

Tsunami

P. F. Góra

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

<http://th-www.if.uj.edu.pl/zfs/gora/>

Kraków, 7 kwietnia 2017



I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

I. Co to jest tsunami



Katsushika Hokusai, *Wielka fala u wybrzeża Kanagawa*, fragment cyklu *Trzydzieści sześć widoków góry Fuji* (1823-39). Choć autor zamierzał przedstawić falę tsunami, rysunek jest mylący, gdyż tsunami na ogół nie wyglądają jak wielkie, łamiące się fale.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

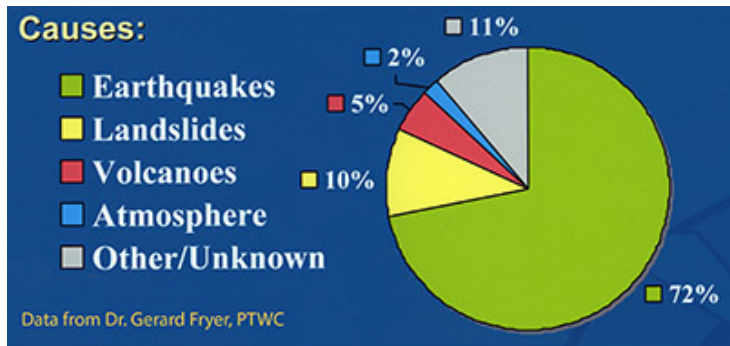
III. Fizyka tsunami
tektonicznegoIV. Niszczycielskie
działanie tsunamiV. Dane historyczne i
przewidywania

VI. Podsumowanie

Tsunami dosłownie oznacza “falę zatokową”. Są to bardzo długie fale, przybierające monstrualne rozmiary na płytkich wodach przybrzeżnych, jednak w zdecydowanej większości przypadków pochodzące z głębokich wód oceanicznych.

Tsunami są falami płytkiej wody, ale co to *naprawdę* znaczy, zobaczymy za chwilę.

II. Przyczyny tsunami



Około trzy tsunami na rok.

Około 3/4 tsunami ma przyczyny sejsmiczne. Spośród podoceanicznych trzęsień ziemi, tylko te, w których jedna płyta tektoniczna wciska się pod drugą, mogą wywołać tsunami.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

I. Co to jest tsunami

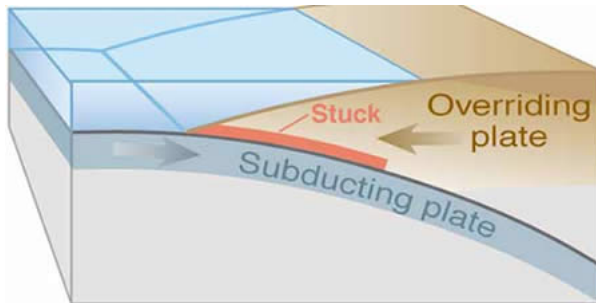
II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie



Płyta tektoniczna wsuwa się pod drugą (subdukcja)...

I. Co to jest tsunami

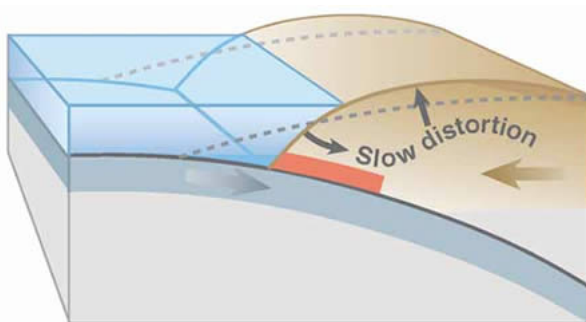
II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami
tektonicznego

IV. Niszczycielskie
działanie tsunami

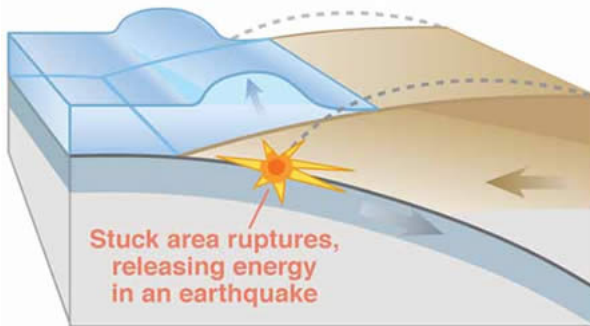
V. Dane historyczne i
przewidywania

VI. Podsumowanie



Górna płyta “zakleszcza się”...

