

Technika *Time Reversal* w sejsmologii

Wojciech Dębski

24.05.2011

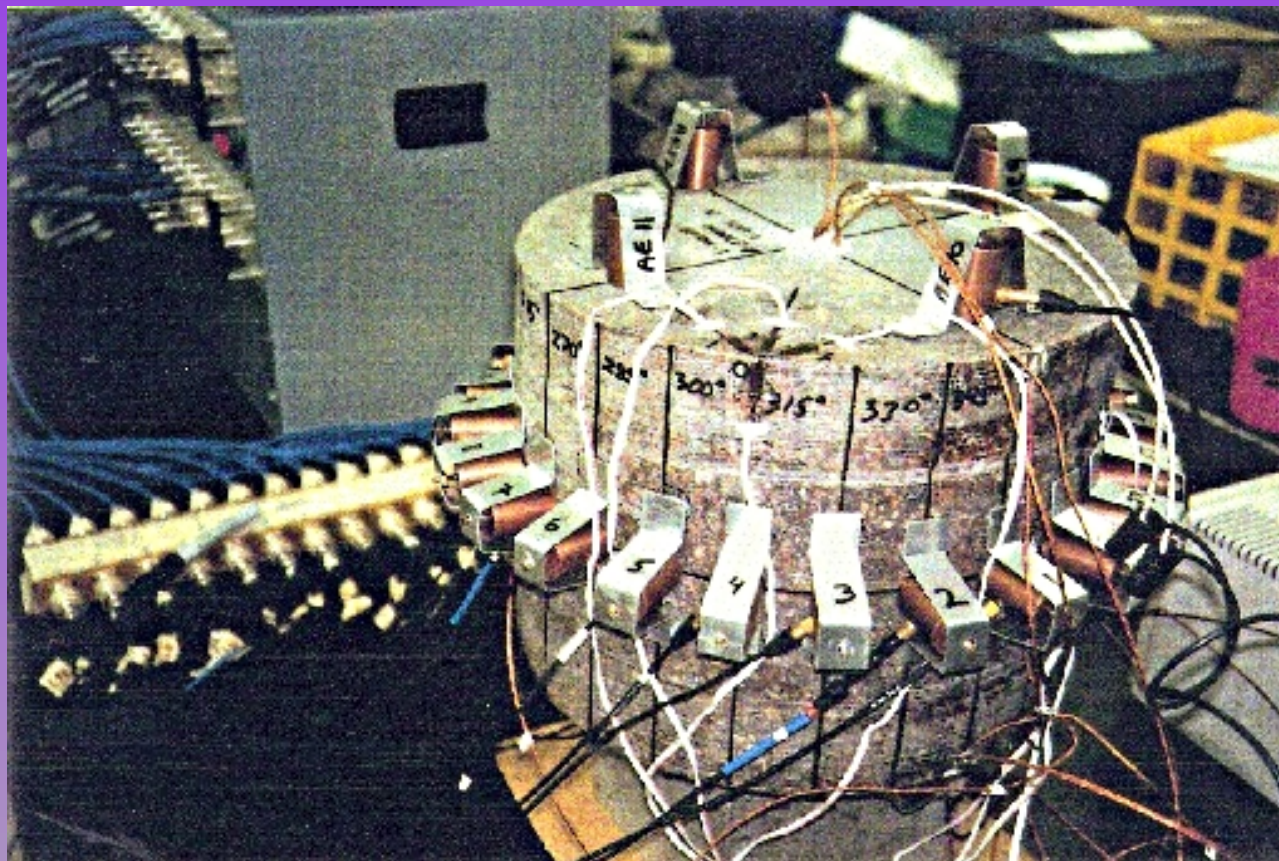
2011 CORE SET

Sejsmogramy ...

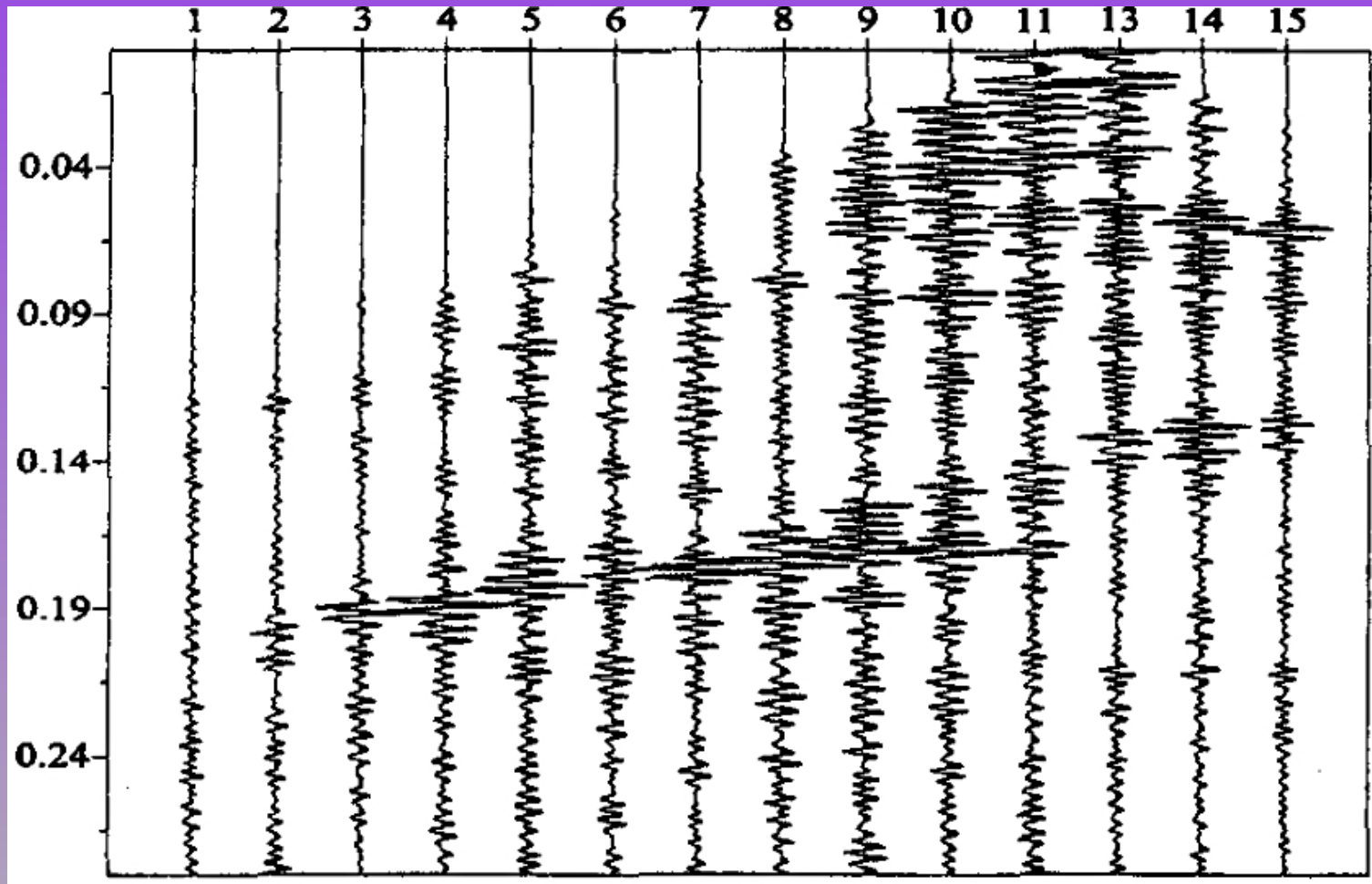
Rejestrowane przez sejsmometry drgania gruntu (fale sejsmiczne) niosą wielorakie informacje:

