

# Dynamiczna teoria pływów

geodynamika 2015/2016

ostatnia aktualizacja  
6 listopada 2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

ZIEMIA NIE JEST  
SZTYWNA!

JEST ELASTYCZNA,  
LEPKA, SPREŻYSTA...

# Zmiana potencjału punktu

## Początkowy potencjał w punkcie A

$W_A$

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

Zmiana potencjału punktu  
Początkowy potencjał w punkcie A  
Potencjał pływowy

$W_A$

$V_P$

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

Zmiana potencjału punktu

Początkowy potencjał w punkcie A

$W_A$

Potencjał pływowy

$V_P$

Potencjał deformacyjny

$V_D$

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

Zmiana potencjału punktu

Początkowy potencjał w punkcie A  $W_A$

Potencjał pływowy  $V_P$

Potencjał deformacyjny  $V_D$

Wpływ przemieszczenia  $-\frac{\partial W}{\partial R}dR$

---

$$W_A + V_P + V_D - \frac{\partial W_A}{\partial R}dR$$

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

$$\delta R = h \frac{V_P}{g}$$

$$W_D = k \cdot V_P$$

$$\delta n = l \frac{1}{g} \frac{\partial V_P}{\partial \varphi}$$

$$\delta e = l \frac{1}{g \cos \varphi} \frac{\partial V_P}{\partial \lambda}$$

$h$ ,  $k$ ,  $l$  - wartości powierzchniowe

$$h = H(R) \quad \sim 0.6$$

$$k = K(R) \quad \sim 0.3$$

$$l = L(R) \quad \sim 0.1$$

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

## Dynamiczna teoria pływów

### Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

$$W = W_A + V_P + V_D - \frac{\partial W_A}{\partial R} dR$$

$$W = W_A + V_P \cdot (1 + k - h)$$

$$\Delta W = \gamma \cdot V_P \sim 0.7 \cdot V_P$$



# Zmiana przyspieszenia siły ciężkości

wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

$$-\frac{\partial W}{\partial R} = W_A + V_P + V_D - \frac{\partial W_A}{\partial R} dR$$

$$-\frac{\partial W}{\partial R} = g + g_P \cdot \left(1 - \frac{3}{2}k + h\right)$$

$$\Delta g = \delta \cdot g_P \sim 1.16 \cdot g_P$$

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

Pływowa zmiana odchylenia pionu

- względem powierzchni Ziemi
- względem osi obrotu Ziemi

# Zmiana odchylenia pionu względem Ziemi

wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia sily  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

$$\vartheta_{N-S} = \frac{1}{Rg} \frac{\partial V_P}{\partial \varphi} (1 + k - h)$$

$$\vartheta_{N-S} = \gamma \cdot \vartheta_P \sim 0.7 \cdot \vartheta_P$$

# Zmiana odchylenia pionu względem osi obrotu Ziemi

wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia sily ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

$$\vartheta_{N-S} = \frac{1}{Rg} \frac{\partial V_P}{\partial \varphi} (1 + k - l)$$

$$\vartheta_{N-S} = \Lambda \cdot \vartheta_P \sim 1.1 \cdot \vartheta_P$$

# Współczynniki pływowe

wykład  
06.11.2015

grawimetryczny	$\delta$	$1 - \frac{3}{2}k + h$	1.16
----------------	----------	------------------------	------

klinometryczny	$\gamma$	$1 + k - h$	0.7
----------------	----------	-------------	-----

	$\Lambda$	$1 + k - l$	1.1
--	-----------	-------------	-----

ekstensometryczne

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

**Współczynniki pływowe**

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

stopień	rzęd	$\delta$	h	k	l	$\gamma$
2	0	1.165	0.618	0.305	0.086	0.687
2	1	1.153	0.607	0.302	0.082	0.695
2	2	1.157	0.615	0.306	0.082	0.691
3		1.073	0.295	0.094	0.015	0.800
4		1.036	0.181	0.043	0.010	0.862

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

Wahadła poziome

Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów

# Maksymalne efekty geodezyjnych zjawisk pływowych

wykład  
06.11.2015

Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły ciężkości

Współczynniki pływowe

Efekt		Maksymalny efekt	
		Księżyc	Słońce
Wysokość elipsoidalna	$H^{el}$	33 cm	15 cm
Wysokość ortometryczna (normalna)	$H^{o,n}$	36 cm	17 cm
Odstęp geoidy	$N$	70 cm	32 cm
Przyspieszenie siły ciężkości	$g$	191 $\mu Gal$	88 $\mu Gal$
Odległość pozioma	$s$	$8.0 \cdot 10^{-8} \cdot s$	$3.7 \cdot 10^{-8} \cdot s$
Odchylenie pionu	$\vartheta$	0.023"	0.011"
Różnica wysokości	$\Delta h$	0.056 [mm/km]	0.026 [mm/km]

