

## Vågor i svenska hav

Vind och vågor möter den som ger sig ut på havet. Vinden kan vara besvärlig men de vågor den skapar är den största faran. Att ha kunskap om vad man kan förvänta sig om man ger sig ut på havet är mycket viktigt för att bedöma om båten, dess utrustning och besättning klarar de situationer som man kan möta. Vågklimatet i det aktuella havsområdet är därför viktigt att känna till. När det är dags att ge sig iväg är det bra att få eller göra en prognos på förväntade våghöjder. I detta faktablad presenteras en metod för att uppskatta våghöjder och på SMHIs hemsida visas vågprognoser för 48 timmar.

Att mäta vågor till havs ställer stora krav på det tekniska mätsystemet och jämfört med många andra parametrar påbörjades mätningar av vågor sent av SMHI. De första regelbundna observationerna började 1978. Vågornas snabba variationer medför att stora mängder data måste samlas in, skickas vidare, granskas, bearbetas och lagras i databaser. Tekniken med beräkningar och prognoser av vågsituationen har utvecklats de senaste åren och är nu viktiga hjälpmedel för fartygsvägledning.



## OBSERVATIONER AV VÅGOR

SMHI har observerat vågor runt den svenska kusten sedan 1978 (figur 1). Då etablerades mätningar vid följande tre platser: Almagrundet, Ölands södra grund och Trubaduren. I början användes bottenplacerade instrument, som fungerar ungefär som upp-och-nedvända ekolod. Dessa placerades nära kassunfyrrar (bottenmonterade fyrrar) för att man skulle kunna få elförsörjning till instrumenten och kunna samla in data via fyren. Detta gjorde dock att man bara kunde mäta där det var praktiskt möjligt och inte att man kunde välja ut exakt var man ville placera mätutrustningen.

Under 1980-talet påbörjades mätningar vid fler platser och under 1990-talet inleddes mätningar med enklare bojar. Denna utrustning klarade endast av att mäta vågornas höjd, period och energiinnehåll. Mot slutet av 1990-talet och i början av 2000-talet hade utrustningen tjänat ut och man började därför titta på nya möjlighe-

ter för att mäta vågor. 2001 påbörjades mätningar vid Huvudskär och Läsö med mer avancerade bojar (figur 2), som även klarar av att mäta vågornas riktning samt flera andra oceanografiska parametrar. 2005 tillkom tre s.k. vågbojar, som förutom vågor även mäter ytvattentemperatur. Dessa placerades ut vid Finngrundet, Södra Östersjön och Väderöarna (figur 1).

I och med övergången till dessa nya och mer avancerade bojar har noggrannheten och dataåterbäring förbättrats väsentligt samtidigt som man nu kan mäta i stort sett var man vill. Hämtningen av data från dessa bojar görs via satellit en gång per timme. Alla data lagras i en databas på SMHI. Data används bl.a. för att validera den vågmodell som SMHI använder och för att ge underlag till sjöfart och allmänhet. Aktuella observationer av vågor visas på SMHI hemsida.



Stationsnamn	Lat	Lon	Start	Slut
Finngrundet	60° 54'	18° 37'	2006-06	
Svenska Björn	59° 28'	20° 21'	1982-11	1986-11
Almagrundet	59° 09'	19° 08'	1978-10	2003-09
Huvudskär Ost	58° 56'	19° 10'	2001-05	
Gustav Dahlén	58° 36'	17° 28'	1983-07	1987-10
Ölands södra grund	56° 04'	16° 41'	1978-10	2004-03
Södra Östersjön	55° 55'	18° 47'	2005-06	
Oskarsgrundet	55° 36'	12° 51'	1983-09	1999-06
Läsö Ost	57° 13'	11° 34'	2001-05	
Fladen	57° 13'	11° 50'	1988-07	1999-08
Trubaduren	57° 36'	11° 38'	1978-10	2004-09
Väderöarna	58° 29'	10° 56'	2005-03	

■ Pågående station  
■ Nedlagd station

Figur 1. Det svenska stationsnätet för mätning av vågor. Här visas också ett antal nedlagda stationer.