- ◆ mechanizmie generacji fal
 - ◆ strukturze ośrodka
 - ◆ efektach brzegowych (próbki skalne)
- i zwykle są bardzo skomplikowane

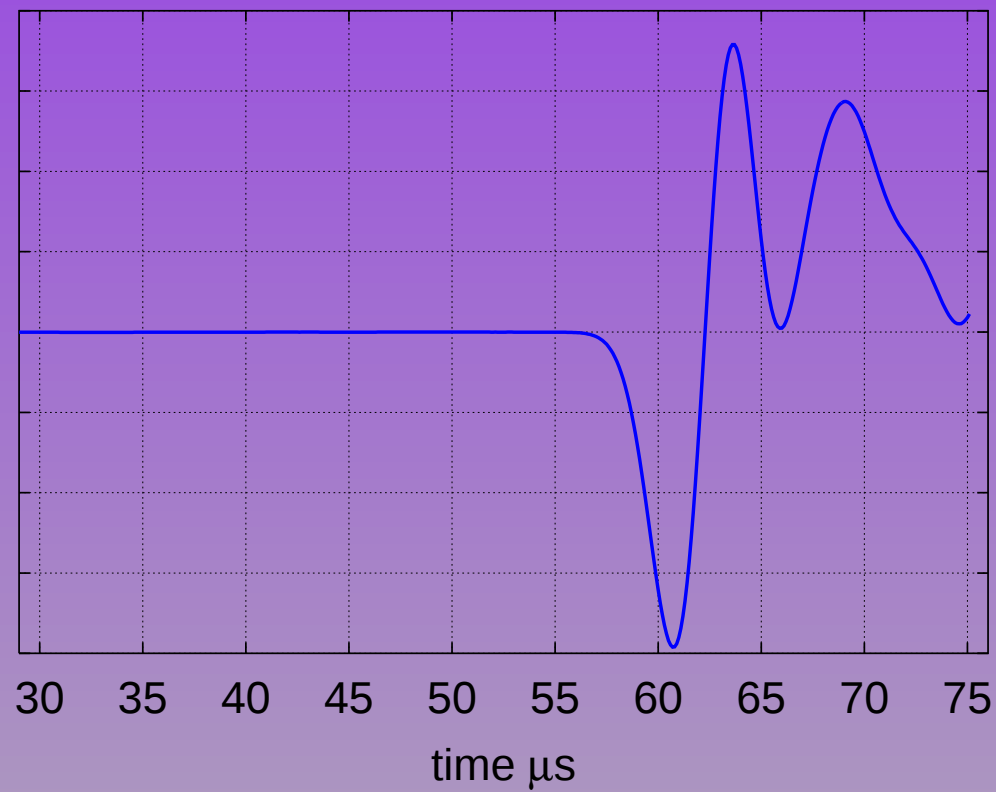
Przykład: QC-1



Przykład: QC-1

