

# Sumatra-jordskælvet

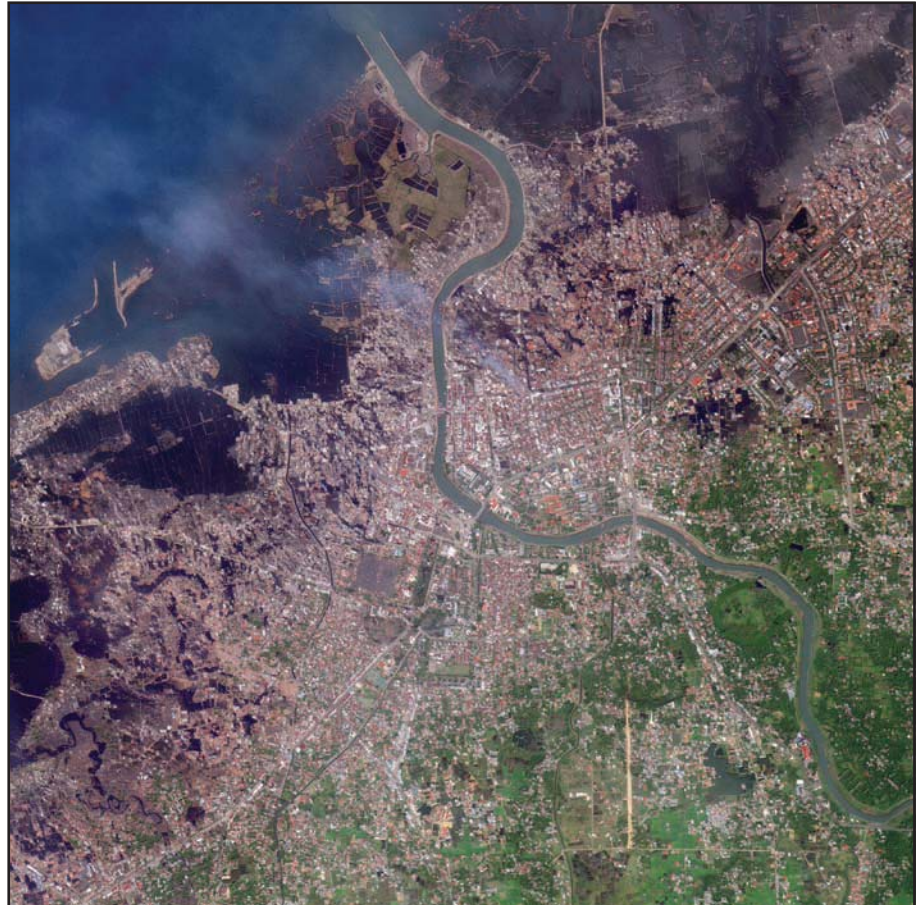
## - de geofysiske konsekvenser

Af Tine B. Larsen og Søren Gregersen, GEUS

Sumatra-jordskælvet udløste en næsten ubegribelig menneskelig katastrofe i landene omkring Det Indiske Ocean med tæt på 300.000 omkomne. Langt de fleste blev ofre for den tsunami, som jordskælvet satte i gang. Jordskælvet er også opsigtsvækkende rent videnskabeligt på grund af sin voldsomhed og de naturvidenskabelige fænomener der fulgte med; den enorme brudzone, de store forskydninger, tsunamien og de kraftige rystelser, som satte hele jordkloden i svingninger.

I de fire årtier der er gået siden jordkloden sidst blev rystet af et jordskælv på over 9 på Richterskalaen, har den teknologiske udvikling taget et kvantespring. Aldrig før er et så kraftigt jordskælv og dets følgevirkninger blevet dokumenteret så detaljeret. På den seismologiske side er der globalt set kommet langt flere seismografer til at registrere jordskælv, dataopsamlingen er blevet digital, og den dækker et langt større frekvensområde end tidligere. Det giver os mulighed for at udnytte detaljer i data, som på længere sigt kan medføre helt ny viden om jordens dybeste dele.

Jordskælvets umiddelbare effekt på naturen er også langt bedre dokumenteret, end det var teknologisk muligt i 1964, da jorden sidst var udsat for et jordskælv på over 9 på Richterskalaen. GPS-systemet er kommet til



Satellitfoto fra Aceh, Sumatra fotograferet d. 29.12.2004. På billedet ses ødelæggelserne fra tsunamien som mørke områder. (Fotoet er venligst udlånt og bearbejdet af CRISP, National University of Singapore IKONOS image © CRISP 2004)

og det er nu muligt at måle selv små ændringer i afstand med centimeters nøjagtighed. Også tsunamiers bølgehøjde kan nu måles fra satellit, men satellit-data er typisk ikke

tilgængelige før flere timer efter, at de er blevet optaget. Processeringen tager også tid, og satellit-data kan derfor pt. ikke bruges i et varslingsystem.

