

# VEJRET

Nr. 1 - 27. årgang

Februar 2005 (102)



# Tsunamibølger – en rå naturkraft

Af Bettina M.  
Christiansen, Civ. ing.

*Tsunamibølger er på det seneste kommet meget i søgelyset ikke mindst pga. den store katastrofe i Asien lige efter Jul 2004. Denne artikel fortæller lidt om denne katastrofe og sætter derefter fokus på hvad en tsunami egentlig er og hvordan den opfører sig.*

## De katastrofale tsunamibølger i Asien

2. juledag – den 26. december 2004 om morgenen lokal tid, blev Det Indiske Ocean ramt af katastrofale flodbølger som

følge af et jordskælv 315 km vest for nordspidsen af den indonesiske ø Sumatra. Jordskælvet blev målt til 9.0 på den åbne Richterskala og dannede et langstrakt epicenter på 1200 km i nord-sydlig retning. Jordskælvet var det kraftigste målt i 40 år og dannede tsunamibølger, som bredte sig som ringe i vandet fra epicentret. Bølgerne bevægede sig med ekstreme hastigheder på omkring 700 km i timen.

Da tsunamibølger er meget energirige bølger, der bevæger sig over lange afstande, blev en stor del af kystlandene i Det Indiske Ocean oversvømmet. Flodbølgerne fra tsunamien, der blandt

andet ramte kysterne Sri Lanka, Indonesien, Indien, Thailand, Malaysia og Maldiverne, blev komprimerede, da de nærmede sig kysterne. Jo mere de blev komprimerede jo mere voksede deres bølgehøjder, og man kunne sammenligne dem med høje tårne, da de ramte kysterne, idet bølgerne nåede op til 10 meters højde.

Tsunamibølgerne ramte Sumatra efter kun én time, Sri Lanka og Thailand efter et par timer og Maldiverne efter ca. 3 timer. Efter kun 7-8 timer nåede tsunamiebølgerne Afrika's vestkyst og skyllede ind over bl.a.



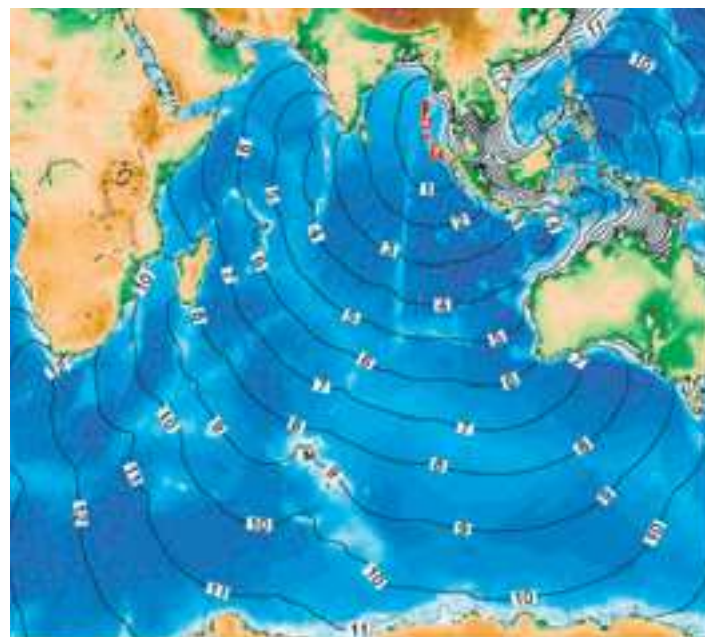
Figur 1. Satellitbillede (udsnit af større billede) af tsunamien tilbageværende ud for Sri Lankas kyst. Kilde: NASA.

Somalias og Kenyas kyster (se figur 2).

På Maldiverne, hvor den gennemsnitlige højde over havniveau kun er én meter, skyllede tsunamibølger på mere end én meter bølgehøjde tværs over mange af øerne. Bølgerne overskyllede halvdelen af Male, som er Maldivernes største ø.

