

JAN KRYŃSKI
MACIEJ MOSKWIŃSKI
YEVGEN M. ZANIMONSKIY

ANALIZA WIELOLETNIEGO CIĄGU WYZNACZEŃ CZASU OBROTOWEGO W BOROWEJ GÓRZE

ZARYS TREŚCI: Niniejsze opracowanie stanowi próbę podsumowania wyników wieloletnich obserwacji astronomicznych, prowadzonych od 1963 roku w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze przy użyciu instrumentu przejściowego. W krótkim rysie historycznym poprzedzającym zasadniczą część opracowania zawarto opis zmian instrumentalnych, technologicznych i metodycznych towarzyszących pozyskiwaniu i wstępnemu opracowywaniu obserwacji czasu obrotowego w Obserwatorium w Borowej Górze oraz dotychczasowemu wykorzystaniu tych obserwacji. Zachowany materiał obserwacyjny i obliczeniowy poddany został ocenie w aspekcie jego przydatności do kompleksowej analizy. Pomocne w opracowaniu istniejącego materiału obserwacyjnego było uporządkowanie, zweryfikowanie i zarchiwizowanie, a następnie przeliczenie z systemu katalogu FK5 na system Katalogu Hipparcos.

Zachowany materiał obserwacyjny, w szczególności ciąg obserwacji z okresu ostatnich 19.5 lat, stanowi unikalne źródło informacji o zachowaniu się w czasie długości astronomicznej Obserwatorium w Borowej Górze. W niniejszej pracy zestawiono i przeanalizowano dotychczasowe wyniki opracowania obserwacji czasu obrotowego. Dokonano oceny błędu systematycznego obserwacji długości astronomicznej w Borowej Górze oraz stosowanej wartości konwencjonalnej długości astronomicznej instrumentu przejściowego w Borowej Górze i zaproponowano nową jej wartość. Przeanalizowano wyniki wyznaczeń współczynników równania borowogórskiego. Przeprowadzono także kompleksową analizę widmową wieloletniego ciągu obserwacyjnego z okresu 1986.0–2005.5, wyodrębniono wyrazy okresowe ciągu oraz wyznaczono parametry numerycznego modelu tego ciągu.

1. WPROWADZENIE

Ciągle wyznaczenia miejscowego czasu obrotowego z obserwacji przejść gwiazd przez południk miejscowy prowadzone są w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze od 1963 roku. Obserwacje wykonywane są za pomocą instrumentu przejściowego firmy Zeiss Jena z przystawką fotoelektryczną.

Aparatura używana do tych wyznaczeń ulegała stopniowym udoskonaleniom. Zegarem podstawowym był początkowo zegar kwarcowy, a do czasu skoordynowanego nawiązywano go drogą radiową, używając chronoskopu błyskowego. Czas przejścia gwiazd rejestrowano, używając chronografu cyfrowego. Opóźnienie aparatury rejestrującej wyznaczano za pomocą neonówki w każdy obserwacyjny wieczór. Obecnie zegarem podstawowym jest rubidowy zegar atomowy. Porównanie jego wskazań z radiowymi sygnałami reprezentującymi czas *UTC* dokonywane jest przy użyciu specjalistycznego oscylografu *Zeitzeichenoscillograph* firmy Rhode & Schwarz. Na jego skali czasowej odczytuje się położenie początku sygnału radiowego i sygnału sekundowego zegara podstawowego. Z różnicy odczytów po uwzględnieniu czasu propagacji sygnału otrzymuje się poprawkę zegara względem *UTC*.

Od 1985 roku czas przejścia gwiazd przez południk miejscowy rejestruje się na taśmie magnetycznej, a dotychczas stosowaną metodę progową zastąpiono cyfrową metodą rejestracji przejść gwiazd, dzięki czemu eliminowany jest wpływ opóźnienia aparatury i błędy jego wyznaczenia (Czerwiński, 1986a, 1986b). Od 1986 roku w zestawie urządzeń używanych do wyznaczeń nie były wprowadzane zmiany, a ich niezawodność oceniana jest bardzo wysoko.

Wyniki wyznaczenia wartości $UT0 - UTC$ z każdej serii obserwacyjnej były w zestawieniach tygodniowych wysyłane początkowo do Międzynarodowego Biura Czasu (BIH) w Paryżu, a później także do WNIFTRI (Ogólnorosyjski Naukowo-Badawczy Instytut Pomiarów Fizykotechnicznych i Radiotechnicznych) w Moskwie i Centralnego Biura Międzynarodowej Służby Ruchu Bieguna (IPMS) w Mizusawie w Japonii. Obecnie wyniki obserwacji przekazywane są pocztą elektroniczną cotygodniowo, jak dawniej, do WNIFTRI, gdzie w dalszym ciągu również z obserwacji astrometrycznych nadsyłanych przez 16 obserwatoriów wyznaczane są parametry ruchu obrotowego Ziemi; przekazywane są one również do Głównego Obserwatorium Astronomicznego Rosyjskiej Akademii Nauk w Pułkowie, gdzie wykorzystywane są do celów katalogowych, a także do Obserwatorium Astronomicznego Chińskiej Akademii Nauk w Szanghaju.

Bieżące wyniki wyznaczenia czasu obrotowego były corocznie opracowywane w IGiK. Wyznaczano współczynniki równania Obserwatorium w Borowej Górze, tzw. równania borowogórskiego, według metody stosowanej w BIH w Paryżu (Kołaczek, 1976; Opalski i Cichowicz, 1980). Wyznaczanie to polega na określeniu współczynników modelu półrocznych i rocz-

nych zmian różnic pomiędzy średnim czasem uniwersalnym wyznaczonym w Borowej Górze UTI^{BG} a średnim czasem uniwersalnym BIH UTI^{BIH} .

Zachowany materiał obserwacyjny, w szczególności ciąg obserwacji z okresu ostatnich 19 lat, stanowi unikalne źródło informacji o zachowaniu się w czasie długości astronomicznej Obserwatorium w Borowej Górze. Pomocne w opracowaniu istniejącego materiału obserwacyjnego było uporządkowanie go, zweryfikowanie i zarchiwizowanie, a następnie przeliczenie go z systemu katalogu FK5 na system Katalogu Hipparcos. Zasadniczym przedmiotem niniejszej pracy jest zestawienie i przeanalizowanie dotychczasowych wyników opracowania obserwacji oraz kompleksowa analiza widmowa wieloletniego ciągu obserwacyjnego.

2. OCENA ZACHOWANEGO MATERIAŁU OBSERWACYJNEGO I OBLICZENIOWEGO POD KĄTEM PRZYDATNOŚCI DO KOMPLEKSOWEJ ANALIZY

Przed przystąpieniem do analizy uporządkowano cały dostępny materiał obserwacyjny i obliczeniowy oraz dokonano wstępnej oceny jego przydatności do kompleksowego opracowania. Wykonanie tych działań doprowadziło do następujących ustaleń:

- 1) Materiały obserwacyjne i obliczeniowe z lat 1963–1975 zaginęły.
- 2) Materiały z lat 1976–1985 w części zaginęły całkowicie, w części zachowały się niekompletne. W okresie tym, do września 1982 roku, obserwacje wykonywano według programu ciągłego, a gwiazdy do tego programu zostały wybrane z katalogu KGZ-2. Współrzędne gwiazd były liczone na jego podstawie i zredukowane w oparciu o dane z tego katalogu na system katalogu FK4. Program obserwacyjny zawierał 270 gwiazd, z których 70 nie figuruje w FK4. Przejście na grupowy system obserwacji nastąpiło we wrześniu 1982 roku. Program grupowy zawierał 242 gwiazdy podzielone na 24 grupy, z których dwie liczyły 11, a pozostałe po 10 gwiazd. W programie obserwacyjnym znalazły się wyłącznie gwiazdy z katalogu FK4 i suplementu do tego katalogu.
- 3) W latach 1965–1983 wartość współczynnika a równania borowogórskiego (22) wahała się w granicach od 4.9 ms (rok 1967) do 114.1 ms (rok 1982). Takiego rzędu były też zmiany systematycznego błędu wyznaczeń czasu obrotowego w Borowej Górze w tym okresie. Po przejściu na nowy system rejestracji i obliczenia średniego momentu przejścia gwiazd przez południk instrumentalny, co miało miejsce w 1985 r., nastąpiła stabilizacja współczynnika a na poziomie 30 ms.

Oceniając całość dostępnych materiałów i biorąc pod uwagę ich ciągłość i jednorodność pod względem obserwacyjnym i obliczeniowym oraz stabilność błędu systematycznego otrzymanych wyników, do analizy zakwali-

fikowano wyniki z lat 1986.0–2005.5, odpowiadające seriom obserwacyjnym¹ od 2219 do 4700. W okresie tym współrzędne gwiazd liczone były w systemie katalogu FK5, a aparatura i sposób obliczenia momentu przejścia gwiazdy przez południk instrumentalny nie ulegały zmianom. Biorąc pod uwagę dokładność pozycji gwiazd w Katalogu Hipparcos przewyższającą o rząd (około 20-krotnie) odpowiednie wielkości z katalogu FK5, uznano za celowe przeliczenie wyników wyznaczenia czasu obrotowego na system tego katalogu. Przydatność opracowania obserwacji astrometrycznych w systemie Katalogu Hipparcos została potwierdzona na przykładzie opracowania ciągu obserwacji szerokości astronomicznej z Obserwatorium Politechniki Warszawskiej w Józefosławiu (Kruczyk i in., 1999).

3. DOTYCHCZASOWE WYZNACZENIA DŁUGOŚCI ASTRONOMICZNEJ PUNKTU PODSTAWOWEGO BOROWA GÓRA

Pierwsze wyznaczenie długości astronomicznej punktu podstawowego Borowa Góra² miało miejsce w 1929 roku. Wyznaczono wówczas różnicę długości astronomicznej między punktem podstawowym Obserwatorium Paryskiego a punktem podstawowym Borowa Góra. W operacji uczestniczyło dwóch obserwatorów. Prowadzono jednoczesne obserwacje przejść gwiazd przez południk Obserwatorium Paryskiego i Borowej Góry. W połowie kampanii obserwacyjnej miała miejsce zamiana obserwatorów i instrumentów. Wartość wyznaczonej z tej kampanii długości astronomicznej λ^{BG}_{1929} punktu podstawowego Borowa Góra

$$\lambda^{BG}_{1929} = 21^{\circ}02'12.12'' = 1^{\text{h}}24^{\text{m}}08.808^{\text{s}} \quad (1)$$

przyjmowano przy wyznaczeniach błędu osobowo-instrumentalnego w czasie wyznaczeń długości astronomicznej na punktach Laplace'a zakładanej w latach 50. podstawowej sieci triangulacji państwowej.