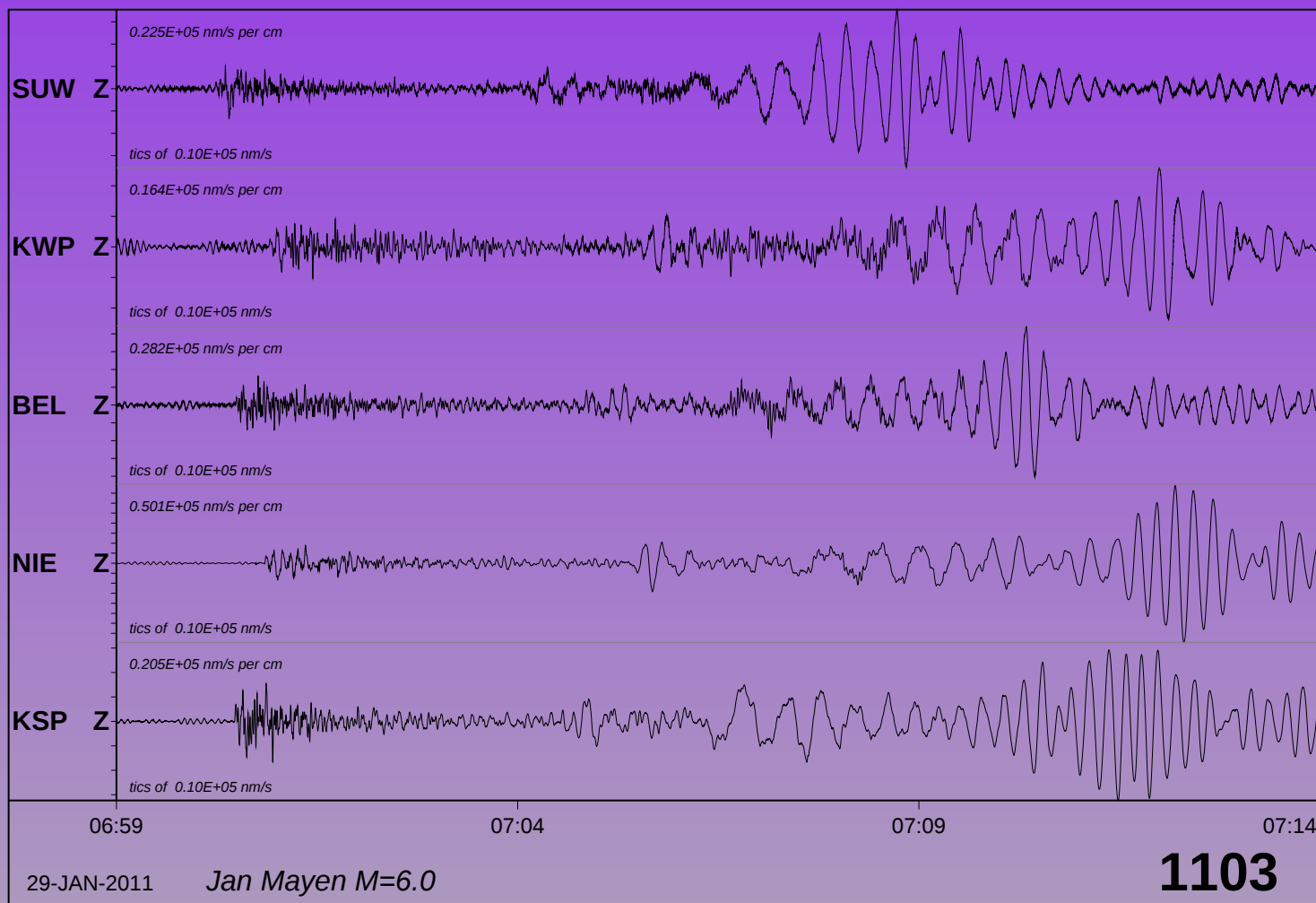


Przykład: QC-1

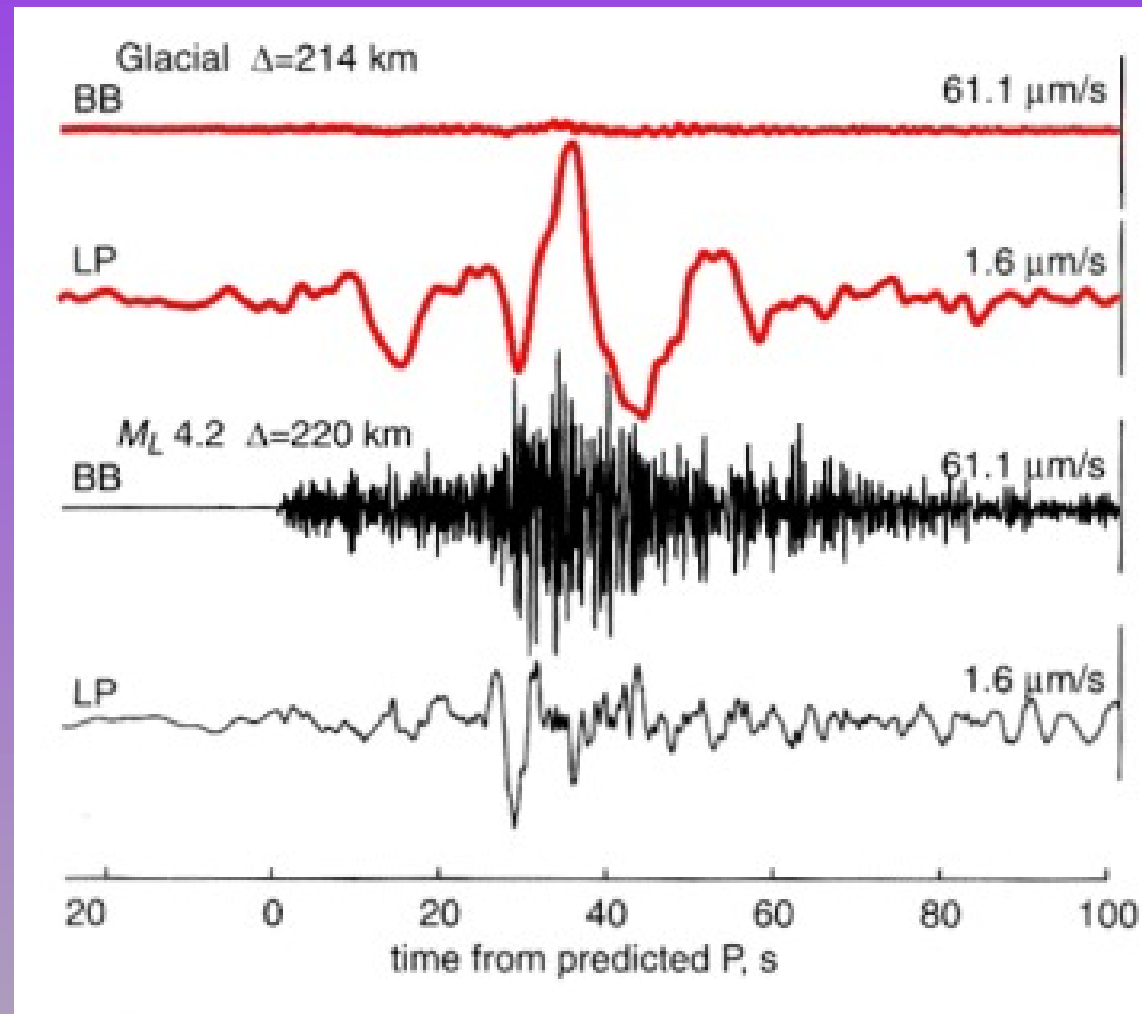


Przykład: Rudna

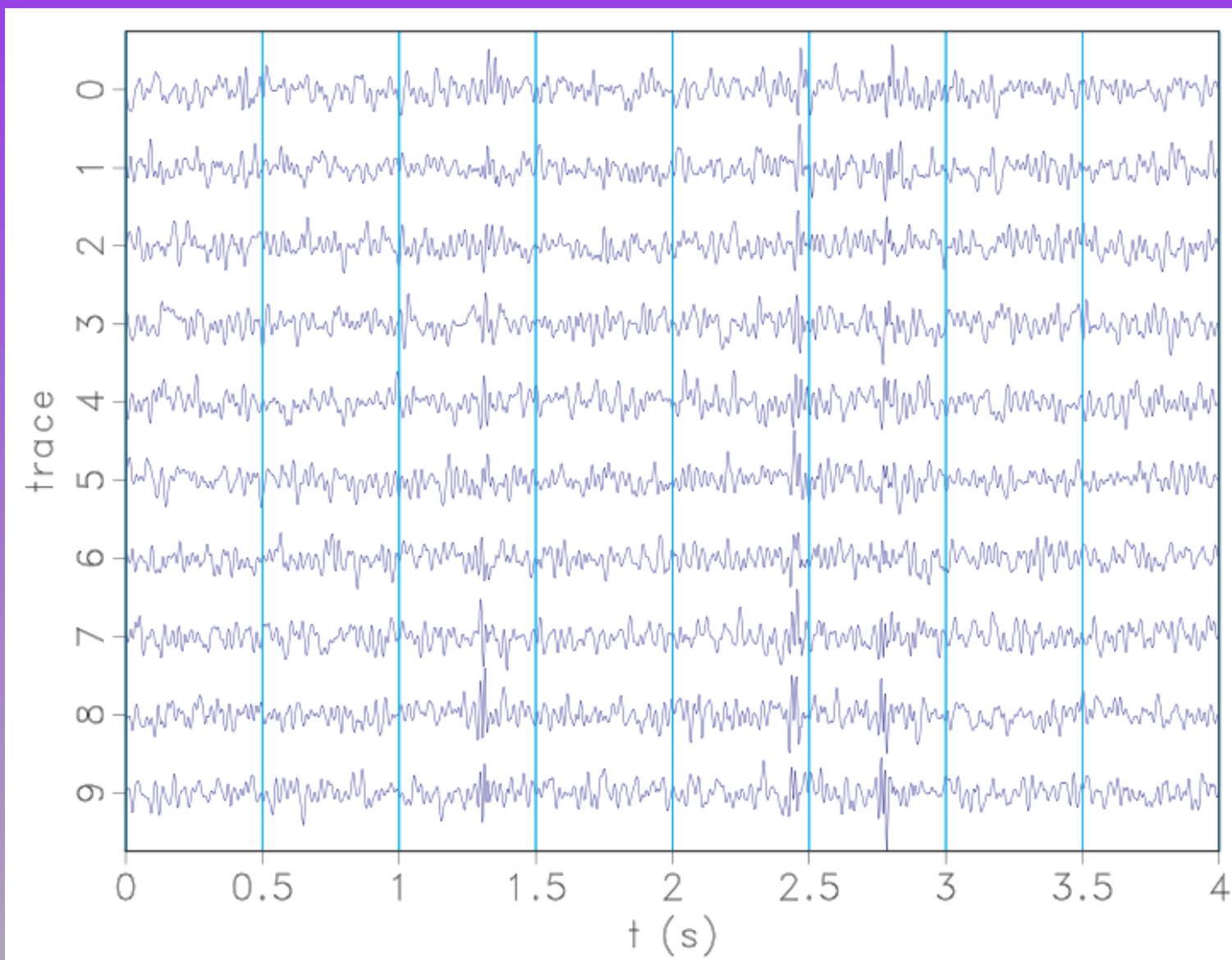
Przykład: Trzęsienia ziemi



Przykład: Wstrząsy lodowcowe



