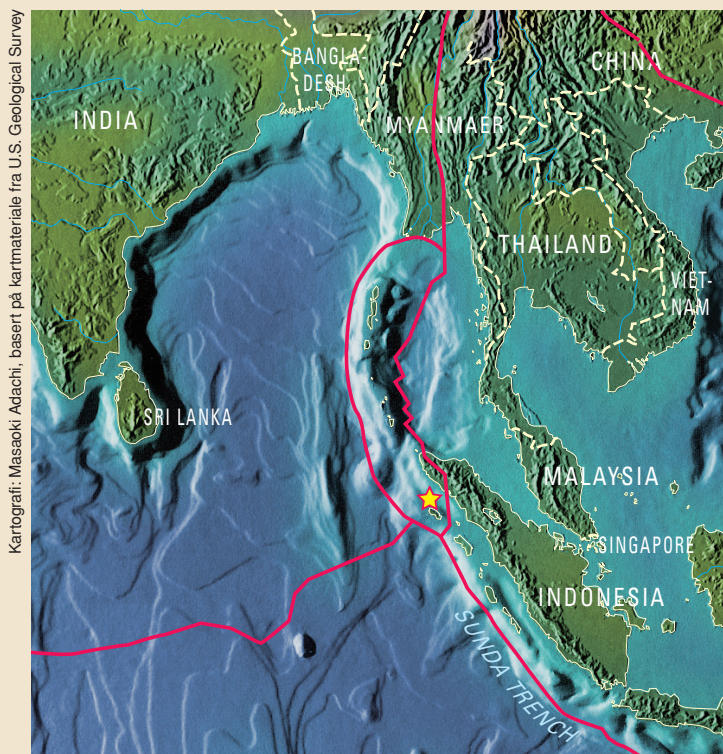


# Bevegelser i plategrensen forårsaket jordskjelvet

*Jordskjelvet som rammet Sørøst-Asia 2. juledag i fjor skyldes utløsning av oppbygget spenning og plutselige forkastningsbevegelser langs grensen mellom to litosfæreplater. Og nye jordskjelv vil komme, for flere andre steder langs denne aktive plategrensen har det ikke vært store jordskjelv på lang tid.*



Kartografi: Masaaki Adachi, basert på kartmateriale fra U.S. Geological Survey

*Plategrensene øst i Det indiske hav med Den burmesiske platen sentralt i kartet. Den gule stjernen viser hvor jordskjelvet 26. desember 2004 først gikk.*

indiske platen og Den burmesiske platen med en hastighet på ca. 2-3 km/sek. Vi snakker altså ikke bare om spenningsutløsning i ett enkelt punkt. I stedet har det skjedd en forskyvning over en strekning som er rundt 1200 km lang og kanskje så mye som 150-200 km bred. Dette forklarer også hvorfor flodbølgen rammet Thailand i øst og Sri Lanka i vest så hardt i tillegg til Indonesia, forteller forsker Hilmar Bungum i NORSAR på Kjeller.

Både Norsk Nasjonalt Seismisk Nettverk (NNSN) ved Institutt for Geovitenenskap, Universitetet i Bergen, og NORSAR registrerte selvsagt skjelvet, og de har en mengde data å vise til. - Med en avstand til Sumatra på ca. 9400 km kom de første P-bølgene (kompresjonsbølger) etter vel tolv minutter, S-bølgene (skjærbølger) kom vel ti minutter senere, og begge disse bølgene har gått i en stor bue helt ned mot kjerne-mantel grensen. Etter nesten tre kvarter kom de langperiodiske bølgene (ca. 20 sekunders svingeperiode) som har fulgt jordens overflate (LQ = Love, LR = Rayleigh) og som på både NORSARs målestasjon hadde et utslag i bakken på ca. fem mm. NORSAR beregnet skjelvet til en magnitudo (styrke) på ca. 8,9 på Richters skala. Senere har vi fått vite at skjelvet hadde en magnitudo på 9,0. Denne magnituden reflekterer den totale energien utløst fra skjelvet langs hele forkastningsplanet, sier Bungum.

