

Program Funkcjonalno Użytkowy

dla zamówienia na zaprojektowanie i wykonanie stanowiska „Model ośrodka sprężystego” w ramach projektu „Planetarium – Śląski Park Nauki. Modernizacja i rozbudowa Planetarium Śląskiego”.

Stanowisko „Model Ośrodka Sprężystego” zostanie zainstalowane w nowej części Planetarium, powstającej w ramach rozbudowy Planetarium Śląskiego.

Adres Planetarium Śląskiego:  
Al. Planetarium 4, 41-500 Chorzów

Kody CPV:  
39290000-1 Różny sprzęt  
44100000-1 Materiały konstrukcyjne i elementy podobne  
44440000-6 Łożyska  
31214000-9 Przekładnie

Adres Zamawiającego:  
Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego ul. Ligonia 46, 40-037 Katowice

Osoby opracowujące PFU:

prof. Paweł Rudawy, prof. Andrzej Sołtan, dr hab. Grzegorz Mutke, dr hab. Kaja Renkas,  
arch. Joanna Kapturczak, dr Dariusz Kajewski, dr Maciej Kluza, dr Maciej Mendecki,  
dr Waldemar Ogłóża, dr Leszek Ośródka, Stefan Janta

Niniejsze opracowanie zawiera:

1. wprowadzenie
2. opis przedmiotu zamówienia
3. wymagania zamawiającego w stosunku do przedmiotu zamówienia
4. część informacyjną
5. definicje poszczególnych typów fal

1. Planetarium Śląskie jest na etapie rozbudowy. W ramach tego projektu ma powstać Śląski Park Nauki, w którym popularyzowane będą trzy dziedziny nauki: astronomia, sejsmologia i meteorologia. Jednym z elementów Parku Nauki ma być prezentacja rozchodzenia się fal sejsmicznych w ośrodku sprężystym.

2. Dla stanowiska przewidziano wydzieloną powierzchnię około 35 m<sup>2</sup> (5m x 7m). Na stanowisku powinny się znaleźć cztery modele ośrodków sprężystych, w których będzie można zaprezentować propagację podstawowych fal, jakie rozchodzą się w poszczególnych warstwach Ziemi: poprzeczne, podłużne, a także fale Rayleigha i Love'a. Każdy model ośrodka będzie prezentował jeden rodzaj fali, dla której został skonstruowany. Konstrukcja każdego z modeli zostanie określona przez Wykonawcę na etapie projektu i musi zostać zatwierdzona przez Zamawiającego.

Każdy model ośrodka sprężystego zostanie obudowany przezroczystą obudową ze szkła bezpiecznego zwaną dalej „akwarium”. Nie powinno to być szkło organiczne ze względu na łatwość zarysowania i w konsekwencji szybkie zmatowienie powierzchni, utrudniające obserwację zachowania ośrodka.

Budowa akwarium powinna być bezprofilowa, a krawędzie oszlifowane, narożniki wyoblone. Należy przewidzieć łatwy dostęp do mechanizmów w celach serwisowych. „Akwarium” będzie pełnić rolę ochronną dla mechanizmów zastosowanych w poszczególnych modelach. Chodzi o ochronę przed uszkodzeniem mechanicznymi oraz kurzem. Będzie także zabezpieczeniem dla dzieci, uniemożliwiając włożenie w mechanizm jakiegś części ciała.

Dwa modele fal powierzchniowych: Love'a i Rayleigha będą miały ustawienie poziome. Długość „akwariów” dla tych fal będzie wynosiła 3m, przekrój poprzeczny około 0,7 x 0,7 m. Oba ustawione zostaną na postumentach o wysokości około 0,3 m tak, aby górna krawędź „akwarium” znalazła się na wysokości około 1 m.

