



Ocena krótkookresowej stabilności punktów sieci ASG-EUPOS

JANUSZ BOGUSZ, MARIUSZ FIGURSKI, ANNA KŁOS

Wojskowa Akademia Techniczna, Centrum Geomatyki Stosowanej,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, jbogusz@wat.edu.pl

Streszczenie. Niniejszy artykuł zawiera wyniki badań, których celem jest poszukiwanie krótkookresowych wahań współrzędnych punktów sieci ASG-EUPOS za pomocą transformacji falkowej. Polska Aktywna Sieć Geodezyjna to wielofunkcyjny system precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego założony przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w 2008 roku. Opracowanie dotyczy okresu od czerwca 2008 do lipca 2010 roku, sieci składającej się z ponad 130 stacji polskich oraz zagranicznych. Metoda analizy obserwacji GNSS opracowana w Centrum Geomatyki Stosowanej Wojskowej Akademii Technicznej (CGS WAT), które jest jednym z 17 centrów analiz EPN (EUREF *Permanent Network Local Analysis Centre*) działających obecnie w Europie, jest zgodna z oficjalną strategią i modelami stosowanymi w EPN. Jest ona oparta na oprogramowaniu Bernese 5.0, ale różnica w stosunku do rozwiązań EPN leży w rozwiązywaniu obserwacji za pomocą krótkich okien czasowych. W prezentowanych badaniach jednogodzinne wyniki (współrzędne geocentryczne w układzie ITRF2005) otrzymano z trzygodzinnych okien obserwacyjnych (66% korelacji), co pozwala na interpretacje dotyczące krótkookresowych informacji rezydualnych w sygnale GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Zastosowana we wcześniejszych badaniach analiza FFT i metodą najmniejszych kwadratów (pływowa) dały bardzo spójne wyniki i potwierdziły istnienie kilkumilimetrowych oscylacji dobowych i subdobowych. Analiza falkowa ma na celu badanie wiarygodności konkretnych rozwiązań GNSS w zakresie zmian amplitudy drgań w czasie. W wyniku tego badania uzyskane zostały zmiany amplitudy drgań w dobowych i subdobowych pasmach częstotliwości. Mogą być one spowodowane przez sztuczne modulacje pobliskich częstotliwości (P1, S1, K1 w dobowym i S2, K2 w półdobowym), ale również można wyraźnie wyróżnić istnienie sygnałów geofizycznych. Ponadto wykonane zostało porównanie transformatów otrzymanych z analizy falkowej dla sąsiadujących stacji (trzy pary sieci ASG-EUPOS).

Słowa kluczowe: ASG-EUPOS, analiza falkowa, GNSS, geodezyjne szeregi czasowe

1. Wprowadzenie

Transformacja Fouriera (*Fourier Transform*) jest metodą analizy szeregów czasowych polegającą na przejściu z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości, która rozkłada sygnał wejściowy na szereg funkcji okresowych tak, że uzyskana transformata podaje, w jaki sposób poszczególne częstotliwości składają się na pierwotną funkcję. Pomimo faktu, że jest to metoda powszechnie używana w badaniu własności szeregów czasowych, ma również pewne wady. Wykonanie tej transformacji jest związane z utratą informacji o zmianach amplitudy w czasie. Ponadto FT daje bardzo wiarygodne wyniki tylko wtedy, gdy dotyczy szeregów stacjonarnych, a w przypadku szeregów czasowych współrzędnych geodezyjnych nie możemy mówić o stacjonarności. Transformacja falkowa (*Wavelet Transform*) jest przekształceniem podobnym do transformacji Fouriera, gdyż oba przekształcenia opierają się na wykorzystaniu operacji iloczynu skalarnego badanego sygnału i pozostałej części, zwanej „jądrem przekształcenia”. Transformacja Fouriera jako jądro wykorzystuje funkcje sinusoidalne (czyli funkcje okresowe reprezentujące jedną częstotliwość). Natomiast w przypadku transformacji falkowej jądrem jest falka — specjalna funkcja ograniczona pewnymi wymogami, które musi spełniać, aby można było ją wykorzystać do analizy wielorozdzielczej. W odróżnieniu od transformacji Fouriera to przekształcenie ma możliwości budowania reprezentacji czasowo-częstotliwościowej sygnału.

Zasadności zastosowań analizy falkowej do badań sygnałów geodezyjnych związanych z polem ciężkości Ziemi wykazano np. w opracowaniu [1] czy [2], a zmianami poziomu oceanów w publikacji [3]. W Polsce problem ten był przedmiotem publikacji [4] odniesionej do obserwacji grawimetrycznych pływów Ziemi wykonanych w Obserwatorium w Józefosławiu przez grawimetr LC&R model ET-26.

