

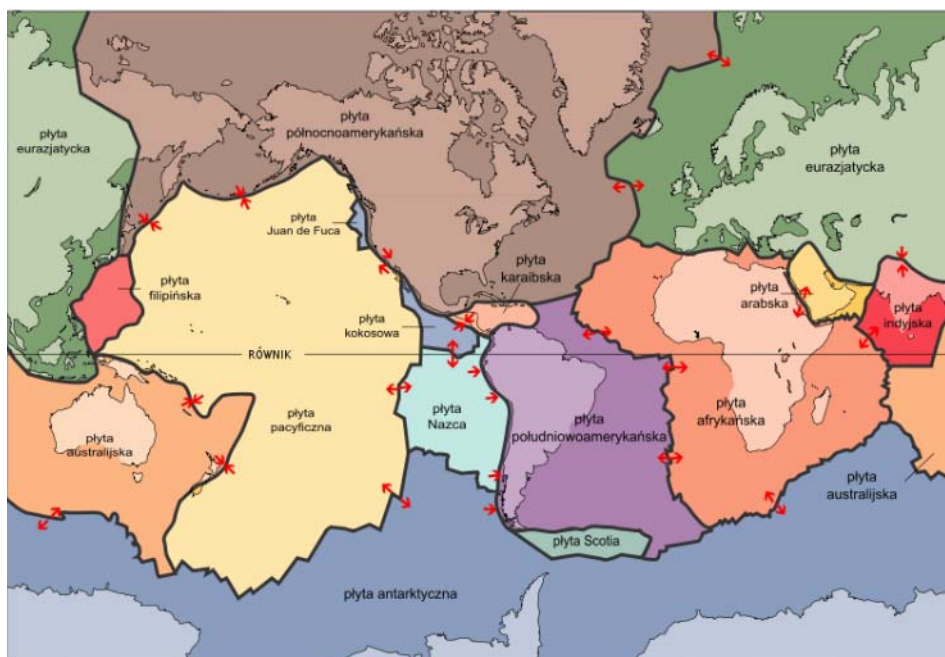


## Trzęsienia ziemi i szósty zmysł zwierząt

*Paweł Węgrzyn  
Instytut Fizyki UJ*

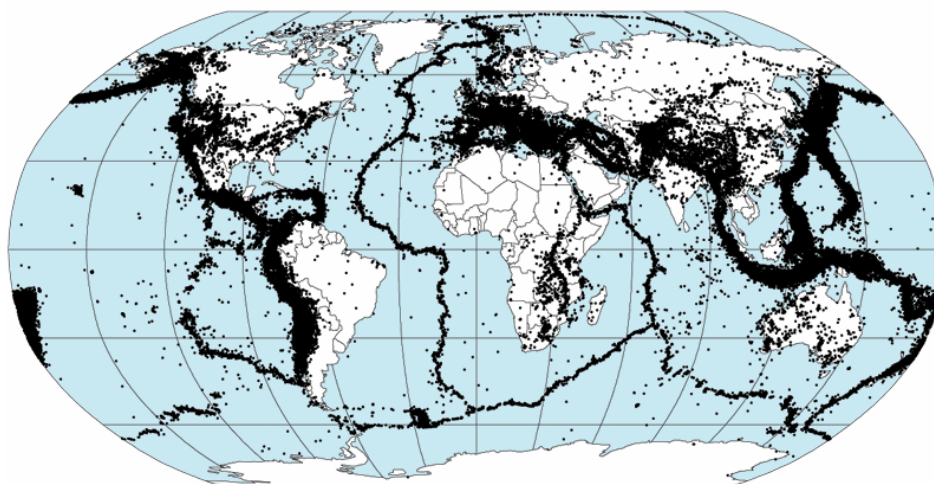
### Trzęsienia ziemi

Litosfera, czyli zewnętrzna powłoka naszej planety Ziemi, nie stanowi spójnej warstwy. Raczej przypomina układankę puzzle, składającą się z 15 większych fragmentów i 41 mniejszych. Fragmenty litosfery nazywamy płytami tektonicznymi. Na tych 56 płytach osadzone są kontynenty i oceany. Płyty tektoniczne niestety nie są nieruchome. Przemieszczanie się płyt powoduje naprężenia, które od czasu do czasu muszą się rozładować. Trzęsienie ziemi jest wynikiem gwałtownego rozładowania energii nagromadzonej w skorupie ziemskiej wskutek naprężeń powstałych w wyniku przemieszczeń płyt tektonicznych.