Instrumenty  
Ciężarowe

Grawimetri

Wahadła poziome

Klinometri

Ekstensometri

Przykłady

Metoda

Najmniejszych Kwadratów

## Zmiany przyspieszenia siły ciężkości

- Grawimetry
  - sprężynowe
  - nadprzewodnikowe

## Zmiany odchylenia pionu

- Wahadła poziome
- Klinometry hydrostatyczne
- klinometry wahadłowe
- teleskopy, instrumenty przejściowe

## Zmiany deformacyjne

- ekstensometry
- interferometry laserowe

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów





wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

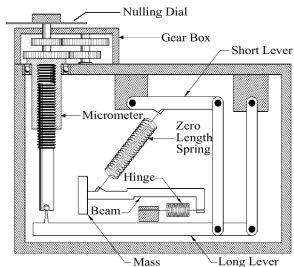
### Grawimetry

Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

[www.microglacoste.com](http://www.microglacoste.com)



[apuntos.rincondelvago.com](http://apuntos.rincondelvago.com)



[www.scintrexltd.com](http://www.scintrexltd.com)

wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

### Grawimetry

Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów



wykład  
06.11.2015

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału

Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości

Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry

**Wahadła poziome**

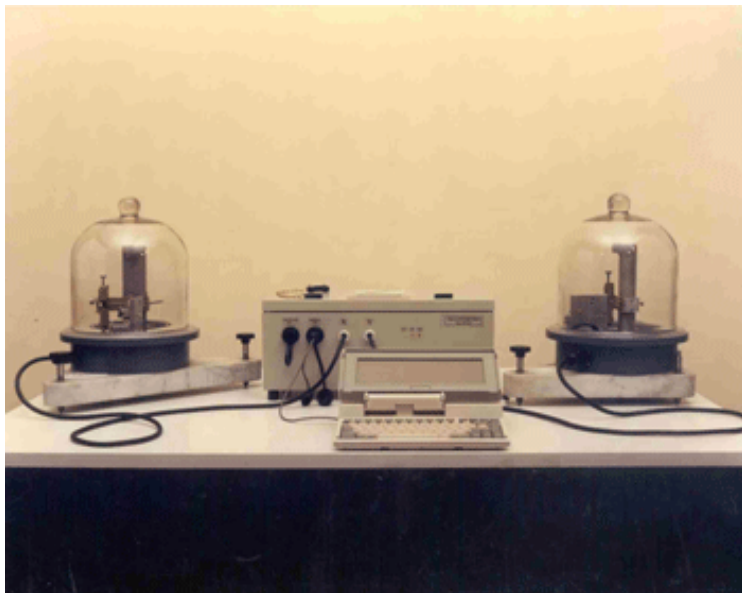
Klinometry

Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą

Najmniejszych Kwadratów



[www.lngs.infn.it](http://www.lngs.infn.it)

## Dynamiczna teoria pływów

- Zmiana potencjału
- Zmiana przyspieszenia siły ciężkości
- Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

- Grawimetry
- Wahadła poziome
- Klinometry**
- Ekstensometry

## Przykłady

- Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów



[www.cbk.waw.pl](http://www.cbk.waw.pl)

## Dynamiczna teoria pływów

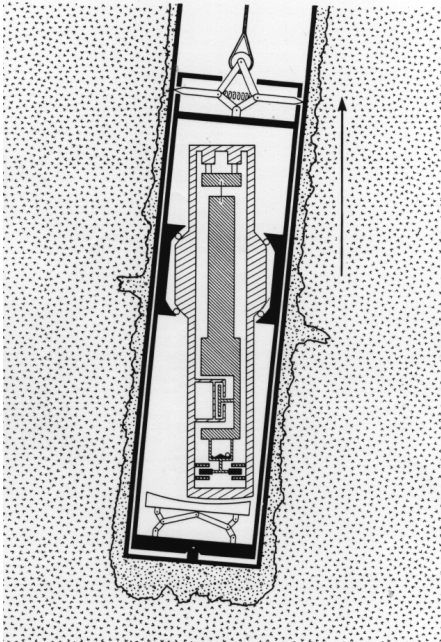
Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