Dwa modele fal objętościowych: podłużnej i poprzecznej, będą miały ustawienia pionowe. Ich „akwaria” będą miały wysokość 3 m i przekrój poprzeczny 0,7 x 0,7 m każde, oraz zostaną umieszczone w taki sposób, aby stykały się ze sobą. Jedna ze ścian modelu będzie stanowiła element konstrukcyjny dla mechanizmów prezentujących fale. W tym przypadku dopuszcza się obudowanie obu modeli jednym „akwarium” o rozmiarze 1,4 x 0,7 m. Sposób ustawienia wszystkich „akwariów” z modelami fal w miejscu docelowym zostało określone przez Zamawiającego i zamieszczone na odpowiednim schemacie stanowiącym załącznik do PFU.

3. W każdym modelu należy zastosować elementy drgające o tym samym rozmiarze i kształcie. Najlepiej jeśli będą to odpowiednio dobrane kule (lub sześciiany) o średnicy około 4 cm. Masy elementów będą dobierane do potrzeb poszczególnych ośrodków i fal, jakie w nich będą się rozchodzić. Kule powinny być pokryte farbą fluorescencyjną, lub inną substancją pozwalającą łatwo wyróżnić je na tle całego urządzenia. Masy mogą być umieszczone na odpowiednich cięgnach, dźwigniach, prowadnicach itp. tak, aby zapewnić jak najlepsze odwzorowanie pożądanej fali. Każdy z modeli, przeznaczonych dla prezentacji różnych fal może mieć inną konstrukcję mechaniczną.

Zwiedzający muszą mieć możliwość prześledzenia ruchu każdego rodzaju fali, a to oznacza, że szybkość ich rozchodzenia musi być uchwytana dla wzroku człowieka. Okres drgań pojedynczej masy, z których składać się będzie ośrodek, musi być większy od 0,4 s, a amplituda powinna wynosić co najmniej 10 cm.



Dodatkowo należy zwrócić uwagę na to, aby fala podłużna przebiegała z szybkością około dwa razy większą niż fala poprzeczna. Fale powierzchniowe powinny poruszać się z tymi samymi szybkościami.

Budowa modelu ośrodka sprężystego dedykowanego danej fali może być czysto mechaniczna, a propagacja zależy wyłącznie od mas kulek i własności sprężystych materiału służącego do zwracania mas do ich położenia równowagi. Ośrodek może też być zbudowany w oparciu o urządzenia elektryczne symulujące zachowanie mas zgodne z ruchami mas przy wzbudzeniu określonego rodzaju fali.

#### Metoda wzbudzania fal

W każdym z modeli musi istnieć możliwość zainicjowania fali przez zwiedzającego. Musi to być ręczna dźwignia, korba lub urządzenie podobne. Nawet jeśli zostanie zastosowane urządzenie elektryczne, jego uruchomienie musi nastąpić przy pomocy manipulatora mechanicznego. Urządzenia pozwalające na zainicjowanie fali muszą się znaleźć poza „akwariem”, na jednym z jego końców.

4. Powierzchnia przeznaczona na stanowisko z ośrodkiem sprężystym:  $35\text{m}^2$  (  $5\text{m} \times 7\text{m}$  )  
Na stanowisku przeznaczonym na modele ośrodków sprężystych, w podłodze znajduje się kanał techniczny zawierający między innymi sieć elektryczną.  
Zamawiający wymaga aby trasy kablowe (jeśli będą konieczne) przebiegały w sposób niewidoczny i niedostępny dla zwiedzających.  
Zamawiający wymaga aby modele ośrodków sprężystych spełniały wszystkie wymagane prawem normy bezpieczeństwa.  
Wykonawca ma obowiązek uzyskania wszelkich wymaganych prawem dopuszczeń do użytkowania.