## Kolliderende plater

De aller fleste jordskjelv inntreffer på grensen mellom to jordplater, eller litosfæreplater som er et mer faglig korrekt uttrykk. Det er åtte store plater på Jor-

---

## Halfdan Carstens

---

Den 26. desember 2004 kl. 00.58.53 Greenwich Mean Time (GMT) oppstod det plutselig et brudd mellom Den indiske platen og Den burmesiske platen på ca. 40 kilometers dyp nede i litosfæren. Måleinstrumenter verden over registrerte et gigantisk jordskjelv som i ettertid er beregnet til å ha hatt magnitudo (styrke) 9,0 på Richters skala. En reversforkastning langs den 1300 km lange plategrensen hadde et kast på ca. 10-20 m og førte til at havbunnen ble hevet fle-

re meter. Den brå endringen i havbunnsrelieffet skapte en tsunami som raserte store kystområder langs Det indiske hav (se etterfølgende artikkel).

## Registrert i Norge

Episentret for det kraftige jordskjelvet utenfor Sumatra tidlig på morgenen 2. juledag i fjor ble umiddelbart lokalisert utenfor nordvestkysten av Sumatra.

- Virkeligheten er imidlertid litt mer komplisert. En serie med etterskjelv viser at forkastningsbruddet som ga årsak til rystelsene spredte seg nordvestover langs grensen mellom Den

den, og en mengde mindre, og beliggenheten av disse går frem av hvordan jordskjelvene fordeler seg på Jorden. De fleste og største skjelvene skjer der to plater kolliderer.

Den mest kjente plategrensen i verden er San Andreas-forkastningen. Langs denne beveger Stillehavsplaten seg med en hastighet på 5,5 cm per år mot nordvest i forhold til Den nordamerikanske platen. Bevegelsen, som er sidelengs, skjer imidlertid i rykk og napp og kommer til uttrykk

som jordskjelv når oppbygd spenning utløses. Det berømte jordskjelvet i 1906 i San Francisco skyldtes en plutselig forrykning i nettopp denne plategrensen. Bilder fra den gangen viste at platene flyttet seg flere meter i forhold til hverandre, og det er lett å tenke seg at tett bebygde områder ble hardt skadet.

I en tid fremover vil imidlertid San Andreas-forkastningen komme litt i skyggen av plategrensen mellom Den indiske platen og Den burmesiske platen når det gjelder oppmerksomhet.

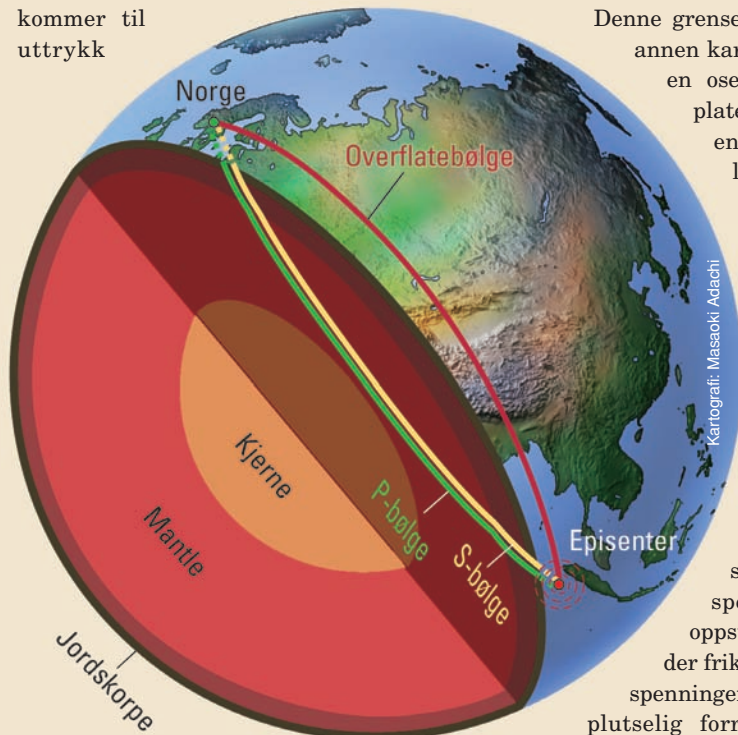
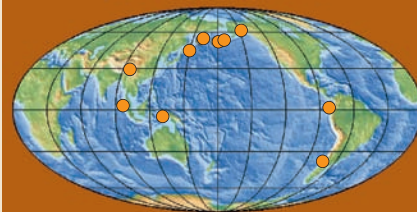
Denne grensen er av en helt annen karakter, etter som en oseanisk litosfæreplate presses under en kontinental litosfæreplate i det som kalles en subduksjonsone (underskyvningssone). Når Den indiske platen langsomt går ned i dypet, vil den burmesiske platen 'hekte seg på', og når spenningen som oppstår da overskrides vil denne spenningen utløses ved en plutselig forrykning ved at