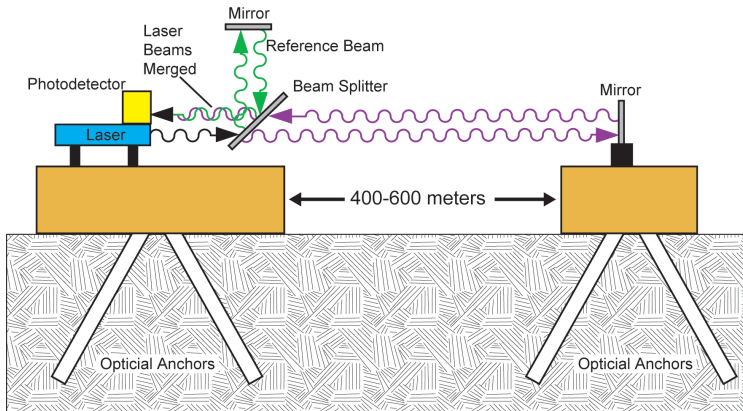
## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
**Klinometry**  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów





[www.earthscope.org](http://www.earthscope.org)

## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

wykład  
06.11.2015

### Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

### Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
**Ekstensometry**

### Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

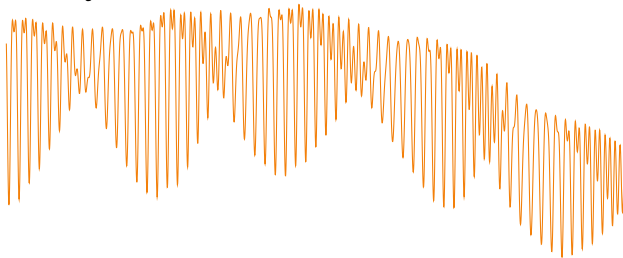


[www.bfo.geophys.uni-stuttgart.de](http://www.bfo.geophys.uni-stuttgart.de)

# Zadanie

wykład  
06.11.2015

Rozwiązanie dla zestawu nr 0.



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

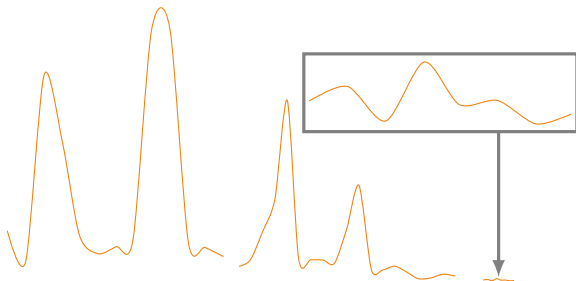
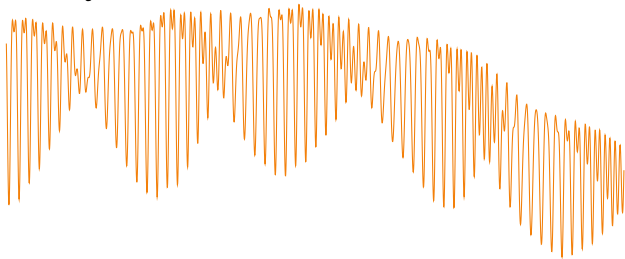
Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów



# Zadanie

wykład  
06.11.2015

Rozwiązanie dla zestawu nr 0.



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

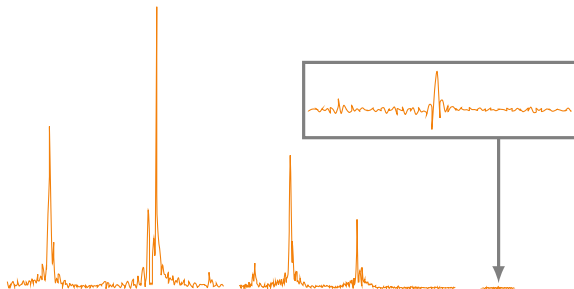
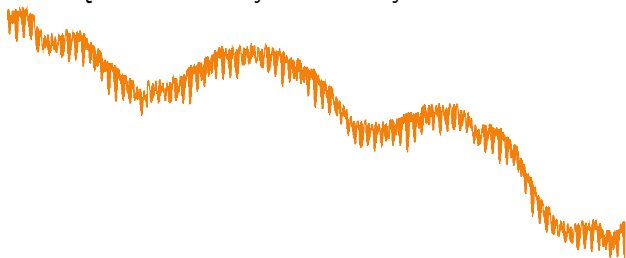
## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

# Zadanie

wykład  
06.11.2015

Rozwiązanie dla wszystkich danych.



