

JAN KRYŃSKI
Instytut Geodezji i Kartografii
Warszawa

NOWE SKALE CZASU I IDEA POŚREDNIEGO SYSTEMU ODNIESIENIA

ZARYS TREŚCI: Wraz z wprowadzeniem przez XXIV Zgromadzenie Generalne IAU w Manchesterze w 2000 roku nowych niebieskich systemów odniesienia oraz określeniem ich relacji z ziemskim systemem odniesienia uległy zmianie definicje niektórych systemów czasu. Dotyczą one w szczególności Czasu Ziemskiego TT oraz czasu uniwersalnego średniego UT1. W pracy przedstawiono klasyfikację skal czasu z określeniem zachodzących pomiędzy nimi relacji. Omówiono także rolę i zastosowanie poszczególnych skal czasu. W drugiej części pracy zaprezentowano koncepcję Pośredniego Systemu Odniesienia IRS z biegunem CIP na tle idei kinematycznej definicji punktu nazwanego Nieobrcającym się Punktem Początkowym NRO. Omówiono rolę IRS jako systemu przejścia od GCRS do ITRS. Przedstawiono również koncepcję ziemskiej i niebieskiej reprezentacji IRS. Dla obu reprezentacji IRS podano ich orientacje przy użyciu definicji punktu początkowego, tj. Niebieskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego CEO oraz Ziemskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego TEO.

1. WPROWADZENIE

Do praktycznego pomiaru czasu wykorzystywane są zjawiska przebiegające okresowo. Odstępy czasu wyrażane są liczbą zawartych w nich okresów przyjętego za wzorzec czasu zjawiska. Do połowy XX wieku podstawą pomiaru czasu był ruch obrotowy Ziemi. Czas astronomiczny oparty na ruchu obrotowym Ziemi nosi nazwę **czasu obrotowego**. Szczególnymi rodzajami czasu obrotowego są czas słoneczny, dla którego „zegarem” jest ruch obrotowy Ziemi względem Słońca, odmierzany kątem godzinnym Słońca oraz czas gwiazdowy, dla którego „zegarem” jest ruch obrotowy Ziemi względem punktu równonocy wiosennej, odmierzany kątem godzinnym punktu równonocy wiosennej. W zadanym momencie czas obrotowy w dwóch różnych punktach na powierzchni Ziemi jest różny – z wyjątkiem sytuacji, gdy punkty te leżą na tym samym południku astronomicznym. Różnica czasu obrotowego

w dwóch punktach na Ziemi odpowiada różnicy długości astronomicznej tych punktów. Za podstawową jednostkę czasu obrotowego przyjęto sekundę średniego czasu słonecznego, zdefiniowaną jako $1/86\,400$ część średniej doby słonecznej.

W latach 30. XX wieku zaobserwowano niejednostajność czasu obrotowego, porównując obserwowane pozycje Księżyca z obliczonymi w funkcji tego czasu efemerydami. W 1954 roku X Konferencja Generalna Wąg i Miar (Conférence Général des Poids et Mesures) zdefiniowała jako podstawę pomiaru czasu bardziej jednostajną astronomiczną skalę czasu – **czasu newtonowskiego** (czasu fizycznego) opartego na ruchu orbitalnym Ziemi wokół Słońca. Ruch orbitalny Ziemi został opisany w *Tablicach Słońca* Newcomba, które zawierają model matematyczny pozornego ruchu Słońca na epokę 1900.0, opracowany na podstawie obserwacji astronomicznych z XVIII i XIX wieku. Czas ten nazwano Czasem Efemeryd (Ephemeris Time, ET) i za jego jednostkę wynikającą z długości okresu obiegu Ziemi wokół Słońca na epokę 1900.0 przyjęto na IX Zgromadzeniu Generalnym IAU w Dublinie w 1955 roku tzw. sekundę efemerydalną (IAU 1957). Sekundę czasu efemeryd określono jako $1/31\,556\,925.9747$ część roku zwrotnikowego¹ epoki 1900 styczeń $0^d\ 12^h$ Czasu Efemeryd. Definicja ta została ratyfikowana przez XI Konferencję Generalną Wąg i Miar w 1960 roku. Za początkową epokę skali Czasu Efemeryd X Zgromadzenie Generalne IAU (International Astronomic Union) w Moskwie w 1958 roku przyjęło moment, w którym geometryczna średnia długość Słońca wynosiła $279^\circ 41' 48''.04$. Moment ten odpowiada dokładnie epoce 1900 styczeń $0^d\ 12^h$ Czasu Efemeryd ET (IAU 1960). Sekunda efemerydalna zastąpiła używaną dotychczas za jednostkę czasu sekundę zdefiniowaną jako $1/86\,400$ część średniej doby słonecznej. Została ona jednocześnie przyjęta jako jedna z podstawowych jednostek utworzonego na tej konferencji międzynarodowego systemu jednostek SI. Czas Efemeryd przez ponad dwadzieścia lat wykorzystywany był do kontroli urządzeń przeznaczonych do precyzyjnego przechowywania i odmierzania czasu jednostajnie upływającego. Takimi urządzeniami były najpierw zegary kwarcowe, a następnie wzorce molekularne i atomowe.

Jednostka czasu oparta na wzorcu astronomicznym wkrótce przestała zaspokajać rosnące potrzeby fizyki i techniki. Wzorcem doskonalszym od astronomicznego pod względem jednostajności skali czasowej okazał się wzorzec atomowy. Wzorce atomowe nie dostarczają żadnych charakterystycznych momentów, jakie dawałyby możliwość stworzenia naturalnej skali czasu atomowego. Początek skali czasu atomowego musi być obrany umownie przez nawiązanie do skali o trwałej ciągłości. Aspekt chronologiczny metrologii

¹ Rok zwrotnikowy jest to odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami środka masy Ziemi przez płaszczyznę, którą tworzy środek Słońca, kierunek do punktu równonocy wiosennej i kierunek bieguna ekliptyki (rok zwrotnikowy jest to okres czasu, podczas którego długość ekliptyczna Słońca zmienia się o 360°).

czasu wymaga zegara wzorcowego, który gwarantowałby pomiary bardzo wielkich interwałów czasu i dawał skalę dla zdarzeń bardzo odległych w przeszłości i w przyszłości. Wzorce atomowe wykorzystują zjawisko przejść kwantowych między poziomami energetycznymi atomów lub cząstek. Uchwała XIII Generalnej Konferencji Wąg i Miar z 1967 roku zdefiniowała sekundę czasu atomowego i uznała ją za podstawową jednostkę czasu międzynarodowego systemu jednostek SI. Na mocy definicji jest ona „trwaniem 9 192 631 770 okresów odpowiadających rezonansowej częstotliwości przejścia pomiędzy dwoma nadsubtelnymi ($F = 4, M = 0$) i ($F = 3, M = 0$) poziomami stanu podstawowego $2S_{1/2}$ atomu cezu 133”. Interwał czasu odpowiadający tak zdefiniowanej sekundzie czasu atomowego jest równy sekundzie efemerydalnej. Czas atomowy został zatem wyskalowany do związanego z epoką 1900.0 czasu astronomicznego efemerydalnego. Tak zdefiniowana sekunda została przyjęta jako obowiązująca na mocy uchwały XIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Brighton w 1970 roku.

Pierwsza skala czasu atomowego o nazwie *AI* została utworzona w 1959 roku w US Naval Observatory na podstawie atomowej definicji sekundy i wskazań 16 wzorców cezowych ulokowanych w 6 laboratoriach. Za początkową epokę skali czasu *AI* przyjęto 1958 styczeń $1^d 0^h 0^m 0^s$ czasu uniwersalnego quasi-jednostajnego *UT2*. Skala Międzynarodowego Czasu Atomowego, utworzona w 1958 roku przez **Bureau International de l'Heure** (BIH), nazywana początkowo *A3*, a następnie *TA* (BIH), oparta była na trzech uznanych za najlepsze wzorcach cezowych, a od 1959 roku – na kilkunastu wzorcach laboratoriów Europy Zachodniej i Ameryki Północnej. W 1971 roku za podstawę pomiaru czasu na Ziemi przyjęto zdefiniowaną na 59 sesji Międzynarodowego Komitetu Miar w 1970 roku i zaaprobowaną przez XIV Konferencję Generalną Wąg i Miar w 1971 roku skalę Międzynarodowego Czasu Atomowego (**T**emps **A**tomique **I**nternational lub **I**nternational **A**tomique **T**ime; *TAI* lub *IAT*), która jest przedłużeniem skali *TA* (BIH) (Kołaczek 1989).

TAI jest podstawowym systemem czasu, do którego odniesione są wszystkie obecnie stosowane systemy czasu. Wykorzystywany jest do kontroli urządzeń przeznaczonych do precyzyjnego przechowywania i odmierzania czasu jednostajnie upływającego.

2. SKALE CZASU ASTRONOMICZNEGO W UJĘCIU KLASYCZNYM

Naturalnymi skalami czasu są skale czasu astronomicznego. W szczególności, naturalną skalą czasu jest skala czasu obrotowego słonecznego, do której odnoszą się zjawiska dnia i nocy, i z którą wiąże się cykl biologiczny żywych organizmów na Ziemi. W skali czasu słonecznego wyrażane są niewymagające wysokiej precyzji efemerydy ciał niebieskich.

Czas słoneczny (Solar Time) odmierza się geocentrycznym kątem godzinowym środka tarczy słonecznej, zwiększonym o 12 godzin (modulo 24h).

Kąt godzinny Słońca prawdziwego jest miarą czasu słonecznego prawdziwego. Miarą zaś czasu słonecznego średniego jest kąt godzinny tzw. Słońca średniego, tj. punktu na równiku o rektascensji równej średniej długości ekliptycznej Słońca prawdziwego. Czas słoneczny, jako czas obrotowy, może być miejscowy lub Greenwich². Pierwszy jest odmierzany kątem godzinnym odniesionym do astronomicznego południka miejscowego, drugi – odniesionym do astronomicznego południka Greenwich. Czas słoneczny Greenwich różni się od czasu słonecznego miejscowego o długość astronomiczną λ południka miejscowego, która na wschód od Greenwich przybiera, zgodnie z Rezolucją C4 XVIII Zgromadzenia Generalnego IAU w Patras w 1982 roku, wartości dodatnie (IAU 1983):

$$\text{czas słoneczny miejscowy} = \text{czas słoneczny Greenwich} + \lambda \quad (1)$$

Czas słoneczny prawdziwy jest to czas, jaki daje się bezpośrednio wyznaczyć z obserwacji Słońca. Czas słoneczny średni, jako bardziej zbliżony do jednostajnego, stosowany jest w obliczeniach astronomicznych. Znajduje on również zastosowanie w nawigacji i geodezji.

Zależność między rodzajami czasu słonecznego wyraża się za pomocą tzw. równania czasu:

$$\text{czas słoneczny prawdziwy} - \text{czas słoneczny średni} = E \quad (2)$$

gdzie E nazywane jest równaniem czasu.

Poczynając od 1 stycznia 1925 roku, czas słoneczny średni Greenwich (**Greenwich Mean Time** – *GMT* o początku doby w południe) używany w obliczeniach astronomicznych został zastąpiony tzw. czasem uniwersalnym.

Czas uniwersalny (*UT* lub *TU*) (Universal Time lub Temps Universel) to czas słoneczny średni (odniesiony do ruchu dobowego Słońca średniego) południka astronomicznego Greenwich. Odpowiada on kątowi godzinnemu na południku Greenwich Słońca średniego, którego rektascensja α_m wyrażona jest wzorem Newcomba z 1895 roku:

$$\alpha_m = 18^h 38^m 45^s .836 + 8\,640\,184^s .542 t + 0^s .0929 t^2 \quad (3)$$

gdzie t oznacza liczbę stuleci juliańskich (każde po 36 525 średnich dób słonecznych) liczonych od 1900 styczeń 0^d 12^h *UT*. Czas uniwersalny *UT* został wprowadzony w 1925 roku, zastępując czas słoneczny średni Greenwich *GMT*. Czas *UT* jako kąt godzinny Słońca średniego (nieobserwowalnego) nie jest wyznaczany obserwacyjnie. Jest on obliczany na podstawie obserwacji czasu gwiazdowego Greenwich, który odpowiada rektascensji gwiazdy

² Na międzynarodowej konferencji (International Meridian Conference) w Waszyngtonie w 1884 roku południk astronomiczny przechodzący przez obserwatorium w Greenwich został przyjęty jako południk zerowy dla odliczania długości astronomicznej, a także dla odliczania czasu.

w momencie jej górnej kulminacji podczas jej przechodzenia przez lokalny południk astronomiczny.