Tsunamibølgerne 2. juledag var de kraftigste i Det Indiske Ocean siden 27. august 1883, hvor et stort udbrud fra vulkanen Krakatau i Indonesien udløste voldsomme tsunamibølger, der skyllede ind over kysten på Java og Sumatra med bølgehøjder på omkring 37-40 meter. Til sammenligning var Tsunamibølgerne i 1883 kun destruktive lokalt i Indonesien, dog blev små tsunamibølger målt i hele Stillehavet og kunne måles helt op i de danske farvande – kun 36 timer efter den blev udløst i det Indiske Ocean (fig. 3).

1883 tsunamibølgen blev registreret i Københavns Havn ved en vandstandsstigning på



Figur 2. Bølgeudbredelsestider i timer for tsunamien i det indiske ocean. Epicentret er markeret med rødt.

26 cm (fig. 4), og gennemsnitshastigheden fra Det Indiske Ocean til Københavns havn var ca. 660 km/t eller 185 m/s.

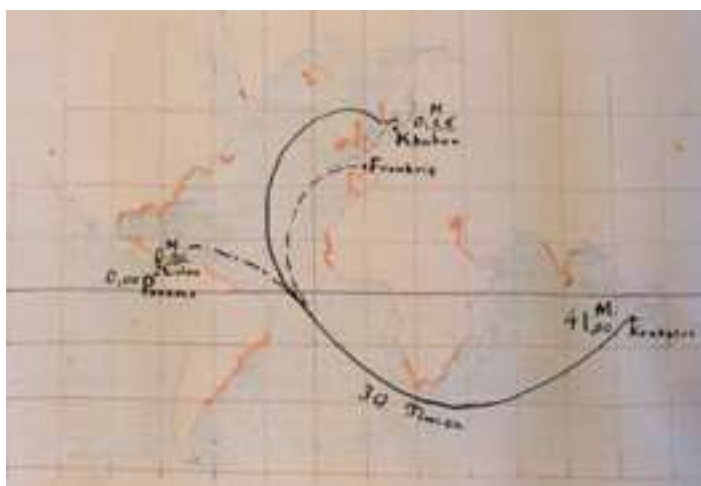
Den seneste tsunamibølge fra Det Indiske Ocean, 26. december 2004 har man ikke

kunnet registrere på det danske net af vandstands målestationer. Det skyldes sandsynligvis, at denne bølge var 20-25 meter mindre end 1883-bølgen.

### Hvad er en tsunami?

I Japan er tsunamier en velkendt naturkraft. Ifølge statistikken forekommer ca. 17 % af verdens tsunami hændelser i Japan. Navnet Tsunami er da også japansk og betyder "havnebølge" (udtales soo-n'a-mee). Fejlagtigt bliver tsunamibølger også kaldt for tidevandsbølger. Men tsunamibølger er ikke at sammenligne med tidevandsbølger, som er drevet af tyngdekraften mellem Jorden og Månen.

Tsunamibølger kan bl.a. genereres på grund af seismiske forstyrrelser i undergrunden og havbunden – som en følge af undersøiske jordskælv. Endvidere



Figur 3. Bevægelseslinie for Tsunamibølgen fra Krakatau fra Det Indiske Ocean til Danmark. Håndtegnet i 1883 af P.A. Monnet, og overrakt til DMI's første direktør "Kaptajn N. Hoffmeyer" i samme år. Kilde: DMI's arkiv.

kan tsunamibølger blive dannet som følge af jordskred, vulkanudbrud, eksplosioner og sammenstød/nedslag fra meteorsten og asteroider. Altså ikke seismiske hændelser som jordskælv.

Når en tsunami først er blevet udløst via et jordskælv eller andre tsunami-dannende kilder, vil den forplantes og transportere destruktiv energi tusinde af kilometer væk fra dets kilde gennem bølgebevægelse indtil den når kystlinier, hvor det sidste stadie af tsunamibølgens udfoldelse begynder, når den støder på grund som en brydende bølge. Den vil vise sig som en væg af vand eller et tidevandslignende højvande og oversvømme land. Den vertikale såkaldte "run-up" kan blive 10 meter eller mere. Den horisontale oversvømmelse af land kan trænge flere hundrede meter ind over landområder, hvis den er uhindret af kyst eller andre stejle topografier.

