



Mareografen (den gula byggnaden) på Landsort där SMHI utförde mätningar av havsvattenstånd under åren 1886 till 2006. Stationen har ersatts av en ny station några kilometer norrut.

## Havsvattenstånd vid svenska kusten

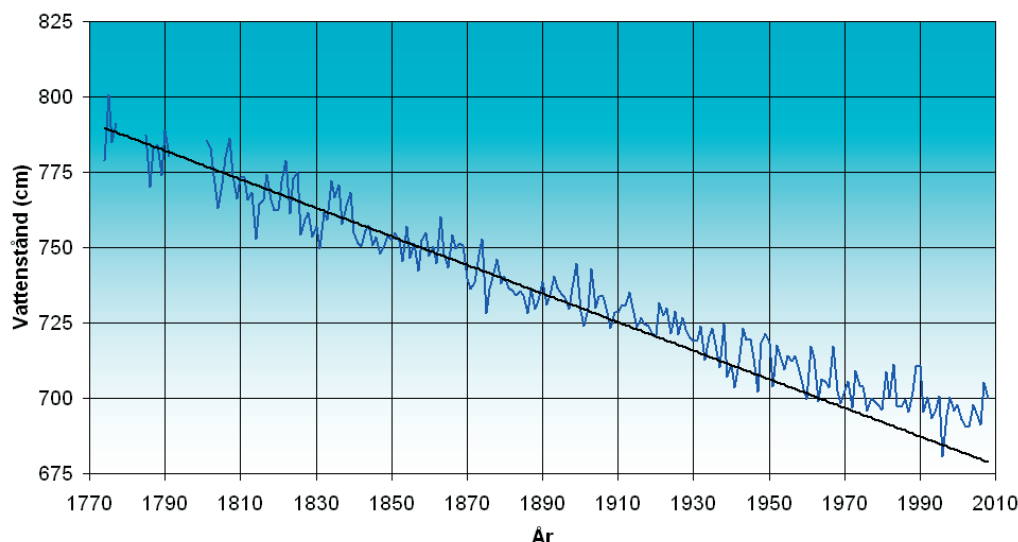
Havsvattenstånd beskriver havsytans höjd i förhållande till land och dess ständiga variationer påverkar natur och människor vid kusterna. I Skandinavien är landhöjningen särskilt påtaglig jämfört med många andra delar av världen, då havsnivån upplevs sjunka med tiden. I andra delar av världen upplever man stigande havsnivåer p g a ett förändrat klimat. Även i södra Skandinavien där landhöjningen är liten har vattenståndet börjat stiga och så småningom räknar man med att havsnivåhöjningen kommer att överstiga landhöjningseffekten även i övriga Skandinavien. Sverige behöver därför redan nu ta hänsyn till detta vid byggnation i kustområden. Analyser av långa mätserier bekräftar att havsnivån har stigit sedan 1800-talet. Metoder för att beräkna framtida havsnivåer med ett förändrat klimat finns nu tillgängliga och vi kan börja använda oss av dessa.

I detta faktablad beskriver vi hur vi mäter havsvattenstånd, vad som styr havsvattenståndets variationer samt förklarar vad det är vi ser i våra mätserier. Faktabladet avslutas med en text om framtida havsvattenstånd.

## Observationer av havsvattenstånd

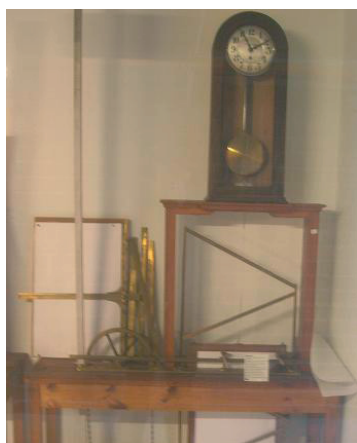
Sverige har den längsta havsvattenståndsserien i världen, den s k Stockholmsserien (se figur 1). I Stockholm påbörjades mätningarna av havsvattenstånd vid Slussen redan 1774. Mätningarna tillkom på order av den svenske kungen Gustav III, för att utröna nivåskillnaderna mellan Mälaren och Saltsjön (Östersjön). Under 1840-talet tillkom fler stationer för att man ville klarlägga den s k vattenminskningen. På den tiden var det inte helt klart hur det kom sig att vattnet verkade försvinna, speciellt längs Norrlandskusten. Tidiga resultat från mätningarna visade dock på att det måste vara landet som höjer sig eftersom förändringarna skiljde sig markant åt vid jämförelser mellan stationer i södra och norra Sverige.