Do końca lat 30. XX wieku *UT* uważany był za jednostajną skalę czasu. Nieregularności *UT* dostrzeżono dzięki zastosowaniu zegarów kwarcowych, a później zegarów atomowych. Na podstawie analizy źródeł tych nieregularności w miejsce czasu *UT* (pojęcie czasu *UT* jest nadal używane przy określaniu czasu uniwersalnego, gdy nie jest wymagana wysoka dokładność) wprowadzono jego trzy reprezentacje:

- *UT0* (lub *TU0*) – czas uniwersalny prawdziwy. Jest to wyznaczany bezpośrednio (po uwzględnieniu równania czasu) z obserwacji astronomicznych średni czas słoneczny średniego południka Greenwich, od którego odmierza się długości astronomiczne. Płaszczyzna średniego południka Greenwich określona jest przez dwa kierunki: kierunek linii pionu w Greenwich oraz kierunek równoległy do średniej osi obrotu Ziemi. Prawdziwy czas uniwersalny można uważać za kątową miarę rzeczywistego obrotu Ziemi wokół osi średniej.
- *UT1* (lub *TU1*) – czas uniwersalny średni. *UT1* otrzymywany jest przez dodanie do *UT0* poprawki z tytułu wpływu ruchu bieguna na długość astronomiczną stacji. Stanowi on zatem bardziej jednostajną skalę czasu aniżeli *UT0* i jest taki sam w każdym punkcie na Ziemi. *UT1* jest czasem słonecznym średnim prawdziwego południka astronomicznego Greenwich, odniesionego do prawdziwej osi obrotu Ziemi. Z uwagi na niejednostajność ruchu obrotowego Ziemi wokół osi odchylenia *UT1* od jednostajnej skali czasu osiągają wartości ± 3 milisekund na dobę. Czas uniwersalny średni, w którym zostały uwzględnione okresowe zmiany wywołane strefową składową pływów, oznacza się *UT1R* (wyeliminowane wyrazy o okresach 5–35 dób), *UT1S* (wyeliminowane wyrazy o okresach 5 dób – 18.6 lat) oraz *UT1D* (wyeliminowane wyrazy o okresach dobowych i krótszych) (IERS 1996). Skale tych czasów są odpowiednio bardziej jednostajne od *UT1*. Średni czas uniwersalny można uważać za kątową miarę rzeczywistego obrotu Ziemi wokół prawdziwej osi obrotu.
- *UT2* (lub *TU2*) – czas uniwersalny quasi-jednostajny. Jest to czas słoneczny średni prawdziwego południka astronomicznego Greenwich uwolniony od sezonowych nieregularności ruchu obrotowego Ziemi. Quasi-jednostajny czas uniwersalny można uważać za kątową miarę „uśrednionego” obrotu Ziemi wokół prawdziwej osi obrotu.

Zależności między zdefiniowanymi powyżej systemami czasu uniwersalnego można przedstawić za pomocą następujących wzorów:

$$UT1 = UT0 + \Delta\lambda \quad (4)$$

$$UT2 = UT0 + \Delta\lambda + \Delta T_s = UT1 + \Delta T_s \quad (5)$$

Wartości poprawek $\Delta\lambda$ i ΔT_s , które uwzględniają odpowiednio ruch bieguna oraz sezonowe nieregularności ruchu obrotowego Ziemi, oblicza się ze wzorów:

$$\Delta\lambda = -(x_p \sin\lambda_0 + y_p \cos\lambda_0) \tan\varphi_0 \quad (6)$$

$$\Delta T_s = 0^s.022\sin 2\pi\tau - 0^s.012\cos 2\pi\tau - 0^s.006\sin 4\pi\tau + 0^s.007\cos 4\pi\tau \quad (7)$$

gdzie x_p , y_p są współrzędnymi chwilowego bieguna północnego Ziemi w odniesieniu do średniego bieguna – obecnie bieguna odniesienia IERS (**IERS Reference Pole – IRP**) w układzie, którego oś x jest styczna do zerowego południka IERS (**IERS Reference Meridian – IRM**) ze zwrotem w kierunku Greenwich, zaś oś y skierowana jest na zachód. Wielkości φ_0 , λ_0 oznaczają szerokość i długość położenia obserwatora odniesione do *IRP* i *IRM* (współrzędne w *ITRS*), zaś τ oznacza część roku Bessela³, jaka upłynęła od jego początku do zadanego momentu.

Podane definicje czasu uniwersalnego obowiązywały do 1 stycznia 2003 roku, od kiedy w związku z wprowadzeniem nowych niebieskich systemów odniesienia, na mocy Rezolucji B1.8 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku, przyjęto za obowiązującą nową definicję *UTI* (IAU 2001).

Utrzymywanie skal dokładnego czasu i udostępnianie ich użytkownikom leży w gestii powołanej w tym celu służby czasu. Służba ta polega na wyznaczaniu czasu na podstawie obserwacji gwiazd oraz na kontroli poprawek i niejednostajności wzorców czasu. Odpowiednią do tego celu skalą czasu jest astronomiczna skala gwiazdowego czasu obrotowego. Czas gwiazdowy służył również do określania relacji pomiędzy ziemskim układem odniesienia i niebieskim układem odniesienia.

Czas gwiazdowy (Sidereal Time) odmierza się geocentrycznym kątem godzinnym punktu równonocy wiosennej. Rozróżnia się czas gwiazdowy prawdziwy (s_v), quasi-prawdziwy (s_q) lub średni (s), podobnie jak punkt równonocy wiosennej, którego ruch go definiuje. Odpowiednio więc prawdziwy punkt równonocy wiosennej jest to punkt przecięcia się na sferze niebieskiej ekliptyki z prawdziwym równikiem, tj. z równikiem, którego położenie zależy od precesji i nutacji (w długości). Stosowane do 2003 roku modele nutacji pozwalały wyróżniać nutację długo- ($\Delta\psi$) i krótkookresową ($d\psi$). Istniało zatem pojęcie quasi-prawdziwego punktu równonocy wiosennej. Był to punkt przecięcia na sferze niebieskiej ekliptyki z tzw. quasi-prawdziwym równikiem, którego położenie zależało od wartości precesji i nutacji długookreso-

³ Rok Bessela to rok zwrotnikowy o początku w momencie, w którym długość ekliptyczna Słońca średniego zmniejszona o wielkość stałej aberracji rocznej $20''.495\,52$ i odniesiona do średniego punktu równonocy wiosennej wynosi 280° . Czas B wyrażony w latach Bessela można obliczyć, korzystając z przybliżonego wzoru: $B = 2000 + (JD - 2\,451\,544.53)/365.242\,189$, gdzie JD jest czasem wyrażonym w dniach juliańskich.

wej (nie zależało od nutacji krótkookresowej). Średni punkt równonocy wiosennej jest to punkt przecięcia na sferze niebieskiej ekliptyki z tzw. średnim równikiem, tj. równikiem, którego położenie w przestrzeni podlega zmianom tylko pod wpływem precesji księżycowo-słonecznej. Czas gwiazdowy prawdziwy jest to czas, jaki daje się bezpośrednio wyznaczyć z obserwacji gwiazd. Czas gwiazdowy średni, jako bardziej zbliżony do jednostajnego, stosowany jest w obliczeniach astronomicznych.

Zależności między rodzajami czasu gwiazdowego można przedstawić za pomocą następujących wzorów:

$$s_q = s + \Delta\psi \cos\varepsilon \quad (8)$$

$$s_v = s + (\Delta\psi + d\psi) \cos\varepsilon \quad (9)$$

gdzie ε oznacza kąt nachylenia płaszczyzny ekliptyki do płaszczyzny równika, a $\Delta\psi \cos\varepsilon$ i $d\psi \cos\varepsilon$ przedstawiają długo- i krótkookresową nutację punktu równonocy wiosennej na równiku (w rektascensji).

Podobnie jak w przypadku czasu słonecznego, czas gwiazdowy Greenwich różni się od czasu gwiazdowego miejscowego o długość astronomiczną λ południka miejscowego, która na wschód od Greenwich przybiera wartości dodatnie:

$$\text{czas gwiazdowy miejscowy} = \text{czas gwiazdowy Greenwich} + \lambda \quad (10)$$

Czas *UTI* formalnie zdefiniowany był jako nieliniowa funkcja średniego czasu gwiazdowego Greenwich. Na mocy Rezolucji C5 XVIII Zgromadzenia Generalnego IAU w Patras w 1982 roku (IAU 1983) średni czas gwiazdowy Greenwich (*GMST*) o zerowej godzinie *UTI* wyrażony był wzorem:

$$\begin{aligned} GMST \text{ o } 0^h UTI = 6^h 41^m 50^s.548\ 41 + 8\ 640\ 184^s.812\ 866\ T + \\ + 0^s.093\ 104\ T^2 - 6^s.2 \times 10^{-6}\ T^3 \end{aligned} \quad (11)$$

gdzie T oznacza interwał czasu, który dzieli początek danej doby wyrażonej w *UTI* od momentu 2000 styczeń 1^d 12^h *UTI* ($JD\ 2\ 451\ 545.0$) w stuleciach juliańskich. Prawdziwy czas gwiazdowy Greenwich (*GST*) otrzymuje się poprzez dodanie do *GMST* całkowitej nutacji w rektascensji punktu równonocy. Podana definicja czasu gwiazdowego Greenwich obowiązywała do 1 stycznia 2003 roku, od kiedy w związku z wprowadzeniem nowych niebieskich systemów odniesienia, na mocy Rezolucji B1.8 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku, przyjęto za obowiązującą nową definicję *GMST* (IAU 2001).

Czasem astronomicznym bardziej jednostajnym od czasu obrotowego jest Czas Efemeryd.

Czas Efemeryd (*ET* lub *TE*) (**E**phemeris **T**ime lub **T**emps des **E**phémérides), zwany również czasem efemerydalnym, jest czasem astronomicznym, lecz niezwiązanym z ruchem obrotowym Ziemi, a z jej ruchem orbital-

nym wokół Słońca. Nieco później jego definicję związano również z ruchem orbitalnym Księżyca wokół Ziemi (Guinot i Seidelman 1988). Obserwacyjne wyznaczenie Czasu Efemeryd polega na pomiarze współrzędnych równikowych (głównie rektascensji) Księżyca i Słońca z jednoczesną rejestracją czasu (uniwersalnego lub gwiazdowego) i porównanie ich z obliczonymi na podstawie praw mechaniki ruchu ciał niebieskich, których jednostajny czas jest argumentem, pozycjami tych ciał. Nie istnieje wzorzec podstawowy reprodukcujący dobę ET . Miarą Czasu Efemeryd jest pozycja Słońca, a dokładnie jego długość ekliptyczna.

Niestałość jednostek czasów słonecznego i gwiazdowego związanych z ruchem obrotowym Ziemi wynika nie tylko ze zmian sezonowych ΔT_s w prędkości kątowej ruchu obrotowego Ziemi, ale także ze zmian wiekowych i okresowych ΔT tego ruchu. Zależność między Czasem Efemeryd a czasem uniwersalnym jest następująca:

$$ET = UT2 + \Delta T \quad (12)$$

gdzie ΔT jest poprawką, której dokładną wartość można otrzymać *ex post*, i to ze znacznym opóźnieniem wynikającym z konieczności opracowania pewnego okresu obserwacji długości ekliptycznej Księżyca, a następnie porównania jej z efemerydą. Poprawkę tę otrzymuje się na mocy wzorów:

$$\Delta T = 24^s.349 + 72^s.318 T + 29^s.950 T^2 + 1^s.82144 B''/1'' \quad (13)$$

$$B'' = \lambda_{obs} - [\lambda_{Br.} + 4''.65 + 12''.96 T + 5''.22 T^2 - 10''.71 \sin(240^\circ.7 + 140^\circ.0 T)]$$

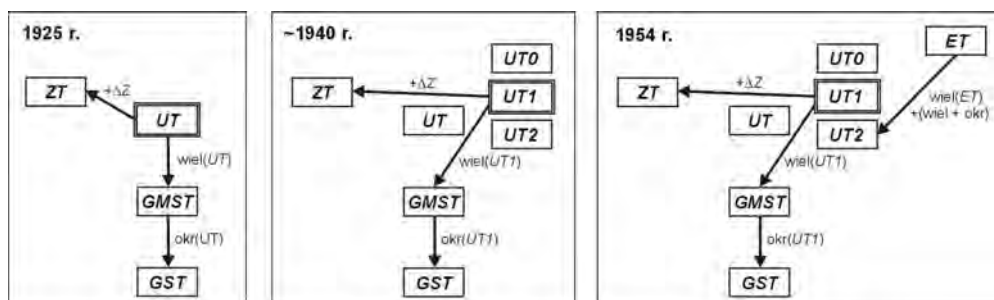
We wzorach (13) T oznacza liczbę stuleci juliańskich liczonych od momentu 1900 styczeń $0^d 12^h UT1$, zaś B'' jest to tzw. fluktuacja, która przedstawia różnicę: zaobserwowana długość ekliptyczna Księżyca (λ_{obs}) pomniejszona o jej wartość wziętą z tablic Browna ($\lambda_{Br.}$), a następnie poprawiona o stałą i uzupełniona wiekowymi i okresowymi przyspieszeniami ruchu Księżyca. Należy dodać, że niejednostajność czasu słonecznego zaznacza się również w ruchu planet wewnętrznych.

Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu stosowanymi przed wprowadzeniem skali czasu atomowego przedstawiono na rysunku 1, z zaznaczeniem podstawowej w danym okresie skali czasu. Rolę podstawowej skali czasu początkowo pełnił UT , a następnie $UT1$. Względem czasu uniwersalnego określony był czas cywilny (strefowy) ZT , przesunięty w stosunku do UT (później $UT1$) o całkowitą (w większości wypadków) liczbę ΔZ godzin.

Po wprowadzeniu Czasu Efemeryd, ułożone przez Newcomba *Tablice Słońca* z argumentem „czas uniwersalny” pozostają w mocy ze zmianą jedynie argumentu z „czas uniwersalny” na „Czas Efemeryd”.