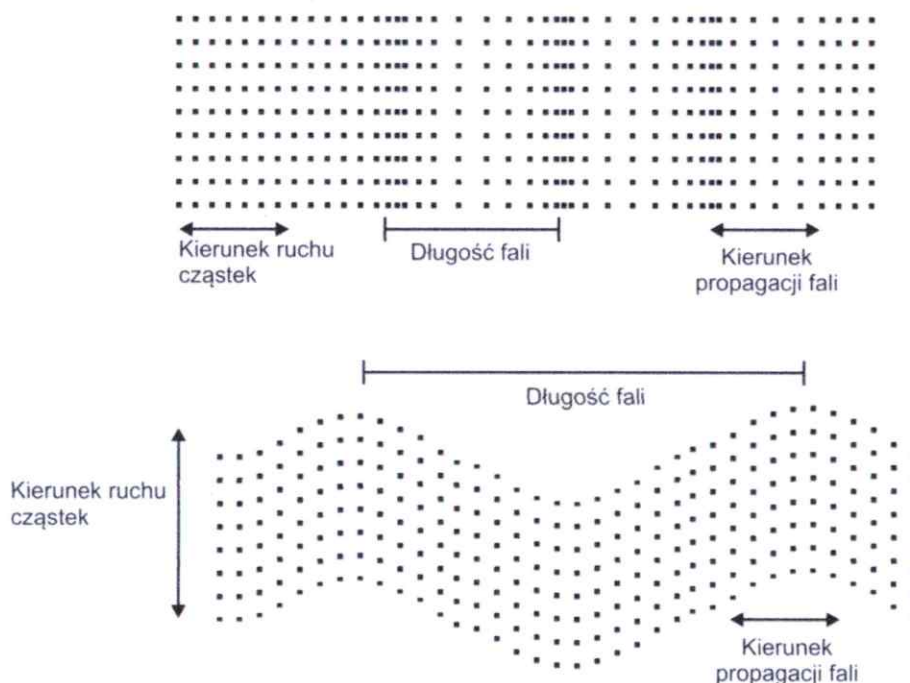
#### 5. Typy fal sejsmicznych

Drgania sprężyste rozchodzą się niezależnie od siebie, jako fale podłużne (P, dylatacyjne, zagęszczeniowo-rozrzedzeniowe) i poprzeczne (S, skręcenio-we, ścinające). Przemieszczanie się fal podłużnych polega na rozchodzeniu się w ośrodku drgań cząstek o kierunku zgodnym z kierunkiem propagacji fali oraz powodują ściskanie i rozciąganie skał, przez które przechodzą (następuje zmiana objętości bez zmiany kształtu); mogą rozchodzić się również w płynach, w tym także w płynnym jądrze Ziemi. Fale P są najszybsze z fal sejsmicznych (stąd oznaczane symbolem "P" - *undae primae*). Prędkość fal P wyraża się wzorem:  $V_P = ((\lambda + 2\mu)/d)^{1/2}$ , gdzie  $\lambda$  i  $\mu$  oznaczają stałe sprężystości Lamégo, a  $d$  gęstość, czyli masę właściwą. Prędkość fal P generalnie zwiększa się z głębokością od około 2 to 8 km/s w skorupie Ziemi aż do około 13 km/s na granicy z jądrem. W skorupie i górnym płaszczu Ziemi występują jednak warstwy z mniejszą prędkością fal (np. astenosfera).

Fale poprzeczne polegają na rozchodzeniu się w ośrodku drgań cząstek w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu fal przy czym wyróżniamy tutaj składową poziomą SH oraz pionową SV, które w ośrodku jednorodnym izotropowym przemierzają się z tą samą prędkością. Fale poprzeczne są około 1,5-2.0 razy wolniejsze od fal podłużnych (stąd oznaczane symbolem "S" - *undae secundae*). Prędkość fal S wyraża się wzorem:  $V_S = (\mu/d)^{1/2}$  i mogą przemierzać się tylko w ciałach stałych ponieważ moduł sztywności  $\mu=0$  w cieczach i

gazach. Ponieważ fale S nie rozchodzą się w cieczech, nie przenikają przez płynne, zewnętrzne jądro Ziemi.