### Brudzonen

Der fremkom hurtigt skøn over brudzonens størrelse, og det første bud fra USGS lød på 1200 km's længde, en bredde af forkastningen på over 100 km, samt en forskydning på 10-15 m. Dette skøn var baseret på jordskælvetts størrelse samt på efterskælvenes geografiske fordeling. Der er efterfølgende givet andre bud på brudzonens størrelse, men det endelige svar vil være kompliceret. En sådan kæmpemæssig forkastning indeholder mange uregelmæssigheder på grund af uregelmæssigheder i undergrunden. Der er områder, hvor der er større forskydning, og måske ligefrem en deling af forkastningen i flere stykker. Det skønnes ud fra



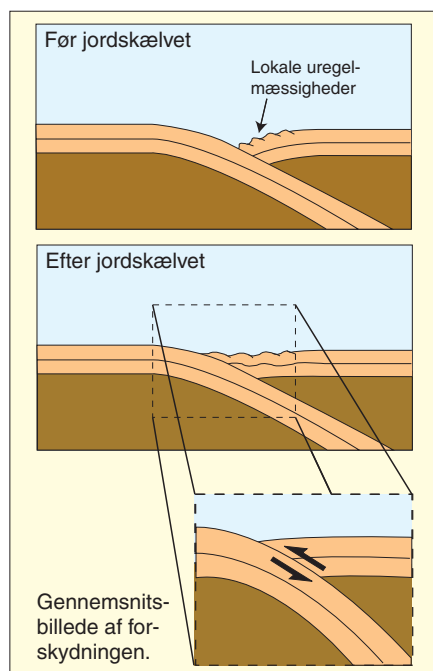
Jordskælvet fandt sted ved Sunda Trench, som er en stor subduktionszone i Det Indiske Ocean. Firkanten markerer nordspidsen af Sumatra, Aceh, hvor satellitfotoet stammer fra. (Grafik: UVH)

seismogrammerne udseende på de mange seismografstationer ud over kloden, at bruddet udviklede sig over et tidsrum på omkring 8 minutter, startende i syd. Der kan ikke være tvivl om, at de nøje modelleringer, som kan udregnes med tiden, vil vise store forskelligheder i forskydning fra sted til sted.

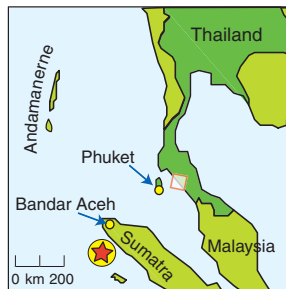
Hvordan skønner man brudzonens størrelse, og hvorfor er det så svært? Et mål for jordskælvets størrelse er Richtertallet, som bestemmes ud fra, hvor store udslag der er på de seismografer, som har registreret jordskælvet. Beregningen af dette tal ændrer sig, efterhånden som der samles flere og flere oplysninger fra flere seismografer i de første timer efter et stort jordskælv. Der er forskellige beregningsmetoder, som i uheldige tilfælde kan give meget forskellige resultater. Derfor benytter seismologerne sig også af mere basale fysiske oplysninger. Man kan forsøge at udregne energien, men det har vist sig endnu bedre at udregne momentet (drejningsmomentet = kraft gange arm), som er et udtryk for, hvor voldsomt det nærmeste område omkring jordskælvet blev vredet rundt af jordskælvets forskydninger. Dette moment kan beregnes ud fra det globale net af bredbånds-seismografer. Det fortæller om jordskælvsforkastningens størrelse og den forskydning, der er foregået på den. Sammenholdes dette med det indtryk, man får af brudzonens størrelse ud fra de efterskælv, der følger efter et stort jordskælv, får man et godt skøn over forskydningen.