W roku 2004, zgodnie z prognozami zawartymi w biuletynach IERS, można przyjmować następującą przybliżoną relację między Czasem Efemeryd a czasem uniwersalnym:

$$ET = UT + 65 \text{ s} \quad (14)$$



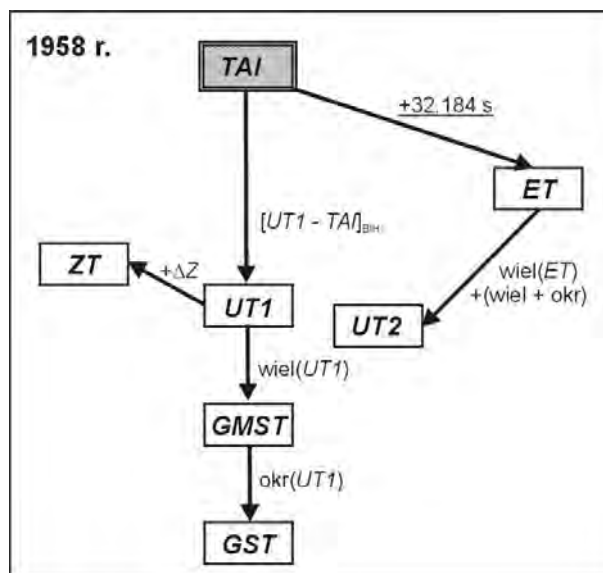
Rys. 1. Skale czasu w ujęciu klasycznym i ich wzajemne relacje

Wadą Czasu Efemeryd jest jego zależność od podlegającej udoskonaleniom teorii ruchu Księżyca, a także nieuwzględnienie w nim efektów wynikających z ogólnej teorii względności. *ET* był używany jako argument równań ruchu ciał niebieskich Układu Słonecznego do 1984 roku, kiedy to został zastąpiony zdefiniowanym w Rezolucji 5 XVI Zgromadzenia Generalnego IAU w Grenoble w 1976 roku (IAU 1977) Ziemiśm Czasem Dynamicznym *TDT*.

3. WSPÓLCZEŚNIE UŻYWANE SKALE CZASU

Od niemal pół wieku podstawę pomiaru czasu stanowi Międzynarodowy Czas Atomowy (*TAI*). *TAI*, w sposób ciągle monitorowany od 1972 roku przez BIH, a następnie od 1988 roku przez **B**ureau **I**nternational des **P**oids et **M**esures (**BIPM**), jest czasem opartym na wzorcu atomowym (niezwiązanym z ruchem Ziemi) i odmierzany jest obecnie przez ponad 200 zsynchronizowanych zegarów atomowych, rozmieszczonych w laboratoriach ponad 30 krajów świata. Skala czasu *TAI* jest wypadkową wskazań tych zegarów. Według oceny **BIPM** *TAI* zachowuje stabilność 10^{-7} s/rok. W wyniku doskonalenia technik pomiaru czasu zaistniała konieczność uwzględnienia efektów relatywistycznych we wskazaniach wzorów atomowych. Uściślono również definicję jednostki skali *TAI*. Jest nią sekunda SI uzyskiwana na podlegającej wraz z Ziemią obrotowi geoidzie. Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu używanymi po wprowadzeniu czasu atomowego przedstawiono na rysunku 2. Rolę podstawowej skali czasu przejął czas *TAI*. Różnica pomiędzy *TAI* i *ET* obliczana jest poprzez porównanie *TAI* z czasem *ET* wyznaczonym w procesie odwrotnej interpolacji efemeryd (Kołaczek 1989). Wartość przyjętej jako stałej różnicy pomiędzy tymi skalami czasu oszacowano jako:

$$ET - TAI = 32.184 \text{ s} \quad (15)$$



Rys. 2. Skale czasu i ich wzajemne relacje po wprowadzeniu czasu atomowego

Różnica pomiędzy *TAI* i *UT1* wyznaczana jest z obserwacji wykonywanych w ramach służby monitorowania parametrów ruchu obrotowego Ziemi (początkowo przez BIH, a od 1988 roku przez IERS).

TAI stanowi podstawę dwóch zasadniczych skal czasu atomowego. Pierwsza to skala Czasu Uniwersalnego Koordynowanego *UTC*, który, jako zbliżony do czasu słonecznego, stanowi z kolei podstawę czasu cywilnego (czasu strefowego *ZT*) i jednocześnie synchronizuje skale czasu atomowego z czasem astronomicznym. Druga to skala odniesionego do układu geocentrycznego Czasu Ziemi *TT*, który zgodnie z terminologią relatywistyczną jest ziemskim czasem własnym. Służy on jako argument efemeryd do obserwacji z powierzchni Ziemi i jednocześnie stanowi pomost pomiędzy *TAI* a atomowymi skalami czasów współrzędnych systemów odniesienia geocentrycznego i barycentrycznego, zdefiniowanych zgodnie z prawami ogólnej teorii względności.

Czas Uniwersalny Koordynowany (*UTC* lub *TUC*) (potocznie: Universal Time Coordinated, poprawnie: Coordinated Universal Time lub Temps Universel Coordonné) jest czasem atomowym, który jako najbardziej zbliżony do czasu słonecznego średniego na południku Greenwich czas jednostajny stanowi od 1964 roku podstawę czasu cywilnego. *UTC* utrzymywany był początkowo przez BIH, a następnie od 1988 roku przez Sekcję Czasu BIPM w Paryżu (do 1964 roku czas cywilny opierał się na skali słonecznego czasu średniego Greenwich *GMT*, przemianowanej w 1925 roku na skalę

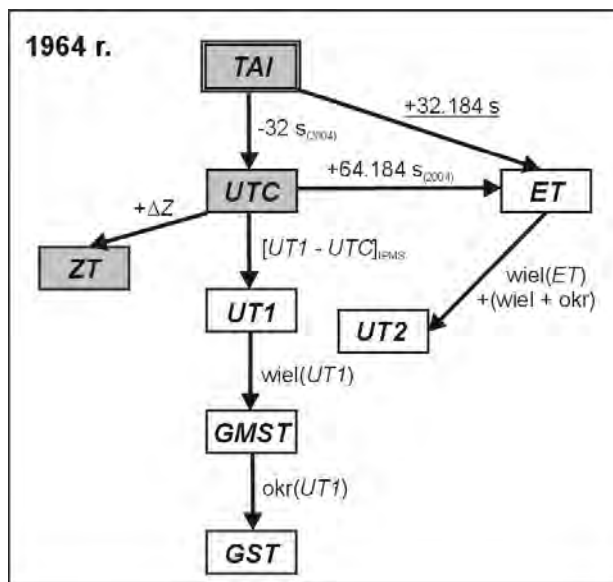
czasu uniwersalnego *UT*). Lokalne realizacje *UTC* prowadzone są przez narodowe laboratoria czasu. Pierwotnie utrzymywano skalę czasu koordynowanego w pobliżu aktualnej przeciętnej wartości skali czasu uniwersalnego średniego *UTI* (dopuszczalne odchylenie 5×10^{-9}), zachowując różnicę obu czasów – w granicach 0.1 sekundy. Zmiany wprowadzono skokami z zastosowaniem zmiennej częstotliwości *UTC*. Od stycznia 1972 roku, zgodnie z rezolucją XIV Zgromadzenia Generalnego IAU w 1970 roku w Brighton, zaniechano jednak zmian częstotliwości *UTC*, przyjmując za jednostkę *UTC* sekundę czasu atomowego i jednocześnie zwiększono tolerancję różnic *UTI* – *UTC*. Wskazania Czasu Uniwersalnego Koordynowanego mogą teraz odbiegać o mniej niż 1 sekundę od *UTI* i różnić się od jednoczesnych wskazań Międzynarodowego Czasu Atomowego (*TAI*) tylko o całkowitą liczbę sekund. Zmiany mające zapobiec większemu niż 1 sekunda oddaleniu Czasu Uniwersalnego Koordynowanego od czasu uniwersalnego, są dokonywane poprzez dodanie tzw. sekundy przestępnej (*leap second*) 31 grudnia lub 30 czerwca. Od stycznia 1999 roku różnica ta wynosi⁴:

$$TAI - UTC = 32 \text{ s} \quad (16)$$

Różnice [*UTI* – *UTC*] oraz [*UTI* – *TAI*], określające relacje pomiędzy skalą czasu astronomicznego obrotowego i skalami czasu atomowego, regularnie wyznaczone są przez IERS na podstawie obserwacji VLBI, GPS, SLR i DORIS, a następnie publikowane w biuletynach IERS (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>). Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu używanymi po wprowadzeniu w 1964 roku Czasu Uniwersalnego Koordynowanego przedstawiono na rysunku 3. Zaciemnione na rysunku pola odnoszą się do skal czasu atomowego. Od 1964 roku czas cywilny (strefowy) *ZT* wyrażony jest w skali czasu atomowego, a nie jak uprzednio w skali czasu słonecznego średniego.

Kierując się względami praktycznymi, związanymi z posługiwaniem się czasem w życiu codziennym, na międzynarodowej konferencji (International Meridian Conference) w Waszyngtonie w 1884 roku wprowadzono czas strefowy. W tym celu dokonano podziału Ziemi na 24 południkowe strefy godzinne, każda o szerokości 15°. Granice stref dostosowano do wygody i życzenia mieszkańców poszczególnych regionów (w USA określono je dopiero w 1918 roku). Wewnątrz strefy obowiązuje jednolity czas strefowy. Południki strefowe przebiegające przez środek stref czasowych: 0°, 15°, 30°, ..., 345° w kierunku na wschód od Greenwich ponumerowano odpowiednio liczbami całkowitymi: 0, 1, 2, ..., 23 przypisując każdemu południkowi strefowemu odpowiednią liczbę ΔZ .

⁴ Wprowadzenie sekundy przestępnej jest każdorazowo ogłaszane w wydawanym przez IERS biuletynie C; <ftp://hpiers.obspm.fr/eoppc/bul/bulc>.



Rys. 3. Skale czasu i ich wzajemne relacje po wprowadzeniu czasu UTC

Czas strefowy (ZT) (Zonal Time) jest to czas koordynowany (atomowy) południków strefowych. ZT jest przesunięty względem UTC (do 1964 roku był to czas średni słoneczny przesunięty względem czasu astronomicznego obrotowego UT, a przed 1925 rokiem – GMT) o całkowitą (w większości wypadków) liczbę ΔZ godzin, tj.:

$$ZT = UTC + \Delta Z \quad (17)$$

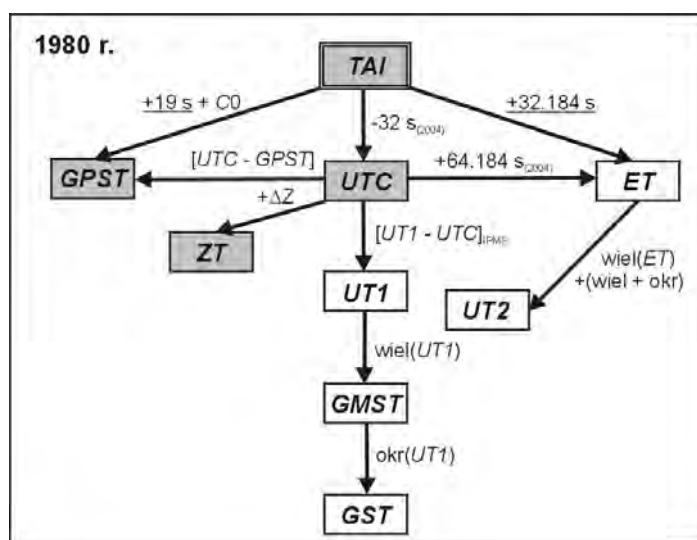
Poszczególne kraje opierają rachubę swego czasu urzędowego przede wszystkim na najbliższym południku strefowym. W Polsce podstawowym czasem urzędowym jest **czas środkowoeuropejski (CSE)**, czyli czas południka oddalonego o 15° na wschód od Greenwich (jest to w przybliżeniu południk Zgorzelca). W innych państwach ustalony czas urzędowy obowiązuje niezadko na obszarze kilku stref czasowych lub bywa przesunięty od odpowiedniego czasu strefowego o 30 lub 15 minut. W niektórych krajach w okresie letnim wprowadzany jest tzw. czas letni. Przy przechodzeniu z czasu zimowego na letni wskazówki zegarów są przesuwane o 1 godzinę do przodu, a przy powrocie na czas zimowy są o godzinę cofane. W Polsce czas letni (czyli czas wschodnioeuropejski – czas południka $30^\circ E$) obowiązywał od wiosny do jesieni w latach 1946–1949 i 1957–1964, a począwszy od 1977 roku wprowadzany jest corocznie. Zestawienie okresów, w których obowiązywał w Polsce czas letni podawane jest w wydawanym przez IGiK „Roczniku Astronomicznym”, np. „Rocznik Astronomiczny” na 2004 rok (Kryński i Sękowski 2003).

Relacja między letnim i zimowym czasem urzędowym w Polsce a Czasem Uniwersalnym Koordynowanym przedstawia się następująco:

$$\text{czas letni} = \text{czas wschodnioeuropejski} = \text{UTC} + 2 \text{ h} \quad (18)$$

$$\text{czas zimowy} = \text{czas środkowoeuropejski (CSE)} = \text{UTC} + 1 \text{ h} \quad (19)$$

Niezależne od TAI skale czasu atomowego tworzone są na potrzeby systemów globalnej nawigacji satelitarnej. Najbardziej powszechnie używanym jest czas GPS.