Przykład: *Volcanic tremor*



Sejsmogramy ...

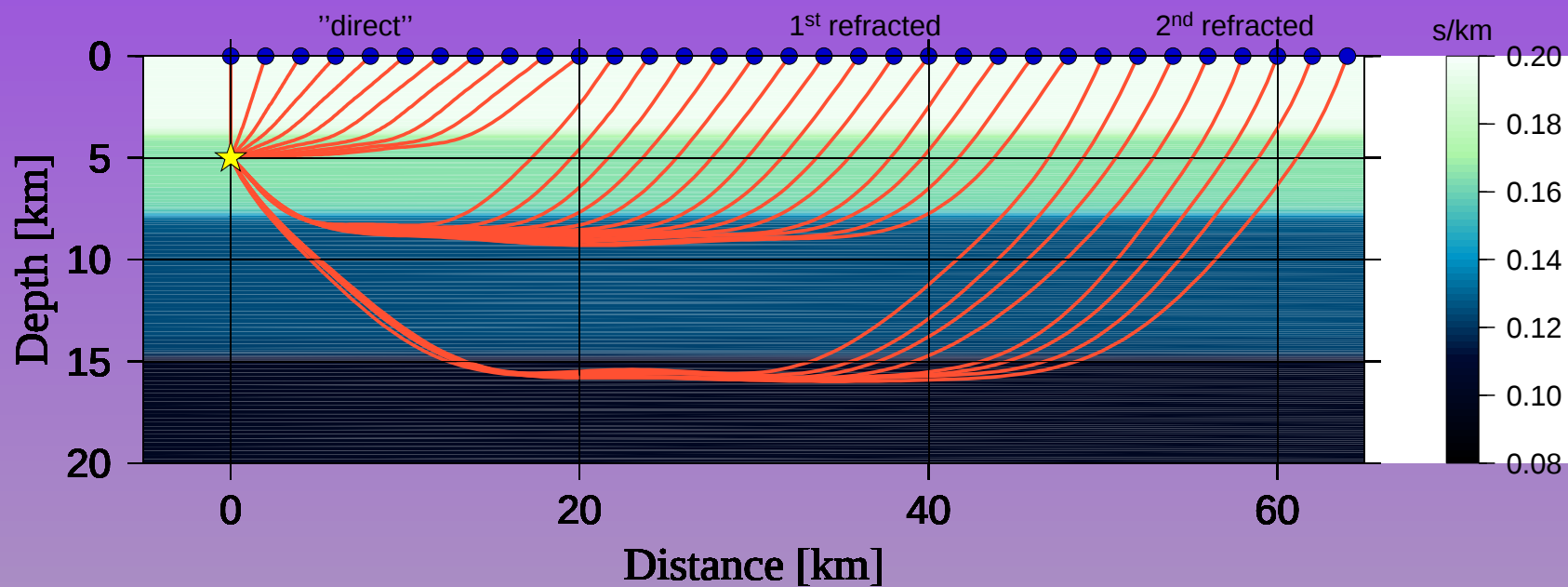
Przez długi okres czasu nie umieliśmy wykorzystywać informacji zawartych w “ogonie” sejsmogramu ponieważ zawiera on informacje o:

