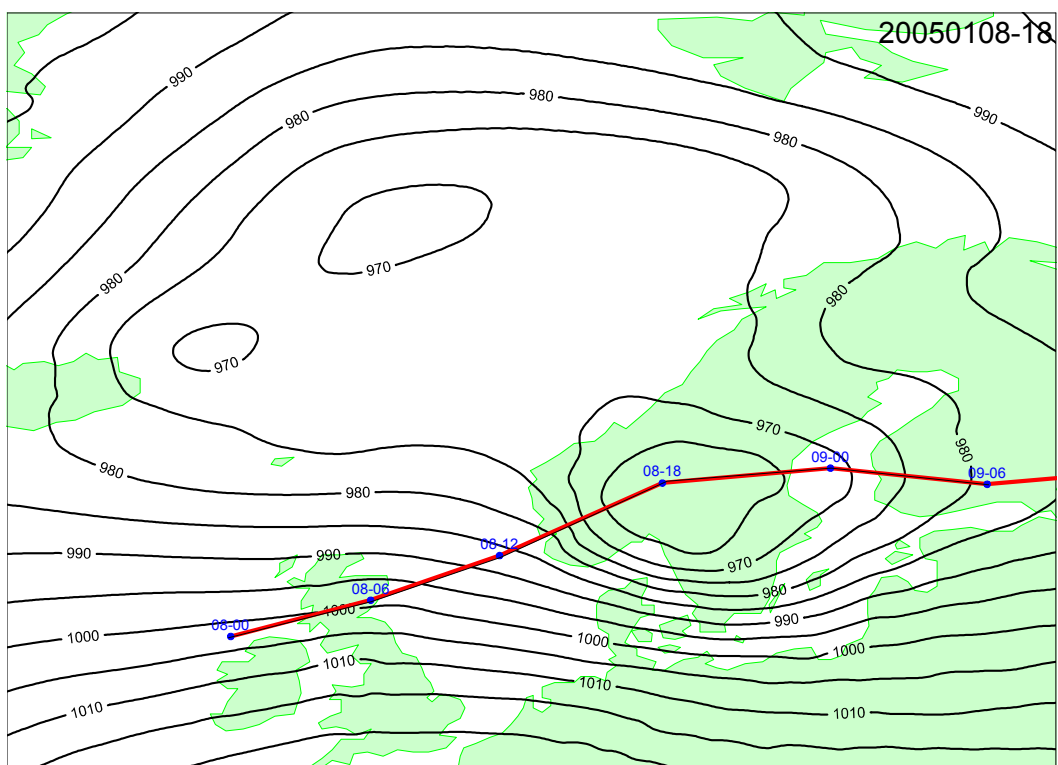
Figur 6. 1992-01-16, 18:19 UTC, Högsta vattenstånd: 129 cm i 2179 Forsmark.



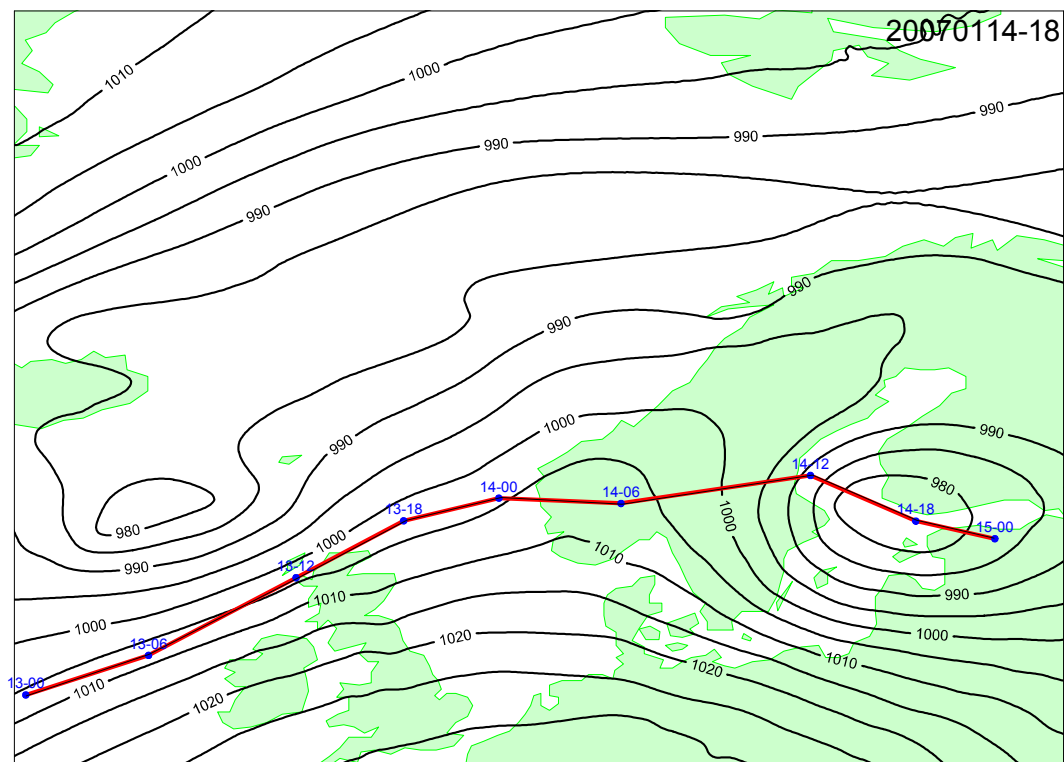
Figur 7. 1992-12-19, 16:00 UTC, Högsta vattenstånd: 148 cm i 2157 Kalix.



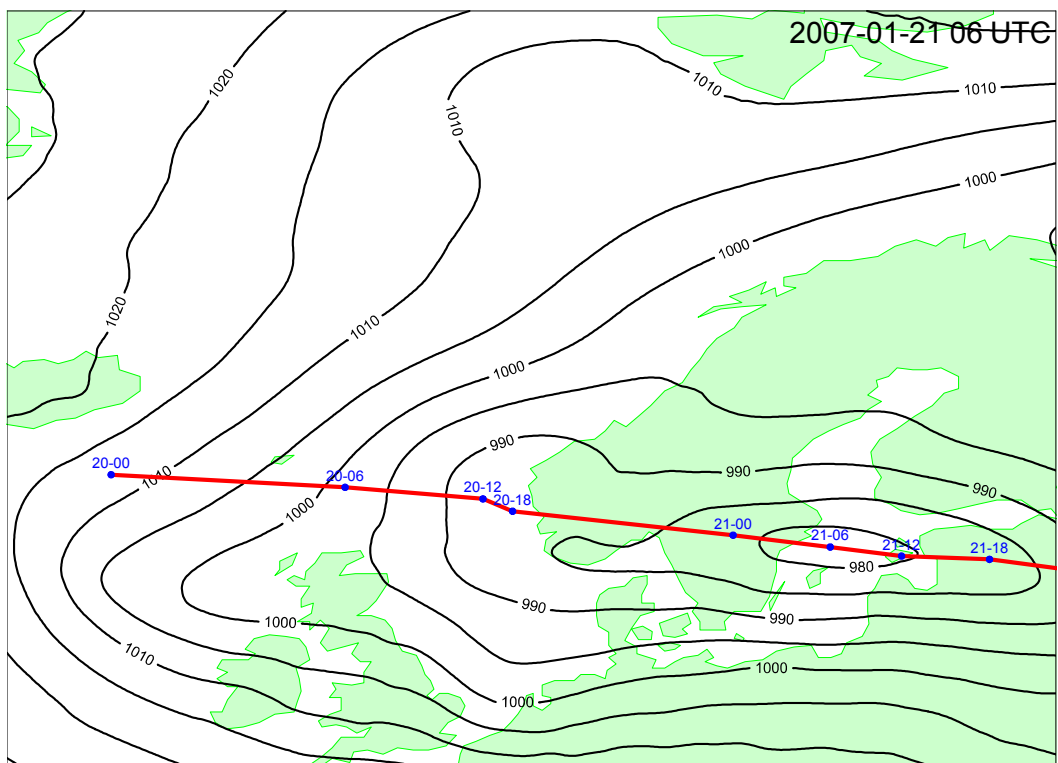
Figur 8. 2002-02-22, 22:00 UTC, Högsta vattenstånd: 131 cm i 2321 Skagsudde och 144 cm i 2157 Kalix