### Større skælv, mindre forskydning

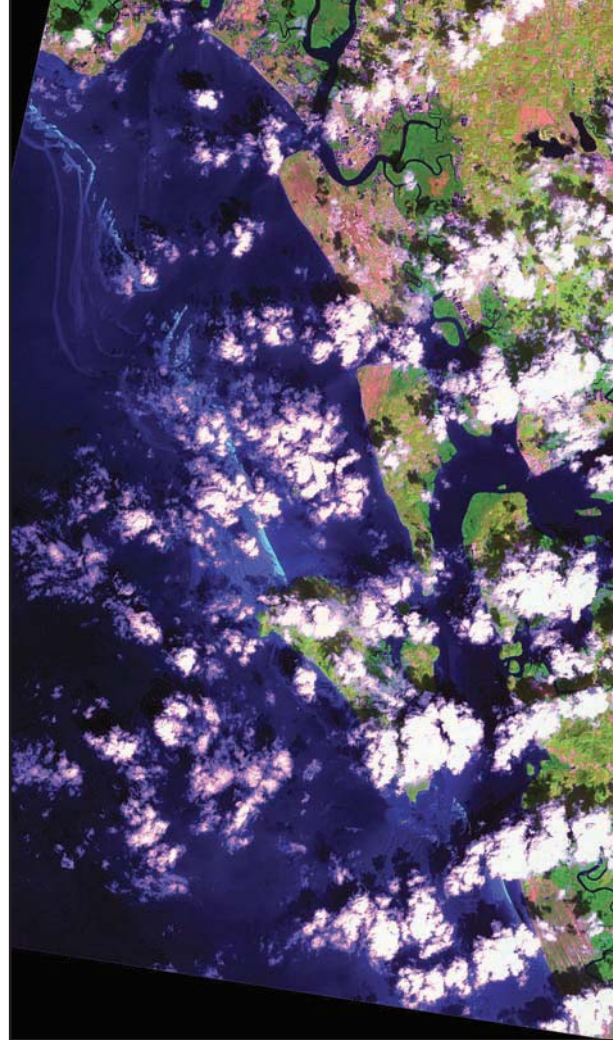
Blandt seismologer er der i de seneste årtier udviklet erfaring for, hvordan sammenhænger er mellem Richtertal og moment. På



Den indiske plade skubbes ned under den burmesiske mikroplade, men bevægelsen foregår ikke jævnt. Den burmesiske mikroplade hænger fast på den indiske plade, mens deformationen "opsparer". Først ved jordskælvet udløses den opsparede deformation. (Grafik: UVH)



Satellitfoto som viser tsunamien, der rejser sig mod Thailands kyst d. 26.12 2004. Den lille firkant på kortet ovenfor viser satellitfotoets placering (Fotoet er venligst udlånt og bearbejdet af CRISP, National University of Singapore SPOT image © CNES 2004)



grundlag af dette er Sumatra-jordskælvets Richtertal netop blevet justeret af nogle amerikanske forskere til at være 9,3. Dette har dog kun betydning ved sammenligningen med andre enorme jordskælv som det i havet ved Alaska 1964 eller det i havet ved Chile 1960.

Der blev umiddelbart efter katastrofen offentliggjort skøn over, hvor meget Sumatra kunne have flyttet sig, og helt op til 36 meter blev nævnt. Dette tal skal ses i forhold til det netop omtalte gennemsnitstal for forskydningen på forkastningen. Flytningen kan i hvert fald ikke være større end seismologernes gennemsnitsforskydning på 10-15 meter, men vil formodentlig være væsentlig mindre. Nu foreligger så også et tal for forskydningen på jordoverfladen målt ved GPS i mange kilometers afstand (se artiklen af Khan og Gudmundsson). At der her tales om en forskydning på 14 centimeter inde på Sumatra må tydes sådan, at der lokalt er en voldsom deformation af havbunden og kystområdet som gør rede for forskellen mellem 10-15 meters forskydning på forkastningen og GPS-flytningen på 14 centimeter ca. 300 km derfra. Man kan se det sådan, at området var sammentrykket på forhånd af de mange års pladebevægelse på omkring 6-7 centimeter per år, og ved jordskælvet blev noget af denne deformation udløst.

### Kuk i tiden og Nordpolen?

Jorden roterer uregelmæssigt, og rotationen påvirkes af ændringer i jordens massefordeling. Fx skyldes årstidsvariationer i jordens rotation meteorologiske forhold. Et jordskælv forårsager en permanent flytning af mate-

riale i jorden, hvilket påvirker jordrotationen og dermed døgnets længde. Jordskælv er dog kun ansvarlige for ganske små ændringer i tiden, så små at de ikke kan måles.