W wyniku nakładania się fal objętościowych P i S oraz obecności powierzchni granicznych we wnętrzu Ziemi powstają sprężyste fale powierzchniowe, ponieważ energia fal rozchodzi się w całej objętości, ale głównie w pobliżu granicy ośrodków. Fale te charakteryzują się znacznie większą długością i dużymi amplitudami w porównaniu do fal P i S. Również energia fal powierzchniowych jest większa niż fal P i S (Mortimer 2004).



**Rys. 1.** Idea ruchu cząstek jako czoła fali propagującej od lewej do prawej dla fali podłużnej (u góry) i fali poprzecznej (na dole) (Lay & Wallace 1995)

Fale Rayleigha są jednymi z najważniejszych typów fal powierzchniowych w zagadnieniach sejsmologii poszukiwawczej i pasywnej sejsmiki. Fale te są złożeniem fal P oraz spolaryzowanej pionowo fali S. Propagujące w głąb i w kierunku powierzchni fale sprężyste nie nakładają się, tworząc fale powierzchniowe. Jednak możliwe jest powstanie fali Rayleigha, gdy fale P i SV znajdują się przy swobodnej powierzchni. O swobodnej powierzchni można głównie mówić przy kontakcie materia – próżnia, aczkolwiek niskie wartości gęstości i stałych sprężystości pozwalają założyć, że granica skorupa Ziemi – powietrze jest również granicą z powierzchnią swobodną (Sheriff & Geldart 1995, Shearer 2009).

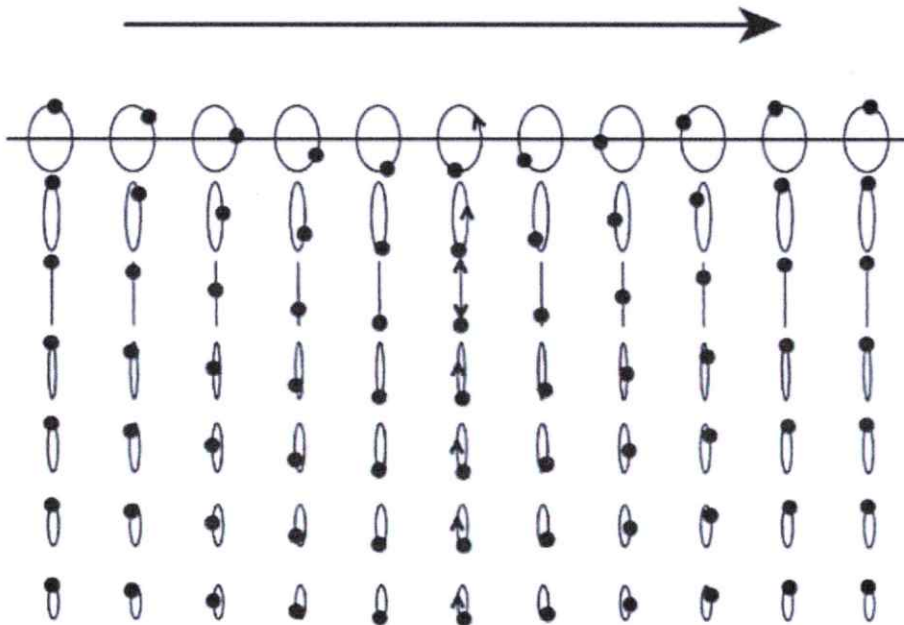
Ruch falowy w tym przypadku obejmuje tylko warstwę przypowierzchniową podłoża i na głębokości rzędu długości fali praktycznie zanika. Cząstki gruntu oscylują w płaszczyźnie pionowej wzdłuż kierunku propagacji fali, przy czym mamy dwie składowe tych oscylacji: pionowe drgania w górę i w dół i poziome do przodu i do tyłu. Na granicy skała-powietrze początkowe pionowe ruchy realizują się w górę, ale początkowe poziome drganie jest w kierunku przeciwnym do propagacji fali. Dlatego ruch cząstek gruntu przy powierzchni odbywa się po elipsie wstecznej, czyli w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu fali sejsmicznej. Pionowe amplitudy przemieszczenia cząstek są około 1.5 razy większe niż poziome. Ze wzrostem głębokości następuje zmniejszenie amplitud drgań pionowych. Amplitudy przemieszczenia drgań poziomych wynoszą



zero na głębokości 0.1-0.2 długości fali i poniżej tej głębokości zmieniają kierunek . Od tej głębokości poziome drgania cząstek są zgodne z kierunkiem propagacji fali.