Powtórnie długość astronomiczną punktu podstawowego Borowa Góra wyznaczono w trakcie zakładania Międzynarodowej Sieci Różnic Długości Geograficznych podstawowych punktów triangulacyjnych byłych krajów Demokracji Ludowej. Sieć założono w latach 1955–1959. Były to również wyznaczenia dwustronne. Z wyznaczenia tego otrzymano:

$$\lambda^{BG}_{1959} = 21^{\circ}02'12.06'' = 1^{\text{h}}24^{\text{m}}08.804^{\text{s}} \quad (2)$$

¹ Serię obserwacyjną stanowi grupa gwiazd zaobserwowanych podczas wieczoru obserwacyjnego.

² Punkt zastabilizowany pod kopcem ziemnym w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym w Borowej Górze, przyjęty w okresie międzywojennym jako centralny punkt podstawowej osnowy triangulacyjnej kraju oraz punkt przyłożenia elipsoidy Bessela układu „Borowa Góra”.

Uwzględniając różnicę długości stanowiska instrumentu przejściowego λ_{ip} i punktu podstawowego λ_{pp}

$$\lambda_{pp} - \lambda_{ip} = -2.079'' = -0.1386^s \quad (3)$$

otrzymano długość astronomiczną stanowiska instrumentu przejściowego odpowiednio

$$\lambda_{1929ip}^{BG} = 1^h 24^m 08.808^s + 0.1386^s = 1^h 24^m 08.9466^s \quad (4)$$

$$\lambda_{1959ip}^{BG} = 1^h 24^m 08.804^s + 0.1386^s = 1^h 24^m 08.9426^s \quad (5)$$

Nie są znane błędy średnie pierwszego wyznaczenia (λ_{1929}^{BG}); można jednak przypuszczać, że mieści się on znacznie poniżej $\pm 0.01^s$. Średni błąd drugiego wyznaczenia (λ_{1959}^{BG}) wynosi $\pm 0.002^s$ (Radecki, 1964).

Wartość wyznaczonej długości astronomicznej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze po zaokrągleniu (4) do 0.001^s

$$\lambda_{1929ip(c)}^{BG} = 21^{\circ} 02' 14.205'' = 1^h 24^m 08.947^s \quad (6)$$

przyjęto za konwencjonalną, rozpoczynając ciągle wyznaczenia czasu obrotowego w 1963 roku.

4. PRZELICZENIE WYNIKÓW OBSERWACJI Z SYSTEMU KATALOGU FK5 NA SYSTEM KATALOGU HIPPARCOS

Stosowany od 1982 roku program obserwacyjny obejmuje 242 gwiazdy z katalogu FK5 o deklinacjach w granicach od 28° do 63° . Odległości zenitalne tych gwiazd w Borowej Górze mieszczą się w przedziale od 28° na południe do 11° na północ. Jasność gwiazd wchodzących w skład programu zawiera się w przedziale od 1.3^m do 6.0^m . Gwiazdy podzielone są na 24 grupy, z których 2 liczą 11 gwiazd, a pozostałe po 10.

Obserwacje każdej grupy wyrównywane są niezależnie. Równanie poprawki dla każdej gwiazdy grupy (Radecki, 1971, 1975, 1976) ma postać:

$$(UT0^{BG} - Z) + K_i k - (UT_{\alpha i} - Z_i) = v_i \quad (7)$$

gdzie $UT0^{BG} - Z$ – poprawka zegara względem prawdziwego czasu uniwersalnego w Borowej Górze oraz k – azymut instrumentu przejściowego są parametrami równania. K_i oznacza mayerowski współczynnik azymutalny dla i -tej gwiazdy, $UT_{\alpha i}$ jest czasem uniwersalnym górowania i -tej gwiazdy w chwilowym południku Borowej Góry obliczonym na podstawie znajomości rektascensji pozornej gwiazdy w momencie górowania, zaś Z_i jest poprawionym wskazaniem zegara obliczonym ze wzoru

$$Z_i = Z + I_i i_i \tau - 0.01320 \sec(\delta + R_0)_i \quad (8)$$

w którym:

Z – niepoprawione wskazanie zegara,
 I_i – mayerowski współczynnik nachylenia dla i -tej gwiazdy,
 i_i – nachylenie poziomej osi obrotu lunety podczas obserwacji i -tej gwiazdy,
 τ – wartość kąta jednej działki libeli wiszącej,
 $(\delta + R_0)_i$ – deklinacja pozorna i -tej gwiazdy, zwiększona o wartość refrakcji normalnej R_0 .

Współczynniki mayerowskie obliczane są przy użyciu następujących zależności:

$$I = \cos[\varphi - (\delta + R_0)] \sec(\delta + R_0) \quad (9)$$

$$K = \sin[\varphi - (\delta + R_0)] \sec(\delta + R_0) \quad (10)$$

gdzie φ jest szerokością astronomiczną miejsca obserwacji.

Różnice rektascensji $\alpha_{FKS} - \alpha_{Hip}$ są wielkościami małymi. Największe różnice dla obserwowanych gwiazd wynoszą: 0.039^s , 0.025^s , 0.024^s , 0.022^s ; pozostałe nie przekraczają 0.020^s . Średnie różnice dla grupy mieszczą się w przedziale od -0.0090^s do $+0.0055^s$.

Do obliczenia poprawek do wyników wyznaczenia $UT0 - Z$ przy przejściu na system innego katalogu można wykorzystać wzór różniczkowy. Wprowadzając dla uproszczenia oznaczenia:

$$UT0 - Z = u, \quad UT_{\alpha i} - Z_i = l_i$$

otrzymuje się równanie obserwacyjne w postaci:

$$u + K_i k = l_i \quad (11)$$

Układ równań typu (7) rozwiązywany jest w następujący sposób (Opalski i Cichowicz, 1980): ze wszystkich równań obserwacyjnych dla grupy tworzona jest średnia

$$u + K_s k = l_s \quad (12)$$

gdzie $K_s = (\sum K_i)/n$, zaś $l_s = (\sum l_i)/n$.

Odejmując stronami od każdego z równań (11) równanie (12) otrzymuje się nowy układ równań o jednej niewiadomej k

$$(K_i - K_s) k = l_i - l_s \quad (13)$$

Rozwiązanie układu (13) uzyskuje się, stosując metodę najmniejszych kwadratów. Wprowadzając oznaczenia

$$(K_i - K_s) = \Delta K, \quad (l_i - l_s) = \Delta l_i$$

tworzone jest równanie normalne

$$[\Delta K^2] k = [\Delta K \Delta l]$$

skąd oblicza się niewiadomą k

$$k = [\Delta K \Delta l] / [\Delta K^2]$$

Podstawiając k do równania (12) otrzymuje się

$$u = l_s - K_s [\Delta K \Delta l] / [\Delta K^2] \quad (14)$$

Różniczkowanie równania (14) względem l daje

$$du = dl_s - K_s [\Delta K d(\Delta l)] / [\Delta K^2] \quad (15)$$

gdzie:

$$dl_s = \Sigma dl_i / n$$

$$d(\Delta l) = dl_i - dl_s \quad (16)$$

$$dl_i = (\alpha_{Hip} - \alpha_{FK5}) 0.997$$

Współczynnik 0.997 oznacza (zaokrąglony do trzech miejsc po przecinku) stosunek jednostek czasu gwiazdowego do jednoimiennych jednostek czasu uniwersalnego. Zegar roboczy w Borowej Górze wskazuje czas uniwersalny i stąd wynika konieczność takiego przeliczenia.

Wykorzystując niewielką zmienność w czasie wartości różnicy rektascensji, można uprościć obliczenie wielkości du . Uproszczenie polega na obliczeniu wartości $\Delta\alpha = \alpha_{FK5} - \alpha_{Hip}$ na średni moment obserwacji grupy w danym roku. Różnicę oblicza się na podstawie współrzędnych na epokę J2000.0 i ruchów własnych z obu katalogów. Grupy obserwuje się w okresie od miesiąca do trzech miesięcy, w zależności od pory roku. Różnica między średnim nominalnym czasem obserwacji grupy a czasem faktycznym mieści się w przedziale od 16 dni dla grupy 12 do 54 dni dla grupy 22. Uwzględniając maksymalną różnicę średniego i rzeczywistego czasu obserwacji grupy oraz zmienność różnicy $\Delta\alpha$ wynikłą z różnych wartości ruchów własnych gwiazd w obu katalogach, obliczono błąd maksymalny wynikły z tego uproszczenia. Nie przekracza on 0.00002^s (dla grupy 22).

Przy obliczeniu $\Delta\alpha$ należy też uwzględnić różnicę paralaks. Katalog FK5 nie zawiera paralaks. Dla obliczeń obserwacji w Borowej Górze paralaksy zaczerpnięto z „General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes” i z „Supplement to the Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes”. Uwzględniono paralaksy większe lub równe $0.010''$. Katalog Hipparcos zawiera paralaksy wyznaczone wraz z opracowaniem katalogu. Różnica średnich paralaks dla obserwowanych grup waha się od $-0.0075''$ do $+0.0046''$.

Wpływ różnicy paralaks na różnicę rektascensji można wyrazić wzorem:

$$\Delta\alpha_{\Delta\pi} = (C \times 0.05318 \Delta\pi''d - D \times 0.04476 \Delta\pi''c) / 15 \quad (17)$$

Wielkości redukcyjne C i D zależą od współrzędnych równikowych Słońca, a stałe redukcyjne c i d od deklinacji i rektascensji gwiazd. Dla średniego momentu obserwacji grupy i średniej deklinacji grupy, którą można

przyjąć równą szerokości geograficznej, wylicza się $\Delta\alpha_{\Delta\pi}$ dla każdej grupy. Maksymalna wartość tej poprawki nie przekracza 0.0003^s .

Jak widać z równania (15), zmiana du składa się z sumy dwóch składników:

- średniej arytmetycznej z przyrostu wyrazów wolnych, zależną od różnicy rektascensji,
- wyrazu, w którym prócz Δl występują współczynniki K_s i ΔK , będące funkcją K , a ostatecznie φ i δ .

