

## PRZEKRÓJ ZIEMI

### „Przekrój Ziemi”

#### Opis przedmiotu zamówienia

Wymagania dotyczące wykonania stanowiska Przekrój Ziemi w Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym w Chorzowie.

Założenia konstrukcji stanowiska:

1. Dolna półkula wykonana z materiałów imitujących Ziemię (dwuczęściowa)
2. Projektor tworzący projekcję trójwymiarową na ściętej powierzchni Ziemi wraz z czujnikiem ruchu

Problemy do rozwiązania:

1. Kształt, wymiary, konstrukcja modelu
2. Prezentacja kominów gorąca, kanałów magmowych, ruch magmy w astenosferze, konwekcja w płaszczu
3. Gorące ciekłe jądro zewnętrzne i gorące stałe jądro wewnętrzne
4. Odczuwanie temperatury i konsystencja
5. Sposób prezentacji litosfery
6. Trzęsienie ziemi i propagacja fal
7. Projekcja multimedialna (mapping) na kolorowej powierzchni

#### Model Ziemi

##### *Kształt, wymiary, konstrukcja modelu*

Założeniem stanowiska jest pokazanie rzeczywistej proporcji warstw w głębokim wnętrzu Ziemi oraz procesów fizycznych w nim zachodzących, dlatego istotne jest dobranie odpowiednich rozmiarów półsfery reprezentującej planetę. **Proponowana średnica modelu Ziemi to 2 m** (Tab.1). Taki rozmiar pozwoli pokazać w skali przybliżone zakresy występowania warstw we wnętrzu Ziemi. Rozmiar musi być odpowiednio duży, aby pokazać cienką warstwę skorupy ziemskiej, której miąższość w skali będzie wynosić około 0,5 cm, co odpowiada w skali 35 km miąższości skorupy (Tab.1.). Zaproponowana średnica modelu jest zatem kompromisem pomiędzy dostępną powierzchnią stanowiska  $4\text{m} \times 4\text{m} = 16\text{m}^2$  a takimi wymiarami modelu, aby warstwa o najmniejszej miąższości (skorupa) była widoczna. Zwiedzający będą mieli możliwość dotknięcia wszystkich warstw i odczucia subiektywnego ich temperatury i konsystencji.

Ze względu na dużą powierzchnię modelu proponuje się aby jego wysokości nie była zbyt duża i warstwy ziemi mogłyby być obserwowane również przez dzieci, dlatego założono wysokość na brzegu 0,75 m. Umożliwi ona obserwacje pokazu na stanowisku przez dzieci w

## PRZEKRÓJ ZIEMI

wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym, których przeciętny wzrost przekracza niewiele ponad 100 cm (Kurniewicz-Witczakowa R, 1990). W celu zachowania proporcji i wymiarów omówionych powyżej stanowisko nie będzie posiadało kształtu pełnej półsfery, tylko sfery ściętej (Ryc.1) od spodu. Ścięcie to będzie jednocześnie stanowiło podstawę utrzymującą model na podłodze. Tam również przechodzić będzie odpowiednie okablowanie zasilające.

Model Ziemi powinien zostać wykonany z metalu lub wysokiej jakości materiałów, aby spełniał następujące kryteria:

- duża odporność na uderzenia,
- dobre właściwości wytrzymałościowe (mógł wytrzymać masę osoby dorosłej, która mogłaby na niego wejść),
- dobra odporność chemiczna,
- duża wytrzymałość cieplna (ze względu na umieszczoną elektronikę we wnętrzu modelu) mały współczynnik rozszerzalności liniowej i stabilność wymiarowa,

Model Ziemi powinien być wykonany z zaprojektowanej formy lub odpowiednio uformowany i składać się z dwóch części. Pierwszej, tworzącej półsferę z odwzorowaniem mórz i oceanów oraz lądów na półkuli południowej.

