

ZASADY BEZPIECZEŃSTWA I INSTRUKCJE OBOWIĄZUJĄCE PODCZAS TRZĘSIENIA ZIEMI



nie panikuj



padnij



chowaj się



trzymaj się



dr hab.
Grzegorz Lizurek,
prof. IG PAN

Pracuje w Zakładzie Sejsmologii Instytutu Geofizyki PAN. Naukowo zajmuje się procesami w źródle trzęsienia ziemi oraz wstrząsami wywołwanymi przez działalność człowieka. lizurek@igf.edu.pl

ZAGROŻENIA PŁYNAĆCE Z ZIEMI

Na obszarach zamieszkałych silne trzęsienia ziemi są jedną z największych katastrof naturalnych, jednak pomniejszych wstrząsów nawet nie zauważamy, wiemy o ich występowaniu tylko dzięki aparaturze pomiarowej.

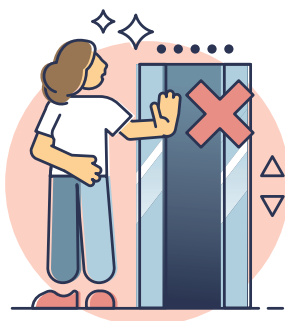
Grzegorz Lizurek

Instytut Geofizyki PAN w Warszawie

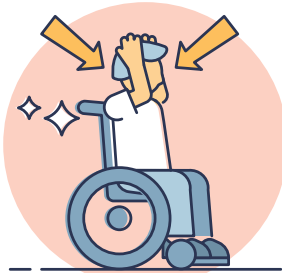
Trzęsienia ziemi to efekt naturalnych procesów zachodzących we wnętrzu naszej planety. Są spowodowane przez ruch płyt litosfery, które tworzą najbardziej zewnętrzną część Ziemi. Dzięki tym procesom powstają góry oraz zmienia się rozmieszczenie kontynentów. Trzęsienie ziemi może być katastrofalne w skutkach i zwykle jest postrzegane jako katastrofa naturalna. Z występowaniem trzęsień ziemi ludzkość stykała się od zarania dziejów, jednak

największe skutki są związane z rozwojem cywilizacyjnym i osiedlaniem się w miastach, które wraz z rozwojem stały się coraz gęściej zaludnione. Wstrząsy niszczą budynki i infrastrukturę, które przez to mogą być śmiertelnym zagrożeniem dla ludzi. Dzikie zwierzęta i inne organizmy żywe w stanie naturalnym rzadko giną podczas trzęsień. Silne trzęsienia ziemi, które mogą mieć katastrofalne skutki, występują wyłącznie na aktywnych uskokach w pobliżu granic płyt tektonicznych. Teoria tektoniki płyt zakłada, że skorupa ziemska jest złożona z płyt tektonicznych przemieszczających się względem siebie. Średnia prędkość względnego ruchu płyt wynosi 10–40 mm/rok. Wyróżniamy trzy typy ruchu względnego płyt. Po pierwsze, płyty mogą się z sobą zderzać, przy czym jedna może się pograżać pod drugą. Po drugie, płyty mogą się

ZASADY BEZPIECZEŃSTWA I INSTRUKCJE OBOWIĄZUJĄCE PODCZAS TRZĘSIENIA ZIEMI



nie jedź windą



chronić głowę

trzymaj się z dala od okien
i czegokolwiek, co może spaść

wyłącz gaz i prąd

odsuwać od siebie, a przestrzeń między nimi jest wypełniana materiałem wypływającym z wnętrza Ziemi. I po trzecie, płyty mogą przesuwać się horyzontalnie względem siebie. W zależności od tego, z jakim typem ruchu mamy do czynienia, dzielimy granice płyt na strefy subdukcji, strefy ryftowe i granice przesuwcze. Trzęsienia ziemi występują dlatego, że względny ruch płyt tektonicznych nie odbywa się w sposób ciągły i stały. Kontakt płyt nie jest gładki, tarcie utrudnia ich przesuwanie się. Wskutek coraz większego napierania, rosną naprężenia na granicy płyt. W końcu proces napierania jednej płyty na drugą prowadzi do osiągnięcia takiego naprężenia, które przeważa nad powstrzymującym ruch tarcie – na mniejszym lub większym odcinku granicy płyt. Dochodzi tam wówczas do nagłego rozrywu i jednorazowego przesunięcia mas skalnych, co powoduje trzęsienie ziemi. Miejsca występowania największych trzęsień ziemi grupuje się w dwa rejony: tzw. strefę okołopacyficzną (nazywaną Pacyficznym Pierścieniem Ognia) oraz strefę azjatycko-śródziemnomorską, która ciągnie się od Filipin, przez Himalaje, Azję Mniejszą, do basenu Morza Śródziemnego. Rocznie na całym świecie jest odnotowywanych ponad 100 tys. trzęsień ziemi i ze względu na ciągle zwiększającą się liczbę stacji sejsmicznych i większą czułość sieci pomiarowej liczba rejestrowanych małych trzęsień rośnie z roku na rok.

Pomiary

Trzęsienia ziemi najczęściej są wykrywalne jedynie przez przyrządy, czasami zdarzają się takie, które są wyczuwalne przez ludzi, do katastrofalnych dochodzi bardzo rzadko. Ocena wielkości zjawisk sejsmicznych stanowiła podstawowy problem od początków sejsmologii. Bezwzględną miarą wielkości trzęsień ziemi jest magnituda. Pojęcie to zostało wprowadzone w 1935 roku przez Charlesa Richtera. Wówczas była to miara oparta na danych empirycznych, w szcze-

gólności na obserwowanych maksymalnych wychyleniach sejsmografu Wooda-Andersona, była nazywana skalą Richtera. W 1979 roku Hanks i Kanamori powiązali magnitudę z momentem sejsmicznym, będącego iloczynem średniego przesunięcia mas skalnych podczas trzęsienia, powierzchni uskoku, na którym doszło do tego przesunięcia, oraz modułu sztywności ośrodka skalnego. Moment sejsmiczny może być obliczony z nowoczesnych zapisów sejsmicznych. Magnituda jest proporcjonalna do logarytmu momentu sejsmicznego i jest wartością bezwymiarową. Wzrost magnitudy o jednostkę oznacza w przybliżeniu 30 razy większą energię uwolnioną w wyniku wstrząsów, w tym około 10-krotnie większy ruch podczas trzęsienia, występujący na trzykrotnie większym obszarze. Wartość magnitudy może się wyrażać dowolną liczbą, może to być nawet liczba ujemna. Ograniczeniami jest sens fizyczny określonych wartości. Największe dotąd odnotowane instrumentalnie trzęsienie ziemi miało magnitudę 9,5, najmniejsze, rejestrowane w laboratoriach, mają wartości ujemne.

Skutki

Większość trzęsień, odnotowywana tylko przez przyrządy, nie wywołuje żadnych skutków, ponieważ jest mała. Zagrożenie niosą średnie i duże zjawiska sejsmiczne. Występują one jednak dość rzadko i stanowią znikomy odsetek wszystkich trzęsień. Szkody wywołane przez trzęsienia nie wiążą się wprost z wielkością danego zjawiska. Zdarza się, że trzęsienia o średniej wielkości powodują katastrofę, podczas gdy znacznie większe trzęsienie nie wywołuje żadnych szkód. Największe znaczenie ma miejsce występowania, na terenach gęsto zaludnionych zniszczenia są większe w porównaniu do obszarów rzadziej zamieszkałych.

Skutki trzęsienia ziemi, które mogą być katastrofalne, to drgania gruntu, osuwiska, upłynnienie

gruntu i tsunami. Pierwszym i zwykle najbardziej spektakularnym jest wstrząs niszczący budowle, których fragmenty mogą zabić ludzi. Ludzie, nieprzywykli do wstrząsów, często wpadają w panikę i jak najszybciej chcą się wydostać z drżącego budynku. Jednak na zewnątrz jest jeszcze bardziej niebezpiecznie, ponieważ spadają elementy elewacji, fragmenty szkła, a sam budynek częściej zawala się na zewnątrz niż do środka. Kiedy drgania ustają, zagrożenie nie mija. Wtedy największym zagrożeniem są uszkodzone instalacje elektryczne, wodne i gazowe. Akcją ratowniczą utrudniają uszkodzone drogi oraz wtórne zjawiska towarzyszące, jak wstrząsy następcze i osuwiska.

Wstrząsy następcze są kolejnymi trzęsieniami ziemi występującymi na obszarze, na którym doszło do silnego trzęsienia ziemi. Powoduje ono przesunięcie mas skalnych i uwolnienie naprężeń, w rzeczywistości jednak naprężenia nigdy nie spadają do zera. Ośrodek skalny rozerwany dużym trzęsieniem musi mieć czas, by dopasować się do nowej sytuacji, odbywa się to również w formie trzęsień ziemi, jednak nie tak silnych jak wstrząs główny. Po wyjątkowo dużych trzęsieniach ziemi wstrząsy wtórne mogą trwać latami, aczkolwiek ze zmniejszającą się liczbą i siłą. Po trzęsieniu ziemi o M_{9,5}, do którego doszło w Japonii w marcu 2011 roku, wstrząsy następcze były rejestrowane przez kolejnych 10 lat.

Specyficznym następstwem trzęsienia ziemi mogą być również fale tsunami. Są one efektem trzęsień, których epicentrum znajdowało się płytko pod dnem morza. Pionowy ruch dna morskiego wypiętrza wodę nad nim, co jest bezpośrednią przyczyną powstawania fal. Tsunami rozchodzi się na pełnym morzu z prędkością od 300 do 850 km/godz. Na otwartym morzu jest ona stosunkowo niegroźną wysoką, za to bardzo długą falą, jednak gdy dociera do wybrzeża, znacznie zwalnia i dochodzi do jej spiętrzenia. Efekty niszczy-

cielskie tsunami można było obserwować po trzęsieniach ziemi w 2004 roku na Sumatrze i w 2011 po trzęsieniu ziemi w Japonii. W obu przypadkach większość spośród odpowiednio 200 tys. i 20 tys. ofiar śmiertelnych oraz awaria elektrowni jądrowej w Fukushimaie w wyniku tego drugiego zjawiska były bezpośrednio spowodowane przez tsunami.

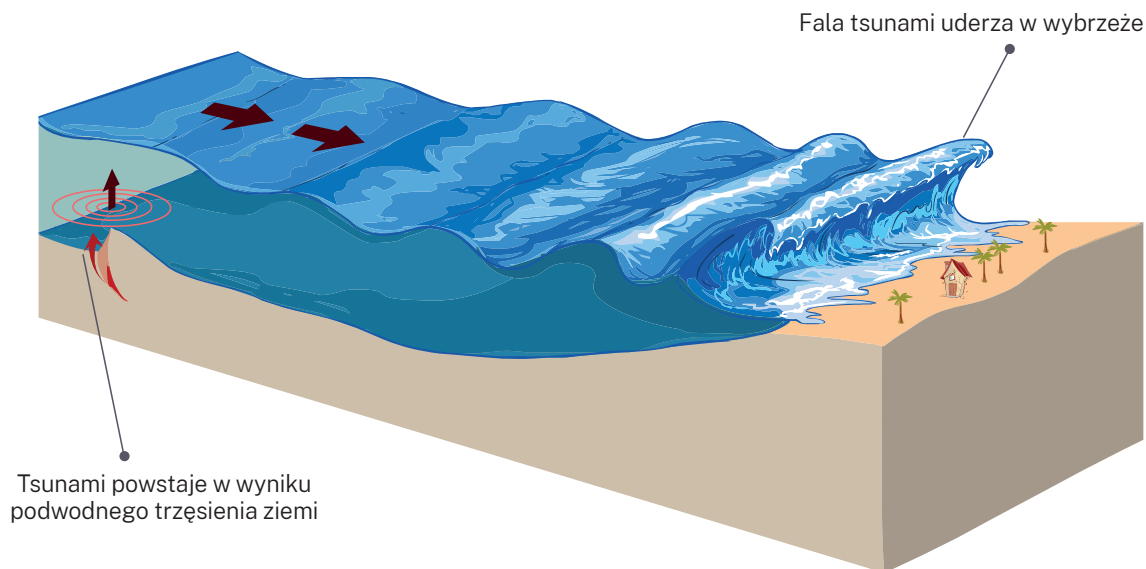
Ostatnim etapem katastrofy sejsmicznej są jej opóźnione skutki, głównie głód i choroby. Głód może wynikać ze zniszczenia zapasów żywności, pól uprawnych, zniszczenia systemów nawadniających i przemysłu spożywczego oraz infrastruktury komunikacyjnej niezbędnej do transportu towarów. Choroby powstają zaś w wyniku zanieczyszczenia źródeł wody, rozkładających się szczątków zwierzęcych i roślinnych.

Ocena zagrożenia

Mimo wielu dekad rozwoju nauki nie ma obecnie możliwości technicznych dokładnego przewidzenia miejsca i czasu wystąpienia silnych trzęsień ziemi. Jednak na podstawie wiedzy o tym, gdzie, jak często i jak silne występują trzęsienia ziemi, można stworzyć prognozę opartą na prawdopodobieństwie. Można to porównać z prognozą meteorologiczną, uznawaną ogólnie za działającą i pożyteczną.

W sejsmologii mamy do czynienia ze znacznie większą skalą czasową. Wielkie trzęsienia ziemi mogą występować na tym samym obszarze np. co kilkaset lat. Sejsmolodzy stale tworzą prognozę statystyczną, tzw. ocenę zagrożenia sejsmicznego. Jest to określenie prawdopodobieństwa, z którym trzęsienie ziemi może wystąpić na konkretnym obszarze, w danym czasie i o ustalonej w przybliżeniu magnitudzie. W tym momencie prognoza wystąpienia dużego trzęsienia w okresie najbliższych 30 lat ma mniej więcej taką

Trzęsienie ziemi powodujące tsunami



Tsunami powstaje w wyniku podwodnego trzęsienia ziemi



TWINTYRE/SHUTTERSTOCK.COM

samą dokładność jak meteorologiczna dobowo prognoza deszczu. Niestety, z punktu widzenia życia codziennego jest nieużyteczna. Niemożliwe jest ewakuowanie ogromnego regionu zagrożonego trzęsieniem ziemi na okres pokolenia. Gdyby to zrobiono, to straty gospodarcze i społeczne w wyniku takiego wysiedlenia wielokrotnie przekroczyłyby szkody wyrządzone przez trzęsienie.

Częściej stosuje się prognozę statystyczną tak, żeby określić prawdopodobieństwo, z którym na danym obszarze, w ustalonym czasie zostanie osiągnięta określona lub większa intensywność drgań. Taka prognoza jest używana przez inżynierów budownictwa przy projektowaniu budynków, które mają wytrzymać konkretne warunki, w tym drgania gruntu powodowane przez trzęsienia ziemi. Prognozy takie istnieją dla wielu rejonów świata – tym dokładniejsze, im większa jest baza statystyczna, czyli im więcej trzęsień ziemi wystąpiło i zostało odnotowanych na danym obszarze. Ocena zagrożeń związanych ze zjawiskami powodowanymi przez trzęsienie ziemi jest pierwszym krokiem do oszacowania ryzyka sejsmicznego, czyli wyznaczenia prawdopodobieństwa wystąpienia szkodliwych skutków, m.in. ofiar w ludziach. Ryzyko to zależy od zagrożenia sejsmicznego oraz czynników takich jak wiek, rodzaj budynków i infrastruktury, gęstość zaludnienia, rodzaj

użytkowania i typu gruntów oraz pora dnia, kiedy może wystąpić trzęsienie. Upraszczając, duże trzęsienia ziemi na obszarach niezamieszkałych niosą wysokie zagrożenie sejsmiczne, ale małe ryzyko.

Minimalizowanie skutków trzęsień ziemi wymaga uwzględnienia zagrożenia sejsmicznego oraz warunków geologicznych w trakcie projektowania i budowy infrastruktury w miejscach zagrożonych wystąpieniem wstrząsów. Szczególnie dotyczy to obiektów strategicznych typu elektrownie jądrowe, tamy, zbiorniki odpadów toksycznych itp. Często jest to realizowane przez wdrożenie norm budowlanych zgodnych z wytycznymi opartymi na wiedzy sejsmologicznej i inżynierskiej. Przykład takiej normy to unijna norma Eurocode 8 dla projektowania budynków odpornych na trzęsienia ziemi. Niekiedy takie normy są ignorowane, co pokazały tegoroczne wydarzenia w Turcji. Mimo wiedzy o 90-proc. prawdopodobieństwie wystąpienia silnego trzęsienia ziemi w ciągu najbliższych 20 lat budynki w okolicach miasta Gaziantep nie spełniały zaostrożonych norm budowlanych. W przypadku Turcji budowanie zgodnie z prawem było dozwolone z pominięciem normy w przypadku uiszczenia dodatkowej opłaty w trakcie uzyskiwania pozwoleń. Efektem tych działań były zapewne tańsze, szybciej wznieszone domy i biurowce oraz tysiące ofiar śmiertelnych po trzęsieniach ziemi w lutym 2023 roku. ■

Niszczycielskie trzęsienie ziemi o sile magnitudzie 7,8 w skali Richtera nawiedziło turecką prowincję Kahramanmaraş w 2023 roku

Chcesz wiedzieć więcej?

Guterch B., *Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych*, „Przegląd Geologiczny”, 2009.

Lizurek G., *Wzburzenie skał*, „Academia”, 2016, http://journals.pan.pl/Content/112595/PDF/046-048%20lizurek_pol.pdf.

Wiejacz P., *Czy grozi nam trzęsienie ziemi?*, „Wiedza i Życie”, 1999, <http://archiwum.wiz.pl/1999/99103000.asp>.