

## ZAŁĄCZNIK 2

---

### **Badanie grawimetrycznych pływów ziemskich w obserwatorium w Józefosławiu w 2009 roku**

Praca wykonana w ramach SPUB  
*Udział Astrogeodezyjnego Obserwatorium Międzynarodowej Stacji IGS w Józefosławiu  
w Europejskich i Globalnych Programach Badawczych*  
Warszawa, 13 marca 2010

Marcin Rajner  
Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej  
Wydział Geodezji i Kartografii  
Politechnika Warszawska  
mrajner@gik.pw.edu.pl



## Spis treści

Spis rysunków . . . . .	i
Spis tabel . . . . .	i
<b>1. Laboratorium pływowe . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2. Dane . . . . .</b>	<b>2</b>
2.1. Obserwacje grawimetryczne . . . . .	2
2.2. Obserwacje pomocnicze . . . . .	4
<b>3. Przygotowanie danych . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>4. Analiza obserwacji . . . . .</b>	<b>6</b>
4.1. Analiza harmoniczna . . . . .	6
4.2. Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów . . . . .	6
4.2.1. Wartości amplitud oraz faz . . . . .	8
4.2.2. Residua obserwacji . . . . .	11
<b>5. Efekty pośrednie . . . . .</b>	<b>12</b>
5.1. Oceaniczny . . . . .	12
5.2. Atmosferyczny . . . . .	12
<b>6. Wnioski . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>14</b>

## Spis rysunków

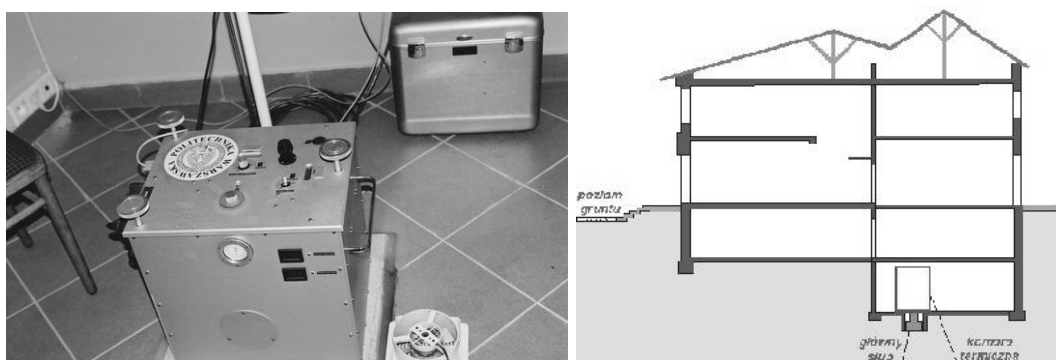
1 Obserwatorium w Józefosławiu . . . . .	1
2 Grawimetr pływowy <i>LC&amp;R ET26</i> oraz jego usytuowanie w budynku obserwatorium . . . . .	1
3 Panel programu <i>Tidaq</i> nadzorującego pracę grawimetru. . . . .	2
4 Obserwowane wartości przyspieszenia siły ciężkości w Józefosławiu. . . . .	3
5 Przerwy w rejestracji danych . . . . .	3
6 Odczyty libeli elektronicznych. . . . .	4
7 Zmiany ciśnienia obserwowane w Józefosławiu. . . . .	5
8 Zmiany temperatury . . . . .	5
9 Zakłócenia powodowane trzęsieniami Ziemi . . . . .	7
10 Widmo mocy obserwacji grawimetrycznych . . . . .	7
11 Widmo mocy obserwacji grawimetrycznych w wybranych przedziałach częstotliwości. . . . .	8
12 Wartości współczynników grawimetrycznych oraz faz dla wybranych fal pływowych . . . . .	10
13 Residua . . . . .	11
14 Widmo mocy residuów . . . . .	11
15 Wpływ obciążeń oceanicznych na zmiany przyspieszenia siły ciężkości . . . . .	13
16 Parametry pływowe po uwzględnieniu obciążeń oceanicznych . . . . .	13
17 Widmo mocy ciśnienia atmosferycznego . . . . .	15

## Spis tabel

1 Statystyka przerw w obserwacjach. . . . .	4
2 Wyniki analizy Metodą Najmniejszych Kwadratów . . . . .	9
3 Oceaniczny efekt pośredni w Józefosławiu wg modelu <i>тpxo6.2</i> . . . . .	12
4 Wyniki analizy Metodą Najmniejszych Kwadratów dla ciśnienia atmosferycznego . . . . .	14



Rysunek 1. Obserwatorium w Józefosławiu ([1]).

Rysunek 2. Grawimetr pływowy *LaCoste & Romberg ET26* oraz schematyczne umiejscowienie laboratorium pływowego w budynku obserwatorium (źródło: [7]).

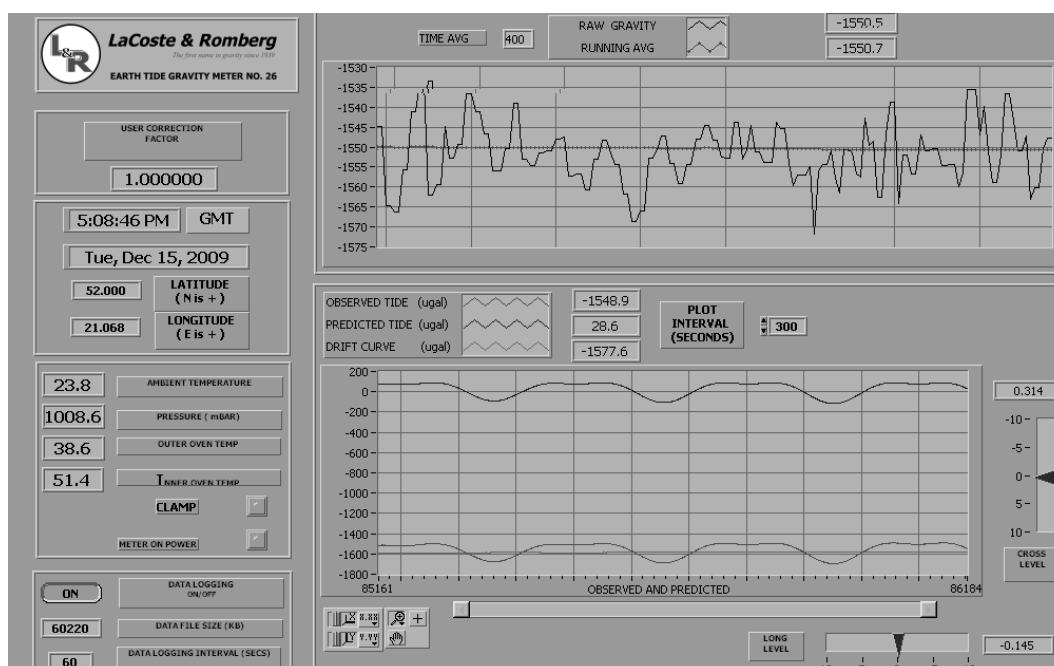
## 1. Laboratorium pływowe

Laboratorium pływowe znajdują się w części piwnicznej (około 6 metrów pod powierzchnią terenu) budynku Obserwatorium Astro-Geodezyjnego w Józefosławiu (rys. 1 i 2). Główny punkt obserwacyjny to żel-betonowy słup wpuszczony ponad metr w grunt, a także odizolowany od budynku, aby wykluczyć przenoszenie drgań.