Rys. 4. Skale czasu i ich wzajemne relacje po wprowadzeniu czasu GPS

Czas GPS (GPST) (GPS Time) jest czasem atomowym używanym w systemie globalnej nawigacji satelitarnej GPS. Podstawą skali czasu GPS są atomowe zegary pokładowe umieszczone na satelitach GPS, zegary atomowe znajdujące się w ośrodkach sterowania systemem GPS oraz zegary atomowe US Naval Observatory. Skala czasu GPS jest bardzo zbliżona do skali czasu TAI i zsynchronizowana ze skalą UTC na epokę 1980 styczeń 6^d 0^h UTC. Związek pomiędzy Międzynarodowym Czasem Atomowym a czasem GPS jest następujący:

$$\text{TAI} - \text{GPST} = 19 \text{ s} + C0 \quad (20)$$

gdzie 19 s jest stałą różnicą między TAI i UTC na epokę 1980 styczeń 6^d 0^h UTC, a C0 zmienną w czasie poprawką rzędu 10 ns, wynikającą z korzystania w obu systemach z różnych zegarów atomowych. Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu

używany po wprowadzeniu w 1980 roku skali czasu GPS przedstawiono na rysunku 4.

Czas Ziemi (TT) (Terrestrial Time) jest geocentrycznym ziemskim czasem własnym związanym ze skalą czasu atomowego. Na mocy Rezolucji 4 XXI Zgromadzenia Generalnego IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992) *TT* zastąpił, jako równoważny Ziemi Czas Dynamiczny *TDT*, tj.:

$$TT \equiv TDT \quad (21)$$

Ziemi Czas Dynamiczny (TDT) (Temps Dynamique Terrestre lub Terrestrial Dynamical Time) został wprowadzony w 1984 roku w miejsce Czasu Efemeryd *ET* na mocy Rezolucji 5 XVI Zgromadzenia Generalnego IAU w Grenoble w 1976 roku (IAU 1977). Wraz ze wzrostem dokładności obserwacji i pomiarów czasu zaistniała potrzeba istotnego rozróżnienia dwóch aspektów relatywistycznych Czasu Efemeryd *ET*, a mianowicie czasu używanego jako zmiennej niezależnej w równaniach ruchu ciał niebieskich odniesionych do barycentrum Układu Słonecznego (Barycentryczny Czas Dynamiczny *TDB*) oraz Ziemijskiego Czasu Dynamicznego *TDT* otrzymywanego z obserwacji naziemnych wykorzystywanych do porównania obserwowanej pozycji ciał z ich geocentryczną efemerydą. *TDT* był czasem atomowym odniesionym do środka mas Ziemi i zdefiniowanym następująco:

$$TDT = TAI + 32.184 \text{ s} \quad (22)$$

Za jednostkę *TDT* przyjęto dobę o długości 86 400 sekund SI (sekunda czasu atomowego) na poziomie morza (Guinot i Seidelmann 1988). *TDT* był używany jako argument efemeryd do obserwacji z powierzchni Ziemi. Przesunięcie skali czasu *TDT* w stosunku do *TAI* dokładnie o $32^s.184$, odpowiadające różnicy między *ET* i *TAI* 1977 styczeń $1^d 0^h$, wprowadzone zostało w celu zachowania ciągłości liczenia czasu przy przejściu od *ET* do *TDT*. *Tablice Słońca* Newcomba pozostały zatem nadal w mocy ze zmianą argumentu z „Czas Efemeryd” na „Ziemijski Czas Dynamiczny”. Tak jak w przypadku *ET* w roku 2004, można przyjmować przybliżoną relację między Ziemijskim Czasem Dynamicznym a czasem uniwersalnym:

$$TDT = UT + 65 \text{ s} \quad (23)$$

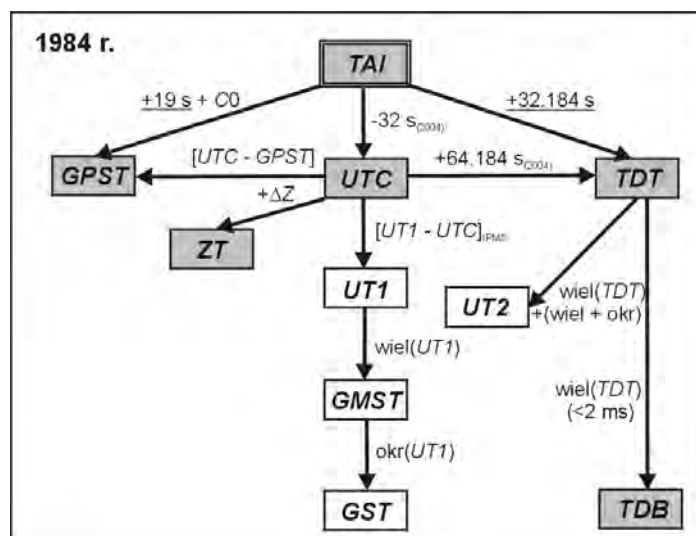
Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu używanymi po wprowadzeniu w 1984 roku skal czasu *TDT* i *TDB* przedstawiono na rysunku 5.

Definicja *TT* uległa uściśleniu na mocy Rekomendacji III i IV, Rezolucji A4 XXI Zgromadzenia Generalnego IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992), ukierunkowanej na standaryzację jednostek i skal czasu związanych z poszczególnymi systemami odniesienia. Wprowadzona została skala czasu współrzędnych barycentrycznych *TCB* jako uściślenie istniejącej skali Barycentrycznego Czasu Dynamicznego *TDB* oraz skala czasu współrzędnych geocentrycznych *TCG*. Skale te, wraz z *TT* reprezentującym czas własny

obserwatora na geoidzie, wprowadzono jako rozróżnienia używanej dotąd skali *TDT* w sensie ogólnej teorii względności. Skala czasu *TT* została zdefiniowana jako różniącą się o stały współczynnik od skali czasu *TCG*. Jednostka skali *TT* została tak dobrana, aby równała się sekundzie SI na geoidzie (Petit 2002). Zgodnie z zasadą transformacji czasu pomiędzy czasem własnym i czasem współrzędnych stały współczynnik został określony jako:

$$\frac{d(TT)}{d(TCG)} = 1 - c^{-2}U_G = 1 - L_G \quad (24)$$

gdzie U_G jest ustalonym potencjałem siły ciężkości na geoidzie, stąd L_G jest wielkością stałą.



Rys. 5. Skale czasu i ich wzajemne relacje po wprowadzeniu skal czasu *TDT* i *TDB*

Kolejne uściślenie definicji *TT* wynikało z tytułu niejednoznaczności związania skali *TT* z geoidą, spowodowaną jej zmiennością w czasie i zawiłościami w jej definicji. W sformułowaniu podanej w Rezolucji B1.9 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) definicji *TT* znalazła się stała (26), oparta o reprezentatywną dla geoidy wartość potencjału siły ciężkości.

Czas współrzędnych geocentrycznych (*TCG*) (Temps Coordonnée Géocentrique lub Geocentric Coordinate Time), zdefiniowany w Rezolucji A4 XXI Zgromadzenia Generalnego IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992), jest czasem współrzędnych w czterowymiarowej czasoprzestrzeni, w Geocentrycznym Systemie Odniesienia (*GRS*) (Geocentric Reference System), który porusza się w przestrzeni wraz z ruchem orbitalnym Ziemi wokół barycentrum Układu Słonecznego, przy czym kierunek osi tego systemu po-

zostaje niezmienny w odniesieniu do systemu inercjalnego (praktycznie *BRS*). Czas ten należy do zdefiniowanej w Rezolucji B1.5 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) metryki relatywistycznej Geocentrycznego Niebieskiego Systemu Odniesienia (*GCRS*) (**Geocentric Celestial Reference System**) (Kryński 2004). Relacja pomiędzy Czasem Ziemi *TT* a czasem współrzędnych geocentrycznych *TCG* określona została na podstawie zalecenia IAU, aby skala czasu *TT* różniła się od skali czasu *TCG* o stałą wielkość $d(TT)/d(TCG) = 1 - L_G$ (24), tj.:

$$TCG - TT = L_G \times (JD - 2\,443\,144.5) \times 86\,400 \quad (25)$$

gdzie początkowo oszacowano wartość $L_G = 6.969\,291 \times 10^{-10}$ ($\pm 3 \times 10^{-16}$) (Chovitz 1988). Taką wartość L_G , zdefiniowaną jako równą U_G/c^2 , gdzie $U_G = 62\,636\,860 \pm 30 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ jest potencjałem siły ciężkości Ziemi na geoidzie, zaleciło stosować XXI Zgromadzenie Generalne IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992). Tak zdefiniowana i określona wartość L_G nie gwarantuje wyższej aniżeli 10^{-17} dokładności przejścia od *TCG* do *TT*. Po pierwsze, U_G określone jest z dokładnością na poziomie zaledwie $1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ (Groten 2000). Po drugie, nawet przy ewentualnym istotnym w przyszłości wzroście dokładności wyznaczenia U_G realizacja powierzchni geoidy jest trudna, a co za tym idzie trudne jest określenie różnicy potencjałów pomiędzy geoidą i położeniem zegara. Wreszcie powierzchnia geoidy ulega zmianom w czasie (Petit 2002). Obecnie, na mocy Rezolucji B1.9 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001), obowiązuje:

$$L_G = 6.969\,290\,134 \times 10^{-10} \quad (26)$$

L_G jest obecnie stosowane jako stała definiująca w systemie stałych astronomicznych.

Wzór (25) gwarantuje zgodność jednostki pomiaru *TT* z sekundą SI na bardzo bliskiej geoidzie powierzchni ustalonego potencjału siły ciężkości.

Czas współrzędnych barycentrycznych (*TCB*) (**Temps Coordonnée Barycentrique** lub **Barycentric Coordinate Time**), zdefiniowany w Rekomendacji III Rezolucji A4 XXI Zgromadzenia Generalnego IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992), jest czasem w czterowymiarowej czasoprzestrzeni, w Barycentrycznym Systemie Odniesienia (*BRS*) (**Barycentric Reference System**), który traktowany jest jako system quasi-inercjalny.

Zależność pomiędzy *TCB* i *TCG* stanowi element pełnej czterowymiarowej uogólnionej transformacji Lorentza⁵ (Kovalevsky 2002):

⁵ Transformacja Lorentza jest relatywistycznym przejściem od jednego czasoprzestrzennego systemu inercjalnego *S* do innego *S'*, poruszającego się względem *S* z prędkością *v* przy zachowaniu niezmienniczości interwału *ds* (Landau i Lifszyc 1980). Transformacja ta zachowuje stałość prędkości światła.

$$TCB - TCG = c^{-2} \left[\int_{t_0}^t \left[\frac{v_E^2}{2} + w_{ext}(\mathbf{x}_E) \right] dt + \mathbf{v}_E(\mathbf{x} - \mathbf{x}_E) \right] \quad (27)$$

gdzie \mathbf{x}_E i \mathbf{v}_E oznaczają pozycję barycentryczną i prędkość środka mas Ziemi, a \mathbf{x} – barycentryczną pozycję obserwatora. Potencjał zewnętrzny $w_{ext}(\mathbf{x}_E)$ określony jest następująco:

$$w_{ext} = \sum_{A \neq E} w_A \quad (28)$$

gdzie E oznacza Ziemię, a w_A jest określone za pomocą wyrażenia:

$$w(t, \mathbf{x}) = G \int d^3 \mathbf{x}' \frac{\sigma(t, \mathbf{x}')}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} + c^{-2} 2G \frac{\partial^2}{\partial t^2} \int d^3 \mathbf{x}' \sigma(t, \mathbf{x}') |\mathbf{x} - \mathbf{x}'| \quad (29)$$

z całkowaniem wyłącznie po ciele A . Gęstość σ określona jest za pomocą składowych tensora momentu energii materii tworzącej ciała Układu Słonecznego (Kopeikin 1988; Brumberg i Kopeikin 1989).

Zgodnie z Rekomendacją III (IAU 1992) można w przybliżeniu (z dokładnością 10^{-14}) używać wyrażenia:

$$TCB - TCG = L_C \times (JD - 2\,443\,144.5) \times 86\,400 + c^{-2} \mathbf{v}_E(\mathbf{x} - \mathbf{x}_E) + P \quad (30)$$

gdzie stałą $L_C = 1.480\,813 \times 10^{-8}$ przyjęto na podstawie aktualnych oszacowań (Fukushima i in. 1986). Wielkość P przedstawia wyrazy okresowe, które mogą być oszacowane na podstawie wzoru Hirayamy i in. (Hirayama i in. 1987). Dla obserwatorów na powierzchni Ziemi, wyrazy zależne od ich ziemskich współrzędnych mają charakter dobowy o amplitudzie nieprzekraczającej $2.1 \mu\text{s}$ (IAU 1992).