- ♦ interferencji, dyfrakcji
- ♦ wielokrotnych odbiciach, rozpraszaniu
- ♦

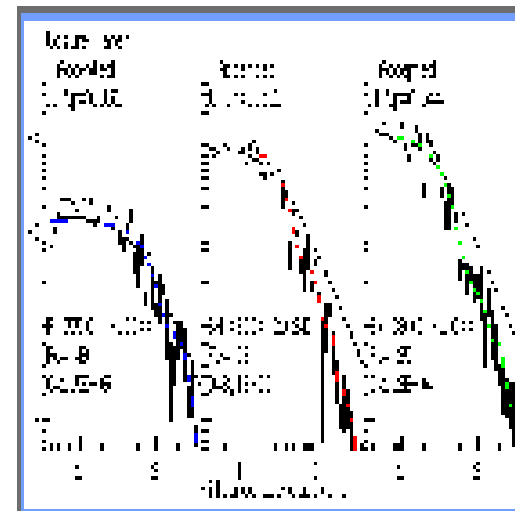
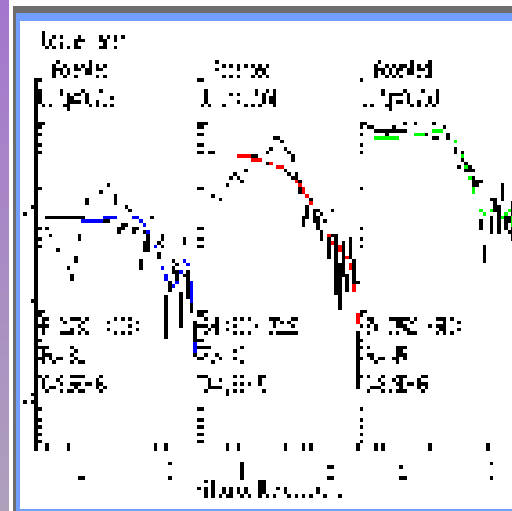
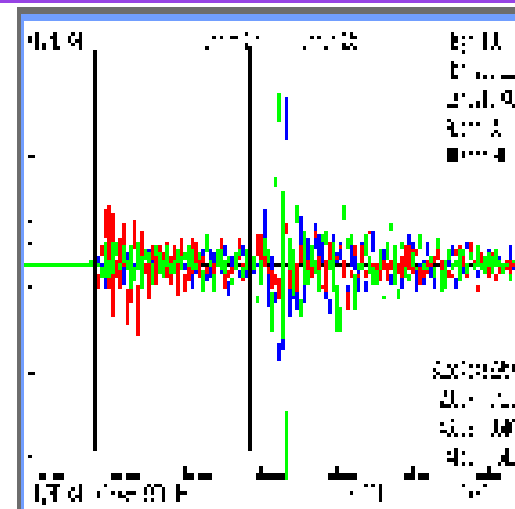
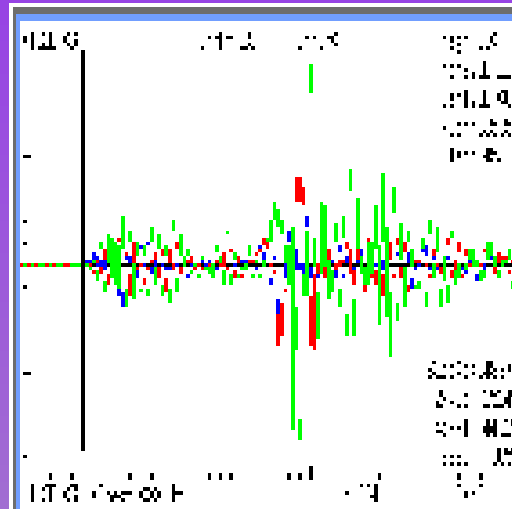
których nie można było przez długi czas wymodelować.