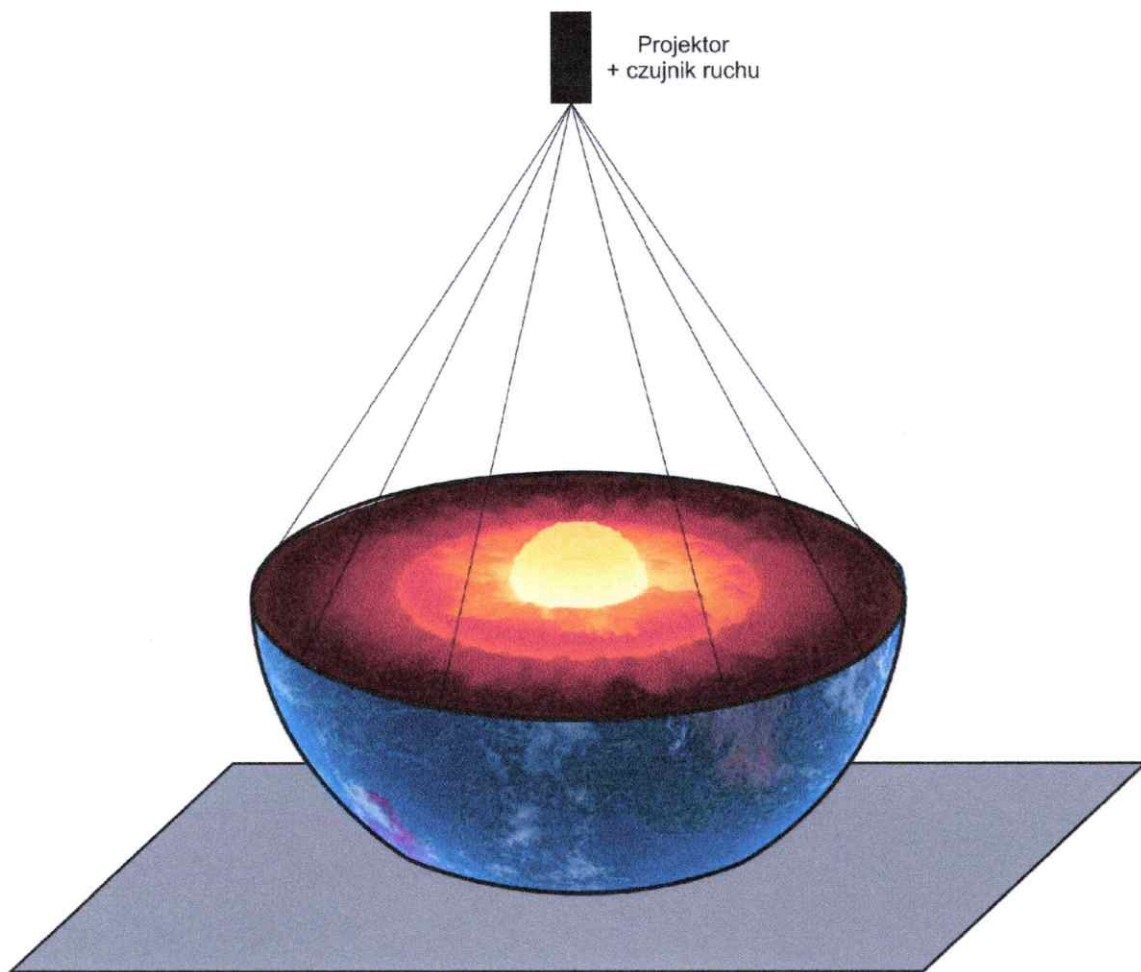
Druga część powinna być pokrywą zamykającą model i ułatwiającą dostęp do elektroniki w razie awarii. W dolnej części półkuli znajdowałby się otwór umożliwiający wprowadzenie okablowania do wnętrza modelu. Okrągła pokrywa o średnicy planowanych 2 m powinna posiadać na środku mniejszą półkulę o średnicy 47 cm (Ryc.2), która będzie reprezentowała jądro wewnętrzne.

PRZEKRÓJ ZIEMI

**Tabela 1.** Rozmiary warstw we wnętrzu Ziemi oraz proponowane zakresy rozmiarów w skali, tabela uwzględnia dwa modele: chemiczny i fizyczny (na podstawie Gutenberg 1959, Poirier 2000, Teisseyre i Majewski 2001, Mortimer 2004, Lowrie, 2007, Kusky 2008).