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

Równanie obserwacyjne,

$$v_t = \sum_{n=1}^n R_i \delta_i \cos(\Phi_{it} + \Delta\Phi_i) - P_t - D_t$$

Linearyzacja,

$$v_t = \sum_{n=1}^n R_i \cos \Phi_{it} \delta_i \cos \Delta\Phi_i - \sum_{n=1}^n R_i \sin \Phi_{it} \delta_i \sin \Delta\Phi_i - P_t - D_t$$

Rozwiązanie,

$$\delta, \Delta\Phi$$

Dynamiczna teoria  
pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

Instrumenty  
pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

Równanie obserwacyjne,

$$v_t = \sum_{n=1}^n R_i \delta_i \cos(\Phi_{it} + \Delta\Phi_i) - P_t - D_t$$

Linearyzacja,

$$v_t = \sum_{n=1}^n R_i \cos \Phi_{it} \delta_i \cos \Delta\Phi_i - \sum_{n=1}^n R_i \sin \Phi_{it} \delta_i \sin \Delta\Phi_i - P_t - D_t$$

Rozwiązanie,

$$\delta(f), \quad \Delta\Phi(f)$$

Dynamiczna teoria  
pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły  
ciężkości  
Współczynniki pływowe

Instrumenty  
pomiarowe

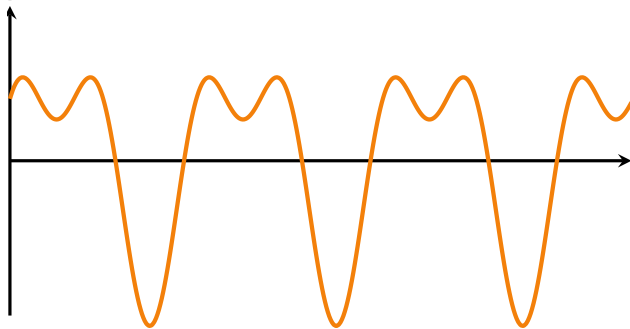
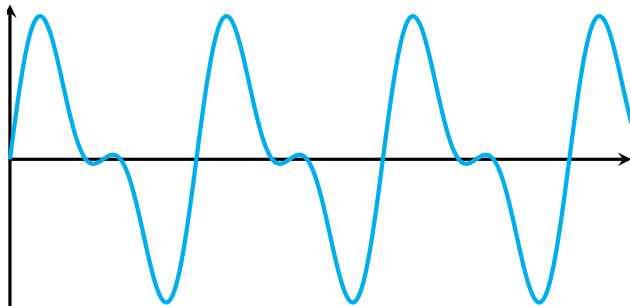
Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

# Zadanie\*

wykład  
06.11.2015



## Dynamiczna teoria pływów

- Zmiana potencjału
- Zmiana przyspieszenia siły ciężkości
- Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

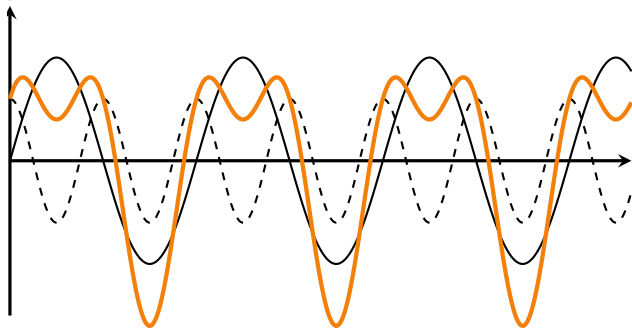
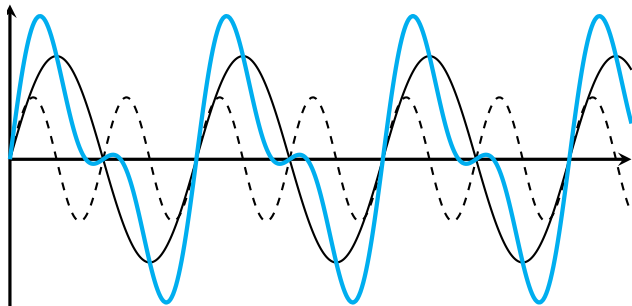
- Grawimetry
- Wahadła poziome
- Klinometry
- Ekstensometry