Wartość drugiego składnika jest w omawianym przypadku (program okołozenitalny, K_s bliska zeru) o rząd mniejsza od wyrazu pierwszego i nie przekracza 0.002^s . Dla określonej grupy gwiazd wielkość tego wyrazu można uznać, w okresie objętych analizą około 20 lat, za zależną jedynie od $d\Delta l$. Wartości zmian współczynników K_s i ΔK są niewielkie i współczynniki te można przyjąć za stałe w wymienionym okresie. Wartość K_s zależy od deklinacji, a ta w okresie 10 lat (K_s obliczamy na środek okresu) zmienia się maksymalnie o około $3'$. Wynikła z tego zmiana współczynnika wynosi około 0.001 , co czyni jej wpływ na wartość du zaniedbywalny, ponieważ błąd wynikły z tego uproszczenia nie przekracza 0.00005^s . Wartość zmian ΔK zależy od różnicy zmian deklinacji obserwowanych gwiazd; jest ona o około rząd wielkości mniejsza od zmian współczynnika K_s .

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania upraszczające i ograniczające zakres obliczeń przy przeliczeniu wartości $UT0 - Z$ na system innego katalogu, przeliczenie to można wykonać w dwojaki sposób.

- 1) wykorzystując wzór różniczkowy (15);
- 2) ponownie rozwiązując układ równań obserwacyjnych dla grupy, ze zmienionym o wartość

$$dl_i = (\alpha_{iFK5} - \alpha_{iHip}) 0.997$$

dla każdej gwiazdy wyrazem wolnym; zmianę wprowadza się do wartości Z_i , która jest jedną z wartości wejściowych programu wykorzystywanego obecnie do redukcji obserwacji.

W obu sposobach potrzebna jest obliczona różnica rektascensji dla każdej gwiazdy na średni moment obserwacji grupy w danym roku. Jeśli błąd wynikły z pominięcia wpływu różnicy paralaks (maksymalny, średni dla grupy, nie przekracza 0.0003^s) uzna się za zaniedbywalny, to przy obliczaniu różnicy rektascensji uwzględniane są jedynie różnice $\alpha_{FK5} - \alpha_{Hip}$ w epoce J2000.0 i różnice ruchu własnego. W przeciwnym razie należy uwzględnić wpływ różnicy paralaks.

Przeliczenie wartości $UT0 - Z$ na system innego katalogu przy użyciu sposobów 1 i 2 odbywa się według następujących schematów:

Schemat I

- 1) Oblicza się dl_i dla każdej gwiazdy na średni moment obserwacji grupy.
- 2) Na podstawie wzorów (16) oblicza się dl_s i $d(\Delta l)$.
- 3) Wykorzystując wzór (10), oblicza się K_i , a następnie K_s i ΔK . We wzorze (10) przyjmuje się deklinację średnią gwiazdy dla środkowego roku opracowywanego okresu.
- 4) Ze wzoru (15) oblicza się du .

Schemat II

- 1) Podobnie jak uprzednio oblicza się dl_i .
- 2) Ponownie rozwiązuje się układ równań obserwacyjnych dla grupy ze zmienionymi o dl_i wyrazami wolnymi. Zmianę wprowadza się do wartości Z_i jako jedną z wartości wejściowych programu liczącego stosowanego obecnie do redukcji obserwacji borowogórskich.
- 3) Różnica między otrzymaną z tego rozwiązania wartością $UT0 - Z$ a wartością pierwotną jest szukaną poprawką du . Wielkość ta jest stała dla wyników otrzymanych z tej grupy w danym roku. Jeśli obserwowano niepełną grupę, należy dla niej wykonać podobne obliczenie. Tak samo postępuje się dla innych lat, wykorzystując ten sam układ równań poprawek dla danej grupy.

Dla kontroli wykonano obliczenia obiema metodami dla serii 4302 (grupa 13 z dnia 27.04.2002). Ze wzoru różniczkowego otrzymano:

$$du = -0.0055^s + 0.0007^s = -0.0048^s$$

zaś z przeliczenia drugą metodą

$$du = -0.0047^s$$

Omówiony poniżej sposób przeliczenia wyników obserwacji z systemu katalogu FK5 na system Katalogu Hipparcos sposób można zastosować do przeliczenia wyników na system innego katalogu, np. FK6.

**5. ANALIZA ZMIENNOŚCI $(UT1 - UTC)^{BG} - (UT1 - UTC)^{BIH}$
NA PODSTAWIE OBSERWACJI W BOROWEJ GÓRZE
W LATACH 1986.0–2005.5**

Stwierdzony jest fakt systematycznego zwalniania ruchu obrotowego Ziemi. Uwidacznia się on w zmianach różnicy $UT1 - TAI$, której wielkość systematycznie maleje. Przyczyną systematycznego zmniejszania się prędkości kątowej ruchu obrotowego Ziemi jest hamowanie pływowe. Hamowanie pływowe nie jest stałe, gdyż zmieniają się odległości między Ziemią a hamującymi ją przez swe oddziaływanie pływowe Słońcem i Księżycem. W zmianach tych daje się zauważyć pewne okresowości. W zmianach prędkości obrotowej Ziemi wyróżnia się okresowość roczną, półroczną, cztero- i dwutygo-

dniową. Wymienione okresy mają amplitudę: roczny 30 ms, półroczny 10 ms, cztero- i dwutygodniowe po 1 ms (Mietelski, 1995).

Pseudo-okresowe oscylacje o okresie około 6 lat zaobserwowane zostały w ciągach czasowych atometrycznych obserwacji szerokości i czasu (Vondrák i in., 1998), obserwacji pływowych oraz parametrów ruchu obrotowego Ziemi (Chapanov i in., 2005). Zmiany szerokości astronomicznej, podobnie jak zmiany długości astronomicznej o okresie około 6 lat, związane są z oscylacjami lokalnej linii pionu, za których źródło uważa się interakcję pomiędzy jądrem i płaszczem Ziemi (Hide i in., 2000).

Oprócz sił pływowych na niejednostajność obrotu Ziemi ma wpływ przemieszczanie się mas powietrznych i wodnych, zanik i powstawanie pokrywy śnieżnej, jak również ruchy tektoniczne.

Sezonowe zmiany ΔT_s prędkości ruchu obrotowego Ziemi reprezentowanej przez skalę czasu UTI , odniesione początkowo do skali czasu $UT2$, a następnie, począwszy od 1964 roku, również do skali UTC (Kryński, 2004), wyrażone są wzorem (Kołaczek, 1974)

$$\Delta T_s = b' \sin 2\pi\tau + c' \cos 2\pi\tau + d' \sin 4\pi\tau + e' \cos 4\pi\tau \quad (18)$$

gdzie τ jest częścią roku zwrotnikowego. Na mocy uchwały Zgromadzenia Generalnego IAU w Dublinie w 1955 roku BIH zostało zobowiązane do wyznaczania współczynników b' , c' , d' , e' oraz ich publikowania.

Przedmiotem niniejszej pracy nie będzie badanie przebiegu zmian $UTI - UTC$, ale analiza zmian wielkości tej różnicy wyznaczonej z obserwacji w Borowej Górze względem tej samej wielkości podawanej przez BIH. Analizowane będą zatem zmiany wielkości

$$(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH} \quad (19)$$

Wszystkie wyżej wymienione przyczyny nieregularności ruchu obrotowego Ziemi są z tej różnicy w znacznym stopniu wyeliminowane, a na jej zmienność mają wpływ przede wszystkim czynniki lokalne.

Wielkości $(UTI - UTC)^{BG}$ wyznaczone były w oparciu o współrzędne gwiazd w systemie katalogu FK5. Zostały one przeliczone na system Katalogu Hipparcos. Poprawki dla przejścia do systemu tego katalogu obliczono drugą metodą, tj. ponownie rozwiązując układ równań obserwacyjnych dla poszczególnych grup ze zmienionym o wartość

$$dl_i = (\alpha_{iFK5} - \alpha_{iHip}) 0.997 \quad (20)$$

dla każdej gwiazdy wyrazem wolnym.

Poprawki obliczono dla serii o kolejnych numerach 2219–4700 obserwowanych od początku roku 1986 do połowy roku 2005. Średnią wartość poprawek, tj. wartości

$$du = (UT0 - Z)_{Hip} - (UT0 - Z)_{FK5} \quad (21)$$

w tym okresie, dla kolejnych grup, przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Średnie wartości poprawek du dla okresu 1986.0–2005.0

Nr grupy	du (0.0001 ^s)
1	-24
2	44
3	40
4	42
5	44
6	20
7	77
8	97
9	44
10	41
11	-41
12	4
13	-45
14	41
15	61
16	42
17	55
18	23
19	56
20	108
21	- 6
22	3
23	-29
24	-46

Graniczne wartości poprawek osiągają odpowiednio -0.0046^s i $+0.0108^s$.

Średnia wartość różnicy obliczona w systemie FK5 na podstawie analizowanego materiału wynosi:

$$(UTI - UTC)_{FK5}^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH} = +0.0299^s$$

a wartość różnicy obliczonej na podstawie zredukowanych do systemu Hipparcos wyników obserwacji jest równa:

$$(UTI - UTC)_{Hip}^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH} = +0.0327^s$$

skąd

$$(UTI - UTC)_{FK5}^{BG} - (UTI - UTC)_{Hip}^{BG} = -0.0028^s$$

Ta ostatnia różnica wynika z przypadkowych zmian współrzędnych gwiazd, jak również ze zmiany punktu początkowego liczenia rektascensji w systemie Katalogu Hipparcos w stosunku do systemu FK5.

Odchyłki wartości średniego czasu uniwersalnego, wyznaczonego w Borowej Górze UTI^{BG} , od wartości średniego czasu uniwersalnego UTI^{BIH} przedstawiano w postaci równania Obserwatorium, układanego corocznie dla okresów półtorarocznych według metody stosowanej w BIH (Radecki, 1977).

$$(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH} = a + b\sin 2\pi\tau + c\cos 2\pi\tau + d\sin 4\pi\tau + e\cos 4\pi\tau \quad (22)$$

Równanie poprawek dla i -tej serii obserwacyjnej ma postać następującą

$$a + b\sin 2\pi\tau_i + c\cos 2\pi\tau_i + d\sin 4\pi\tau_i + e\cos 4\pi\tau_i + l_i = v_i \quad (23)$$

gdzie a, b, c, d, e są współczynnikami równania Obserwatorium, zaś τ_i jest częścią roku zwrotnikowego, która upłynęła od początku roku zwrotnikowego do epoki i -tej serii obserwacyjnej.