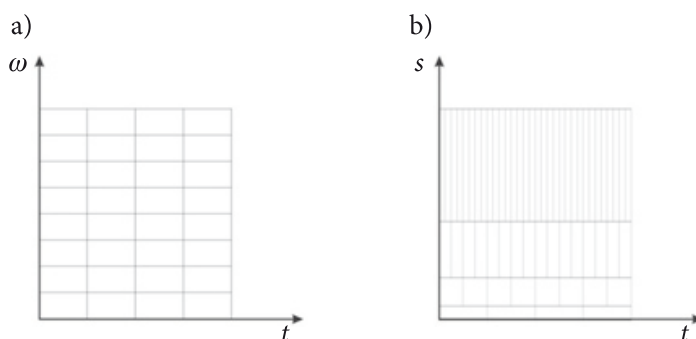
Analizy wyników z zaawansowanego opracowania obserwacji GNSS (*Global Navigation Satellite System*) gromadzonych w ramach systemu ASG-EUPOS przy użyciu szybkiej transformacji Fouriera zostały wcześniej omówione w publikacjach [5], [6] oraz [7]. Badania te wykazały istnienie krótkookresowych wahań rezydualnych (w odniesieniu do modelu pływowego IERS2003 stosowanego w Bernese) we współrzędnych geodezyjnych na poziomie od kilku do kilkunastu milimetrów. Biorąc pod uwagę fakt, iż sieć ASG-EUPOS w niedalekiej przyszłości będzie pełnić rolę podstawowej osnowy geodezyjnej kraju, zmiany te wydają się być znaczące. W takim przypadku transformacja falkowa wydaje się być najlepszą metodą analizy czasowo-częstotliwościowej właściwości rozwiązań GNSS.

2. Ciągła transformacja falkowa

Transformacja falkowa polega na rozłożeniu danego sygnału przy użyciu pochodnych falki głównej, uzyskanych poprzez jej skalowanie i przesunięcie.

Transformacja Fouriera jest transformacją całkową z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości, która rozkłada dany szereg czasowy na funkcje okresowe (o różnych częstotliwościach) w taki sposób, że ich splot daje funkcję pierwotną, jednakże przejście z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości uniemożliwia zlokalizowanie widm lokalnych w czasie. Poza tym, analiza Fouriera daje tylko informacje o mocy oscylacji w funkcji okresu, natomiast nie precyzuje, kiedy dana zmiana nastąpiła, czyli nie określa charakteru danego szeregu. D. Gabor wyszedł naprzeciw tym oczekiwaniom i przekształcił transformację Fouriera do analizowania tylko krótkich przedziałów sygnału za pomocą tzw. okien wagowych, dlatego też transformacja ta nosi nazwę okienkowej transformacji Fouriera (ang. *Windowed Fourier Transform* — WFT) [8]. Za pomocą okienkowania sygnał dzieli się na mniejsze części, a dla każdej z nich wykonywana jest analiza Fouriera. Stała szerokość okna wagowego pozwala na bardzo dobre zlokalizowanie otrzymanego widma w czasie. W wyniku wykonania transformacji okienkowej, otrzymujemy wyniki na płaszczyźnie czasowo-częstotliwościowej (rys. 1). WFT zawodzi jednak, gdy mówimy o sygnałach mających składowe wysoko- i niskoczęstotliwościowe (sygnały niestacjonarne). Transformacja falkowa (ang. *Wavelet Transform* — WT) stała się alternatywą dla analizy Fouriera z tego względu, że nie traci charakteru omawianego sygnału. Dostajemy dokładną informację o tym, w jaki sposób amplitudy zmieniają się w czasie. Poza tym umożliwia kompresowanie czy odsumowanie danego sygnału bez jakiegokolwiek jego degradacji. Wyróżniamy dwa rodzaje transformacji falkowej: dyskretną transformację falkową (ang. *Discrete Wavelet Transform* — DWT) oraz transformację ciągłą (ang. *Continuous Wavelet Transform* — CWT).

Analiza falkowa jest rodzajem analizy okienkowej ze zmieniającym się, w przeciwieństwie do WFT, wymiarem analizowanego okna wagowego, w zależności od tego, którą z informacji (o czasie czy częstotliwości) chcemy uzyskać z większą wiarygodnością. Stosując okno o dużej rozdzielczości czasowej, otrzymujemy dokładną informację o niskich częstotliwościach, natomiast stosując okno o małej rozdzielczości czasowej — dokładną informację o wysokich częstotliwościach (rys. 1).



Rys. 1. Okienkowa transformacja Fouriera w ujęciu czas–częstotliwość (a) oraz ciągła transformacja falkowa w ujęciu czas–skala (b)

Zmienna rozdzielczość czasowo-częstotliwościowa pozwala na wykorzystanie falek do badania sygnałów posiadających składowe wysoko- i niskoczęstotliwościowe.

Funkcje bazowe, czyli falki (ang. *wavelets*) są tworzone na podstawie falki głównej, zwanej podstawową (ang. *mother wavelet*), poprzez jej przesuwanie i skalowanie. Transformacja falkowa polega na dzieleniu sygnału na mniejsze części, a następnie porównywaniu ich z przesuniętą i wyskalowaną falką. Na tej podstawie powstaje macierz współczynników falkowych, mówiących o tym, jak bardzo dany sygnał pokrywa się z porównywaną falką [9]:

$$C(\text{skala}, \text{pozycja}) = \int f(t) \cdot \psi(\text{skala}, \text{pozycja}, t) dt. \quad (1)$$

Ciągła transformacja falkowa jest zdefiniowana jako suma całego omawianego sygnału pomnożonego przez przeskalowane i przesunięte wersje falki podstawowej ψ [10]:

$$CWT_x^\psi(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt, \quad (2)$$

gdzie:

$$\psi_{s, \tau}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right), \quad s, \tau \in R, \quad s \neq 0.$$

Powyższe równanie to równanie falki, opierające się na dwóch parametrach: s — współczynniku skali oraz t — przesunięciu czasowym. W prezentowanych badaniach użyto zespolonej falki Morleta [11]:

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f_b}} e^{2i\pi f_c x} e^{-\frac{x^2}{f_b}}, \quad (3)$$

która jest funkcją dwóch parametrów: f_b — szerokość okna i f_c — częstotliwość środkowa.

Transformacja falkowa nie bazuje na relacji czas–częstotliwość, ale na relacji czas–skala. Każde z okien wagowych reprezentuje inne wartości czasu i częstotliwości, jednak ich stosunek jest stały (rys. 1). Aby powiązać ze sobą skalę i częstotliwość, należy użyć pojęcia częstotliwości środkowej, którą to opisuje wzór [12]:

$$f_a = \frac{f_c}{a \cdot T}, \quad (4)$$

gdzie: a — współczynnik skali;

T — częstotliwość próbkowania;

f_c — częstotliwość środkowa w Hz;

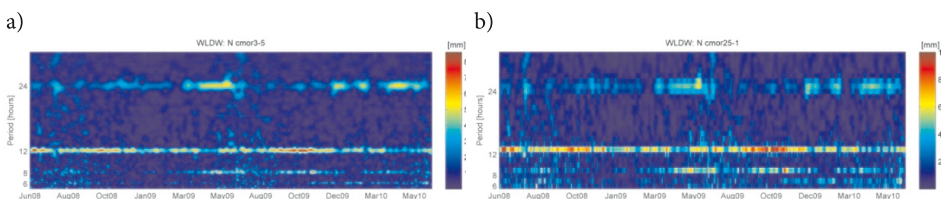
f_a — pseudoczęstotliwość odnosząca się do skali a .

Wynikiem opracowania są szeregi czasowe zmian współrzędnych geocentrycznych ortokartezjańskich w układzie ITRF2005. W celu lepszej interpretacji zjawisk lokalnych, które są ściśle związane z miejscem obserwacji na fizycznej powierzchni Ziemi, szeregi te zostały przeliczone do topocentrycznego układu North-East-Up.

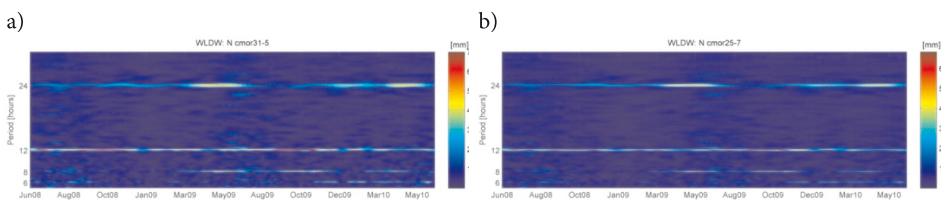
4. Wyniki

Ciągła transformacja falkowa daje możliwość uzyskania informacji na temat charakteru zmienności wahań krótkoterminowych w czasie. Cały projekt został zrealizowany w środowisku oprogramowania MATLAB® (nr licencji # 350334), które posiada wbudowane biblioteki falek oraz umożliwia ich implementację do dużej ilości różnorodnych obserwacji. Sprawdzone wszystkie rodzaje falek dostępnych w oprogramowaniu MATLAB od Daubechies do Mexican Hat i dowiedziono, że najodpowiedniejszą do analizowanych szeregów czasowych jest zespolona falka Morleta, zatem pozostało tylko znalezienie odpowiednich wartości parametrów f_b oraz f_c .

Dobór parametrów zespolonej falki Morleta został dokonany empirycznie. Za najlepsze uznano: szerokość okna $f_b = 25$ oraz częstotliwość środkową $f_c = 5$. O wyborze tych parametrów przesądził wygląd spektrogramu. Używając falki „cmor25-5”, uzyskuje się najlepiej widoczne zmiany amplitud w czasie. Przy zmianie szerokości okna i częstotliwości środkowej na mniejsze obraz jest zbyt rozmyty, nie widać, kiedy dokładnie dana zmiana nastąpiła (rys. 3). Natomiast przy zwiększaniu ich oscylacje są w ogóle niewidoczne (rys. 4).

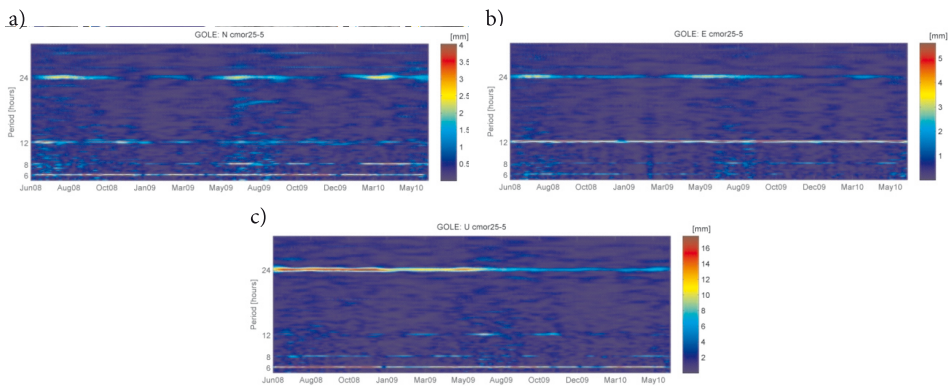


Rys. 3. Spektrogramy dla „cmor3-5” (a) oraz „cmor25-1” (b)



Rys. 4. Spektrogramy dla „cmor31-5” (a) oraz „cmor25-7” (b)