#### **Når jordskælv danner tsunami bølger**

Når et jordskælv udløses på havbunden, forskydes dele af havbunden opad, mens en anden del af havbunden synker ned. Der dannes en perturbation

på havoverfladen, hvor formen af havoverfladen afspejler de nye konturer af havbunden – dvs. et vandareal bliver skubbet opad og et andet vandareal synker. Dette sætter en serie af bølger i gang, som er begyndelsen på en tsunami. Bølgerne breder sig i koncentriske cirkler ligesom de ringe, der dannes, når man kaster en sten i vandet.

#### **Tsunami'er adskiller sig fra andre bølger**

På bølgeperioden - dvs. tiden mellem to på hinanden følgende bølger – adskiller tsunamibølger sig fra andre bølger. Vindgenerede bølger har sædvanligvis bølgeperioder på omkring 5-20 sekunder, mens en tsunamis bølgeperiode kan være lige fra 10 minutter til et par timer. Endvidere er vindgenerede bølgers bølgelængde (afstand mellem to på hinanden følgende bølgetoppe) kun omkring 100-200 meter, hvorimod tsunamiers bølgelængder typisk er fra 100-500 km på dybt vand.

I modsætning til vindgenerede bølger, som kun sætter havet i bevægelse ved havoverfladen, sætter tsunamier havet i bevægelse fra havoverfladen og helt ned til havbunden. Dette

betyder blandt andet, at dykkere ikke kan mærke en stormbølge, mens tsunamien's voldsomme kraft, der jo forplanter sig hen over havbunden, vil være livstruende for dykkere.

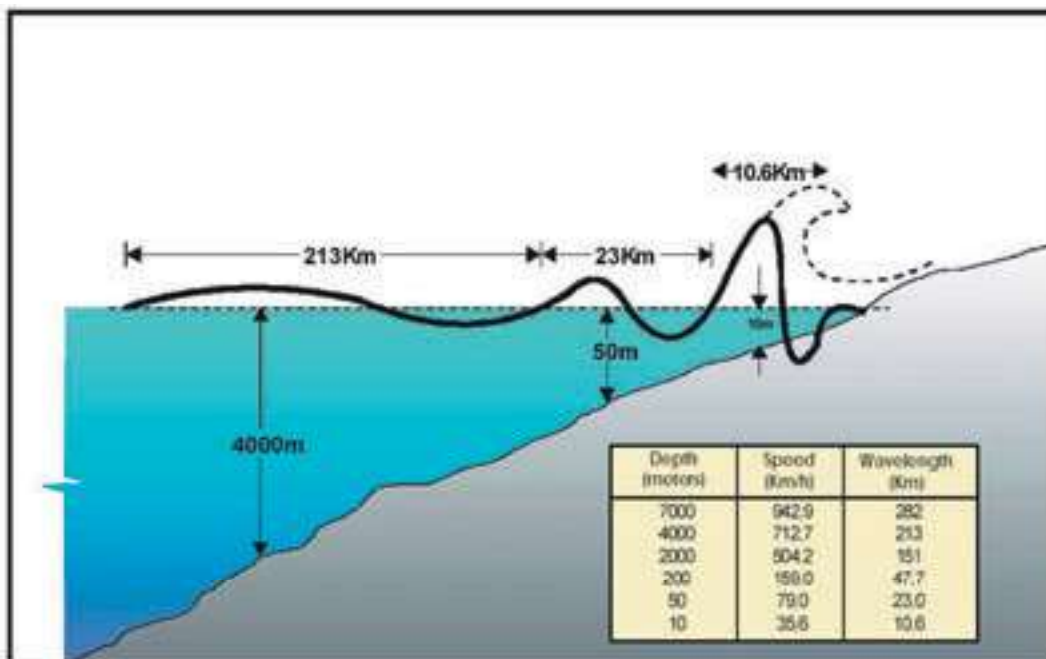
Tsunamiers lange bølgelængder kombineret med, at deres bølgehøjder, der på dybt vand er mindre end en meter, bevirker, at mennesker på et skib langt fra kysten ikke vil kunne mærke eller se tsunamibølger, når de passerer, men måske kun blive bemærket som ikke mere end et let fald eller stigning af vandoverfladen.