Wyrazy wolne obliczono na podstawie zależności:

$$l_i = (UTI^{BIH} - UTC)_i - (UT0^{BG} - UTC)_i - (UTI^{BG} - UT0^{BG})_i \quad (24)$$

w której $(UTI^{BIH} - UTC)_i$ jest różnicą między średnim czasem uniwersalnym BIH a czasem koordynowanym, wyinterpolowaną na epokę i -tej serii na podstawie danych publikacji BIH; $(UT0^{BG} - UTC)_i$ jest wynikiem i -tej serii obserwacyjnej wyznaczenia czasu obrotowego w Borowej Górze, zaś $(UTI^{BG} - UT0^{BG})_i = -0.0311615x_p - 0.0810207y_p$, przy czym współrzędne x_p, y_p chwilowego bieguna ziemskiego wyinterpolowane są na podstawie danych BIH.

W tabeli 2 podane są wartości współczynników równania Obserwatorium w Borowej Górze, tzw. równania borowogórskiego z ich błędami średnimi, obliczone w odniesieniu do katalogu FK5 dla lat 1966–2004. Brak wartości błędów w niektórych latach wynika z niedostępności materiałów źródłowych. Wyniki odnoszące się do lat 1966–1986 zaczerpnięto z rocznych raportów przechowywanych w IGiK. Współczynniki równania borowogórskiego dla lat 1987–2004 obliczone zostały ponownie na podstawie zarchiwizowanych materiałów obserwacyjnych.

Jak widać, występują istotne zmiany wielkości współczynnika a . Dopiero od 1985 roku można mówić o jego trwałej stabilizacji. Stabilizacja ta wyniknęła ze zmiany sposobu rejestracji przejść gwiazd przez południk miejscowy po modernizacji aparatury rejestrującej.

Współczynniki równania borowogórskiego z ich błędami średnimi obliczonego w odniesieniu do Katalogu Hipparcos podane są w tabeli 3.

Tabela 2. Wartości współczynników równania borowogórskiego (lata 1966–2004) w systemie katalogu FK5

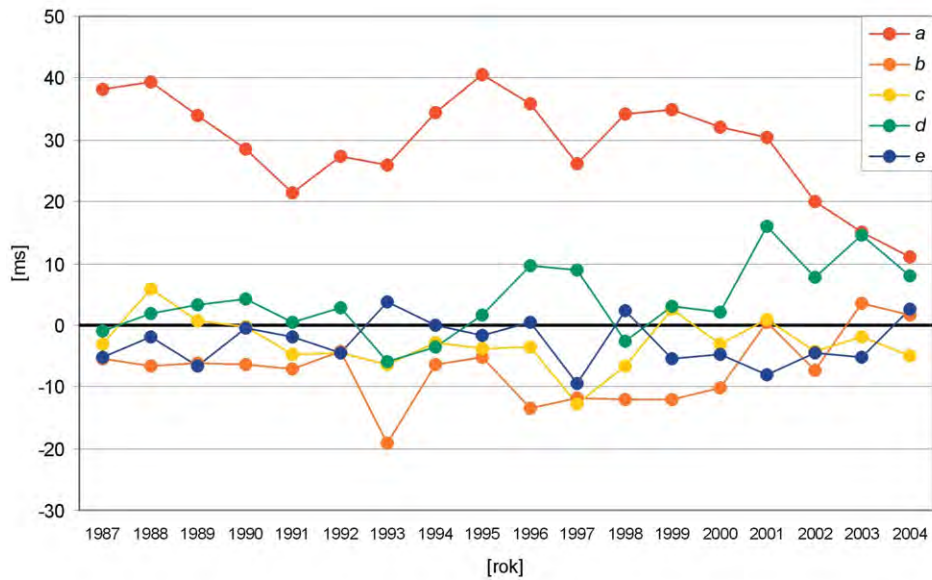
Rok	a (0.0001 ^s)	b (0.0001 ^s)	c (0.0001 ^s)	d (0.0001 ^s)	e (0.0001 ^s)
1966	58	158	168	31	130
1967	49	-14	56	0	13
1968	137	-28	-13	-12	-71
1974	485	-102	68	-24	32
1975	651	-55	23	-35	8
1976	832 ± 11	11 ± 14	61 ± 17	47 ± 14	7 ± 15
1977	819 ± 10	-3 ± 12	39 ± 16	-24 ± 14	-41 ± 13
1978	878 ± 10	-34 ± 14	21 ± 14	27 ± 14	-41 ± 13
1979	673 ± 16	33 ± 18	94 ± 27	40 ± 20	-102 ± 21
1980	706 ± 10	-20 ± 13	81 ± 16	40 ± 14	-24 ± 15
1981	754 ± 16	-53 ± 18	92 ± 24	7 ± 21	-63 ± 21
1982	1141 ± 16	-186 ± 19	-40 ± 26	-34 ± 21	-5 ± 21
1983	1074 ± 40	141 ± 55	31 ± 54	56 ± 49	-22 ± 38
1985	390 ± 19	-25 ± 22	2 ± 28	-46 ± 24	-25 ± 23
1986	394 ± 10	-3 ± 13	5 ± 15	-6 ± 13	-75 ± 14
1987	358 ± 11	-66 ± 14	-6 ± 16	-31 ± 14	-66 ± 14
1988	372 ± 11	-69 ± 14	78 ± 17	6 ± 14	-45 ± 14
1989	313 ± 14	-72 ± 19	24 ± 21	18 ± 17	-93 ± 19
1990	261 ± 12	-73 ± 15	20 ± 18	20 ± 16	-28 ± 16
1991	188 ± 12	-79 ± 17	-29 ± 18	-21 ± 16	-41 ± 16
1992	249 ± 12	-55 ± 16	-31 ± 19	1 ± 17	-65 ± 15
1993	241 ± 21	-197 ± 25	-44 ± 32	-83 ± 23	17 ± 22
1994	323 ± 15	-69 ± 18	-5 ± 24	-60 ± 18	-17 ± 19
1995	384 ± 16	-58 ± 21	-16 ± 24	-7 ± 20	-35 ± 20
1996	341 ± 15	-133 ± 21	-25 ± 22	67 ± 21	-21 ± 21
1997	234 ± 28	-128 ± 26	-126 ± 43	64 ± 29	-114 ± 40
1998	313 ± 16	-138 ± 24	-44 ± 22	-47 ± 21	14 ± 24
1999	330 ± 14	-128 ± 19	43 ± 21	5 ± 20	-74 ± 19
2000	296 ± 16	-118 ± 20	-13 ± 24	-2 ± 21	-69 ± 21
2001	290 ± 19	4 ± 25	33 ± 28	149 ± 23	-106 ± 24
2002	179 ± 17	-92 ± 23	-30 ± 26	51 ± 22	-70 ± 26
2003	136 ± 27	4 ± 31	7 ± 42	105 ± 35	-88 ± 35
2004	91 ± 30	-37 ± 43	-21 ± 46	27 ± 65	5 ± 54

Tabela 3. Wartości współczynników równania borowogórskiego (lata 1987–2004) w systemie Katalogu Hipparcos

Rok	a (0.0001 ^s)	b (0.0001 ^s)	c (0.0001 ^s)	d (0.0001 ^s)	e (0.0001 ^s)
1987	383 ± 10	-55 ± 13	-30 ± 16	-9 ± 13	-52 ± 14
1988	394 ± 11	-67 ± 13	58 ± 16	19 ± 13	-18 ± 14
1989	339 ± 14	-62 ± 18	6 ± 21	33 ± 16	-67 ± 18
1990	286 ± 11	-64 ± 14	-2 ± 18	41 ± 15	-6 ± 15
1991	214 ± 12	-72 ± 17	-48 ± 17	4 ± 16	-20 ± 16
1992	273 ± 12	-44 ± 16	-46 ± 18	29 ± 16	-45 ± 15
1993	260 ± 21	-191 ± 24	-63 ± 32	-59 ± 23	38 ± 21
1994	344 ± 15	-63 ± 18	-28 ± 24	-36 ± 18	0 ± 19
1995	406 ± 15	-51 ± 20	-38 ± 23	17 ± 19	-17 ± 19
1996	359 ± 15	-134 ± 20	-35 ± 21	96 ± 20	5 ± 20
1997	261 ± 26	-118 ± 24	-128 ± 39	89 ± 26	-94 ± 37
1998	343 ± 15	-121 ± 23	-66 ± 21	-26 ± 20	24 ± 23
1999	349 ± 13	-120 ± 18	25 ± 20	31 ± 19	-55 ± 18
2000	319 ± 15	-102 ± 19	-30 ± 23	22 ± 20	-48 ± 20
2001	303 ± 19	5 ± 24	8 ± 27	161 ± 23	-80 ± 23
2002	201 ± 17	-72 ± 22	-44 ± 25	78 ± 21	-45 ± 25
2003	151 ± 27	36 ± 31	-19 ± 42	146 ± 35	-52 ± 36
2004	111 ± 29	17 ± 41	-49 ± 44	79 ± 63	26 ± 51

Różnice pomiędzy współczynnikami równania borowogórskiego obliczonymi w systemie katalogu FK5 (tabela 2) i Katalogu Hipparcos (tabela 3) są nieznaczne. Błędy współczynników obliczonych w systemie Katalogu Hipparcos są mniejsze w większości przypadków o około 10% od błędów tych współczynników obliczonych w systemie katalogu FK5. Większe błędy wyznaczenia współczynników w rozwiązaniach rocznych dla lat 2003 i 2004 wynikają ze znacznie mniejszej liczby obserwacji w tych latach. Przebieg zmienności współczynników równania borowogórskiego w systemie Katalogu Hipparcos dla okresu 1987–2004 przedstawiono na rysunku 1.

W tabeli 4 podano wartości uśrednionych współczynników równania borowogórskiego z rocznych rozwiązań z lat 1987–2004 w systemie katalogu FK5 i Katalogu Hipparcos oraz wartości współczynników tego równania obliczone dla okresu 1987–2005 w systemie obu katalogów.