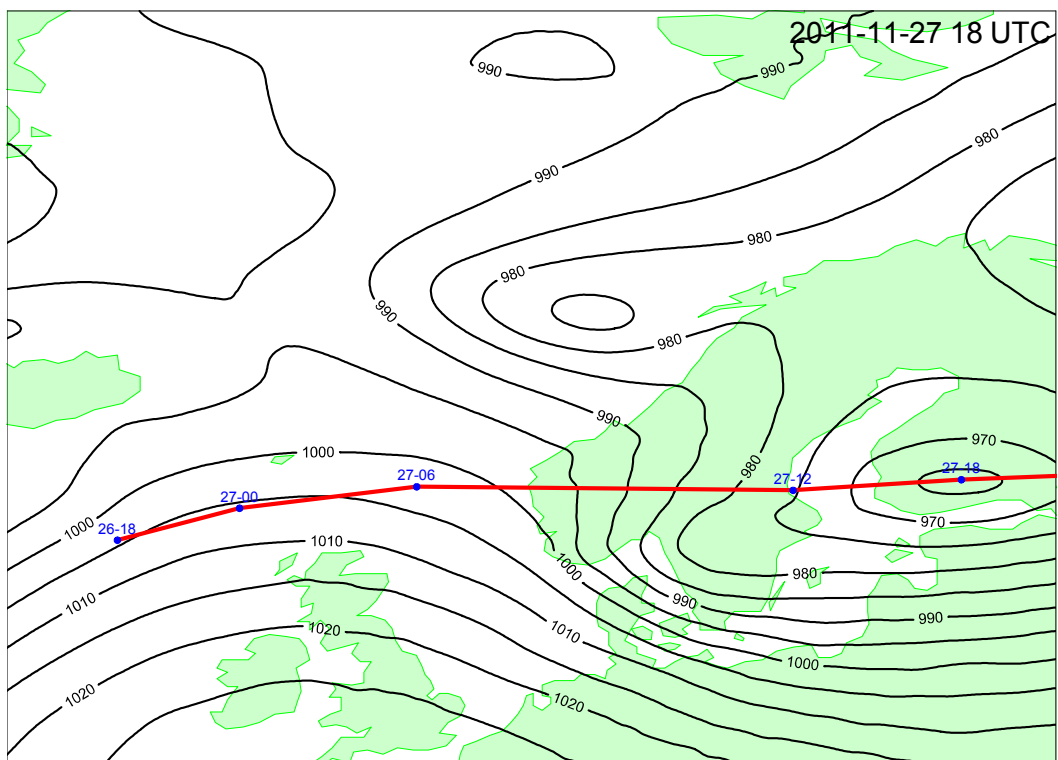
Figur 9. 2005-01-08, 17:26 UTC, Högsta vattenstånd: 165 cm i 2105 Ringhals.



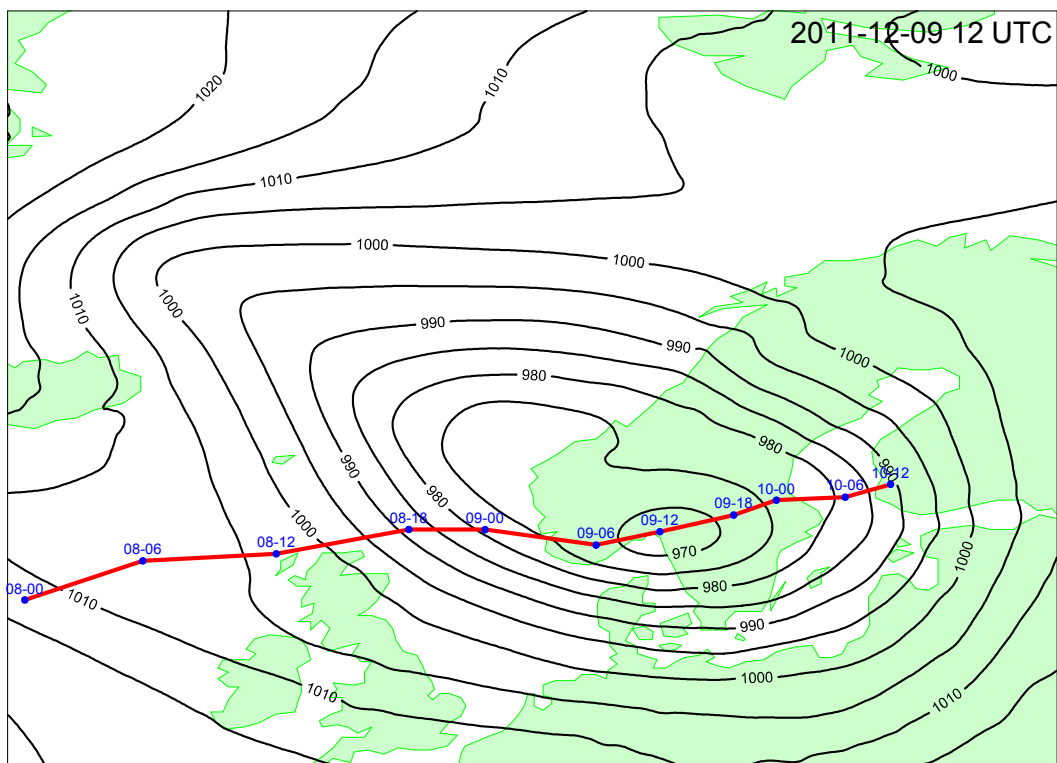
Figur 10. 2007-01-14, 18:17 UTC, Högsta vattenstånd: 145 cm i 2179 Forsmark.



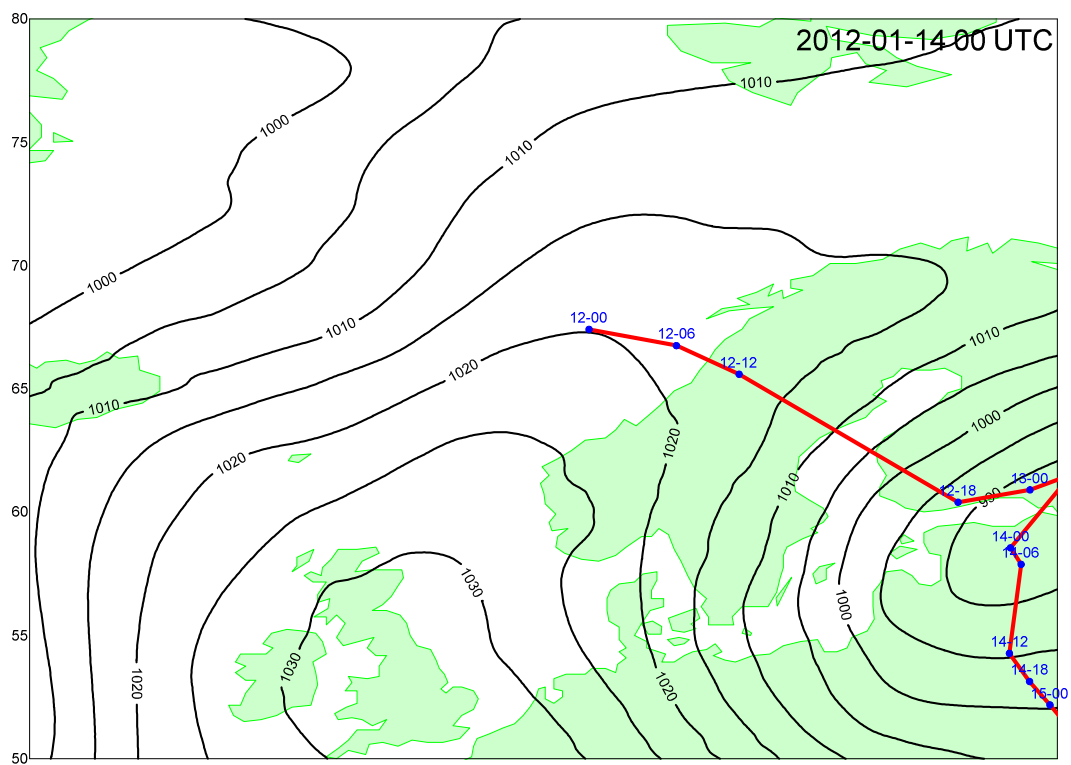
Figur11. 2007-01-21, 07:37 UTC, Högsta vattenstånd: 104 cm i 2069 Stockholm.



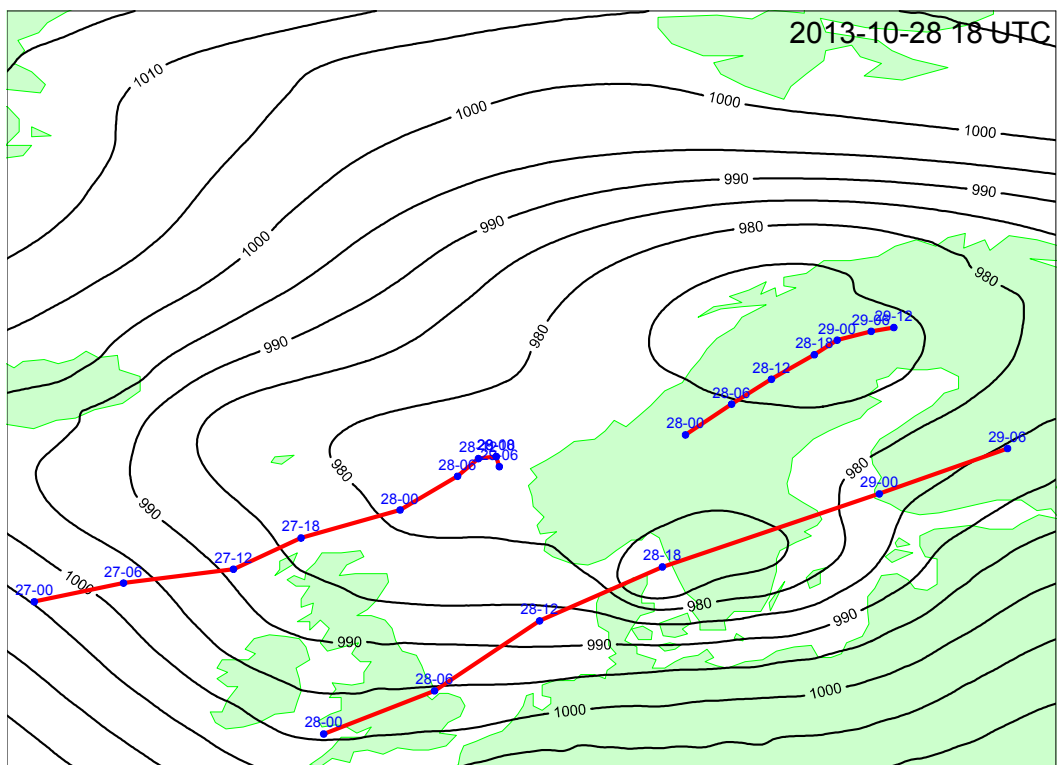
Figur 12. 2011-11-27, 19:24 UTC, Högsta vattenstånd: 162 cm i 2228 Viken.