Rys. 1. Rozmieszczenie większych płyt tektonicznych (źródło: Wikipedia)

### Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998



Rys. 2. Epicentra ponad 350 tysięcy trzęsień ziemi z końca ubiegłego wieku (źródło: Wikipedia)

Trzęsienia ziemi pojawiają się więc w obszarach położonych ponad granicami płyt tektonicznych. Możemy utwierdzić się w tej obserwacji porównując informacje przedstawione na rysunkach 1 i 2. Rysunek 2 został sporządzony na podstawie danych z ponad 350 tysięcy trzęsień ziemi, które wystąpiły w okresie 35 ostatnich lat ubiegłego wieku. Daje to nam średnią około 10 000 trzęsień na rok, co oznacza, że mówimy o dosyć częstym zjawisku na Ziemi (lub raczej wewnątrz Ziemi). Ruchy płyt są przyczyną około 90% trzęsień ziemi, w tym wszystkich silnych i tragicznych dla ludzi. Jednak nie wszystkie trzęsienia ziemi powodowane są ruchami płyt tektonicznych. Około dziesięciu procent słabszych trzęsień ziemi jest skutkiem innych zjawisk, głównie erupcji wulkanów i zapadania się podziemnych komór, np. jaskiniowych lub kopalnianych. Mówiąc tutaj o silnych i słabych trzęsieniach ziemi, myślimy oczywiście o energii wstrząsu. Jak duża może być energia towarzysząca wstrząsom?

#### **Niewyobrażalna energia**

Niszczycielska energia, która uwolniła się podczas gigantycznego i tragicznego w skutkach trzęsienia ziemi na Oceanie Indyjskim w 2004 roku szacowana jest na około 110 biliardów dżuli. Gdy porównamy tę wartość energii z energią wybuchu bomby atomowej, którą zrzucono na Hiroszimę, to otrzymamy równowartość 1500 bomb atomowych. Ta niewyobrażalna energia, która uwolniła się na powierzchni Ziemi, była i tak tylko znikomą cząstką całkowitej energii wstrząsu. Uwolniona energia pod powierzchnią Ziemi była prawdopodobnie

około 360 tysięcy razy większa niż energia uwolniona na powierzchni, czyli całkowita energia tego wstrząsu odpowiadała łącznej energii 550 milionów bomb atomowych. Jest to wielkość równa łącznemu zużyciu energii ze wszystkich źródeł przez wszystkich ludzi i wszystkie przedsiębiorstwa na całym świecie w ciągu pełnych 25 lat. Podliczamy tutaj energię tylko jednego, wybranego przez nas wstrząsu tektonicznego z 26 grudnia 2004 roku. Wybraliśmy to trzęsienie dla naszej krótkiej analizy energii głównie dlatego, że dysponujemy w tym przypadku dosyć dokładnymi danymi. A nie było to wcale najsilniejsze trzęsienie w dziejach planety Ziemi. W samym tylko XX wieku były dwa trzęsienia kilka razy silniejsze niż to omówione tutaj z 2004 roku.