Chao og Gross fra USA beregner løbende, hvor meget jordskælv påvirker jordens rotation. De har beregnet, at Sumatra-jordskælvet forkortede døgnet med 2,68  $\mu$ s, hvilket dog er langt under målenøjagtigheden på 20  $\mu$ s. Mere opsigtsvækkende ved Chao og Gross arbejde er, at jordskælv generelt synes at flytte Nordpolen i retning mod ca. 140 °E. Det er resultatet af at analysere 21.600 store jordskælv, som har fundet sted siden 1977. Den beregnede flytning har indtil nu været så lille, at den selv med moderne geodætiske metoder ikke kan måles. Det kan have ændret sig med Sumatra-jordskælvet. Her beregner Chao og Gross, at Nordpolen har rykket sig 2,5 cm i retning mod 145 °E, hvilket er nok til, at der er en chance for, at det kan måles. Der er indtil nu ingen teorier, der forklarer, hvorfor jordskælv tilsyneladende trækker Nordpolen i en bestemt retning.

### Tsunamien

Jordskælv forårsager heldigvis sjældent tsunamier. En tsunami kan opstå, når et jordskælv under havet forårsager en så kraftig lodret forskydning af havbunden, at hele vandsøjlen kommer i bevægelse. En vandret forskydning af havbunden vil ikke medføre en tsunami. De jordskælv, der indebærer fare for en tsunami, er dem, der optræder i en sammenstødszone mellem to lithosfæreplader.

Den 26/12 2004 er der sket det, at ocean-

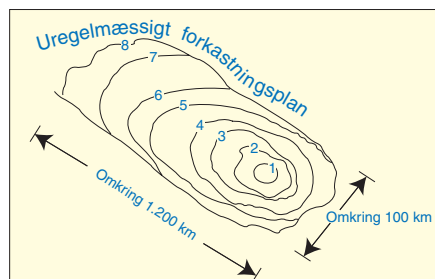
pladen fra syd-syd-vest har mast sig ind under Sumatra og derved har skubbet kanten af den plade, Sumatra ligger på, lidt op. Det kan forklares ud fra seismologernes beregning af mekanismen af jordskælvet. Seismogrammenes udformning i forskellige retninger og afstande fra jordskælvet har vist, at bevægelsen ned under Sumatra var noget nær vandret (hældende 10-15 grader) mod nord-øst. En forskydning langs forkastningen på godt 10 meter vil give anledning til en lodret forskydning på omkring 2 meter. Disse tal er udtryk for gennemsnitsbetragtninger set langt fra lokalområdet. Med tiden vil vi få at vide, hvor store lokalændringer der tilsammen kan gøre rede for disse overordnede gennemsnitsobservationer.

Tsunamier giver ikke høje bølger på det åbne hav og er derfor svære at få øje på, før de rejser sig, når de kommer ind på lavt vand. Ifølge NOAA var tsunamien d. 26/12 ikke over 60 cm høj ude på det åbne hav. Tsunamier bevæger sig hurtigere, jo dybere vandet er, og kan i de store oceaner komme op på en hastighed på 700-900 km/t svarende til et fly. Når den forreste del af tsunamien kommer ind på det lave vand nær kysten, falder hastigheden betragteligt, mens den bagerste del af tsunamien stadig bevæger sig med høj hastighed. På den måde bliver vandet presset sammen og rejser sig som en mur ved kysten. Tsunamier kan have bølgelængder på mange hundrede km.

Når en tsunami fra et fjernt jordskælv nærmer sig land vil den første observation enten være at havet trækker sig langt tilbage fra stranden, eller at der opstår et usædvanligt, men typisk udramatisk højvande. I de tilfælde, hvor tsunamien starter med højvande trækker havet sig efterfølgende tilbage. Først herefter kommer den første farlige bølge. Det sker når en bølgetop presses sammen ved kysten. En tsunami består ikke kun af en bølge. Hver gang en bølgetop når ind til land og presses sammen, vil en ny mur af vand rejse sig. Bølgetoppene vil ankomme med 20-60 minutters mellemrum, afhængig af tsunamis bølgelængde. Området omkring Det Indiske Ocean blev ramt af 2 til 4 store bølgetoppe og en række mindre.