## Przykłady

- Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów

# Zadanie\*

wykład  
06.11.2015



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

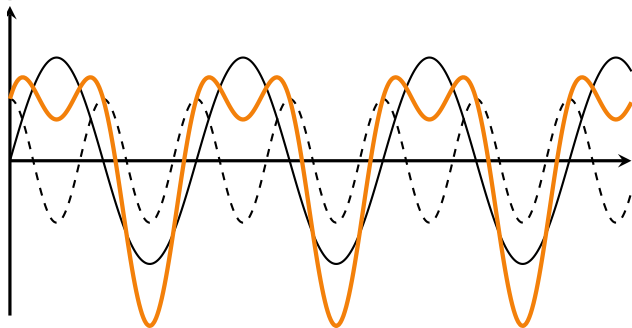
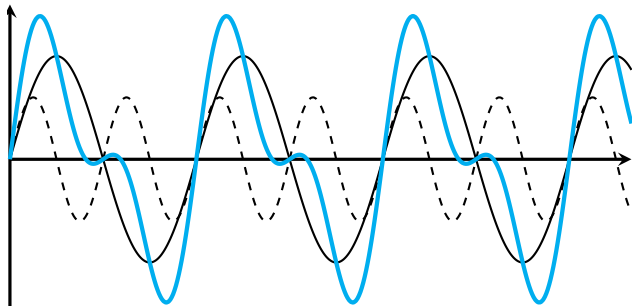
Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

# Zadanie\*

wykład  
06.11.2015



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

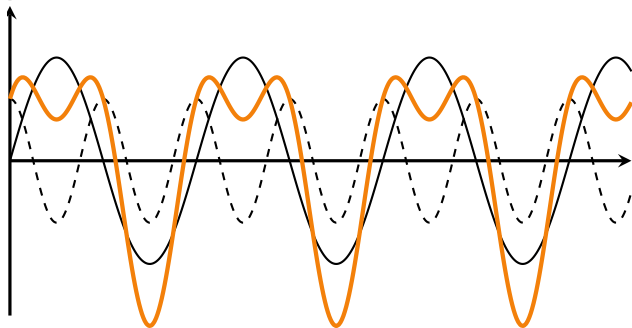
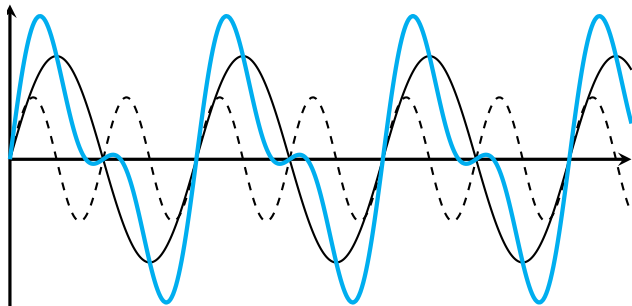
Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów

# Zadanie\*

wykład  
06.11.2015



## Dynamiczna teoria pływów

Zmiana potencjału  
Zmiana przyspieszenia siły ciężkości  
Współczynniki pływowe

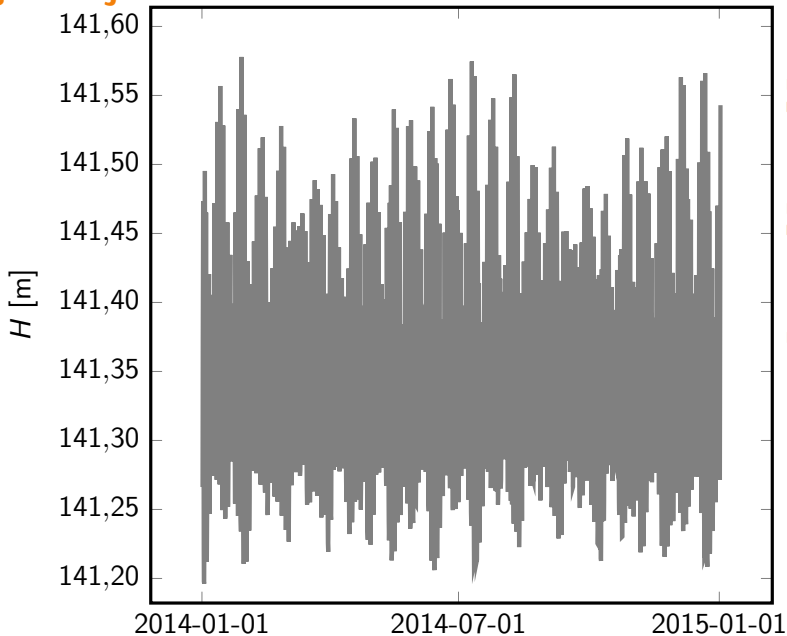
## Instrumenty pomiarowe

Grawimetry  
Wahadła poziome  
Klinometry  
Ekstensometry

## Przykłady

Analiza Metodą  
Najmniejszych Kwadratów





## Dynamiczna teoria pływów

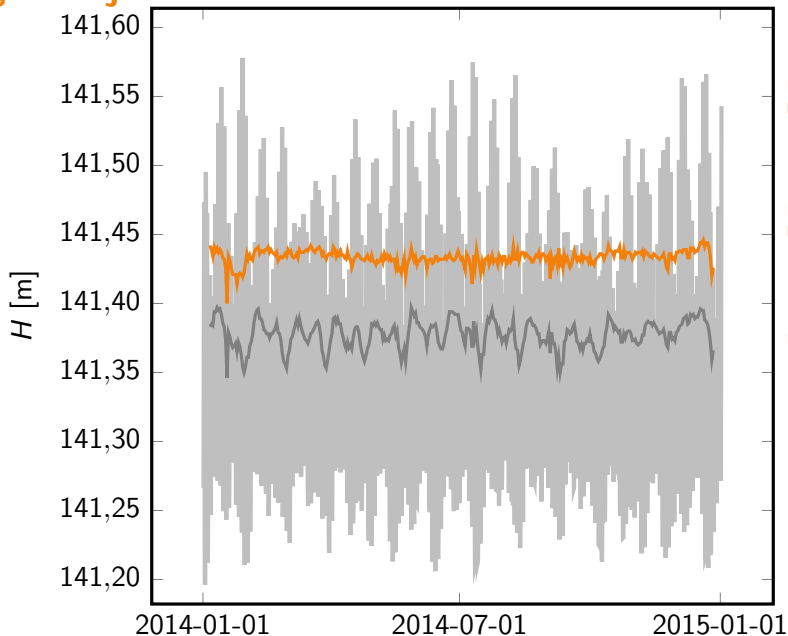
- Zmiana potencjału
- Zmiana przyspieszenia siły ciężkości
- Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

- Grawimetry
- Wahadła poziome
- Klinometry
- Ekstensometry

## Przykłady

- Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów



## Dynamiczna teoria pływów

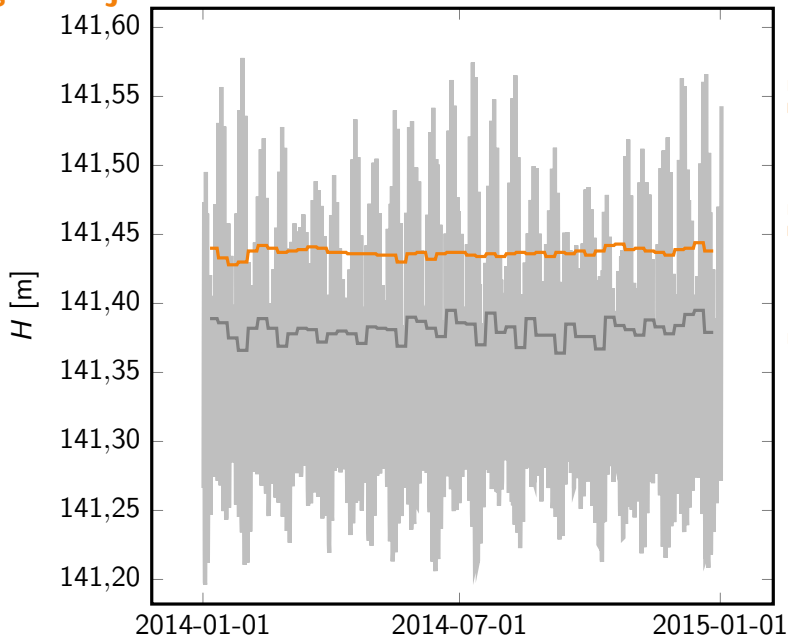
- Zmiana potencjału
- Zmiana przyspieszenia siły ciężkości
- Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

- Grawimetry
- Wahadła poziome
- Klinometry
- Ekstensometry

## Przykłady

- Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów



## Dynamiczna teoria pływów

- Zmiana potencjału
- Zmiana przyspieszenia sily ciężkości
- Współczynniki pływowe

## Instrumenty pomiarowe

- Grawimetry
- Wahadła poziome
- Klinometry
- Ekstensometry

## Przykłady

- Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów