

Vad kan vi lära oss av

Fig. 1. Skrämda invånare, som lyckades söka skydd i skogsområdet ovanför kuststaden Patong i södra Thailand.



Foto L. Kerje.

Klockan 5.30 på morgonen ringer telefonen – jag lyfter yrvaken luren och min svåger svarar med något upprörd röst: Hej, det är Lennart! Det har inträffat en förfärlig olycka här i Thailand, flera flodvågor har rullat in från havet och förstört hotell och andra hus. Många har omkommit, bland dom flera svenskar... Vi har haft tur, vårt hotell ligger en bit från stranden så vi har lyckats springa undan flodvågen. Nu sitter vi tillsammans med andra lyckligt lottade thailändare på en bergssluttning – vad skall vi göra...?

Mycket riktigt, i min dator fanns ett e-mail från US Geological Surveys informationstjänst: klockan 6:58:50 lokal tid har ett mycket kraftigt jordskalv med preliminär magnitud 9.1 inträffat. Epicentret ligger ca 150 km väster om Sumatra. Skallet var ytnära med ett fokusdjup (djupet till skallets hypocentrum) av 33 km.

Följderna av jordbävningen och tsunamin

När informationen om skallet och den efterföljande tsunamin sändes

ut till media visste få att jordskalvet och den efterföljande tsunamin skulle skörda över 250 000 människor i 11 länder kring Indiska oceanen. Hårdast drabbat var naturligtvis jordbävningens närområde, dvs Aceh-provinsen på västra Sumatra i Indonesien. Där raserades många byggnader, men även landets infrastruktur, såsom vägar, broar och elförsörjning. Det är svårt att uppskatta hur många människor som omkom i samband med själva jordbävningen, men antalet uppskattas till minst 55 000. En videofilm från huvudstaden Banda Aceh, som togs

efter skallet men innan tsunamin nådde området, visar den ödelagda staden. Bland ruinerna letar chockade människor efter anhöriga. Ca 15 minuter efter skallet och utan förvarning börjar plötsligt tsunamivågorna att rulla in över den redan hårt drabbade staden. Eftersom de flesta byggnaderna längs kusten var raserade fanns inget skydd mot vågornas enorma kraft, som svepte in över de oförberedda människorna i det tätbefolkade området.

Tsunamivågorna fortsatte

Nästa område som drabbades var Andaman och Nicobaröarna mitt i Indiska oceanen. Även där förstörde jordskalvet en del byggnader. De efterföljande vågorna svepte bort många byggnader och få överlevde katastrofen. I Thailand märktes jordskalvet som en lätt skakning och skadorna förorsakades endast av tsunamin. Många kända turistområden i sydvästra Thailand påverkades, men till skillnad från Indonesien drabbades endast ett relativt begränsat område längs kusten. Lyckligtvis förblev områdets infrastruktur till stor del intakt och möjliggjorde snabba räddningsinsatser. Någon timme senare nådde tsunamivågorna de mycket fattiga regionerna i Sri Lanka och södra Indien. Där var följderna av tsunamin förödande, inte minst på grund av den täta bebyggelsen och byggnadernas relativt dåliga standard, Fig. 2 och 3.

Jordbävnings- och tsunamirisken i Sydostasien

Globalt sett är ytnära jordbävningar vanligast (85 %), mellandjupa (70–300 km) svarar för 12 % och djupa (300–720 km) för 2 % av den frigjorda jordbävningens energi. Ytnära jordbävningar förekommer huvudsakligen vid transformaförkastningar, dvs där tektoniska plattor glider horisontellt förbi varandra där risken för tsunamis är låg. De mellandjupa och djupa jordbävningarna uppstår vid subduktionszoner, dvs där en platta pressas ned under en annan.

tsunamikatastrofen?



Fig. 2. Förödelsen i huvudstaden Banda Aceh efter tsunamin. Bråte kunde svepas in från kusten långt in i staden eftersom de flesta byggnaderna längs stranden hade raserats av jordbävningen. Från Dr. G. Pararas-Carayannis (foto taget av okänd fotograf).