Obserwatorium w Józefosławiu od 2002 roku wyposażone jest w grawimetr sprężynowy *LaCoste & Romberg Earth Tide no. 26* (rys. 2) dedykowany do ciągłych, stacjonarnych obserwacji zmian przyspieszenia siły ciężkości ([9], [12], [10]). Jest to najdokładniejszy instrument w klasie instrumentów mechanicznych, różniący się od poprzednich modeli (G - geodezyjny, D - geofizyczny) tym, że posiada znacznie lepszą stabilizację termiczną (podwójne naczynie Dewara, rys. 8), jest wyposażony w tzw. feedback utrzymujący masę próbną w stałym położeniu (nie są rejestrowane zmiany położenia masy próbnej, tylko „odpowiedzi” z tego urządzenia), posiada zmienioną konstrukcję tłumienia drgań oraz stabilne podzespoły elektroniczne ([19],[11]).

Instrument wyposażony jest w dodatkowe czujniki, których pozwalają kontrolować stabilność instrumentu (libele elektroniczne - rys. 6) oraz stabilność termiczną (rejestracja temperatury otoczenia, oraz temperatur wewnątrz komór termicznych - rys. 8). Mierzone jest także ciśnienie (rys. 7) którego wpływ musi być uwzględniony w precyzyjnych opracowaniach.

Pracę wszystkich urządzeń kontroluje firmowe oprogramowanie *Tidaq* (rys. 3), które słu-



Rysunek 3. Panel programu Tidaq nadzorującego pracę grawimetru.

ży również do zapisywania, szybkiej wizualizacji i porównania danych z obliczonym pływem teoretycznym (wg procedury Longmana [20]). Pozwala to na zdalną kontrolę urządzenia (bez zakłócania jego pracy), szybką reakcję obserwatora w przypadku wystąpienia problemów oraz uniknięcie długich przerw w obserwacjach (rys. 1). Ciągłość obserwacji w przypadku pływów ziemskich ma duże znaczenie na jakość wyników.

Warto zwrócić tutaj uwagę, że zaletą obserwatorium w Józefosławiu są częste (raz na miesiąc) obserwacje przyspieszenia siły ciężkości przy pomocy grawimetru balistycznego (FG5 no. 230), które pozwalają na dokładną kalibrację grawimetru pływowego i kontrole zmian jego współczynnika ([13]).

## 2. Dane

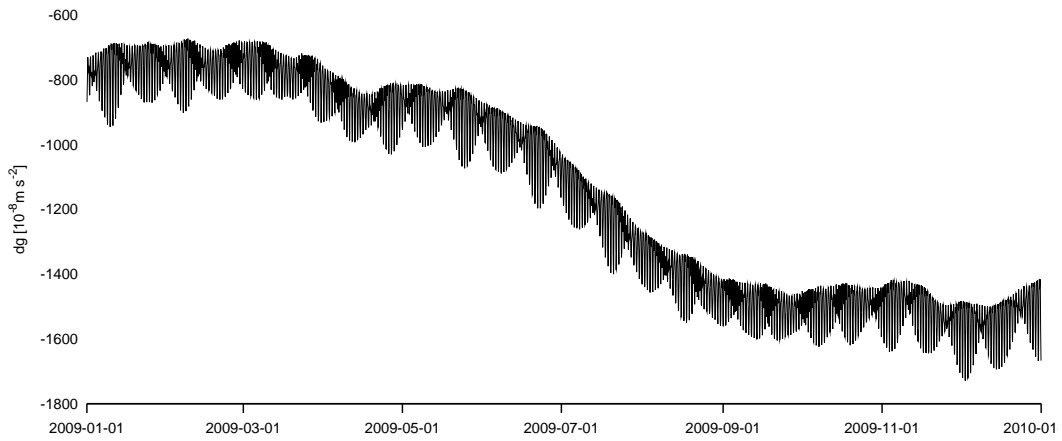
### 2.1. Obserwacje grawimetryczne

Niniejsze sprawozdanie zawiera analizy i wyniki uzyskane na podstawie obserwacji zarejestrowanych w 2009 roku. Sygnał próbkowany jest z rozdzielczością 0,2 sekundy, a następnie wygładzany (średnia ruchoma) i zapisywany z rozdzielczością minutową. Czas jest kontrolowany przez zegar komputera, który jest synchronizowany co godzinę przez internetowe serwery czasu<sup>1</sup>.

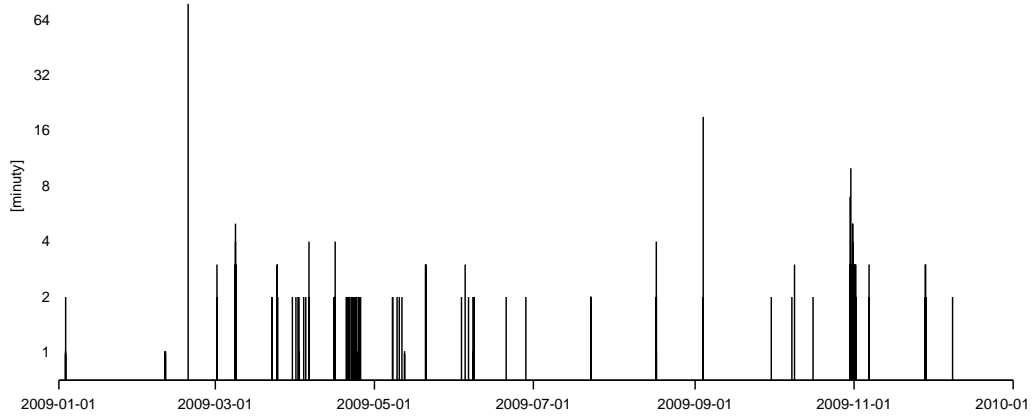
Ponadto uwzględniane jest stałe przesunięcie związane z instrumentalnym opóźnieniem fazowym (związane z czasem reakcji układu mierzącego na występujące zjawisko). Wartość ta została uprzednio wyznaczona ([8]).

Rys. 4 przedstawia zarejestrowane wartości przyspieszenia siły ciężkości. Przy tej rozdzielczości widoczne są zmiany o okresie około-dwutygodniowym (pół miesiąca syderecznego) związane ze wzmacnianiem (pływy syzygijne) oraz wygaszaniem (pływy kwadraturowe) sumarycznego wpływu Księżyca i Słońca. Ponadto wyraźna jest krzywa dryftu, w której

<sup>1</sup> W związku z wprowadzeniem na początku roku sekundy przestępnej przez *IERS* ([2]) należało uwzględnić różnicę czasu w algorytmach, które przy wyznaczaniu elementów astronomicznych korzystają z czasu efemeryd



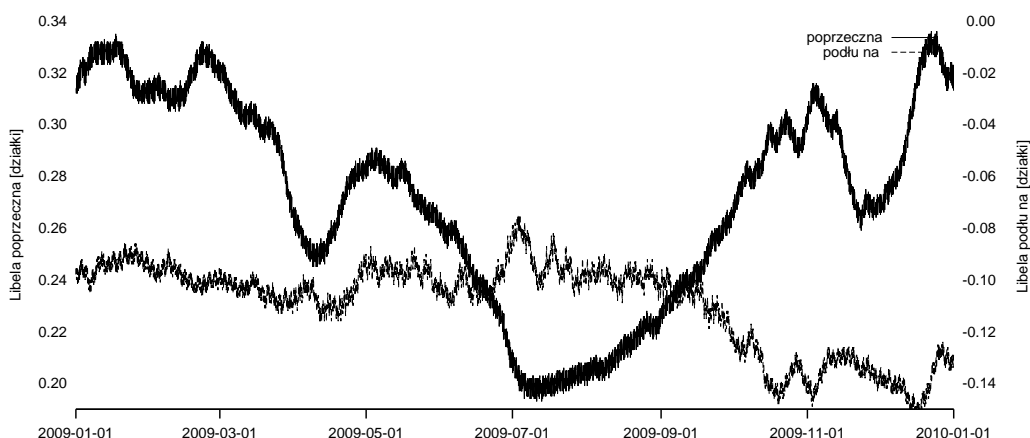
Rysunek 4. Obserwowane wartości przyspieszenia siły ciężkości w Józefosławiu.