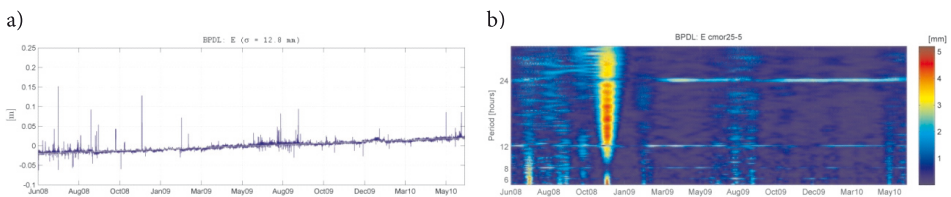
W wyniku analizy uzyskano po trzy wykresy transformat (niezależnie dla każdej składowej) dla każdej stacji ASG, na których możemy wyraźnie zobaczyć spodziewane zmiany amplitud o okresach 24-, 12- oraz 8-godzinnych. Przykładowe transformaty dla stacji Goleniów przedstawiono na rysunku 5. Podobne wykresy uzyskano dla pozostałych stacji systemu.



Rys. 5. Ciągła transformata falkowa z użyciem falki Morleta stacji Goleniów (GOLE)

Mechanizm analizy falkowej pozwala wykryć w danych aspekty, które nie są widoczne dla innych technik analizy sygnałów, takich jak trendy, przerwy, nieciągłości w wyższych pochodnych oraz samopodobieństwo sygnału. Na rysunku 6 pokazano anormalne zachowanie współrzędnych topocentrycznych w kierunku wschód–zachód stacji w Białej Podlaskiej spowodowane prawdopodobnie niedostateczną ilością obserwacji w krótkich oknach czasowych lub wpływem rezydualnych błędów orbitalnych satelitów. Brak jest również wyjaśnienia przyczyny powstania smugi na przełomie grudnia 2008 i stycznia 2009. Zmiany współrzędnych znajdują odzwierciedlenie w rysunku transformaty, w wielu przypadkach są to zmiany wynikające z istnienia wartości odstających. Aby uniknąć tak silnej sztucznej zmiany, została wykonana filtracja współrzędnych N, E i U za pomocą kryterium 3σ .

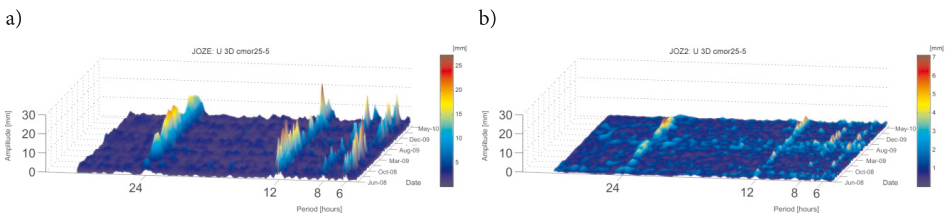
Smugi widoczne na wykresach transformat wskazują na przerwy w obserwacjach (ciemne) lub wysoką fluktuację współrzędnych (jasne). Na przykład na wszystkich wykresach wyraźne intermitencje można zauważyć w okresie od maja



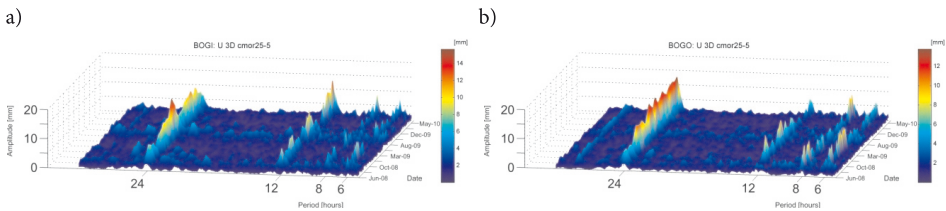
Rys. 6. Zmiany składowej E stacji BPDŁ (a) i ich transformata falkowa (b)

do września 2009. Może to świadczyć o pewnych wpływach pochodzenia geofizycznego w tym czasie.

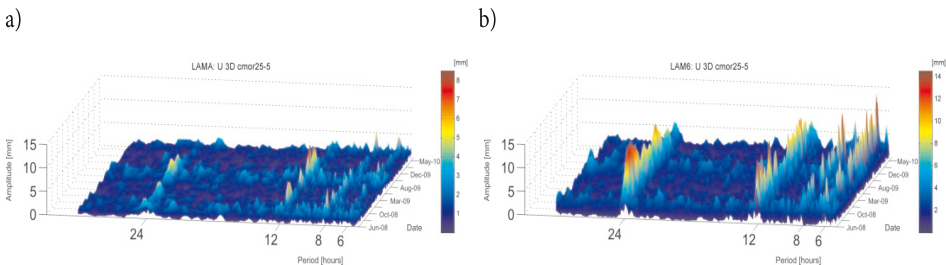
Trzy pary stacji sieci ASG to stacje leżące w odległości kilkudziesięciu metrów. Są to JOZE i JOZ2 (Józefosław), BOGO i BOGI (Borowa Góra) oraz LAMA i LAM6 (Lamkówko). Anteny stacji, dla których transformaty przedstawiono na lewych stronach rysunków 7-9 (a), są umieszczone na słupach, zaś na prawych (b) — na dachach. BOGO i BOGI wykazują bardzo podobne cechy, z dominacją oscylacji dobowych. Prawie nie można było zaobserwować intermitencji na obu stacjach. LAMA wydaje się być znacznie bardziej stabilnym punktem niż LAM6, ale ma inne cechy (dwa razy większa amplituda), z dominującymi oscylacjami półdobowymi. Intermitencje na tych stacjach zachowują się w podobny sposób. JOZE wydaje się być znacznie mniej stabilnym punktem (maksymalna amplituda trzy razy większa) niż JOZ2, ale znacznie więcej intermitencji jest widoczne na JOZ2. Zastanawiająca jest ich forma — niektóre z nich są krótkie w okresie i w formie lejka, podczas gdy inne są bardziej rozciągnięte i mają formę prostokąta.



Rys. 7. Transformaty (składowa U [mm]) punktów JOZE (a) i JOZ2 (b)



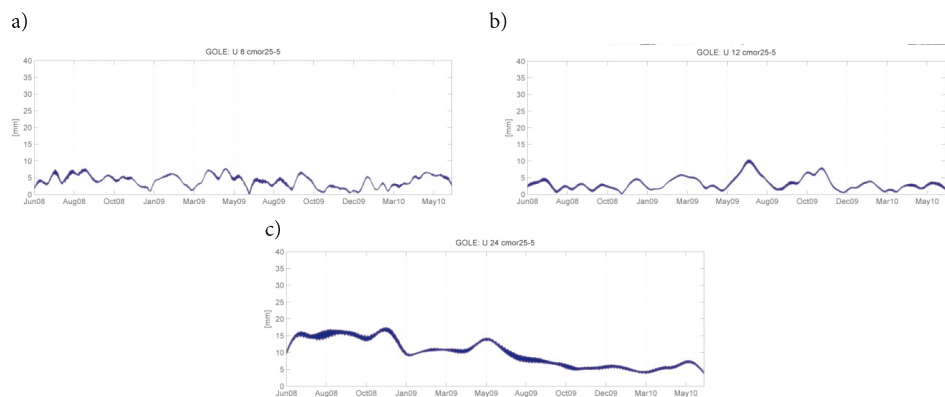
Rys. 8. Transformaty (składowa U [mm]) punktów BOGO (a) i BOGI (b)



Rys. 9. Transformaty (składowa U [mm]) punktów LAMA (a) i LAM6 (b)

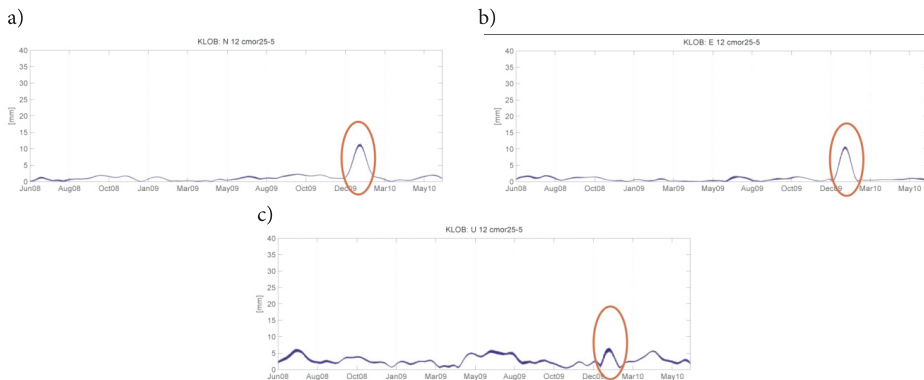
Generalnie żadne bezpośrednie zależności pomiędzy charakterem zmian współrzędnych a typem stabilizacji anteny nie zostały zauważone. Współrzędne (w sensie krótkookresowych wahań i ich zmian) zachowują się w sposób nieregularny. Niektóre efekty geofizyczne (na przykład te w grudniu 2009 r.) pojawiają się nie tylko na pobliskich stacjach, ale na większości punktów sieci ASG-EUPOS. Oscylacje w tym okresie są bardzo małe i krzywa zamienia się w formę lejka. Może to być efekt geodynamiczny lub geofizyczny ze względu na fakt, że nie powtarza się on w dalszym czasie (rys. 12).

Ponieważ analiza falkowa daje możliwość badania zmian w czasie amplitudy interesujących nas okresowości, badania pod tym kątem przeprowadzono na przekrojach przez transformaty w okresach 24-, 12- oraz 8-godzinny. Na rysunku 10 pokazano zmiany amplitudy oscylacji względem U w czasie. Na wszystkich wykresach 24-godzinne zmiany mają większą amplitudę niż w innych okresach, co więcej zmiany amplitudy oscylacji nie są tak szybkie w czasie. W zmianach 12-godzinnych widać pewną powtarzalność (jeden miesiąc), 8-godzinne wykresy są najbardziej ostre — amplitudy zmieniają się najszybciej w czasie. Takie same zachowania zmian amplitud w czasie zauważono na pozostałych przekrojach przez transformaty dla wszystkich stacji systemu ASG-EUPOS.

