

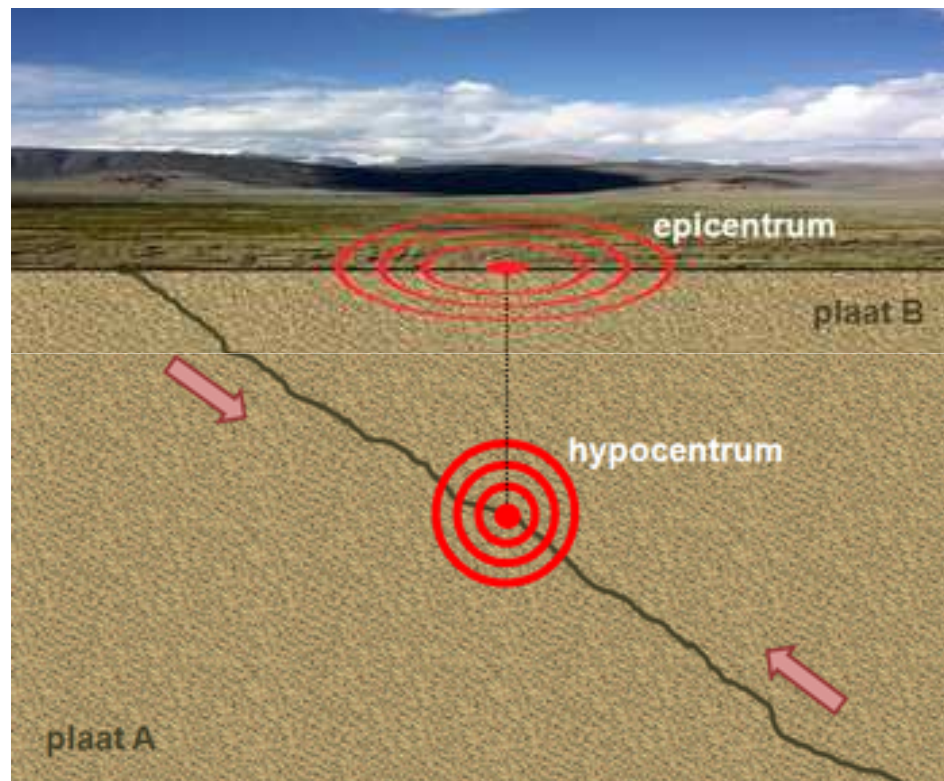
# Fale w przyrodzie

# Rodzaje fal w przyrodzie

- Fale mechaniczne w skorupie ziemskiej, związane z jej ruchami tektonicznymi - fale sejsmiczne. Pozwalają przewidywać trzęsienia ziemi oraz wybuchy wulkanów.
- Fale morskie i oceaniczne, powodowane przez wiatr i zmiany ciśnienia mające miejsce nad zbiornikami wodnymi oraz przez ruchy pływowe
- Promieniowanie Słońca, obejmujące głównie światło widzialne, ultrafiolet, podczerwień i fale radiowe
- Promieniowanie kosmiczne, promieniowanie elektromagnetyczne radioźródeł, gwiazd, pulsarów i inne źródła kosmiczne.
- Fale dźwiękowe powstałe na skutek falowania wód, wodospadów, uderzeń piorunów, trąb powietrznych; odgłosy zwierząt i ludzka mowa.

# Fale sejsmiczne

- Fale sprężyste powstają albo wskutek trzęsienia ziemi albo eksplozję materiałów wybuchowych
  - Rodzaje fal sejsmicznych:
    - Fale węgłębne – rozchodzące się wewnątrz ziemi
    - Fale powierzchniowe – rozchodzące się po powierzchni ziemi (od epicentrum trzęsienia)



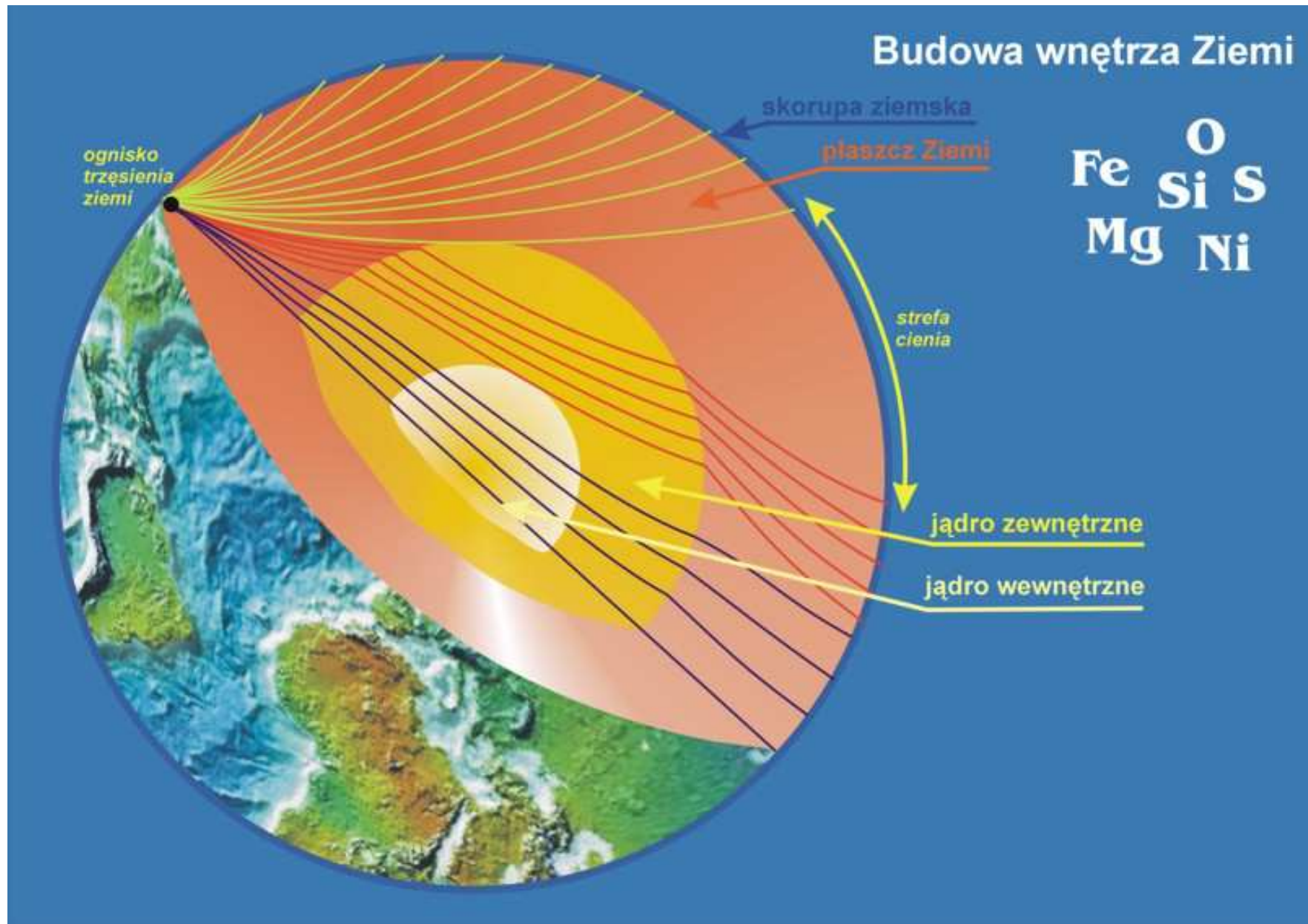
# Fale wgłębne

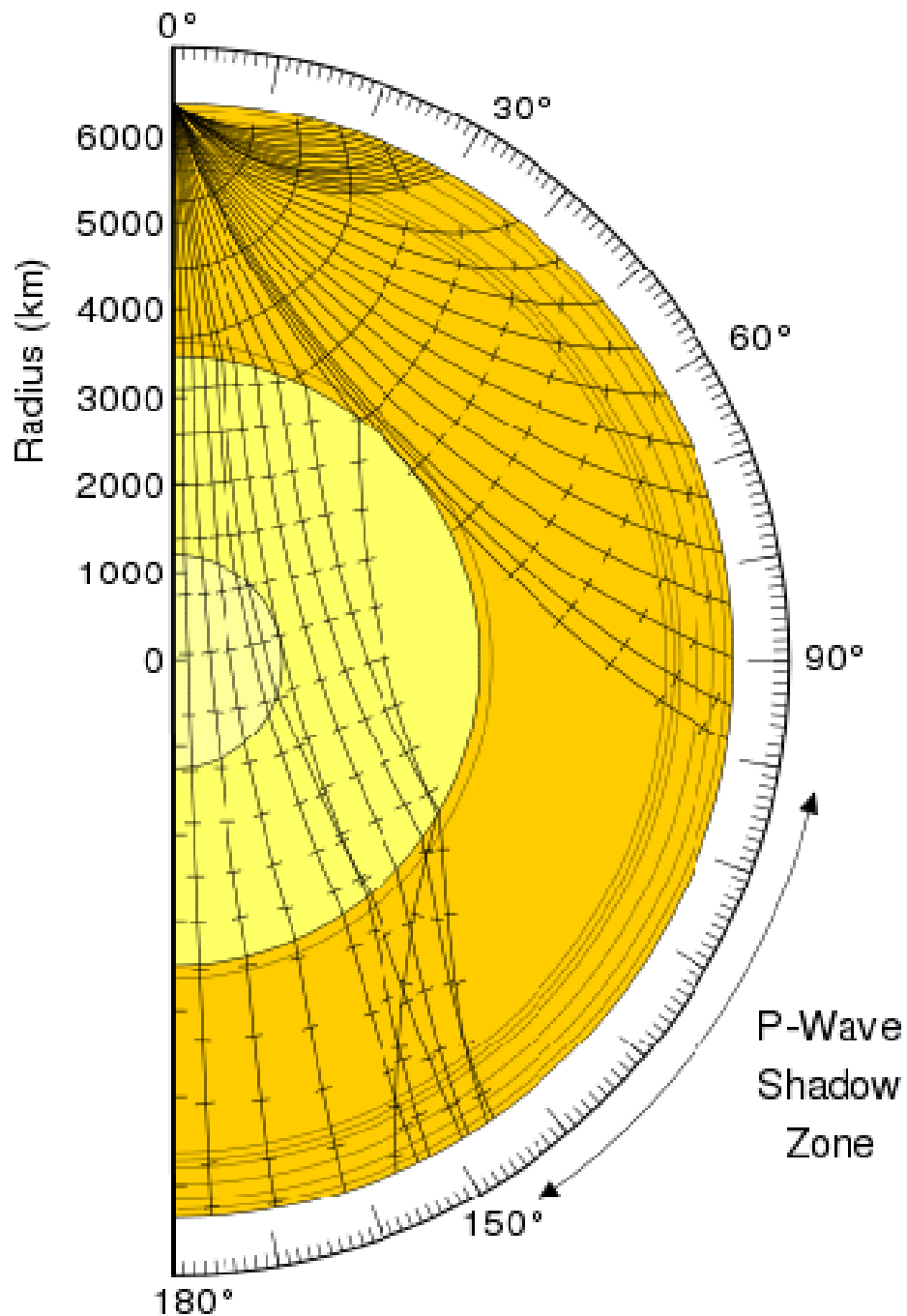
- Fale podłużne (P, prima, dylatacyjne)
  - Rozchodzą się z prędkością 5,4 km/s (najszybsze z fal sejsmicznych)
  - Najwcześniej docierają do epicentrum
  - Drgają w kierunku równoległym do rozchodzenia się fal
  - Powodują ściskanie i rozciąganie się skał, w obrębie których przechodzą
  - Mogą przemieszczać się w cieczech, w tym także w stopionym jądrze Ziemi

# Fale wgłębne

- Fale poprzeczne (S, secundo, torsjonalne)
  - Wolniejsze od fal podłużnych, ok. 3,3 km/s
  - Wywołują drgania w płaszczyźnie pionowej lub poziomej
  - Wywołują drgania w kierunku rozchodzenia się fal
  - Przemieszczają się tylko w skałach

# Budowa wnętrza Ziemi

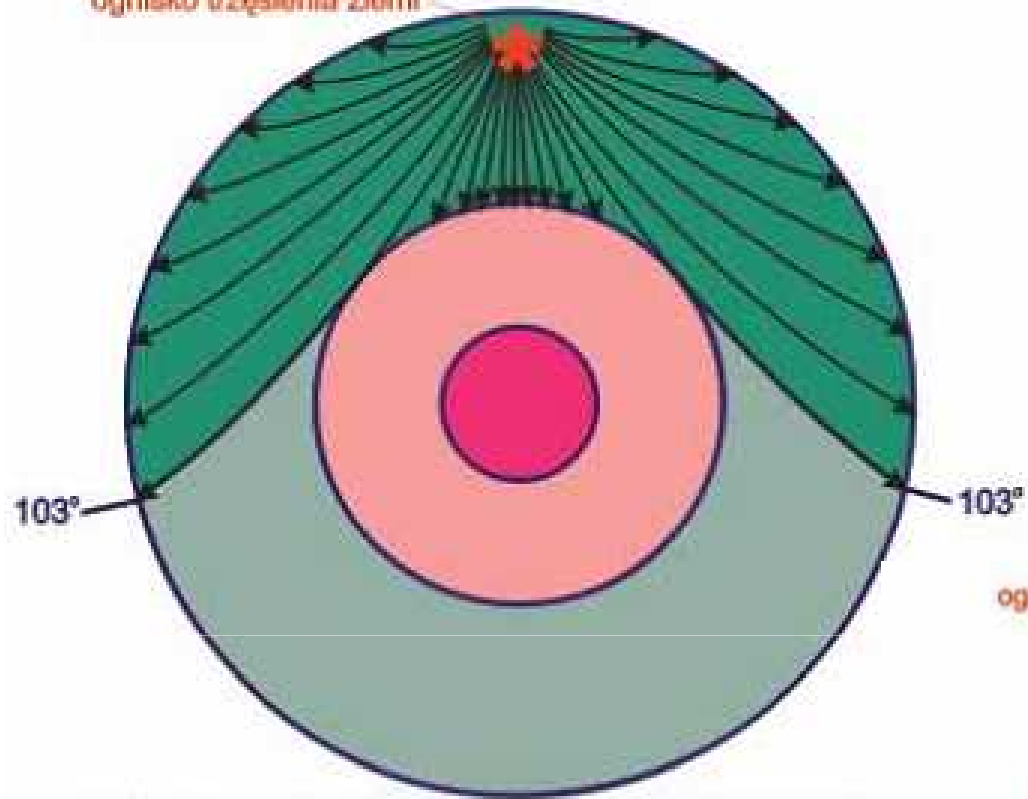




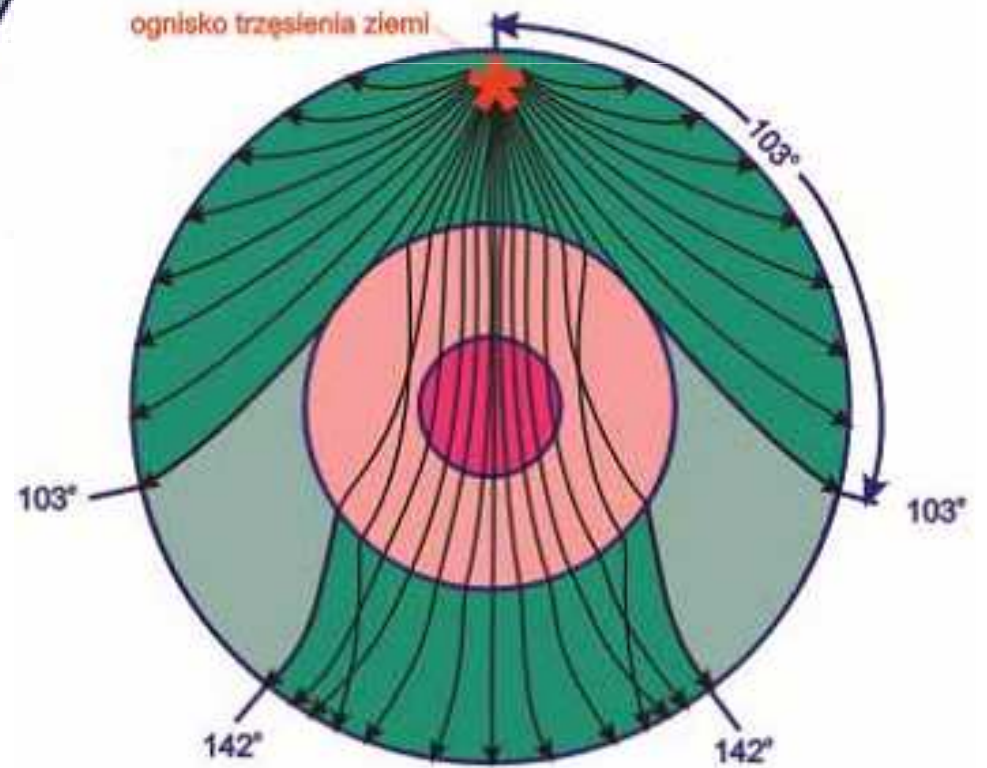
- W płynnym jądrze zewnętrznym rozchodzą się tylko fale P (fale S są tłumione)
- Fale P ulegają ugięciu
- Strefa cienia dla fali S obejmuje zatem cały obszar powyżej  $105^{\circ}$  odległości kątowej od epicentrum
- Strefa cienia dla fali P obejmuje obszar między  $103^{\circ}$  a  $143^{\circ}$  odległości kątowej od epicentrum