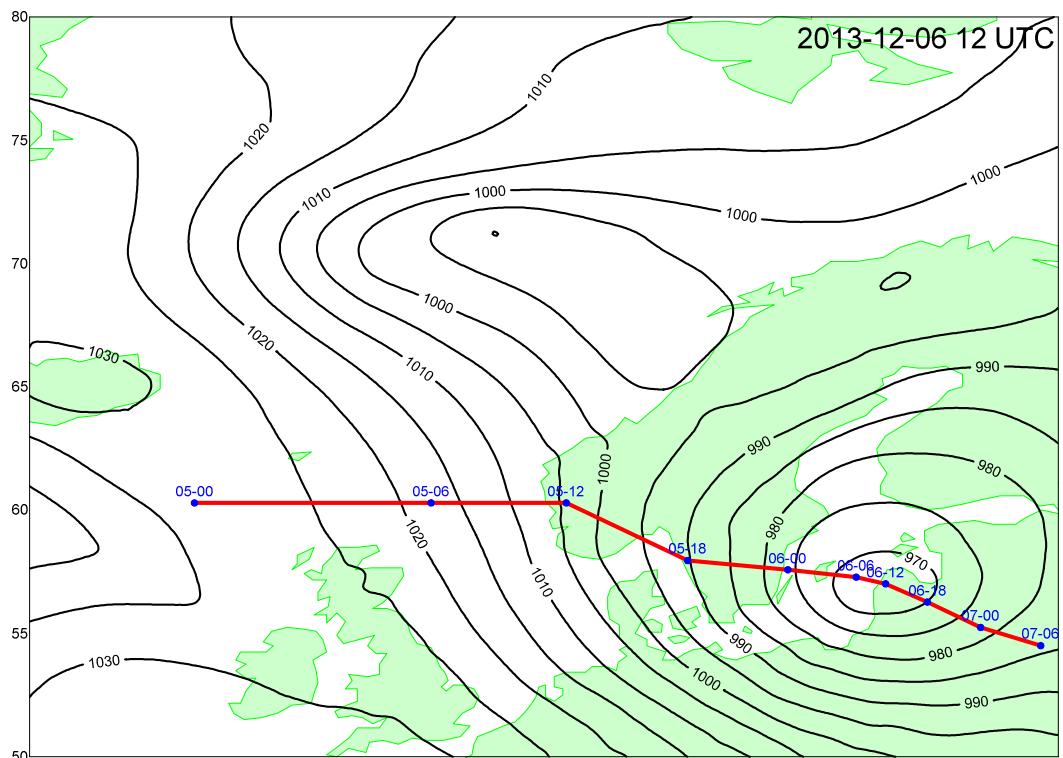
Figur 13. 2011-12-09, 14:48 UTC, Högsta vattenstånd: 123 cm i 2321 Skagsudde.



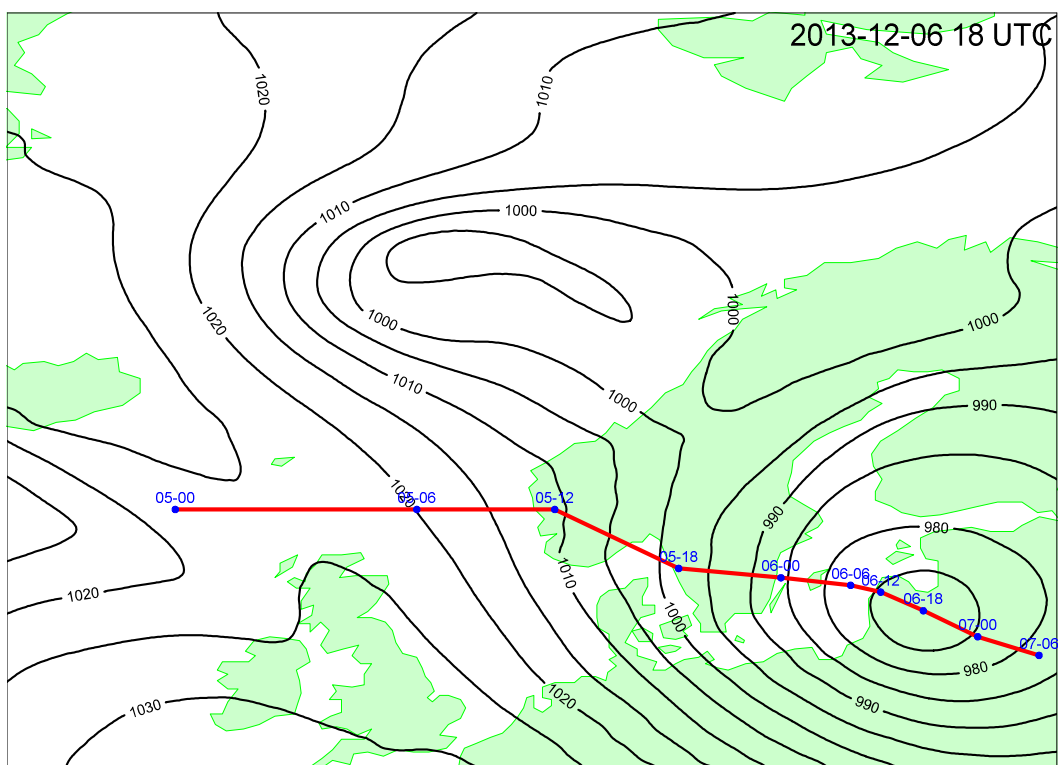
Figur 14. 2012-01-14, 02:34 UTC, Högsta vattenstånd: 101 cm i 2083 Ölands Norra udde.



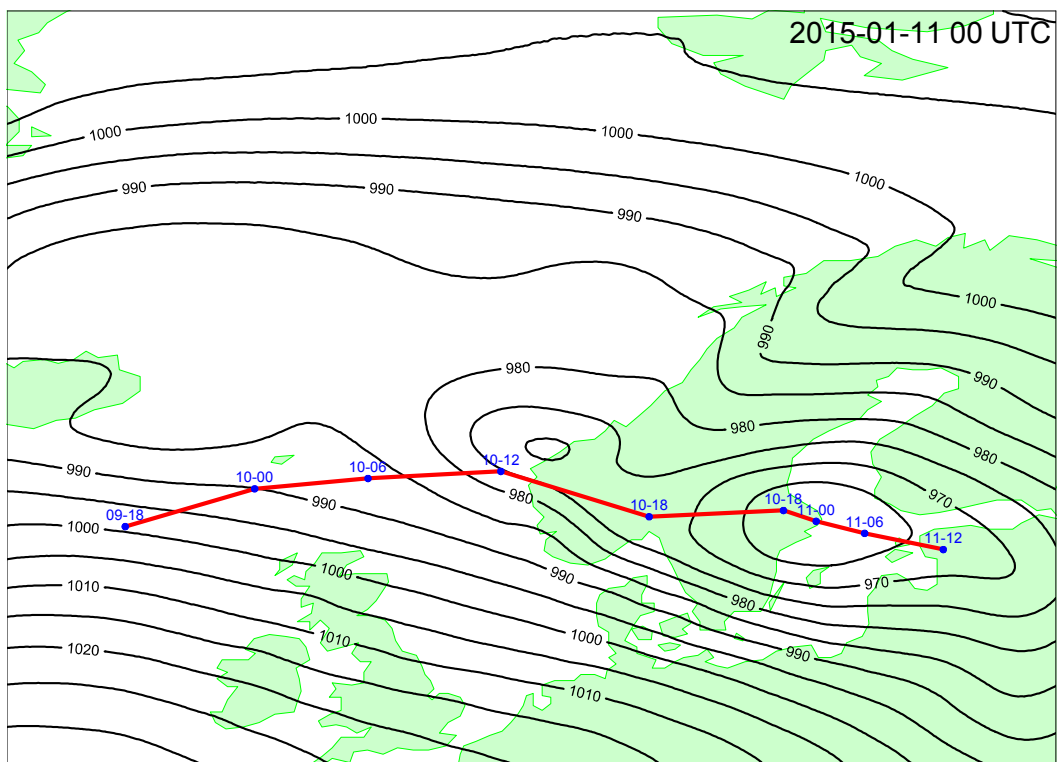
Figur 15. 2013-10-28, 19:34 UTC, Högsta vattenstånd: 170 cm i 35115 Halmstad.