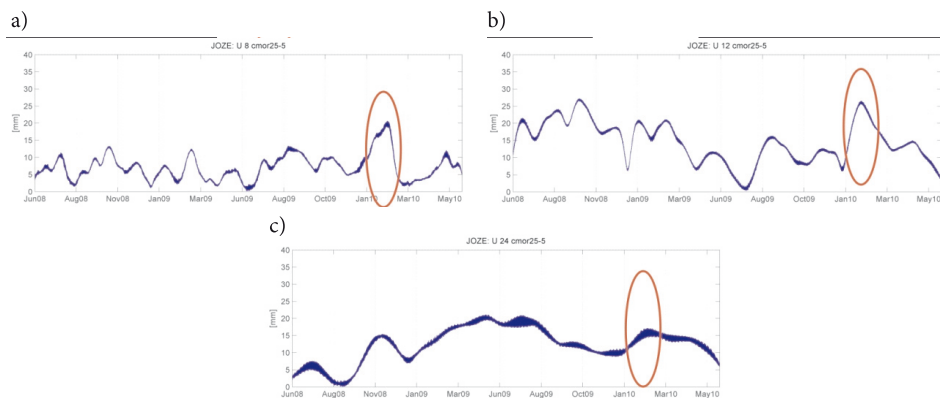


Rys. 10. Przekroje poziome przez transformatę U dla stacji GOLE (8-, 12- oraz 24-godzinne)

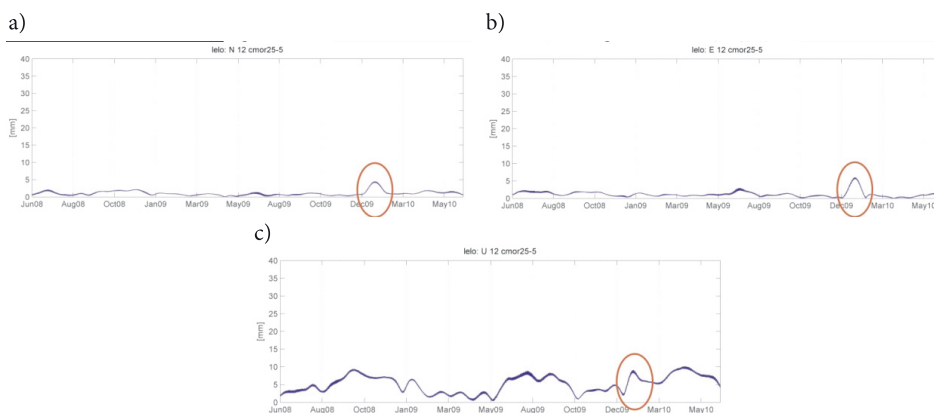
Analiza przekrojów prowadzi nas także do nieprzewidywalnych zachowań niektórych stacji sieci ASG-EUPOS. Na rysunku 11 pokazano wzrost amplitudy 12-godzinnych oscylacji w styczniu 2010 r. na stacji Kłobuck. Wzrost prawdopodobnie jest wynikiem oddziaływania efektów środowiskowych. Zmiany te spowodowane są narastającym, a następnie zanikającym zjawiskiem. W tym czasie w Polsce zanotowano bardzo dużą ilość opadów śniegu oraz bardzo niskie, jak na Polskę, temperatury. Zmiany te były również zauważalne w innych miejscach sieci, jak np. stacji Józefosław czy Lelów (rys. 12 i 13).



Rys. 11. Przekroje zmian amplitud oscylacji 12-godzinnych składowych N, E oraz U dla stacji KLOB

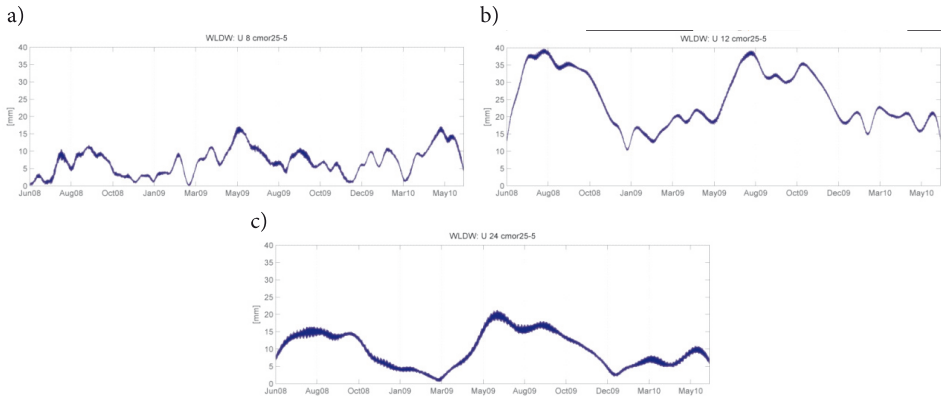


Rys. 12. Przekroje poziome przez transformatę składowej U dla stacji JOZE (8-, 12- oraz 24-godzinne)



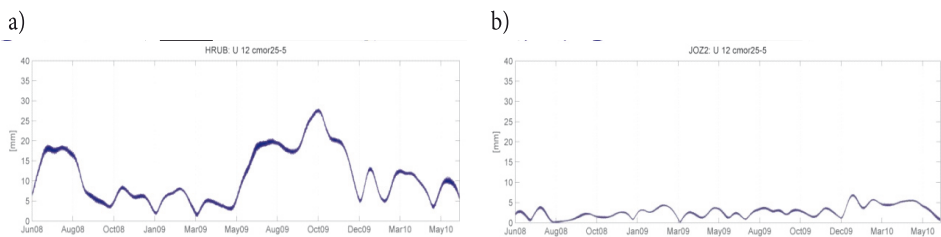
Rys. 13. 12-godzinny przekrój zmian amplitud oscylacji 12-godzinnych składowych N, E oraz U dla stacji LELO

Inne lokalne efekty znajdują odzwierciedlenie w obserwacjach wykonanych na stacji we Włodawie, która ma najbardziej znaczące zmiany amplitud drgań w czasie. Leży w pobliżu rozlewiska rzeki Bug, więc wpływ lokalnej hydrologii może być dominujący w zmianach współrzędnych (maksymalne efekty można wyraźnie zaobserwować podczas okresu letniego). 40 mm zmian w 12-godzinnej oscylacji składowej U powoduje, że stacja staje się bardzo niestabilna w krótkim okresie (rys. 14).