TCB należy do zdefiniowanej w Rezolucji B1.5 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) metryki relatywistycznej Barycentrycznego Niebieskiego Systemu Odniesienia (*BCRS*) (**B**arycentric **C**elestial **R**eference **S**ystem), która dla transformacji czasu i realizacji osi czasów układów współrzędnych w Układzie Słonecznym stanowi rozszerzenie Rezolucji B1.3 tego Zgromadzenia (Krynski 2004). Tensor barycentrycznej metryki $g_{\mu\nu}$ ze współrzędnymi barycentrycznymi (t, \mathbf{x}) ($t = TCB$) ma być wyrażony jako:

$$\begin{aligned} g_{00} &= -1 + c^{-2} 2 [w_0(t, \mathbf{x}) + w_L(t, \mathbf{x})] - c^{-4} 2 [w_0^2(t, \mathbf{x}) + \Delta(t, \mathbf{x})] \\ g_{0i} &= -c^{-3} 4w^i(t, \mathbf{x}) \\ g_{ij} &= \delta_{ij} (1 + c^{-2} 2 w_0(t, \mathbf{x})) \end{aligned} \quad (31)$$

gdzie potencjał skalarny w_0 określony jest jako suma

$$w_0 = \sum_A \frac{M_A}{r_A} \quad (32)$$

z sumowaniem po wszystkich ciałach niebieskich A o masach M_A Układu Słonecznego, $\mathbf{r}_A = \mathbf{x} - \mathbf{x}_A$ są współrzędnymi barycentrycznymi środka masy ciała A , $r_A = |\mathbf{r}_A|$, i gdzie w_L zawiera rozwinięcie w funkcji momentów multipolowych wymaganych dla każdego ciała. Przykładowo rozwinięcie potencjału postnewtonowskiego Ziemi w $GCRS$ na zewnątrz Ziemi ma postać:

$$W^E(T, \mathbf{X}) = \frac{GM_E}{R} \left[1 + \sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=0}^{+l} \left(\frac{R^E}{R} \right)^l P_{lm}(\cos\theta) (C_{lm}^E(T) \cos m\varphi + S_{lm}^E(T) \sin m\varphi) \right] \quad (33)$$

gdzie C_{lm}^E i S_{lm}^E są, z wystarczającą dokładnością, równoważne postnewtonowskim momentom multipolowym (Damour i in. 1991), θ i φ są kątami biegunowymi odpowiadającymi przestrzennym współrzędnym X^a w $GCRS$, M_E oznacza masę Ziemi, R^E jest promieniem równikowym Ziemi, zaś $R = |\mathbf{X}|$.

Potencjał wektorowy⁶ $w^i(t, \mathbf{x})$ wyrażony jest następująco:

$$w^i(t, \mathbf{x}) = \sum_A w_A^i(t, \mathbf{x}) \quad (34)$$

gdzie potencjał wektorowy ciała A :

$$w_A^i(t, \mathbf{x}) = G \left[\frac{-(\mathbf{r}_A \times \mathbf{S}_A)^i}{2r_A^3} + \frac{M_A v_A^i}{r_A} \right] \quad (35)$$

Funkcja $\Delta(t, \mathbf{x})$ wyrażona jest jako:

$$\Delta_A(t, \mathbf{x}) = \frac{GM_A}{r_A} \left[-2v_A^2 + \sum_{B \neq A} \frac{GM_B}{r_{BA}} + \frac{1}{2} \left(\frac{(r_{AB}^k v_A^k)^2}{r_A^2} + r_{AB}^k a_A^k \right) \right] + \frac{2Gv_A^k (\mathbf{r}_A \times \mathbf{S}_A)^k}{r_A^3} \quad (36)$$

gdzie $\mathbf{r}_{BA} = |\mathbf{x}_B - \mathbf{x}_A|$, a v_A i a_A są odpowiednio prędkością i przyspieszeniem ciała A w układzie współrzędnych barycentrycznych, zaś \mathbf{S}_A jest całkowitym momentem obrotowym ciała A . We wzorach tych wyrazy z \mathbf{S}_A są potrzebne tylko dla Jowisza ($S = 6.9 \times 10^{38} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}$) i Saturna ($S = 1.4 \times 10^{38} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ kg}$) w bezpośrednim sąsiedztwie tych planet.

Zależność pomiędzy TCB i TCG wyrażona jest za pomocą uogólnionej transformacji Lorentza (IAU 2001; Kovalevsky 2002), przeprowadzającej

⁶ Własności pola sił w czasoprzestrzeni scharakteryzowane są przez czterowektor zwany czteropotencjałem. Trzy składowe przestrzenne takiego czterowektora tworzą trójwymiarowy wektor zwany potencjałem wektorowym pola. Składowa czasowa takiego czterowektora nazywa się potencjałem skalarnym (Landau i Lifszyc 1980).

system *GCRS* w *BCRS* na pełnym pierwszym poziomie postnewtonowskim⁷. Została ona zdefiniowana w rezolucjach XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001). Rezolucja B1.3 zaleca stosowanie, gdy wymaga tego dokładność obliczeń, pełnej postnewtonowskiej transformacji współrzędnych pomiędzy *BCRS* i *GCRS*, narzuconej przez formę odpowiednich tensorów metrycznych. Zależność między współrzędną czasową systemu barycentrycznego *TCB* i współrzędną czasową systemu geocentrycznego *TCG* może być wyrażona z wystarczającą dokładnością jako:

$$TCB - TCG = c^{-2} \left[\int_{t_0}^t \left(\frac{v_E^2}{2} + w_{0ext}(\mathbf{x}_E) \right) dt + v^i_{E} r^i_{E} \right] - c^4 \times \left[\int_{t_0}^t \left(-\frac{v_E^4}{8} - \frac{3}{2} v_E^2 w_{0ext}(\mathbf{x}_E) + 4v^i_{E} w^i_{ext}(\mathbf{x}_E) + \frac{1}{2} w_{0ext}^2(\mathbf{x}_E) \right) dt - \left(3w_{0ext}(\mathbf{x}_E) + \frac{v_E^2}{2} \right) v^i_{E} r^i_{E} \right] \quad (37)$$

gdzie v_E jest barycentryczną prędkością Ziemi, a wskaźnik *ext* odnosi się do sumowania po wszystkich ciałach za wyjątkiem Ziemi.

Rezolucja B1.5 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) uściśla definicję stałej L_C jako $\langle TCG/TCB \rangle = 1 - L_C$, gdzie operator $\langle \rangle$ odnosi się do operacji uśredniania w środku mas Ziemi na wystarczająco długim interwale czasu. Według najnowszego oszacowania (Irvin i Fukushima 1999), cytowanego w Rezolucji B1.5:

$$L_C = 1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} (\pm 2 \times 10^{-17}) \quad (38)$$

Z uwagi na niemożliwość jednoznacznego zdefiniowania L_C , stałej tej nie należy używać do formułowania transformacji czasu wówczas, gdy wymagana jest jego znajomość z dokładnością 1×10^{-16} lub wyższą.

XVI Zgromadzenie Generalne IAU w 1976 roku w Grenoble wprowadziło obok skali Ziemskiego Czasu Dynamicznego również skalę czasu dynamicznego odniesionego do barycentrum Układu Słonecznego. Czas ten nazwano Barycentrycznym Czasem Dynamicznym.

Barycentryczny Czas Dynamiczny (*TDB*) (*Temps Dynamique Barycentrique* lub *Barycentric Dynamical Time*) jest czasem atomowym zdefiniowanym w Rezolucji 5 XVI Zgromadzenia Generalnego IAU w Grenoble w 1976 roku (IAU 1977). Od 1984 roku *TDB* zastąpił Czas Efemerydalny *ET*

⁷ Postnewtonowska mechanika relatywistyczna stanowi przybliżenie mechaniki w ujęciu ogólnej teorii względności o przejrzystości i prostocie strukturalnej niemal takiej jak mechanika newtonowska. Tradycyjnie *n*-ty poziom postnewtonowski odnosi się do wyrazów o współczynnikach c^{-2n} w metryce, które określają poprawki do newtonowskich równań ruchu; odpowiada to c^{-2n-2} w g_{00} , c^{-2n-1} w g_{0i} oraz c^{-2n} w g_{ij} (Damour i in. 1991).

jako argument efemeryd odniesionych do barycentrum Układu Słonecznego: np. Księżyc, planet, a także jako argument precesji. *TDB* może być określony jako argument w algorytmach efemerydalnych DE405/LE405 opracowanych przez JPL (efemerydy planetarne zazwyczaj wyrażane są w funkcji czasu T_{eph} , który jest bardzo zbliżony do *TDB*) (Standish 1998). *TDB* różni się od *TDT* (obecnie od *TT*) tylko o wyrazy okresowe spowodowane ruchem orbitalnym Ziemi w polu grawitacyjnym Słońca, Księżyc i planet. Różnica ta, zawierająca efekty relatywistyczne, nie przekracza 2 ms.

Związek pomiędzy Barycentrycznym Czasem Dynamicznym a czasem współrzędnych barycentrycznych, który jednocześnie stanowi definicję *TDB*, jest następujący:

$$TCB - TDB = L_B \times (JD - 2\,443\,144.5) \times 86\,400 \quad (39)$$

W Rekomendacji III Rezolucji A4 XXI Zgromadzenia Generalnego IAU w Buenos Aires w 1991 roku (IAU 1992) przyjęto na podstawie aktualnych oszacowań (Fukushima i in. 1986) wartość stałej $L_B = 1.550\,505 \times 10^{-8} (\pm 1 \times 10^{-14})$. Rezolucja B1.5 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) uściśliła definicję stałej L_B jako $\langle TT/TCB \rangle = 1 - L_B$, gdzie operator $\langle \rangle$ odnosi się do operacji uśredniania w środku mas Ziemi na wystarczająco długim interwale czasu. Wartość stałej L_B można wyznaczyć z zależności: $1 - L_B = (1 - L_C)(1 - L_G)$. Według najnowszego oszacowania (Irvin i Fukushima 1999), cytowanego w Rezolucji B1.5 (IAU 2001):

$$L_B = 1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8} (\pm 2 \times 10^{-17}) \quad (40)$$

Z uwagi na niemożliwość jednoznacznego zdefiniowania L_B , stałej tej nie należy używać do formułowania transformacji czasu wówczas, gdy wymagana jest jego znajomość z dokładnością 1×10^{-16} lub wyższą.

Średni czas uniwersalny *UTI* formalnie zdefiniowany był jako funkcja średniego czasu gwiazdowego (11). Funkcja ta oparta była na wyrażeniu podanym przez Newcomba dla rektascensji średniego Słońca. Za definicję *UTI* przyjmowano wyrażenie dla średniego czasu gwiazdowego Greenwich (*GMST*) o 0^h *UTI*. Czas *UTI* reprezentował prawdziwy ruch obrotowy Ziemi wokół chwilowej osi obrotu. Stanowił on zatem podstawowy parametr wiążący niebieskie systemy odniesienia z ziemskimi systemami odniesienia. Niejednostajność skali czasu *UTI* powoduje, że wymaga ona ciągłego, precyzyjnego monitorowania. *UTI* był pośrednio uzyskiwany z obserwacji gwiazd z wykorzystaniem katalogu fundamentalnego.

Nowa definicja *UTI*, obowiązująca od 2003 roku, podana została w Rezolucji B1.8 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001). Zgodnie z tą rezolucją *UTI* zdefiniowany jest jako funkcja liniowa Kąta Obrotu Ziemi *ERA* (**E**arth **R**otation **A**ngle), który jest kątem w płaszczyźnie równika Niebieskiego Bieguna Pośredniego *CIP* (**C**elestial **I**ntermediate **P**ole) pomiędzy wektorami jednostkowymi skierowanymi

do Niebieskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego *CEO* (Celestial Ephemeris Origin) i Ziemskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego *TEO* (Terrestrial Ephemeris Origin) (Krynski 2004):

$$ERA(T_u) = 2\pi(0.779\,057\,273\,2640 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48\,T_u) \quad (41)$$

gdzie:

$$T_u = [JD(UTI) - 2\,451\,545.0] \quad (42)$$

przy czym *UTI* otrzymywane jest poprzez dodanie do *UTC* wyznaczonej przez IERS poprawki $[UTI - UTC]_{\text{IERS}}$, tj.:

$$UTI = UTC + [UTI - UTC]_{\text{IERS}} \quad (43)$$

Nowa definicja *UTI* zapewnia ciągłość tej skali czasu. Jest ona oparta na nowoczesnych technikach obserwacyjnych wyznaczania parametrów ruchu obrotowego Ziemi z wykorzystaniem *ICRS* zrealizowanego w oparciu o obiekty pozagalaktyczne (Capitaine i in. 2003).

Spójna z nową definicją *UTI* jest nowa definicja **średniego czasu gwiazdowego Greenwich *GMST***:

$$GMST = 0''.014\,506 + ERA + 4612''.157\,399\,66\,t + 1''.396\,677\,21\,t^2 - 0''.000\,093\,44\,t^3 + 0''.000\,018\,82\,t^4 \quad (44)$$

gdzie:

$$t = (TT - 2000 \text{ styczeń } 1^d 12^h TT) / 36\,525 \quad (45)$$

przy czym *TT* wyrażony jest w dobach.