### **Statystyka trzęsień ziemi**

Niestety, trzęsienia ziemi były i są zjawiskami powszechnymi na naszej planecie. Na szczęście nie każde jest bardzo silne. Siłę wstrząsu najczęściej określamy w tak zwanej skali Richtera. Na podstawie pomiarów amplitudy drgań sejsmicznych szacujemy energię wyzwoloną w czasie trzęsienia. Przytoczone powyżej wielkie trzęsienie z 26 grudnia 2004 roku oszacowane zostało na około 9 stopni w skali Richtera. Jeden stopień mniej w tej skali odpowiada energii około 32 razy mniejszej, dwa stopnie mniej to energia już 1000 razy mniejsza. Słabsze trzęsienia ziemi, odnotowywane nawet w Polsce, nie są groźne i nie powodują większych szkód. Ostatni wstrząs w Polsce, o sile 4 stopni w skali Richtera, wystąpił 9 lutego 2007 o godzinie 11:30 z epicentrum w Katowicach-Piotrowicach. Większość mieszkańców odczuła wstrząs, ale poważnych strat w mieniu nie było. Niedawno (koniec października 2008) fala słabszych wstrząsów nawiedziła Czechy. Niebezpieczne są trzęsienia ziemi o sile wstrząsu powyżej 5 stopni w skali Richtera. Jeśli pojawiają się blisko obszarów zaludnionych, to mogą powodować zauważalne skutki, np. pęknięcia ścian niektórych budynków. Przy sile 6 stopni w skali Richtera należy się spodziewać uszkodzeń większości budynków i urządzeń infrastruktury technicznej w promieniu kilkudziesięciu kilometrów od epicentrum i niektórych budowli w promieniu kilkuset kilometrów. Prawdopodobnie taką siłę miał wstrząs z 5 czerwca 1443 roku z epicentrum gdzieś na północ od Wrocławia, uważany za najsilniejsze trzęsienie ziemi w historii Polski. Największe straty odnotowano na Śląsku, natomiast w Krakowie zawaliło się wtedy sklepienie kościoła św. Katarzyny. Trzęsienia ziemi o sile około 6 stopni w skali Richtera są już bardzo groźne i pojawiają się na Ziemi w każdym tygodniu. Zachęcam Czytelnika do sprawdzenia bieżących wiadomości ze świata i poszukania informacji o trzęsieniach ziemi. Najprawdopodobniej znajdzie Czytelnik w danym tygodniu jedną lub dwie. Składając ten artykuł do druku w poniedziałek 8 grudnia 2008 roku, zajrzałem do Internetu i znalazłem doniesienia o dwóch wstrząsach o sile 6 stopni w skali Richtera, które pojawiły się w czasie minionego weekendu. W piątek trzęsienie ziemi na Morzu Banda na północny zachód od Dili, stolicy Timoru Wschodniego.

Wstrząsy były odczuwalne w Dili i wywołały obawy wśród mieszkańców. Na razie nie ma informacji na temat ofiar i zniszczeń. W niedzielę trzęsienie ziemi na Tajwanie. Nie podano jeszcze informacji o ofiarach lub stratach materialnych, nie ma groźby tsunami. Mapkę silnych trzęsień ziemi z ubiegłego tygodnia może Czytelnik znaleźć na stronie <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recordeqsww/>. W każdym miesiącu mamy jeden lub dwa bardzo silne wstrząsy o sile powyżej 7 stopni w skali Richtera. Jeśli dotkną siedlisk ludzkich, to przynoszą makabryczne tragedie. W listopadzie 2008 były dwa, ale na szczęście obydwa epicentra znalazły się na obszarach mórz i oceanów. Pierwsze, 16 listopada, 135 kilometrów od jednej z wysp Indonezji (3 zabitych, 20 rannych, 700 domów zniszczonych) i drugie, 24 listopada, na Morzu Ochockim, 314 km na zachód od Pietropawłowska Kamczackiego. Jak podaje agencja ITAR-TASS, epicentrum leżało 400 km pod dnem morza, w związku z czym wstrząsy były praktycznie nieodczuwalne. Średnio raz do roku gdzieś na naszym globie pojawia się potężny wstrząs o sile powyżej 8 stopni w skali Richtera. W roku 2007 były dwa (na Kurylach i w Peru), w poprzednich latach po jednym. Rok 2008 przyniósł jedno trzęsienie ziemi o sile 8 stopni w skali Richtera. Lokalizacja epicentrum była na lądzie, trzęsienie pojawiło się w środku Chin, w prowincji Syczuan 12 maja i zabiło około 70 tysięcy ludzi. Najwięcej groźnych trzęsień ziemi (patrz rysunek 1) zdarza się na obrzeżach Oceanu Spokojnego, czyli na zachodnich wybrzeżach obu Ameryk, Alasce, wschodnich wybrzeżach Azji i wokół licznych archipelagów wysp od Japonii po Nową Zelandię. Kolejny zagrożony obszar to pas euroazjatycki od Włoch począwszy, przez Turcję, Kaukaz, po Azję Środkową i pasma wielkich gór. W mniejszym stopniu epicentra trzęsień pojawiają się w rejonie Oceanów Indyjskiego i Atlantyckiego. Polska jest szczęśliwie położona w obszarze niewystępowania silnych trzęsień ziemi.

Siła trzęsienia w skali Richtera	Potencjalne skutki	Średnia częstotliwość występowania na Ziemi
2 stopnie	sejsmografy ledwo rejestrują	co 20 sekund
3 stopnie	sejsmografy wyraźnie rejestrują	co 4 minuty
4 stopnie	niektórzy ludzie odczuwają	co dwie godziny
5 stopni	niewielkie zniszczenia	cztery razy dziennie
6 stopni	uszkodzenia budynków	raz w tygodniu
7 stopni	lokalne zniszczenia wiosek i miast	raz, dwa razy w miesiącu
8 stopni	zniszczenia w wielu krajach	raz w roku
9 stopni	zniszczenia w skali globalnej	kilka w stuleciu

### Tragiczne skutki trzęsień ziemi

Jeżeli zdarzy się nam pechowo potknąć czy poślizgnąć, to możemy się nieźle potłuc, albo i nawet nabawić poważniejszej kontuzji. Skutki zależą oczywiście od siły z jaką uderzymy o podłoże lub jakiś inny obiekt na naszej drodze. Im większa energia kolizji, tym bardziej możemy być poturbowani. Każdy z nas

wie też z własnego doświadczenia, że można zarówno bardzo mocno się uderzyć i mimo wszystko szczęśliwie wyjść z tego cało, jak i lekko upaść z fatalnymi dla siebie skutkami. Podobnie rzecz się ma z trzęsieniami ziemi. Nie zawsze rozmiar tragedii ludzkiej jest proporcjonalny do energii trzęsienia ziemi. Najsilniejsze zarejestrowane trzęsienie ziemi odnotowano 22 maja 1960 roku w Chile – 9,5 stopni w skali Richtera. Liczby 2000 ofiar śmiertelnych, 3000 rannych i 2 miliony pozbawionych domów były, jak na taką siłę wstrząsu, nieduże. Natomiast tysiąc razy słabsze trzęsienie ziemi 27 lipca 1976 roku w Chinach zabiło ponad 655 000 ludzi. Ogromna i przerażająca tragedia, którą trudno jest porównać z czymkolwiek podobnym. Znamy z historii tylko jeden bardziej śmiertelny przypadek, trzęsienie ziemi również w Chinach z 23 stycznia 1556 roku, które według szacunków historyków pochłonęło ponad 800 tysięcy ofiar. Wspomniane na wstępie artykułu trzęsienie ziemi z 26 grudnia 2004 roku miało swoje epicentrum na oceanie, daleko, bo ponad 250 km, od najbliższych skupisk ludzkich. Mimo to gigantyczna energia i specyficzne uwarunkowania spowodowały powstanie morderczych fal tsunami, które rozchodząc się we wszystkich kierunkach, spustoszyły nie tylko pobliskie indonezyjskie wyspy, ale przemierzając tysiące kilometrów dotarły do wybrzeży Półwyspu Malajskiego, Sri Lanki, Indii, Malediwów, a nawet Afryki [1]. Łączny bilans ofiar śmiertelnych tego tragicznego wydarzenia sięgnął 280 tysięcy. Ludzi pozbawionych dachu nad głową, którzy stracili cały dobytek życia i zostali zmuszeni do szukania nowych miejsc pobytu, trudno jest zliczyć do dnia dzisiejszego. Szacujemy tę liczbę na 3 do nawet 5 milionów.



Rys. 3. Fala tsunami atakuje wybrzeże (zdjęcie z serwisu YouTube)



Rys. 4. Miasto Banda Aceh zmiecione z powierzchni ziemi przez falę tsunami powstałą w wyniku trzęsienia ziemi z 26.12.2004 (zdjęcia z serwisu Google przed i po przejściu tsunami)

### **Czy można zmniejszyć liczbę ofiar trzęsień ziemi?**

W dopiero co rozpoczętym XXI wieku, trzęsienia ziemi pozbawiły życia już ponad pół miliona ludzi. Czy jesteśmy w stanie zaradzić dalszym tragediom? Trzęsień ziemi nie można powstrzymać, jedyne, co można zrobić, to spróbować nauczyć się przewidywać miejsca i daty prawdopodobnych trzęsień. Mając prognozę spodziewanego silnego wstrząsu sejsmicznego z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, można ewakuować zagrożoną ludność w bezpieczne miejsca. Podobnie wyprzedzająca informacja o nadciągającej fali tsunami daje szansę na przemieszczenie mieszkańców nadbrzeżnych miejscowości w głąb lądu. Dlatego w wielu ośrodkach naukowych na świecie prowadzi się intensywne badania zmierzające do opracowania metod pozwalających przewidywać miejsca, daty i siły prawdopodobnych trzęsień ziemi. Rozwijane są odpowiednie systemy wczesnego ostrzegania. Chociaż wciąż daleko im do niezawodności, to wielokrotnie już uratowały ludzi i są ciągle doskonalone. Czułe sejsmografy wyłapują słabsze wstrząsy poprzedzające silne trzęsienia, analizuje się deformacje terenu, fluktuacje poziomu wód studziennych lub lokalne zakłócenia propagacji fal radiowych. Zwraca się też baczniejszą uwagę na nietypowe zachowania zwierząt.

### **Dziwne zachowania zwierząt**

Dysponujemy licznymi historycznymi przekazami o nietypowych zachowaniach zwierząt przed trzęsieniami ziemi. Bogata jest również „ludowa mądrość” mieszkańców obszarów często nawiedzanych wstrząsami. Kury przestają znosić jaja, pszczoły opuszczają roje, koty chowają się, psy szczekają i nie odstępują właścicieli, myszy dostają konwulsji, ptaki zbierają się w stada, ryby wyskakują z wody. Już greccy historycy odnotowali niezwykle zdarzenie przed trzęsieniem ziemi w 373 roku przed Chrystusem, które zniszczyło Helis. Kilka dni wcześniej miasto opuściły szczury, łasice, węże i nawet stonogi. To najstarsza znana nam relacja, podobnych opowieści historycznych znamy doprawdy tysiące. Przytoczymy tylko kilka współczesnych relacji świadków tego rodzaju wyda-

rzeń. Zimą 1975 roku mieszkańcy Haicheng w Chinach obserwowali dziwne zachowania szczurów, myszy, bydła i przede wszystkim liczne pojawianie się węży, które o tej porze roku powinny tkwić głęboko zaszyte w norach. Wedle miejscowych wierzeń, oznaczało to nadchodzącą tragedię. W styczniu zarządzono ewakuację mieszkańców. Trzęsienie ziemi o sile powyżej 7 stopni w skali Richtera wystąpiło niebawem, 4 lutego 1975 roku. Szacuje się, że dzięki podjętej akcji ewakuacyjnej, uniknięto około 150 tysięcy prawdopodobnych ofiar śmiertelnych. Kolejny przykład: japońscy sejsmolodzy badający ostatnie trzęsienia ziemi w rejonie wysp japońskich, zauważyli dziwne zachowanie sardynek, które tuż przed wstrząsami wpływają do koryt rzek, mimo że słodka woda jest dla nich zabójcza. Bardzo dużo informacji na temat nietypowego zachowania dzikich zwierząt podawano w mediach po omawianym już w tym artykule trzęsieniu ziemi z 26 grudnia 2004 roku. Pięć dni po tej wielkiej tragedii stacja BBC donosiła o śmiertelnym bilansie ofiar fal tsunami na Sri Lance, podając jednocześnie, że jeśli chodzi o dzikie zwierzęta, to nie zginął nawet jeden królik. Dzikie zwierzęta odpowiednio wcześniej uciekły w głąb lądu. Turystyczną atrakcją tajlandzkich plaż są przejażdżki na słoniach. Na kilka godzin przed uderzeniem tsunami, spokojne zwykle słonie zaczęły nagle trąbić, a tuż przed atakiem fali poderwały się do ucieczki w głąb lądu. Te, które były przywiązane, wściekle zerwały łańcuchy. Kilka słoni uniosło grupę japońskich turystów, którzy ze strachu bali się z nich zeskoczyć. Dzięki temu uniknęli śmierci w otchłaniach fal tsunami. W Malezji turyści licznie odwiedzają popularną prowincję Kuala Muda, gdzie są słynne „szeptane targi” rybne. Tysiące tamtejszych rybaków i turystów obserwowało przed 26 grudnia 2004 roku nietypowe szaleństwa delfinów, które podpływały do brzegu i wyskakiwały z wody. Ponadto połowy w tym rejonie i w tym czasie były 20 razy obfitsze niż zwykle, prawdopodobnie wiele ryb przeniosło się tutaj wcześniej z obszaru przyszłego epicentrum trzęsienia. W nadmorskich miejscowościach w Indiach podziwiać można kilkudziesięciotysięczne stada flamingów, brodzące w płytkich lagunach. Tuż przed tsunami 2004 roku tamtejsi mieszkańcy zaobserwowali coś niezwykłego. Flamingi gremialnie uniosły się w górę, po czym ogromna chmura ptactwa przemieściła się w głąb lądu.

### **Szósty zmysł zwierząt**

Media opisując nietypowe zachowania zwierząt często wiążą je z tajemniczym „szóstym zmysłem”. Tego określenia używali już starożytni Rzymianie, przykładem jest legenda o gęsiach kapitołińskich. Przeświadczenie, że zwierzęta wyczuwają zbliżające się nieszczęścia, nie jest więc niczym nowym. Ale czy ma to cokolwiek wspólnego z rzeczywistością? W świetle współczesnej wiedzy trudno jest odpowiedzieć na to pytanie. Z pewnością wiele przekazów historycznych jest nieprawdziwych lub przesadzonych. Niektóre z doniesień medialnych możemy zweryfikować jako informacje niezgodne z faktami, niepewne

lub niepełne. Ewakuacja ludności z Haicheng w 1975 była podjęta nie tylko na podstawie obserwacji zachowań zwierząt, ale także z powodu zmian terenu i poziomu wód gruntowych oraz przede wszystkim wzrostu drgań sejsmicznych. W 1988 roku przeanalizowano 41 417 ogłoszeń prasowych o zaginionych zwierzętach w rejonie zatoki San Francisco, po czym skonfrontowano to z raportami o 224 trzęsieniach ziemi w tym czasie i obszarze [2]. Wniosek z matematycznej analizy danych statystycznych został sformułowany w tym naukowym artykule jednoznacznie – nie ma żadnej korelacji. Naukowcy obserwujący kilka słoni ze Sri Lanki „zakolczykowanych” nadajnikami satelitarnymi nie zauważyli niczego osobliwego w ich zachowaniu tuż przed nadejściem fali tsunami w 2004 roku [3, 4]. Czy niezliczone opowieści i doniesienia o „szóstym zmysle” zwierząt, w szczególności w kontekście umiejętności przewidywania trzęsień ziemi i nadchodzących fal tsunami, to tylko przesady i ludowe bajdy?

### **A może jednak?**

Inne analizy statystyczne w naukowych artykułach [5], dotyczących trzęsień ziemi w Kobe z 1995 roku i w Izmit z 1999 roku, wskazują jednak, że obok meteorologicznych i geofizycznych sygnałów poprzedzających zdarzenia, potwierdzone są również liczne doniesienia o obserwacjach dziwnych zachowań zwierząt. A więc może jednak występują pewne sygnały poprzedzające trzęsienia ziemi wychwytywane przynajmniej przez niektóre ze zwierząt? Załóżmy taką hipotezę i rozważmy ją w łańcuszku przyczynowo-skutkowym BODZIEC-ODBIÓR-REAKCJA. Bodziec to pewien sygnał fizyczny, który jest emitowany przed trzęsieniem ziemi. Odbiór to zdolność jakiegoś zwierzęcia do percepcji tego sygnału. Reakcja to odruchowa ucieczka zwierzęcia po tej percepcji. Udowodnienie hipotezy, że zwierzęta przeczuwają trzęsienia ziemi, wymaga złożenia układanki z trzech wspomnianych elementów. Po pierwsze, wskazać fizyczny sygnał, który pojawia się odpowiednio wcześniej przed trzęsieniem ziemi (tzw. prekursor). Następnie udowodnić, że pewne zwierzę odczuwa go (zmysłem, którego my nie mamy) i odpowiednio reaguje (ma to genetycznie uwarunkowane). Takiego w pełni naukowego dowodu nikomu jeszcze nie udało się przeprowadzić. Wydaje się, że dysponujemy ostatnim, trzecim fragmentem układanki. Symulacje przeprowadzone metodami Monte Carlo w ramach modeli genetycznych wykazały, że zwierzęta mogły w drodze ewolucji wykształcić geny odpowiedzialne za reakcję na ewentualne sygnały poprzedzające trzęsienia ziemi [6]. Inaczej mówiąc, jeśli zwierzę posiada zmysł reagujący na prekursor, to może posiadać genetycznie uwarunkowany odruch ucieczki. Zawdzięcza to przodkom, którzy w takich sytuacjach uciekali i dzięki temu przekazali swoje geny potomkom. Badania naukowe [6] pokazały, że trzęsień ziemi było w historii ewolucji gatunków wystarczająco dużo, by w drodze ewolucji wykształcić taki odruch. Pozostaje nam więc zidentyfikować określony sygnał fizyczny emitowany przed trzęsieniem ziemi, po czym wytypować zwierzę, który posia-