Prędkość fali Rayleigha wynosi od  $0,9V_S$  do  $0,93V_S$  w zależności od współczynnika Poissona.

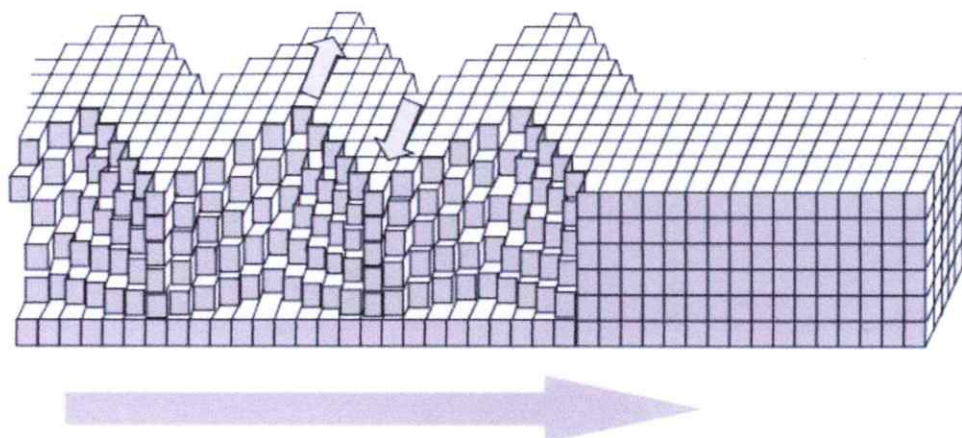
Rysunek poniżej (**Rys. 2**) przedstawia zachowanie się materii na granicy swobodnej podczas przemieszczania się fali Rayleigha.



**Rys. 2.** Zachowanie się materii podczas propagacji fali Rayleigha (Shearer 2009).

Fale Love'a są to fale powierzchniowe składające się z fal poprzecznych S spolaryzowanych poziomo SH, poruszających się równoległe do powierzchni swobodnej i w kierunku prostopadłym do kierunku propagacji fali (**Rys. 3**). Fala ta do propagacji potrzebuje falowodu, który może być stworzony przez cienką warstwę przypowierzchniową ograniczoną z jednej strony swobodną powierzchnią Ziemia – powietrze oraz równoległą do niej granicą z jednorodną półsferą (Mortimer 2004, Shearer 2009, Sheriff & Geldart 1995, Udias 1999).

## Love Wave



Rys. 3. Zachowanie się materii podczas propagacji fali Love'a (Shearer 2009).

## Literatura

- Aki K., Richards P.G. (1980) *Quantitative seismology: Theory and Methods*. San Francisco: W. H. Freeman.
- Lay T., Wallace T.C. (1995) *Modern Global Seismology*. [W:] International Geophysics Series, 58, (red. R.Dmowska i J.R. Holton), Academic Press, San Diego, Nowy Jork, Boston, Londyn, Sydney, Tokio, Toronto.
- Mortimer Z. (2004) *Zarys fizyki Ziemi*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, wydanie drugie poprawione i uzupełnione.
- Udias A. (1999) *Principles of seismology*. University Press, Cambridge.
- Shearer P.M. (2009) *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press. Wydanie drugie.
- Sheriff R.E, Geldart L.P. (1995) *Exploration Seismology*. Cambridge University Press. Wydanie drugie.

*Leuba*

*J. Ustunel*

*R. P. P.*

*Maciej Ułwa*

*Robert*

*Maciej Mandaliński*

*Hubert*

*Jan Kępczyński*

*Hubert*

*Hubert*