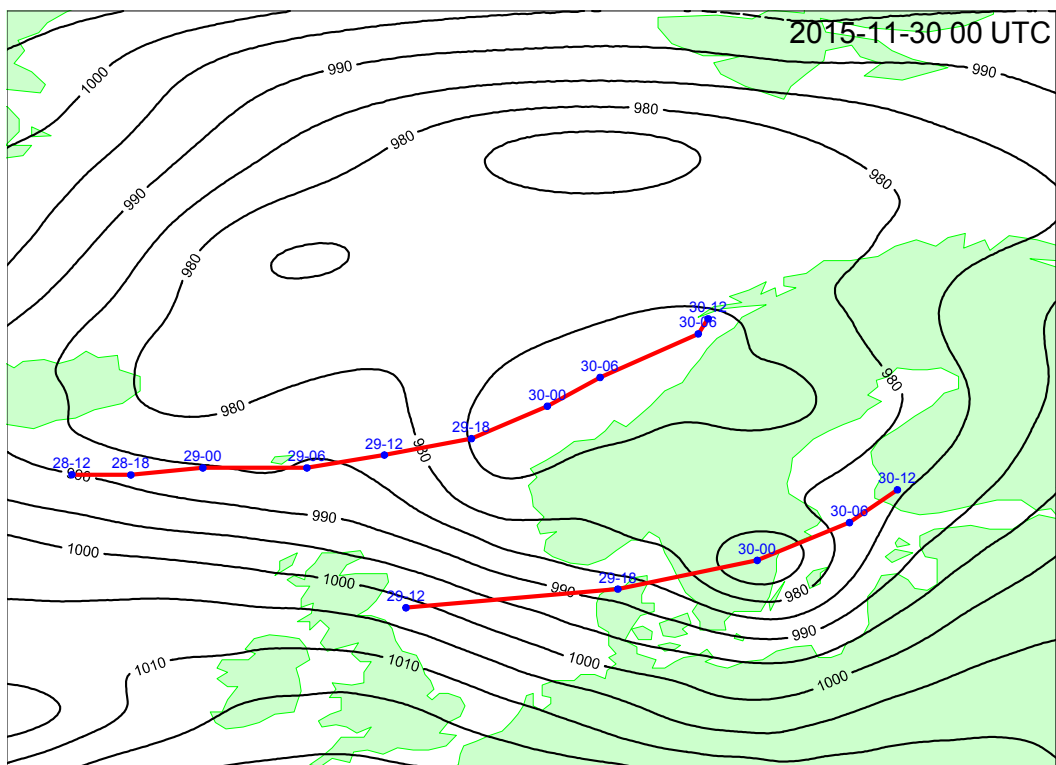
Figur 16. 2013-12-06, 13:15 UTC, Högsta vattenstånd: 169 cm i 35115 Halmstad.



Figur 17. 2013-12-06, 17:39 UTC, Högsta vattenstånd: 168 cm i 2228 Viken.



Figur 18. 2015-01-10, 22:48UTC, Högsta vattenstånd: 158 cm i 35115 Halmstad.



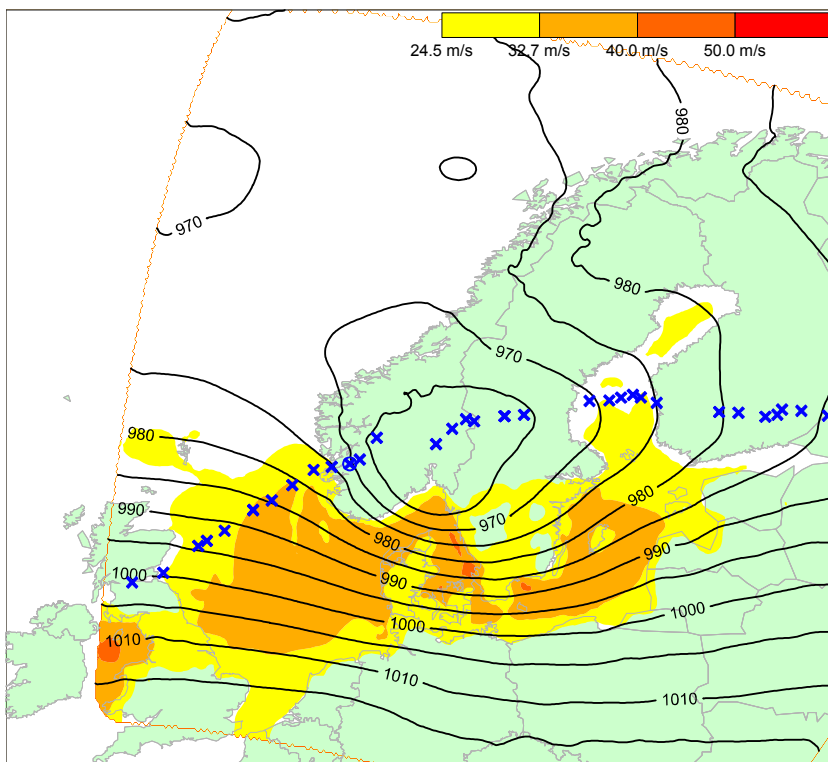
Figur 19. 2015-11-29, 22:46 UTC, Högsta vattenstånd: 235 cm i 35115 Halmstad.

8.4 Bilaga 4 – Stormar med höga havsvattenstånd

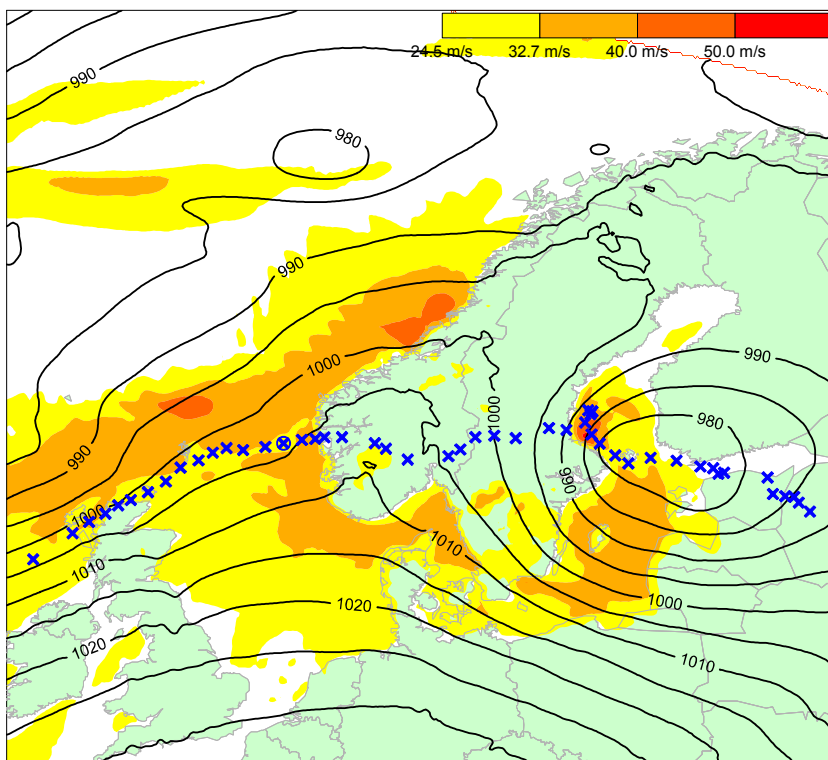
Urvalet av stormtillfällen har baserats på vattenståndets nivå. Kartanalyserna med lufttryck bygger enbart på MESAN-data för varje timme. Lufttrycket visas vid tidpunkten för högsta uppmätta vattenstånd.

Tabell 1. Studerade fall. Högsta observerade vattenstånd är det högsta vattenstånd som observerats i kustområdet vid tillfället, uttryckt som cm över medelvattenstånd.

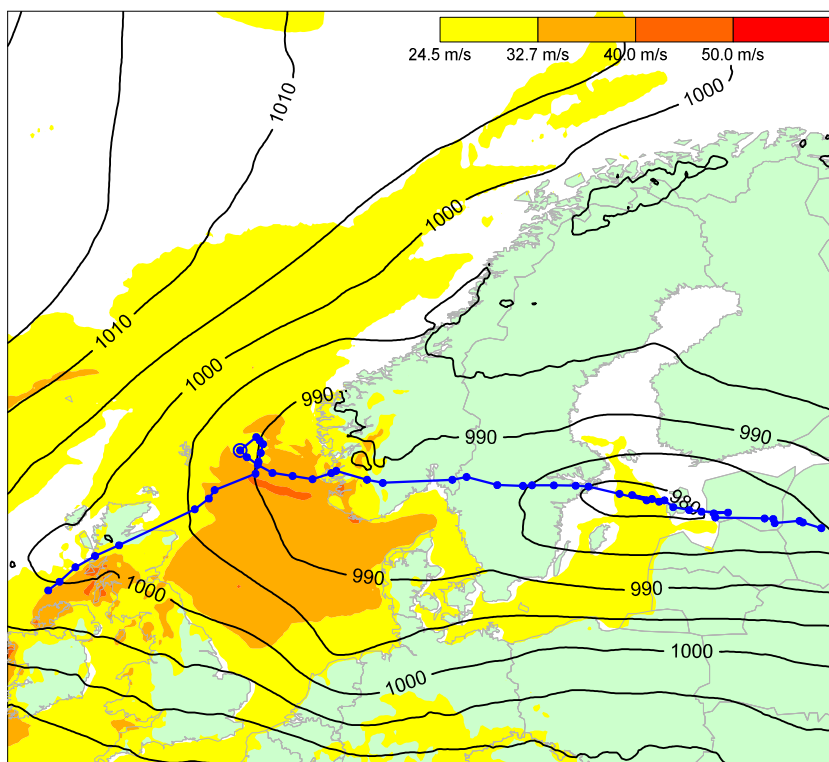
Fig.	Datum	Tid (UTC)	Högsta observerade vattenstånd (cm)	Stat.nr.	Station	Kustområde	Storm
1	2005-01-08	17:26	165	2195	Ringhals	Kattegatt	Gudrun
2	2007-01-14	00:18	145	2179	Forsmark	Södra Bottenhavet	Per
3	2007-01-21	07:37	104	2069	Stockholm	Östersjön	
4	2011-11-27	19:24	162	2228	Viken	Öresund	Första adventsstormen
5	2011-12-09	14:48	123	2321	Skagsudde	Bottenhavet	
6	2012-01-14	02:34	101	2083	Ölands Norra udde	Östersjön	
7	2013-10-28	19:34	170	35115	Halmstad	Kattegatt	Simone
8	2013-12-06	13:15	169	35115	Halmstad	Kattegatt	Sven
8	2013-12-06	17:39	168	2228	Viken	Öresund	Sven
9	2015-01-10	22:48	158	35115	Halmstad	Kattegatt	Egon
10	2015-11-29	22:46	235	35115	Halmstad	Kattegatt	Gorm



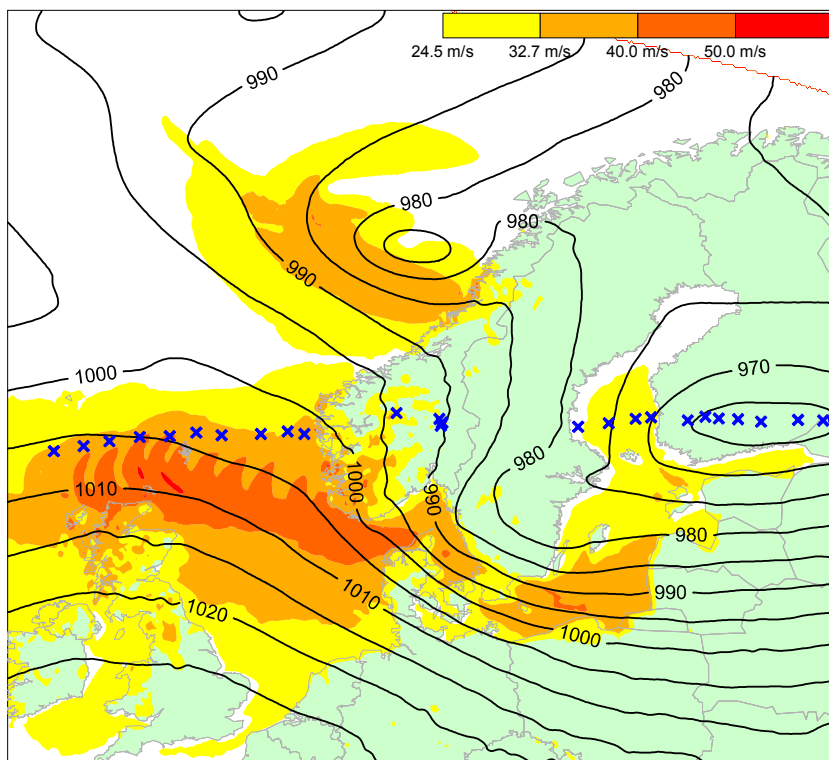
Figur 1. Lufttrycket 2005-01-08 kl. 17 UTC. **Stormen Gudrun**. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



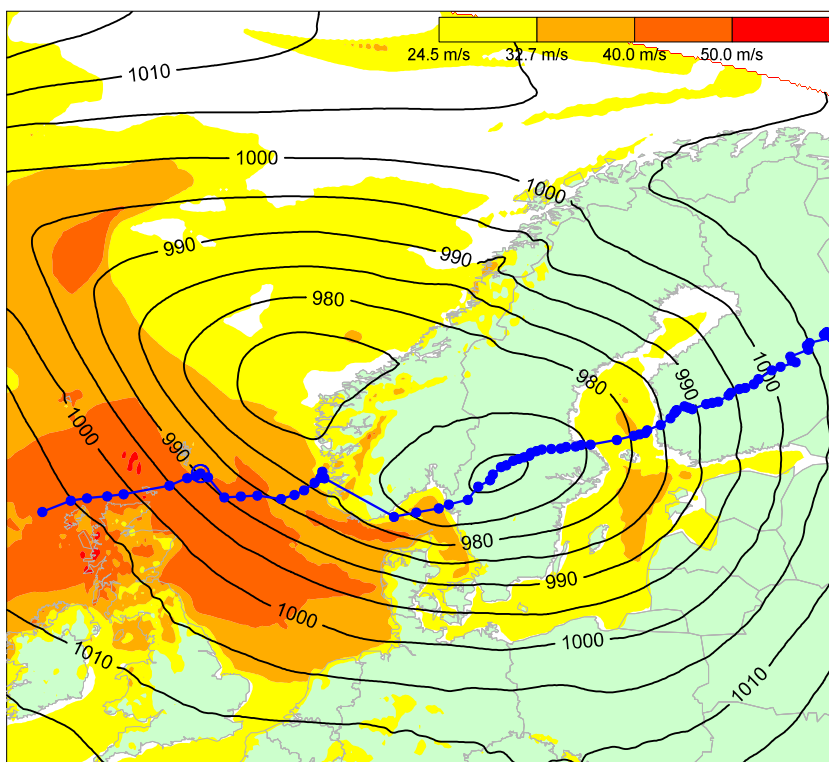
Figur 2. Lufttrycket 2007-01-14 kl. 18 UTC. **Stormen Per**. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



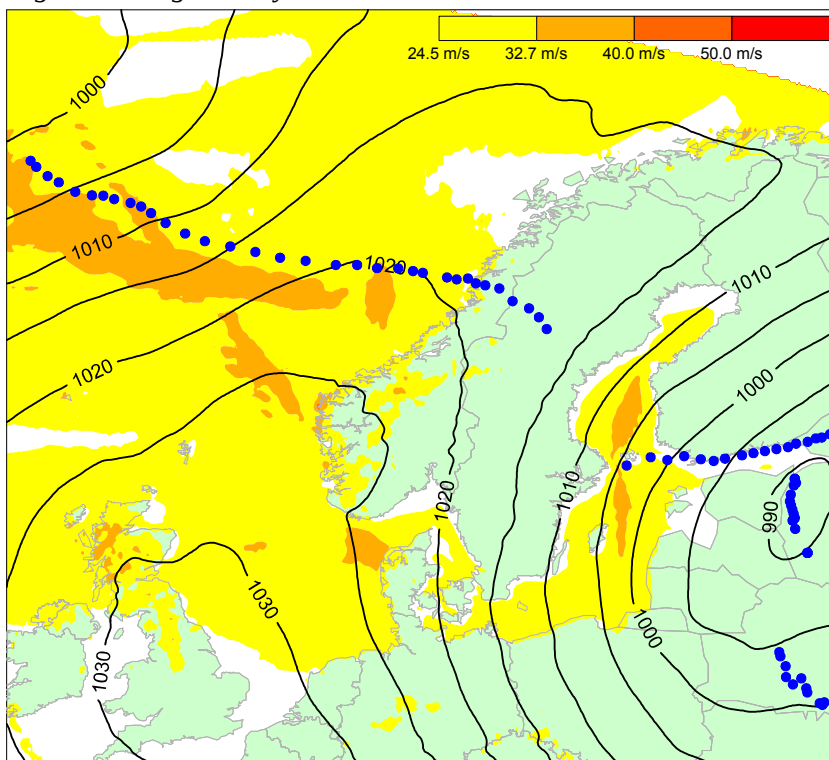
Figur 3. Lufttrycket 2007-01-21 kl. 08 UTC. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