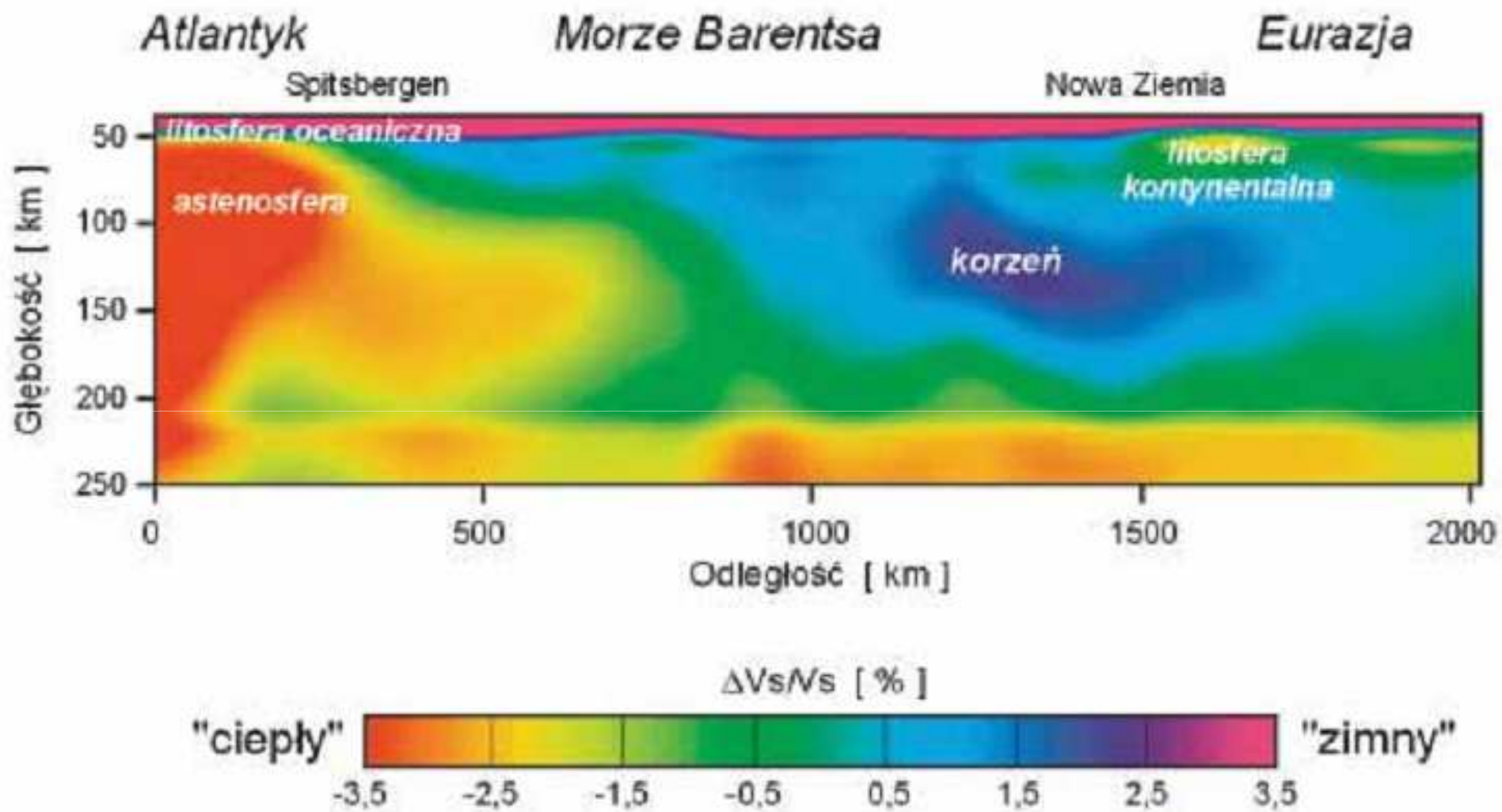
ognisko trzęsienia ziemi



ognisko trzęsienia ziemi



- Brak fal sejsmicznych S powyżej  $103^\circ$  ( $105^\circ$ ) uważane jest za dowód, iż jądro zewnętrzne jest ciecżą
- Tomografia sejsmiczna – to pewnego rodzaju prześwietlenie globu które wykorzystuje rozchodzenie się fal sejsmicznych w różnych ośrodkach z różną prędkością (działanie podobne do ultradźwięków w medycynie)
- Tomografia sejsmiczna wykazała, że pod kontynentalnymi fragmentami płyt litosfery znajdują się pewnego rodzaju korzenie, w pewnym stopniu zakotwiczone płyty kontynentalne
- Tworzą je chłodniejsze i sztywniejsze partie płaszcza zespolone tam z litosferą i sięgające do głębokości 200-300 km



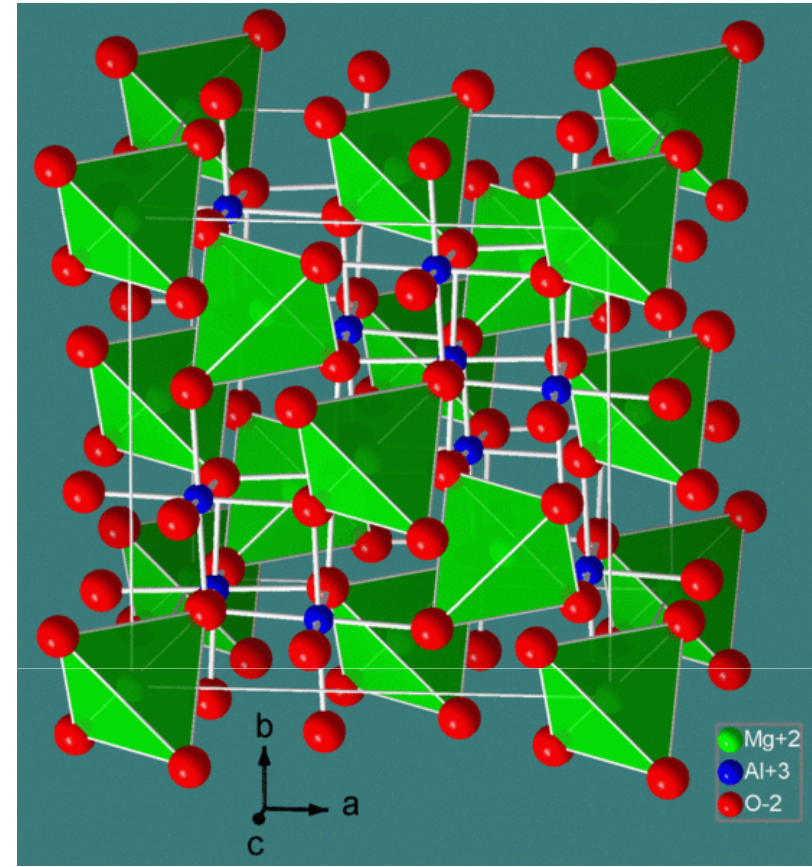
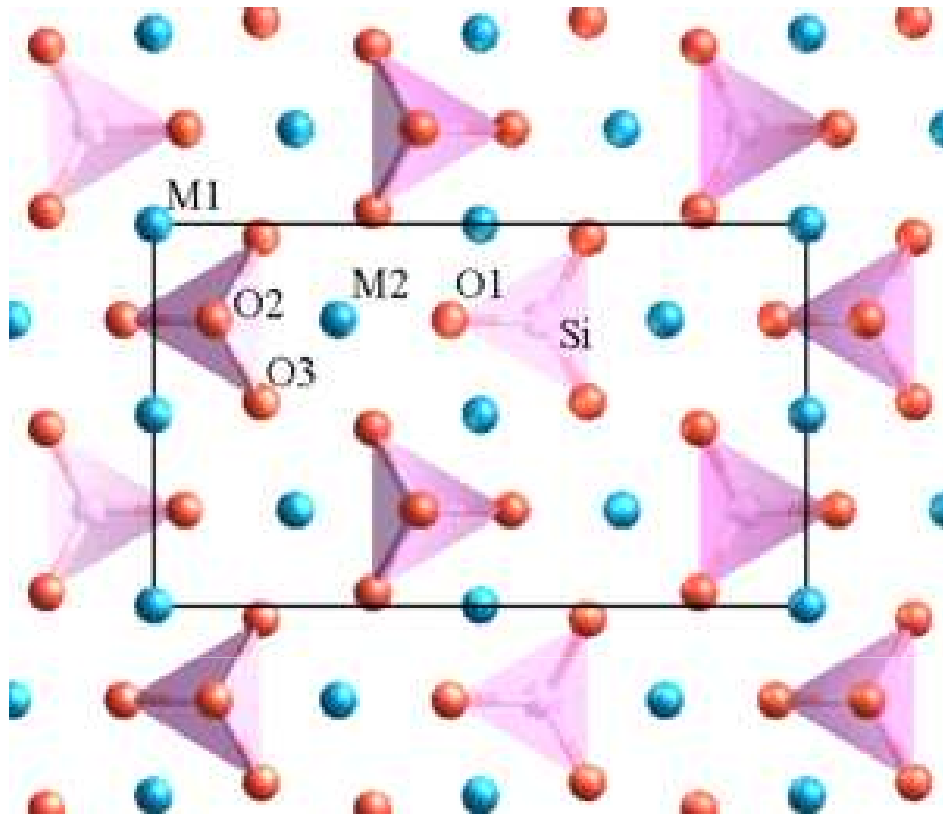
# Analiza fal sejsmicznych

- Właściwości fizyczne wnętrza Ziemi zmieniają się w sposób skokowy wzdłuż powierzchni granicznych faz (o różnej prędkości rozchodzenia się fal i różnej gęstości)
- Pierwsza granica to strefa nieciągłości Moho (gdzie następuje przejście gabbro w eklogit) – oddziela skorupę od litosferycznej części płaszczka
- Im przesuwamy się bardziej w głąb Ziemi tym panuje tam większe ciśnienie
- To ciśnienie zmusza minerały płaszczka do przemian fazowych, w taki sposób by atomy były coraz ciaśniej upakowane. Powoduje to zmiany w ich sieci krystalograficznej



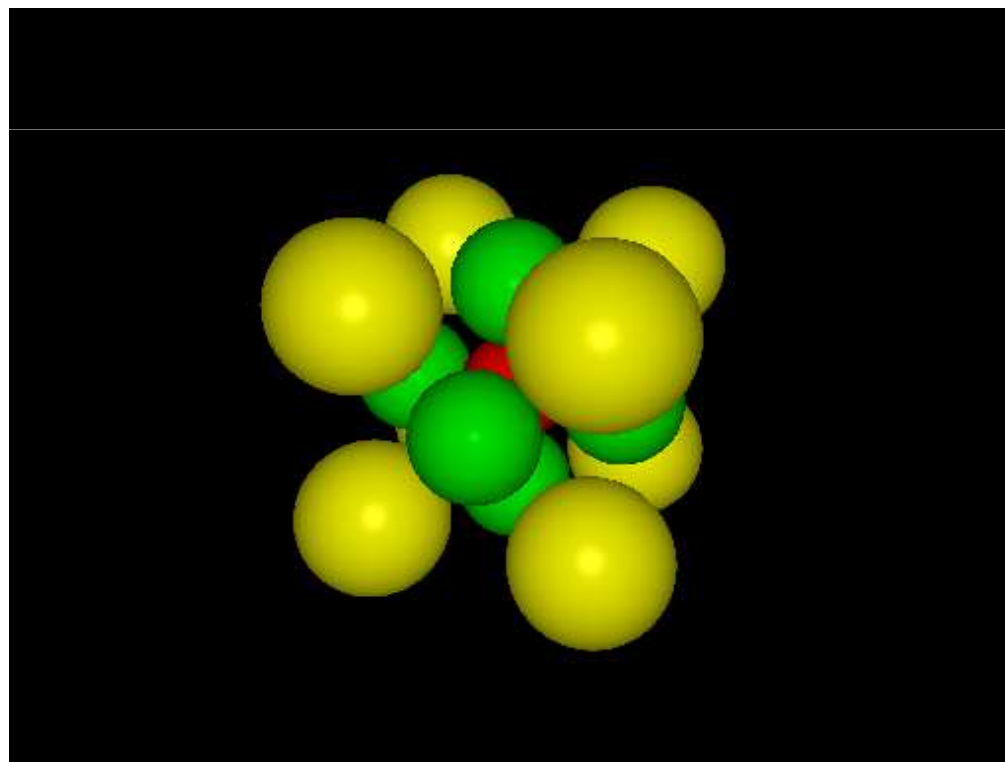
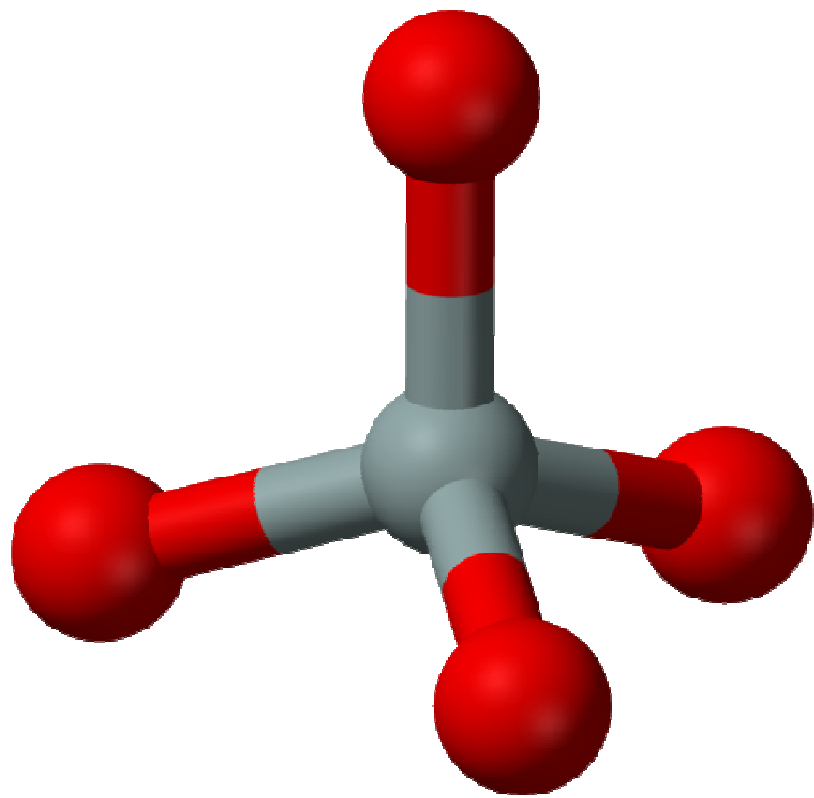


- Granica na głębokości 410 km
  - Występujący powyżej 410 km oliwin może istnieć w strukturze właściwej spinelowi
  - Przemiana na tej głębokości jest egzotermiczna – wydzielone ciepło przyczynia się do wzmożenia konwekcji w górnym płaszczu oraz częściowo topienia jego minerałów
  - W ten sposób tworzą się w płaszczu pierwotne źródła magm, które jako cieplejsze i lżejsze niż otoczenia przebijają się ku powierzchni Ziemi w konwekcyjnych prądach wstępujących



- Granica na głębokości 680 km – oddziela płaszcz górny i dolny.
  - Krzemiany przyjmują strukturę właściwą tlenkowi tytanu i wapnia
  - Przemiana na tej głębokości jest endotermiczna – pochłania ciepło, przez co warstwa ta jest kilka razy bardziej lepka, chłodniejsza i sztywniejsza, niż materia znajdująca się ponad nią
  - Stanowi swoistą barierę dla większości tonących w płaszczu płyt litosfery