Rysunek 5. Przerwy w rejestracji danych - skala logarytmiczna.

Tabela 1. Statystyka przerw w obserwacjach.

Czas trwania [min]	2	3	4	5	7	10	19	78
Liczba wystąpień	125	26	5	3	1	1	1	1



Rysunek 6. Odczyty libeli elektronicznych.

można wyróżnić cykl roczny (lepiej dostrzegalny przy analizie dłuższego okresu), a który najprawdopodobniej związany jest ze zmianami wilgotności ([25]).

Rysunek 5 przedstawia występowanie przerw w obserwacjach. Należy podkreślić, że ich ilość jest niewielka i są one stosunkowo krótkie. W kontekście zmiany próbkowania przed analizą właściwą (standardowo 1h) są one nieistotne, brakujące wartości można interpolować i opracowywać cały rok jako jeden blok danych. Dłuższe przerwy spowodowane są czasowym brakiem zasilania natomiast krótsze (dwuminutowe) mogą być wynikiem chwilowego obciążenia komputera i brakiem zapisu wartości.

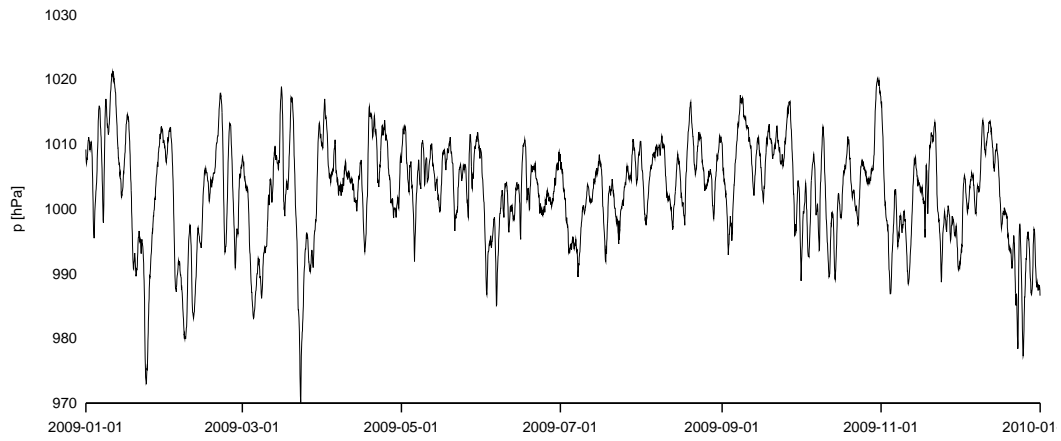
## 2.2. Obserwacje pomocnicze

Przedstawione na rys. 6 odczyty z libeli elektronicznych świadczą o sezonowym, regularnym (wnioski z obserwacji z poprzednich lat) przemieszczaniu się słupa. Analiza spektralna tych wartości wskazuje dominujący okres około-roczny, jednak znaleźć można lokalne maksima dla okresu około-trzymiesięcznego i delikatne dla okresu około-dobowego.

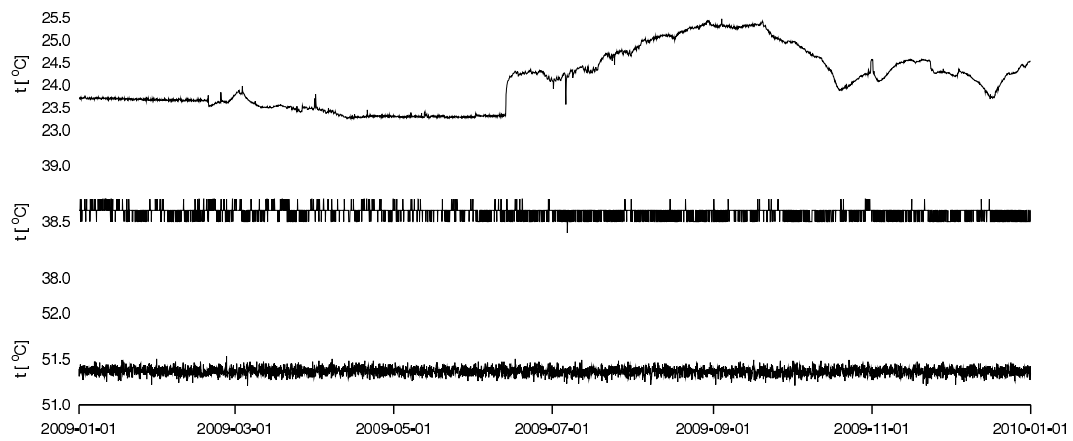
Niestety niemożliwe jest uwzględnienie tego wychylenia na odczyty grawimetru (wg wzoru  $\delta g = g \cdot \cos^2 \alpha$ ), gdyż znamy tylko względne zmiany (w działkach libeli) nachylenia, których nie możemy przeliczyć na wartości katowe. Zmiany są jednak niewielkie, a ponadto ich okres jest znacznie dłuższy niż fal pływowych więc nie wpływają na wyniki analiz. Ich szczerkowy wpływ „ukryty” jest w długookresowym dryfcie i współczynniku kalibracyjnym.

Zarejestrowane zmiany ciśnienia atmosferycznego (rys. 7) pokazują typową dla naszego klimatu sezonowość amplitud, większe wahania zimą, mniejsze latem. Obserwacje te zostały uwzględnione w dalszych analizach, a ich wpływ jest bardzo istotnym zakłóceniem środowiskowym.

Temperatury pokazane na rys. 8 służą tylko do oceny warunków termicznych w laboratorium oraz stabilności termicznej systemu pomiarowego. Widać wyraźnie, że zastosowanie w tym typie grawimetru podwójnego systemu grzewczego dobrze spełnia swoją rolę. Jakikolwiek większe zmiany temperatury systemu pomiarowego skutkowałyby znacznymi zmianami odczytów, co wykluczałoby takie dane z analiz pływowych.



Rysunek 7. Zmiany ciśnienia obserwowane w Józefosławiu.



Rysunek 8. Zmiany temperatury w (i) pomieszczeniu, (ii) zewnętrznej oraz (iii) wewnętrznej komorze termicznej.



### 3. Przygotowanie danych

Przed przystąpieniem do analizy właściwej z zebranych danych usunięto zakłócenia w postaci (i) obserwacji odstających, (ii) przerw w obserwacjach oraz (iii) nagłych skoków odczytów (nieciągłości). Szczególnie wyraźny jest wpływ trzęsień Ziemi nawet z odległych rejonów (rys. 9). Czynności te zostały wykonane interaktywnie w trybie graficznym przy pomocy programu *Tsoft* ([22]), przy użyciu techniki *remove-restore*. Technika ta usuwa znaną wartość sygnału (pływ teoretyczny - policzony na podstawie parametrów wyznaczonych w poprzednich latach), tak aby pracować na residuach, gdzie interpolacja, choć nadal sztuczna, jest bardziej uprawniona. Związek pomiędzy wartościami obserwowanymi a rezydualnymi można w prosty sposób zapisać,

$$R = O - P_{teor} + k \cdot p, \quad (1)$$

gdzie,

$R$  - residua,

$O$  - wartości obserwowane,

$P_{teor}$  - pływ teoretyczny,

$k$  - współczynnik określający wpływ ciśnienia (ok.  $3.5 \frac{nm}{s^2 \cdot hPa}$ ),

$p$  - ciśnienie atmosferyczne.