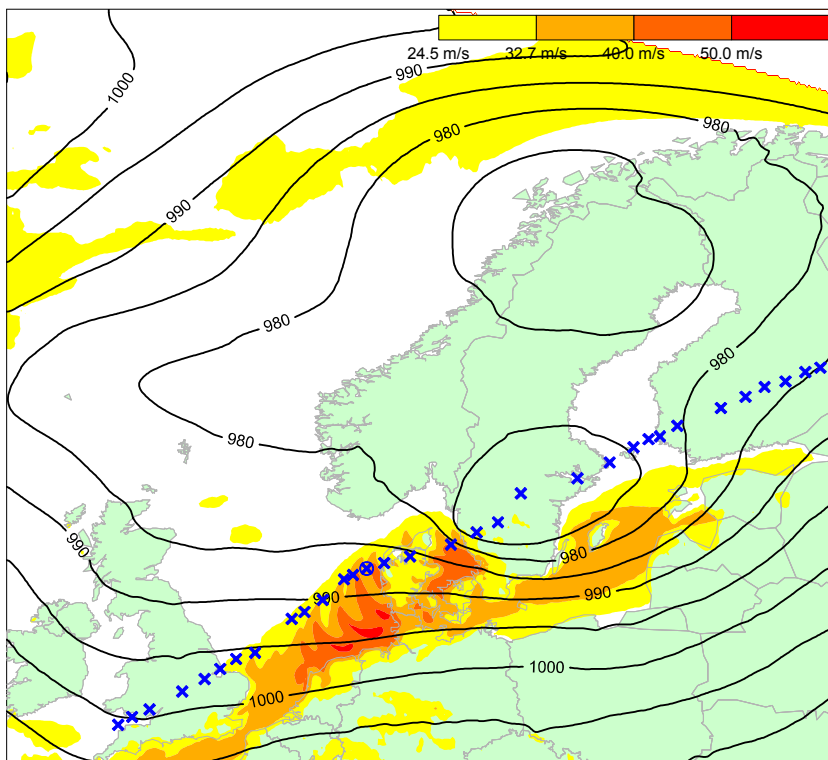
Figur 4. Lufttrycket 2011-11-27 kl. 19 UTC. **Första Adventstormen.** Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



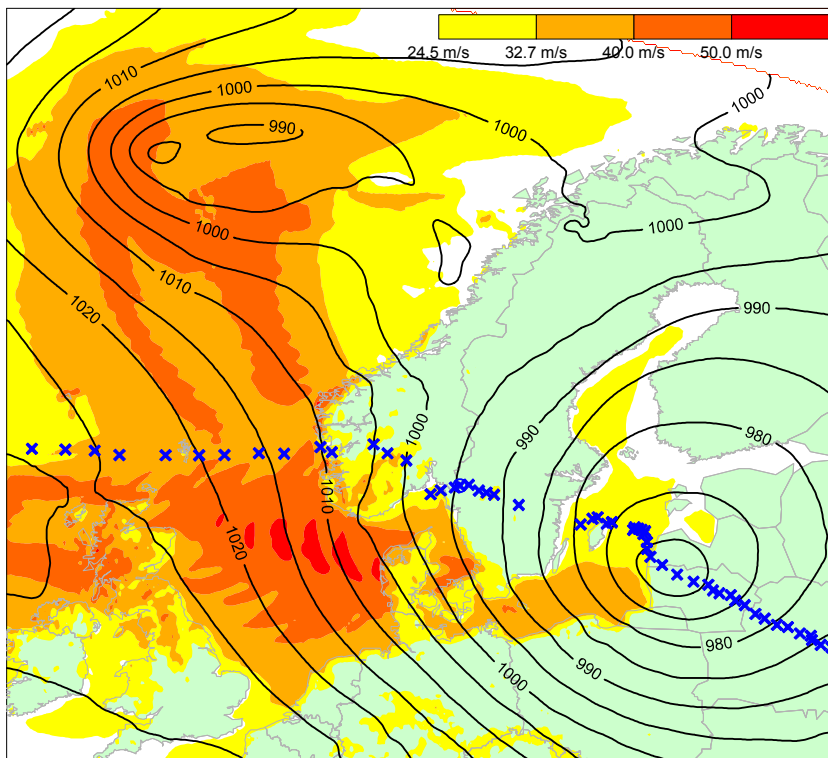
Figur 5. Lufttrycket 2011-12-09 kl. 15 UTC. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



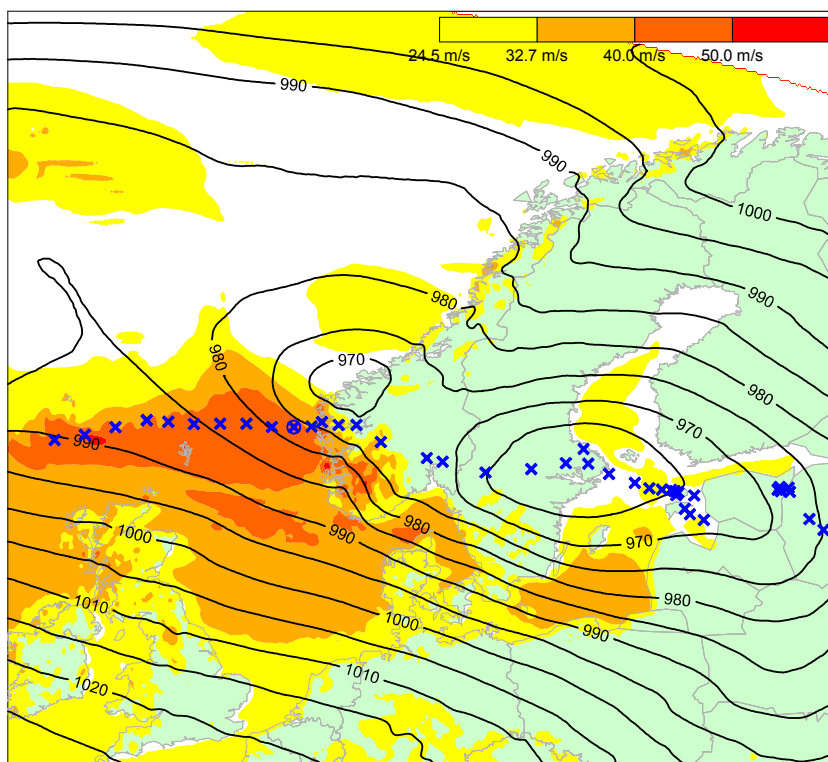
Figur 6. Lufttrycket 2012-01-14 kl. 03 UTC. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



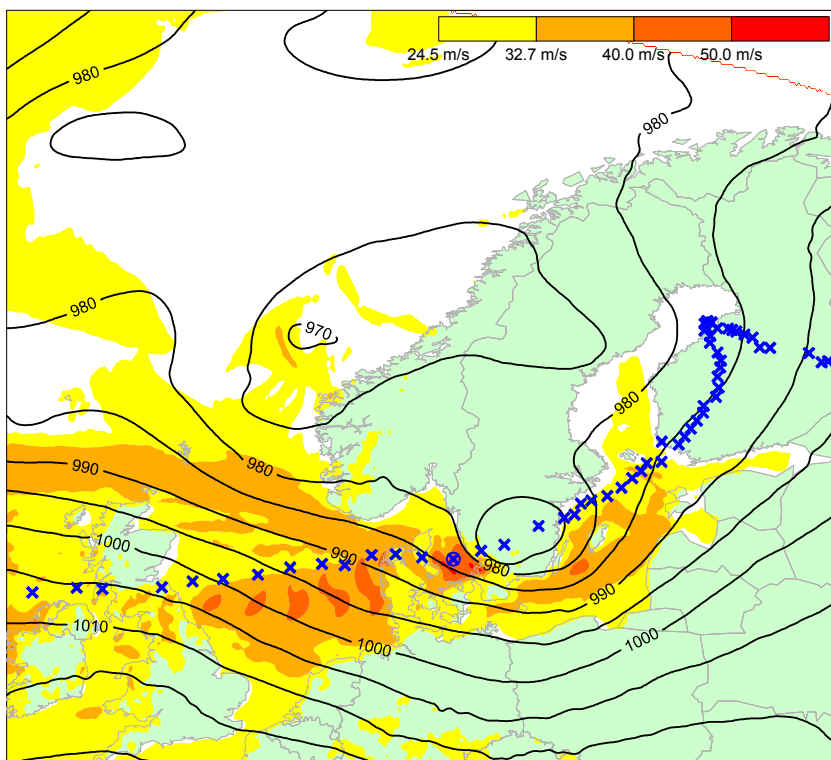
Figur 7. Lufttrycket 2013-10-28 kl. 20 UTC. **Stormen Simone.** Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



Figur 8. Lufttrycket 2013-12-06 kl. 15 UTC. **Stormen Sven.** Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



Figur 9. Lufttrycket 2015-01-10 kl. 23 UTC. **Stormen Egon**. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.



Figur 10. Lufttrycket 2015-11-29 kl. 23 UTC. **Stormen Gorm**. Färgerna anger den högsta byvinden under hela stormen. Lågtryckets läge timme för timme visas med blå kryss. Lägsta lågtrycket inom kartan anges med ring runt kryss.