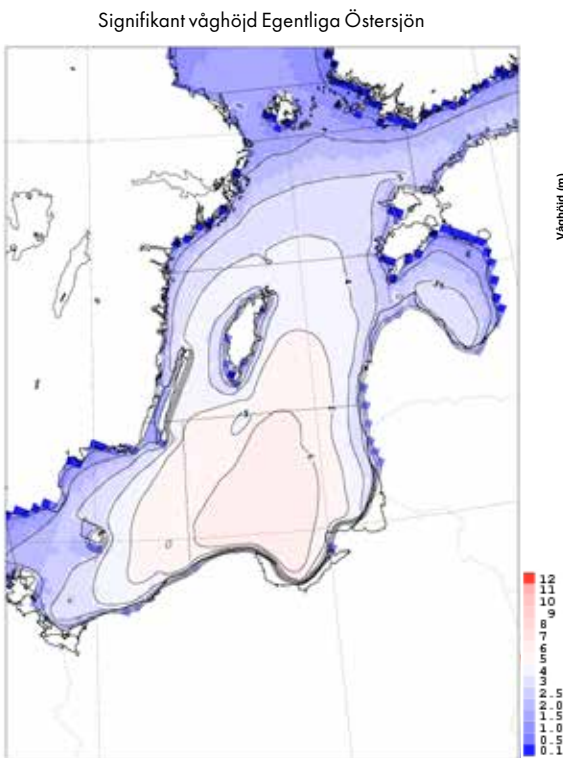
Figur 2. Till vänster visas havsbojen öster om Läsö. Bojen har varit i drift sedan 2001 och mäter förutom vågor flera oceanografiska parametrar på olika djup (i bakgrunden forskningsfartyget Argos). Till höger visas utsättning av en vågboj (WaveRider) för mätning av vågor och ytvattentemperatur.

## MODELLERING OCH PROGNOSE AV VÅGOR

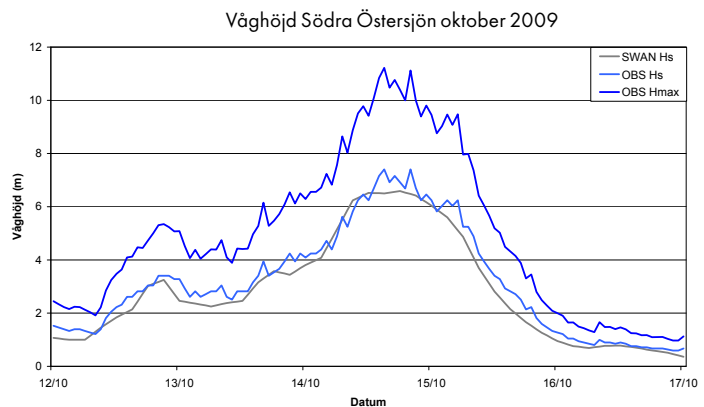
På SMHI används en matematisk modell för att beräkna vågor kallad SWAN. Den beräknar olika vågparametrar som bland annat signifikant våghöjd, vågperiod, vågtillväxt och avklingning. Modellen tar hänsyn till djupet och ändrar vågform och riktning beroende på djup och öar. Modellen täcker alla Sveriges omgivande hav och beräkningar görs för punkter i ett rutnät med sidan 11 km. 48-timmarsprognoser av SWAN-modellen körs fyra gånger per dygn och drivs av prognostiserade vinddata från den meteorologiska HIRLAM-modellen.

Beräknade data från SWAN används bland annat av

SMHIs oceanografiska prognostjänst för att göra vågprognoser i våra omgivande hav (figur 3). På SMHIs hemsida presenteras prognoser för de närmaste dygnet. En kontinuerlig validering görs för att följa hur väl modellen stämmer mot observationer. Valideringen visar att beräkningarna stämmer tillräckligt väl för att vara ett bra hjälpmedel för den oceanografiska prognos- och varningstjänsten. SWAN kan också drivas med historiska vinddata och då beräkna historiska vågtidserier. Dessa tidserier kan användas för att beräkna vågklimatet för alla delar av havet.



Gäller kl 12:00 14 oktober 2009.



Figur 3. Till vänster visas ett exempel på 12-timmarsprognos för signifikant våghöjd över Egentliga Östersjön beräknad med SWAN. Till höger visas ett diagram med modellerad signifikant våghöjd (SWAN Hs) och observerad signifikant och maximal våghöjd (OBS Hs och OBS Hmax) i Södra Östersjön vid samma tillfälle.