Prawdziwy czas gwiazdowy Greenwich *GST* wyraża się wzorem

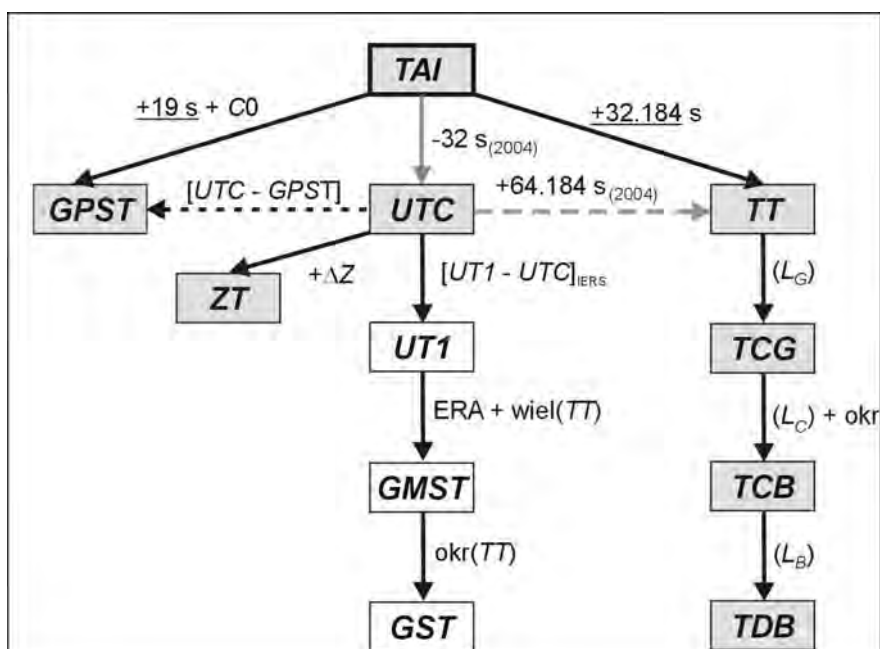
$$GST - GMST = (\Delta\psi + d\psi) \cos \varepsilon_A + \sum [(C'_{s,0})_k \sin \alpha_k + (C'_{c,0})_k \cos \alpha_k] - 0''.000\,000\,87\,t \sin \Omega \quad (46)$$

gdzie ε_A jest wielkością precesyjną (Lieske i in. 1977) poprawioną o zmiany precesyjne zdefiniowane w modelu precesyjno-nutacyjnym IAU2000, $\Delta\psi + d\psi$ oznacza całkowitą nutację w długości odniesioną do ekliptyki zadanej epoki, skąd $(\Delta\psi + d\psi) \cos \varepsilon_A$ jest klasycznym „równaniem równonocy”. Pozostałe dwa człony po prawej stronie (46) stanowią uzupełnienie „równania równonocy”, zapewniające ciągłość prawdziwego czasu gwiazdowego Greenwich po przejściu na nową jego definicję oraz spójność z pozostałymi wielkościami systemu IAU2000 (McCarthy i Capitaine 2002). Wielkości parametrów α_k i Ω oraz współczynników $(C'_{s,0})_k$ i $(C'_{c,0})_k$ podane są w literaturze (np. IERS 2003), a także w wersji elektronicznej wraz z pełną numeryczną reprezentacją *GST* na stronie internetowej <http://maia.usno.mil/ch5tables.html>.

Zawarta w nowej definicji *UTI* jego liniowa zależność od Kąta Obrotu Ziemi (*ERA*) świadczy o tym, że obecnie *UTI* można interpretować jako miarę rzeczywistego ruchu obrotowego Ziemi wokół Niebieskiego Bieguna Po-

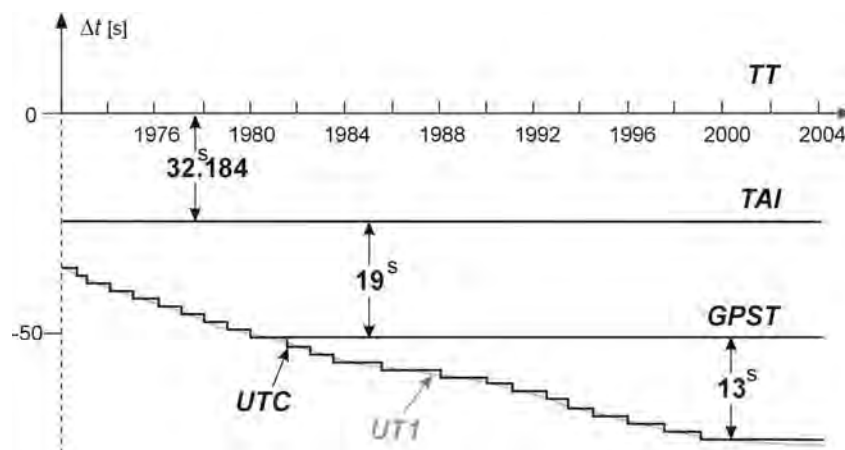
średniego *CIP* (nie jak w poprzednio stosowanej definicji wokół chwilowego bieguna lub bieguna *CEP* – **C**elestial **E**phemeris **P**ole) względem średniego Słońca. Pochodna *UTI* względem czasu jest proporcjonalna do prędkości kątowej obrotu Ziemi ω . Rolę, jaką odgrywał czas gwiazdowy w transformacji pomiędzy układami ziemskim i niebieskim przejął Kąt Obrotu Ziemi *ERA*, który nie jest obciążony wpływem precesji i nutacji. W nowym wyrażeniu na *GST* w funkcji czasu, kąt *ERA* wyrażony jest w funkcji *UTI*, zaś pozostałe człony reprezentujące efekt precesji i nutacji w rektascensji odniesione są do skali czasu *TDB* (praktycznie do *TT*). Zgodnie z nową definicją *GMST* nie jest już kątem godzinnym średniej równonocy wiosennej na południku Greenwich (Capitaine i in. 2003). Należy zauważyć, że wprowadzanie nowych poprawionych modeli precesyjno-nutacyjnych spowoduje konieczność formułowania nowych wyrażen dla *GMST*. Także „równanie równonocy” nie prowadzi do prawdziwej rektascensji średniej równonocy. Obecna rola czasu gwiazdowego ogranicza się do umożliwienia zachowania ciągłości w obliczeniach astronomicznych. W szczególności $ERA(J2000.0) = GMST(J2000.0)$, zaś różnica $GST - ERA$ określa rektascensję *CEO*, a tym samym położenie punktu równonocy wiosennej na równiku *CIP*.

Schemat relacji (w postaci funkcji stałych, wielomianowych lub okresowych) pomiędzy skalami czasu używanymi po wprowadzeniu w 1991 roku skal czasu *TT*, *TCG* i *TCB* przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Skale czasu i ich wzajemne relacje po wprowadzeniu skal czasu *TT*, *TCG* i *TCB*

Schemat zależności pomiędzy niektórymi, współcześnie stosowanymi skalami czasu przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Zależności pomiędzy niektórymi stosowanymi skalami czasu

4. POŚREDNI SYSTEM ODNIESIENIA IRS

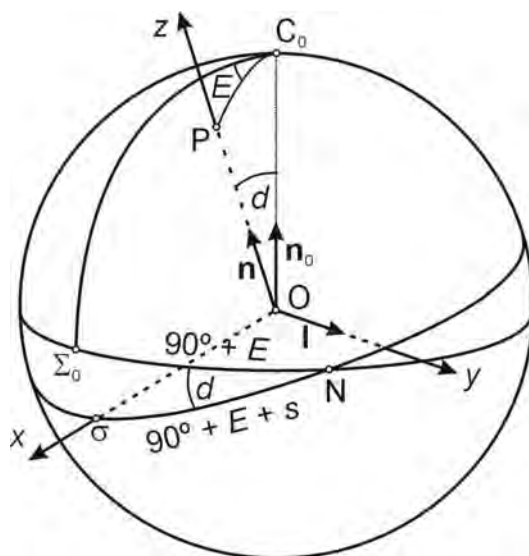
Transformację pomiędzy ziemskim systemem odniesienia (do niego odnoszą się obserwacje) a niebieskim systemem odniesienia (system quasi-inercjalny, w którym podawane są pozycje gwiazd) tradycyjnie przeprowadza się w trzech zasadniczych krokach. W pierwszym kroku **system obserwacyjny**, zdefiniowany przez „równik obserwacyjny” i „zerowy południk obserwacyjny”, przeprowadzany jest przy użyciu parametrów opisujących ruch bieguna w **system pośredni**, zdefiniowany przez „równik pośredni” i „zerowy południk pośredni”. Następnym krokiem jest **obrót** systemu pośredniego wokół osi „równika pośredniego” o kąt reprezentujący obrót Ziemi wokół własnej osi. Obrócony w ten sposób system pośredni staje się geocentrycznym systemem niebieskim, do którego odnoszą się tzw. miejsca pozorne. Ostatnim krokiem jest przeprowadzenie systemu pośredniego (a dokładnie utworzonego w poprzednim kroku geocentrycznego systemu niebieskiego) w **system quasi-inercjalny** przy użyciu parametrów opisujących precesję i nutację. W transformacji uwzględniane są dodatkowo efekty paralaksy i aberracji rocznej (Kovalevsky 2002), ruch własny gwiazd i efekty relatywistyczne.

Do 1984 roku rolę „równika obserwacyjnego” odgrywał równik tzw. międzynarodowego umownego średniego bieguna północnego Ziemi CIO (Conventional International Origin), zdefiniowanego poprzez szerokości astronomiczne 5 obserwatoriów uczestniczących w Międzynarodowej Służbie

Szerokości ILS, umieszczonych na równoleżniku $39^{\circ}09'$, zaś „zerowemu południkowi obserwacyjnemu” odpowiadał średni południk Greenwich zdefiniowany przez długości astronomiczne około 50 obserwatoriów uczestniczących w programie BIH. *CIO* w przybliżeniu pokrywał się ze średnim biegunem dla okresu 1900–1905. Tak zdefiniowany równik *CIO* i zerowy południk obserwacyjny, przyjęte na mocy uchwały XIII Zgromadzenia Generalnego IAU w 1967 roku w Pradze, leżały u podstaw wprowadzonego przez XIV Zgromadzenie Generalne IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) w Lucernie w 1967 roku tzw. Geodezyjnego Systemu Odniesienia GRS67, a następnie wprowadzonego przez XVII Zgromadzenie Generalne IUGG w Canberze w 1979 roku Geodezyjnego Systemu Odniesienia GRS80. „Równikowi pośredniemu” odpowiadał równik chwilowy, którego oś stanowiła chwilowa oś obrotu Ziemi, zaś chwilowy południk Greenwich służył jako „zerowy południk pośredni”. Parametry ruchu bieguna wykorzystywane do przeprowadzenia bieguna *CIO* w biegun chwilowy oraz średni południk Greenwich w chwilowy południk Greenwich dostarczane były przez Międzynarodową Służbę Ruchu Bieguna IPMS (poprzedniczka IERS). Obrót systemu pośredniego odbywał się wokół prawdziwej osi obrotu Ziemi o kąt równy prawdziwemu czasowi gwiazdowemu Greenwich *GST* (lub *GAST*) będącemu nieliniową funkcją *UTI*. Przeprowadzał on pośredni system ziemski w pośredni system niebieski, w którym wyrażona była pozycja pozorna i, po usunięciu wpływu aberracji rocznej i paralaksy rocznej, tzw. pozycja prawdziwa (barycentryczna, a wcześniej heliocentryczna). Uwzględnienie następnie nutacji prowadziło do transformacji do systemu niebieskiego, w którym wyrażona była tzw. pozycja średnia na epokę obserwacji, zaś uwzględnienie precesji wiązało się z kolejną transformacją systemu niebieskiego z epoki obserwacji do epoki katalogu fundamentalnego (FK4, a od 1984 r. FK5) (Kryński 2004).

Do przeprowadzenia geocentrycznego systemu ziemskiego w geocentryczny system niebieski z formalnego punktu widzenia wystarcza określenie ciągu czasowego trzech parametrów obrotu o dostatecznej do umożliwienia interpolacji rozdzielczości czasowej. Dokonanie transformacji pomiędzy tymi systemami za pośrednictwem dowolnej, dynamicznie określonej osi, np. osi obrotu Ziemi, osi bezwładności (osi figury Ziemi) lub geograficznej osi średniej powierzchni Ziemi, wymaga ciągu czasowego 5 parametrów transformacji: po dwa parametry określające położenie osi względem każdego z systemów oraz parametr obrotu. Praktycznie położenie chwilowej osi obrotu Ziemi względem systemu niebieskiego opisywały ciągi czasowe dwóch parametrów zależnych od księżycowo-słonecznej precesji i nutacji, położenie chwilowej osi obrotu Ziemi względem systemu ziemskiego opisywały ciągi czasowe dwóch parametrów zależnych od ruchu bieguna, zaś obrót systemu ziemskiego względem systemu niebieskiego zdefiniowany był poprzez *GST*, który był odniesiony do zmieniającej w czasie położenie prawdziwej równonocy daty. Ruch punktu równonocy był zatem dodatkowym, szóstym parametrem trans-

formacji. Guinot zwrócił uwagę, że stosowanie ruchomego (zmiennego w czasie) punktu równonocy jako punktu odniesienia nie jest konieczne i komplikuje opis relacji pomiędzy systemami odniesienia (Guinot 1979). Można go zastąpić wygodniejszym punktem początkowym liczenia rektascensji na równiku. Co więcej, na współczesne obserwacje (VLBI i SLR), służące do wyznaczania parametrów orientacji Ziemi w przestrzeni, praktycznie nie ma wpływu orientacja ekliptyki i ruch punktu równonocy (Capitaine i Guinot 1988). W dodatku stosowane modele systemów odniesienia nie uwzględniały w wyrażeniu na GST niektórych mieszanych wyrazów precesyjno-nutacyjnych, o wielkościach dochodzących do $0''.001$, które odpowiadały precyzji obserwacji. Opracowana przez Guinota teoria „Nieobracającego się Punktu Początkowego” NRO (Non-Rotating Origin) na ruchomym równiku (Guinot 1979) oparta na nieobracającym się systemie odniesienia, została wykorzystana do zdefiniowania pośredniego systemu odniesienia. Ilustrację koncepcji NRO w odniesieniu do systemu niebieskiego przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. NRO w odniesieniu do systemu niebieskiego

Niebieski system odniesienia o stałej orientacji względem gwiazd (z uwzględnieniem ruchu własnego) jest reprezentowany poprzez sferę o środku O (środek mas Ziemi), podstawowe koło wielkie (równik) bieguna C_0 (płaszczyzna x_0y_0 systemu niebieskiego) i leżący na nim punkt początkowy Σ_0 liczenia rektascensji (określający kierunek osi x_0 systemu niebieskiego). Precesyjno-nutacyjny ruch bieguna P (odpowiadającego dowolnej, dynamicznie określonej osi Ziemi) względem C_0 określony jest przez ciągłe czasowe kątów

$d = C_0OP$ i $E = \Sigma_0C_0P$. Chwilowy (pośredni) system $Oxyz$ został tak dobrany, że oś z pokrywa się z kierunkiem OP oraz, że przy ruchu bieguna P po sferze system ten nie podlega obrotowi wokół osi z (OP).

Punkty σ i N na równiku bieguna P oznaczają odpowiednio kierunek osi x chwilowego systemu oraz węzeł wstępujący chwilowego równika z kołem wielkim bieguna C_0 . Położenie punktu σ nie jest obserwowalne; daje się ono praktycznie wyznaczyć na moment t przy użyciu $\Sigma_0N = 90^\circ + E$ i $s = \sigma N - \Sigma_0N$, które zależą od kątów $d = C_0OP$ i $E = \Sigma_0C_0P$ opisujących precesyjno-nutacyjny ruch P względem C_0 , przyjmując za zero stałą wartość w wybranej epoce początkowej t_0 . Można zaniedbać wyrazy nutacyjne jako małe i przeprowadzić obliczenia przy użyciu tylko wyrazów precesyjnych, i σN może być wyznaczone na prawdziwym zamiast na średnim równiku (Seidelmann i Kovalevsky 2002). Wektor obrotu Ω systemu pośredniego $Oxyz$ wokół osi z , powstały w wyniku ruchu bieguna P względem C_0 , wyraża się w bazie wektorów jednostkowych \mathbf{n} , \mathbf{n}_0 i \mathbf{l} (Capitaine i Guinot 1988):

$$\Omega = \dot{E} \mathbf{n}_0 + \dot{d} \mathbf{l} - (\dot{E} + \dot{s}) \mathbf{n} \quad (47)$$

Warunkiem zerowego obrotu systemu pośredniego $Oxyz$ wokół osi z jest, aby składowa po osi z wektora obrotu Ω zerowała się, tzn. aby iloczyn skalarny $\Omega \mathbf{n} = 0$. Mnożąc obie strony (47) skalarnie przez \mathbf{n} , otrzymuje się (Capitaine i in. 1986):

$$\Omega \mathbf{n} = \dot{E} \cos d - \dot{E} - \dot{s} = \dot{E} (\cos d - 1) - \dot{s} \quad (48)$$

Wielkość s , określająca zmianę położenia punktu σ na chwilowym równiku spowodowaną przez ruch bieguna P względem systemu niebieskiego, może być wyrażona w postaci:

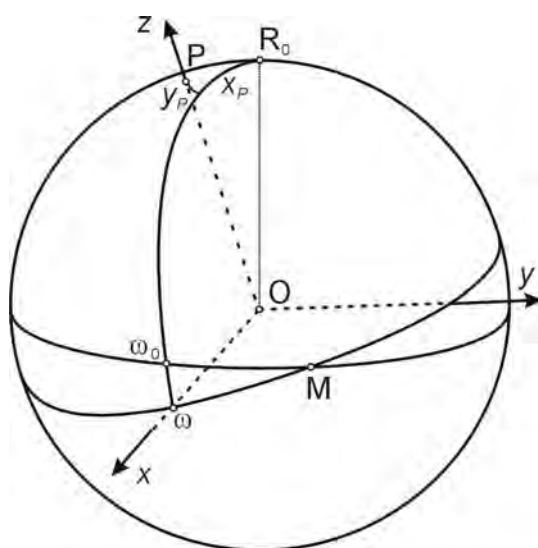
$$s = \int_{t_0}^t (\cos d - 1) \dot{E} dt \quad (49)$$

Punkt σ nazwany został Nieobracającym się Punktem Początkowym *NRO* w odniesieniu do systemu niebieskiego.

W podobny sposób zdefiniowany jest Nieobracający się Punkt Początkowy *NRO* w odniesieniu do systemu ziemskiego. Ilustrację koncepcji *NRO* w odniesieniu do systemu ziemskiego przedstawiono na rysunku 9.

Ziemski geocentryczny system odniesienia jest reprezentowany poprzez sferę o środku O , podstawowe koło wielkie (równik) bieguna R_0 (płaszczyzna x_0y_0 systemu ziemskiego) i leżący na nim punkt początkowy ω_0 liczenia długości astronomicznej (określający kierunek osi x_0 systemu ziemskiego). System ziemski jest realizowany poprzez współrzędne i ich zmiany w czasie definiujących system stacji obserwacyjnych. Zarówno ruch wiekowy, jak i okresowe zmiany położenia bieguna P względem systemu ziemskiego, określone przez ciągi czasowe x_p i y_p , są niewielkie (w porównaniu ze spowo-

dowanymi precesją i nutacją zmianami położenia bieguna P względem ustalonego w przestrzeni systemu niebieskiego). Stąd R_0 znajduje się blisko P. Oś z chwilowego systemu $Oxyz$ pokrywa się z kierunkiem OP . Punkty ω i M na równiku bieguna P oznaczają odpowiednio kierunek osi x chwilowego systemu oraz węzeł wstępujący chwilowego równika z kołem wielkim bieguna R_0 (równikiem systemu ziemskiego). Warunek $\omega M = \omega_0 M$ zapewnia, że przy ruchu bieguna P po sferze chwilowy system $Oxyz$ nie podlega obrotowi wokół osi z (OP).



Rys. 9. NRO w odniesieniu do systemu ziemskiego

Położenie punktu ω jest określone jako przecięcie płaszczyzny $R_0 O \omega_0$ z płaszczyzną chwilowego równika. Wielkość s' określająca zmianę położenia punktu ω na chwilowym równiku, spowodowaną przez ruch bieguna P względem systemu ziemskiego może być wyrażona w postaci (IERS 2003):

$$s'(t) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^t (x_P \dot{y}_P - \dot{x}_P y_P) dt \quad (50)$$

Punkt ω nazwany został Nieobracającym się Punktem Początkowym NRO w odniesieniu do systemu ziemskiego.

Ruch obrotowy Ziemi w nieobracającym się systemie odniesienia opisany jest w płaszczyźnie równika określonej przez biegun P za pomocą kąta $\omega O \sigma$ (rys. 8 i 9), któremu nadano początkowo nazwę „kąta gwiazdowego” (Guinot 1979). „Kąt gwiazdowy” θ opisuje ruch obrotowy Ziemi względem

gwiazd, a jego pochodna względem czasu odpowiada prędkości kątowej ruchu obrotowego Ziemi. Ponieważ „kąt gwiazdowy” θ wzrasta liniowo w przypadku jednostajnego ruchu obrotowego Ziemi, czas *UTI* ma postać (Capitaine i in. 1986):

$$UTI = k(\theta - \theta_0) \quad (51)$$

gdzie współczynnik k jest tak dobrany, aby doba *UTI* była zbliżona do średniej doby słonecznej.

Pośredni System Odniesienia *IRS* formalnie został wprowadzony w 1984 roku na mocy uchwały XVIII Zgromadzenia Generalnego IAU w 1982 roku w Patras (IAU 1983) jako system przejściowy pomiędzy systemami ziemskim i niebieskim. Jako biegun Pośredniego Systemu Odniesienia wprowadzono w miejsce rzeczywistego chwilowego bieguna Niebieski Biegun Efemerydalny *CEP* spójny z najnowszym modelem precesji (model IAU1976) oraz teorią nutacji (teoria nutacji IAU1980). *CEP* został zdefiniowany jako biegun pośredni (pomiędzy biegunem ziemskim i niebieskim), który rozdziela ruch bieguna ziemskiego systemu odniesienia na dwie części. Część niebieska dotyczyła ruchu *CEP* względem niebieskiego systemu odniesienia z uwzględnieniem wszystkich wyrazów długookresowych (precesja/nutacja wymuszona) zawierająca wyrazy o okresach dłuższych od 2 dób (tj. o częstotliwościach pomiędzy -0.5 i $+0.5$ cykli na dobę gwiazdową). Część ziemską dotyczyła ruchu *CEP* względem ziemskiego systemu odniesienia (wymuszony ruch *CEP* względem ziemskiego systemu odniesienia odpowiada ruchowi średniej osi Tisseranda Ziemi) z uwzględnieniem wszystkich wyrazów długookresowych (ruch bieguna – czyli nutacja swobodna), zawierająca wyrazy o okresach dłuższych od 2 dób (tj. o częstotliwościach pomiędzy -0.5 i $+0.5$ cykli na dobę gwiazdową) (Capitaine 2000, 2002). Miejsce chwilowego równika jako „równika pośredniego” zajął odpowiednio równik określony przez bliski chwilowemu biegunowi Ziemi Niebieski Biegun Efemerydalny *CEP*, którego parametry położenia względem bieguna Konwencjonalnego Systemu Ziemskiego *CTS* dostarczane były początkowo przez IPMS, a następnie od 1988 roku przez IERS. Miejsce chwilowego południka Greenwich jako „zerowego południka pośredniego” zajął południk Greenwich BIH konwencjonalnego systemu ziemskiego Geodezyjnego Systemu Odniesienia GRS80.

Obrót systemu pośredniego odbywał się wokół osi *CEP* albo o kąt równy *GST* w odniesieniu do punktu równonocy wiosennej albo o „kąt gwiazdowy” w odniesieniu do *CEO* na równiku *CEP*. Obrót ten przeprowadzał pośredni system ziemski w pośredni system niebieski. Podobnie jak w procedurze sprzed 1980 roku, uwzględnienie nutacji i precesji, według jednak nowych bardziej dokładnych teorii dopasowanych do definicji *CEP*, dostarczało kolejno geocentrycznego systemu niebieskiego na epokę obserwacji, a następnie na epokę katalogu.

Kolejne zmiany w procedurze transformacji systemu ziemskiego do niebieskiego zaszły w wyniku dalszego wzrostu dokładności teorii do poziomu mikrosekund łuku, jaki nastąpił w latach 1990–1999 oraz rosnących wymagań dokładnościowych. Definicja *CEP* przestała być spójna z precyzją i rozdzielczością przestrzenną współczesnych technik obserwacyjnych, a także z dokładnością teorii i częstotliwością włączonych w nie wyrazów. Wykorzystanie opracowanej przez Guinota koncepcji kinematycznie zdefiniowanego punktu nazwanego Nieobrcającym się Punktem Początkowym *NRO* (Guinot 1979) oraz wprowadzenie definicji Niebieskiego Bieguna Pośredniego *CIP* (bardziej rozwiniętej definicji *CEP*) posłużyło do sformułowania nowej definicji punktu początkowego liczenia rektascensji *CEO*, a także zdefiniowania punktu początkowego dla długości w systemie ziemskim *TEO*. Jednocześnie opracowano spójną z tymi definicjami nową teorię precesyjno-nutacyjną IAU2000 (Dehant i in. 1999), definicję *CIP* oraz definicję parametrów opisujących ruch bieguna. Parametry ruchu bieguna dają się obecnie wyznaczać z dokładnością lepszą od milisekundy łuku na podstawie kilkugodzinnnych obserwacji GPS i VLBI. Jednocześnie wyrazy o okresach dobowych i subdobowych występujące zarówno w opisie nutacji, jak i ruchu bieguna dają się wyznaczyć z dokładnością mikrosekund łuku. Aby sprostać wysokim wymaganiom dokładnościowym, dotychczas stosowany rozdział zjawiskowy pomiędzy nutacją swobodną i wymuszoną zastąpiony został rozdziałem uwzględniającym charakterystykę częstotliwościową oddzielnych składowych tych efektów. Zgodnie z Rezolucją B1.7 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001) Niebieski Biegun Pośredni *CIP* rozdziela ruch bieguna ziemskiego systemu odniesienia na dwie części, z których jedna w postaci modelu matematycznego zawiera wyrazy precesyjne oraz część wyrazów nutacji wymuszonej, druga zaś wyrazy nutacji swobodnej, wyznaczone przez IERS jako parametry ruchu bieguna, efekty pływów oceanicznych oraz pozostałe wyrazy nutacji wymuszonej. Część zawierająca wszystkie wyrazy o okresach dłuższych od 2 dób (tj. o częstotliwościach pomiędzy -0.5 i $+0.5$ cykli na dobę gwiazdową) określona została jako precesja/nutacja, czyli ruch *CIP* względem systemu niebieskiego *GCRS*. Część zaś zawierająca wszystkie wyrazy ruchu wstecznego spoza pasma dobowego (tj. o częstotliwościach mniejszych od -1.5 i większych od -0.5 cykli na dobę gwiazdową) określona została jako ruch bieguna, czyli ruch *CIP* względem systemu ziemskiego *ITRS* (Capitaine 2002). Więcej szczegółów na temat rozdziału efektów nutacyjnych na części opisujące ruch *CIP* względem układów ziemskiego i niebieskiego podano w pracy (Brzeziński 2004).