Fig. 3. Förödelsen efter tsunamin i Khao Lak, Thailand. Från Dr. G. Pararas-Carayannis (foto taget av okänd fotograf).

Jordskalvet den 26 december 2004 är det största i världen sedan jordbävningen i Alaska 1964 och det fjärde största i världen sedan 1900. Det hade ett fokusdjup av ca 33 km, dvs en ytnära jordbävning. Efter huvudskalvet inträffar fortfarande många kraftiga efterskalv, det starkaste hade en magnitud av 7,1 på Richterskalan. Inget av dessa efterskalv framkallade dock en märkbar tsunami. Figur 4 visar fördelningen av jordskalv i Sydostasien och Australien under perioden 1977 – 1997. Det är uppenbart att epicentren av de flesta skalven koncentreras till väldefinierade zoner, som följer de tektoniska plattgränserna. I denna region möts tre tektoniska plattor, den Euroasiatiska, den Indiska och den Australiska plattan. Den Indiska plattan rör sig i nord-östlig riktning med en genomsnittlig hastighet av ca 5 cm/år och trycks ned under den Euroasiatiska plattan (i en såkallad subduktionszon).

Plattornas rörelser

Vid epicentrat för det stora skalvet kolliderar den Indiska och den Australiska plattan med den Burmesiska plattan, som är en del av den Euroasiatiska plattan. De lokala tektoniska rörelserna är dock mycket komplicerade och diffusa. Fördelningen av efterskalv tyder på att det stora skalvet förorsakades av en plötslig förskjutning av den Australiska och Indiska plattan mot Burmaesiska plattan, som lyftes ca 5

m längs en ca 900 km lång och 200 km bred zon. Förkastningssprickan uppstod huvudsakligen i nord-sydlig riktning. Därför framkallade den efterföljande tsunamin en vågfront som utbreddes sig i västlig och östlig riktning, Fig. 5.

Inom samma region, väster om Sumatra, inträffade 1941 – mitt under andra världskriget – en kraftig jordbävning. Den efterföljande tsunamin dödade mer än 5 000 människor enbart längs Indiens östkust, men den tolkades felaktigt som en stormvåg från ett oväder. Det är mycket sannolikt att många fler människor omkom i samband med denna katastrof, men det saknas väldokumenterad information.

Vågornas effekt

Tsunamivågorna har till havs en höjd av endast några meter, men våglängden är mycket stor (upp till flera kilometer). Vågorna kan därför utbreda sig med stor hastighet, mellan 400 – 600 km/tim och sprida sig över stora områden utan att förlora energi. Vågrörelsen kan förenklat jämföras med den av fallande dominobrickor. När vattenmassorna rullar in mot land kan stora vågor byggas upp, som bryts när de träffar hinder. Skadeverkan av en tsunami beror på ett flertal faktorer såsom strandens geometriska utformning, vågfrontens vinkel mot strandlinjen träffar kusten, samt vattendjupsförändringen i strandzonen. Vegetation, topogra-

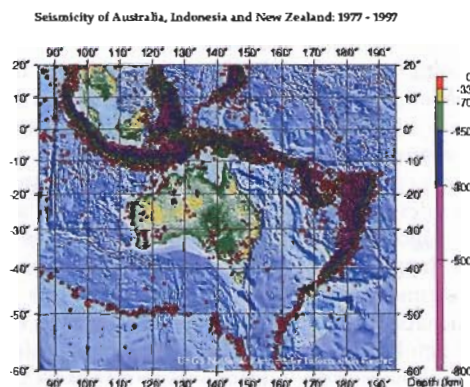
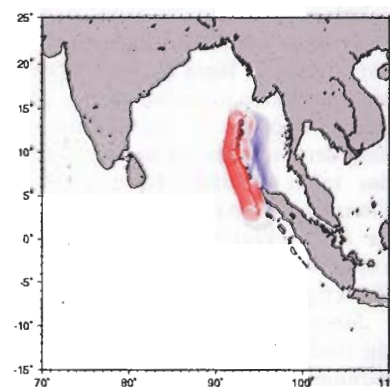


Fig. 4. Fördelningen av jordbävningar i Sydostasien och Australien, där fokusdjupet anges i olika färger (publicerad av US GS Information Center).