Po usunięciu wspomnianych zakłóceń sygnał został odtworzony przez proste przekształcenie wzoru 1. Na koniec została zmieniona rozdzielczość z minutowej na godzinną, które są standardem przy analizach pływowych. Przy zmianie próbkowania zastosowano również filtr dolnoprzepustowy usuwający częstotliwości większe niż  $12 \text{ cpd}^2$  (częstotliwość Nyquista), aby zapobiec zjawisku zwanym aliasingiem. Filtracja ta jest bardzo wrażliwa na występowanie przerw w danych i może powodować znaczne zwiększanie takich zdarzeń (z minut do dni).

## 4. Analiza obserwacji

### 4.1. Analiza harmoniczna

Dobry pogląd na charakter zjawiska pływów daje przedstawienie rezultatów otrzymanych po zastosowaniu techniki FFT (Fast Fourier Transform - rys. 10). Korzystając z danych godzinnych, zgodnie z kryterium Nuquista, można uzyskać widmo fal o okresie do dwóch godzinnych.

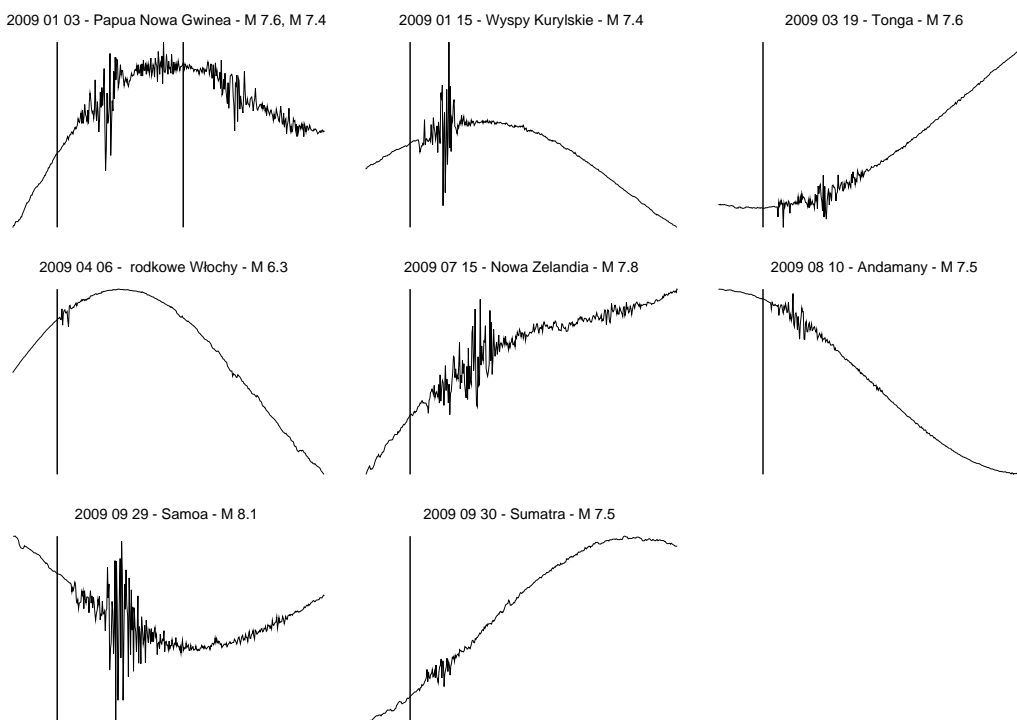
Otrzymane w ten sposób wyniki są zgodne z teorią pływów, w której główne składniki harmoniczne grupuje się w przedziały pływów długookresowych (LP - long period), dobowych (D - diurnal), pół-dobowych (SD - semi-diurnal), o okresie jednej-trzeciej doby (TD - term diurnal) i dalsze (te, ze względu na bardzo małe amplitudy nie będą wyznaczone). Przedmiotem analiz są pasma D, SD, TD gdyż długość obserwacji nie pozwala na wyznaczenie pływów długookresowych (pływy roczne, półroczne, miesięczne). Częstotliwości mniejsze niż  $0,8 \text{ cpd}$  (cycle per day, ilość okresów na dobę) zostały numerycznie odfiltrowane przed przystąpieniem do analizy właściwej. Z tego też względu można pominąć wpływy zmian położenia bieguna, zmiany długości doby oraz wielkoskalowych zmian mas wodnych gdyż zjawiska te mają długi okres w porównaniu z falami określanymi w niniejszej pracy.

Wyraźne w otrzymanym widmie są główne fale (a właściwie ze względu na bliskie położenie - kombinacje fal) pływowe, które na podstawie znanych z teorii częstotliwości zostały zidentyfikowane i zaznaczone na rys. 11.

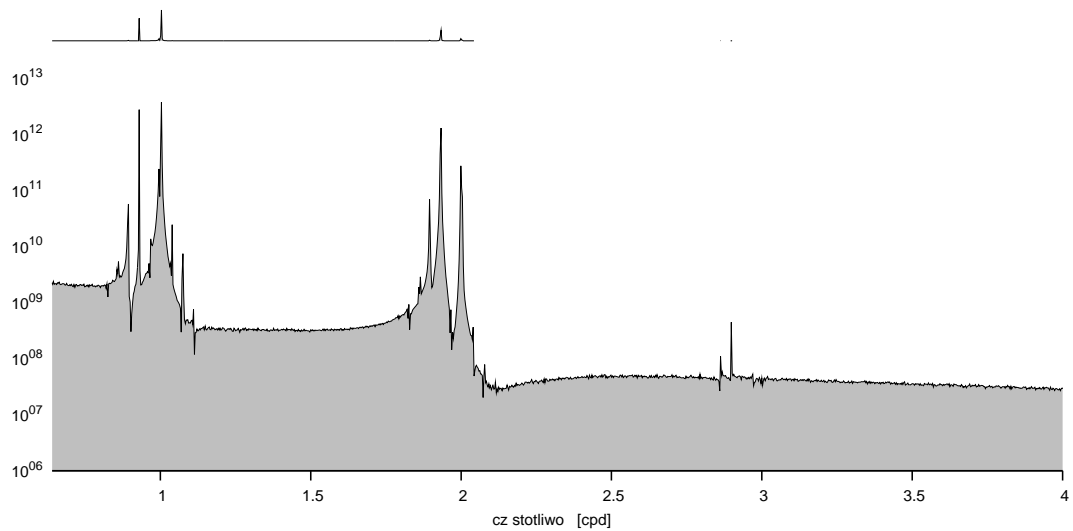
### 4.2. Analiza Metodą Najmniejszych Kwadratów

Technika FFT nie jest metodą wystarczającą w precyzyjnych analizach pływów grawimetrycznych. Najistotniejszą wadą jest brak możliwości określenia faz poszczególnych fal.