Od 1 stycznia 2003 roku, na mocy Rezolucji B1.7 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w 2000 roku w Manchesterze (IAU 2001), obowiązuje nowa procedura transformacji systemu ziemskiego w system niebieski. Jako „równik obserwacyjny” przyjmuje się równik *ITRS*, zaś południk zerowy *ITRS* odgrywa rolę „zerowego południka obserwacyjnego”. Biegunem systemu pośredniego *IRS* jest Niebieski Biegun Pośredni *CIP*, którego parametry

położenia względem bieguna *ITRS* dostarczane są przez IERS. Transformacja *ITRS* do *IRS_{ZIEMSKI}* określa położenie *TEO* (dokładna realizacja chwilowego południka zerowego) na równiku *CIP* zgodnie z kinematyczną definicją *NRO* w *ITRS*, gdy *CIP* porusza się względem *ITRS* pod wpływem ruchu bieguna. Obrót systemu pośredniego *IRS* odbywa się wokół osi *CIP* o kąt równy Kątowi Obrotu Ziemi *ERA* będącemu liniową funkcją *UTI* i przeprowadza system *IRS_{ZIEMSKI}* w system *IRS_{NIEBIESKI}*, w którym określane jest miejsce pozorowane. Uwzględnienie precesji/nutacji według teorii IAU2000 przeprowadza ten system do Geocentrycznego Niebieskiego Systemu Odniesienia *GCRS*. Dodatkowo z *GCRS* do Barycentrycznego Niebieskiego Systemu Odniesienia *BCRS* przechodzi się przez zastosowanie postnewtonowskiej transformacji współrzędnych narzuconej przez formę odpowiednich tensorów metrycznych obu systemów i zdefiniowanej w Rezolucji B1.3 XXIV Zgromadzenia Generalnego IAU w Manchesterze w 2000 roku (IAU 2001).

5. PODSUMOWANIE

Wzrost precyzji obserwacji wynikający z doskonalenia istniejących technologii (VLBI, SLR, transfer czasu) oraz wprowadzania nowych, powszechnie stosowanych technologii obserwacyjnych (np. satelitarne systemy nawigacyjne) spowodował potrzebę opracowania i zastosowania nowych systemów odniesienia oraz bardziej precyzyjnego zdefiniowania relacji pomiędzy systemami odniesienia. Zdefiniowany z uwzględnieniem współczesnego formalizmu ogólnej teorii względności kinematyczny, nieobrcający się w przestrzeni Międzynarodowy Niebieski System Odniesienia *ICRS* jest czasoprzestrzennym systemem niezależnym od położenia osi obrotu Ziemi, a także od położenia ekliptyki. Rolę ekliptyki przejmuje ustalona w przestrzeni płaszczyzna wyznaczona przez biegun *ICRS*. System *ICRS* tworzą łącznie Barycentryczny Niebieski System Odniesienia *BCRS* i Geocentryczny Niebieski System Odniesienia *GCRS*. Używany do 1984 roku jako argument równań ruchu ciał niebieskich Układu Słonecznego Czas Efemerydalny *ET* został zastąpiony Ziemijskim Czasem Dynamicznym *TDT* – czasem własnym obserwatora na geoidzie – przemianowanym w 1991 roku na Czas Ziemijski *TT* oraz Barycentrycznym Czasem Dynamicznym *TDB*, przeznaczonym jako argument efemeryd odniesionych do barycentrum Układu Słonecznego: np. Księżyca, planet, a także jako argument precesji. W definicji obu systemów niebieskich *GCRS* i *BCRS* znajduje się składowa czasowa, określająca czas współrzędnych w danym systemie. Rozróżniono czas współrzędnych geocentrycznych *TCG* systemu *GCRS* od Czasu Ziemijskiego *TT* – geocentrycznego czasu własnego, odniesionego do ustalonego potencjału siły ciężkości odpowiadającego potencjałowi na geoidzie. Dla barycentrycznego systemu *BCRS* zdefiniowano czas współrzędnych barycentrycznych *TCB*. Określone relacje pomiędzy systemami czasu zapewniają dokładność transformacji na poziomie mikrosekundy łuku. W oparciu o koncepcję kinematycznie zdefiniowanego

punktu nazwanego Nieobrcającym się Punktem Początkowym *NRO* sformułowano definicję Niebieskiego Bieguna Pośredniego *CIP* (zastąpił on używany poprzednio Niebieski Biegun Efemerydalny *CEP*, a wcześniej – chwilowy biegun ziemski) i Niebieskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego *CEO* na równiku *CIP* (zastąpił on prawdziwy punkt równonocy wiosennej, od którego liczona była rektascensja miejsc pozornych). Zdefiniowano także punkt początkowy dla długości astronomicznych w systemie ziemskim, któremu nadano nazwę Ziemskiego Efemerydalnego Punktu Początkowego *TEO* na równiku *CIP*. Z definicjami *CEO* i *TEO* wiąże się definicja Kąta Obrótu Ziemi *ERA*, który zastąpił prawdziwy czas gwiazdowy *GST*, jako argument przejścia pomiędzy systemami niebieskim i ziemskim. Wprowadzenie Kąta Obrótu Ziemi *ERA* wiąże się ze zmianą definicji *UTI*, który obecnie określony jest jako liniowa funkcja *ERA* i stąd stanowi miarę ruchu obrotowego Ziemi wokół osi *CIP*.

PODZIĘKOWANIE

Niniejszą pracę wykonano w ramach badań statutowych Instytutu Geodezji i Kartografii objętych zadaniem S/01 „Problemy geodezji i geodynamiki”. Stanowi ona kontynuację prac autora rozpoczętych w trakcie opracowywania „Rocznika Astronomicznego” na 2004 rok. Wyrazy podziękowania autor kieruje pod adresem prof. Władysława Górala za wykonanie wnikliwej recenzji pracy. Uwagi zawarte w recenzji prof. Władysława Górala zostały wykorzystane przy opracowaniu poprawek i uzupełnień do niniejszej pracy.

BIBLIOGRAFIA

- Brumberg V.A., Kopeikin S.M., 1989, *Relativistic Reference Systems and Motion of Test Bodies in the Vicinity of the Earth*, Nouvo Cimento, Vol. 103B, No 1, pp. 63–98.
- Brzeziński A., 2004, *Nowy model precesyjno-nutacyjny*, Monographic series of the Institute of Geodesy and Cartography, Nr 10, Warsaw 2004, pp. 145–161 (this issue).
- Capitaine N., 2000, *Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin*, Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry, (eds.) K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, UNSO, pp. 153–163.
- Capitaine N., 2002, *Comparison of “Old” and “New” Concepts: The Celestial Intermediate Pole and Earth Orientation Parameters*, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, IERS Technical Note No 29, Observatoire de Paris, pp. 35–44.
- Capitaine N., Guinot B., Souchay J., 1986, *A non-rotating origin on the instantaneous equator: definition, properties and use*, Celestial Mechanics, Vol. 39, pp. 283–307.

- Capitaine N., Guinot B., 1988, *A Non-Rotating Origin on the Instantaneous Equator*, A.K. Babcock and G.A. Wilkins (eds.), *The Earth's Rotation and Reference Frames for Geodesy and Geophysics*, pp. 33–38.
- Capitaine N., Wallace P.T., McCarthy D.D., 2003, *Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1*, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 406, pp. 1135–1149.
- Chovitz B.H., 1988, *Parameters of common relevance of astronomy, geodesy, and geodynamics*, *Bulletin Geodesique*, Vol. 62, No 3, p. 359–367.
- Damour T., Soffel M., Xu C., 1991, *General-relativistic celestial mechanics. I. Method and definition of reference systems*, *Physical Review D*, Vol. 43, Issue 10, pp. 3273–3307.
- Damour T., Soffel M., Xu C., 1992, *General-relativistic celestial mechanics. II. Translational equations of motion*, *Physical Review D*, Vol. 45, Issue 4, pp. 1017–1044.
- Damour T., Soffel M., Xu C., 1993, *General-relativistic celestial mechanics. III. Rotational equations of motion*, *Physical Review D*, Vol. 47, Issue 8, pp. 3124–3135.
- Damour T., Soffel M., Xu C., 1994, *General-relativistic celestial mechanics. IV. Theory of satellite motion*, *Physical Review D*, Vol. 49, Issue 2, pp. 618–635.
- Dehant V. i inni, 1999, *Considerations concerning the non-rigid Earth nutation theory*, *Celestial Mechanics*, Vol. 72, pp. 245–310.
- Fukushima T., Fujimoto M.K., Kinoshita H., Aoki S., 1986, *A system of astronomical constants in the relativistic framework*, *Celestial Mechanics*, Vol. 36, pp. 215–230.
- Groten E., 2000, *Report of Special Commission 3 of IAG*, in *Proceedings of IAU Colloquium 180 "Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry"*, (ed.) K.J. Johnston et al., U.S. Naval Observatory, Washington D.C., pp. 337–352.
- Guinot B., 1979, *Basic Problems in the Kinematics of the Rotation of the Earth*, in D.D. McCarthy and J.D. Pilkington (eds.), *Time and the Earth's Rotation*, D. Reidel Publ., pp. 7–18.
- Guinot B., Seidelman P.K., 1988, *Time scales: their history, definition and interpolation*, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 194, pp. 304–308.
- Hirayama T., Kinoshita H., Fujimoto M.K., Fukushima T., 1987, *Analytical expression of TDB-TDT₀*, *Proceedings of IAG Symposia, IUGG XIX General Assembly, Vancouver, 1987, T. 1*, pp. 91–100.
- IAU, 1957, *Transactions of the International Astronomical Union*, IXB, P. Th. Oosterhoff (ed.), Cambridge University Press, London, UK.
- IAU, 1960, *Transactions of the International Astronomical Union*, XB, D.H. Sadler (ed.), Cambridge University Press, London, UK.
- IAU, 1977, *Transactions of the International Astronomical Union*, XVIB, E.A. Müller, A. Jappel (eds.), Dodrecht, Kluwer, The Netherlands.

- IAU, 1983, *Transactions of the International Astronomical Union*, XVIIIIB, R.M. West (ed.), Dodrecht, Kluwer, The Netherlands.
- IAU, 1992, *Transactions of the International Astronomical Union*, XXIB, J. Bergeron (ed.), Dodrecht, Kluwer, The Netherlands.
- IAU, 2001, *Transactions of the International Astronomical Union*, XXIVB, H. Rickman (ed.), Dodrecht, Kluwer, The Netherlands.
- IERS, 1996, *IERS Conventions (1996)*, IERS Technical Note 21, (ed.) D.D. McCarthy, July 1996, Observatoire de Paris, Paris.
- IERS, 2003, *IERS Conventions (2003)*, IERS Technical Note 32, (eds.) D.D. McCarthy and G. Petit, November 2003, Observatoire de Paris, Paris.
- Irvin A., Fukushima T., 1999, *A numerical time ephemeris of the Earth*, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 348, pp. 642–652.
- Klioner S.A., Voinov A.V., 1993, *Relativistic Theory of Astronomical Reference Systems in Closed Form*, *Physical Review D*, Vol. 48, Issue 4, pp. 1451–1461.
- Kolaczek B., 1989, *Observational Determination of the Earth's Rotation, Gravity and Low-Frequency Geodynamics*, ed. R. Teisseyre, PWN Warszawa, Elsevier Amsterdam–Oxford–New York–Tokyo, pp. 295–361.
- Kopeikin S.M., 1988, *Celestial Coordinate Reference Systems in Curved Space-Time*, *Celestial Mechanics*, Vol. 44, pp. 87–115.
- Kovalevsky J., 2002, *Comparison of “Old” and “New” Concepts: Reference Systems*, *Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions*, IERS Technical Note No 29, Observatoire de Paris, pp. 31–34.
- Kryński J., 2004, *Relacje pomiędzy systemami niebieskimi i systemem ziemskim*, *Monographic series of the Institute of Geodesy and Cartography*, Nr 10, Warsaw 2004, pp. 85–110 (this issue).
- Kryński J., Sękowski M., 2003, *Rocznik Astronomiczny na rok 2004*, red. J. Kryński, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa, 221 s.
- Landau L.D., Lifszyc E.M., 1980, *Teoria pola*, PWN, Wydanie III, Warszawa.
- Lieske J.H., Lederle T., Fricke W., Morando B., 1977, *Expressions for the Precession Quantities Based upon the IAU (1976) System of Astronomical Constants*, *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 58, pp. 1–16.
- McCarthy D.D., Capitaine N., 2002, *Compatibility with Past Observations*, *Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions*, IERS Technical Note No 29, Observatoire de Paris, pp. 85–88.
- Petit G., 2002, *Comparison of “Old” and “New” Concepts: Coordinate Times and Time Transformations*, *Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions*, IERS Technical Note No 29, Observatoire de Paris, pp. 19–29.

- Seidelmann P.K., Kovalevsky J., 2002, *Application of the new concepts and definitions (ICRS, CIP and CEO) in fundamental astronomy*, Astronomy and Astrophysics, Vol. 392, pp. 341–351.
- Standish E.M., 1998, *Time scales in the JPL and CfA ephemerides*, Astronomy and Astrophysics, Vol. 336, pp. 381–384.

JAN KRYŃSKI
Institute of Geodesy and Cartography
Warsaw

NEW TIME SCALES AND THE CONCEPT OF THE INTERMEDIATE REFERENCE SYSTEM

S u m m a r y

The definitions of some time systems have changed with the adoption of the new celestial reference systems and determination their relation with the terrestrial reference system by the XXIV IAU General Assembly in Manchester in 2000. The changes concern, in particular, definitions of Terrestrial Time *TT* and Universal Time *UT1*. The classification of time scales is presented and the relations between them are discussed. The role and use of individual time scales is described. Second part of the paper concerns the concept of the Intermediate Reference System *IRS* with the Celestial Intermediate Pole *CIP*. The idea of kinematic definition of Non-Rotating Origin *NRO* that gives orientation of the *IRS* is presented. The role of the *IRS* in process of transformation of the *GCRS* into the *IIRS* is discussed. The concept of celestial and terrestrial representation of the *IRS* was presented. Also definitions of the Celestial Ephemeris Origin *CEO* and the Terrestrial Ephemeris Origin *TEO* that determine orientation of both representations of the *IRS*, were given.