Rys. 14. Przekroje poziome przez transformatę składowej U dla stacji WLDW (8-, 12- oraz 24-godzinne)

Główną zaletą korzystania z transformacji falkowej jest fakt, iż metoda ta pozwala na odróżnienie stacji stabilnych i tych niestabilnych w sensie zmian amplitud oscylacji krótkookresowych (rys. 15). To rozróżnienie jest bardzo ważne ze względu na fakt, że stacje ASG-EUPOS stanowią źródło wyznaczania korekt powierzchniowych, których podstawą są stabilne współrzędne.



Rys. 15. Przykład mniej stabilnej stacji sieci ASG — HRUB (a) i bardziej stabilnej — JOZ2 (b)

Dla właściwej interpretacji otrzymanych przekrojów została wykonana szybka transformacja Fouriera ich obwiedni. Obwiednia sygnału jest chwilową wartością amplitudy sygnału w funkcji czasu, jednak zmieniającą się znacznie wolniej niż sam sygnał.

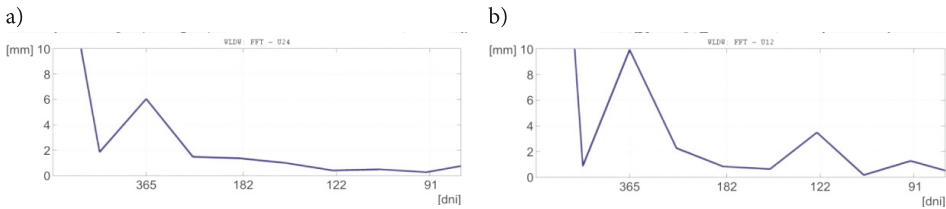
Pojęcie obwiedni sygnału (pomimo faktu, że jest intuicyjne i nieściśle) stosuje się do sygnałów mających charakter szybkich oscylacji o małej amplitudzie częstotliwości. Obwiednia jest definiowana jako [9]:

$$E(t) = \sqrt{x^2(t) + \tilde{x}^2(t)},$$

gdzie $\tilde{x}(t)$ jest transformatą Hilberta o postaci:

$$\tilde{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) \frac{1}{1-\tau} d\tau.$$

Na rysunku 16 przedstawiono transformatę Fouriera zmian dobowych i półdobowych składowej U dla stacji Włodawa. Widać wyraźny sygnał roczny oraz o okresie 1/3 roku.



Rys. 16. Periodyczne zmiany w dobowych (a) i półdobowych zmianach oscylacji składowej U stacji WLDW (b)

Jednakże prawidłowa interpretacja transformat przedstawionych na rysunku 16 może być wykonana dopiero po dokonaniu demodulacji. W tym specyficznym przypadku częstotliwości dobowe i półdobowe mogą składać się, powodując sztuczne zmiany o okresie roku tropikalnego i jego podwielokrotności.

Dwie oscylacje o okresach T_1 i T_2 mogą modulować wzajemnie, a okres tej modulacji można określić na podstawie relacji [9]:

$$\frac{1}{T_m} = \left| \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right|.$$

W przypadku częstotliwości dobowych modulującymi składowymi częstotliwościami są P1 (o okresie 0.9972621 cpd), S1 (1.0000001 cpd), K1 (1.0027379 cpd), ψ_1 (1.0054757 cpd), φ_1 (1.0082137 cpd), w półdobowych: P2 (1.9945244 cpd) i K2 (2.0054758). Zagadnienie to zostało szerzej opisane w publikacji [4], a szczegółową analizę demodulacyjną opisywanego materiału zostawia się do dalszych badań.

5. Dyskusja nad wynikami

1. Główną zaletą wykorzystania transformacji falkowej jest fakt, iż metoda ta pozwala na odróżnienie stabilnych i niestabilnych stacji systemu w sensie oscylacji krótkookresowych. To rozróżnienie jest bardzo ważne ze względu na fakt, że ASG-EUPOS w niedalekiej przyszłości zacznie odgrywać rolę podstawowej sieci krajowych stacji referencyjnych.
2. Analiza empiryczna wykonana w ramach niniejszej pracy pozwoliła na wyznaczenie parametrów zespolonej falki Morleta dedykowanych do badania krótkookresowych (godzinnych) szeregów zmian współrzędnych geodezyjnych.
3. W wyniku analizy falkowej odkryte zostały liczne intermitencje sygnału. Filtracja danych przyczyniła się do wyeliminowania dużych zmian w transformacie, ale mniejsze z nich ciągle pozostały. Przypuszcza się, iż mogą one być spowodowane przez sygnały geofizyczne z uwagi na fakt, iż większość z nich jest związana z występowaniem pór roku (głównie lato i zima).
4. Analiza porównawcza transformat na stacjach bliskich nie dała jednoznacznej odpowiedzi na pytanie dotyczące prawidłowości wyboru miejsca montażu anten (słup czy dach).
5. Do całkowitego wyeliminowania sztucznych wahań powinna być opracowana metoda ich eliminacji na bazie metody dekompozycji zespolonej.

Praca jest częściowo finansowana z projektu rozwojowego NCBiR nt. „Budowa modułów wspomaganiania serwisów czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS”, umowa nr 0960/R/T02/2010/10.