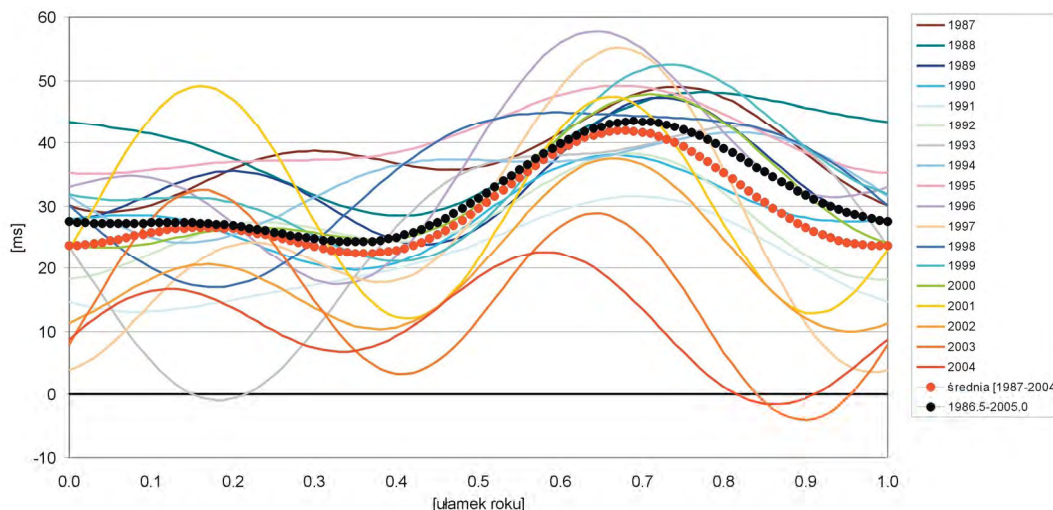


Rys. 1. Przebieg zmienności współczynników równania borowogórskiego w systemie Katalogu Hipparcos

Tabela 4. Wartości uśrednionych współczynników równania borowogórskiego z rocznych rozwiązań 1987–2004 w systemie katalogu FK5 i Katalogu Hipparcos oraz wartości współczynników tego równania obliczone dla okresu 1986–2004 w systemie obu katalogów

System		a (0.0001^s)	b (0.0001^s)	c (0.0001^s)	d (0.0001^s)	e (0.0001^s)
FK5	średnie	279 ± 04	-79 ± 05	-10 ± 06	13 ± 06	-51 ± 06
	1986.5–2005.0	303 ± 04	-80 ± 05	1 ± 06	4 ± 06	-47 ± 06
Hipparcos	średnie	294 ± 04	-71 ± 05	-29 ± 06	40 ± 06	-28 ± 06
	1986.5–2005.0	317 ± 04	-81 ± 05	-18 ± 06	27 ± 06	-23 ± 06

Wartości uśrednionych współczynników b , c , d , e obliczonych z rozwiązań rocznych 1987–2004 wykazują nadspodziewaną zgodność z wartościami odpowiadających współczynników obliczonych dla okresu 1986–2004 w systemie obu katalogów, biorąc pod uwagę, że te pierwsze wyznaczone są na podstawie obserwacji z zaledwie półrocznych okresów. Różnice pomiędzy współczynnikami mieszczą się w granicach pojedynczego błędu średniego. Zgodność uśrednionego rozwiązania równania borowogórskiego 1987–2004 z rozwiązaniem dla okresu 1986.5–2005.0 w systemie Katalogu Hipparcos na tle rocznych rozwiązań przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przebiegi rozwiązań 1987–2004 równania borowogórskiego, uśrednionego rozwiązania oraz rozwiązania dla okresu 1986.5–2005.0 w systemie Katalogu Hipparcos

Wyjaśnienia wymaga wielkość współczynnika a , która jest znaczna w stosunku do dokładności wyznaczenia wielkości $UT0 - Z$. Na wielkość tego wyrazu w latach 1965–1983 duży wpływ miał błąd systematyczny rejestracji momentów przejść gwiazd. Błąd ten charakteryzował się znaczną zmiennością (patrz tabela 2). Nowy sposób rejestracji momentów przejść gwiazd gwarantuje likwidację systematycznego błędu do wielkości zaniedbywalnej w stosunku do błędów przypadkowych rejestracji. Brak błędu systematycznego w nowej metodzie rejestracji stwierdził Czerwiński (1986a). Pomimo to, dla analizowanego okresu 1986.0–2005.5, średnia różnica w systemie FK5 wynosi:

$$(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH} = +0.0299^s$$

Po przeliczeniu do systemu Katalogu Hipparcos wartość odpowiedniej średniej różnicy wynosi $+0.0327^s$. Można przypuszczać, że tak znaczna wartość tej różnicy wynika z przyjętej do obliczeń wartości długości konwencjonalnej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze. Zmieniono ją 1 stycznia 1965 roku

$$\text{z } \lambda_{1929ip(c)}^{BG} = 1^h24^m08.947^s \text{ (6) na } \lambda_{1965ip(c)}^{BG} = 1^h24^m08.913^s$$

na wniosek BIH w związku z włączeniem Obserwatorium w Borowej Górze do Międzynarodowej Służby Czasu (sieci stacji tworzących czas definitywny) (Radecki, 1967).

Kilka lat później wartość długości konwencjonalnej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze zmieniono o 0.001^s na

$$\lambda_{1973ip(c)}^{BG} = 1^h24^m08.914^s.$$

Jak widać, ostatecznie wartość długości konwencjonalnej zmniejszono o 0.033^s . Jest to wartość bliska wyżej wymienionym różnicom: 0.0299^s dla systemu FK5 bądź 0.0327^s dla systemu Hipparcos. Można przypuszczać, że zmiana wartości długości konwencjonalnej, o której mowa wyżej, nastąpiła dlatego, że próbne obserwacje z lat 1963 i 1964 wysyłane do BIH były obciążone systematycznym błędem około 0.03^s . Hipotezę tę wydają się potwierdzać wyniki badań porównawczych dwóch metod rejestracji przejść gwiazd (Czerwiński 1986a). W sposobie rejestracji metodą integracyjno-progową rejestrowano czas wejścia i wyjścia obrazu gwiazdy ze szczeliny. W nowej metodzie rejestracji uzyskuje się ciąg próbek wiernie odzwierciedlający przebieg czasowy prądu fotopowielacza wytworzonego przez światło gwiazdy przechodzącej przez kolejne szczeliny. Opracowanie matematyczne zarejestrowanego ciągu czasowego tych próbek, otrzymanych z przejścia gwiazdy przez te same szczeliny w obu położeniach instrumentu, z wykorzystaniem funkcji korelacji wzajemnej pozwala uzyskać średni moment przejścia gwiazdy przez południk instrumentu z większą dokładnością i bez systematycznego błędu wyznaczenia opóźnienia spowodowanego koniecznością integracji sygnału (Czerwiński, 1986b).

Na podstawie rejestracji momentów przejść 250 gwiazd dwoma metodami: starą, stosowaną do 1983 roku, integracyjno-progową i nową, w której zastosowano cyfrowy sposób rejestracji i obliczenia średniego momentu przejścia z wykorzystaniem funkcji korelacji wzajemnej, stwierdził on, że momenty przejścia wyznaczone metodą stosowaną do 1985 roku są o 29.2 ms wcześniejsze od wyznaczonych metodą korelacji.

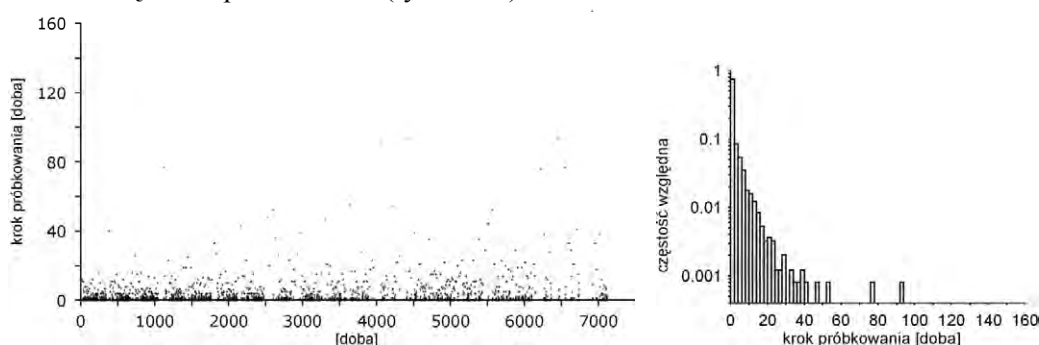
Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, można wyznaczyć długość astronomiczną stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze, wykorzystując średnią wartość $UTI^{BG} - UTI^{BIH}$ na podstawie obserwacji z analizowanego, blisko dwudziestoletniego okresu. Zakładając, że w różnicy tej wyeliminowane są błędy systematyczne o okresowości mniejszej od 20 lat, otrzymuje się długość astronomiczną λ_{2005ip}^{BG} stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze, dodając do przyjętej długości konwencjonalnej $\lambda_{1973ip(c)}^{BG} = 1^h 24^m 08.914^s$ wartość wyżej wymienionej średniej w systemie Katalogu Hipparcos, jako najdokładniejszej, tj.

$$\lambda_{2005ip}^{BG} = 1^h 24^m 08.914^s + 0.0327^s = 1^h 24^m 08.9467^s \quad (25)$$

Otrzymana wartość długości astronomicznej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze jest bardzo bliska wyznaczonej w 1929 roku (4), którą początkowo przyjęto za konwencjonalną.

6. ANALIZA WIDMOWA CIĄGU CZASOWEGO ($UTI - UTC$)^{BG} - ($UTI - UTC$)^{BIH} NA PODSTAWIE OBSERWACJI W BOROWEJ GÓRZE W LATACH 1986.0-2005.5

Ciąg czasowy wielkości ($UTI - UTC$)^{BG} - ($UTI - UTC$)^{BIH} uzyskany na podstawie wieloletnich obserwacji astronomicznych w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym w Borowej Górze charakteryzuje się znaczną zmiennością kroku próbkowania (rysunek 3) – od 0.0299 do 166.87 dób.



Rys. 3. Rozkład kroków próbkowania (odcinków czasu między kolejnymi elementami ciągu) w ciągu czasowym wielkości ($UTI - UTC$)^{BG} - ($UTI - UTC$)^{BIH} z okresu 1986.0-2005.5 wraz z histogramem. Dni liczone są od 1 stycznia 1986 r.

Analizy widmowej tego ciągu nie da się wykonać bezpośrednio przy użyciu standardowych narzędzi analitycznych. Narzędzia te dają się zastosować po uprzednim przeprowadzeniu wyjściowego ciągu czasowego przy użyciu interpolacji w dziedzinie czasu do ciągu czasowego o ustalonym kroku próbkowania. Podejście takie zostało między innymi zastosowane do analizy obserwacji astrometrycznych szerokości w Józefosławiu (Kruczyk i Rogowski, 1999).

Wobec występujących w badanym ciągu czasowym dużych różnic w odstępach czasu pomiędzy kolejnymi jego elementami, a w szczególności wobec występujących w nim długich przerw między obserwacjami, zastosowanie procesu interpolacji nie gwarantuje uzyskania ciągu czasowego spójnego z ciągiem wyjściowym. Co więcej, proces interpolacji wprowadza do wynikowego ciągu czasowego nową informację, której nie zawiera zbiór danych obserwacyjnych. Informacja ta może zniekształcać charakterystyki widmowe analizowanych danych.