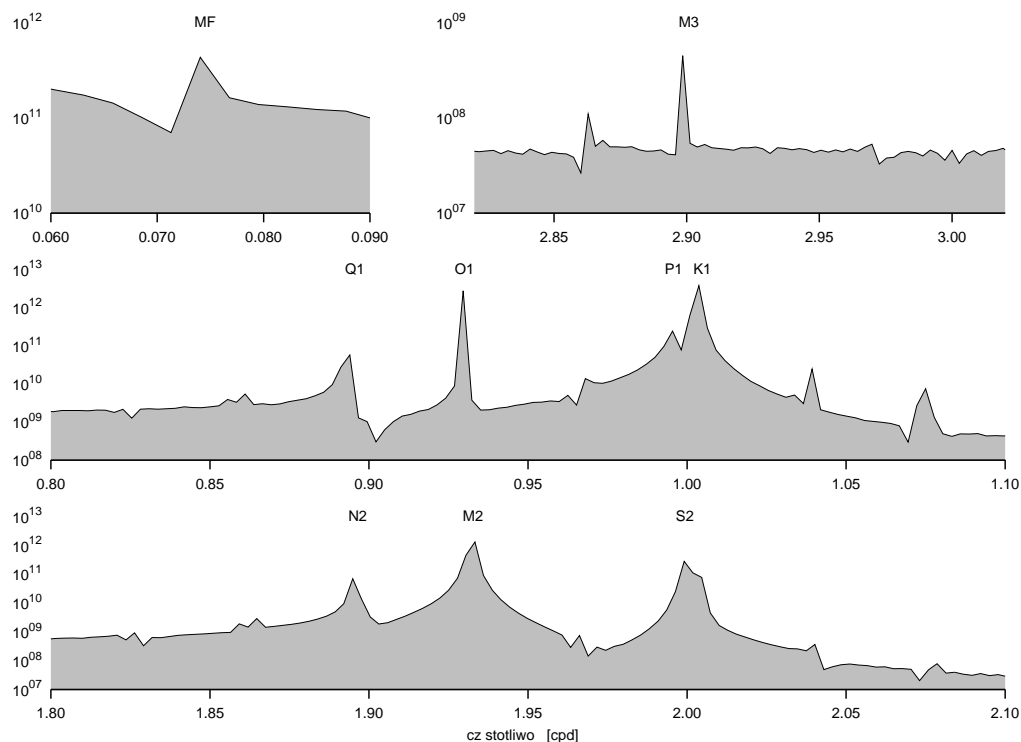
<sup>2</sup> cycle per day,  $12 \text{ cpd} = \frac{1}{2h}$



Rysunek 9. Zakłócenia grawimetru powodowane wybranymi trzęsieniami Ziemi. Pionowa kreska oznacza początek trzęsienia na skali czasu. Szerokość każdego wykresu wynosi 7 godzin. Trzęsienia zidentyfikowano na podstawie bazy USGS([3]).



Rysunek 10. Widmo mocy obserwacji grawimetrycznych. Na górnym wykresie zastosowano skalę liniową.



Rysunek 11. Widmo mocy obserwacji grawimetrycznych w wybranych przedziałach częstotliwości.

Najpowszechniej w tego typu analizach wykorzystuje się Metodę Najmniejszych Kwadratów, która w postaci podanej przez Chojnickiego ([14]) wykorzystana jest w pakiecie ETERNA ([26],[4]). W obliczeniach wykorzystano katalog potencjału pływowego Hartmann-Wenzel ([18]) zawierający prawie 1300 fal pływowych,

#### 4.2.1. Wartości amplitud oraz faz

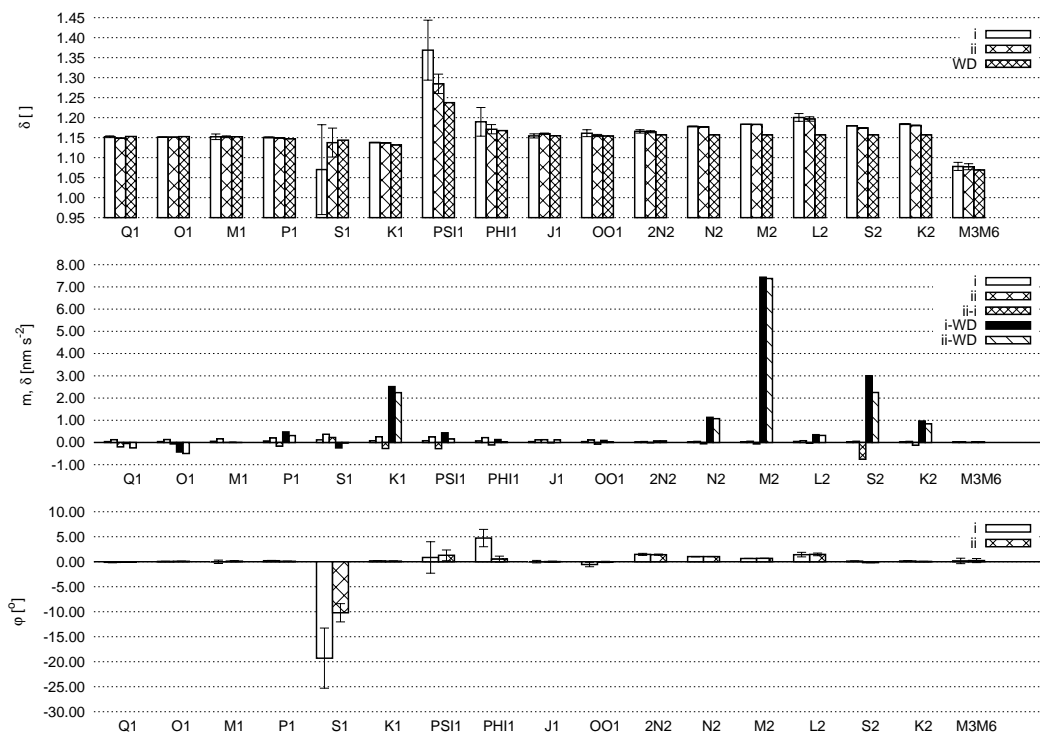
W tabeli 2 podane zostały wyznaczone parametry dla fal pływowych, czyli współczynnik grawimetryczny ( $\delta$ , określa stosunek obserwowanych pływów grawimetrycznych w stosunku do teoretycznego pływów dla Ziemi sztywnej) oraz fazę fali ( $\varphi$ , w niniejszej pracy zastosowano konwencję, że opóźnienie ma znak ujemny).

Analizy wykonano dwukrotnie. W pierwszym przypadku nie uwzględniono zmian ciśnienia atmosferycznego, a analizie podlegały tylko obserwacje przyspieszenia siły ciężkości. W drugim przypadku do analiz została włączona obserwacja ciśnienia atmosferycznego i dopasowany został współczynnik regresji liniowej<sup>3</sup>. Wpływ ciśnienia atmosferycznego wyniósł  $-3.64 \frac{nm}{s^2 \cdot hPa}$ . Rząd tej wartości jest zgodny z poprzednimi wyznaczeniami i wartościami oczekiwanymi ([24]). Uzyskane wyniki zostały przedstawione na rys. 12, gdzie współczynniki amplitud zostały porównane do wartości teoretycznych wynikających z globalnego modelu Wahr-Dehant ([15], [23]).

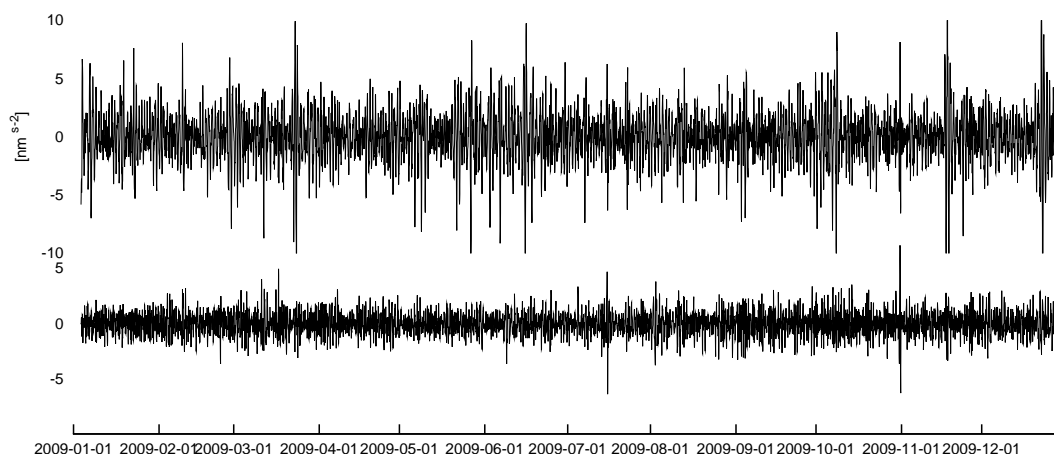
Zaprezentowane wyniki jasno wskazują na duże znaczenie ciśnienia atmosferycznego w przypadku obserwacji grawimetrycznych. Przy jego uwzględnieniu wyraźnie maleją wielkości faz dla fal około-dobowych szczególnie  $\psi_1$ ,  $\varphi_1$  i są bliższe teoretycznym. Maleją także błędy wyznaczonych współczynników amplitud oraz faz. Duże różnice w stosunku do wartości modelowych (do  $7nm \cdot s^{-2}$ ) są wytłumaczone w rozdziale 5.1.

<sup>3</sup> Parametr  $k$  z wzoru 1

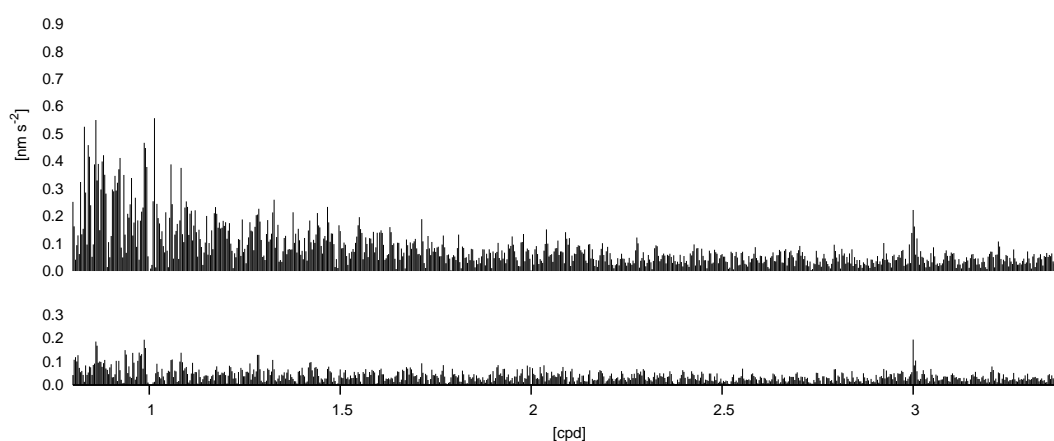




Rysunek 12. Wartości współczynnika grawimetrycznego dla różnych fal pływowych wraz z ich błędami w porównaniu do modelu Wahr-Dehant (górny wykres). Wartości błędów wyznaczonych fal, różnic pomiędzy poszczególnymi wyznaczeniami oraz różnic w stosunku do modelu Wahr-Dehant w jednostkach przyspieszenia (środkowy wykres) oraz wyznaczone fazy (dolny rysunek). i - bez ciśnienia, ii - z uwzględnieniem ciśnienia, WD - wartości modelowe.



Rysunek 13. Residua obserwacji grawimetrycznych. Górny wykres bez uwzględnienia ciśnienia, dolny wykres z uwzględnieniem ciśnienia.



Rysunek 14. Widmo mocy residuów. Górny wykres bez uwzględnienia ciśnienia, dolny wykres z uwzględnieniem ciśnienia.

W opisywanych przypadkach otrzymano błąd średni typowego spostrzeżenia  $(m_0)^4$ , który wyniósł odpowiednio  $2.21 \frac{\text{nm}}{\text{s}^2}$  i  $0.98 \frac{\text{nm}}{\text{s}^2}$ . Wartości te wskazują na bardzo dobrą jakość obserwacji.

#### 4.2.2. Residua obserwacji

Dobrym sposobem na poszukiwanie obserwacji odstających od pływów modelowych jest przyjrzenie się residuom obserwacyjnym. Duże wartości dla pewnych przedziałów czasowych mogą świadczyć o o różnych problemach instrumentalnych (mierzone błędne wartości, synchronizacja zegara) nie do końca odpowiednim „oczyszczeniu” obserwacji, ale także mogą wskazywać na występowanie zjawisk geofizycznych lub geodynamicznych. Na rys. 13 przedstawione są residua obserwacyjne a na rys. 14 przedstawione jest ich widmo mocy.

<sup>4</sup> Wynik metody najmniejszych kwadratów jest zbyt optymistyczny, dlatego są one skalowane przez średni poziom szumu - szczegóły [26]

Tabela 3. Oceaniczny efekt pośredni w Józefosławiu wg modelu tpxo6.2

	$M_M$	$M_F$	$Q_1$	$O_1$	$P_1$	$K_1$	$N_2$	$M_2$	$S_2$	$K_2$
$L$ [ $\frac{nm}{s^2}$ ]	0.51	0.69	0.38	1.42	0.49	1.17	1.53	7.29	1.99	0.37
$\lambda$ [ $^\circ$ ]	95.11	-23.26	37.34	-32.57	-24.69	6.13	136.45	81.39	-167.27	12.58

$L$  - amplituda  
 $\lambda$  - faza (względem południka lokalnego, opóźnienie ujemne)

## 5. Efekty pośrednie

### 5.1. Oceaniczny

W przypadku obserwacji grawimetrycznych pływów ziemskich istotne jest uwzględnienie czynników pośrednich. Jednym z istotniejszych jest wpływ oceanów, który jest istotny nawet dla stacji położonych dalej od wybrzeża, a w przypadku stacji przybrzeżnych może sięgać nawet kilkunastu procent sygnału pływowego ([21]). Wyróżnić można dwa efekty: (i) zmiany przyspieszenia powodowane zmianami rozkładu mas (pot. „newtonowskie”) oraz (ii) zmiany przyspieszenia powodowane ugięciem skorupy ziemi powodowanej jej zmiennymi obciążeniami (loading). W przypadku stacji wewnątrz kontynentu, np. Józefosław, składnik (i) jest bez znaczenia.

Obliczenia tego efektu zostały wykonane przy pomocy pakietu `spot1` ([6], [5]), w którym wykorzystano model oceanu wyznaczony na podstawie altimetrycznej misji satelitarnej TOPEX/POSEIDON ([16]). W modelu uwzględnione są składniki, które mają największą amplitudę, a pozostałe pochodzą z interpolacji. Do obliczeń zostały użyte scałkowane wartości funkcji Greena dla modelu Ziemi Gutenberga, policzone przez Farrella ([17]). Obliczone wartości amplitud oraz faz dla przyspieszenia siły ciężkości zawarte są w tabeli 3.

Przedstawienie szeregu czasowego wpływu obciążeń oceanicznych (rys. 15) pokazuje, że wielkości te są rzędu mikrogali<sup>5</sup>, a więc są to wielkości znaczące nawet dla stacji w Józefosławiu.

Zgodnie z oznaczeniami podanymi przez Melchiora ([21]) możemy zapisać równanie wektorowe,

$$\vec{R}(R, 0) = \vec{A}(A_{theo} \cdot \delta, \varphi) - \vec{L}(L, \lambda) - \vec{X}(X, \chi), \quad (2)$$

które pozwala na przeliczenie z wartości obserwowanych ( $\vec{A}$ ) na wartości modelowe ( $\vec{R}$ ) uwzględniając wpływ obciążeń oceanicznych ( $\vec{L}$ ) oraz wszelkie rozbieżności wynikające z lokalnych wartości współczynników grawimetrycznych, błędów instrumentalnych i innych ( $\vec{X}$ ).

Przekształcając równanie 2, możemy obliczyć skorygowane wartości amplitudy ( $\delta_c$ ) i fazy ( $\varphi_c$ ) głównych fal pływowych.

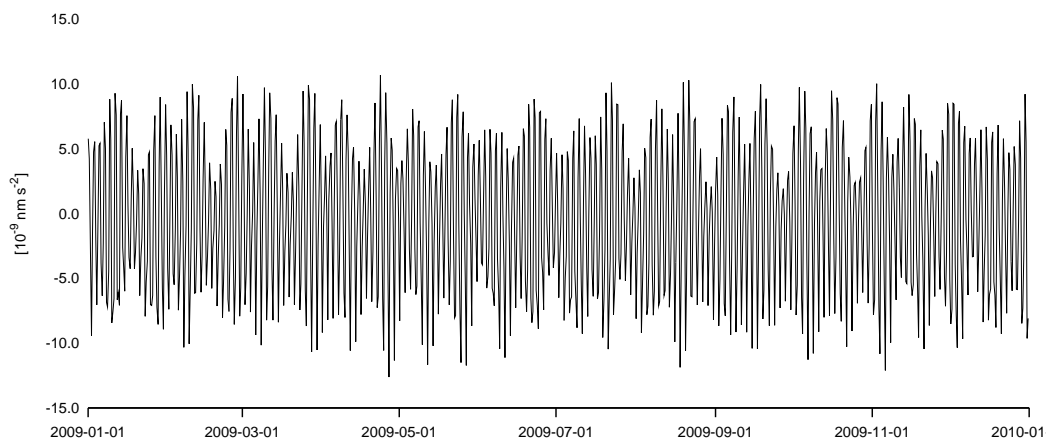
$$\vec{A}_c(A_{theo} \cdot \delta_c, \varphi_c) = \vec{A}(A_{theo} \cdot \delta, \varphi) - \vec{L}(L, \lambda). \quad (3)$$

Ponowne porównanie tych wielkości (rys. 16) z modelowymi wskazuje znacznie lepszą zgodność zarówno dla amplitud jak i faz. Potwierdza to, że oceaniczne efekty pośrednie są wielkościami mierzalnymi na stacji w Józefosławiu.

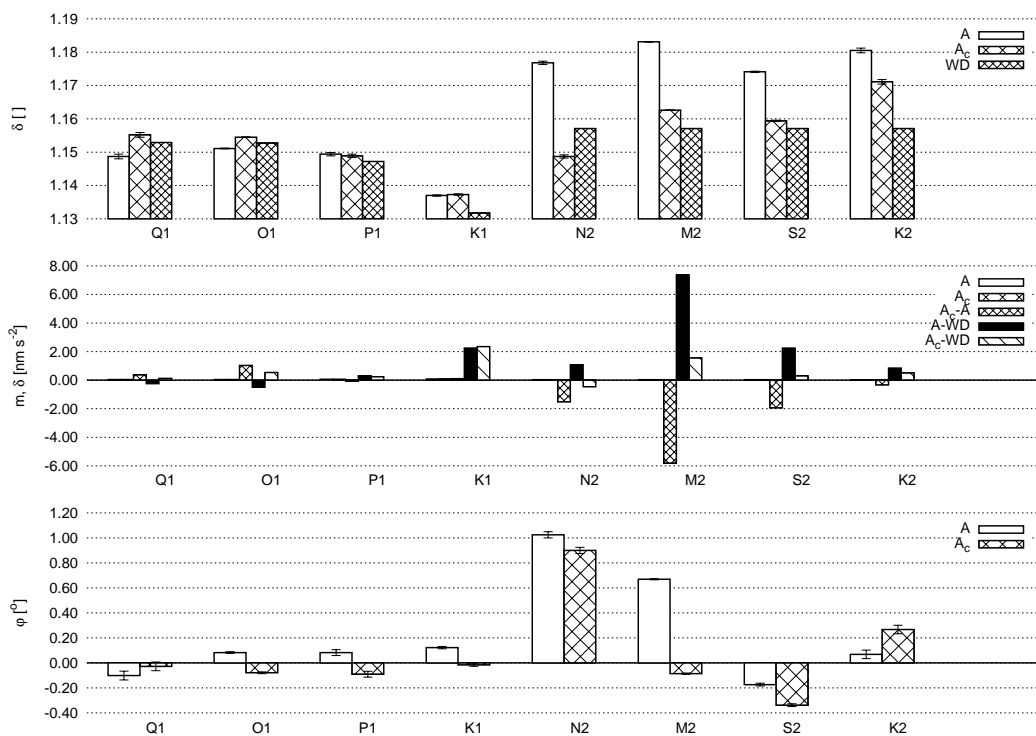
### 5.2. Atmosferyczny

Wpływ ciśnienia na wyniki analiz pływowych został pokazany w poprzednich rozdziałach. Przedstawione na rys. 17 wyniki analizy spektralnej pokazują, że w dla częstotliwości dobowych i dwa razy na dobę, występują znaczne oscylacje ciśnienia. Poddanie zmian ciśnienia analizie Metodą Najmniejszych Kwadratów pozwala na wyznaczenie wpływu ciśnienia w przedziałach pływowych. Pływy atmosferyczne (tab. 4) są największe dla składników

<sup>5</sup>  $1\mu Gal = 10^{-8} m \cdot s^{-2}$



Rysunek 15. Wpływ obciążeń oceanicznych na zmiany przyspieszenia siły ciężkości wg modelu  $\tau_{pxo6.2}$



Rysunek 16. Porównanie uzyskanych współczynników pływowych po uwzględnieniu obciążeń oceanicznych ( $\tau_{pxo6.2}$ ) z modelem Wahr-Dehant. Objaśnienia takie jak na rys. 12.



Tabela 4. Wyniki analizy Metodą Najmniejszych Kwadratów dla ciśnienia atmosferycznego

$f_{od}$ [cpd]	$f_{do}$ [cpd]	Fala	$A$ [ $\frac{nm}{s^2}$ ]	$m_A$ [ $\frac{nm}{s^2}$ ]	$\frac{A_A}{A_Z}$ [%]
0.5014	0.9114	$Q_1$	0.0542	0.0323	0.1
0.9114	0.9480	$O_1$	0.0241	0.0331	0.0
0.9480	0.9819	$M_1$	0.0156	0.0424	0.1
0.9819	0.9986	$P_1$	0.0981	0.0519	0.1
0.9986	1.0014	$S_1$	0.1706	0.0953	5.1
1.0014	1.0041	$K_1$	0.1271	0.0635	0.0
1.0041	1.0068	$\psi_1$	0.0774	0.0637	2.3
1.0068	1.0236	$\varphi_1$	0.1465	0.0556	2.4
1.0236	1.0575	$J_1$	0.0353	0.0308	0.1
1.0575	1.4702	$OO_1$	0.0422	0.0293	0.3
1.4702	1.8803	$2N_2$	0.0036	0.0085	0.0
1.8803	1.9141	$N_2$	0.0174	0.0114	0.0
1.9141	1.9504	$M_2$	0.0255	0.0114	0.0
1.9504	1.9843	$L_2$	0.0089	0.0181	0.1
1.9843	2.0027	$S_2$	0.3023	0.0119	0.2
2.0027	2.4519	$K_2$	0.0387	0.0100	0.1
2.4519	7.0000	$M_3M_6$	0.0013	0.0058	0.0
$f$	częstotliwość				
$A$	amplituda				
$m_A$	błąd wyznaczenia amplitudy				
$\frac{A_A}{A_Z}$	wartość amplitudu pływu atmosferycznego ( $A_A$ ) względem pływu ziemskiego ( $A_Z$ )				

$S_1$ ,  $K_1$ ,  $\psi_1$ ,  $S_2$ , i w przypadku składników o małej amplitudzie, mogą być źródłem znacznego błędu w analizie pływów ziemskich (dobrym przykładem są wartości pokazane dla fali  $S_1$  na rys. 12 - odstające wartości i duże błędy).