Model chemiczny	Model fizyczny	Granice [km]	Skala [m]	Skala zaokrąglona [cm]	Miąższości [cm]	
skorupa	Litosfera	0	0	0	0,5	
		35	0,005200	0,5		
płaszcz górny	astenosfera	35	0,005200	0,5	2,7	9,5
		220	0,032685	3,3		
	mezosfera	220	0,032685	3,3	6,8	
		670	0,099539	10,0		
płaszcz dolny	mezosfera	670	0,099539	10,0	34,3	
		2981	0,442876	44,3		
jądro zewnętrzne	barysfera	2981	0,442876	44,3	32,2	
		5150	0,765117	76,5		
jądro wewnętrzne		5150	0,765117	76,5	23,5	
		6731	1,000000	100,0		
<b>Średnica modelu</b>		<b>2,0 m</b>				
<b>Średnica Ziemi</b>		<b>13462 km</b>				

## PRZEKRÓJ ZIEMI

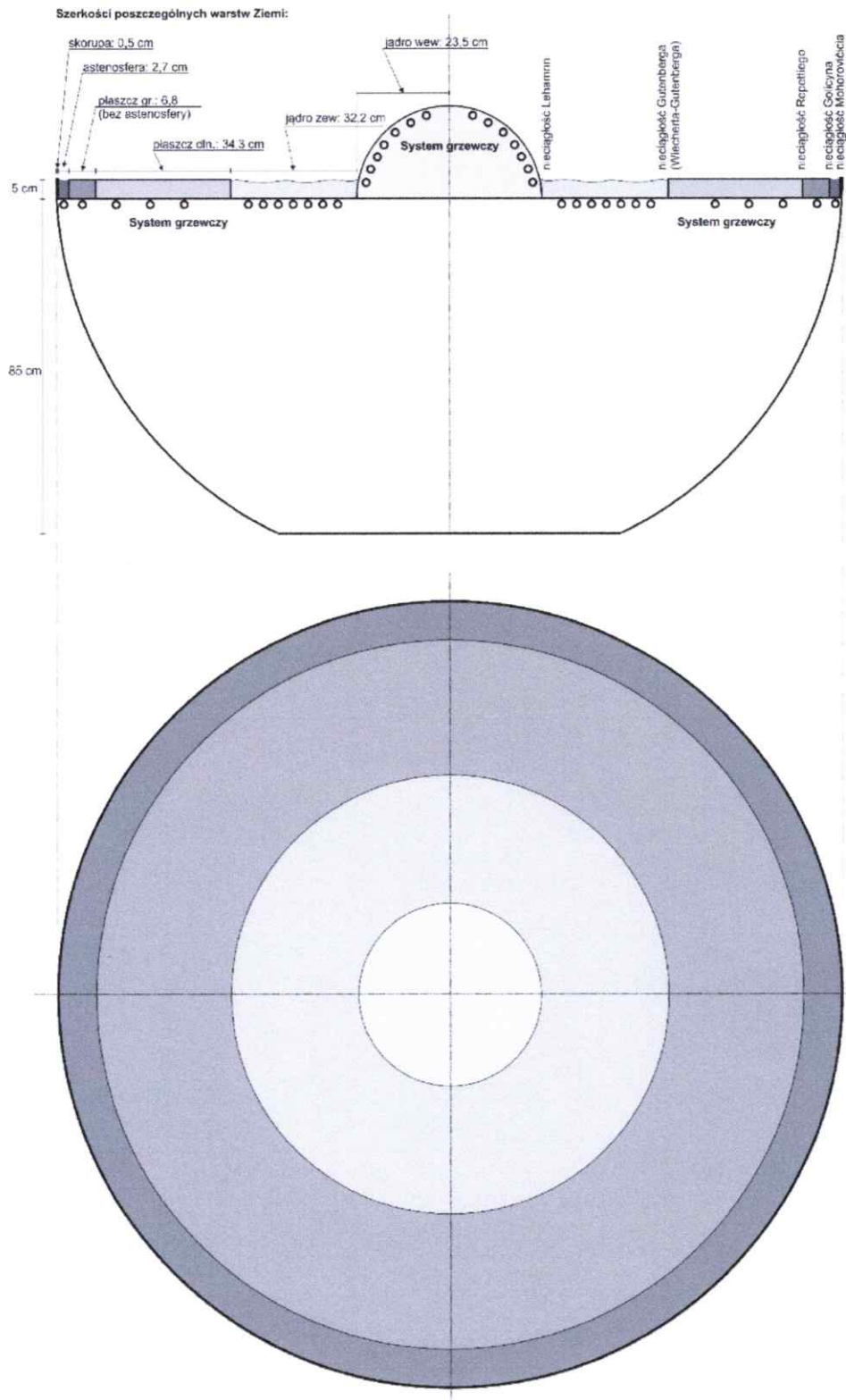


Ryc.1. Model stanowiska „Przekroju Ziemi”