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

I serien OCEANOGRAFI har tidigare utgivits:

- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | Lennart Funkquist (1985)
En hydrodynamisk modell för
spridnings- och cirkulationsberäkningar i
Östersjön
Slutrapport | 9 | Barry Broman (1986)
Oceanografiska stationsnät - Svenskt
Vattenarkiv |
| 2 | Barry Broman och Carsten Pettersson.
(1985)
Spridningsundersökningar i yttre fjärden
Piteå | 10 | Vakant – kommer ej att utnyttjas! |
| 3 | Cecilia Ambjörn (1986)
Utbyggnad vid Malmö hamn; effekter
för Lommabuktens vattenutbyte | 11 | Cecilia Ambjörn (1987)
Spridning av kylvatten från
Öresundsverket |
| 4 | Jan Andersson och Robert Hillgren
(1986)
SMHIs undersökningar i
Öregrundsgrepen perioden 84/85 | 12 | Bo Juhlin (1987)
Oceanografiska observationer utmed
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1986 |
| 5 | Bo Juhlin (1986)
Oceanografiska observationer utmed
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1985 | 13 | Jan Andersson och Robert Hillgren
(1987)
SMHIs undersökningar i
Öregrundsgrepen 1986 |
| 6 | Barry Broman (1986)
Uppföljning av sjövärmepump i Lilla
Värtan | 14 | Jan-Erik Lundqvist (1987)
Impact of ice on Swedish offshore
lighthouses. Ice drift conditions in the
area at Sydostbrotten - ice season
1986/87 |
| 7 | Bo Juhlin (1986)
15 års mätningar längs svenska kusten
med kustbevakningen (1970 - 1985) | 15 | SMHI/SNV (1987)
Fasta förbindelser över Öresund -
utredning av effekter på vattenmiljön i
Östersjön |
| 8 | Jonny Svensson (1986)
Vågdata från svenska kustvatten 1985 | 16 | Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1987)
Undersökning av vattenmiljön vid
utfyllnaden av Kockums varvsbassäng.
Slutrapport för perioden
18 juni - 21 augusti 1987 |

- 17 Erland Bergstrand (1987)
Östergötlands skärgård - Vattenmiljön
- 18 Stig H. Fonselius (1987)
Kattegatt - havet i väster
- 19 Erland Bergstrand (1987)
Recipientkontroll vid Breviksnäs
fiskodling 1986
- 20 Kjell Wickström (1987)
Bedömning av kylvattenrecipienten för
ett kolkraftverk vid Oskarshamnsverket
- 21 Cecilia Ambjörn (1987)
Förstudie av ett nordiskt modellsystem
för kemikaliespridning i vatten
- 22 Kjell Wickström (1988)
Vågdata från svenska kustvatten 1986
- 23 Jonny Svensson, SMHI/National
Swedish Environmental Protection
Board (SNV) (1988)
A permanent traffic link across the
Öresund channel - A study of the hydro-
environmental effects in the Baltic Sea
- 24 Jan Andersson och Robert Hillgren
(1988)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1987
- 25 Carsten Peterson och Per-Olof Skoglund
(1988)
Kylvattnet från Ringhals 1974-86
- 26 Bo Juhlin (1988)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1987
- 27 Bo Juhlin och Stefan Tobiasson (1988)
Recipientkontroll vid Breviksnäs
fiskodling 1987.
- 28 Cecilia Ambjörn (1989)
Spridning och sedimentation av tippat
lermaterial utanför Helsingborgs
hamnområde
- 29 Robert Hillgren (1989)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1988
- 30 Bo Juhlin (1989)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1988
- 31 Erland Bergstrand och Stefan Tobiasson
(1989)
Samordnade kustvattenkontrollen i
Östergötland 1988
- 32 Cecilia Ambjörn (1989)
Oceanografiska förhållanden i
Brofjorden i samband med
kylvattenutsläpp i Trommekilen
- 33a Cecilia Ambjörn (1990)
Oceanografiska förhållanden utanför
Vendelsöfjorden i samband med
kylvatten-utsläpp
- 33b Eleonor Marmefelt och Jonny Svensson
(1990)
Numerical circulation models for the
Skagerrak - Kattegat. Preparatory study
- 34 Kjell Wickström (1990)
Oskarshamnsverket - kylvattenutsläpp i
havet - slutrapport
- 35 Bo Juhlin (1990)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1989
- 36 Bertil Håkansson och Mats Moberg
(1990)
Glommaälvens spridningsområde i nord-
östra Skagerrak
- 37 Robert Hillgren (1990)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1989
- 38 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - the gateway to the North Sea
- 39 Stig Fonselius (1990)
Skagerrak - porten mot Nordsjön.
- 40 Cecilia Ambjörn och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsundersökningar i norra
Kalmarsund för Mönsterås bruk

- 41 Cecilia Ambjörn (1990)
Strömningsteknisk utredning avseende
utbyggnad av gipsdeponi i Landskrona
- 42 Cecilia Ambjörn, Torbjörn Grafström
och Jan Andersson (1990)
Spridningsberäkningar - Klints Bank
- 43 Kjell Wickström och Robert Hillgren
(1990)
Spridningsberäkningar för EKA-
NOBELs fabrik i Stockviksverken
- 44 Jan Andersson (1990)
Brofjordens kraftstation -
Kylvattensspridning i Hanneviken
- 45 Gustaf Westring och Kjell Wickström
(1990)
Spridningsberäkningar för Höganäs
kommun
- 46 Robert Hillgren och Jan Andersson
(1991)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1990
- 47 Gustaf Westring (1991)
Brofjordens kraftstation -
Kompletterande simulering och analys
av kylvattensspridning i Trommekilen
- 48 Gustaf Westring (1991)
Vågmätningar utanför Kristianopel -
Slutrapport
- 49 Bo Juhlin (1991)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1990
- 50A Robert Hillgren och Jan Andersson
(1992)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1991
- 50B Thomas Thompson, Lars Ulander, Bertil
Håkansson, Bertil Brusmark, Anders
Carlström, Anders Gustavsson, Eva
Cronström och Olov Fäst (1992).
BEERS -92 Final edition
- 51 Bo Juhlin (1992)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1991
- 52 Jonny Svensson och Sture Lindahl
(1992)
Numerical circulation model for the
Skagerrak - Kattegatt
- 53 Cecilia Ambjörn (1992)
Isproppsförebyggande muddring och
dess inverkan på strömmarna i
Torneälven
- 54 Bo Juhlin (1992)
20 års mätningar längs svenska kusten
med kustbevakningens fartyg (1970 -
1990)
- 55 Jan Andersson, Robert Hillgren och
Gustaf Westring (1992)
Förstudie av strömmar, tidvatten och
vattenstånd mellan Cebu och Leyte,
Filippinerna
- 56 Gustaf Westring, Jan Andersson,
Henrik Lindh och Robert Axelsson
(1993)
Forsmark - en temperaturstudie.
Slutrapport
- 57 Robert Hillgren och Jan Andersson
(1993)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1992
- 58 Bo Juhlin (1993)
Oceanografiska observationer runt
svenska kusten med kustbevakningens
fartyg 1992
- 59 Gustaf Westring (1993)
Isförhållandena i svenska farvatten under
normalperioden 1961-90
- 60 Torbjörn Lindkvist (1994)
Kustområdesregister 1993
- 61 Jan Andersson och Robert Hillgren
(1994)
SMHIs undersökningar utanför Forsmark
1993

- 62 Bo Juhlin (1994)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1993
- 63 Gustaf Westring (1995)
Isförhållanden utmed Sveriges kust - isstatistik från svenska farleder och farvatten under normalperioderna 1931-60 och 1961-90
- 64 Jan Andersson och Robert Hillgren (1995)
SMHI:s undersökningar utanför Forsmark 1994
- 65 Bo Juhlin (1995)
Oceanografiska observationer runt svenska kusten med kustbevakningens fartyg 1994
- 66 Jan Andersson och Robert Hillgren (1996)
SMHI:s undersökningar utanför Forsmark 1995
- 67 Lennart Funkquist och Patrik Ljungemyr (1997)
Validation of HIROMB during 1995-96
- 68 Maja Brandt, Lars Edler och Lars Andersson (1998)
Översvämningar längs Oder och Wisla sommaren 1997 samt effekterna i Östersjön
- 69 Jörgen Sahlberg SMHI och Håkan Olsson, Länsstyrelsen, Östergötland (2000)
Kustzonmodell för norra Östergötlands skärgård
- 70 ***Vakant – kommer ej att utnyttjas!***
- 71 ***Vakant – kommer ej att utnyttjas!***
- 72 Fourth Workshop on Baltic Sea Ice Climate Norrköping, Sweden 22-24 May, 2002 Conference Proceedings
Editors: Anders Omstedt and Lars Axell
- 73 Torbjörn Lindkvist, Daniel Björkert, Jenny Andersson, Anders Gyllander (2003)
Djupdata för kustområden 2003
- 74 Håkan Olsson, SMHI (2003)
Erik Årnefelt, Länsstyrelsen Östergötland
Kustzonssystemet i regional miljöanalys
- 75 Jonny Svensson och Eleonor Marmefelt (2003)
Utvärdering av kustzonmodellen för norra Östergötlands och norra Bohusläns skärgårdar
- 76 Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson, Helma Lindow och Jonny Svensson, Thalassos Computations (2004)
Integrerat kustzonssystem för Bohusläns skärgård
- 77 Philip Axe, Martin Hansson och Bertil Håkansson (2004)
The national monitoring programme in the Kattegat and Skagerrak
- 78 Lars Andersson, Nils Kajrup och Björn Sjöberg (2004)
Dimensionering av det nationella marina pelagialprogrammet
- 79 Jörgen Sahlberg (2005)
Randdata från öppet hav till kustzonmodellerna (Exemplet södra Östergötland)
- 80 Eleonor Marmefelt, Håkan Olsson (2005)
Integrerat Kustzonssystem för Hallandskusten
- 81 Tobias Strömberg (2005)
Implementation of a Flux Corrected Transport scheme in the Rossby Centre Ocean model
- 82 Martin Hansson (2006)
Cyanobakterieblomningar i Östersjön, resultat från satellitövervakning 1997-2005