#### **Tsunami'er på åbent dybt hav/ocean**

Tsunamiers lange bølgelængde betyder, at de opfører sig som "lavvandede bølger", hvor bølgernes udbredelseshastighed er lig med kvadratroden af produktet af Jordens tyngdeacceleration og vand-dybden. Det betyder, at tsunamier flytter sig med en hastighed der er afhængig af vanddybden. På det dybe ocean vil tsunamibølger derfor vandre med hastigheder på 500-1000 km i timen og bevæge sig over store oversøiske afstande med begrænset energitab. For eksempel når havet er 6100 m dybt vil tsunami'er bevæge sig



Figur 4. Registrering fra 28. august 1883 af vandstanden i Københavns havn ved Karantænebygningen. Romertallene på x-aksen angiver tidspunktet på dagen, mens tallene på kurven angiver vandstanden i cm. Den lille top på kurven mellem kl. 14 og 15 er vandstandsstigningen forårsaget af tsunamibølgen. Kilde: DMI's arkiv.



Figur 5. Bølgehøjde og vanddybde for en tsunami. På det åbne ocean, hvor vanddybden er stor, er en tsunamis bølgehøjde mindre end en meter, men forøges hurtigt når den nærmer sig lave vanddybder. Tsunami'en sætter havet i bevægelse fra havoverfladen til havbunden. Når bølgen rammer kysten, bliver dens energi koncentreret på meget mindre dybde, så der opstår dramatisk høje, destruktive og livsstruende bølger. Kilde: ITIC.

med 880 km i timen, det samme som hastigheden af et jethly. Tsunami'er kan altså bevæge sig fra den ene side af Stillehavet til den anden side på mindre end en dag. Deres lange bølgelængder betyder endvidere, at de kun vil miste lidt energi, hvilket er forklaringen på, at det er muligt for tsunami'er at bevæge sig over uhyre store afstande og stadig udløse ødelæggelser, når de rammer kyster.

#### Når en tsunami nærmer sig land eller rammer grundt vand

Når en tsunami bevæger sig fra det dybe vand på det åbne ocean og ind på lavere vand ved kontinentalsoklen nær kyster, vil den gennemgå en transformation. Tsunami'ens hastighed er relateret til vanddybden, hvilket medfører, at hastigheden af

tsunami'en bliver formindsket eftersom vanddybden aftager. For eksempel vil tsunami'ens hastighed på 20 meters vanddybde kun være ca. 50 km i timen.

Da tsunami'en består af en serie af bølger, som ligger med en bølgelængdes afstand fra hinanden, vil en sænkning af den forreste bølges hastighed betyde, at den bølge der bevæger sig bagved og har en større hastighed – vil "vælde" ind i bølgen foran. Efterhånden som tsunamibølgerne bliver komprimeret tæt på kysten, bliver bølgelængden forkortet og bølgeenergien rettet opad, hvorved bølgenes højde forøges betydeligt. På grund af denne effekt, som kaldes for "shoaling" kan en tsunami, der er næsten umærkelig på det dybe

åben ocean, vokse til flere meter i højde nær kysten.

Selvom bølgelængden forkortes nær kysten, vil tsunami'en typisk have en bølgelængde over 10 km, når den rammer land (se figur 5).

#### Når tsunami'er rammer land

Når en tsunami endelig når kystbredden vil den vise sig som et hurtigt voksende eller faldende tidevand, en serie af brydende bølger eller i værste tilfælde som en serie af tårnhøje flodbølger på 10-30 meters højde. Oversvømmelserne af et område fra en tsunamibølge kan have en strækning på flere hundrede meter ind over landområder. Kræfterne fra bølgerne er uhyre kraftige og kan rive næsten alt med på deres vej, såsom store sten og klippestykker, bygninger og træer. Ved flod-

bølgenes tilbagetrækning vil de typisk transporte løse genstande og mennesker med ud i havet. Der kan gå flere dage før havet vender tilbage til dets normale tilstand.

En tsunami består af en serie af bølger, som ankommer hver med 10 – 60 minutters interval, alt afhængig af dens bølgeperiode. Selvom der kan være intervaller på minutter eller måske timer mellem ankomsten af tsunamibølger, kan den anden eller tredje bølge være betydelig mere destruktiv end den første bølge. Faren fra en tsunami kan derfor vare flere timer efter den først ankomne bølge. Det er derfor vigtigt at befolkningen i områder med fare for tsunamibølger lærer havets natur at kende.

Hvis den forreste kant af tsunamibølgen er en bølgetop, vil det første tegn på en tsunami være en stigning af vandstanden. Hvis det derimod er bølgedalen, der er forrest, når bølgen rammer land, vil det første tegn af en tsunami være en kraftig tilbagetrækning af vandet (fig. 1). Det første tegn kan således være at vandet bliver trukket ud i havet, efterladende store bredstrækninger på stranden med eksempelvis fisk. Mennesker der går ud for at indsamle disse fisk, vil da pludselig - når bølgetoppen kommer ind på kysten måske 20 minutter senere - være i stor fare for at drukne, fordi de bliver trukket med af bølgens enorme kraft.

Endvidere skal man være opmærksom på, at en lille tsunami på en bestemt strand, udmærket kan blive en kæmpe tsunami kun nogen få kilometer derfra, idet

kystliniens topografi og havbund påvirker bølgens størrelse. Hvis tsunamibølgen samtidig kommer med et høj tidevand, eller hvis der er sammenfald med en stormbølge i området, vil effekten blive kumulativ, dvs. det hele akkumuleres og oversvømmelserne og ødelæggelserne kan så blive endnu større.

### Tsunami beregninger er komplicerede

Beregninger af tsunami'ers hastigheder, bølgehøjder og deres destruktive kræfter når de rammer en kystlinie kompliceres af flere forskellige faktorer. Blandt andet vil formen af havbunden kunne udløse effekter, som ikke kan forudsiges ud fra simple bølgeligninger. Kystliniers forme og bugtninger, havne konstruktioner etc. kan få bølgerne til at reflektere, diffraktere og refraktere. Herved ændrer bølgerne retning. Andre komplicerende faktorer, såsom selve effekten fra efterdønninger fra en bølge på bølgen der kommer bagved, ligesom den eksakte forstyrrelse, der udløste tsunami'en i første omgang, kan

være komplicerede at beskrive eksakt.

Disse faktorer er alle komplikationer, som forskerne prøver at tage højde for i de numeriske matematiske modeller, der anvendes til computerberegninger af forudsigelser af tsunami'er.

### Tsunami advarselcenter

Grundet tsunamier's destruktive kræfter, det store antal jordskælvszoner og den høje hyppighed af tsunamier har man i Stillehavet etableret et advarselssystem og samtidig oprettet et operationelt »Pacific Tsunami Warning Center (PTWC)« i nærheden af Honolulu, Hawaii. Centret samarbejder med 26 medlemslande.

Centeret overvåger seismiske data og tidevandsmålinger for hele Stillehavet og man beregner ankomsttiden af forskellige bølger rundt på kystlinierne i hele oceanet. Hensigten er at kunne evaluere potentielle jordskælvskabte tsunamier og dermed informere og advare mod tsunami'er til nationale og internationale myndigheder i Stillehavsområdet.



Figur 6. Vejskilt der viser tsunami fare. Takatoyo strand, Enshu kysten i Japan.