### *Cieple jądro zewnętrzne i gorące stałe jądro wewnętrzne*

Stałe jądro wewnętrzne zaprezentowane zostanie w postaci sztywnej półkuli, na której będzie wyświetlana imitacja jądra wewnętrznego pokazująca jego obrót i „świecenie” reprezentujące najgorętszą masę we wnętrzu Ziemi. Natomiast obszar ciekłego jądra zewnętrznego zostanie pokazany jako płytki basen w kształcie pierścienia wypełniony cieczą, również „świecący” – temperatura jądra wewnętrznego i zewnętrznego jest taka sama i wynosi 5000 K (Ryc.2). Sugerowana odpowiednia ciecz nienewtonowska nie zostawiająca śladów i wilgoci na dłoniach zwiedzających, ponieważ będzie istniała możliwość dotykania elementów modelu. Może to być także odpowiednio miękki elastomer – łatwy do mycia i ewentualnej wymiany po latach. Na tej powierzchni projektor będzie wyświetlał ciągły ruch w jądrze zewnętrznym, pokazujący jego płynną konsystencję oraz cyrkulację materii (Ryc.3).

## PRZEKRÓJ ZIEMI



Ryc.2. Przekrój poprzeczny przez model Ziemi w postaci widoku i rzutu

## PRZEKRÓJ ZIEMI

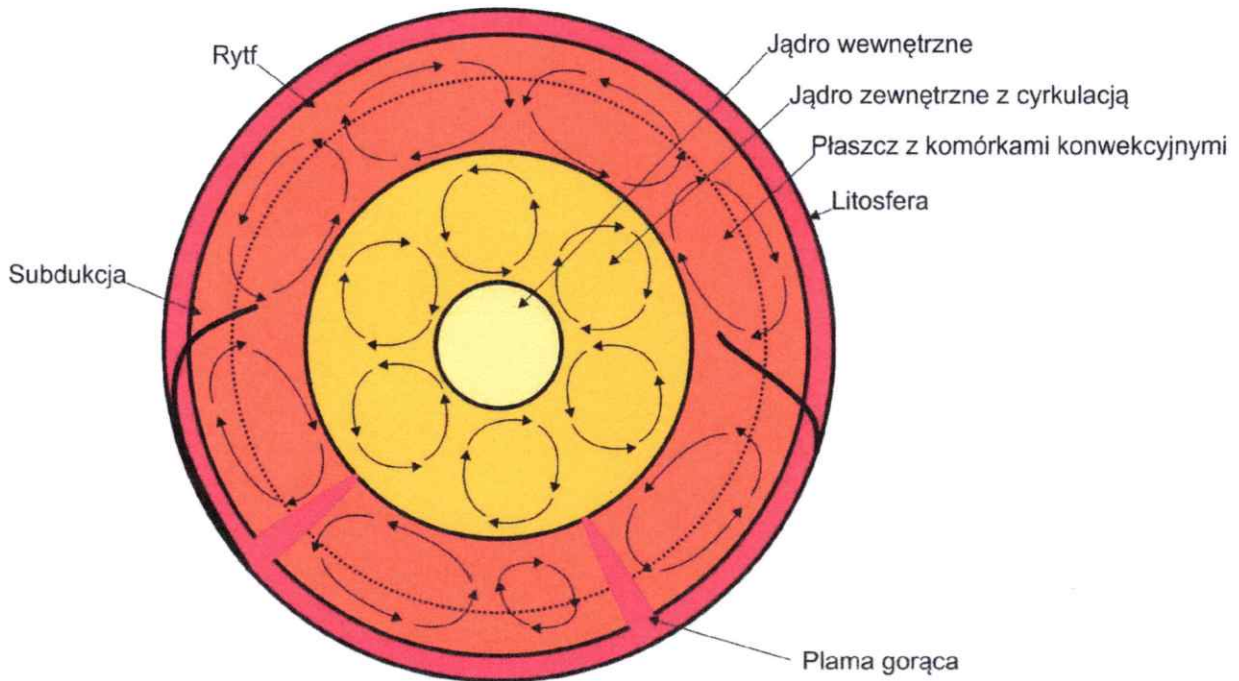
### *Prezentacja kominów gorąca, kanałów magmowych, ruch magmy w astenosferze, konwekcja w płaszczu*

Płaszcz ziemski skonstruowany powinien być z odpowiednio dobranych silikonów żelowych (lub innych substancji o dużej elastyczności, nie alergicznych i dających się łatwo utrzymać w czystości) o różnym stopniu utwardzenia, które umieszczone zostaną w przygotowanych pierścieniowych basenach. Płaszcz dolny i górny (bez astenosfery) powinny być wykonane z tego samego materiału. Silikon żelowy (lub inny materiał o podobnych właściwościach) będzie reprezentować skały pod dużym ciśnieniem i wysokiej temperaturze, które w tych warunkach przyjmują właściwości reologiczne. Warunki te umożliwiają zajście zjawiska konwekcji w ciele stałym (plastycznym, pół-sztwnym). W górnej części płaszcz wydzielona zostanie astenosfera pokazująca strefę osłabienia (obniżenia prędkości fal). Warstwa ta nie jest płynna ale wybitnie plastyczna, dlatego jej reprezentacją w modelu powinien być odpowiednio dobrany silikon żelowy (może to być podobna substancja jak w jądrze zewnętrznym). Pomiędzy basenami z silikonowym żelom zaprojektowano wyraźne granice reprezentujące kolejno następujące po sobie strefy nieciągłości we wnętrzu Ziemi (Ryc.2).

Na powierzchni reprezentującej płaszcz ziemski wyświetlane z projektora będą zjawiska związane z tektoniką płyt (Ryc.3):

- komórki konwekcyjne w płaszczu
- strefy subdukcji (na stałe zamontowane w modelu – jako warstwy skorupy odchodzące od brzegu do wnętrza Ziemi)
- strefy ryftowe i unoszenie się magmy ku powierzchni Ziemi
- kominy gorąca tworzące na powierzchni plamy gorąca („hot spot”)

## PRZEKRÓJ ZIEMI



**Ryc.3.** Budowa wnętrza Ziemi z uwzględnieniem ruchu materii wyświetlanej przez projektor 3D.

### *Odczuwanie temperatury i konsystencji*

Odpowiednio zaprojektowany system grzewczy wykorzystujący np.: kable do ogrzewania podłogowego, lub zestaw oporników na radiatorach, będzie utrzymywać temperaturę substancji na powierzchni przekroju Ziemi, dając wrażenie wzrostu temperatury wraz z głębokością. Zakres temperatur powinien być tak dobrany, aby odczuwalne były różnice temperatur, a jednocześnie nie zachodziło ryzyko oparzenia. Konieczne będzie opracowanie, czy duża powierzchnia przekroju będzie wystarczająca, aby model się nie przegrzewał i następowało jego zbilansowane ogrzewanie. Innym rozwiązaniem tego problemu może być wykonanie perforacji w dolnej części modelu, która będzie służyła wentylacji wnętrza modelu, albo wykorzystanie termostatów, które będą uruchamiać i wyłączać system grzewczy.

Temperatura wzrasta wraz z głębokością i nie przyjmuje stałej wartości dla każdej warstwy z osobna, dlatego też temperatury zostały dobrane arbitralnie dla poszczególnych warstw (zaokrąglona wartość średnia). Dla zakresu temperatur odczuwalnych przez człowieka przyjęto, że temperatury warstw będą zmieniać się od 25 st. C do 45 st. C z krokiem proporcjonalnym do różnic występujących we wnętrzu Ziemi (Tab.2).

Imitacja konsystencji skał we wnętrzu Ziemi zapewniona będzie przez użycie cieczy i silikonów żelowych o odpowiedniej sztywności. Proponowany zestaw parametrów przedstawiono w tabeli poniżej (Tab.2).

**Tab.2.** Propozycja zakresów temperatur i rodzajów materiałów tworzących imitację warstw.

## PRZEKRÓJ ZIEMI

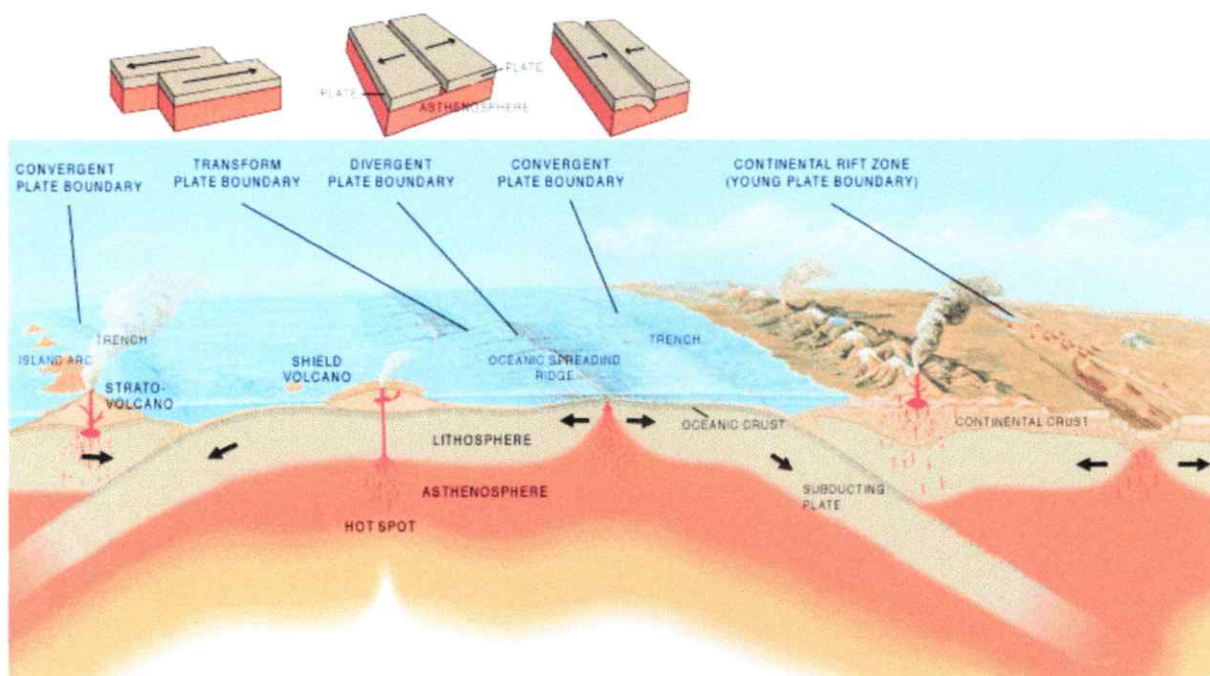
Warstwa	Materiał	Temperatura warstw Ziemi	Temperatura modelu
Skorupa	sztywna obudowa zewnętrzna (tworzywo sztuczne)	1000 st. C	temperatura pokojowa ok. 25 st. C
Astenosfera	silikon hydrożelowy	1500 st. C	30 st. C
plaszcz górny	silikon (np. neutralny)	2000 st. C	33 st. C
plaszcz dolny	silikon (np. neutralny)	3000 st. C	40 st. C
jądro zewnętrzne	ciecz nienewtonowska	4500 st. C	45 st. C
jądro wewnętrzne	tworzywo sztuczne	5000 st. C	45 st. C

### *Sposób prezentacji litosfery*

Wymiary modelu Ziemi nie pozwalają na pokazania ze szczegółami procesów zachodzących w skorupie ziemskiej i astenosferze. Uzupełnienie o te informacje powinno być wyświetlane w postaci prezentacji lub filmu na jednej ze ścian w pobliżu stanowiska. Prezentacja mogłaby zawierać przekrój przez litosferę (Ryc.4) pokazujący główne typy granic płyt tektonicznych w strefie subdukcji (płyta oceaniczna - oceaniczna (np.: łuk wysp japońskich), oceaniczna – kontynentalna (np.: płyta Nazca i wybrzeże chilijskie, kontynentalna – kontynentalna (np.: subkontynent indyjski i płyta azjatycka), a także w strefie ryftowej (na płycie oceanicznej – ryft atlantycki (spreading oceanu) oraz na płycie kontynentalnej – ryft wschodnio afrykański (rozpad kontynentu)). Ponadto, powinna znaleźć się też informacja o występowaniu plam gorąca „hot spotów” (np. Hawaje). Wszystkie wyżej wymienione strefy związane są z trzęsieniami ziemi i wulkanizmem. Prezentacja na ekranie powinna również zawierać informacje o typach wulkanizmu (zasadowy, efuzywny w strefach ryftowych oraz kwaśny, eksplozywny w strefach subdukcji) oraz o głębokościach i rozmiarze trzęsień ziemi (relatywnie słabe i płytkie w strefach ryftowych oraz głębokie i silne w strefach subdukcji) (Mortimer 2004, Lowrie 2007, Milsom 2007).



## PRZEKRÓJ ZIEMI

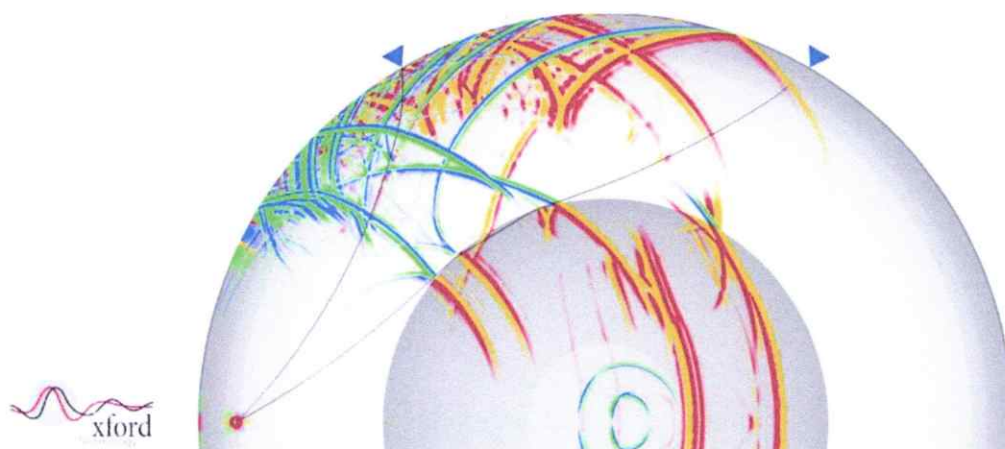


**Ryc.4.** Fragment litosfery zawierający kontakty płyt litosfery (strefa subdukcji, strefa ryftowa) oraz procesy na nich zachodzące (trzęsienia ziemi, wulkanizm, zjawiska hydrotermalne) (<https://www.universetoday.com/43822/subduction-zone/>).

### *Trzęsienie ziemi i propagacja fal*

Oprócz wyświetlanych cyrkulacji materii projektor powinien wyświetlać rozchodzenie się fal sejsmicznych, z trzech wybranych miejsc na obwodzie modelu. Powinny to być miejsca występowania trzęsień ziemi w naturze, a więc okolice ryftu i subdukcji. Miejsca te należy wzmocnić konstrukcyjnie, gdyż uruchomienie mappingu z falą wstrząsową nastąpi po uderzeniu dłonią w brzeg modelu przez odwiedzającego lub oprowadzającego grupę. Projekcja fali wstrząsowej może być uruchomiona przez system rozpoznawania ruchu – kamera zawieszona nad modelem obok projektora lub przez system czujników (np. akcelerometrów) wbudowanych w model. Kolejne uruchomienie fali może nastąpić dopiero po wygaszeniu poprzedniego trzęsienia. Projekcja fali powinna zawierać główne ugięcia i załamania fal P i S, a także konwersję jednych w drugie. Zwłaszcza pokazując, jak fale S nie przechodzą przez ciekłe jądro zewnętrzne (Ryc.5), natomiast fala P na granicy jądro zewnętrzne – jądro wewnętrzne konwertuje na falę S powodując, że w stałym jądrze wewnętrznym ten typ fali jest ponownie obecny. Można zastosować dwa rodzaje projekcji fal wstrząsowych: dla słabszego uderzenia dłonią – krótszy czas propagacji i dla silniejszego uderzenia (silniejszego trzęsienia) – dłużej trwające zjawisko propagacji fal sejsmicznych.