Fig. 5. Tsunamivågens utbredning efter jordskalvet i Indonesien den 26 december 2004. Av bilden framgår vågfrontens tydliga polarisering i väst-östlig riktning. Från: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Japan.



fiska förändringar såsom branta sluttningar, skyddsvägar eller tunga byggnader har en energidämpande effekt. Vågorna skadar oftast "mjuka föremål" medan välbyggda och välförankrade byggnader normalt klarar sig relativt väl. Skadezonen är begränsad till några hundra meter från stranden.

Är varningssystem mot tsunamis meningsfulla?

Endast ett fåtal jordskalv årligen framkallar tsunamis med våghöjder som är märkbara. Jordskalv måste uppstå till havs i ett område med stort vattendjup. Förkastningsrörelsen måste ge upphov till vertikala förskjutningar och förkastningen vara tillräckligt lång. Tsunamivågorna påverkas av förkastningszonens geometri, eftersom vågutbredningen sker främst vinkelrätt mot förkastningssprickan. En tsunamis skadeverkan är därför rikttningsberoende och olika på samma avstånd från skalvets epicentrum. Med dagens seismologiska mätsystem är det svårt att omedelbart fastställa om ett jordskalv kan ge upphov till en tsunami. För detta erfordras ett nätverk av mycket känsliga tryckgivare som installeras på havsbotten, och som kan registrera vattenståndsförändringar av 1–10 m vid ett vattendjup av flera tusen meter. Eftersom vattenståndsförändringar av denna storleksordning kan förorsakas av olika anledningar (t ex lågtryck, stormvågor) måste mätningarna tolkas med hjälp av sofistikerade seismiska övervakningssystem.

Tillförlitligheten av en tsunamivarning

I framtiden kan stora tsunamis genom ett globalt övervakningssystem upptäckas och varningar utfärdas i tid. Erfarenheten från de två övervakningsstationerna i Stilla havet visar dock att tillförlitligheten för närvarande är lägre än 50%. Även vid upptäckten av en tsunami är det svårt att förutse i vilken utsträckning den kommer att medföra skador inom specifika kustområden. Eftersom tsunamivarningar kan ha stora ekonomiska och sociala konsekvenser tillämpas dessa med försiktighet.

Stora tsunamivågor utbreder sig med ett jetplans hastighet och varningssystem är därför endast



K. Rainer Massarsch
Tekn Dr,
Dipl Ing SVR,
Wien 70.
Rainer har som adjungerad professor vid KTH varit ansvarig för jord- och bergdynamisk forskning och undervisning under början av 80-talet. Han arbetar som konsult med jordbävnings- och vibrationsfrågor i Sverige och utomlands och är ordförande i ISSMGES geofysiska kommitté.

användbara i områden på flera hundra mils avstånd. I närområdet av ett stort jordskalv, dvs i området där skadeverkan efter skalvet normalt är störst, och infrastrukturen ofta är skadad, är tidsintervallet för en effektiv varning och evakuering allt för kort.

Jordskalv till havs resulterar inte alltid i en tsunami

Ett exempel som illustrerar problematiken är jordskalvet som inträffade den 23 december 2004 (dvs tre dagar före det förödande skalvet i Indonesien), ca 400 km sydväst om Nya Zeeland, jfr. Fig. 4. Skalvet var mycket starkt och uppmätte magnitud av 8,1 på Richterskalan, men förorsakade inga skador varken på Nya Zeeland eller på de närbelägna Marquis öarna. Tack vare en gynnsam, huvudsakligen transform förkastningsrörelse uppstod endast en svag tsunami våg. Ca 50 minuter efter jordskalvet höjdes vattenytan i södra Nya Zeeland och Tasmanien med omkring 0,5 m utan att medföra några skador. Detta och flera tidigare jordskalv bekräftar dock att det finns ett betydande tsunamihot mot stora delar av Nya Zeeland, Australien och södra Sydamerika. Om en felaktig tsunamivarning hade utfärdats med anledning av det stora skalvet hade de ekonomiska konsekvenserna varit mycket stora.