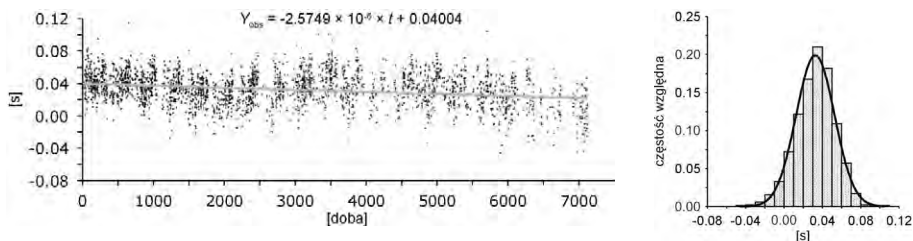
W niniejszym opracowaniu wykorzystano metodę analizy widmowej przeznaczoną do badania ciągów czasowych o zmiennym kroku próbkowania (Box i Jenkins, 1976; Nuttall i Carter, 1982). Jest to metoda iteracyjna, w której porównywane są odpowiednio tworzone modele z ciągiem czasowym obserwowanych danych. W przedziale okresów od 2 do 5000 dób z krokiem 1 doby utworzono okresowe modele ciągów czasowych, a następ-

nie określano ich korelacje z ciągiem czasowym obserwowanych danych przy skanowaniu fazy w przedziale 0–180°. Współczynnik regresji przy fazie odpowiadającej maksymalnej korelacji przyjmowany jest jako ocena amplitudy składowej widmowej. Uzyskane w ten sposób widmo nie może być ściśle interpretowane jak widmo szeregu Fouriera obserwowanych danych z tytułu zmienności kroku próbkowania i w konsekwencji nieortogonalności składowych widmowych. Innymi słowami, otrzymana w ten sposób reprezentacja widmowa badanego ciągu czasowego nie jest jednoznaczna.

W kolejnym etapie analizy na podstawie widmowej reprezentacji badanego ciągu czasowego wydzielone zostały jego dominujące składowe. W oparciu o nie utworzono modele numeryczne ciągu czasowego. W badanym ciągu czasowym kolejno były wyznaczane składowe okresowe, najpierw składowa półroczna, a następnie składowa roczna. Amplitudę i fazę tych składowych określano iteracyjnie w oparciu o maksymalną korelację modelu numerycznego ciągu z badanym ciągiem czasowym.

6.1. Charakterystyka ciągu obserwacyjnego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$

Ciąg obserwacyjny $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ z okresu 1986.0–2005.5 zawiera 2474 obserwacje. Rozkład obserwacji wraz z liniowym trendem oraz ich histogram przedstawiono na rysunku 4, zaś ich statystykę podano w tabeli 5.



Rys. 4. Rozkład obserwacji $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ w Obserwatorium w Borowej Górze w okresie 1986.0–2005.5 oraz ich histogram

Tabela 5. Statystyka obserwacji $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ w Obserwatorium w Borowej Górze w okresie 1986.0 – 2005.5 [s]

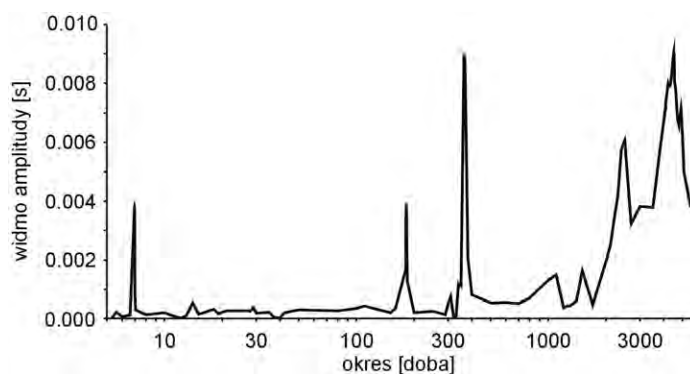
Liczba obserwacji	Max	Min	Średnia	Odch. st.
2474	0.11473	-0.04603	0.03268	0.02012

Liniowy trend Y ciągu obserwacyjnego określony jest równaniem

$$Y_{\text{obs}} = -2.5749 \times 10^{-6} t + 0.04004 \quad (26)$$

gdzie t – liczba dni od 1 stycznia 1986 r.

Widmo ciągu obserwacyjnego przedstawia rysunek 5. Obliczone okresy i amplitudy głównych składowych widma przedstawione zostały w tabeli 6.



Rys. 5. Widmo ciągu obserwacyjnego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$

Tabela 6. Okresy i amplitudy głównych składowych widma ciągu obserwacyjnego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$

Okres [doba]	Amplituda [s]
7	0.0038
182	0.0039
365	0.0090
2470 (6.76 lat)	0.0061
4512 (12.35 lat)	0.0090

6.2. Charakterystyka ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowej półrocznej

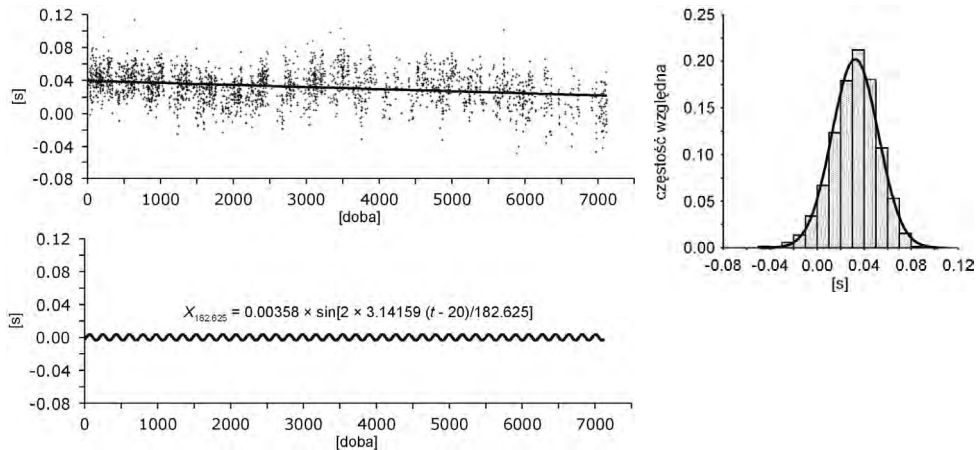
Jedną z zasadniczych składowych widma ciągu obserwacyjnego jest składowa półroczna. Rozkład ciągu czasowego po wyeliminowaniu składowej półrocznej wraz z histogramem przedstawiono na rysunku 6, zaś statystykę elementów ciągu podano w tabeli 7.

Tabela 7. Statystyka elementów ciągu $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowej półrocznej [s]

Liczba obserwacji	Max	Min	Średnia	Odch. st.
2474	0.11342	-0.04899	0.03243	0.01981

Liniowy trend Y ciągu czasowego po wyeliminowaniu składowej półrocznej określony jest równaniem

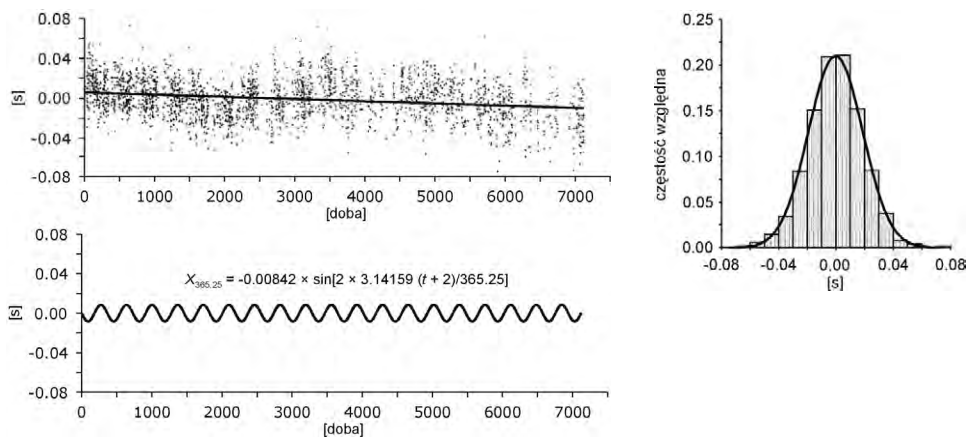
$$Y = -2.5293 \times 10^{-6} t + 0.03966 \quad (27)$$



Rys. 6. Rozkład ciągu czasowego $(UT1 - UTC)^{BG} - (UT1 - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowej półrocznej wraz z histogramem oraz przebieg składowej półrocznej

6.3. Charakterystyka ciągu czasowego $(UT1 - UTC)^{BG} - (UT1 - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej

Kolejną znaczącą składową widma ciągu obserwacyjnego jest składowa roczna. Rozkład ciągu czasowego po wyeliminowaniu składowej półrocznej i rocznej, a także wartości średniej 0.03260^s , gwarantującej zerowanie się średniej wartości residuów po wyeliminowaniu rocznej składowej z ciągu obserwacyjnego, wraz z histogramem przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Rozkład ciągu czasowego $(UT1 - UTC)^{BG} - (UT1 - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej, a także wartości średniej 0.03260^s wraz z histogramem oraz przebieg składowej rocznej

Obliczenia przeprowadzono, przyjmując okres roku – teoretyczny – 365.25 dób oraz empiryczny – 365 dób (występuje przy nim największy współczynnik korelacji). Różnica pomiędzy wynikowymi ciągami czasowymi jest zaniedbywalna. Statystykę elementów ciągu po wyeliminowaniu składowej rocznej z okresem teoretycznym podano w tabeli 8.