## PRZEKRÓJ ZIEMI



**Ryc.5.** Prezentacja propagacji fal sejsmicznych w postaci rozchodzącego się czoła fal P i S wraz z zaznaczoną drogą propagacji – reprezentacja promieniowa (<http://www.terraemotus.org/>).

### Projekcja multimedialna na kolorowej powierzchni

Wybrany do prezentacji procesów we wnętrzu Ziemi projektor o rozdzielczości 4K powinien sprostać technologii mappingu.

Definicja:

Video Mapping 3D to wielkoformatowe projekcje na budynkach lub innych obiektach, wykorzystujące strukturę płaszczyzn na których są wyświetlane.

Informacje o mappingu 3D: <http://splaszfx.pl/testy/3d-mapping-nowa-wizja-projekcji/>

Jak już zostało wspomniane projekcja (mapping) będzie odgrywać znaczącą rolę podczas prezentacji budowy wnętrza Ziemi oraz procesów w niej zachodzących. Wyświetlane powinny być:

- Na półsferze jądra wewnętrznego – obrót jądra oraz imitować efekty gorącej stałej materii
- W jądrze zewnętrznym – cyrkulacja materii
- W płaszczu – komórki konwekcyjne, powstające pióropusze magmy (hot spot), wyniesienie materii w strefach ryftowych, wciąganie i topienie płyt tektonicznych w strefach subdukcji
- W całym wnętrzu Ziemi – rozchodzenie się fal sejsmicznych po wstrząsie, pokazanie fal bezpośrednich, ugięć i załamań na granicach warstw, propagacja fali powierzchniowej po skorupie ziemskiej.

### Zwrócić uwagę na:

- Położenie stref subdukcji i stref ryftowych prezentowanych na makiecie, powinno się zgadzać z

## PRZEKRÓJ ZIEMI

rzeczywistymi strefami na Ziemi, tj. współgrać z położeniem kontynentów naniesionych na dolną półkulę modelu. Podobnie kominy gorąca powinny mieć ujście w prezentowanym modelu, w okolicach występowania na powierzchni Ziemi.

Można rozpatrzyć wykonanie drugiej połówki Ziemi, tylko jako „wydmuszki”, z otworem w miejscu jądra wewnętrznego, którą zawiesi się nad modelem dolnej połówki. Wtedy projektor do mapingu i kamera do wykrywania ruchu mogą się znaleźć wewnątrz zawieszony połówki. Określić położenie źródła sygnału (komputera), jego gabarytów i wymaganej powierzchni. Określić dostęp do komputera, sposób uruchomienia. Stanowisko z przekrojem Ziemi powinno posiadać możliwość uruchamiania z dwóch miejsc: zdalnego poprzez protokół TCPiP oraz ze stanowiska. Protokół TCPiP powinien umożliwiać również śledzenie stanu stanowiska z komputera centralnego. Ustalić możliwość modyfikacji stanowiska, szczególnie aktualizacji multimediów.

### Uwaga!

**Pojedyncze elementy modelu nie mogą przekraczać gabarytami rozmiarów drzwi wejściowych na ekspozycję, gdzie będzie zamontowane stanowisko z przekrojem Ziemi. Rozmiar drzwi wejściowych 2 m x 2 m.**

**Wskazać na zasługi prof. Adama Dziewońskiego - poprzez multimedia**

### Literatura

Gutenberg, B. (2016). Physics of the Earth's Interior. Academic Press Inc.

Kurniewicz-Witczakowa, R. (1990). Metody oceny rozwoju fizycznego dziecka. Vademecum Pediatrii PZWL

Kusky, T. M. (2008). Earthquakes: plate tectonics and earthquake hazards. Infobase Publishing.

Lowrie, W. (2007). Fundamentals of geophysics. Cambridge university press.

Mortimer, Z. (2004). Zarys fizyki Ziemi. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.

Milsom, J. (2007). Field geophysics (Vol. 25). John Wiley and Sons.

Poirier, J. P. (2000). Introduction to the Physics of the Earth's Interior. Cambridge University Press.

Teisseyre, R., Majewski, E. (2001) Earthquake Thermodynamics and Phase Transformation in the Earth's Interior, Academic Press Inc.