Podstawowe charakterystyki fal

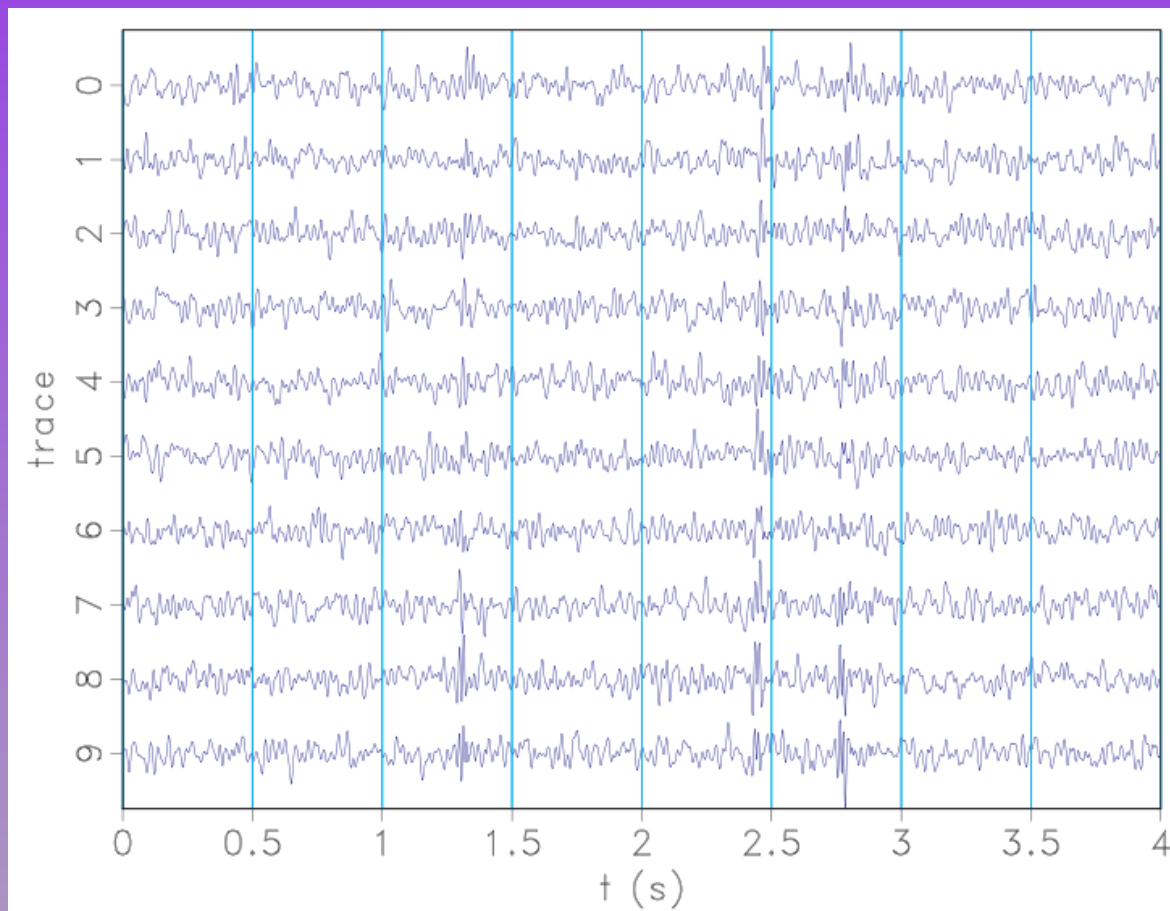
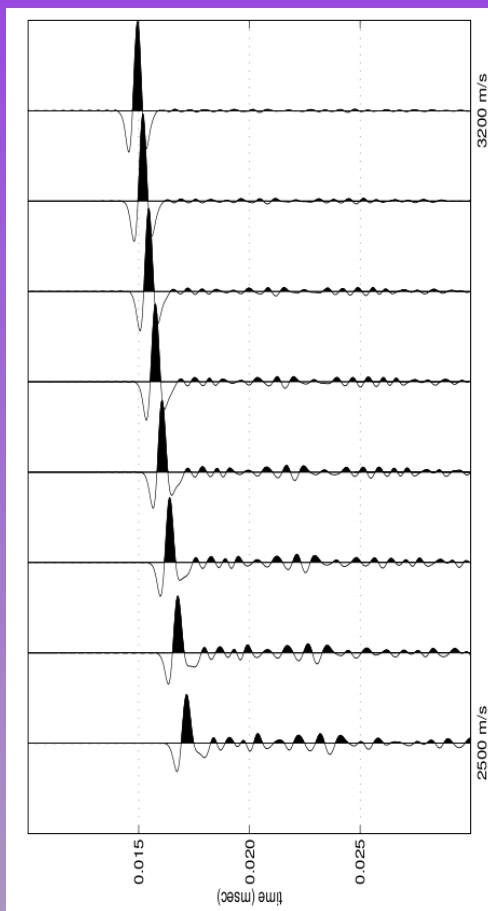
Ray Paths



Podstawowe charakterystyki spektrum



Podstawowe charakterystyki



Sejsmogramy syntetyczne

Rozwój techniki obliczeniowej spowodował, że możemy obecnie sięgnąć do tych informacji generując syntetyczne sejsmogramy

- ◆ Finite Difference (FD)
- ◆ Spectral Element Method (SEM)
- ◆ Finite Element (FM) i pochodne

Równanie falowe

Czy możemy wykorzystać informacje zawarte w “niechcianej” części sejsmogramów ???

Równanie falowe

- ◆ inwersja pola falowego

$$||\mathbf{u}^{obs}(\vec{r}, t) - \mathbf{u}^{synth}(\vec{r}, t)|| = \min$$

- ◆ *Time reverse mirroring*
- ◆ *Ambient Noise Analysis*

Równanie falowe

Zasada dynamiki ($F=ma$)

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \partial_j \sigma_{ij} + S_i$$

Prawo Hook'e

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

$$\epsilon_{kl} = 1/2 (\partial_i u_j + \partial_j u_i)$$

$$c_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu \delta_{ik} \delta_{jl}$$

Rozwiązanie - symetria R-S

$$u(\vec{r}, t) = \int G(\vec{r}, t; \vec{r}', t') S(\vec{r}', t') d\vec{r}' dt'$$

$$G(\vec{r}, t; \vec{r}', t') = G(\vec{r}', t'; \vec{r}, t)$$

$$u(\vec{r}, t) = \frac{1}{\|\vec{r} - \vec{r}'\|} S(t - \|\vec{r} - \vec{r}'\|/v)$$