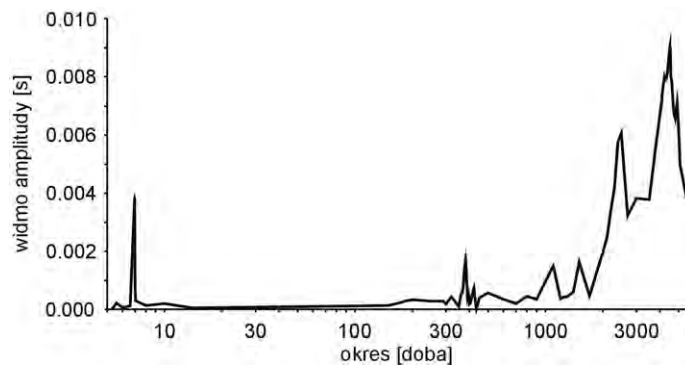
Tabela 8. Statystyka elementów ciągu $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej (365.25 dób), a także wartości średniej 0.03260^s [s]

Liczba obserwacji	Max	Min	Średnia	Odch. st.
2474	0.07254	-0.07518	-0.00025	0.01900

Liniowy trend Y ciągu czasowego po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej, a także wartości średniej 0.03260^s określony jest równaniem

$$Y = -2.2372 \times 10^{-6} t + 0.00614 \quad (28)$$

zaś widmo tego ciągu czasowego przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Widmo ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej

6.4. Utworzenie modelu ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej oraz porównanie go z równaniem borowogórskim

Model numeryczny dla składowej półrocznej widma ciągu czasowego dany jest równaniem

$$X_{182} = 0.00358 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t - 20)/182.625] \quad (29)$$

zaś dla składowej rocznej

$$X_{365} = -0.008425 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t + 2)/365.25] \quad (30)$$

Po przekształceniu (29) i (30) do postaci (23) oraz uwzględnieniu stałej, z (25) otrzymuje się dla okresu 1986.0–2005.5 średnie równanie borowogórskie o postaci

$$v_i - l_i = a + b\sin 2\pi\tau_i + c\cos 2\pi\tau_i + d\sin 4\pi\tau_i + e\cos 4\pi\tau_i \quad (31)$$

gdzie obliczone współczynniki a, b, c, d, e podane są w tabeli 9.

Tabela 9. Wartości współczynników a, b, c, d, e uzyskane z kombinacji półrocznej i rocznej składowej modelu ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ w systemie Hipparcos [s]

a (0.0001 ^s)	b (0.0001 ^s)	c (0.0001 ^s)	d (0.0001 ^s)	e (0.0001 ^s)
327	-84	-3	28	-23

Otrzymane współczynniki (tabela 9) średniego równania borowogórskiego są zgodne z odpowiadającymi uśrednionymi współczynnikami rocznych równań borowogórskich oraz współczynnikami rozwiązania dla okresu 1986–2004, w systemie Hipparcos, zestawionymi w tabeli 4. Wartość współczynnika a w tabeli 9 odpowiada poprawce zastosowanej do obliczenia długości astronomicznej λ^{BG}_{2005ip} stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze (25). Współczynnik ten jest miarą błędu systematycznego obserwacji długości astronomicznej w Borowej Górze. Zasadnicze źródło tego błędu tkwi w przyjętej do obliczeń wartości długości astronomicznej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze.

6.5. Numeryczne modelowanie ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$

Przedstawione na rysunku 8 widmo ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ po wyeliminowaniu składowych półrocznej i rocznej wskazuje wyraźnie na istnienie obok składowych zauważonych już w widmie ciągu obserwacyjnego (rysunek 5) dodatkowo składowych o okresach 378 i 416 dób. Obliczone okresy i amplitudy głównych składowych widma ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ przedstawione są w tabeli 10. Przy obliczaniu widma (tabela 10) zastosowano metodę iteracyjną. Z ciągu czasowego kolejno wyznaczano częstotliwość, amplitudę i fazę dominującej składowej. Przy użyciu wyznaczonych parametrów generowano następnie odpowiedni model, który w dalszej kolejności był eliminowany z analizowanego ciągu czasowego. W uzyskanym w ten sposób ciągu kolejnych residuów wyznaczano następnie dominującą składową. Proces iteracyjny był wykonywany dopóty, dopóki amplituda bieżącej dominującej składowej nie zmniejszyła się poniżej poziomu szumu.

Tabela 10. Okresy i amplitudy głównych składowych widma ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$

Okres [doba]	Amplituda [s]
7	0.00228
182.625	0.00358
365.25	0.00842
378	0.00392
416	0.00171
2485 (6.80 lat)	0.00274
3250 (8.90 lat)	0.00311
4180 (11.44 lat)	0.00893

Wśród 8 składowych widma występuje wyraz o okresie 6.8 lat i amplitudzie 0.00274 s (41 mas), wynikający ze zmian lokalnych odchylenia pionu. Występowanie wyrazu o podobnym okresie (5.5 lat) i amplitudzie (20–30 mas) stwierdzono na podstawie analizy ciągu obserwacji szerokości astronomicznej obserwatorium w Waszyngtonie z okresu 1919–1953 (Chapanov i in., 2005).

Składowe podane w tabeli 10 zostały wybrane do utworzenia numerycznego modelu ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$. Model numeryczny ciągu składa się zatem z 8 wyrazów okresowych:

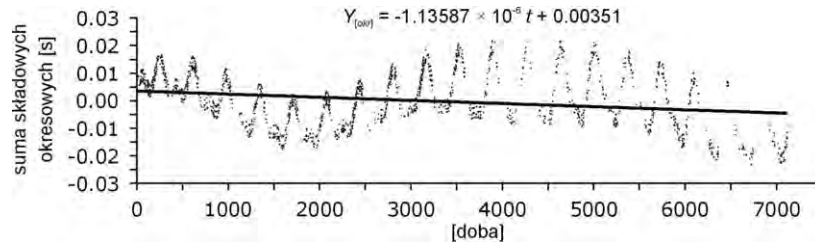
$$\begin{aligned}
X_7 &= -0.00228 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t - 1.2)/7] \\
X_{182.625} &= 0.00358 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t - 20)/182.625] \\
X_{365.25} &= -0.00842 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t - 2)/365.25] \\
X_{378} &= 0.00392 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t + 16)/378] \\
X_{416} &= 0.00171 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t - 37)/416] \\
X_{2485} &= -0.00274 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t + 1275)/2485] \\
X_{3250} &= 0.00311 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t + 1710)/3250] \\
X_{4180} &= 0.00893 \times \sin[2 \times 3.14159 \times (t + 1080)/4180]
\end{aligned} \tag{32}$$

oraz liniowego trendu

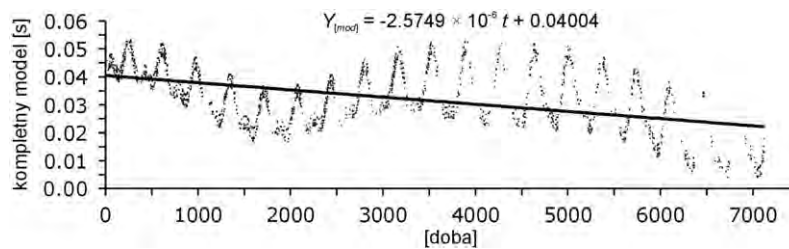
$$Y = -1.4390 \times 10^{-6} t + 0.03653 \tag{33}$$

Przebieg ciągu czasowego utworzonego jako suma składowych okresowych numerycznego modelu ciągu $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ wraz

z jego liniowym trendem $Y_{[okr]}$, a następnie przebieg kompletnego modelu numerycznego tego ciągu z jego liniowym trendem $Y_{[mod]}$ przedstawiono odpowiednio na rysunkach 9 i 10.

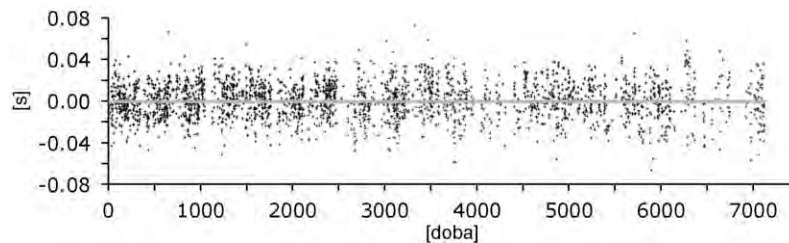


Rys. 9. Przebieg ciągu czasowego utworzonego jako suma składowych okresowych numerycznego modelu ciągu $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ w punktach odpowiadających obserwowanym seriom

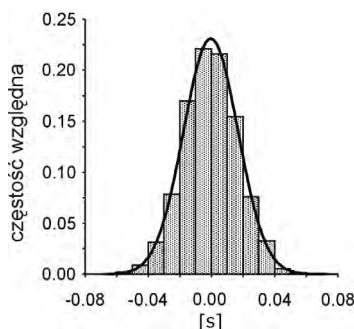


Rys. 10. Przebieg kompletnego numerycznego modelu ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ w punktach odpowiadających obserwowanym seriom

Przebieg ciągu czasowego residuów powstałych w wyniku odjęcia od obserwacyjnego ciągu czasowego $(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$ jego numerycznego modelu (32) oraz residualnego dryftu (33), a także jego histogram przedstawiono odpowiednio na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Ciąg czasowy residuów po wyeliminowaniu z ciągu obserwacyjnego wybranych składowych okresowych oraz residualnego dryftu (pełnego modelu)



Rys. 12. Histogram reszduów po wyeliminowaniu z ciągu obserwacyjnego wybranych składowych okresowych oraz residualnego dryftu (pełnego modelu)

Statystykę reszduów po wyeliminowaniu wybranych składowych okresowych oraz residualnego dryftu (pełnego modelu) przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Statystyka elementów ciągu reszduów po wyeliminowaniu z ciągu obserwacyjnego wybranych składowych okresowych oraz residualnego dryftu [s]

Liczba obserwacji	Max	Min	Średnia	Odch. st.
2474	0.07286	-0.06669	-0.00039	0.01728

Trend ciągu reszduów po wyeliminowaniu z ciągu obserwacyjnego wybranych składowych okresowych oraz residualnego dryftu wynosi

$$Y = 3.8 \times 10^{-9} t$$

co praktycznie odpowiada zeru.

Wyeliminowanie z czasowego ciągu obserwacyjnego wymodelowanych składowych okresowych spowodowało zmniejszenie o 14% rozrzutu wyrazów ciągu; odchylenie standardowe zmalało z 0.02012^s do 0.01728^s . Uzyskana wartość odchylenia standardowego reszduów 0.01728^s jest miarą błędu średniego pojedynczej serii obserwacyjnej czasu obrotowego w Boro-wej Górze w okresie 1986.0–2005.5. Na podstawie wcześniejszych oszacowań, opartych na zgodności wewnętrznej krótkich ciągów obserwacyjnych, wartość błędu średniego serii obserwacyjnej waha się w granicach od $\pm 0.0034^s$ do $\pm 0.0155^s$, zaś przeciętny średni błąd serii obserwacyjnej wynosi $\pm 0.0107^s$.

W analizie widmowej ciągu czasowego

$$(UTI - UTC)^{BG} - (UTI - UTC)^{BIH}$$

uwzględniono składowe, w których nie występuje zmienność fazy, amplitudy lub okresu na całym przedziale czasu około 20 lat. Występujące w badanym ciągu czasowym składowe dwu- i czterotygodniowe mają niestabilną fazę. Są one widoczne w przedziałach krótszych niż rok, zanikają jednak na dłuższych

przedziałach (z uwagi na odpowiednio regularną zmienność wynikającą z przyczyn astronomicznych). Modelowanie niestabilnych składowych wykracza poza zakres niniejszej pracy.