da zdolność percepcji wskazanego sygnału. Tego jednak nikomu jeszcze nie udało się dowieść. Głównie z tego powodu, że nie mamy dobrej wiedzy ani o prekursorach trzęsień ziemi, ani o receptorach specyficznych dla rozmaitych zwierząt. Opiszemy zatem tylko kilka hipotez.

### **Prekursory trzęsień ziemi i zwierzęce zmysły**

Do ludzkich zmysłów nie zaliczamy zmysłu równowagi, chociaż każdy z nas dzięki błędnikowi potrafi wyczuć odchylenie od pozycji pionowej. Ale w przypadku człowieka odchylenie musi być większe niż 6 stopni kątowych. Podłoga lub platforma pod nami musi nachylić się o więcej niż 6 stopni, abyśmy mogli to odczuć z zamkniętymi oczami. Jednym z prekursorów trzęsień ziemi są lokalne zmiany nachylenia powierzchni ziemi, lecz są one rzędu ułamków sekund kątowych. Człowiek nie ma szans odczuć tak minimalnych zmian nachylenia, ale być może mają takie zdolności podziemne gryzonie [7]. Kolejny prekursor do rozważenia to podnoszenie się poziomu wód gruntowych. Powoduje to wypieranie wilgotnego powietrza z porowatych przestrzeni. W ziemnych norach i tuż przy powierzchni ziemi powietrze staje się bardziej wilgotne. Niektóre zwierzęta posiadają zmysł higrorecepcji, czyli wyczuwania zmian wilgotności. Należą do nich między innymi pająki, owady [8] i pieski pustynne [9]. Do prawdopodobnych prekursorów trzęsień ziemi zalicza się też sygnały elektryczne. Tutaj wyrafinowanymi specjalistami są zwierzęta morskie, na przykład rekiny i płaszczki. Wewnątrz tak zwanych ampulek Lorenziniego posiadają one receptory zdolne wychwytywać zmiany napięcia pola elektrycznego rzędu nanowoltów [10]. Do dyskusyjnych prekursorów trzęsień ziemi należą pojawiające się sygnały optyczne, czyli zjawiska świetlne. Jeżeli prekursory optyczne występują, to z łatwością mogłyby być wychwytywane przez zwierzęta nocne. Jeszcze słabiej naukowo rozpoznano pojawianie się zmian pola magnetycznego przed trzęsieniami ziemi. Tego rodzaju zmiany występują, ale wciąż trudno jest odkryć rządzące nimi reguły. Z drugiej strony, magnetorecepcja to jeden z najciekawszych zmysłów odkrytych przez neurofizjologów zwierząt. Ptaki i ryby posiadają biologicznie wykształcone kompas, które umożliwiają im nawigację w dalekich podróży. Zwierzęta te wyczuwają fluktuacje pola magnetycznego rzędu nanotesli. Ciekawe jest również zjawisko generowania infradźwięków. Podczas trzęsień ziemi zachodzą one prawdopodobnie równocześnie z głównym wstrząsem. Nie są to więc raczej prekursory trzęsień ziemi, lecz mogą być prekursorami fal tsunami. Naturalnymi źródłami infradźwięków są wulkany, gejzery, wodospady, tornada i właśnie trzęsienia ziemi. Fale infradźwiękowe mogą się przemieszczać na wielkie odległości i są szybsze od fal tsunami. Można więc wysunąć hipotezę, że zwierzęta mogą przed nadejściem tsunami usłyszeć sygnał infradźwiękowy. A wiemy, że niektóre to potrafią, przykładowo ptaki, słonie, żyrafy, okapi, nosorożce i wieloryby. Jeżeli ktoś nadal sądzi, że wielkie uszy i śmieszna trąba słonia stanowią dowcip natury, to jest w błędzie.