Stockholm 1774 - 2008



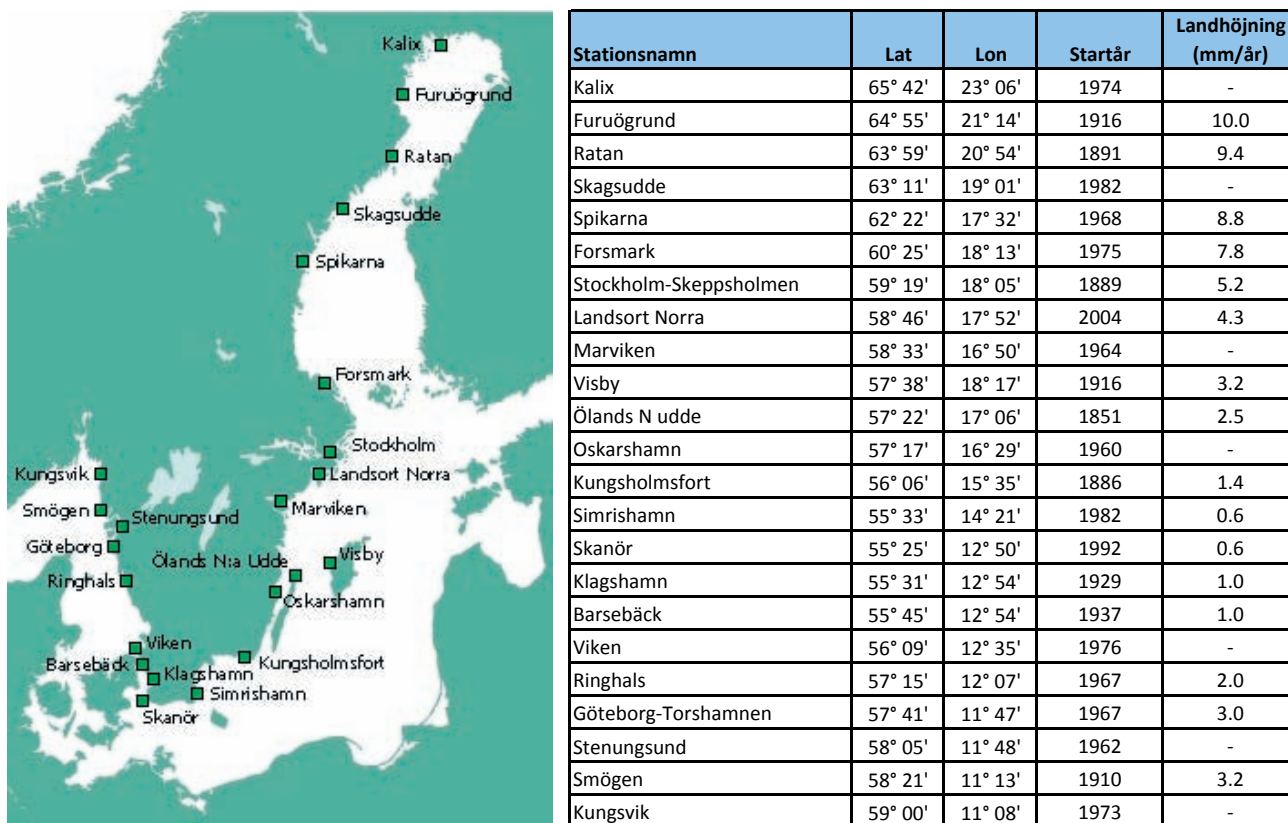
Figur 1. Årsmedelvärden för vattenståndet i Stockholm sedan 1774. Havsnivåhöjningen sedan slutet av 1800-talet framträder som avvikelser från den räta linjen som representerar landhöjningen.