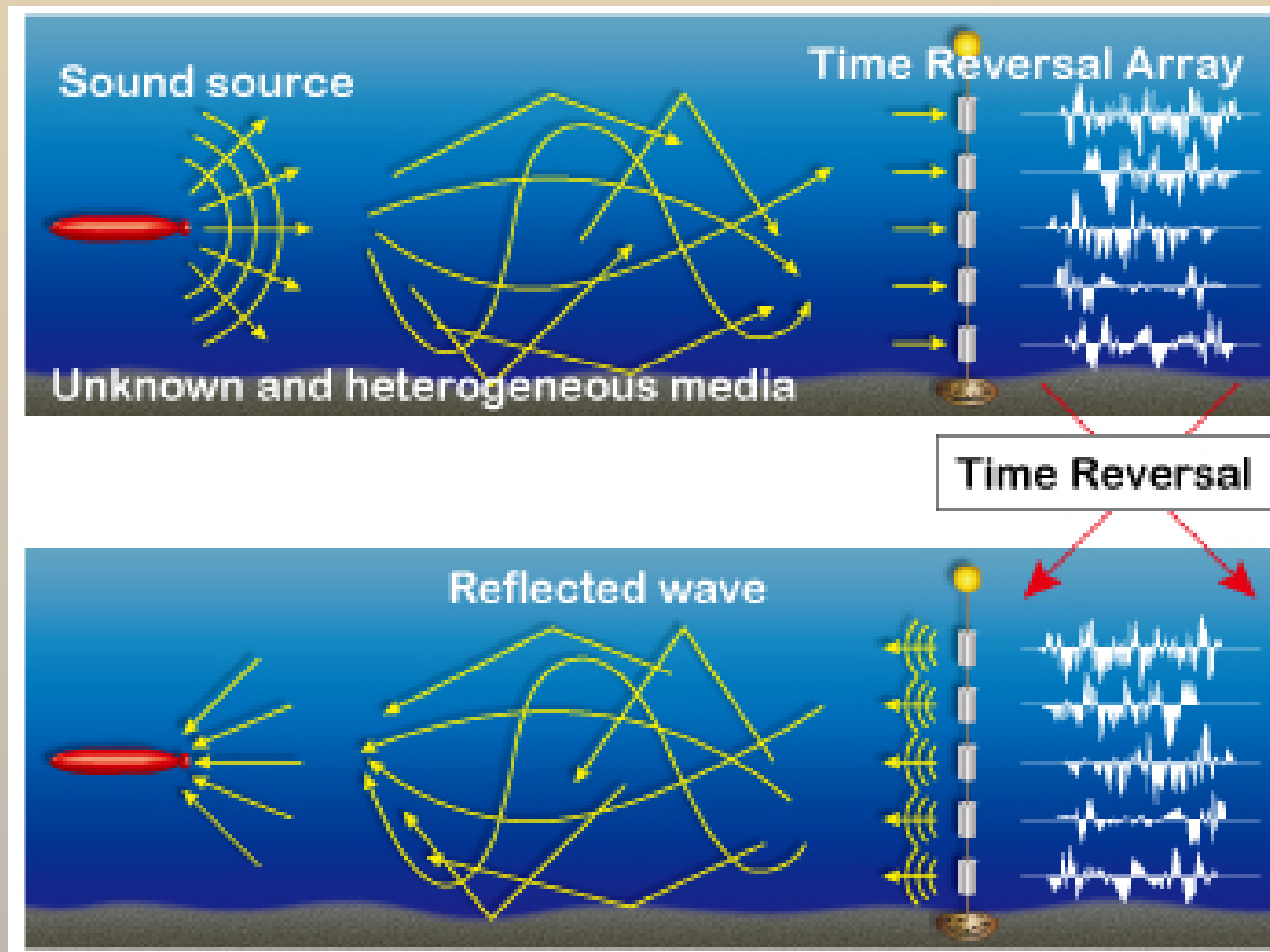
Równanie falowe - symetria T

$$\rho(\vec{r}) \frac{\partial^2 u_i(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = \partial_j \sigma_{ij}(\vec{r}) + S_i(\vec{r}, t)$$

$$t \rightarrow t' = T - t$$

$$\rho(\vec{r}) \frac{\partial^2 u_i(\vec{r}, t')}{\partial t'^2} = \partial_j \sigma_{ij}(\vec{r}) + S_i(\vec{r}, -t')$$

Time reverse Mirroring (TRM)



TRM - punktowe źródło

- ♦ propagacja fal ze źródła

$$u^{obs}(\vec{r}_o, t) = \int G(\vec{r}_o, t; \vec{r}_s, t') S(\vec{r}_s, t') dt'$$

- ♦ “back propagation”

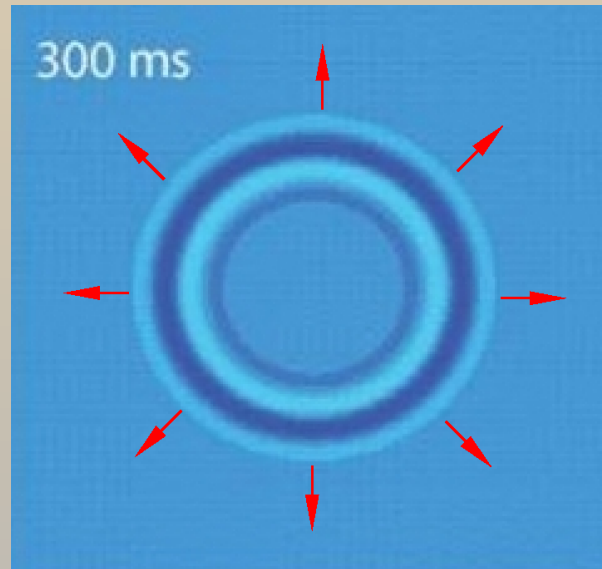
$$\bar{u}(\vec{r}, t) = \int_{obs} G(\vec{r}, t; \vec{r}_o', t') u^{obs}(\vec{r}_o', -t') d\vec{r}' dt'$$

TRM - punktowe źródło

$$\bar{u}(\vec{r}, t) = S(\vec{r}, t) \delta(\vec{r} - \vec{r}_s)$$

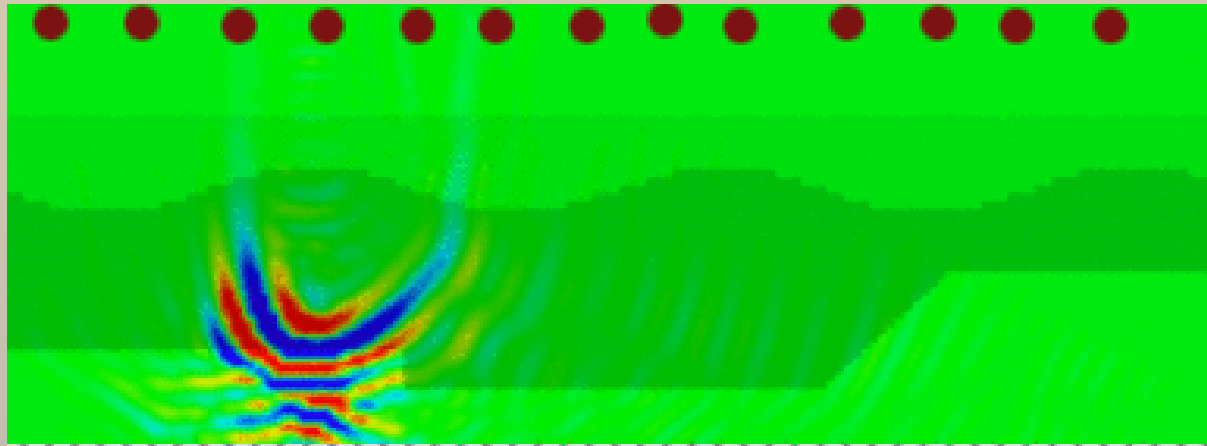
Interpretacija

$$u^{obs}(\vec{r}_o, t) = \int G(\vec{r}_o, t; \vec{r}_s, t') S(\vec{r}_s, t') dt'$$