Earthquake starts tsunami



Naprężenie zostaje gwałtownie uwolnione.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

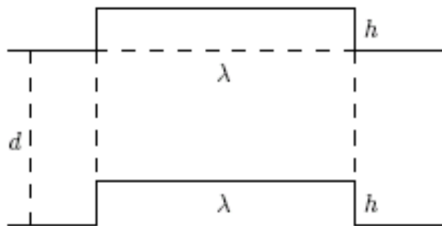
IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody



Na skutek pionowego przesunięcia się dna oceanicznego powstaje "górze wody" o wysokości h , szerokości λ i długości (wgląd rysunku) L . Głębokość oceanu wynosi d . Można założyć, że cała kolumna wody nad wypiętrzonym dnem podnosi się jednocześnie.

Dla typowych tsunami mamy $\lambda \simeq 150$ km, $L \simeq 1200$ km, $h \simeq 5$ m. Średnia głębokość oceanu wynosi $d = 4$ km.

Energia "górze wody" wynosi $E = \frac{1}{2} \rho g \lambda L h^2 \simeq 2 \times 10^{16}$ J.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody

2. Rozpad "górze wody"

3. Prędkości przepływu

4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

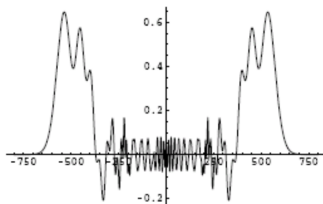
V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

2. Rozpad “góry wody”

“Góra wody” rozpada się na składowe harmoniczne, rozprzyskające się symetrycznie od uskoku, *o długościach aż do szerokości obszaru wypiętrzonego $\lambda \simeq 150$ km.*

Szacujemy, iż amplituda najdłuższego modu wynosi $a = 1.5$ m.



Symulacja rozpadu “góry wody” o początkowej wysokości $h = 1$ i szerokości $\lambda = 200$ (w umownych jednostkach).

$$a \ll d \ll \lambda \quad (1)$$

Tsunami **jest** falą płytkiej wody i to falą o bardzo małej amplitudzie!

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody

2. Rozpad “góry wody”

3. Prędkości przepływu

4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

3. Prędkości przepływu

(i) W ciągu połowy okresu grzbiet fali staje się doliną, a zatem prędkość przepływu pionowego musi być rzędu

$$V \sim \frac{a}{\tau} \quad (2)$$

(ii) Ponieważ woda jest nieściśliwa, w tym samym czasie woda musi przemieszczać się horyzontalnie. Ponieważ tsunami jest falą płytkiej wody, można przyjąć, że cała kolumna wody pod grzbietem fali przemieszcza się z tą samą charakterystyczną prędkością U . Objętość wody przemieszczona poziomo musi być porównywalna z objętością wody przemieszczoną pionowo (od grzbietu do doliny fali), a więc

$$U_{\tau} L d \sim a \lambda L \quad \Rightarrow \quad U \sim \frac{a \lambda}{\tau d} \quad (3)$$

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody

2. Rozpad "góry wody"

3. Prędkości przepływu

4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

4. Relacja dyspersyjna

(i) W fali harmoniczej średnia energia kinetyczna jest równa średniej energii potencjalnej. Mamy zatem

$$\rho \cdot \lambda L d \cdot U^2 \sim \rho \cdot \lambda L a \cdot g a \quad (4)$$

(ii) Wstawiając do (4) wyrażenie (3) na U , otrzymujemy następującą **relację dyspersyjną dla fal płytkiej wody**:

$$\tau = \frac{\lambda}{\sqrt{gd}} \quad (5)$$

(iii) Jako prędkość fazową (prędkość grzbietu fali) otrzymujemy

$$c = \frac{\lambda}{\tau} = \sqrt{gd} \quad (6)$$

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody
2. Rozpad "góry wody"
3. Prędkości przepływu