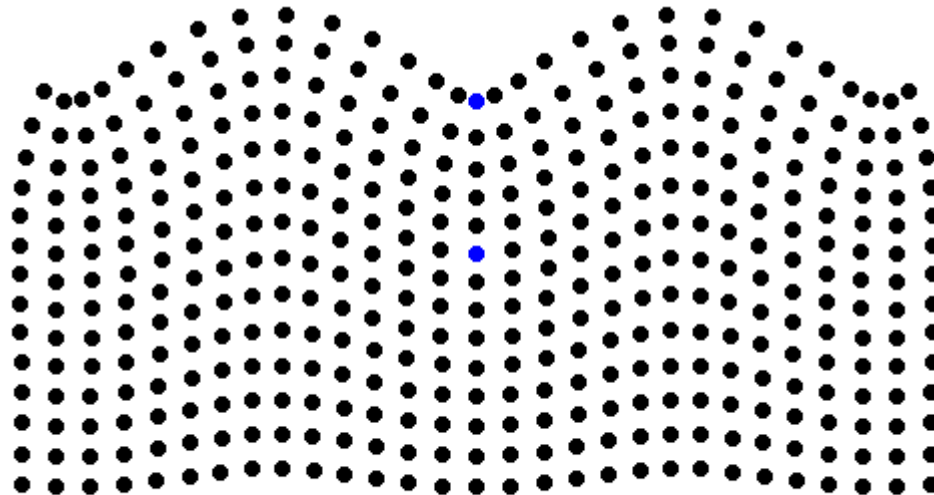




# Fale powierzchniowe

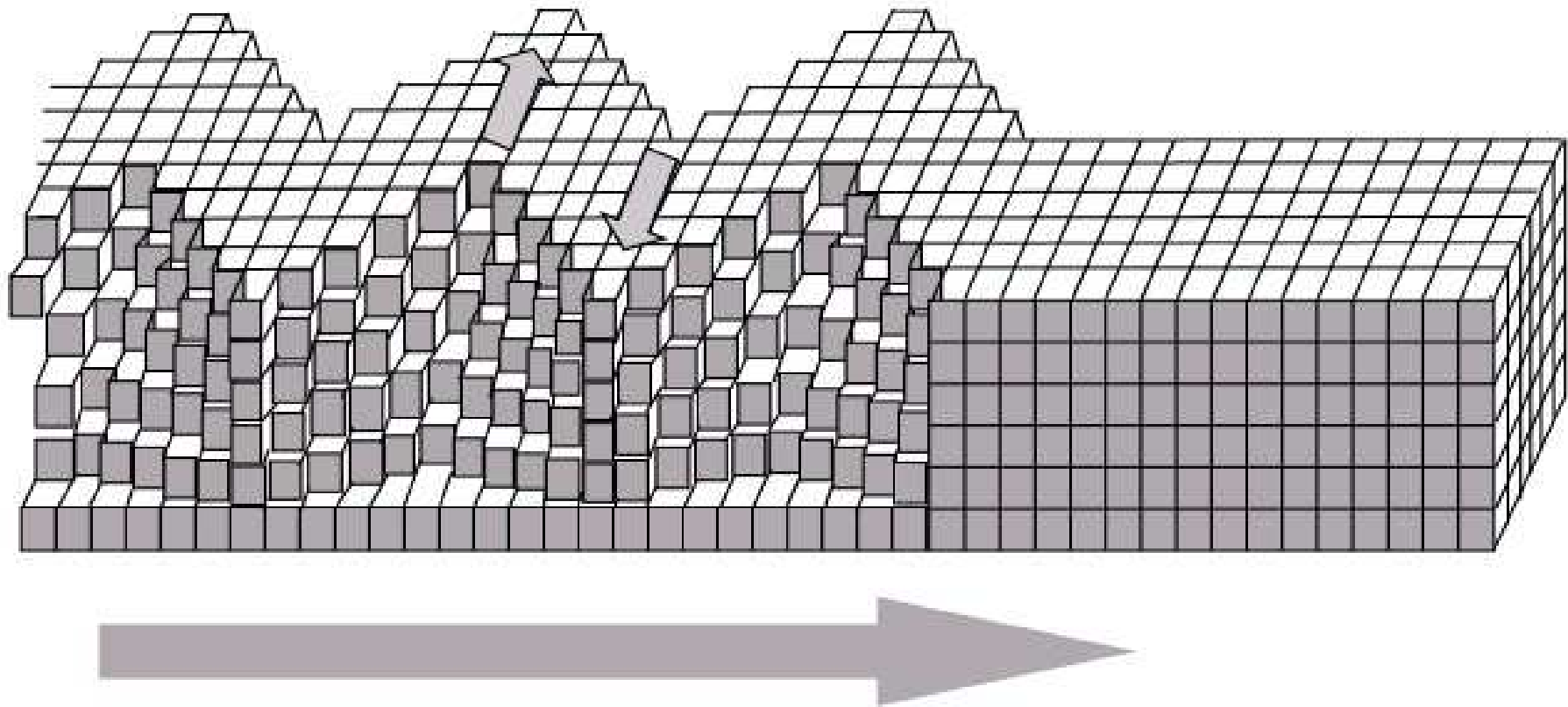
- fale Rayleigha - fale typu grawitacyjnego, ruch cząstek odbywa się po elipsie ustawionej pionowo względem kierunku biegu fali
- fale Love'a - wywołują drgania poziome, prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fal

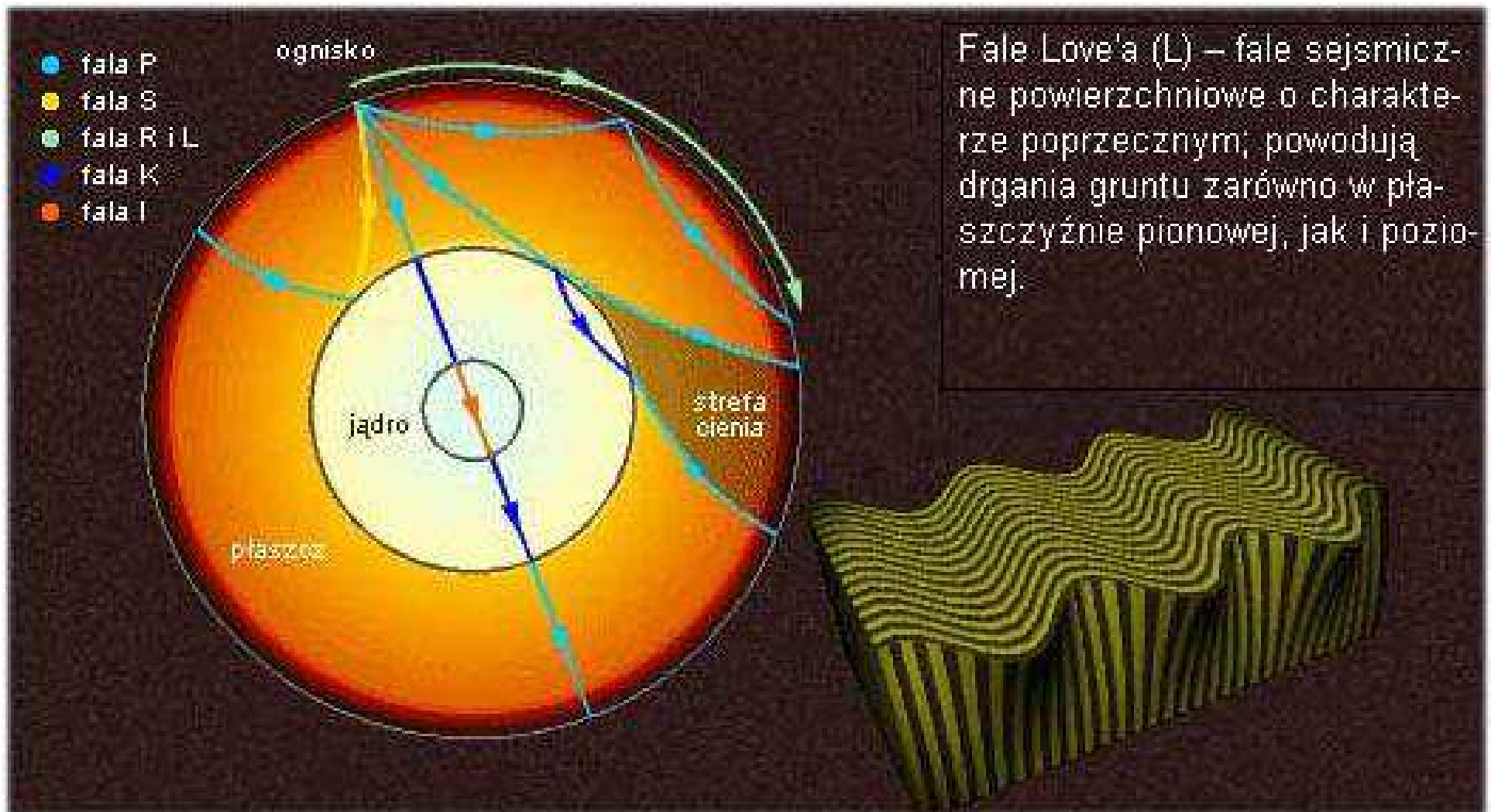
fale Rayleigha - fale typu grawitacyjnego, ruch cząstek odbywa się po elipsie ustawionej pionowo względem kierunku biegu fali



fale Love'a - wywołują drgania poziome, prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fal

## Love Wave

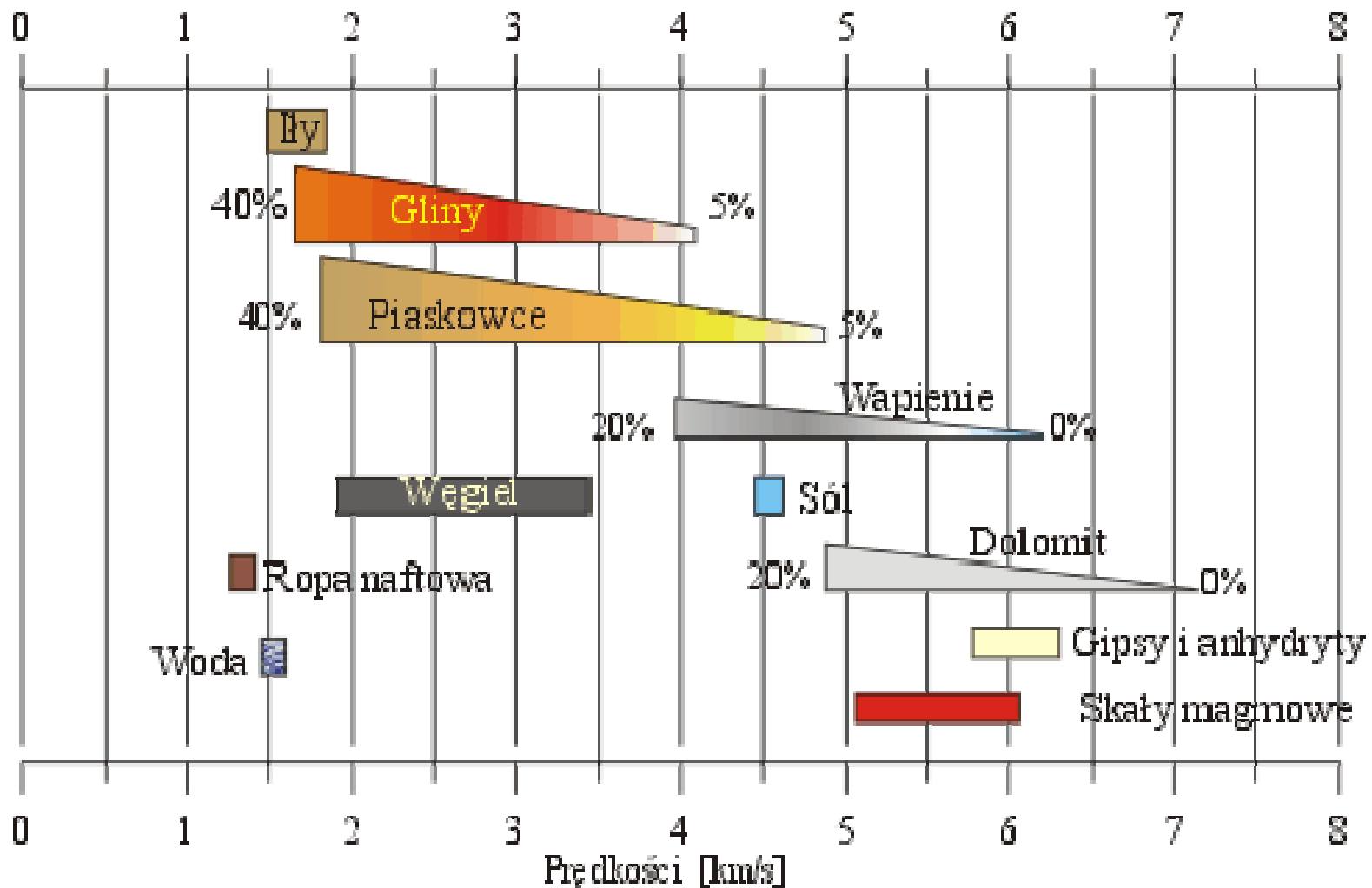




- Metody sejsmiczne wykorzystują niejednorodność sprężystych własności ośrodków skalnych, charakteryzujących się różnym czasem rozchodzenia się fal sprężystych.
- W sejsmice wykorzystuje się fale: przechodzące, odbite i refrakcyjne (czołowe)
- Znając prędkość i czas rozchodzenia się fali w ośrodku można poznać własności geometryczne ośrodka
- Prędkość rozchodzenia się fal P (podłużnych) jest zawsze większa niż fal S (poprzecznych)

	Vp	Vs [m/s]
powietrze	330	---
piasek	300-800	100-500
Woda	1450	---
Osady polodowcowe	1500-2700	900-1600
Wapień	3500-6500	1800-3800
Sól, anhydryt, gips	4000-5000	2000-3200
Granity	4600-6500	2500-4000

# Rozchodzenia się fal sejsmicznych w różnych skałach



# Trzęsienie ziemi

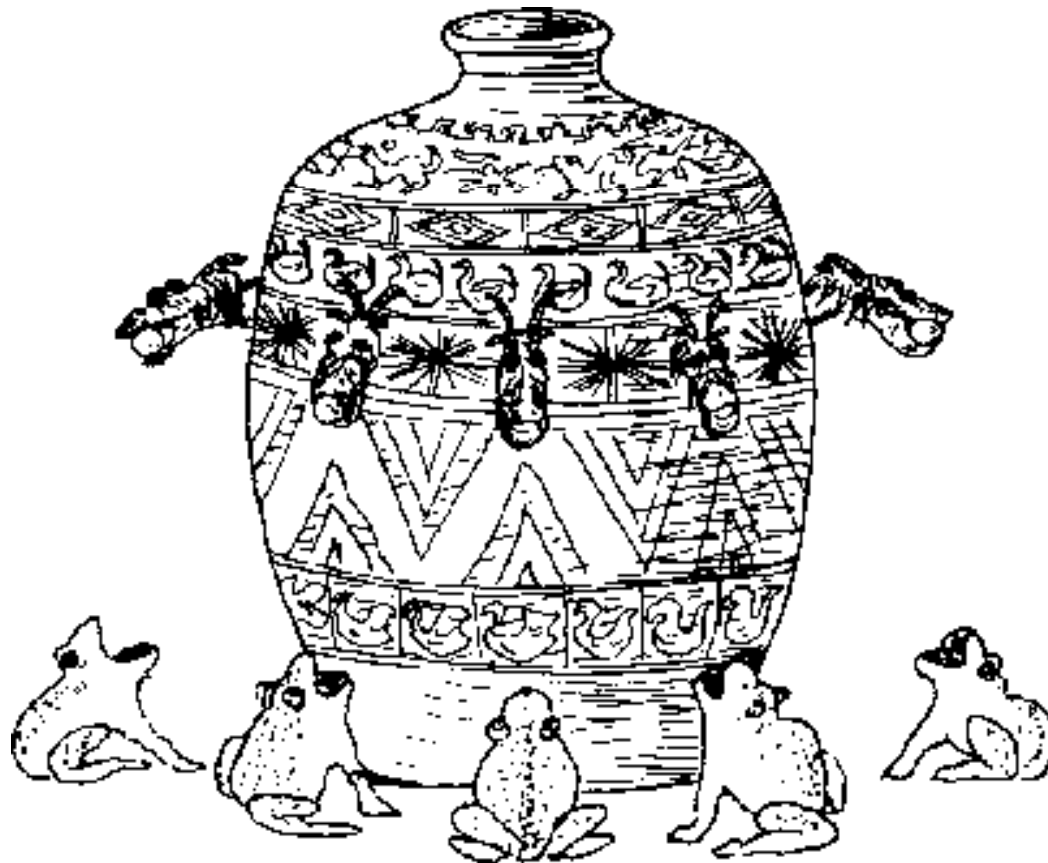
- Gwałtowne rozładowanie naprężeń nagromadzonych w skorupie ziemskiej w wyniku przejściowego zablokowania ruchu warstw skalnych poruszających się wzdłuż linii uskoku
- Uwolniona w wyniku tego energia w około 20 – 30% rozchodzi się w postaci fal sejsmicznych
- Oznaczenie siły trzęsień ziemi i intensywności drgań gruntu
  - Wyrażamy w magnitudach
  - Najsilniejsze udokumentowane trzęsienie ziemi w historii naszej planety wyniosło 9,5
  - Sejsmolodzy nie mają pewności czy jest szansa aby trzęsienie ziemi przekroczyło magnitudę 10
  - Teoretycznie jest to możliwe, ponieważ skale trzęsień ziemi to skale otwarte
  - Każdy stopień magnitudy to jednak dziesięciokrotność stopnia poprzedniego oraz około 31-krotność wzrostu energii



- Parametr stosowany w pomiarach wielkości trzęsienia ziemi, wprowadzony w 1935 roku przez Charlesa Richtera wraz z opracowaniem przez niego „skali magnitud”, nazwanej później skalą Richtera
- Wielkość ta była definiowana jako logarytm największej amplitudy drgań gruntu mierzonej w mikronach, zarejestrowanych przez sejsmograf Wooda-Andersona położony w odległości stu kilometrów od epicentrum trzęsienia.
- Umożliwia to porównanie wstrząsów sejsmicznych w różnych miejscach na Ziemi
- W późniejszych latach zasad obliczania magnitudy ulegały kilku zmianom, a obecnie obliczana jest na podstawie wartości momentu sejsmicznego, lecz w przedziale mierzonym przez skalę Richtera jest z nią porównywalna
- Zapis wstrząsu to sejsmogram

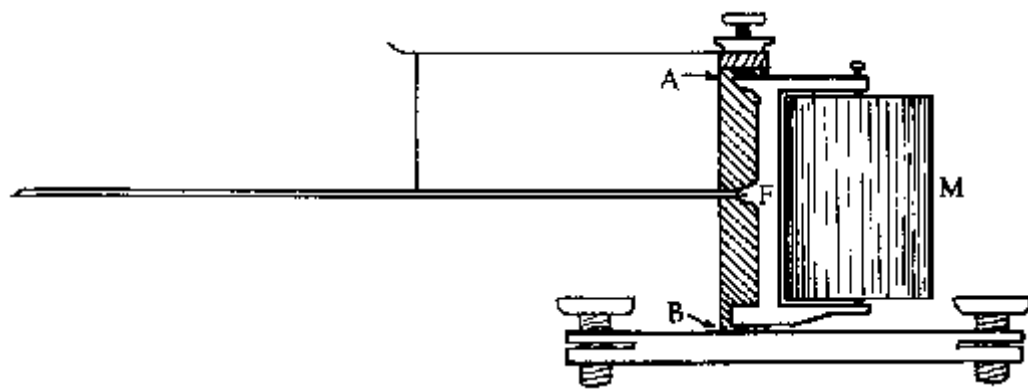
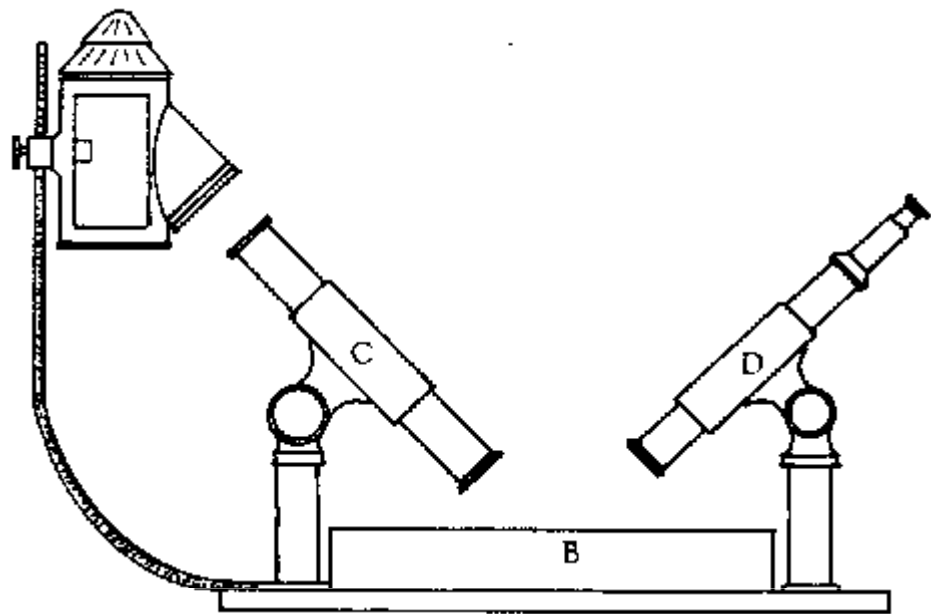
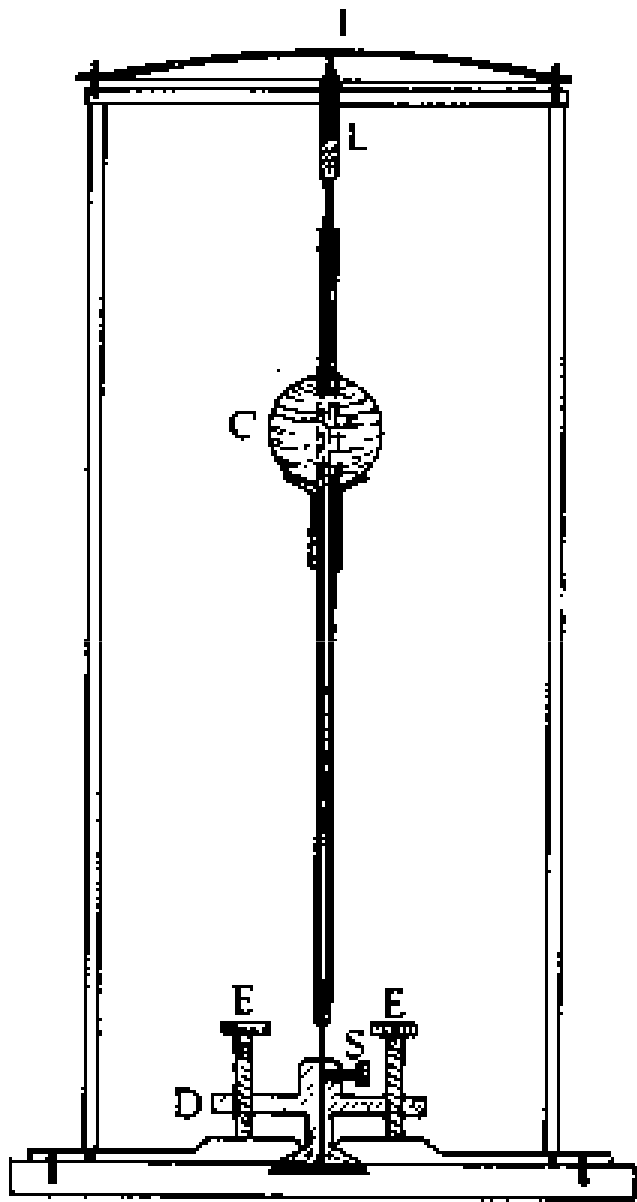
# Sejsmografy

- Najstarszym ze znanych sejsmografów został zaprojektowany przez Chan Henga (Chiny) ok. 100 r p.n.e.

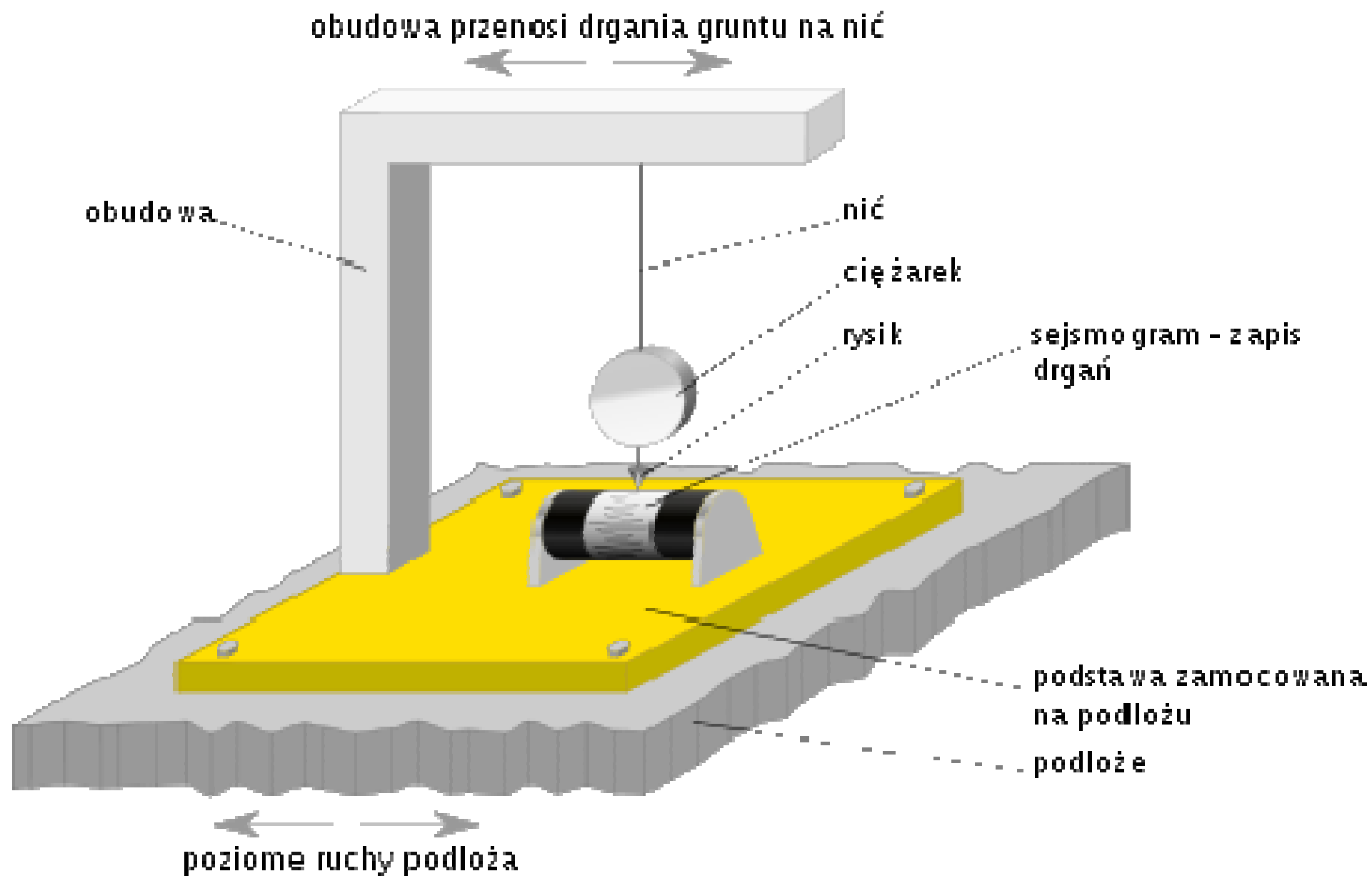




- Metalowe naczynie w kształcie dzbana, do którego ze wszystkich stron przymocowano głowy smoków, a na podstawie umieszczono figury żab.
- Każdy ze smoków w pysku ma wyważoną kulkę
- W chwili wibracji kulka ustawiona od strony epicentrum wypadła do pyska żaby
- Dzięki temu władze cesarskie wysyłały pomoc w dany region jeszcze przed nadejściem informacji o trzęsieniu



XIX wiek



# Najsilniejsze trzęsienia Ziemi

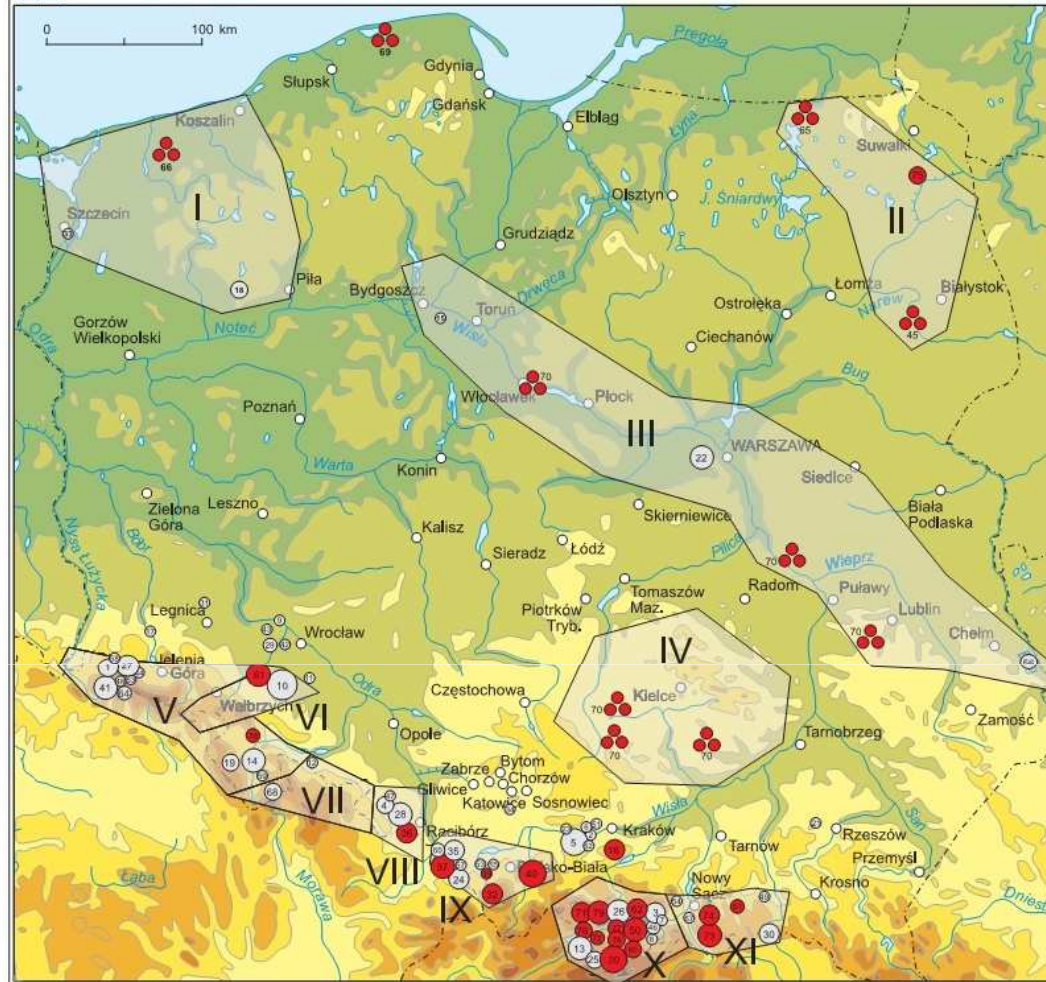
- 22 maja 1960 – południowe Chile – 9,5
- 28 marca 1964 – południowa Alaska – 9,2
- 26 grudnia 2004 – północna Sumatra – 9,1

- **Najtragiczniejsze trzęsienia Ziemi**

- 1556 – Shaanxi, Chiny – 8,0 – ok. 830 tys.
- 1976 – Tangsham, Chiny – 7,5 – ok. 650 tys.

# Trzęsienia Ziemi w Polsce

- Największe w Polsce trzęsienie ziemi o intensywności  $9^0$  (w skali Mercallego),  $6^0$  (w skali Richtera) miało miejsce 5 czerwca 1443 roku
- W latach 1000 – 2007 zanotowano w Polsce 81 trzęsień ziemi, z których 5 miało siłę  $6^0$  w skali Richtera
- Ostatnie z nich zanotowano 3.12.1786 r
- Najmłodsze z trzęsień ziemi miało miejsce 25.09.2007 roku w rejonie Beskidu Niskiego i Pogórza Rożnowskiego i wyniosło  $2,4^0$  w skali Richtera



### LEGENDA

- Epicentra zlokalizowane
- Epicentra przypuszczalne
- Wstrząsy rojowe  
(liczne słabe, występujące w krótkim okresie czasu)
- Regiony sejsmiczne

Opracowanie: Maria Hojny-Kołoś  
e-mail: [m\\_hojny@go2.pl](mailto:m_hojny@go2.pl)

Grafika: Andrzej Skrzyński  
e-mail: [skand@igf.edu.pl](mailto:skand@igf.edu.pl)

Nr	Nazwa regionu	Nr	Nazwa regionu
I	Zachodniopomorski	VII	Śnieżnika
II	Białostocki	VIII	Opawski
III	Polski Centralnej i Pogranicza	IX	Cieszyński
IV	Gór Świętokrzyskich	X	Pieniński
V	Karkonoszy i Kotliny Kłodzkiej	XI	Krynicki
VI	Strzelińsko-Hronowski		

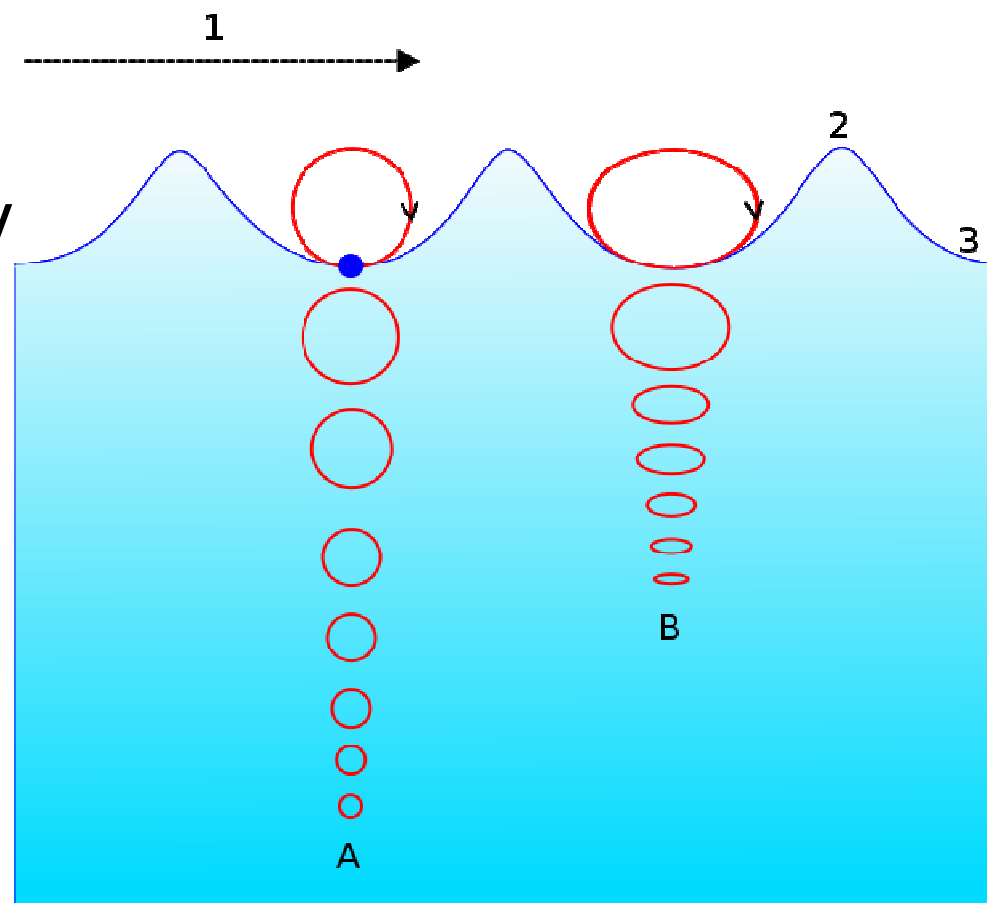
Ryc. 1. Trzęsienia ziemi w Polsce w latach 1000–2007 (oprac. M. Hojny-Kołoś)



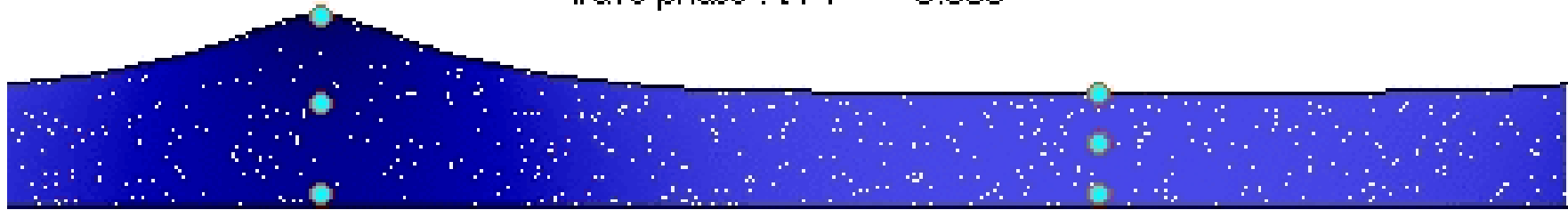
# Fale morskie i oceaniczne

- To oscylacyjny ruch cząstek wody po orbitach kołowych lub eliptycznych
- Najczęstszą przyczyną falowania jest tarcie wiatru o powierzchnię wody

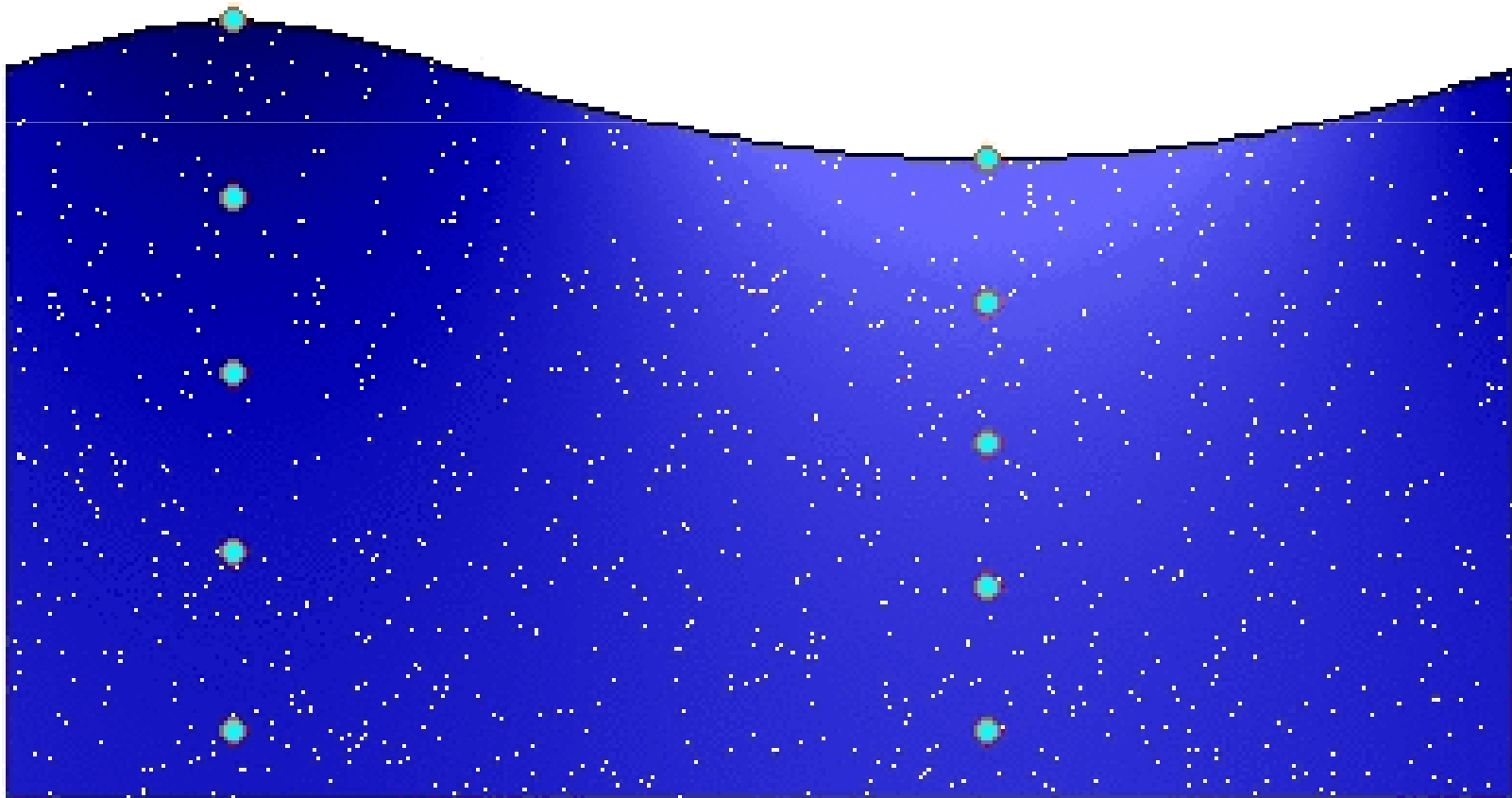
- A – Na głębinach, kołowy ruch cząsteczek maleje z głębokością
- B – Na płycznach ruch kołowy zmienia się na eliptycznie spiralny – tym bardziej im płytsza jest woda



wave phase :  $t / T = 0.000$



wave phase :  $t / T = 0.000$



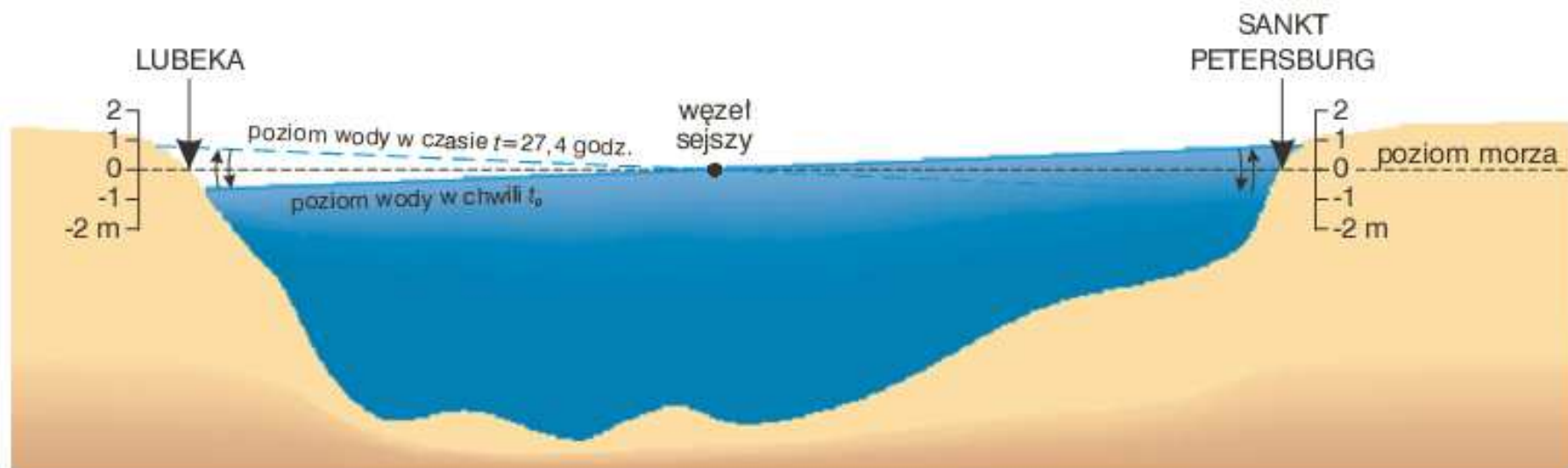
# Wysokość fal

- 70% fal na morzach nie przekracza 2 m
- Najwyższe z fal na Bałtyku – fale sztormowe – osiągają 3-4 m wysokości
- Na oceanach fale sztormowe dochodzą do 15 m wysokości
- Najwyższa zaobserwowana fala oceaniczna osiągnęła 34 m wysokości

# Sejsze

- Kołysanie się wód
- Kołysanie przypomina kolebanie wody w naczyniu – wszystkie cząstki wahają się w jednym rytmie, a rozpiętość tych wahań jest różna w poszczególnych punktach
- Największe występuje na krańcach zbiornika, a najmniejsze wokół jego środka
- Powstają gdy nad powierzchnią morza lub jeziora (zbiornika zamkniętego) utworzą się dwa układy różnych ciśnień atmosferycznych
- Pod wpływem różnic ciśnienia powstaje różnica poziomu wody
- Po wyrównaniu ciśnień utrzymuje się przez pewien czas szerokie kołysanie o amplitudzie dochodzącej do nieraz do ponad 1 m

- Może być wywołana przez małe lokalne trzęsienie ziemi pod dnem zbiornika bądź wiatry
- Rytm kołysania na małym zbiorniku wodnym (jeziorze, zatoce morskiej) jest kilkunasto- lub kilkudziesięcio-minutowy, na Bałtyku - kilkunastogodzinny

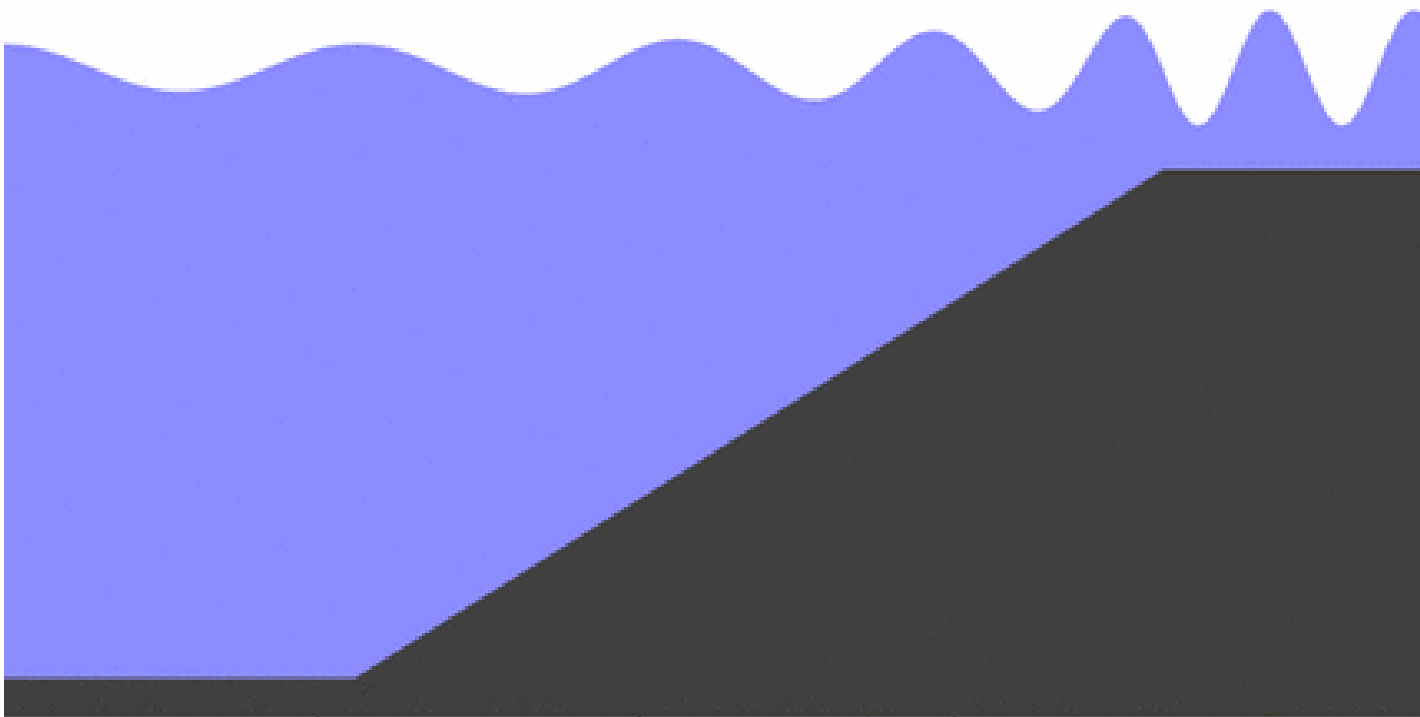


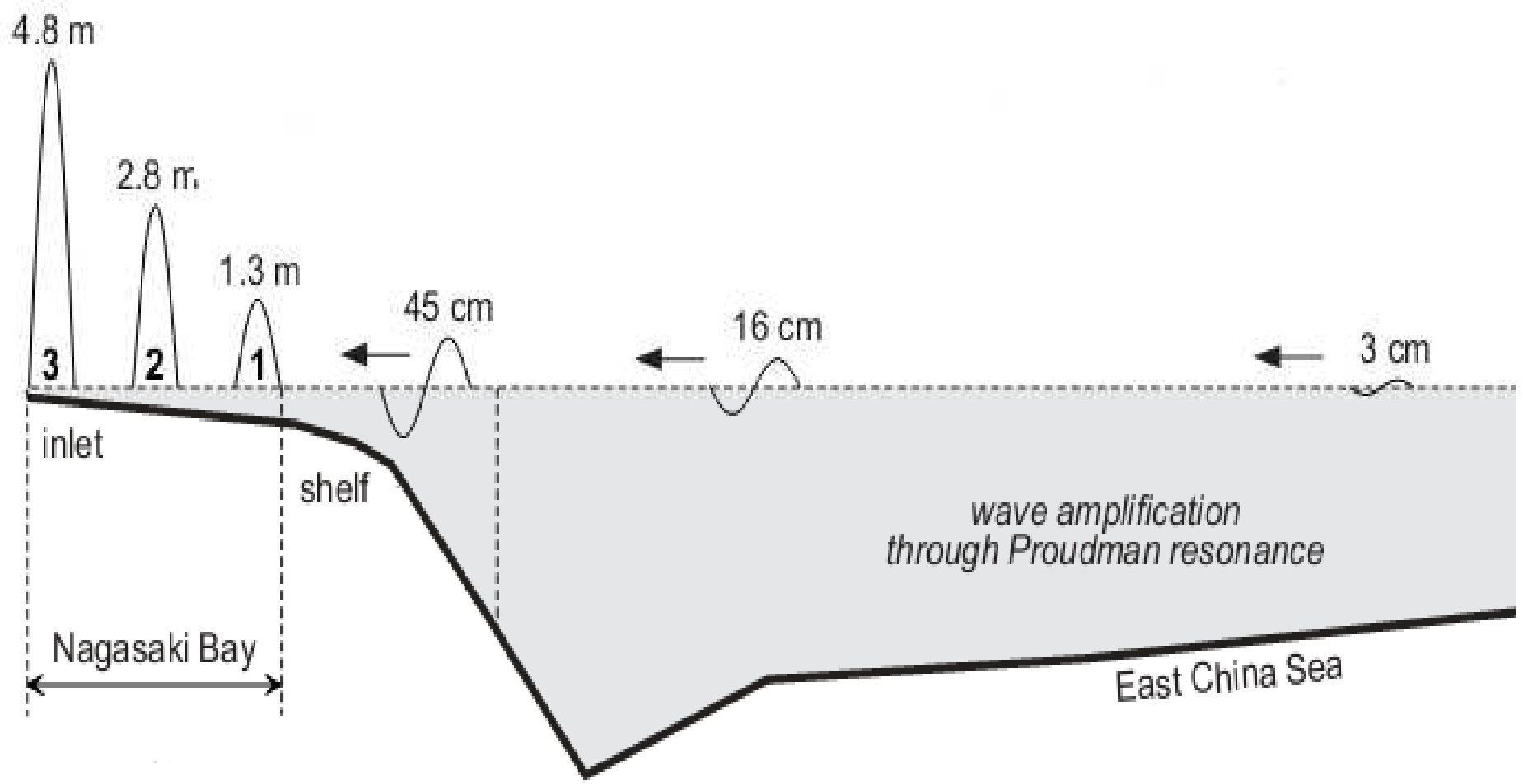
# Tsunami

- Fala oceaniczna wywołana najczęściej podwodnym trzęsieniem ziemi, wybuchem podwodnego wulkanu, osuwiskiem lub cieniem się lodowca
- Czasami (jednak rzadko) wskutek uderzenia meteorytów

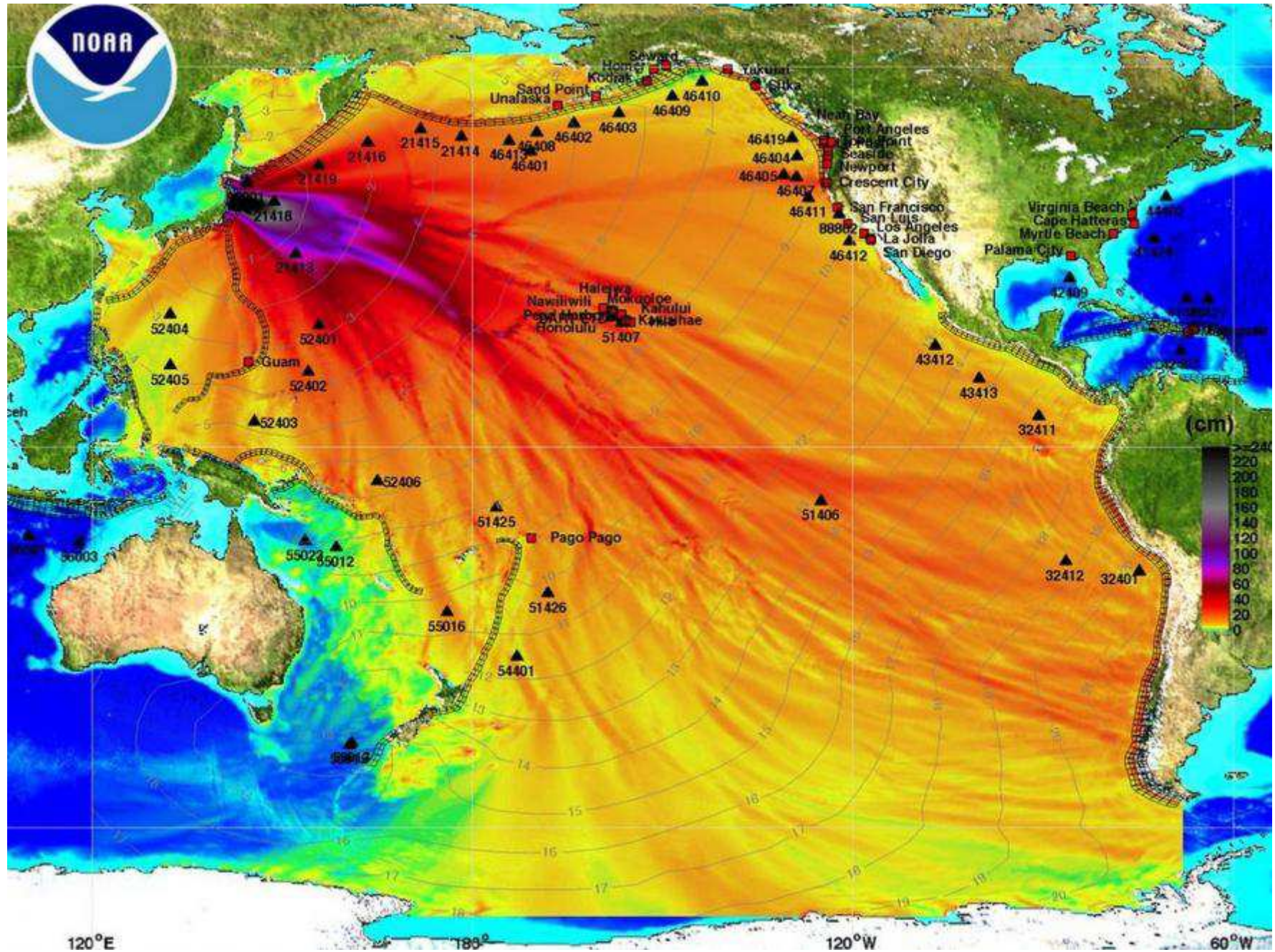


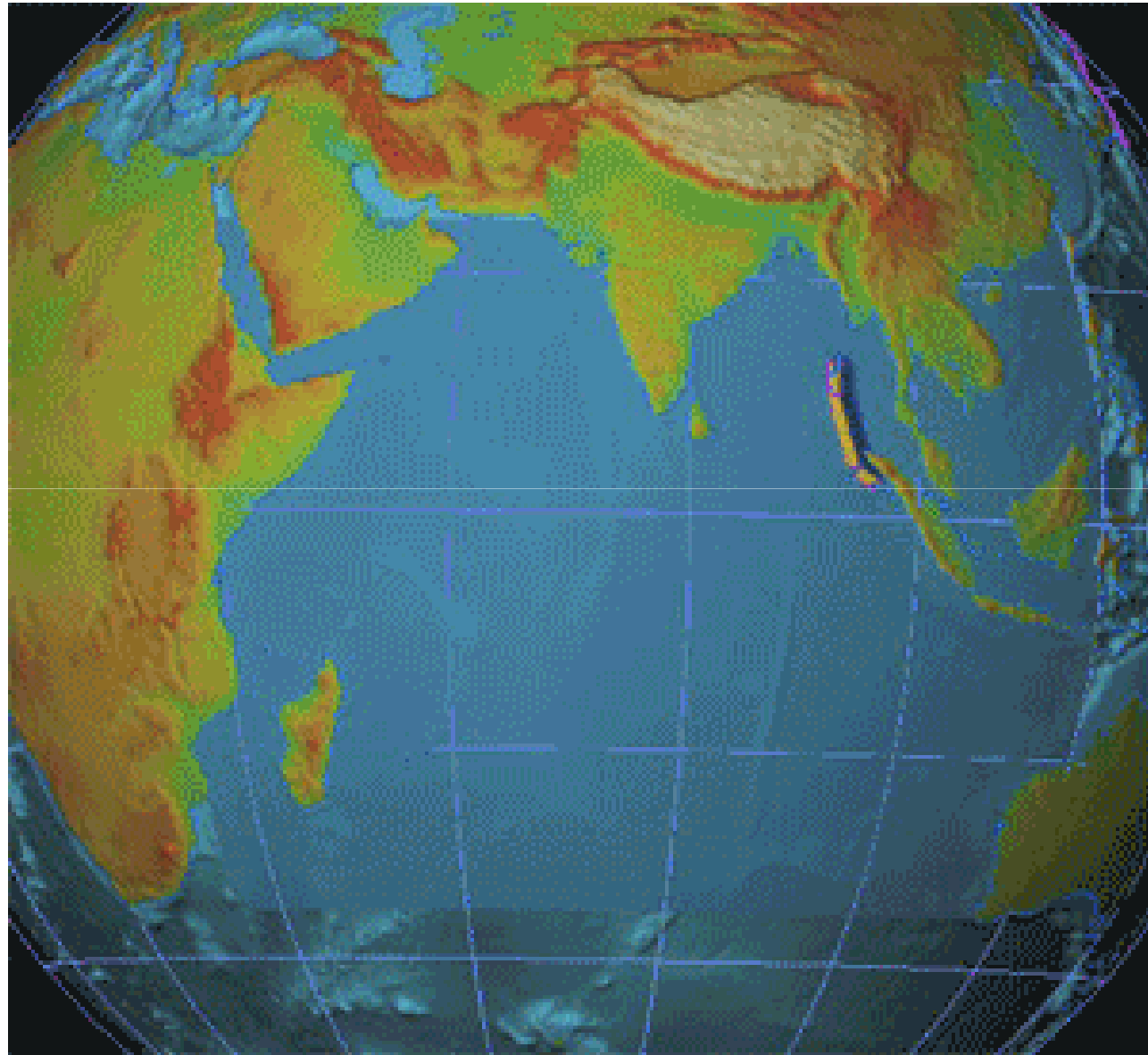
- Na pełnym morzu przejście fali tsunami może być praktycznie niezauważone, ponieważ długość fali może dochodzić do kilkuset kilometrów, a wysokość nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów
- Dopiero w strefie brzegowej może osiągnąć wysokość kilkudziesięciu metrów











# Energia wyzwalana przez fale tsunami

- Energia fal tsunami, które pojawiły się na wskutek wstrząsów w rejonie Indonezji (26 grudnia 2004 roku) została obliczona na około 20 PJ (petadżuli)
- Jest to co najmniej dwa razy więcej, niż wyniosła całkowita energia wyzwolona we wszystkich eksplozjach ładunków wybuchowych podczas II wojny światowej (wliczając w to dwie amerykańskie bomby atomowe)
- Tsunami, które wtedy powstało przejęło zaledwie 1% energii jaka została wytworzona w rezultacie trzęsienia ziemi



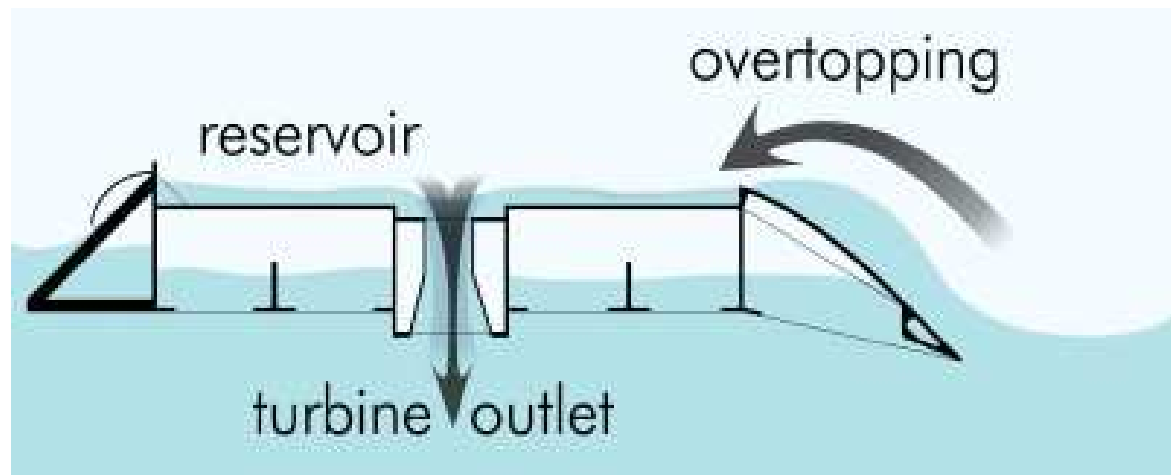
# Wykorzystanie energii z fal oceanicznych

- Do tej pory najczęściej na potrzeby energetyki wykorzystywano energię pływów morskich
- Energia fal morskich jest jednak kilka tysięcy razy większa
- W jaki sposób można wykorzystać energię fal morskich ?
- Pelamis Wave Power



- Pelamis jest to stalowy, czerwony wąż, który ma ponad sto metrów i składa się z czterech cylindrów złączonych ze sobą za pomocą giętkich zawiasów.
- Fale wprawiają zakotwiczoną konstrukcję w ruch i powodują przemieszczanie się względem siebie pojedynczych modułów, napędzając w ten sposób hydrauliczne silniki, które z kolei są napędem dla generatorów produkujących energię elektryczną
- Planowane efekty to początkowo (750 kW), które będą wytwarzać 2,25 MW ekologicznej energii elektrycznej
- Wystarczy to dla 1500 portugalskich gospodarstw domowych i zlikwidowania emisji 2000 ton metrycznych CO<sub>2</sub> rocznie
- Druga faza projektu przewiduje dodanie do farmy 28 dodatkowych przekształtników Pelamis, czyli wytworzenie ilości energii elektrycznej wystarczającej do zaspokojenia potrzeb 15000 portugalskich gospodarstw domowych, co jednocześnie zlikwiduje to 60 000 ton metrycznych emisji CO<sub>2</sub>

- Pelamis to nie jedyne urządzenie do pozyskiwania energii z fal morskich
- Falowy smok - Wave Dragon – to prototyp pływającej elektrowni. W 2003 roku rozpoczęto testy smoka i po roku pracy i prawidłowym działaniu urządzenia trwają przygotowania do uruchomienia elektrowni już „normalnych rozmiarów” u wybrzeży Walii

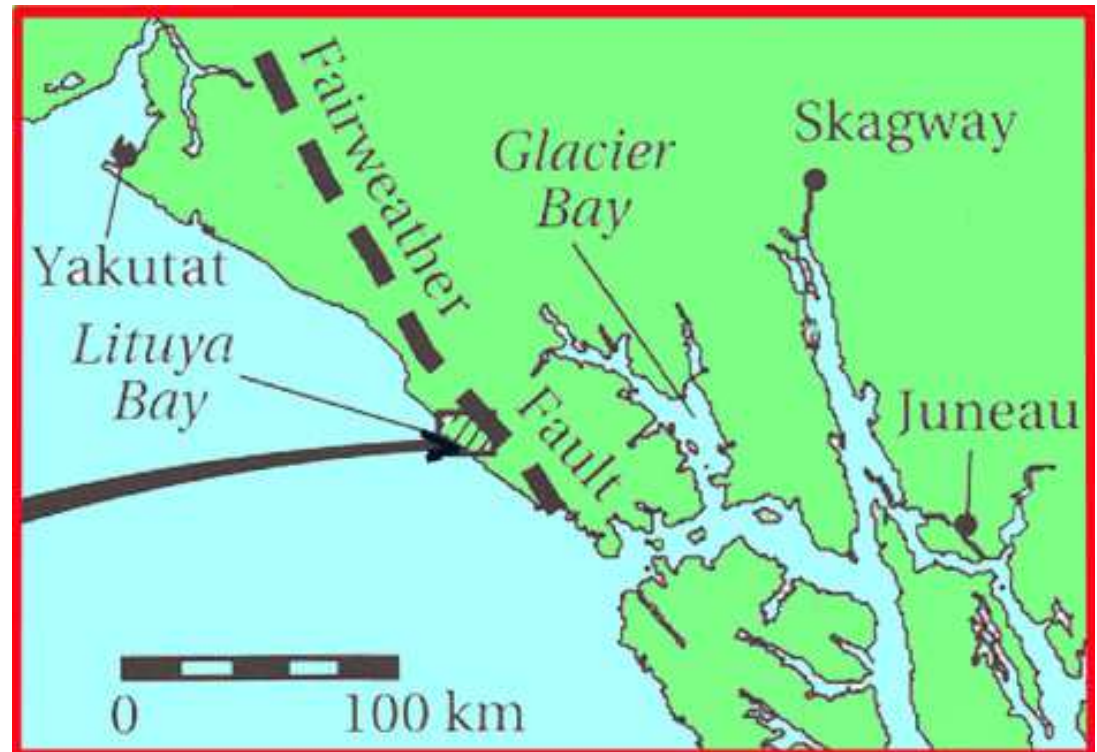


- Prototyp składa się z platformy, rezerwuaru wody i dwóch ramion, które podwyższają skuteczność zbierania wody niesionej przez nadchodzące fale
- Kiedy już wpłynie między te ramiona, spiętrza się, a następnie przelewa do zbiornika. Na dole tego zbiornika są wyloty i kiedy woda nimi wypływa, napędza turbiny, a one generatory.

- Elektrownia, która powstanie u wybrzeży Walii w początkowym okresie ma zapewnić energię dla 6 tys. gospodarstw, a w dalszym okresie dla 60 tys. gospodarstw
- Kolejne kraje, które już zapowiedziały tworzenie takich elektrowni to: Irlandia, Dania, Norwegia, Niemcy, Hiszpania, Francja i Chiny.
- Polska ?
- Według prof. M. Kaźmierkowskiego z Politechniki Warszawskiej instalowanie na Bałtyku urządzeń podobnych do Wave Dragona MW w celach komercyjnych jeszcze długo nie będzie opłacalne.
- Szacuje się, że w przyszłości fale oceaniczne zaspokoją 15% światowego zapotrzebowania na elektryczność

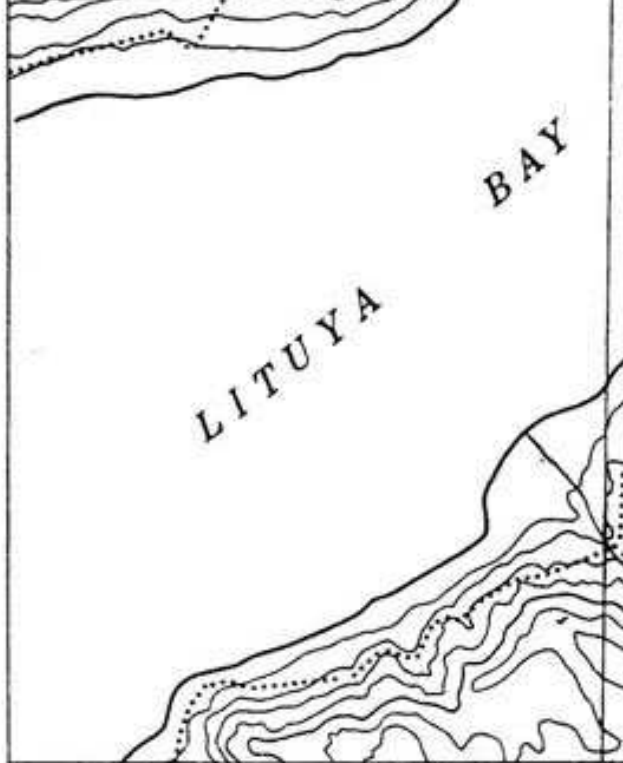
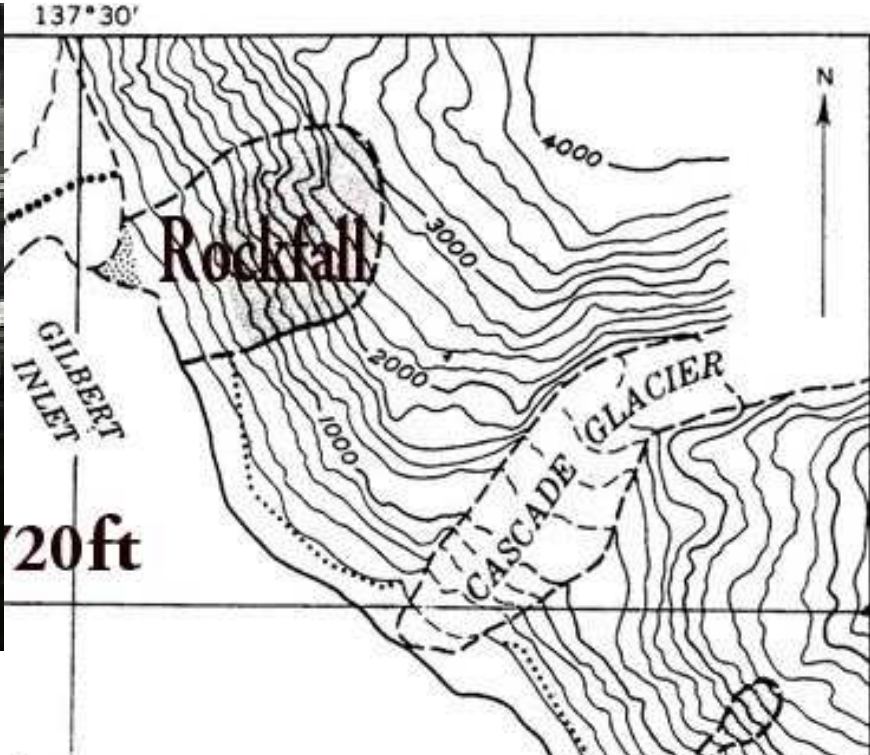
# Najwyższe tsunami w historii

- 3 najwyższe fale jakie kiedykolwiek zanotowano w historii wystąpiły w zatoce Lituya na Alasce.
- Najwyższa fala osiągnęła wysokość 524 m
- Za pierwszą „trójką” następne fale nie przekroczyły już 40 m wysokości
- Jak powstało tsunami w Lituya Bay ?