- 83 Kari Eilola, Jörgen Sahlberg (2006)
Model assessment of the predicted environmental consequences for OSPAR problem areas following nutrient reductions
- 84 Torbjörn Lindkvist, Helma Lindow (2006)
Fyrskjeppsdata. Resultat och bearbetnings-metoder med exempel från Svenska Björn 1883 – 1892
- 85 Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Baltic Proper
- 86 Elin Almroth, Kari Eilola, M. Skogen, H. Søiland and Ian Sehested Hansen (2007)
The year 2005. An environmental status report of the Skagerrak, Kattegat and North Sea
- 87 Eleonor Marmefelt, Jörgen Sahlberg och Marie Bergstrand (2007)
HOME Vatten i södra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
- 88 Pia Andersson (2007)
Ballast Water Exchange areas – Prospect of designating BWE areas in the Skagerrak and the Norwegian Trench
- 89 Anna Edman, Jörgen Sahlberg, Niclas Hjerdt, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenhavets vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar
- 90 Niclas Hjerdt, Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt och Karen Lundholm (2007)
HOME Vatten i Bottenhavets vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitets-beräkningar
- 91 Elin Almroth, Morten Skogen, Ian Sehested Hansen, Tapani Stipa, Susa Niiranen (2008)
The year 2006
An Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea
A demonstration Project
- 92 Pia Andersson editor and co-authors¹
Bertil Håkansson¹, Johan Håkansson¹, Elisabeth Sahlsten¹, Jonathan Havenhand², Mike Thorndyke², Sam Dupont² *Swedish Meteorological and Hydrological Institute¹ Gothenburg University, Sven Lovén, Centre of Marine Sciences²* (2008)
Marine Acidification – On effects and monitoring of marine acidification in the seas surrounding Sweden
- 93 Jörgen Sahlberg, Eleonor Marmefelt, Maja Brandt, Niclas Hjerdt och Karen Lundholm (2008)
HOME Vatten i norra Östersjöns vattendistrikt. Integrerat modellsystem för vattenkvalitetsberäkningar.
- 94 David Lindstedt (2008)
Effekter av djupvattenomblandning i Östersjön – en modellstudie
- 95 Ingemar Cato¹, Bertil Håkansson², Ola Hallberg¹, Bernt Kjellin¹, Pia Andersson², Cecilia Erlandsson¹, Johan Nyberg¹, Philip Axe² (2008)
¹*Geological Survey of Sweden (SGU)*
²*The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)*
A new approach to state the areas of oxygen deficits in the Baltic Sea
- 96 Kari Eilola, H.E. Markus Meier, Elin Almroth, Anders Höglund (2008)
Transports and budgets of oxygen and phosphorus in the Baltic Sea
- 97 Anders Höglund, H.E. Markus Meier, Barry Broman och Ekaterina Kriezi (2009)
Validation and correction of regionalised ERA-40 wind fields over the Baltic Sea using the Rossby Centre Atmosphere model RCA3.0
- 98 Jörgen Sahlberg (2009)
The Coastal Zone Model
- 99 Kari Eilola (2009)
On the dynamics of organic nutrients, nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea

- 100 Kristin I. M. Andreasson (SMHI), Johan Wikner (UMSC), Berndt Abrahamsson (SMF), Chris Melrose (NOAA), Svante Nyberg (SMF) (2009)
Primary production measurements – an intercalibration during a cruise in the Kattegat and the Baltic Sea
- 101 K. Eilola, B. G. Gustafson, R. Hordoir, A. Höglund, I. Kuznetsov, H.E.M. Meier T. Neumann, O. P. Savchuk (2010)
Quality assessment of state-of-the-art coupled physical-biogeochemical models in hind cast simulations 1970-2005
- 102 Pia Andersson (2010)
Drivers of Marine Acidification in the Seas Surrounding Sweden
- 103 Jörgen Sahlberg, Hanna Gustavsson (2010)
HOME Vatten i Mälaren
- 104 K.V Karmanov., B.V Chubarenko, D. Domnin, A. Hansson (2010)
Attitude to climate changes in everyday management practice at the level of Kaliningrad region municipalities
- 105 Helén C. Andersson., Patrik Wallman, Chantal Donnelly (2010)
Visualization of hydrological, physical and biogeochemical modelling of the Baltic Sea using a GeoDome™
- 106 Maria Bergelo (2011)
Havsvattenståndets påverkan längs Sveriges kust – enkätsvar från kommuner, räddningstjänst, länsstyrelser och hamnar
- 107 H.E. Markus Meier, Kari Eilola (2011)
Future projections of ecological patterns in the Baltic Sea
- 108 Meier, H.E.M., Andersson, H., Dieterich, C., Eilola, K., Gustafsson, B., Höglund, A., Hordoir, R., Schimanke, S (2011)
Transient scenario simulations for the Baltic Sea Region during the 21st century
- 109 Ulrike Löptien, H.E. Markus Meier (2011)
Simulated distribution of colored dissolved organic matter in the Baltic Sea
- 110 K. Eilola¹, J. Hansen⁴, H. E. M. Meier¹, K. Myrberg⁵, V. A. Ryabchenko³ and M. D. Skogen² (2011)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden, ²Institute of Marine Research, Norway, ³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia, ⁴National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark, ⁵Finnish Environment Institute, Finland
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study
Years 2001-2005
- 111 Semjon Schimanke, Erik Kjellström, Gustav Strandberg och Markus Meier (2011)
A regional climate simulation over the Baltic Sea region for the last Millennium
- 112 Meier, H. E. M., K. Eilola, B. G. Gustafsson, I. Kuznetsov, T. Neumann, and O. P. Savchuk, (2012)
Uncertainty assessment of projected ecological quality indicators in future climate
- 113 **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**
- 114 Domnina, Anastasia¹. Chubarenko, Boris¹ (2012) *Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia.*¹
“Discussion on the Vistula Lagoon regional development considering local consequences of climate changes Interim report on the ECOSUPPORT BONUS+project No. 08-05-92421.
- 115 K. Eilola¹, J.L.S. Hansen⁴, H.E.M. Meier¹, M.S. Molchanov³, V.A. Ryabchenko³ and M.D. Skogen² (2013)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Sweden. ²Institute of Marine Research, Norway.
³St. Petersburg Branch, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russia. ⁴Department of Bioscience, Aarhus University, Denmark
Eutrophication Status Report of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea: A model study. Present and future climate
- 116 **Vakant – kommer ej att utnyttjas!**

- 117 Kari Eilola¹, Elin Almroth-Rosell¹, Moa Edman¹, Tatjana Eremina³, Janus Larsen⁴, Urszula Janas², Arturas Razinkovas-Basiukas⁶, Karen Timmermann⁴, Letizia Tedesco⁵, Ekaterina Voloshchuk³ (2015)
¹Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping, Sweden. ²Institute of Oceanography, Gdansk University, Poland. ³Russian State hydrometeorological University, Sankt-Petersburg, Russia. ⁴Aarhus University, Roskilde, Denmark. ⁵Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland. ⁶Coastal and Planning Research Institute, Klaipeda, Lithuania.
Model set-up at COCOA study sites
- 118 Helén C. Andersson, Lena Bram Eriksson, Niclas Hjerdt, Göran Lindström Ulrike Löptien och Johan Strömqvist. (2016)
Översikt av beräkningsmodeller för bedömning av fiskodlingars näringsämnesbelastning på sjöar, vattendrag, magasin och kustvatten
- 119 Ivan Kuznetsov, Kari Eilola, Christian Dieterich, Robinson Hordoir, Lars Axell, Anders Höglund and Semjon Schimanke. (2016)
Model study on the variability of ecosystem parameters in the Skagerrak - Kattegat area, effect of load reduction in the North Sea and possible effect of BSAP on Skagerrak - Kattegat area
- 120 Johannes Johansson, Martin Hansson (2016)
Slutrapport 2015 för uppdraget
”Databaslagring av historiska fys/kemdata från Stockholm Vatten
”Datavärdskapet Oceanografi och Marinbiologi
- 121 Arnold Andreasson, Patrik Strömberg, Maria Prager, Nils Nexelius (2016)
Automatisering av nationellt dataflöde till ICES genom skördning - en förstudie
- 122 Anders Höglund (2016)
Invasive species in the Baltic Sea A model study of plankton transport



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 0283-7714