Podziękowania

Autorzy pragną wyrazić serdeczne podziękowania p. prof. dr. hab. Wiesławowi Koskowi z Centrum Badań Kosmicznych PAN oraz p. prof. Aleksandrowi Brzezińskiemu z Politechniki Warszawskiej za bardzo owocne dyskusje, które doprowadziły do właściwego ukierunkowania niniejszej publikacji.

Artykuł wpłynął do redakcji 25.02.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w kwietniu 2011 r.

LITERATURA

- [1] L. LINTAO, X. HOUZE, S. HEPING, H. XINGHUA, *Wavelet approach to the determination of gravity tide parameters*, Science in China Series D: Earth Sciences, 43, 2, DOI: 10.1007/BF02878145, 158-165.
- [2] H. P. SUN, W. D. ZHENG, J. Q. XU, H. Z. HSU, *Detection of the Special Gravity Signals in Subtidal Band by Using a Wavelet Techniques*, Presented at the Workshop on Analysis of Data from Superconducting Gravimeters and Deformation Observations Regarding Geodynamic Signals and Environmental Influences, Jena, March 27-31, 2006.
- [3] E. P. FLINCHEMA, D. A. JAY, *An Introduction to Wavelet Transform Tidal Analysis Methods*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 51, 2, August 2000, 177-200.

- [4] A. ARASZKIEWICZ, J. BOGUSZ, *Application of wavelet technique to the Earth tides observations analyses*, Mares Terrestres Bulletin d'Informations (BIM), 146, 2010, 11789-11798.
- [5] A. ARASZKIEWICZ, J. BOGUSZ, M. FIGURSKI, *Investigation on tidal components in GPS coordinates*, Artificial Satellites, 44, 2, 2009, DOI 10.2478/v10018-009-0020-9, 67-74.
- [6] A. ARASZKIEWICZ, J. BOGUSZ, M. FIGURSKI, K. SZAFRANEK, *Application of short-time GNSS solutions to geodynamical studies — preliminary results*, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 7, 3 (159), 2010, 295-302.
- [7] J. BOGUSZ, M. FIGURSKI, *Short-period information in GPS time series*, Artificial Satellites, 45, 3, 2010, DOI 10.2478/v10018-011-0001-7, 119-128.
- [8] D. GABOR, *Theory of communication*, J. IEE, 93, 1946, 429-457.
- [9] G. BOX, G. JENKINS, *Time series analysis: Forecasting and control*, San Francisco: Holden-Day, 1970.
- [10] S. MALLAT, *A wavelet tour of signal processing*, 2nd Edition, Academic Press, New York, 1999.
- [11] P. GOUPILLAUD, A. GROSSMANN, J. MORLET, *Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis*, Geoexploration, 23, 1984, 85-102.
- [12] M. MISITI, Y. MISITI, G. OPPENHEIM, J.-M. POGGI, *Wavelet toolbox*, The MathWorks Inc., 2000.
- [13] G. BEUTLER, H. BOCK, E. BROCKMANN, R. DACH, P. FRIDEZ, W. GURTNER, H. HABRICH, U. HUGENTOBLER, D. INEICHEN, A. JAEGGI, M. MEINDL, L. MERVART, M. ROTHACHER, S. SCHAEER, R. SCHMID, T. SPRINGER, P. STEIGENBERGER, D. SVEHLA, D. THALLER, C. URSCHL, R. WEBER, *Bernese GPS software version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern, 2006.
- [14] J. BOGUSZ, M. FIGURSKI, *Model pływowy IERS2003 i ocena możliwości jego weryfikacji na podstawie wyników opracowania obserwacji GNSS*, Biul. WAT, 59, 3, 2010, 421-441.

J. BOGUSZ, M. FIGURSKI, A. KŁOS

Evaluation of short-term stability of ASG-EUPOS network points

Abstract. This publication presents the results of research aimed at searching for short-term oscillations of the ASG network sites using wavelet transform. Polish Active Geodetic Network (ASG-EUPOS) is the multifunctional precise satellite positioning system established by the Head Office of Geodesy and Cartography in 2008. The adjusted network consisted of over 130 stations from Poland and abroad incorporated, the period covered observations gathered from June 2008 to July 2010. The method of processing elaborated in the CAG (Centre of Applied Geomatics, Military University of Technology in Warsaw), which is one of the 17 EPN LAC (EUREF Permanent Network Local Analysis Centre) acting now in Europe, established at the end of 2009, is similar with the official one used in EPN. It is based on the Bernese 5.0 software, but the difference to the EPN's solutions lies in the resolution of resulting coordinates. In the presented research, the 1-hour sampling rate with 3-hour windowing (66% of correlation) is applied. This allows us to make the interpretations concerning short period information in GNSS (Global Navigation Satellite System) coordinates series. Analyses using FFT and least squares (tidal) gave very coherent results and confirmed several millimetres diurnal and sub-diurnal oscillations. Wavelet analysis is aimed at the investigation of credibility of the precise GNSS solutions in terms of changes of the amplitude of oscillations in time. As a result of this study, the changes in the amplitude of oscillations at diurnal and sub-diurnal frequency bands were obtained. These could be caused by the artificial modulations of the near-by frequencies (P1, S1, K1 in diurnal and S2, K2 in sub-diurnal), but also some geophysical signals could be clearly distinguished. Additionally, the comparison of CWTs of near stations (three pairs from ASG-EUPOS network) was performed.

Keywords: ASG-EUPOS, wavelet transform, GPS