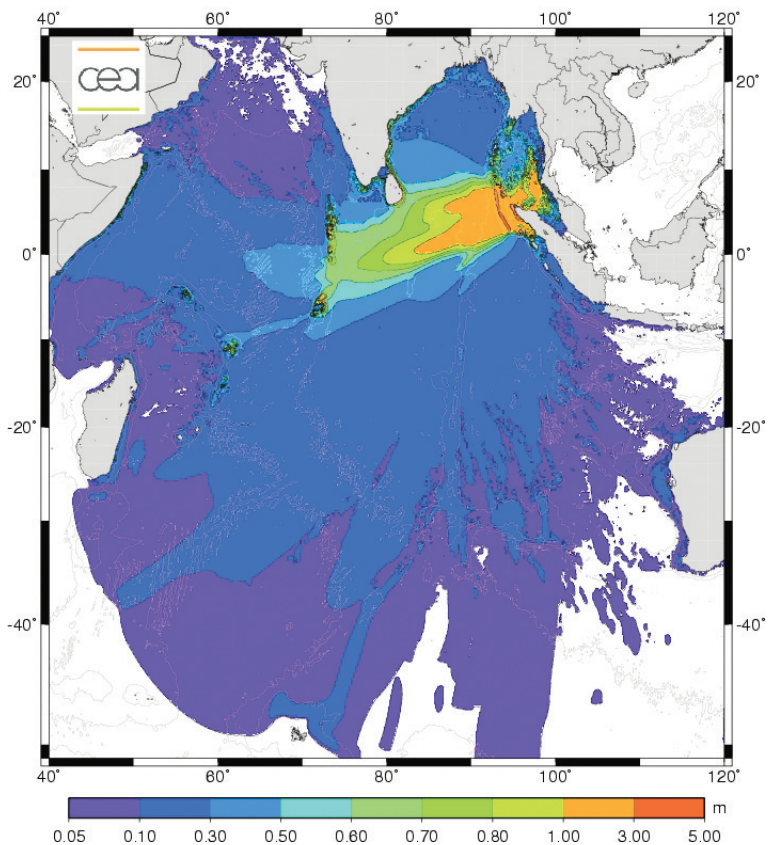
#### Risiko for tsunamier globalt og i DK?

Som nævnt ovenfor er det jordskælv i zoner med lithosfæreplade-sammenstød, der er farlige som kilde til tsunamier. Det er ikke



Brudzonen udvikler sig uregelmæssigt over ca. 8 minutter, og dækker et areal ca. på størrelse med Californien. (Grafik: UVH)

Modelberegning, der viser den maksimale bølgehøjde på det dybe vand i de første 9 timer efter jordskælvet. (Grafik venligst udlånt af: H. Hébert (CEA/DAM/DASE/LDG))



tilfældigt, at vores ord for dette fænomen, tsunami, er japansk. Fænomenet er nemlig langt oftest observeret i Stillehavsområdet, hvor der for mange år siden er blevet organiseret en advarselstjeneste med deltagelse af mange nationer. Ved den nylige tsunami-katastrofe i Det Indiske Ocean er det blevet diskuteret, om der skal organiseres en lignende tjeneste der. Seismologisk er det sådan, at den globale on-line observations-tjeneste for jordskælv uden stor indsats kan udvides fra at rapportere til en tsunami-tjeneste i Stillehavet til en i Det Indiske Ocean. Så der skal udbygges en tjeneste, der derefter observerer, om der faktisk blev dannet en tsunami, og som udsender advarsel og sætter et aftalt beredskab i gang. Det kommer sandsynligvis for Det Indiske Ocean nu, selvom enorme sammenstøds-jordskælv er sjældnere der end i Stillehavet.

Det bliver netop nu overvejet i en ekspertgruppe, om vi også bør arbejde for at få en tilsvarende tjeneste i Atlanterhavet, hvor tsunami-jordskælv er endnu sjældnere. For Danmark vil det være af interesse, om der kan forekomme jordskælv i Caribien, som kan sende en tsunami over Atlanterhavet til os, eller om der kan ske en gentagelse af Lissabon-jordskælvet som i 1755 fandt sted ud for Portugals kyst. For Caribien er der ikke kendskab til tsunamier af en sådan størrelse, at de har været ødelæggende på vores side af Atlanterhavet. For jordskælvet nede ved Lissabon kendes kun et tilfælde. Det kan nok gentage sig, men ingen er i stand til at komme med et bedre skøn om gentagelsestid end 300-1.500 år. Andre geologiske udløsningsprocesser for en tsunami er nok

endnu sjældnere. Teknisk set er det formodentlig ikke rimeligt at opbygge en advarselstjeneste, men det bliver en politisk beslutning.

#### Referencer:

B.R. Chao & R.S. Gross, *Did the 26 December 2004 Sumatra, Indonesia, earthquake disrupt the Earth's rotation as the mass media have said?*, EOS, Vol 86, No 1, p 1-2, 2005.  
United States Geological Survey web site: [wwwneic.cr.usgs.gov](http://wwwneic.cr.usgs.gov)  
<http://wcatwc.arh.noaa.gov/IndianOSite/IndianO12-26-04.htm>

**FOLKEKIRKENS**

**NØDHJÆLP**

VI TROR PÅ ET

LIV FØR DØDEN

**Støt ofrene for flodbølgen i Asien**

Nørregade 13  
1165 København K  
Tlf.: 33 15 28 00

Giro: 605 2800