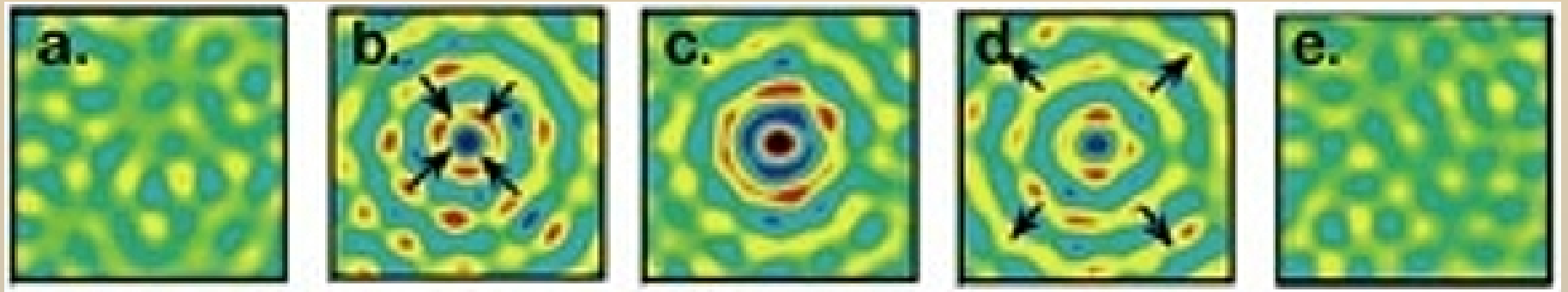


Interpretacja

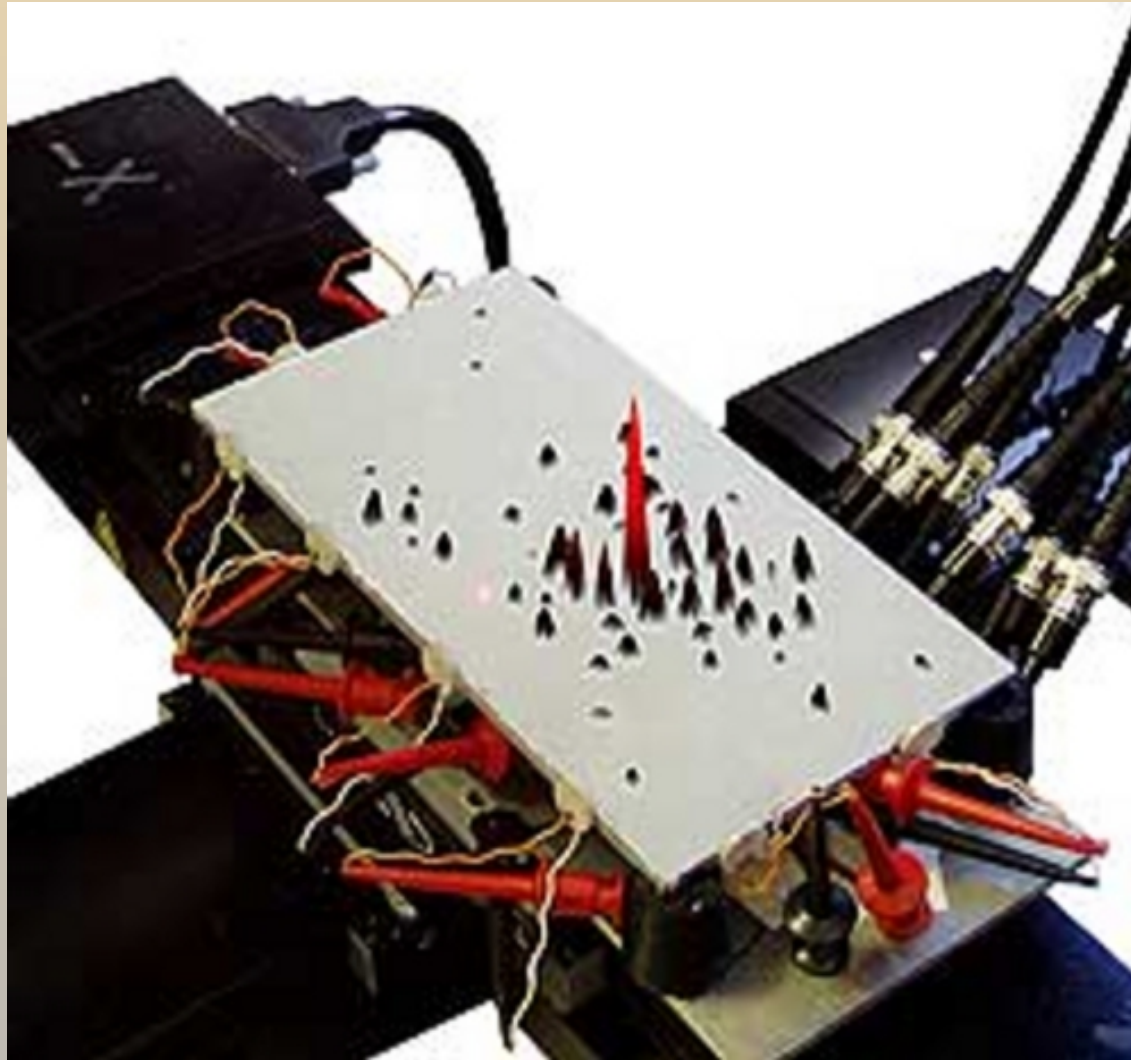
$$\bar{u}(\vec{r}, t) = \int_{obs} G(\vec{r}, t; \vec{r}_o', t') u^{obs}(\vec{r}_o', -t') d\vec{r}' dt'$$



Time reverse Mirroring (TRM)



Time reverse Mirroring (TRM)



TRM - zastosowania

- ◆ lokalizacja wstrząsów sejsmicznych
- ◆ badanie źródła sejsmicznego
- ◆ interferometria sejsmiczna
- ◆ tomografia ???

KONIEC

A vibrant, fantastical space scene. In the upper left, a large, textured orange planet dominates the sky. To its right, a bright white star shines in a deep blue, star-filled void. On the right side, a green planet with a glowing orange, branching, lava-like pattern is visible. In the center, a woman with long blonde hair, wearing a red dress, stands on the back of a large, dark, spiky dragon-like creature. She is reaching out with her right hand towards a streak of orange fire or energy. The creature is flying over a dark, jagged, rocky landscape. In the lower left, a purple planet with swirling patterns is visible. Several smaller planets and asteroids are scattered throughout the scene. The overall atmosphere is magical and epic.