## 6. Wnioski

Przedstawione w sprawozdaniu analizy i wyniki oraz ocena dokładności wyznaczonych parametrów wskazuje na bardzo dobrą jakość obserwacji w 2009. roku. Nie wystąpiły żadne poważne zakłócenia czy dłuższe przerwy w obserwacjach (rys. 5, tab. 1), a te które wystąpiły są na tyle krótkie, że można było je zastąpić poprzez interpolację residuów.

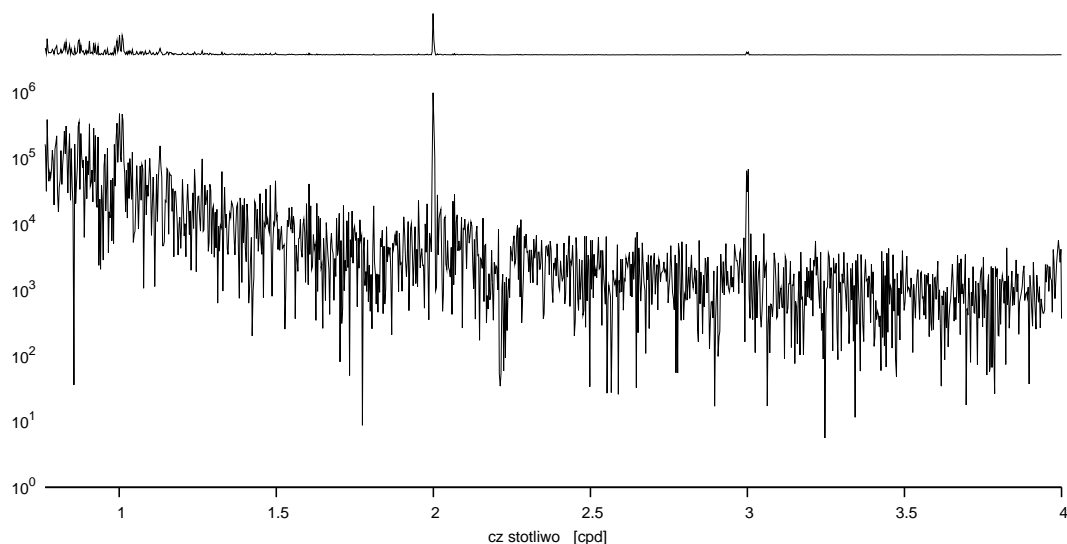
Błąd średni analizy harmonicznej Metodą Najmniejszych Kwadratów ( $0.98 \frac{nm}{s^2}$ ) jest najmniejszy od początku obserwacji grawimetrem *LCR ET 26* na stacji w Józefosławiu.

Wysoka jakość oraz spójność pozwalają na obserwacje niewielkich pośrednich efektów oceanicznych.

Zebrany materiał obserwacyjny posłuży dalszym szczegółowym analizom w kontekście badań geofizycznych. Ponadto obserwacje grawimetryczne stanowią uzupełnienie dla innych prac prowadzonych w obserwatorium w Józefosławiu.

## Literatura

- [1] <http://www.joze.pw.edu.pl>.
- [2] <http://iers.org>.
- [3] <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/historical.php>.
- [4] <http://www.eas.slu.edu/GGP/ETERNA/ETERNA34/>.
- [5] AGNEW, D. C. NLOADF: a program for computing ocean-tide loading. *J. Geophys. Res.* 102 (1996), 5109–5110.
- [6] AGNEW, D. C. Spotl: Some programs for ocean-tide loading. *SIO Ref. Ser.* 96-8 (1996), 35 pp.



Rysunek 17. Widmo mocy ciśnienia atmosferycznego. Na górnym wykresie zastosowano skalę liniową.

- [7] BARLIK, M., BOGUSZ, J., AND OLSZAK, T. Plans for gravimetric measurements at Jozefoslaw Observatory. *Bulletin d'informations Mares Terrestres* 141 (2006), 11235–11244.
- [8] BOGUSZ, J. Instrumental phase lag determination in polish tidal stations. *Reports on Geodesy* 39, 9 (1998), 293–300.
- [9] BOGUSZ, J. New tidal gravimetric laboratory in Jozefoslaw. *Reports on Geodesy* 61, 1 (2002), 153–300.
- [10] BOGUSZ, J. Tidal observations in astrogeodetic observatory at Jozefoslaw. *Reports on Geodesy* 73, 2 (2005), 190–198.
- [11] BOGUSZ, J. Badanie grawimetrycznych pływów ziemskich w obserwatorium józefosławiu w 2009 roku. praca wykonana w ramach projektu Udział astrogeodezyjnego obserwatorium w józefosławiu w europejskich i globalnych programach badawczych dofinansowanego ze środków na SPUB nr 134/E-365/SPUB/2R6/061/2008.
- [12] BOGUSZ, J., AND LEMAŃSKA, K. Earth tide research programme conducted in the Jozefoslaw observatory. *Reports on Geodesy* 69, 2 (2004), 253–259.
- [13] BOGUSZ, J., K. M. Calibration of spring gravimeter et-26 using absolute gravity measurements, proceedings of the european geosciences union general assembly 2008 session g10 “geodetic and geodynamic programmes of the cei (central european initiative). *Reports on Geodesy* 84, 1 (2008), 111–118.
- [14] CHOJNICKI, T. Ein Verfahren zur Erdzeitenanalyse in Anlehnung an das Prinzip der kleinsten Quadrate. *Mitteilungen aus dem Institut für Theoretische Geodäsie der Universität Bonn* 15 (1973).
- [15] DEHANT, V. Tidal parameters for an inelastic earth. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 49 (1987), 97–116.
- [16] EGBERT, G. D., A. F. B., AND FOREMAN, M. G. G. TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *J. Geophys. Res.* 99 (1994), 24821–24852.
- [17] FARRELL, W. E. Deformation of the earth by surface loads. *Rev. Geophys and Space Phys.* 10 (1972), 761–797.
- [18] HARTMANN, T., AND WENZEL, H.-G. Catalogue hw95 of the tide generating potential. *Bulletin d'informations Mares Terrestres* 123 (1995), 9278–9301.
- [19] LA COSTE & ROMBERG. *Instruction manual Earth Tide Gravity Meter*. Austin, Texas, 2001. (Document NAVAIR 50-1C-52).
- [20] LONGMAN, I. M. Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *Jour. Geophys. Research* 64 (1959), 2351–2355.
- [21] MELCHIOR, P. *The Tides of of the Planet Earth*. Pergamon, Oxford, 1978.
- [22] VAN CAMP, M., AND VAUTERIN, P. TSoft: graphical and interactive software for the analysis of time series and Earth tides. *Computers and Geosciences* 31, 5 (2005), 631–640.

- [23] WAHR, J. Body tides on an elliptical, rotating, elastic and oceanless earth. *Geophysical Journal of the Royal astronomical Society* 64 (1981), 677–703.
- [24] WARBURTON, R. J., AND GOODKIND, J. M. The influence of barometric-pressure variations on gravity. *Gephys. J. R. astr. Soc.* 48 (1977), 281–292.
- [25] WEISE, A. Informacja ustna.
- [26] WENZEL, H.-G. The nanogal software: Earth tide data processing package eterna 3.30. *Bulletin d'Informations Marees Terrestres* 124 (1996), 9425–9439.