Under 1880-talet beslöt den dåvarande svenske kungen Oscar II, efter ett stadsbesök i Preussen att ett antal s k mareografer (se figur 2) skulle anläggas runt den svenska kusten. Senare installerades åtta mareografer på följande platser: Ratan, Draghällan, Björn, Stockholm-Skeppsholmen, Landsort, Kungsholmsfort, Ystad och Varberg. Mareograferna var placerade på stabila bergfundament för att stå emot yttre påverkan såsom landrörelser, väder och vind (se figur 4). Vid denna tid påbörjades också mätningar med en enklare pegel i Göteborgs hamn. Senare tillkom fler stationer som fortfarande är aktiva; Smögen (startår 1910), Furuögrund (1916), Visby (1916) och Klagshamn (1929).



Figur 2. Till vänster visas en mareograf (vattenståndsmätare eller pegel), som användes av SMHI och dess föregångare 1886-1966. Vattenståndsändring överförs från flottören via stång, kedja, hjul och kuggstång till ett diagram (mareogram). Registreringarna har digitaliserats och finns nu lagrade i en databas på SMHI. Till höger visas dagens utrustning för att mäta havsvattenstånd. Mätvärden skickas kontinuerligt. Varje timme insamlas sex 10-minutersvärden, högsta och lägsta vattenstånd samt värdet på hel timme. Vid behov eller efter särskilda händelser, kan minutvärden fås från stationerna. En skrivare registrerar vattenståndet grafiskt på ett diagram, vilket används som en backup vid bortfall av den automatiska datainsamlingen.

Idag mäter SMHI havsvattenstånd på 23 platser runt den svenska kusten (se figur 3). Aktuella vattenstånd visas på SMHI:s hemsida. Alla data granskas enligt fasta rutiner och data sparas sedan i en databas för framtida bruk. SMHI har en av de största databaserna i världen med några av världens längsta och bäst bevarade mätserier. Aktuella vattenstånd används på SMHI av den oceanografiska prognostjänsten för att validera vattenståndsprognoser och varna allmänheten vid stormoväder då vattenståndet kan stiga avsevärt över det normala. Det varnas också för låga vattenstånd. Denna information är speciellt viktig för sjöfarten i grunda områden som Öresund.



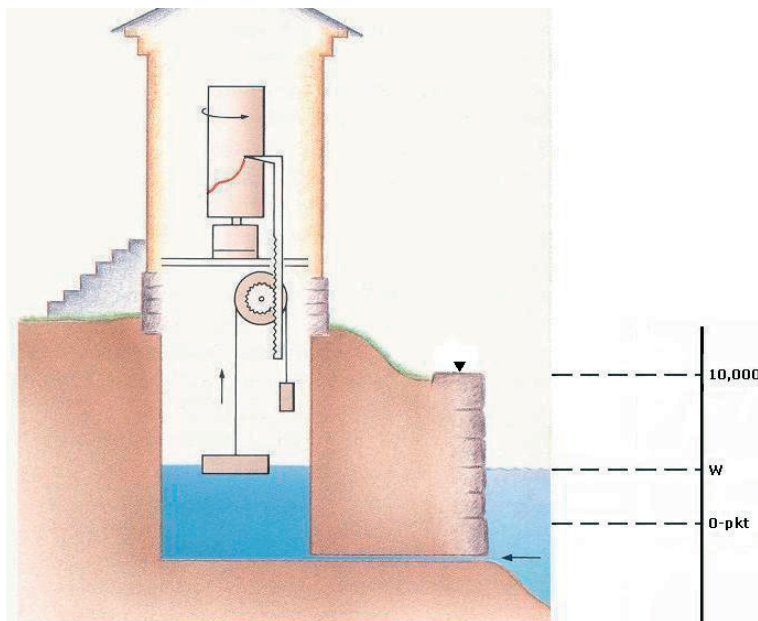
Figur 3. Det svenska stationsnätet för havsvattenstånd som drivs utav SMHI. I tabellen visas också den absoluta landhöjningen. Värdena är bestämda med stöd av data från satellit-GPS-givare (SWEPOS-stationer), en typ av mätningar där landhöjning bestäms med hjälp av satellit (källa: Lantmäteriet).



Figur 4. Mareografen i Smögen (betongbyggnaden i bakgrunden), Lantmäteriets GPS-station (pelaren i förgrunden) och en station för mätning av absolut tyngdkraft (den röda byggnaden till höger). Från GPS-stationen kan den absoluta landhöjningen bestämmas, vilken är viktig vid beräkningar av den globala havsnivåhöjningen.



Vid avvägning av SMHIs peglar används ett lokalt höjdsystem. En huvudfix, eller utgångsfix, har tilldelats värdet 10,000 m (se figur 5). Ifrån denna avvägs och beräknas övriga höjder. Med 0-punkt menas en tänkt nivå där måttband/automat visar värdet 0 m. 0-punkten erhålls vid avvägning av vattenytan  $W$  minus avläst värdet på måttbandet/automaten. Om  $W$  uppmäts till 7,83 m och värdet på måttbandet avläses till 3,63 m blir 0-punkten 4,20 m. Eftersom varje station har ett eget lokalt höjdsystem är det uppmätta värdet på  $W$  alltså inte jämförbart med det uppmätta  $W$  vid någon annan station. Oftast anges vattenståndet relaterat till medelvattenståndet, MW. Om MW för en station är 7,68 och  $W$  är 7,83 anges vattenståndet som +15 cm.



**Figur 5.** Skiss som visar principen för vattenståndsmätning m h a flottör- och brunnsteknik. Inuti huset (mareografen eller pegeln), finns diverse olika utrustningar. Pegeln består av en brunn av betongrör förbunden med havet via ett rör som mynnar några meter under havsytan. Denna konstruktion gör att vågrörelserna dämpas och gör det också möjligt att mäta vattenståndet under is. Vattennivån registreras automatiskt med hjälp av flottörer som sitter ihop med mätutrustningen med en tunn vajer. En skrivare registrerar vattenståndet grafiskt på ett diagram. Dessa diagram jämförs sedan mot de automatiskt insamlade värdena från stationen. Om stationen saknar automatutrustning digitaliseras diagrammen så att data blir tillgängliga i digital form.

## Processer som styr vattenståndet

Det aktuella vattenståndet på en plats är en följd av flera mer eller mindre samverkande processer. Dessa varierar i både tid och rum. Nedan beskrivs några av dessa processer.

### Lufttrycksvariationer

Ju högre lufttrycket är på en plats desto lägre är vattenståndet. Beräkningar visar att en lufttrycksökning på 1 hektopascal (hPa) sänker vattenståndet med 1 cm. Medelvattenståndet under ett år är 0 cm och lufttrycksmedelvärdet 1013 hPa. Eftersom lufttrycket ett normalt år varierar mellan 950 och 1050 hPa så varierar vattenståndet på grund av detta mellan +63 cm och -37 cm. Detta samband kan man använda som en tumregel eftersom vattenståndet på en plats inte bara bestäms av det lokala lufttrycket utan av flera andra faktorer vilket innebär att sambandet sällan direkt kan observeras. Särskilt vid lågtryckspassager påverkar vinden och variationer i lufttrycket vattenståndet. Vattenståndet är ofta högt under höst och vinter då det är många lågtryck och västvindar men lågt under vår och sommar då det ofta är högtryck och svaga vindar.

### Sjösprång

Sjösprång är en lokal effekt med kort varaktighet som orsakas av en lokal tryckförändring som rör sig med samma hastighet som en lång våg. En lång vågs hastighet bestäms av djupet i området. Tryckförändringen orsakar vågen och om tryckförändringen och vågens hastighet kommer i resonans uppstår en kraftig vattenståndsförändring. I Kuggörens hamn i Kallrigafjärden (Öregrundsgrepen) har ett sjösprång på hela 123 cm (skillnad mellan hög-lågvatten) observerats som varade 12 minuter den 22 maj 1979. På andra platser observerades betydligt lägre förändring, men den extrema förändringen vid Kuggören torde främst hänga samman med den lokala botten-topografin, som troligen gynnade resonanseffekter. Klart är att de mest extrema sjösprången endast

uppkommer med flera års mellanrum. Dessa kan säkert utläsas ur SMHI:s vattenståndsserier men betraktas nog vid extrema väderhändelser som "naturliga" och blir då inte alltid uppmärksammade som just sjösprång. Tsunamis (katastrofvågor) har principiellt mycket gemensamt med sjösprång, men beror istället på jordbävningar på havsbotten. Eftersom dessa oftast uppkommer på stora djup rör sig störningen som en lång våg med mycket stor hastighet (typiskt 200 m/s).

## **Vindar**

Med vindens hjälp pressas vatten mot kusterna och höjer vattennivån vid land. Högt vattenstånd på västkusten orsakat av vinden och/eller lufttrycket gör att vatten rinner in till Östersjön via Öresund och Bälten. Detta kan höja Östersjöns vattenstånd med flera decimeter. Vinden påverkar även de kortvariga variationerna i havsvattenståndet i samband med vågor och dyningar. Man brukar använda begreppen vindstuvning, vindfyllning och vattenpendling.

## **Vindstuvning**

Vinden över havet ger dels vågor och dels en ytvattenström. Vid sydliga till västliga vindar förs vatten in mot västkusten. Det bildas en snedställning av vattenytan upp mot kusten vilket gör att vattenståndet stiger där. Detta fenomen kallas vindstuvning. Av samma skäl sjunker vattenståndet vid nordliga och östliga vindar. Ett annat exempel på vindstuvning är då sydliga och sydvästliga vindar pressar upp vattenståndet längs östra och norra Östersjön och in i Finska viken samtidigt som det blir låga vattenstånd i södra Östersjön och längs svenska kusten.

## **Vindfyllning**

Kraftiga lågtryck och en bestående kraftig vind från väst eller sydväst över Nordsjön, pressar in vatten till Västerhavet som får högt vattenstånd. Detta vatten strömmar in till Östersjön via Bälten och Öresund. Pågår det under en längre period, sker en omfattande transport av vatten från Västerhavet in till Östersjön som får ett långvarigt högt vattenstånd. Under vintern 2006-2007 var vattenståndet i Östersjön mycket högre än normalt under lång tid på grund av just vindfyllning. Det gav ett rekord i långvarigt högt vattenstånd vid Landsort då havsnivån låg över +40 cm under 54 dagar.

## **Vattenpendling**

Efter perioder med starka vindar kan vattnet i Östersjön komma i svängning, likt vattnet i ett badkar som skvalpar fram och tillbaka. De av vinden snedställda vattenytorna hålls inte längre kvar av vinden och vattenmassan söker återgå till horisontalläge. Vattnet skvalpar emellertid upp på motsatta kusten på sin rörelseenergi. På så vis kan svängningarna fortgå fram och tillbaka, men avtar efterhand på grund av friktion. En stående våg eller sk seiche har bildats. Perioden mellan två högvatten bestäms av vattendjupet och havsområdets längd.

Pendling i hela Östersjön från norr till söder har en period på 4 dygn och fortgår i flera veckor. Amplituden i Kalix kan vara 50 cm. En annan pendling kan bildas mellan Finska viken och sydvästra Östersjön. Perioden för denna pendling är 27 timmar. Svängningarna ger minst utslag mitt i Östersjön. Landsort ligger relativt centrerat och påverkas inte så kraftigt av dessa pendlingar. Detta gör att man brukar använda vattenståndsmätningarna vid Landsort för att se på hela Östersjöns vattennivå under längre perioder.

## **Vattnets densitet påverkar havsvattenståndet i Östersjön**

Vattendragen som mynnar i havet tillför sötvatten och minskar salthalten i Östersjön. I Bottenviken är salthalten 3-4 promille, i Bottenhavet 5-6 promille, i Egentliga Östersjön 6-9 promille och i Västerhavet 15-30 promille. Eftersom sötare vatten är lättare behövs mera volym i form av högre vattenstånd för att systemet skall vara i balans. Bottenvikens vattenstånd är på grund av detta alltid 35-40 cm högre än Skagerraks. Denna effekt syns i årsmedelvattenstånden då dessa relateras till ett landbaserat höjdsystem (ex. rikets höjdsystem 2000 (RH2000)).

## Tidvatten

Periodiska svängningar orsakade av månen och solens dragningskraft kallas tidvatten. Detta syns i att havsvattenståndet pendlar mellan låga och höga vattenstånd några gånger per dygn, kallat ebb respektive flod. Längs med den svenska kusten är tidvattnet relativt svagt p g a att tidvattnet dämpas över Nordsjön. Vid norra västkusten är det som störst, med en variation på nästan 60 cm (skillnad mellan lägsta och högsta), för att sedan avta söderut och ju längre in i Östersjön man kommer desto svagare är tidvattnet. Perioden (tiden mellan två hög- eller lågvatten) är 12 timmar och 25 minuter och beror på att månens dragningskraft har störst inflytande på tidvattnet. Vid andra platser på jorden förekommer större tidvattenvariationer, t ex längs med den engelska kusten (se figur 6).



Figur 6. Hög- resp. lågvatten vid Hilbre Island utanför Liverpool i England.

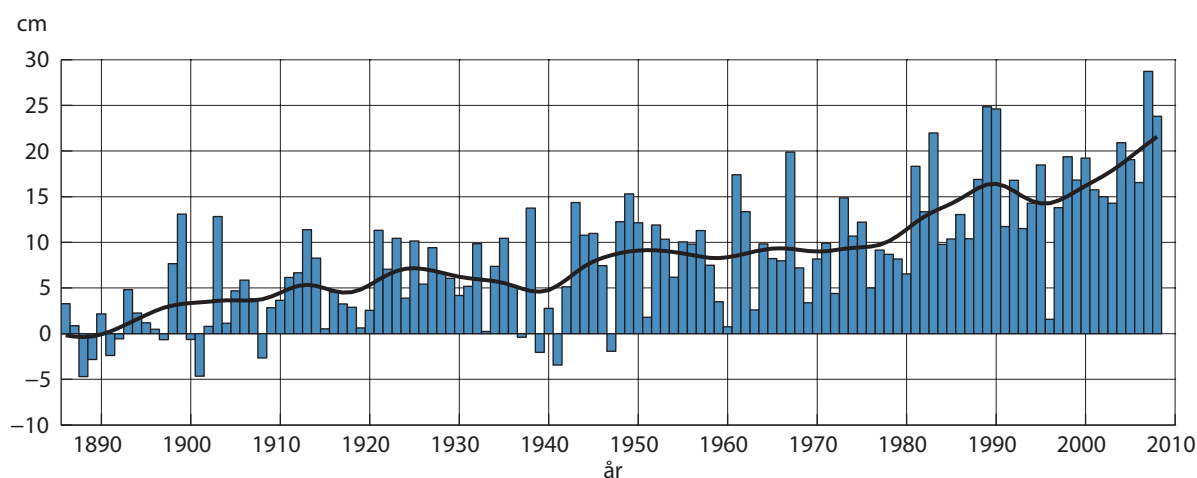
## Landhöjning

Landhöjningen registreras i de svenska havsvattenståndsserierna som att havsnivån sjunker (se figur 1). Fast egentligen är det land som höjer sig. Fram till ungefär mitten av 1800-talet trodde man att det var havsvattnet som försvann och därför kallades fenomenet för vattuminskning. Idag vet vi att det är landet som höjer sig efter att ha varit tungt belastat av den kilometertjocka isen under senaste istiden för 10 000 år sedan. Landhöjningen varierar och är störst i norra Sverige vid Bottenvikskusten (cirka 1 cm/år) och minst i Skåne (cirka 0 cm/år). På grund av landhöjningen förändras hela tiden förhållandet mellan land och havsnivå. Medelnivån för ett år kallar vi för "årets medelvattenstånd". Denna nivå bestäms genom regressionsanalys av mer än 30 års medelvärden och den fungerar som en slags referensnivå i förhållande till något som man känner till, t ex vattenståndet vid bryggan eller djupet i badviken eller i sjökortet. I sjörapporten i radio ges aktuella vattenstånd för några stationer längs kusten i förhållande till medelvattenståndet. I figur 3 visas landhöjningen vid några stationer.

## Global havsnivåhöjning

I de svenska serierna av havsvattenstånd syns den globala havsnivåhöjningen (se figur 7). Det vi ser i vattenståndsserier är summan av landhöjningseffekten, som gör att det blir mer land och havsnivåhöjningen som ger den motsatta effekten. Tar vi bort landhöjningseffekten i våra mätserier kan vi beräkna havsnivåhöjningen. En analys av data från 1886 och framåt visar att havsnivåhöjningen ökar mer ju längre in på 1900-talet man kommer. En beräkning för de sista 30 åren (1978-2007) visar att den har stigit till nästan 3 mm per år. Ett förändrat vindklimat över Nordsjön, vilket styr havsnivåerna inne i Östersjön, kan inte ensam förklara denna höjning. Istället beror detta på ett förändrat globalt klimat, d.v.s. havsnivåhöjningen fungerar som en klimatindikator. Denna globala havsnivåhöjning beror på stigande havstemperaturer och smältande glaciärer, som höjer havets nivå. Utvecklingen av denna klimatindikator kan följas på SMHI:s hemsida.

Framstegen inom satellitområdet har gett möjlighet att mäta vattenståndet i världshaven och inte bara vid kusterna. Mellan 1993 och 2003 steg vattenståndet enligt satellitobservationer med ca 3 mm om året, vilket är snabbare än för 1900-talet som helhet. Sedan dess indikerar mätningar att höjningen avtagit något, samtidigt som den kvarstår som högre än innan cirka 1993.



Figur 7. Havsvattenståndets förändring vid de svenska mareograferna sedan 1886, där effekten av den absoluta landhöjningen tagits bort. Där landhöjningen är liten kring våra kuster har havet stigit drygt 15 cm.

## Rekord och särskilda händelser

Tillfällen då extrema vattenstånd noteras förekommer med jämna mellanrum. Dessa tillfällen är oftast förknippade med stora stormfloder som på grund av vindens påverkan snedställer vattenytan och beroende på vindens riktning får vi höga eller låga nivåer.

I november 1872 inträffade en extrem stormflod som kom att kallas för Backafloden. Då noterades +360 i Abbekås och delar av hamnen ödelades. Även norra Tyskland drabbades och flera människor omkom. Vid julstormen 1902 drabbades Lomma av en stormflod som höjde vattenståndet till hela +206. En minnessten har rests som visar hur högt vattenståndet steg. I Ystad steg vattenståndet från -145 till +70 på drygt sex timmar vid samma tillfälle. I december 1914 slogs rekord på flera platser runt den svenska kusten då vattenståndet steg till +167 inne i Göteborgs hamn. Vid stationerna i Östersjön steg vattenståndet till drygt +130. I januari 1983 slogs flera nya rekord som ännu står sig vid flera Östersjöstationer, bland annat noterades +117 i Stockholm.

Senaste åren finns två exempel på extrema stormfloder där nya rekord noterades. Gudrun inträffade i januari 2005. Längs västkusten steg vattenståndet till drygt +160 cm vid stationen i Ringhals, vilket var nytt rekord sedan mätningarna startades i Varberg år 1886. I Göteborg översvämmades delar av stadens hamn där +150 noterades. Under januaristormen 2007 (kallad Per) slogs även då nya rekord vid flera stationer, bland annat noterades +144 i Forsmark.

Det högsta vattenståndet registrerat vid någon av SMHI:s stationer inträffade under en januaristorm 1984 då hela +177 uppmättes i Kalix. Den lägsta noteringen inträffade i Skanör under en storm i december 1999, då -154 uppmättes.



## Framtida havsvattenstånd

FNs klimatpanel (IPCC) redovisade år 2007 en sannolik höjning av havsytan från 1980-1999 till 2090-2099 på 18-59 cm. Detta osäkerhetsintervall baseras på modellresultat från globala klimatmodeller som bygger på olika scenarier för utsläpp av växthusgaser. Resultaten redovisades på ett annat sätt än IPCCs tidigare sammanställning från 2001. Förbehåll gjordes bland annat för de stora osäkerheterna rörande glaciärernas avsmältning som skulle kunna ge ytterligare några decimeter högre havsvattenstånd globalt.

Vattenståndshöjningen förväntas inte ske i samma takt på hela jorden. Några modellberäkningar tyder på att haven runt Sverige (och i Nordsjön i övrigt) kan komma att stiga mer än det globala medelvärdet.

Efter FN:s rapport 2007 har flera nya resultat publicerats. Rekordstor avsmältning av Grönlandsisen sommaren 2008 och temperaturhöjning på Antarktis är exempel på händelser som om de fortsätter kan ge konsekvenser för jordens vattenstånd. Samtidigt finns det brister i vår förståelse för hur och hur snabbt processer kan tänkas samverka. Osäkerheten är med andra ord tillsvidare stor beträffande eventuella förändringar i överkanten av en halv meter fram till 2100. Samtidigt finns anledning att förvänta sig en fortsatt havsnivåhöjning även på längre sikt.

Vissa länder drabbas hårdare än andra av stigande havsnivåer. Holländska Deltakommittén publicerade 2008 en rapport som sammanfattar senare forskning och som uppskattar att den allra högsta höjningen av vattenståndet utanför Holland kan komma att ligga mellan 55-130 cm inklusive en landsänkning på ca 10 cm. Detta överlappar IPCCs högre siffror, men sträcker sig mot ännu högre värden. Liknande sammanfattningar har gjorts i flera länder, däribland Tyskland, Storbritannien och Sverige.

De uppenbara konsekvenserna av ett stigande vattenstånd är att översvämningar från havet inträffar oftare och att de blir större, förutsatt att vädermönstren är ungefär som idag. Detta ger i sin tur ökade erosionsproblem. Kombinationen av högt vattenstånd och kraftiga regn kan ge dubbla effekter i vattendrag, och världens deltaområden ligger här i riskzonen. Stigande havsnivåer kan dessutom påverka grundvattnets nivå; ökad översvämningensrisk från havet kan ge kontaminerad betesmark. Samtidigt bor numera över 50 % av jordens befolkning i städer, varav de flesta ligger vid haven. Problemen med ett stigande världshav förstärks genom den omfattande exploateringen av lågt liggande terräng nära kusterna (se figur 8).



**Figur 8. Alla vill bo havsnära. Här en bild från Kalmar. Foto: Sten Bergström, SMHI.**

För mer information kontakta Thomas Hammarklint eller [oceanograf@smhi.se](mailto:oceanograf@smhi.se)