## De aller største

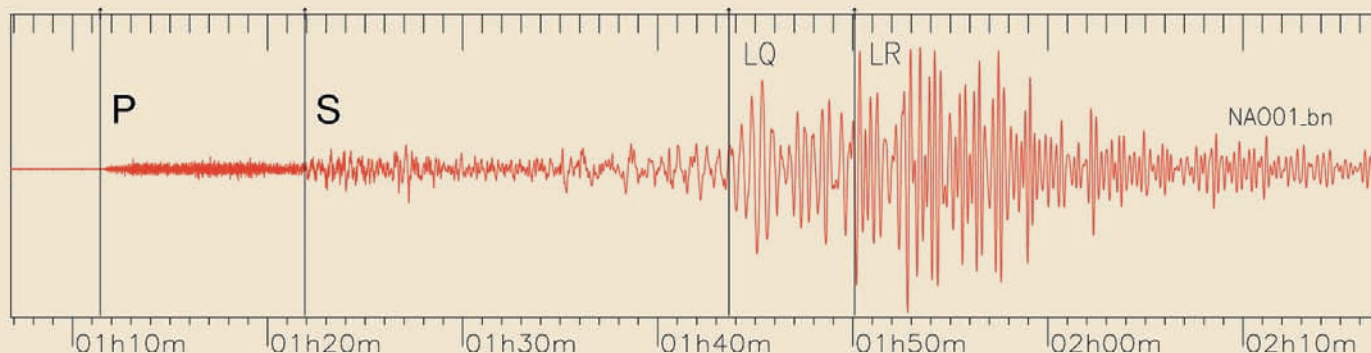
Jordskjelvet utenfor Sumatra var det femte største over de siste 100 år. Tabellen og kartet viser at alle disse skjeddene langs "the rim of fire" – Stillehavskysten. Det betyr også at alle jordskjelvene har forekommet der en jordskorpeplate skyves under en annen, altså i en konvergerende plategrense med kompresjonsforkastninger.

Energien som utløses fra et jordskjelv med magnitudo 9,5 er mer enn 30 ganger større enn et med magnitudo 8,5. Likevel vil de fleste omkomme som følge av en tsunami og ikke selve skjelvet. Jordskjelvet utenfor Sumatra viste også tydelig at tsunamien skaper ødeleggelser over et langt større område enn det jordskjelvet rystelser klarer alene.

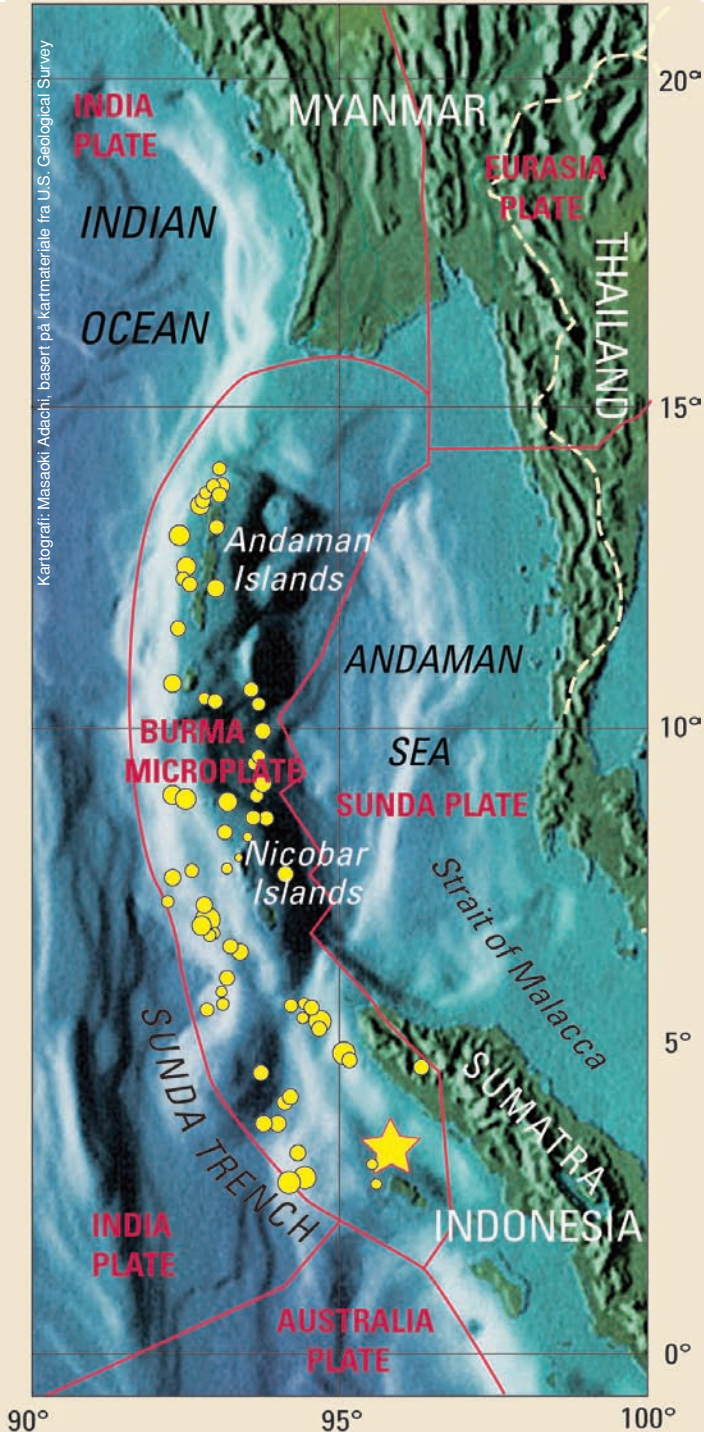
| Land      | Magnitudo | År   |
|-----------|-----------|------|
| Chile     | 9,5       | 1960 |
| Alaska    | 9,2       | 1964 |
| Alaska    | 9,1       | 1957 |
| Kamchatka | 9,0       | 1952 |
| Indonesia | 9,0       | 2004 |
| Ecuador   | 8,8       | 1906 |
| Alaska    | 8,7       | 1965 |
| Tibet     | 8,6       | 1950 |
| Kamchatka | 8,5       | 1923 |
| Indonesia | 8,5       | 1938 |



Energien forplanter seg gjennom hele jorden i form av seismiske bølger. P-bølger og S-bølger beveger seg raskest og kommer først frem til seismometre rundt om på kloden selv om de, slik som var tilfellet denne gangen, går i en bane som når nesten ned til kjernen. Overflatebølger kommer mye senere frem.



Registreringer av Sumatra-skjelvet ved én av NORSARs bredbåndstasjoner i Hedmark. Først kommer P-bølgen, deretter S-bølgen og til slutt overflatebølger. På korte avstander er det S-bølger som er sterkest og som lager mest skader, mens det på store avstander er overflatebølger som dominerer. De lager imidlertid ikke store skader på grunn av at de er langperiodiske. I dette tilfellet ble det registrert bevegelser i størrelsesorden noen få millimeter i bakken der seismometeret ligger.



Den burmesiske platen kalles en mikroplate fordi den gjerne regnes med til Den eurasiske platen som er mye større. Både den nordvestligste biten av Sumatra og de indiske øygruppene Andaman og Nicobar Islands ligger på Den burmesiske platen. Mot øst ligger Sundaplaten, og som kartet viser er grensen mellom de to divergerende, dvs. at det her dannes ny havbunnskorpe. Den indiske platen går under Den burmesiske platen, og subduksjonssonen har dannet en dyphavsgrøft – Sundagropen – som er et overflateuttrykk for grensen mellom de to platene. Den indiske platen beveger seg nordøstover med en hastighet på ca. seks cm/år relativt til Den burmesiske platen. De gule sirklene illustrerer hvor etterskjelvene gikk. De fleste av dem er på dyp grunnere enn 30 km. Ett av etterskjelvene, som kom bare tre timer etter hovedskjelvet, hadde en magnitudo på 7,3 på Richters skala. I de første to ukene etter hovedskjelvet var det mer enn 15 skjelv med magnitudo større enn 6,0, og i samme periode var det mer enn 100 skjelv med magnitudo på mellom 5 og 6. Det forventes at etterskjelvene fortsetter i en periode fremover. Beregninger viser at en minst 1200 km lang sone langs plategrensen beveget seg i jordskjelvet, og bredden på forkastningssonen som ble brutt opp var sannsynligvis 150-200 km. Størrelsen på forkastningen tilsier også at forskyvningene langs forkastningsplanet var omtrent 15 meter, og havbunnen ville dermed ha hevet seg flere meter.

Den burmesiske platen 'spretter tilbake'. Vi får et jordskjelv. Vi kan sammenligne dette med to sandpapirblad som ligger mot hverandre og hvor vi prøver å skyve dem i hver sin retning. Først når spenningen blir stor nok, vil de med et rykk flytte seg et lite stykke.

Sumatra-skjelvet startet i et punkt ca. 25 km sør-sørvest for Banda Aceh på Sumatra. Hyposentret, det stedet der skjelvet først startet nede i litosfæren, ligger på ca. 40 kilometers dyp. Bruddet spredte seg raskt langs det lange forkastningsplanet, og fra hvert punkt på dette planet sendes det ut seismiske bølger. Det er energien som utløses langs hele dette planet, over minst 1200 km,

som bestemmer jordskjelvets magnitudo. Det aller meste av energien er likevel utløst langs de første 400-500 km lengst sør.

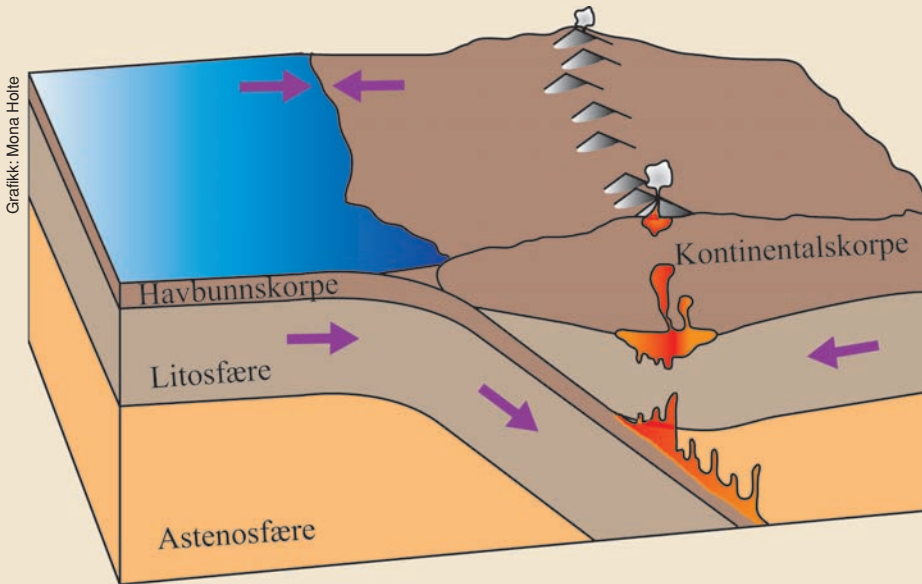
### Treffer skjelt

- Jordskjelvet skyldes at spenning som gjennom flere århundrer har bygget seg opp langs den konvergerende plategrensen har blitt utløst i løpet av bare noen få minutter gjennom en reversbevegelse nede i litosfæren, forteller professor Kuvvet Atakan ved Insitutt for geoviten-skap, Universitetet i Bergen.

- Den indiske platen beveger seg nord-nordøstover med en hastighet på ca. 6.5 cm/år og treffer derfor plategrensen med

ca. 20 graders vinkel i subduksjonssonen. På grunn av denne skrå bevegelsen er deformasjonen splittet i to komponenter, en reversbevegelse (skyveforkastning) perpendikulært til Sundagropen langs grensen mellom de to platene i dypet og en sidelengs bevegelse parallelt med Sundagropen. Den vertikale bevegelsen var opp til 3-5 m, mens sidelengsbevegelsen var 10-15 m.

- Alle analysene i etterkant er samstemte i at forkastningen ikke var lokalisert til et lite område, men at bruddet fortsatte med en hastighet på 2-3 km/sek i flere hundre kilometer (400-500 km) nordvestover fra hyposentret. Bredden på bruddet var også stor, så mye som 40



Skissen viser to litosfæreplater som kolliderer. Fra venstre kommer en osean plate som treffer en kontinental plate. Dette tilsvarer den situasjonen som oppstod utenfor Sumatra der Den indiske platen skyves under Den burmesiske platen. Den indiske platen forsvinner ned i den plastiske astenosfæren hvor den etter hvert løses opp og blir en del av denne på flere hundre kilometers dyp. I kontakten mellom de to platene vil det være sterke spenninger, og den nedadgående platen vil kunne kartlegges ved hjelp av jordskjelv. Et resultat av denne prosessen er også vulkanisme som forårsakes av at bergarter smelter og stiger opp til overflaten. Subduksjonssonene karakteriseres av jordskjelv som noen steder går helt ned til 700-800 km, mens de andre steder sjelden går under 50 km. Skjelvenes dyp øker med avstanden fra dyp-havsgropene og gjenspeiler at litosfæreplatene går skrått nedover i astenosfæren.

km km målt vinkelrett på Sundagropen, sier Atakan. - Områdene lenger nord - hele veien til Andamanøyene - ble deformert gjennom etterskjelvene. Til sammen er dette en strekning på drøyt 1200 km som definerer jordskjelvetts omfang, hvor både selve plategrensen og nærliggende forkastninger i skorpen fra 50-60 km dyp til overflaten ble involvert.

### Risikoen for nye skjelv

Det har vært liten aktivitet langs grensen mellom de to platene i det siste århundret, den har nærmest vært "låst fast", men tidligere har det forekommet mange store jordskjelv under Sundagropen. Det siste er et skjelv med styrke 7,4 i 2002. Magnituden for tre av de historiske hendelsene (1833, 1861 og 1881) er i ettertid beregnet til større enn 7,9 på Richters skala. Det siste genererte også en tsunami som ble registrert både i Bengalbukta og på østkysten av India.