7. PODSUMOWANIE

Uporządkowanie, zweryfikowanie i zarchiwizowanie obserwacji czasu obrotowego w Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznym w Borowej Górze, a następnie przeliczenie materiału obserwacyjnego z systemu katalogu FK5 do systemu Katalogu Hipparcos nadało nową jakość zgromadzonemu, wieloletniemu ciągowi obserwacyjnemu.

Przeprowadzona analiza ciągu obserwacyjnego z okresu 1986.0–2005.5 potwierdziła, sygnalizowane uprzednio, istnienie błędu systematycznego w wyznaczeniach czasu obrotowego w Borowej Górze. Źródło tego błędu tkwi w przyjmowanej od końca lat 60. do obliczeń konwencjonalnej długości astronomicznej stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze, której wartość wynosi $\lambda_{1973ip}^{BG} = 1^h 24^m 08.914^s$. W wyniku kompleksowego opracowania danych obserwacyjnych dokonano oszacowania błędu systematycznego obserwacji. Wynosi on $+0.0327^s$. Nowa, konwencjonalna długość astronomiczna stanowiska instrumentu przejściowego w Borowej Górze wynosi zatem $\lambda_{2005ip}^{BG} = 1^h 24^m 08.914^s + 0.0327^s = 1^h 24^m 08.9467^s$.

Roczne rozwiązania równania borowogórskiego, z uwagi na ograniczenie do półtora roku wykorzystywanego materiału obserwacyjnego, charakteryzują się znaczną zmiennością. Stanowią one jednak cenną kontrolę wewnętrzną jakości obserwacji. Błędy współczynników rocznych rozwiązań równań borowogórskich maleją o około 10% po przejściu z systemu katalogu FK5 do systemu Katalogu Hipparcos.

Analiza widmowa ciągu obserwacyjnego, mimo znacznego szumu, jakim obarczone są obserwacje długości astronomicznej, wykazała istnienie w nim wyraźnych 8 składowych okresowych. Obok sygnalizowanych w literaturze składowych rocznej, półrocznej i 7-dniowej, występuje również składowa w paśmie okresów chandlerowskich (416 dni). W badanym ciągu czasowym stwierdzono występowanie składowej o okresie około 6 lat, której źródłem są lokalne zmiany kierunku linii pionu. Dodatkowo daje się zauważyć składowa okresowa w paśmie okresów zmian aktywności słonecznej (11.4 lat).

Wyeliminowanie z czasowego ciągu obserwacyjnego wymodelowanych składowych okresowych spowodowało zmniejszenie o 14% rozrzutu wyrazów ciągu; odchylenie standardowe zmalało z 0.02012^s do 0.01728^s . Uzyskana wartość odchylenia standardowego residuów 0.01728^s jest miarą błędu średniego pojedynczej serii obserwacyjnej czasu obrotowego w Borowej Górze w okresie 1986.0–2005.5. Dodatkowe uwzględnienie składowych okresowych w paśmie 2- i 4-tygodniowym o zmiennych fazach i amplitudach powinno doprowadzić do dalszego zmniejszenia odchylenia standardowego

residuów. Na podstawie wcześniejszych oszacowań, opartych na zgodności wewnętrznej krótkich ciągów obserwacyjnych, wartość błędu średniego serii obserwacyjnej waha się w granicach od $\pm 0.0034^s$ do $\pm 0.0155^s$, zaś przeciętny błąd serii obserwacyjnej wynosi $\pm 0.0107^s$.

PODZIĘKOWANIA

Niniejszą pracę wykonano w ramach badań statutowych Instytutu Geodezji i Kartografii objętych zadaniem S01 „Problemy geodezji i geodynamiki”. Stanowi ona kontynuację prac wykonanych w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych Nr 5 T12E 031 22 w latach 2002–2003. Niniejsze opracowanie jest próbą podsumowania wieloletniej działalności Obserwatorium Geodezyjno-Geofizycznego w Borowej Górze w zakresie astronomicznych pomiarów czasu. Nie mogło by ono powstać bez nieoczonego udziału dwóch pokoleń obserwatorów z Instytutu Geodezji i Kartografii, którym autorzy pragną gorąco podziękować. Szczególne wyrazy podziękowania autorzy kierują pod adresem mgr inż. Heleny Bieniewskiej za pomoc w usystematyzowaniu istniejących materiałów obserwacyjnych i tworzeniu bazy danych, a także mgr. Marcina Sękowskiego za pomoc w przygotowywaniu danych obserwacyjnych oraz wykonanie niektórych pomocniczych obliczeń.

LITERATURA

- Box G.E.P., Jenkins G. M., 1976, *Time series analysis, forecasting and control*, Holden Day, San Francisco.
- Chapanov Y., Vondrak J., Gorshkov V., Ron C., 2005, *Six-year cycles of the Earth rotation and gravity*, Proceedings of the EGU G9 Symposium “Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI”, Vienna, Austria, 25–30 April 2005, Reports on Geodesy, No 2(73), WUT, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, pp. 221–230.
- Czerwiński K., 1986a, *Nowa metoda i aparatura do wyznaczania ziemskiego czasu obrotowego*, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki, Warszawa, praca doktorska.
- Czerwiński K., 1986b, *Udoskonalona metoda rejestracji i opracowania rezultatów obserwacji przejść gwiazd przez płaszczyznę południka*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Tom XXXIII, Zeszyt 76, pp. 71–80.
- Hide R., Boggs D.H., Dickey J.O., 2000, *Angular momentum fluctuations within the Earth’s liquid core and torsional oscillations of the core-mantle system*, Geophysical Journal International, 143, pp. 777–786.
- Kołaczek B., 1976, *Astronomia sferyczna z ćwiczeniami*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Kruczyk M., Rogowski J.B., 1999, *Analiza obserwacji astrometrycznych w Józefosławiu i próba wyznaczenia astrometrycznego współczynnika*

- plywowych zmian kierunku linii pionu*, Instytut Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej, maszynopis.
- Kruczyk M., Rogowski J.B., Vondrák 1999, *Preliminary results of astrometric observations in Józefostaw*, Proceedings of the EGS Symposium G4 „Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI, XXIV General Assembly of EGS, The Hague, The Netherlands, 19–23 April 1999, Reports on Geodesy, WUT, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, Warsaw, No 4(45), 1999, pp. 161–166.
- Kryński J., 2004, *Nowe skale czasu i idea pośredniego systemu odniesienia*, Nowe obowiązujące niebieskie i ziemskie systemy i układy odniesienia oraz ich wzajemne relacje, red. J. Kryński, Monographic series of the Institute of Geodesy and Cartography, Nr 10, Warsaw 2004, pp. 111–144.
- Mietelski J., 1995, *Astronomia w geografii*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
- Moskwiński M., Dobrzycka M., 1998, *Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjne w Borowej Górze*, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, Tom XLV, Zeszyt 96, pp. 7–18.
- Nuttall A.H., Carter G.G., 1982, *Spectral Estimation Using Combined Time and Lag Weighting*, Proc. IEEE, Vol. 70, September 1982, pp. 1115–1125.
- Opalski W., Cichowicz L., 1980, *Astronomia Geodezyjna*, PPWK, Warszawa.
- Radecki J., 1964, *Międzynarodowa sieć różnic długości geograficznych*, Instytut Geodezji i Kartografii, WDN Warszawa
- Radecki J., 1967, *Sprawozdanie z uruchomienia regularnej służby czasu w Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnym Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze*, Warszawa, maszynopis.
- Radecki J., 1971, *Wzory do obliczania poprawki zegara względem czasu UT0BG czyli różnicy (UT0BG – Z)*, Instytut Geodezji i Kartografii, Zakład Astronomii Geodezyjnej, Warszawa, maszynopis.
- Radecki J., 1975, *Metoda wyznaczania czasu obrotowego Borowej Góry*, Biuletyn IGiK, Dodatek do miesięcznika „Przegląd Geodezyjny”, Rok IX, Nr 6.
- Radecki J., 1976, *Metoda wyznaczania czasu obrotowego Borowej Góry – dokończenie*, Biuletyn IGiK, Dodatek do miesięcznika „Przegląd Geodezyjny”, Rok X, Nr 1.
- Radecki J., 1977, *Udział w realizacji międzynarodowych programów badania ruchu obrotowego Ziemi*, sprawozdanie naukowe z wykonania umowy nr 37/76 zawartej w dniu 2 czerwca 1976 r. między Głównym Urzędem Geodezji i Kartografii i IGiK, Warszawa, maszynopis.
- Vondrák J., Pešek I., Ron C., Čepek A., 1998, *Earth orientation parameters 1899.7–1992.0 in the ICRS based on the HIPPARCOS reference frame*, Publications of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic, ISSN 1211-9105, Publication No 87.

*JAN KRYŃSKI
MACIEJ MOSKWIŃSKI
YEVGEN M. ZANIMONSKIY*

ANALYSIS OF A LONG-STANDING
SERIES OF ROTATIONAL TIME DETERMINATION
AT BOROWA GORA OBSERVATORY

Summary

The paper presents the attempt to summarize the results of long-standing astronomical observations conducted since 1963 with the passage instrument at Borowa Gora Geodetic-Geophysical Observatory of the Institute of Geodesy and Cartography. A brief historical review that consists of the description instrumental, technological and methodical improvements in acquiring and pre-processing of rotational time observations from Borowa Gora Observatory as well as previous use of those observations precedes the main part of the paper devoted to the analysis of the data. Retained observational data and results of pre-processing was carefully investigated in terms of its usefulness for complex analysis. Re-ordering, verification and archiving the existing data as well as transforming it from FK5 catalogue system to the Hipparcos catalogue system became crucial for processing and analysing the retained data that contains the unique information on time variation of astronomical longitude of Borowa Gora Observatory; data series from last 19.5 years is particularly valuable for the analysis.

Summary and discussion of previous results of determination of astronomical longitude of Borowa Gora are given in the paper. Systematic error of determination of astronomical longitude of Borowa Gora was estimated and conventional value of astronomical longitude of the passage instrument at Borowa Gora was discussed; new conventional value of astronomical longitude of the passage instrument at Borowa Gora has been suggested. The solutions for the coefficients of the Borowa Gora Observatory equation were analysed. Complex spectral analysis of a long-standing rotational time data series from 1986.0-2005.5 was performed. A number of periodic terms were separated from the series investigated and the numerical model of the series has been formed.