4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Tsunami zaczyna swe życie jako fala płaska, ale ponieważ czuje krzywiznę Ziemi, podróżując przez otwarty ocean staje się falą kulistą — rozciąga się, a zatem zmniejsza się jego amplituda. Oddziaływanie ze strukturami dna oceanu może prowadzić do rozpraszania i dalszego spadku amplitudy. Tsunami może odbić się od brzegu lub struktur dna morskiego i zaatakować z “odwrotnej” strony.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody
2. Rozpad “góry wody”
3. Prędkości przepływu
4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Gdy tsunami zbliża się do lądu...

...jego okres nie zmienia się. Zgodnie z relacją dyspersyjną (5), **prędkość** fazowa $c \sim \sqrt{d}$ **oraz** **długość fali** $\lambda \sim \sqrt{d}$, a więc tak prędkość fazowa, jak i długość fali **maleją** na płytkich wodach przybrzeżnych. Ponieważ energia zawarta w fali jest z bardzo dużą dokładnością zachowana, $E \sim \lambda a^2 \simeq \text{const}$, **amplituda musi rosnać** jak $a \sim 1/\sqrt{\lambda} \sim d^{-1/4}$.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody
2. Rozpad "góry wody"
3. Prędkości przepływu
4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Tsunami, które ma okres $\tau = 12$ min, rozpoczyna się na głębokości $d = 4$ km i ma tam długość fali $\lambda = 150$ km oraz amplitudę $a = 1.5$ m, porusza się z prędkością $c = 720$ km/h. Przybywszy na wody o głębokości $d = 40$ m, zwalnia do $c = 72$ km/h, jego długość fali maleje do $\lambda = 15$ km, amplituda zaś rośnie do $a = 5$ m. Na jeszcze mniejszych głębokościach amplituda rośnie jeszcze bardziej, fala zaś jeszcze bardziej zwalnia. Gdy $a \sim d$, pojawiają się efekty nieliniowe.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

1. Góra wody
2. Rozpad "góry wody"
3. Prędkości przepływu
4. Relacja dyspersyjna

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Wbrew obiegowej opinii, to nie sama *wysokość* fali jest najbardziej niszczycielskim czynnikiem tsunami — “zwykłe” fale przyboju w czasie potężnego sztormu też mogą osiągać amplitudy kilkumetrowe, jednak ich destrukcyjna potęga, choć wielka, jest znacznie mniejsza od tsunami. Co zatem decyduje o sile rażenia tsunami?

(i) Energia. Na otwartym oceanie tsunami ma energię

$$E = \frac{1}{2} \rho g \lambda L a^2, \quad (7)$$

co przy przyjętych tu parametrach daje $E \simeq 2 \times 10^{15}$ J.

Bardzo niewiele energii jest rozpraszane, zatem przy uderzeniu o wybrzeże, na każdy metr przypada

$E/L \simeq 2 \times 10^9$ J/m. Odpowiada temu gęstość mocy

$E/(L\tau) \simeq 2 \times 10^6$ W/m — tsunami wydziela kilka megawatów mocy na każdy metr wybrzeża!

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

(ii) Długość fali. Powiada się, że na brzeg spada “ściana wody”. Jest to instucija fałszywa, nie jest to bowiem “ściana” (ściana jest cienka w stosunku do swojej wysokości), ale wysoka na kilka-kilkanaście metrów, pędząca z prędkością samochodu, **gruba na kilka kilometrów płyta wody**. Tsunami może wyglądać jak bardzo gwałtowny, olbrzymi przyływ, nie zaś jak atak szczególnie wysokich fal przyboju.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

(iii) Długość penetracji. Tsunami szybko wytraca energię na bardzo płytkich wodach przybrzeżnych i na lądzie, ale i tak może się wdrzeć daleko w głąb lądu, niekiedy nawet na ponad kilometr. Może wdrzeć się na tereny położone znacznie wyżej nad poziomem morza niż wynosi amplituda samej fali tsunami.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

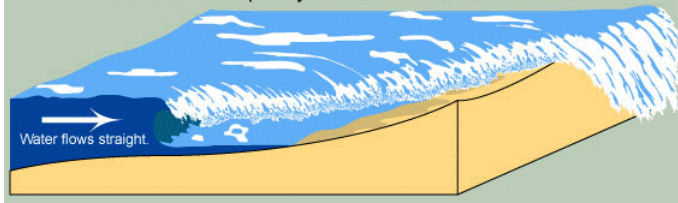
V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Wind waves come and go without flooding higher areas.



Tsunamis run quickly over the land as a wall of water.



- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- Przed tsunami
- Atak tsunami
- Cofające się tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
- VI. Podsumowanie

IV. Niszczycielskie działanie tsunami (c.d.)

(iv) Powtarzające się ataki. Wybrzeże może być atakowane przez kolejne grzbiety fali tsunami, w odstępach równych okresowi fali, a więc rzędu kilkunastu–kilkudziesięciu minut. Cofające się tsunami może sprawiać wrażenie gigantycznego odpływu. Czasami taki “odpływ” może poprzedzić pierwszy atak tsunami.

Niekoniecznie pierwsza fala (pierwszy grzbiet fali) jest najbardziej niszczycielska. Fala, która w nocy z 22 na 23 maja 1960 (po “chilijskim” trzęsieniu ziemi) zniszczyła miasto Hilo na Hawajach, była trzecią z kolei i nadeszła w godzinę po pierwszej.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Kalutara, Sri Lanka, przed tsunami



Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Kalutara, Sri Lanka, atak tsunami 26 grudnia 2004



Tsunami

P. F. Góra

- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- Przed tsunami
- Atak tsunami**
- Cofające się tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
- VI. Podsumowanie



Kalutara, Sri Lanka, cofające się tsunami

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

Przed tsunami

Atak tsunami

Cofające się tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie



V. Dane historyczne i przewidywania

Chociaż przedstawione wyżej rozważania dotyczyły głównie tsunami tektonicznych, najciekawsze (?) przykłady dotyczą innego typu tsunami: Tsunami wywołanych przez wielkie osunięcia ziemi, które mogą — choć nie muszą — być powiązane z wybuchami wulkanów.

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Santorini — zagłada Atlantydy?



Archipelag Santorini dzisiaj

Wybuch wulkanu Santorini około roku 1600 p.n.e dosłownie rozerwał całą wyspę i spowodował masywne osunięcie ziemi do Morza Egejskiego, co wywołało tsunami. Przypuszcza się, że właśnie to tsunami spowodowało zagładę cywilizacji minojskiej na Krecie i w konsekwencji opóźniło rozwój cywilizacji europejskiej o **1000 lat**. Być może echa tego właśnie wydarzenia przetrwały do naszych czasów w postaci mitu o zagładzie Atlantydy.

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

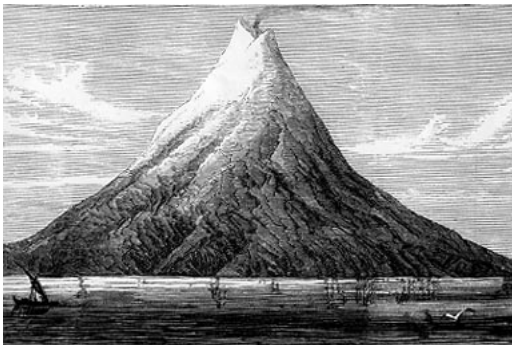
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Krakatau, 27 sierpnia 1883



Wybuch wulkanu Krakatau był jedną z największych katastrof wulkanicznych współczesnego świata. Wybuch znacząco zmienił geografę Cieśniny Sundajskiej i wywołał tsunami o wysokości fal ~ 30 m i długości ~ 7 km. Większość spośród $\sim 36\,000$ ofiar wybuchu padła ofiarą tsunami.

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

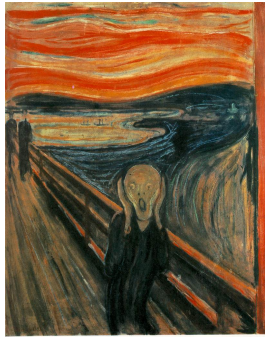
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Krakatau, 27 sierpnia 1883 (c.d.)



Edward Munch, *Krzyk*



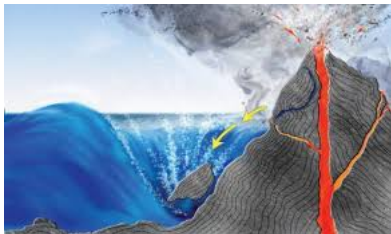
Pyły, które po wybuchu Krakatau dostały się do atmosfery, miały znaczący wpływ na globalny klimat i wywoływały przedziwne zjawiska atmosferyczne.

68 lat wcześniej, 10 kwietnia 1815, miał miejsce znacznie potężniejszy wybuch wulkanu Tambora, który spowodował "rok bez lata" w 1816. Była to największa erupcja wulkaniczna od roku 181 n.e. Wybuch Tambora był jednak znacznie słabiej opisany przez Europejczyków niż wybuch Krakatau, no i nie wywołał tsunami... .

Na miejscu zapadniętego Krakatau powstaje nowy wulkan, Anak Krakatau (Dziecko Krakatau).

- I. Co to jest tsunami
 - II. Przyczyny tsunami
 - III. Fizyka tsunami tektonicznego
 - IV. Niszczycielskie działanie tsunami
 - V. Dane historyczne i przewidywania
- Santorini — zagląda Atlantydy?
Krakatau, 27 sierpnia 1883
Skutki osunięć ziemi
Największe zarejestrowane fale
La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?
- VI. Podsumowanie

Skutki obsunięć ziemi



Obsuwające się skały pchają przed sobą 11 poduszkę” powietrza. Wpadają do *płytkiej* (kilkadziesiąt-kilkaset metrów) wody przybrzeżnej, powodując wielki rozprysk, ale gdy dostaną się na głęboki (~ 4 km) ocean, zachowują się, jak wyżej.

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagląda Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Największe zarejestrowane fale

Największymi znanymi falami są “rozpryski”. Rekord padł 9 lipca 1958 w Lituya Bay na Alasce, gdzie niewielkie trzęsienie ziemi spowodowało osunięcie się ziemi do płytkiej, zamkniętej zatoki.



Mierząc wedle widocznej linii zniszczeń, fala rozpryskowa miała 516 m wysokości. Powstała fala tsunami u ujścia zatoki miała, wedle naocznych świadków, około 30 m wysokości.

Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

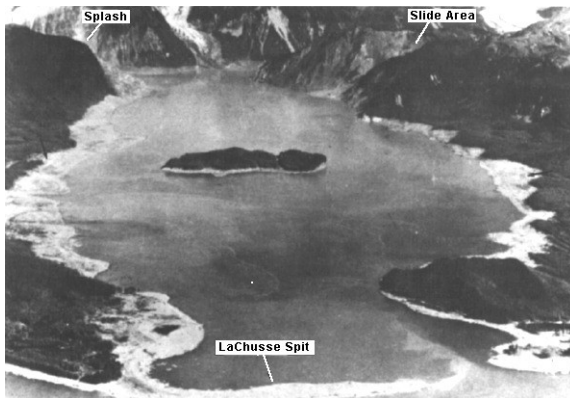
Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie



Widok Lituya Bay od strony oceanu

- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
 - Santorini — zagałada Atlantydy?
 - Krakatau, 27 sierpnia 1883
 - Skutki osunięć ziemi
 - Największe zarejestrowane fale
 - La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?
- VI. Podsumowanie

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

Tsunami

P. F. Góra

Na wyspach wulkanicznych stoki wulkanów są geologicznie niestabilne i grożą masywnymi osunięciami ziemi.



Dane geologiczne świadczą o tym, że stoki wulkanów na Wyspach Kanaryjskich w ciągu ostatnich kilku milionów lat kilkanaście razy zapadały się, powodując olbrzymie osunięcia ziemi.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

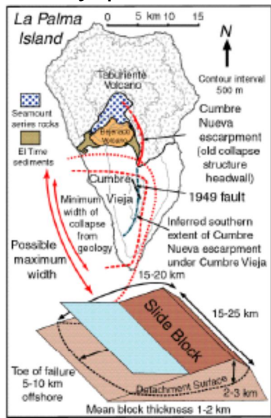
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Obecnie najbardziej zagrożony osunięciem jest wulkan Cumbre Vieja na wyspie La Palma.



W wyniku osunięcia ziemi, do Oceanu Atlantyckiego w ciągu 10 minut trafi około 5×10^9 ton skał, pchając przed sobą poduszkę sprężonego powietrza.

Spowoduje to “rozprysk” wysoki na 900 m.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

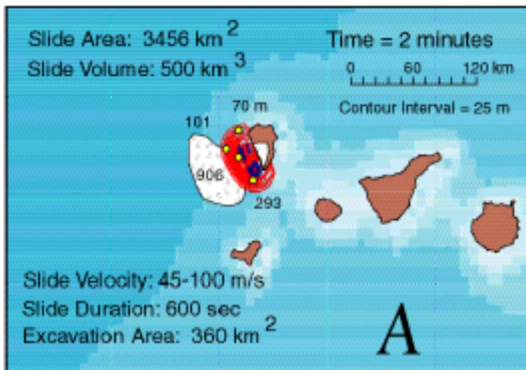
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (A)



Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Symulacje pochodzą z pracy

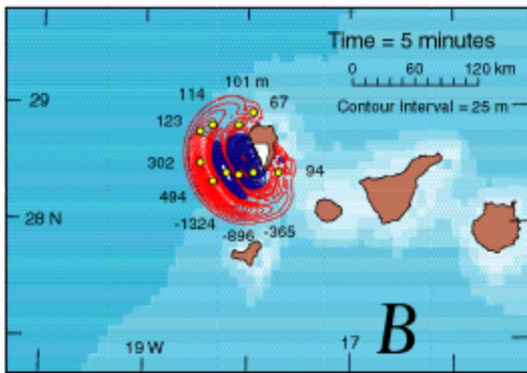
S. N. Ward, S. J. Day, Geophys. Res. Lett. **28**, 3397 (2001)

Dziękuję Panu Witoldowi Barylukowi za materiały krytykujące tę pracę

Przedstawiony w niej scenariusz jest chyba zbyt katastroficzny

<http://www.lapalma-tsunami.com/>

Scenariusz możliwego tsunami (B)



Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

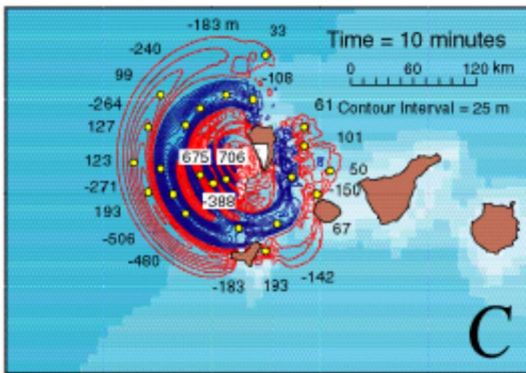
La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (C)

Tsunami

P. F. Góra



I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

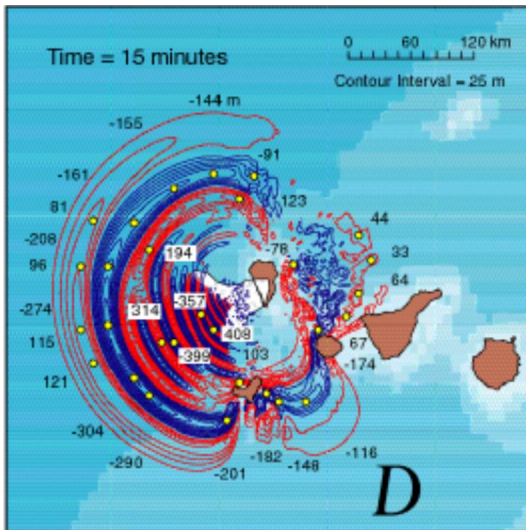
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (D)



Tsunami

P. F. Góra

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

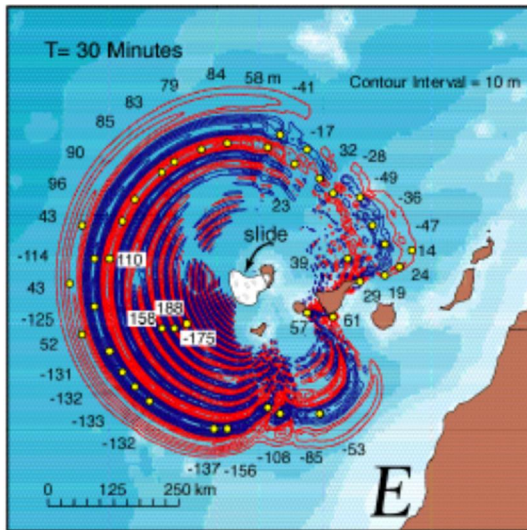
Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (E)



Tsunami

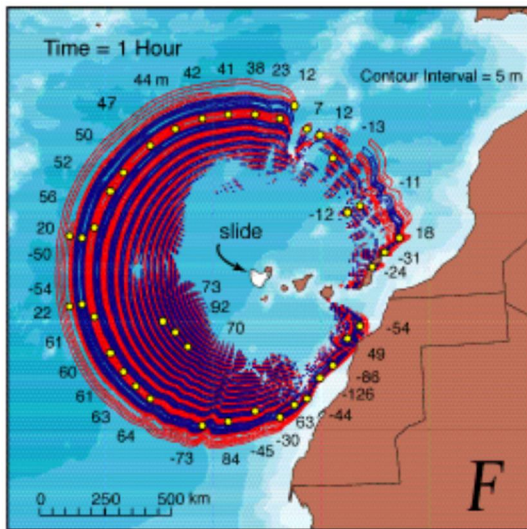
P. F. Góra

- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
 - Santorini — zagłada Atlantydy?
 - Krakatau, 27 sierpnia 1883
 - Skutki osunięć ziemi
 - Największe zarejestrowane fale
 - La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?
- VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (F)

Tsunami

P. F. Góra



I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

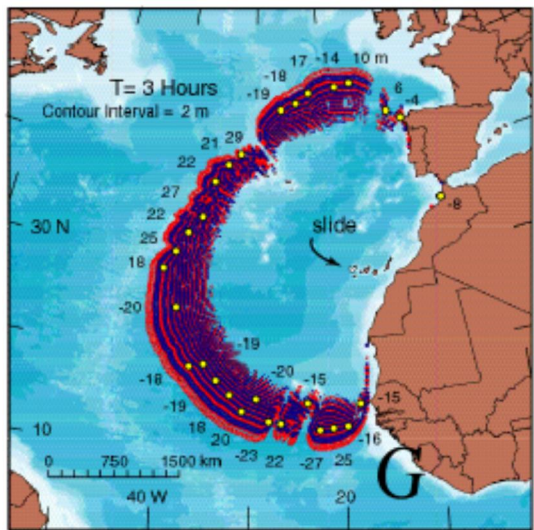
La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (G)

Tsunami

P. F. Góra

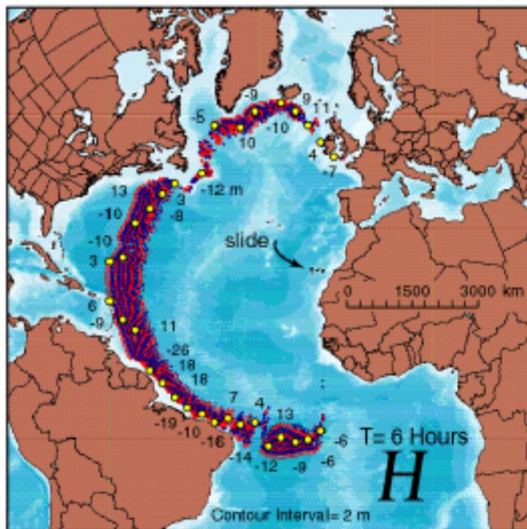


- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
 - Santorini — zagłada Atlantydy?
 - Krakatau, 27 sierpnia 1883
 - Skutki osunięć ziemi
 - Największe zarejestrowane fale
 - La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?
- VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (H)

Tsunami

P. F. Góra



I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

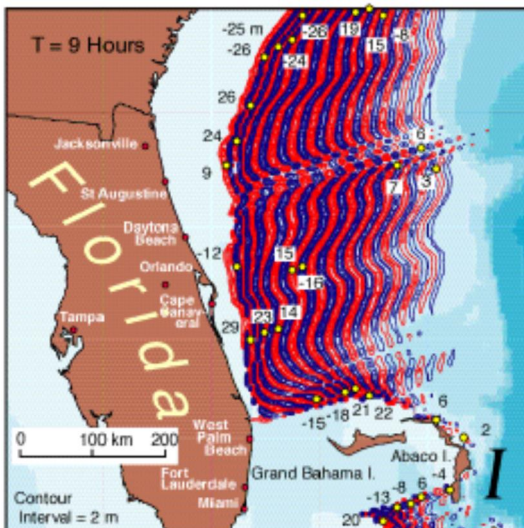
La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Scenariusz możliwego tsunami (I)

Tsunami

P. F. Góra



I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zgląda Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

Powyższe symulacje pokazują, jak “góra wody”, powstała w wyniku osunięcia, stopniowo rozpada się na składowe harmoniczne o zmniejszających się długościach, z najdłuższymi falami poruszającymi się najszybciej.

Scenariusz “*megatsunami*”, z falami wysokimi na 50 m atakującymi Florydę, jest najprawdopodobniej przesadzony, ale *zwykłe* tsunami, z falami $\sim 15\text{--}25$ m atakującymi wybrzeża Atlantyku od Brazylii po Islandię, wywoła dostatecznie katastrofalne skutki.

Geolodzy twierdzą, że pytanie nie brzmi **czy**, ale **kiedy**, co najwyżej — **czy aż w takiej skali**. Być może *zaledwie* 1.5×10^9 ton skał wpadnie do Oceanu Atlantyckiego.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięć ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie



Podobne scenariusze przewidywane są dla wulkanów Mauna Kea i, zwłaszcza, Kilauea na Hawajach

- I. Co to jest tsunami
- II. Przyczyny tsunami
- III. Fizyka tsunami tektonicznego
- IV. Niszczycielskie działanie tsunami
- V. Dane historyczne i przewidywania
 - Santorini — zagłada Atlantydy?
 - Krakatau, 27 sierpnia 1883
 - Skutki osunięć ziemi
 - Największe zarejestrowane fale
 - La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?
- VI. Podsumowanie



Molokai, katastrofalne osunięcie ziemi 1,5 mln lat temu

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

Santorini — zagłada Atlantydy?

Krakatau, 27 sierpnia 1883

Skutki osunięcia ziemi

Największe zarejestrowane fale

La Palma, Wyspy Kanaryjskie — megatsunami?

VI. Podsumowanie

VI. Podsumowanie

Tsunami są falami płytkiej wody, a więc są zjawiskami objętościowymi, nie powierzchniowymi.

I. Co to jest tsunami

II. Przyczyny tsunami

III. Fizyka tsunami tektonicznego

IV. Niszczycielskie działanie tsunami

V. Dane historyczne i przewidywania

VI. Podsumowanie

Różnice pomiędzy tsunami a "zwykłymi" falami		
Tsunami na oceanie		
wysokość kilkadziesiąt cm	długość > 100 km	prędkość > 700 km/h
Tsunami przy brzegu		
wysokość do 30 m	długość ~ 3 km	prędkość kilkadziesiąt km/h
Zwykła fala		
wysokość 3 m	długość 100 m	prędkość 4–8 km/h

Czekają nas także geologicznie ciekawe czasy...