- Skjelvet den 26. desember var derfor på mange måter en manifestasjon av det faktum at det regelmessig forekommer jordskjelv langs denne konvergerende

plategrensen, hevder Atakan.

Atakan sier videre at bekymringene for fremtiden dreier seg om mulige etterskjelv (magnitudo større enn 7), i tillegg til jordskjelv på nærliggende segmenter i subduksjonssonen og sidelengs forkastninger på havet vest for og på selve Sumatra på grunn av spenningsoverføring. De to første kan skape nye tsunami, men et jordskjelv på land vil kun skape ødeleggelser som følge av rystelsene. Når spenningsbalansen er endret i den regionen, vil det være vanskelig å forutsi hvilken andre forkastninger som kan utløse nye skjelv.

- Dataene som er til rådighet indikerer at det fremdeles er deler av denne subduksjonssonen som ikke har produsert "megastore" jordskjelv (magnitudo større enn 8,0) på lang tid. Paleoseismiske data, basert på koralvekst, viser at det opptrer store jordskjelv i snitt hvert 200. år i denne regionen. Det er derfor all grunn til å tro at det kan komme et nytt, kraftig skjelv på sørvestsiden av Sumatra i løpet av de kommende generasjoner, fremholder Kuvvet Atakan.

## Richters skala

Styrken på et jordskjelv blir angitt som et tall fra Richters skala (ML-skala), og de fleste geologer vil vite at et skjelv med magnitudo over f.eks. 8 er et svært kraftig skjelv. Skalaen ble funnet opp i 1935 av Charles Richter ved California Institute of Technology og tar utgangspunkt i amplitudene på et seismogram hvor det tas hensyn til hvor langt borte fra jordskjelvet seismografen er.

Den teknologiske utviklingen har vist at den opprinnelige Richters skala ikke er brukbar ved spesielt sterke skjelv. Den er derfor erstattet med en skala som tar utgangspunkt i det seismiske moment,  $M_0$ . Her er det den totale energien fra skjelvet som måles, og tallet kommer seismologene frem til ved å multiplisere skjærfastheten i bergartene der skjelvet gikk med arealet langs bruddsonen og den gjennomsnittlige forflytningen langs forkastningen.

Skalaen er logaritmisk, dvs. at et jordskjelv med styrke 5 har ti ganger større amplitude enn et jordskjelv med styrke 4. Forskjellen i utløst energi er imidlertid 32 ganger større for et skjelv med styrke 5 enn et med styrke 4. Derfor vil et skjelv med styrke 9 på Richters skala utløse 1000 ganger mer energi enn et skjelv med styrke 7.

| Magnitudo | Energi            | Frekvens     |
|-----------|-------------------|--------------|
| > 9       |                   | Hvert 20. år |
| 8-8,9     |                   | 1 per år     |
| 7-7,9     | 32 mill. tonn TNT | 18 per år    |
| 6-6,9     | 1 mill. tonn TNT  | 120 per år   |
| 5-5,9     | Hiroshimabomben   | 2+ per dag   |
| 4-4,9     |                   | 17 per dag   |
| 3-3,9     |                   | 135 per dag  |
| 2-2,9     | < 30 tonn TNT     | 1000 per dag |
| < 2       | < 1 tonn TNT      | 8000 per dag |

Kilde: U.S. Geological Survey

Jordskjelvet langs Den burmesiske platen er nå beregnet til en styrke på 9,0 på Richters skala. Så store skjelv har det i historisk tid aldri forekommet i Norge, og på verdensbasis er det flere tiår mellom skjelv av denne størrelse. Tabellen viser at det forekommer en mengde jordskjelv hver eneste dag, hvorav mange er ganske store, men de aller fleste skjer under hav og i ubebodde områder og forårsaker derfor liten skade.