## PROCESSER SOM STYR VÅGORNA

### VÅGHÖJD OCH VÅGPERIOD

Våghöjden är det vertikala avståndet mellan vågtopp och föregående vågdal. Våglängden är det horisontella avståndet mellan två på varandra följande vågtoppar och vågperioden är tidsintervallet mellan två på varandra följande vågtoppar (figur 4). Vågens rörelsehastighet blir med andra ord våglängden dividerad med vågperioden.

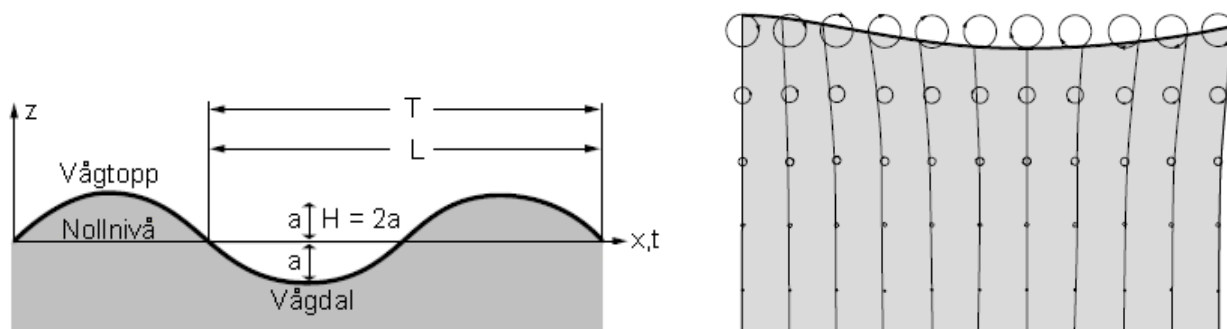
### VINDVÅGOR

När vinden blåser över en vattenyta överförs energi till

vattnet som gör dels att vågor bildas och dels att en yt-vattenström genereras. Dessa två företeelser utvecklas oberoende av varandra. Även den svagaste vind ger krusningar på havsytan.

I vågor rör sig vattenmassan fram och tillbaka, upp och ner i en cirkelrörelse när vågen passerar (figur 4). Någon större förflyttning av vatten framåt sker inte med vågen - det är vågrörelsen som förflyttar sig. Vågrörelsen avtar med djupet och när djupet är större än halva våglängden är vågrörelsen mycket liten.





Figur 4. Till vänster visas en våg med våghöjden  $H$ , som är dubbla amplituden  $a$ .  $L$  är våglängden och  $T$  är vågens period, dvs. den tid det tar för vågen att passera en bestämd punkt. Till höger visas vattenpartiklarnas cirkulära rörelse när en våg passerar och hur rörelsen avtar med djupet.

### VÅGORNAS TILLVÄXT

De viktigaste faktorerna för vågens höjd och hastighet är vindens hastighet, varaktighet och blåssträcka, dvs. den sträcka över fri vattenyta som vinden kan blåsa över. Dessutom inverkar vattendjupet. Vindvågor kallas också för korta vågor. Ju hårdare vind, ju längre blåstid och ju längre blåssträcka desto större blir vågorna. Om blåstiden och blåssträckan är tillräckligt lång fås en fullt utvecklad sjö. Då växer inte vågorna mer och vindens energi går åt till att underhålla vågorna.

Vågenergi överförs också till andra energiformer genom att vågtopparna bryter till ett vitt skum, "vita gäss". Vid starka vindar kan också hela vågen bryta och vågtopparna blåsa av.

Vid hastiga vindökningar, nära land vid kraftig frånlandsvind och i sjöar, är vågorna inte fullt utvecklade och vågorna är då korta och höga. Man säger att man har krabb sjö. Dessa branta vågor är de svåraste för mindre båtar. I en fullt utvecklad sjö är vågorna visserligen högre men också längre dvs. mindre branta och därför mindre obekväma.

Ett våglandskap är sammansatt av flera vågrörelser med olika längd, period och höjd. De uppgifter om vågor som ges i sjörapporterna är den så kallade signifikanta våghöjden. Den bestäms från höjden av alla vågor under en 30 minuters period. Vågorna sorteras efter våghöjd och medelhöjden för den högsta tredjedelen av dessa vågor kallas signifikant våghöjd. Detta motsvarar också vad en betraktare uppskattar våghöjden till. De högsta vågorna är 1,6 till 2,0 gånger högre än den signifikanta våghöjden.

Börjar vågorna växa i storlek utan att vinden ökar kan det betyda att blåsigare väder är på väg eftersom vågfältet ofta rör sig fortare än vindfältet.

### GÖR EN EGEN BEDÖMNING AV VÅGHÖJDEN

För att göra en egen bedömning av vilka våghöjder man kan möta i ett område kan man använda sig av figur 5. Vet man vindhastigheten, vindriktningen, hur länge det skall blåsa och blåssträckan kan man avläsa den signifikanta våghöjden. Vindhastigheten och blåstiden för

hela havsområdet i vindens riktning bedöms från väderprognosen och blåssträckan mäts i sjökortet. Blåssträckan, som är avståndet mellan området och kusten mot vindens riktning, används för att avgöra om sjön är fullt utvecklad eller inte.

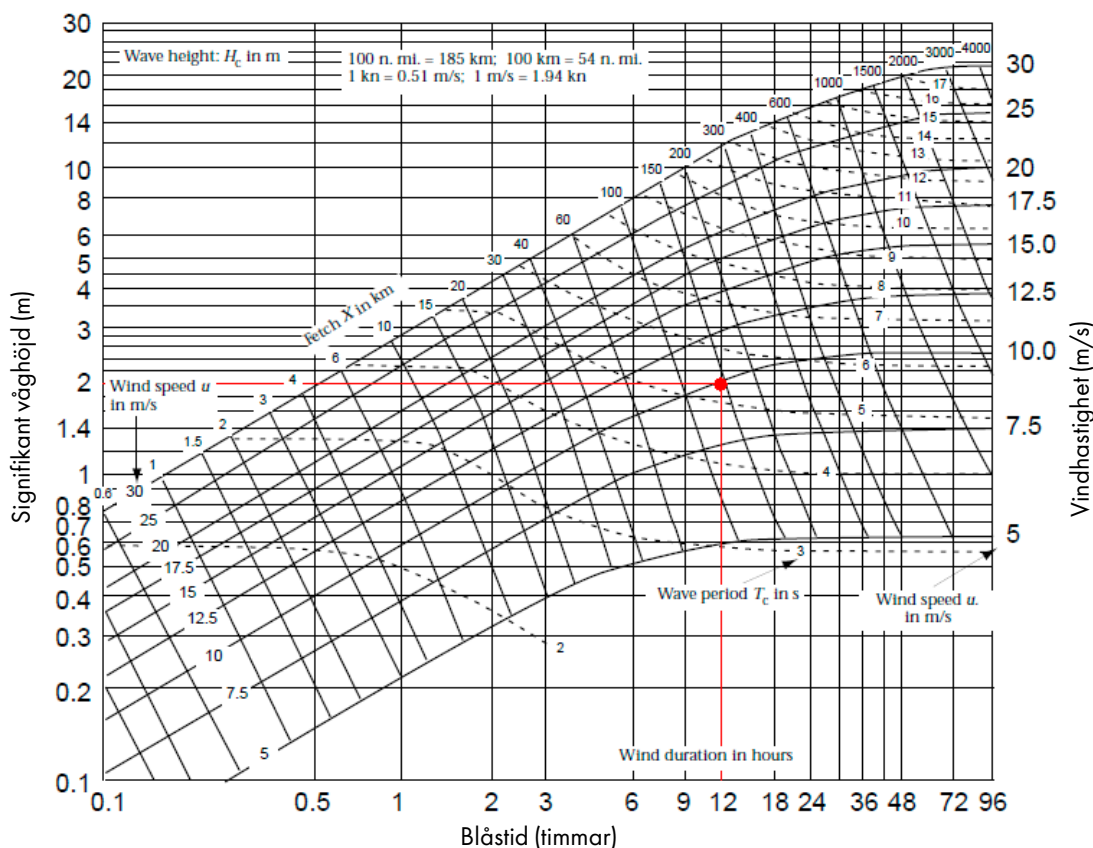
På den högra skalan i figur 5 finner man rätt vindhastighet och på den nedre skalan rätt blåstid. Observera att vindlinjerna är böjda. Där de två linjerna möts i rutnätet följer man den närmaste blåssträcke(fetch)linjen för att avläsa om blåssträckan är tillräcklig för en fullt utvecklad sjö. Om det är så följer man den vågräta linjen ut till den vänstra skalan och avläser där den signifikanta våghöjden. Den streckade linjen ger vågperioden.

Om man bedömer att det skall blåsa 10 m/s i 12 timmar ser man att blåssträckan måste vara minst 150 km för fullt utvecklad sjö och att signifikanta våghöjden då blir 2 m (se den röda pricken i figur 5). Eftersom de maximala vågorna kan bli dubbelt så höga kan man vänta sig att möta vågor som är 4 m höga. Eftersom grunduppgifterna är svåra att bedöma och ändras hela tiden kan man bara få en ungefärlig uppskattning av våghöjden med denna metod.

### VÅGSYSTEMETS GRUPPHASTIGHET

Ett vågsystem eller en vågrupp rör sig med halva hastigheten av de enskilda vågorna. Den grundläggande orsaken är att vågrörelse är en transport av energi och att denna förflyttar sig med halva den enskilda vågens hastighet. Det är alltså grupphastigheten som bestämmer när vågsystemet når en viss plats. Betraktar man en enskild våg i ett bogvågssystem orsakat av en båt ser det ut som vågen rör sig framåt i systemet för att till slut försvinna framåt.

Är man till havs med stora vågor och betraktar en stor våg som närmar sig kan man konstatera att när den vågen väl är framme är det i stället nästa våg som är högst. Detta beror just på att de enskilda vågorna rör sig dubbelt så fort som vågruppen och vågorna rör sig framåt vågruppen och lämnar energin bakom sig.



Figur 5. Diagram för uppskattning av våghöjd från vindhastighet, blåssträcka (fetch) och blåstid (Gröen och Dorrestein, 1976).

### HUR LÅNG TID TAR DET INNAN SJÖN LÄGGER SIG?

När det slutar blåsa fortsätter vågorna långa sträckor innan de når en kust. De mindre vågorna försvinner fortast medan de längre vågorna rör sig många hundratal mil eftersom friktionen mellan vattenpartiklar är mycket liten. Vågorna sprids i en solfjäderform så att energin bevaras men fördelas över ett större område vilket leder till lägre våghöjder efterhand. Dessa vågor kallas för dyning. Dying kännetecknas av regelbundna vågor med långa våglängder och jämförelsevis liten våghöjd. På en plats kan det samtidigt komma dyning från flera håll skapade långt bort av olika vindfält. Detta innebär en oregelbunden vattenyta som är obekvämt att färdas på.

Om man till exempel befinner sig utanför Gotlands södra spets och det har blåst 15 m/s från sydväst i minst 10 timmar över hela södra Östersjön så möter man en fullt utvecklad sjö. Blåssträckan från tysk-polska kusten är ca 200 nautiska mil eller ca 40 landmil. Det behövs en blåssträcka på 15 mil för att få en fullt utvecklad sjö enligt figur 5. De största vågorna är 9 m höga, 300 m långa och har hastigheten 27 m/s. Den signifikanta våghöjden är 5 m med våglängden 80 m och hastigheten är 14 m/s. Eftersom gruppshastigheten är halva våghastigheten är

gruppernas respektive hastighet ca 14 m/s och 7 m/s. När vinden slutar blåsa tar det 5 timmar innan den sista stora vågen passerat och 10 timmar innan vågor med signifikanta våghöjden passerat.

Den längsta blåssträckan på Östersjön är 80 landmil vilket ger 16 timmar innan de högsta vågorna bryter mot kusten och 32 timmar innan vågor med signifikanta våghöjden bryter mot kusten. Så länge måste man vänta innan man kan ge sig ut på norra Östersjön om det blåst 15 m/s under 10 timmar över södra Östersjön och man vill ha det bekvämt.

### VÅGOR I STRÖMMANDE VATTEN

I områden med starka strömmar förändras vågformen. Om vågorna rör sig mot strömmen blir de brantare och om vågriktningen är med strömmen blir de flackare. Detta beror på att vattenpartiklarna i sin cirkulära vågbana samtidigt rör sig med strömmen medan vågenergifältet rör sig med oförändrad hastighet. Detta gör att vågorna trycks ihop vid motström. Är strömmen tillräckligt stark skapas områden med nästan stillastående branta och brytande vågor som kan vara mycket besvärliga. Detta är ovanligt i svenska vatten.

### VÅGOR VID KUSTEN

När vågen närmar sig kusten och djupet minskar till mindre än halva våglängden hindras vågrörelsen och vågen blir högre och brantare för att sedan bryta (figur 6). När vågen påverkas av botten minskar dess hastighet som nu beror helt av vattendjupet och blir lika med grupphastigheten. I områden där djupet är mindre än halva den ofta förekommande våglängden kommer vågrörelsen längs botten att sätta bottenmaterialet i rörelse och erosion uppstår. Sand och lera transporteras då till andra områden. Dessa botten kallas erosionsbottenar till skillnad från transport- och ackumulationsbottenar. Vågexponerade stränder och klippor får en annan växtlighet på grund av den mekaniska bearbetningen av vågorna.

Vid sandstränder är sanden i ständig rörelse. Sandbankar bildas och förändras beroende på vattenstånd och vågornas storlek. En våg bryter när djupet är mindre än 1,3 gånger våghöjden. Efter att vågen brutit rör den sig fortfarande framåt medan den fortsätter att bryta. Efter en viss sträcka kan våghöjden ha minskat så att vågen slutar bryta och fortsätter in mot stranden där den återigen får bottenkontakt och bryter mot stranden.

Om våggruppen kommer in snett mot stranden kommer den att böja av så när vågorna när stranden är de nästan parallella med strandlinjen. Detta beror på att våghastigheten minskar för den del av vågen som först känner av botten när det grundar upp. På samma sätt böjer vågor av och går runt uddar och öar varför det är svårt att få lä för vågor på sådana platser.

### VÅGKLIMAT

Vågklimatet varierar från område till område och över året. SMHI:s observationsplatser visar, enligt figur 7, att det i medeltal är vanligast med höga vågor i Skagerrak och Egentliga Östersjön under januari månad. Den näst värsta månaden är november. De lägsta vågorna kan man förvänta sig i maj, juni och juli i alla områden men särskilt i Bottenhavet. Vid västkusten kan vågorna bli särskilt stora då blåssträckan är lång (hela Nordsjön och Skagerrak). I Östersjön är risken störst att möta de högsta vågorna i den nordöstra delen eftersom starka sydvästliga vindar är vanligast och blåssträckan här är som längst. I Bottenviken finns inga observationer men vågorna är mindre där eftersom blåssträckan inte är så lång. Figur 8 visar hur våghöjderna varierar under året och mellan olika år för tre utvalda stationer.

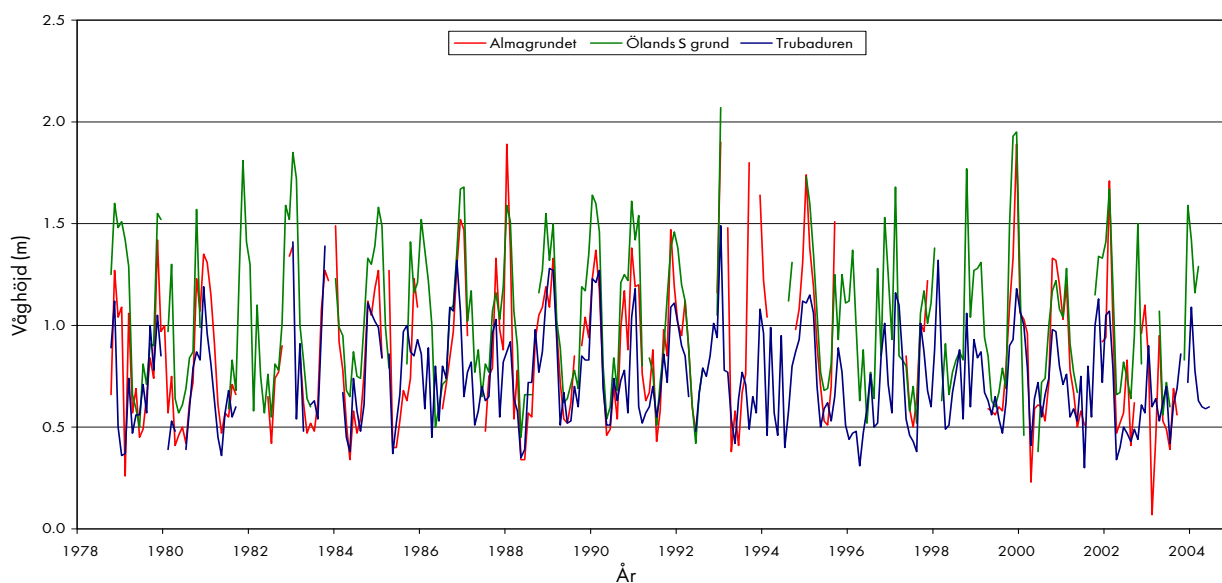
I Västerhavet är havsytan nästan alltid i rörelse medan den i Östersjön oftare är helt lugn. Detta beror på Västerhavets breda öppning mot Nordsjön och Atlanten och att dessa ständigt skickar in dyning från många gamla blåstillfällen.



Figur 6. Vågor som bryter vid en strand.

Havsområde	Södra Bottenhavet	Norra Östersjön	Sydöstra Östersjön	Kattegatt	Skagerrak
Station	Fingrundet	Huvudskär Ost	Södra Östersjön	Läsö Ost	Väderöarna
Januari	1.4	1.5	2.3	1.3	1.8
Februari	1.1	1.2	1.7	1.7	1.2
Mars	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0
April	0.8	0.7	0.9	0.6	0.8
Maj	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8
Juni	0.5	0.7	0.6	0.8	0.9
Juli	0.6	0.7	0.9	0.6	0.8
Augusti	0.8	0.8	1.0	0.7	0.9
September	0.8	1.1	1.3	0.9	1.2
Oktober	1.1	1.3	1.6	0.9	1.3
November	1.3	1.4	1.9	1.1	1.5
December	1.0	1.5	1.4	1.0	1.4

Figur 7. Tabell med observerade månadsmedelvärden av signifikant våghöjd (meter) i olika havsområden.



Figur 8. Diagram med observerade månadsmedelvärden av signifikant våghöjd vid Almagrundet, Ölands södra grund och Trubaduren mellan åren 1978 till 2004. Här kan vi se hur våghöjden varierar över året och från år till år.

### REKORD OCH SÄRSKILDA HÄNDELSE

Extrema vågor inträffar med jämna mellanrum, ofta vintertid i samband med starka vindar som bygger upp vågorna. Den högsta observerade vågen i Östersjön, 14,0 m den 22 december 2004, uppmättes av det Finska Havsforskningsinstitutet söder om Åland. Den signifikanta våghöjden var vid detta tillfälle 7,7 m. Vid Almagrundet (figur 1) observerades 12,8 m våghöjd den 14 januari 1984.

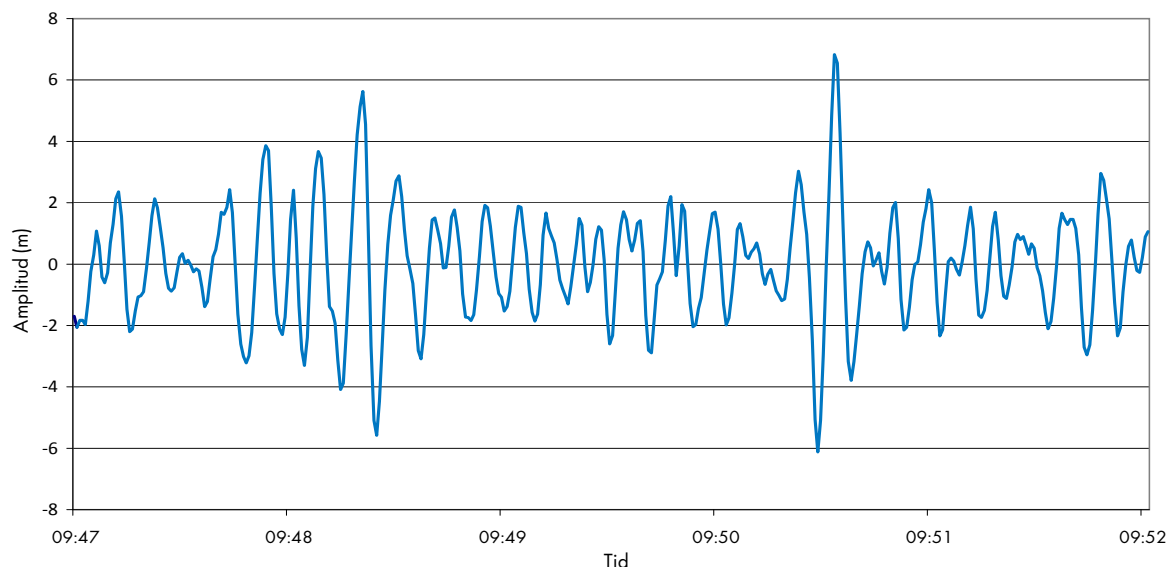
Den högsta vågen som registrerats längs svenska kusten är 13,0 m med signifikanta våghöjden 7,7 m

(figur 9 och 10). Denna våg registrerades vid Väderöarna (figur 1) den 14 januari 2007.

Extremt höga enskilda vågor s.k. monstervågor har sjöfarare rapporterat under lång tid men först de senaste 15 åren har man kunnat observera och mäta dessa vågor. Det finns ingen enkel förklaring men grunden är att flera vågsystems energi vid unika tillfällen samlas i en våg. Monstervågor har en kort varaktighet. Det är liten risk för monstervågor i våra hav eftersom det inte förekommer många kraftiga vågsystem samtidigt.

Havsområde	Maximal våghöjd	Stationsnamn	Datum
Södra Bottenhavet	9.8 m	Fingrundet	2006-10-31
Norra Östersjön	12.8 m	Almagrundet	1984-01-14
Sydöstra Östersjön	11.2 m	Södra Östersjön	2009-10-14
Kattegatt	5.9 m	Läsö Ost	2007-11-09
Skagerrak	13.0 m	Väderöarna	2007-01-14

Figur 9. Tabell med de maximala våghöjderna observerade av SMHI i olika havsområden.



Figur 10. Diagram som visar observerade våghöjder vid Väderöarna 14 januari 2007. Maximala våghöjden (största skillnaden mellan vågdal och vågtopp) var vid detta tillfälle 13 meter (klockan 09:50), vilket är det högsta SMHI har observerat.

### LÅNGA VÅGOR

Vågor med stor våglängd i förhållande till djupet kallas långa vågor. Våghöjden är också liten i förhållande till våglängden. I en lång våg rör sig vattenpartiklarna mest fram och tillbaka och mycket lite upp och ner i förhållande till våglängden. Våglängden kan vara 100-tals landmil och våghöjden flera meter. Exempel på långa vågor är tidvattenvågor, stående vågor (vattenpendling, seiche), sjösprång och seismiska vågor (tsunami).

Långa vågor märker man i första hand av som vattenståndsvärningar längs kuster eller när de bryter mot kusten. Långa vågor hastighet bestäms helt av djupet och ju större djup desto större hastighet. Om djupet är 100 m, som i delar av Östersjön, rör sig långa vågor med hastigheten 31 m/s eller 112 km/tim. Världshavens medeldjup är 3700 m och vid detta djup rör sig en lång våg med hastigheten 191 m/s eller 687 km/tim. Man har därför mycket kort tid på sig för att varna för en tsunami. Våglängden för en vattenpendling i Östersjön mellan Bottenviken och Södra Östersjön är dubbla sträckan mellan ändpunkterna dvs. 4000 km. Läs mer om långa vågor i Kunskapsbanken på SMHI:s hemsida och i SMHI:s Faktablad nr 41 om Havsvattenstånd.

### INTERNA VÅGOR

I gränsskiktet mellan vattenmassor under vattenytan med olika densitet, som beror på skillnader i temperatur och/eller salthalt, förekommer både korta och långa vågor. Dessa märks inte på ytan men har stor betydelse för blandningen mellan olika vattenskit i havet. De rör sig mycket långsammare än ytvågor på grund av att densitetsskillnaden är mindre mellan de olika vattenmassorna än mellan havsvatten och luft.

### För mer information kontakta:

oceanograf@smhi.se

Thomas Hammarklint  
tel 011 - 495 8435  
thomas.hammarklint@smhi.se

Torbjörn Lindkvist  
torbjorn.lindkvist@smhi.se

Omslagsfoto och foton på sid 6 från Skylight bildbyrå.

Övriga foton från SMHI.