Hur kan man skydda sig mot tsunamis?

Det är viktigt att komma ihåg att tsunamikatastrofen den 26 december 2004 var en exceptionell händelse, mot vilken det kommer att vara svårt att skydda sig. Men även mindre tsunamis kräver årligen många liv. Det är mot dessa som ett framtida skyddssystem bör inriktas och dimensioneras.

På lång sikt kan utbyggnaden av ett nätverk av varningsstationer i seismiska havsområden vara effektiv. Det är jämförelsevis enkelt att registrera tsunamivågor till havs med elektroniska övervakningssystem. Däremot är det mycket svårare att förutsäga vågornas potentiella skadeverkan, längs de utsatta kustområdena. Ännu svårare är det att sprida informationen om en möjlig tsunami till befolkningen, inte minst i utvecklingsländer med

tätbefolkade och fattiga områden med bristfälliga kommunikationssystem. När en tsunamivarning har lämnats, är de nödvändigt att genomföra en ordnad evakuering, kanske den svåraste av alla uppgifter. Eftersom en tsunamivarning alltid kommer att vara osäker, finns risk att felaktiga varningar minskar tilltron till systemet.

Anpassa bebyggelse

En åtminstone på kort sikt mer effektiv åtgärd är förbättrad utbildning av boende i områden som kan drabbas av tsunamis och jordbävningar. Till detta hör evakueringsplaner och en anpassning av infrastrukturen så att invånarna snabbt ska kunna nå högt belägna områden längs kusten. Erfarenheten har visat att många personer efter en jordbävning instinktivt lämnar byggnader och söker sig till öppna platser, som är mycket utsatta för tsunamivågor. En annan viktig åtgärd är att anpassa bebyggelsen så att den kan motstå jordbävningens påverkan. I kustområden bör kajanläggningar och byggnader dimensioneras så att de kan motstå vågkrafter och förankras för att motverka vattenmassornas lyftkraft.

Bättre information om riskerna

Resebranschen bär ett viktigt ansvar för resenärer som beger sig till turistområden med hög jordbävningssrisk, t ex länderna kring Medelhavet. Men få turister är medvetna om dessa risker. Ett första steg vore att ge personalen på plats grundläggande utbildning om risken för jordbävningar och tsunamis och att upprätta en handlingsplan för katastrofsituationer. Jordskalv är skrämmande upplevelser och få reagerar instinktivt rätt. Dessutom bör turister informeras om risken för jordskalv och lämpliga åtgärder, evakueringsvägar etc. Även mycket begränsad kunskap om hur man bör agera, kan rädda liv i fall en jordbävning eller tsunami skulle inträffa.

Ett annat viktigt steg vore om researrangörer undvek att anlita hotell som har uppenbara brister med avseende på jordbävningssäkerhet. Resenärer borde ställa krav på information om hotellen är dimensionerade och byggda enligt moderna jordbävningssstandarder. De mini-

mikrav som ställs av lokala myndigheter i länder kring Medelhavet och i många utvecklingsländer med avseende på jordbävningssäkerhet ofta föråldrade. Många resenärer är inte medvetna om denna risk!

En viktig lektion

I Sverige är risken för jordskalv och tsunamis mycket liten. Men utomlands, och inte minst i många attraktiva semesterområden, är den mycket större än många var medvetna om. Den beklagliga katastrofen har i alla fall haft den positiva effekten att risken för jordbävningar och tsunamis har blivit allmänt uppmärksammat. Förhoppningsvis kommer detta att leda till ökad beredskap och förbättrad kunskap.

Sedan mer än 20 år bedrivs vid KTH forskning och undervisning

inom jord- och bergdynamik och flera omfattande forskningsprojekt och examensarbeten har utförts. Svenska väg- och vattenbyggare har därför god kunskap om jordbävningsproblem och hur dessa kan lösas. Rätt grundlagda och väl dimensionerade byggnader kan motstå

även kraftiga jordbävningar och ge skydd mot tsunamis. I länder med risk för jordbävningar och tsunamis ger förmodligen en satsning inom dessa områden bättre skydd för den inhemska befolkningen och turister än sofistikerade varningssystem.

Läs mer på internet

<http://earthquake.usgs.gov/>
www.noaa.gov/tsunamis.html
www.noaanews.noaa.gov/stories2005/52365.htm
www.esa.int/esaCP/SEMPIB8873E_Protecting_o.html
<http://cwis.usc.edu/dept/tsunamis/2005/index.html>
<http://temp.water.usgs.gov/tsunami/>
www.nio.org/jsp/tsunami.jsp
<http://ioc.unesco.org/itsu/>

Några historiska tsunamis

Ett av världshistoriens kraftigaste vulkanutbrott, som drabbade området kring ön Santorini i östra Medelhavet, inträffade förmodligen år 1625 (eller 1490?) f. Kr. Bebyggelsen skadades först av en kraftig jordbävning och höll på att sättas i stånd, då vulkanutbrottet begravnade den under lager av aska och pimpsten. En stor tsunami uppstod som förorsakade stor förödelse i östra Medelhavet.

På söndag morgonen den 1 november 1775 drabbades Portugals blomstrande huvudstad Lissabon av en stor jordbävning. Skallet med en uppskattad magnitud av 9,0 på Richterskalan hade sitt epicentrum ca 250 km sydväst från Lissabon, mitt i Atlanten. Fler än 90 000 människor omkom i samband med skallet, många då flera stora kyrkor rasade. Kort tid efter skallet välldes flera stora vågor in över hamnområdet och dödade ca 20 000 människor, som hade flytt undan jordbävningen.

En stor tsunami inträffade i Indonesien år 1883 till följd av vulkanen Krakataus explosionsartade utbrott. Vågorna uppnådde en höjd av 40

m och dränkte 36 000 människor. Vulkanutbrottets effekt kunde registreras runt hela jorden.

Den 26 juni 1941 inträffade en förödande jordbävning med en magnitud 7,7 i Andaman sjön. Skallet förorsakade en tsunami som enbart i Bengaliska viken dödade 5 000 människor. Flodvågen tockades som en stormvåg, och många omkomna rapporterades inte i det krigsdrabbade området.

En stor jordbävning inträffade den 28 november 1945 till havs utanför Makran i Pakistan. Den hade en magnitud 8,0 och förorsakade en tsunami med upp till 15 m höga vågor, som dödade över 4 000 människor.

Den största naturkatastrofen i Europa i modern tid inträffade den 28 december 1908, kl. 5.30 i området kring Messina på Sicilien. Vulkanutbrottet, jordbävningen och den efterföljande tsunamin dödade fler än 200 000 människor.

Den 22 maj 1960 drabbades Chile av det kraftigaste jordskalv som

har uppmätts under 1900-talet. Det nådde 9,5 på Richterskalan. Runt 5 000 människor dödade och två miljoner förlorade sina hem. En tsunami uppstod som förorsakade stor skada så långt bort som på Hawaii, där den anlände ca 14 timmar efter skallet.

Större delen av Alaska skadades den 28 mars 1964 av flera skalv som mätte upp till 9,2 på Richterskalan. Skallen och den tsunami som bildades dödade 125 människor i det glest befolkade Alaska och orsakade skador för miljardbelopp.

En stor jordbävning med en magnitud 8,2 inträffade den 19 augusti 1977 väster om Sumba öarna i östra Indonesien. Jordbävningen och den efterföljande tsunamin förorsakade stor förödelse inom ett stort område och flera hundra människor omkom till följd av flodvågorna.

Tio meter höga vågor bildades den 17 juli 1998 av två skalv utanför Papua Nya Guinea. Tre mil kust krossades av vågen, och det officiella antalet döda uppgavs till 2 123 människor.