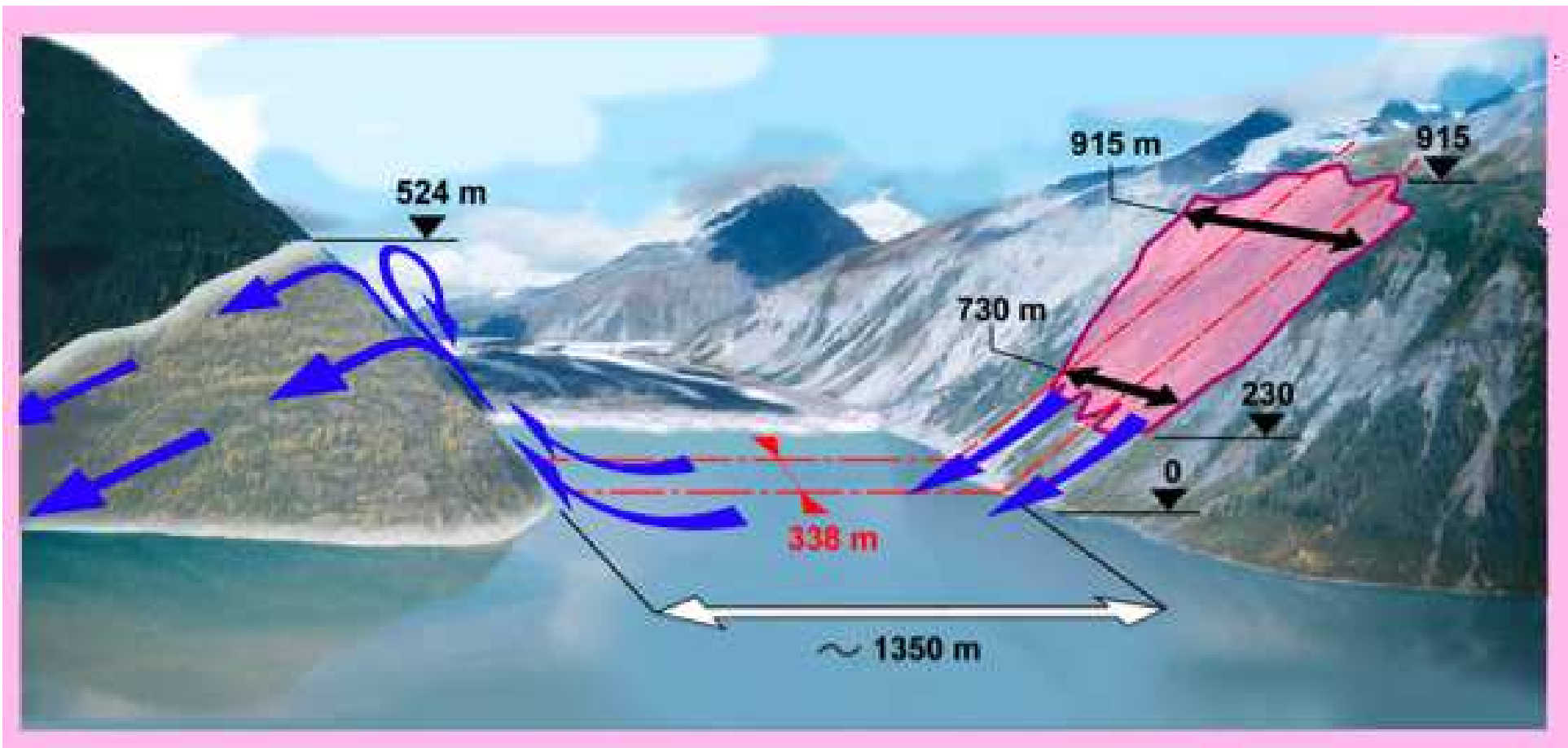


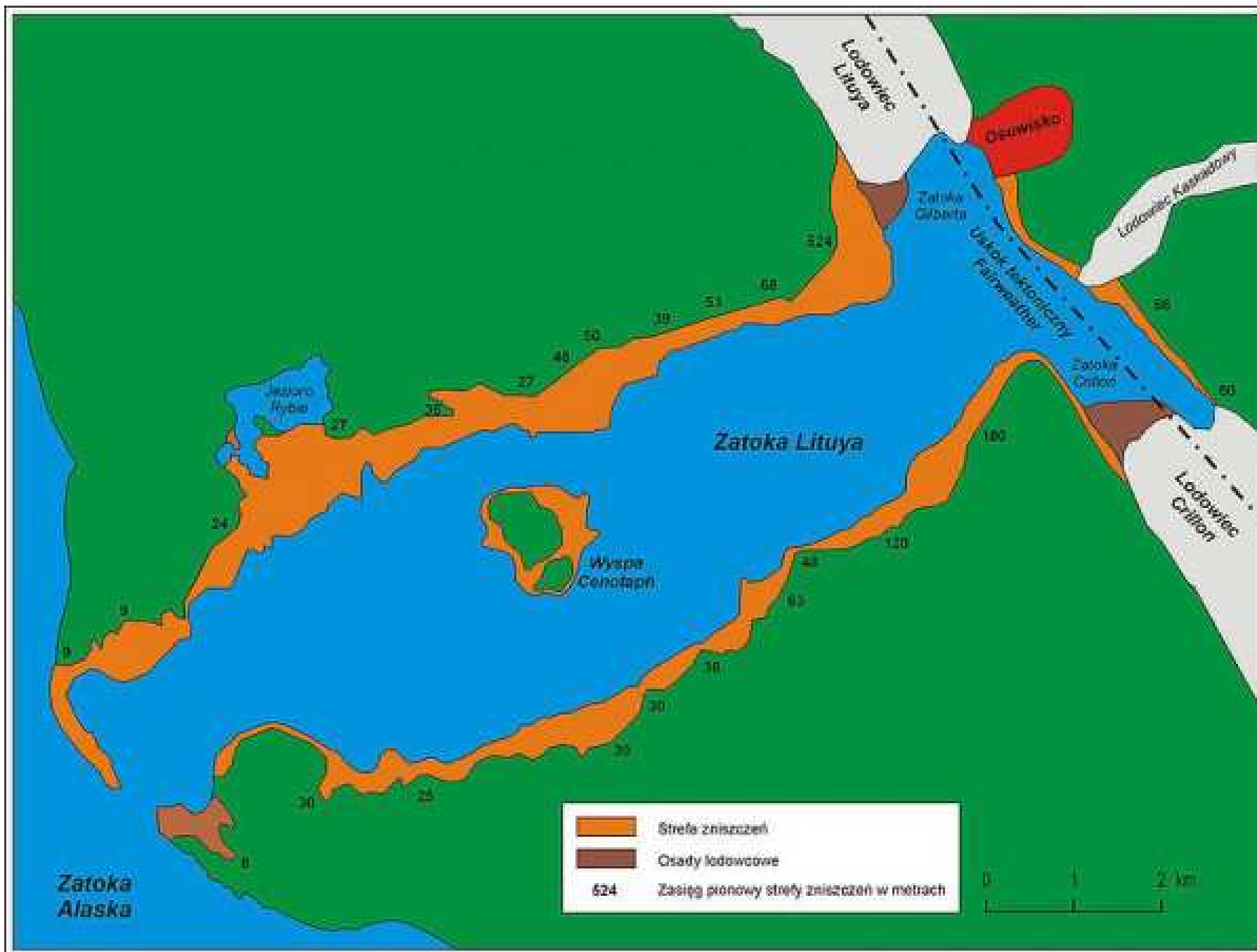






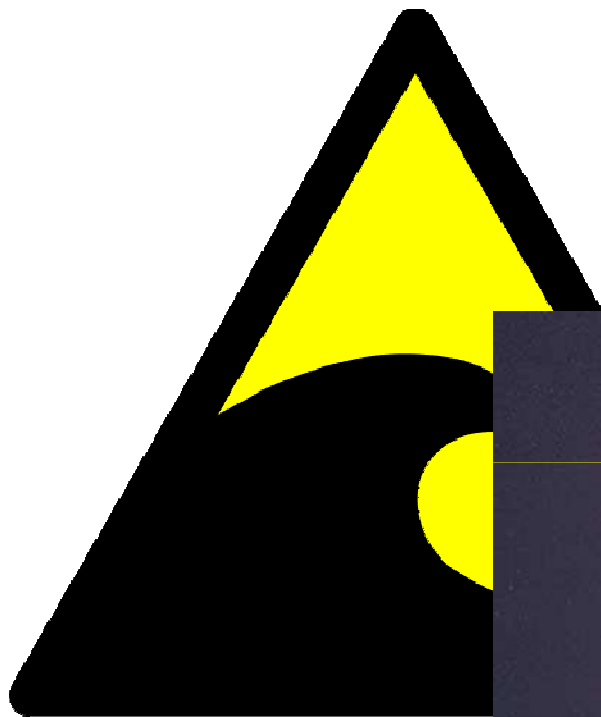




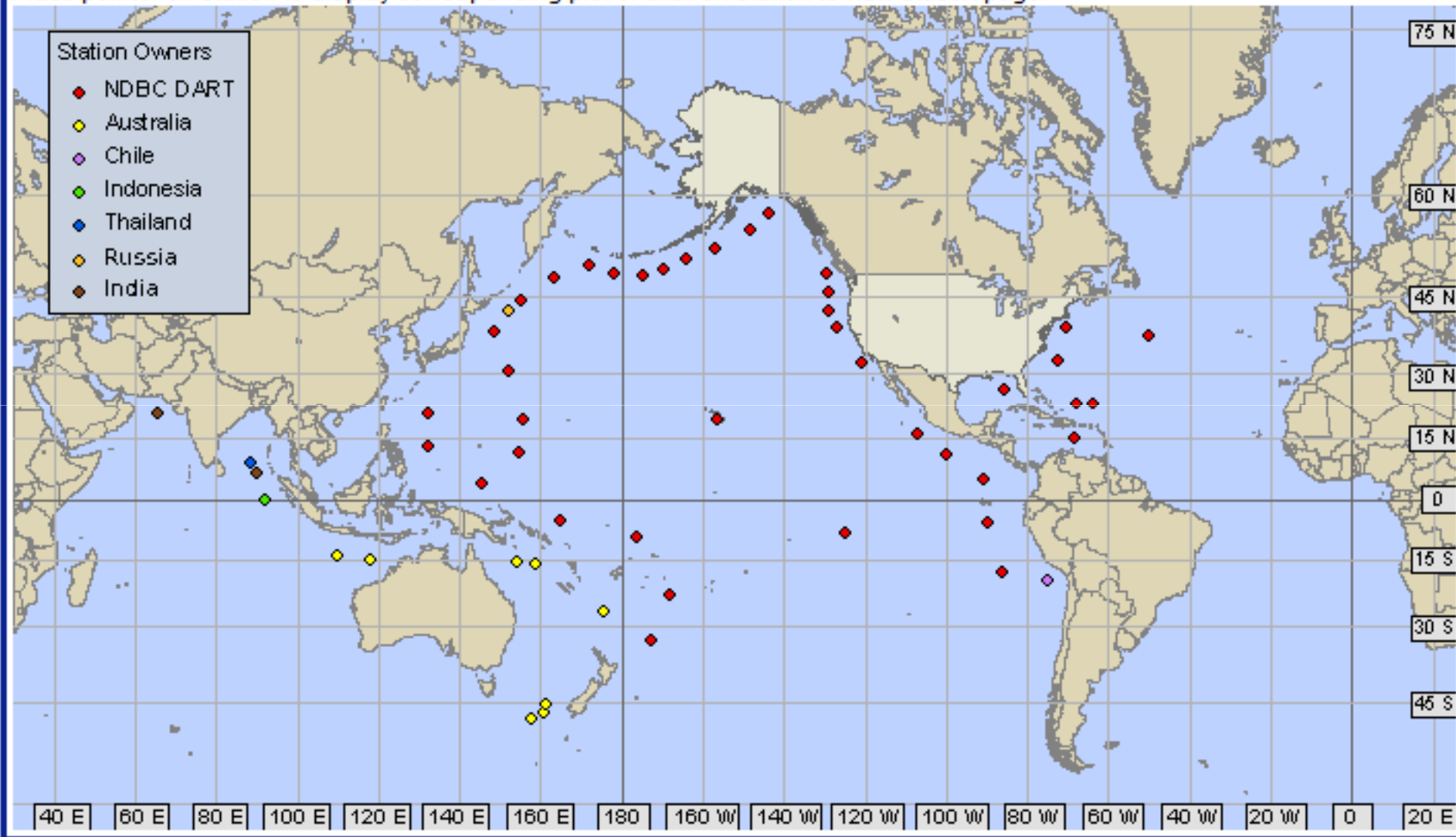




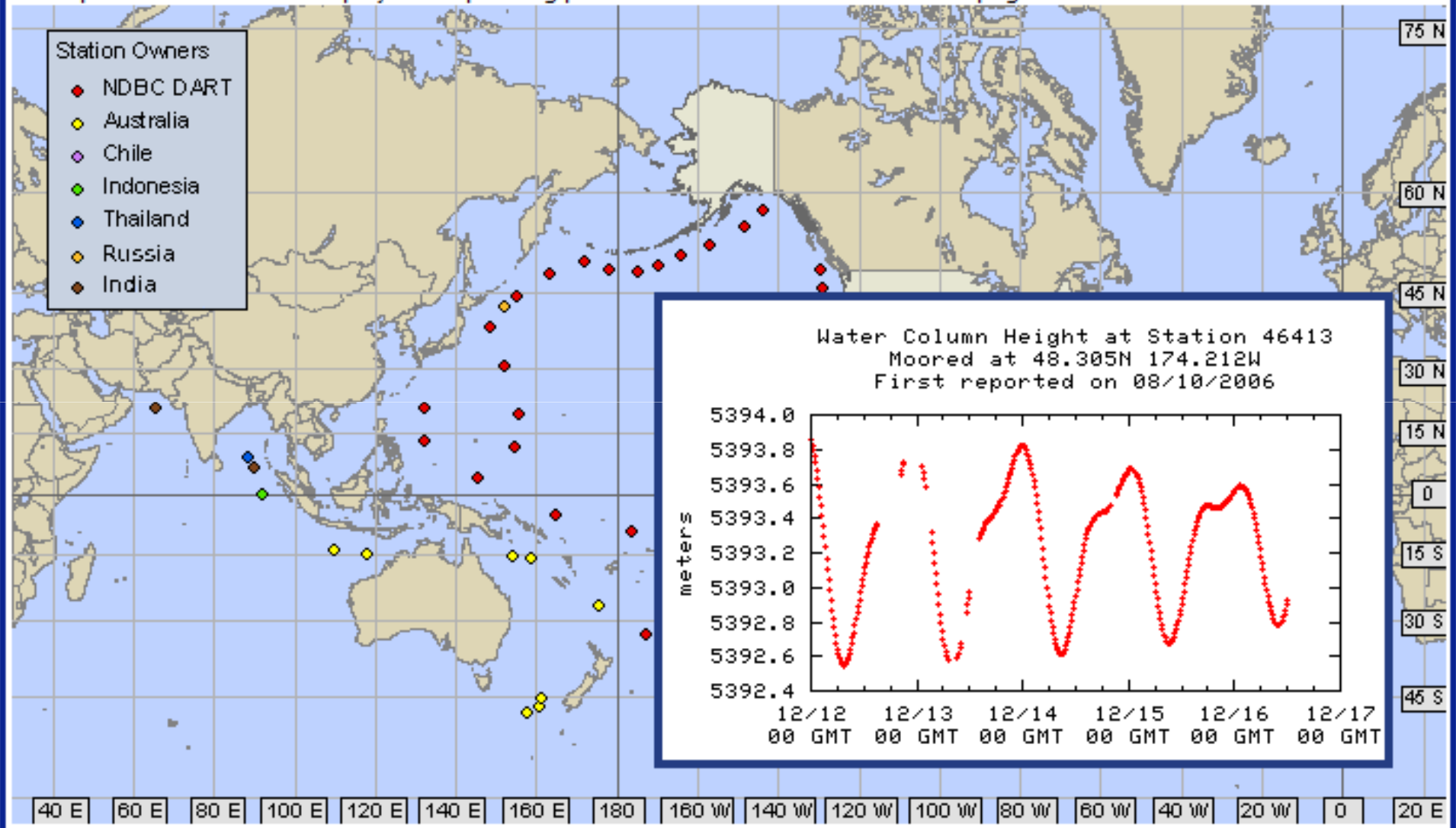
# Środki zaradcze przed tsunami



Place pointer on station to display corresponding plot or click on station to view station page.



Place pointer on station to display corresponding plot or click on station to view station page.





°B	m/s	Nazwa wiatru	Powierzchnia morza	Oznaki na lądzie
0	0,0-0,2	cisza	morze gładkie	bezruch powietrza
1	0,3-1,5	powiew	zmarszczki o wyglądzie łusek	dym unosi się prawie pionowo
2	1,6-3,3	słaby wiatr	tworzy się drobna, krótka fala, której grzbiety mają szklisty wygląd	odczuwalny powiew, drżą liście
3	3,4-5,4	łagodny wiatr	pojawiają się bardzo małe fale, których grzbiety zaczynają się załamywać; piana jest jeszcze szklista, sporadycznie pojawiają się białe grzebienie	liście poruszają się
4	5,5-7,9	umiarkowany wiatr	małe fale, które zaczynają się wydłużać, sporo białych grzebieni	wiatr porusza gałązki, unosi się kurz i suche liście
5	8-10,7	świeży wiatr	fale średniej wielkości, wydłużone; białe grzebienie i pojedyncze bryzgi oraz poszum morza	wiatr porusza większe gałęzie i prostuje duże flagi
6	10,8-13,8	silny wiatr	tworzą się duże fale i duże białe pienne grzbiety; słychać szum morza	wiatr porusza grube gałęzie, słychać świst

7	13,9-17,1	bardzo silny wiatr	fale piętrzą się; piana z grzbietów układa pasma wzdłuż kierunku wiatru	wiatr porusza cieńsze pnie
8	17,2-20,7	sztorm	wysokie i długie fale, których wierzchołki zaczynają się odrywać w postaci wirujących bryzgów; piana układa się wzdłuż kierunku wiatru	wiatr ugina pnie i łamie gałęzie
9	20,8-24,4	silny sztorm	wysokie fale i gęste pasma piany; bryzgi zmniejszające widoczność	wiatr unosi drobne przedmioty, niszczy lekkie konstrukcje
10	24,5-28,4	bardzo silny sztorm	bardzo wysokie fale i długie przewalające się grzbiety; morze białe; zmniejszona widzialność	wiatr łamie i wrywa drzewka, poważnie niszczy konstrukcje
11	28,5-32,6	gwałtowny sztorm	wyjątkowo wysokie fale; wiatr zrywa wierzchołki fal i je rozpyla, zmniejszona widzialność	wiatr łamie pnie drzew, niszczy znaczną część konstrukcji
12	>32,6	huragan	piana i bryzgi w powietrzu; morze jest zupełnie białe od pyłu; bardzo ograniczona widzialność	wiatr niszczy budynki

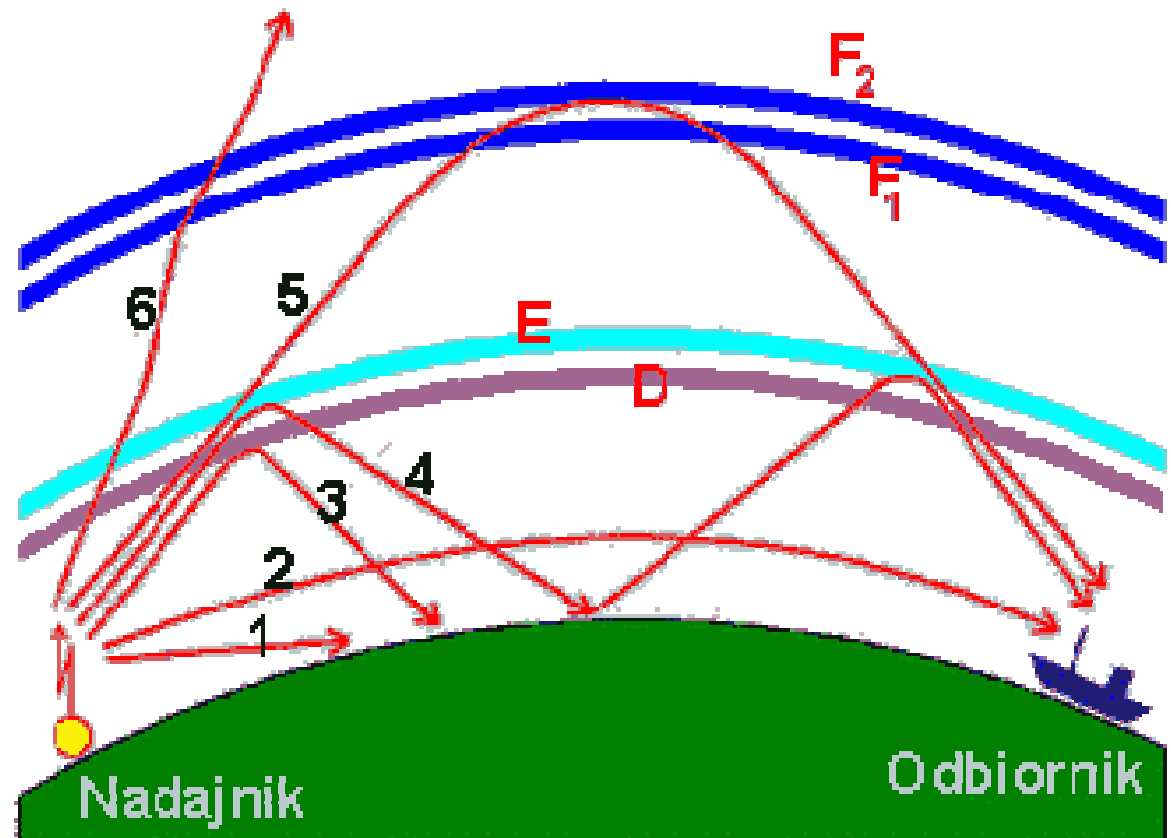
- Skala Beauforta określa siłę wiatru
- Do określenia stanu morza służy inna skala (skala stanów morza)

stan morza	określenie stanu morza	wysokość fali w metrach
0	lustrzana gładź (Calm-glasy)	0
1 ( I )	zmarszczki (Calm-rippled)	0,0 - 0,1
2 ( II )	bardzo łagodne (Smooth wavelets)	0,1 - 0,5
3 ( III )	łagodne (Slight)	0,5 - 1,25
4 ( IV )	umiarkowane (Moderate)	1,25 - 2,5
5 ( V )	wzburzone (Rough)	2,5 - 4,0
6 ( VI )	bardzo wzburzone (Very rough)	4,0 - 6,0
7 ( VII )	wysokie (High)	6 - 9
8 ( VIII )	bardzo wysokie (Very high)	9 - 14
9 ( IX )	niezwykłe (Phenomenal)	ponad 14

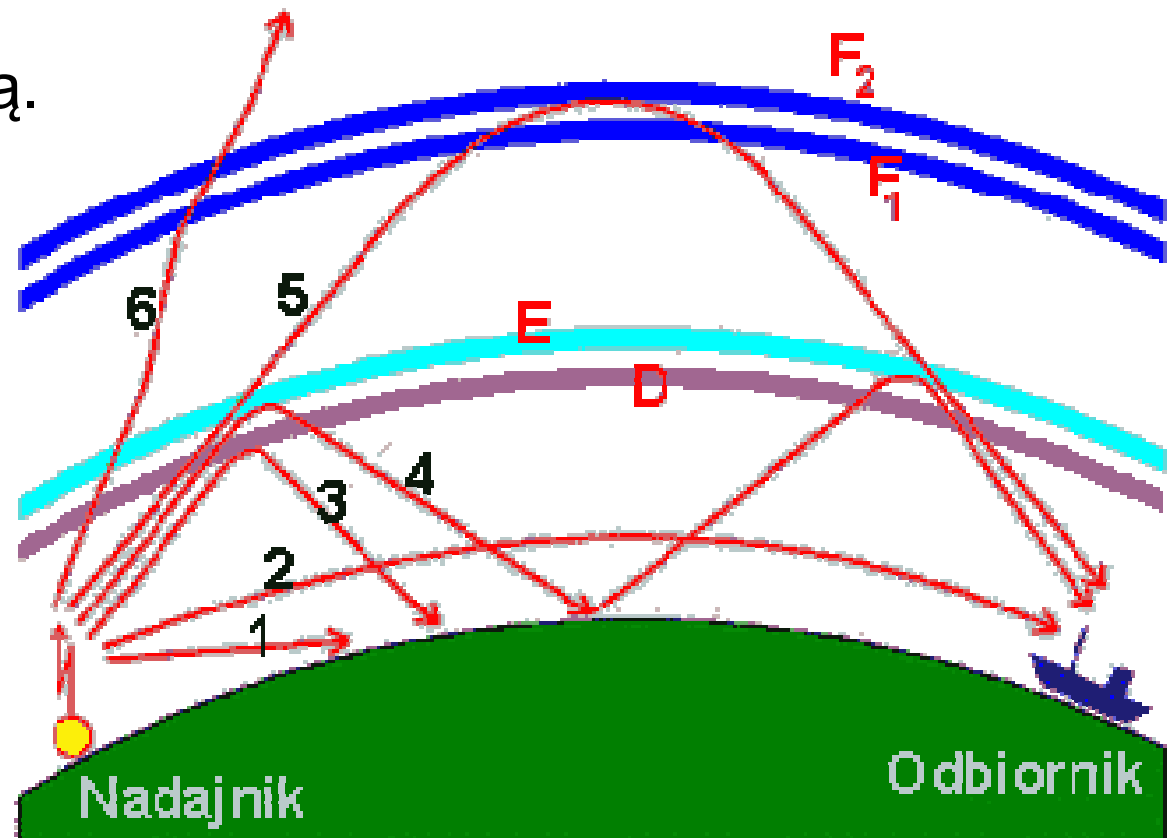
# Fale radiowe

- Fale radiowe to fale elektromagnetyczne o długości większej od 0,1 mm
- Fale radiowe mogą być pochodzenia:
  - Naturalnego: wyładowania atmosferyczne, zjawiska geologiczne we wnętrzu ziemi, zorze polarne, gwiazdy
  - Sztucznego: nadajnik radiowy, różnego rodzaju zakłócenia / szумы (np. kuchenka mikrofalowa)
- Powstają przez wypromieniowanie energii z anteny nadawczej (układu nadawczego), który jest elektronicznym układem drgającym
- Ze względu na środowisko propagacji wyróżniamy: falę przyziemną (powierzchniową i nadziemną), troposferyczną, jonosferyczną i w przestrzeni kosmicznej
- W zależności od długości fali jej propagacja poddawana jest wpływowi różnych zjawisk np. dyfrakcji, refrakcji, odbicia

- Jedną z najważniejszych ról w przesyłaniu i odbiorze fal radiowych odgrywa jonosfera.
- Dolna część jonosfery dzieli się na warstwy D (60-90 km), E (około 120 km), F1 (180-240 km) i F2 (220-300 km)
- Fale długie łatwo ulegają ugięciu czyli dyfrakcji i mogą stanowić fala długą przyziemną (oznaczone 2 na rysunku) oraz odbijają się od warstwy D (3 na rysunku) i w ogóle nie są pochłaniane przez jonosferę. Dlatego mają najdalszy zasięg niezależnie od pory dnia i roku.
- Fale średnie odbijające się od warstwy E (4 na rysunku), mają o wiele większy zasięg w nocy, gdyż wtedy zanika warstwa D, przez którą są pochłaniane.



- Fale krótkie natomiast na Ziemi tworzą fala krótką falę przyziemną (na rysunku 1) i odbijają się od warstw F1 i F2 (5 na rysunku) (*warstwa F1 występuje jedynie w lecie*) oraz od powierzchni Ziemi i dzięki temu są słyszalne na bardzo dużym obszarze, jednak tylko w tych miejscach, do których biegnie fala po odbiciu od jonosfery.
- Fale ultrakrótkie i mikrofale (6 na rysunku) nie ulegają odbiciu od jonosfery i uciekają w przestrzeń kosmiczną. To właśnie one są nadawane i odbierane przez satelity telekomunikacyjne lub służą do łączności satelitarnej (mikrofale)



<b>Podział tradycyjny</b>	<b>Zastosowanie</b>
fale bardzo długie	radionawigacja, radiotelegrafia dalekosiężna
fale długie	radiotelegrafia, radiolatarnie, radiofonia
fale średnie i pośrednie	radiofonia, radiokomunikacja lotnicza i morska
fale krótkie	radiofonia i radiokomunikacja
fale ultrakrótkie	telewizja, radiofonia, radiokomunikacja, łączność kosmiczna
mikrofale	radiolokacja, łączność kosmiczna