W rzeczywistości jest to zestaw łączności infradźwiękowej – odbiornik i nadajnik. W ten sposób słonie prowadzą swoje „rozmowy zamiejscowe”, porozumiewając się na odległościach rzędu nawet kilkunastu kilometrów [11]. Mogą też wyczuwać drgania sejsmiczne [12].

### Podsumowanie

Badania sygnałów emitowanych przed trzęsieniem ziemi, czyli tak zwanych prekursorów, są niezwykle ważne dla światowej społeczności. Głównym celem praktycznym jest konstrukcja systemów wczesnego ostrzegania, które pomogą uratować życia milionów ludzi. Nie są to łatwe badania, bo trudno jest przewidzieć lokalizacje kolejnych trzęsień ziemi, stąd też nie wiadomo, gdzie ustawiać urządzenia pomiarowe. Zwykle więc przeprowadza się analizę skutków po wystąpieniu zdarzenia. Nie można oczekiwać ogólnych modeli teoretycznych zjawisk, ponieważ wstrząsy tektoniczne nie są jednakowe pod względem geologicznym i fizycznym. Dziwne zachowania zwierząt poprzedzające trzęsienia ziemi są wprawdzie obserwowane i analizowane, ale jak dotąd nie udało się znaleźć regularnych praw i podać przekonujących wyjaśnień. Systematyczne naukowe badania szczególnych uzdolnień zwierząt są prowadzone dopiero od kilkunastu lat i nie są zbyt zaawansowane. Niewykluczone jednak, że to właśnie uważne obserwacje i badania zwierząt pomogą nam skonstruować użyteczne czujniki ostrzegające przed zbliżającym się kataklizmem wstrząsu tektonicznego.

### Literatura

- [1] P. Góra, *Tsunami*, Foton 88 (2005).
- [2] R.B. Schall, *California Geology* 41 (1988).
- [3] E. Wikramanayake, P. Fernando, P. Leimgruber, *Behavioral Response of Satellite-collared Elephants to the Tsunami In Southern Sri Lanka*, *Biotropica* 38(6), 775 (2006).
- [4] P. Fernando, *Tsunami and Elephant „Sixth Sense” in Sri Lanka*, *Gajah* 26, 3 (2007).
- [5] N.E. Whitehead, U. Ulusay, H. Asahara, M. Ikeya, *Are any public-reported earthquake precursors valid?*, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, 463 (2004).
- [6] J.L. Kirschvink, *Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception*, *Bulletin of the Seismological Society of America* 90, 312 (2000).
- [7] T. Lindenlaub, H. Burda, E. Nevo, *Convergent evolution of the vestibular organ in the subterranean mole-rats*, *Rattus. J. Morphol.* 224, 303 (1995).
- [8] H. Tichy, R. Loftus, *Hygroreceptors in insects and a spider – humidity transduction models*, *Naturwissenschaften* 83, 255 (1996).
- [9] S.B. Vander Wall, *Seed water content and the vulnerability of buried seeds to foraging rodents*, *Am. Midland Naturalist* 129, 272 (1993).
- [10] A.J. Kalmijn, *The detection of electric fields from inanimate and animate sources other than electric organs*, *Handbook of Sensory Physiology*, vol. 9, 147 (1974).
- [11] D. Larom i inni, *Meteorology and elephant infrasound at Etosha National Park*, *J. Acoust. Soc. Am.* 101(3), 1710 (1997).
- [12] C.E. O’Connell-Rodwell i inni, *Wild elephant breeding herds respond to artificially transmitted seismic stimuli*, *Behav. Ecol. Sociobiol.* 59, 842 (2006).