

INSTYTUT GEODEZJI I KARTOGRAFII

---

SERIA MONOGRAFICZNA NR 10

**NOWE OBOWIĄZUJĄCE  
NIEBIESKIE I ZIEMSKIE  
SYSTEMY I UKŁADY ODNIESIENIA  
ORAZ ICH WZAJEMNE RELACJE**

pod redakcją

JANA KRYŃSKIEGO

Warszawa 2004



**Rada Wydawnicza**  
**przy Instytucie Geodezji i Kartografii**  
Editorial Council  
at the Institute of Geodesy and Cartography

*Adam Linsenbarth* (przewodniczący, chairman),  
*Andrzej Ciołkosz* (zastępca przewodniczącego, deputy chairman),  
*Teresa Baranowska, Stanisław Białousz* (Wydział Geodezji i Kartografii PW),  
*Wojciech Janusz, Jan R. Ołędzki* (Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW),  
*Andrzej Sas-Uhrynowski, Janusz Zieliński* (Centrum Badań Kosmicznych),  
*Hanna Ciołkosz* (sekretarz, secretary)

**Redaktor naukowy**  
*Jan Kryński*

**Redaktor techniczny**  
*Edyta Jureczak*

**Adres Redakcji**  
Instytut Geodezji i Kartografii  
02-679 Warszawa, ul. Modzelewskiego 27  
Address of the Editorial Board:  
Institute of Geodesy and Cartography  
02-679 Warsaw, Modzelewskiego 27 Str.  
Poland  
*e-mail: [boi@igik.edu.pl](mailto:boi@igik.edu.pl)*

© Copyright by Instytut Geodezji i Kartografii

ISBN 83-60024-00-6

IGiK, Warszawa 2004 r.  
Skład komputerowy i druk: IGiK

**SPIS TREŚCI**

<i>Słowo wstępne</i> .....	7
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
<i>JERZY B. ROGOWSKI</i>	
Systemy i układy odniesienia w geodezji, geodynamice i astronomii .....	11
<i>JERZY B. ROGOWSKI</i>	
<i>MARIUSZ FIGURSKI</i>	
Ziemske systemy i układy odniesienia oraz ich realizacje .....	37
<i>BARBARA KOŁACZEK</i>	
Niebieskie fundamentalne systemy odniesienia i ich realizacje .....	69
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
Relacje pomiędzy systemami niebieskimi i systemem ziemskim .....	85
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
Nowe skale czasu i idea pośredniego systemu odniesienia .....	111
<i>ALEKSANDER BRZEZIŃSKI</i>	
Nowy model precesyjno-nutacyjny .....	145
<i>BARBARA KOŁACZEK</i>	
Monitorowanie i charakterystyka zmian ruchu obrotowego Ziemi ...	163
<i>MARCIN SĘKOWSKI</i>	
Rocznik Astronomiczny IGIK wobec najnowszych rezolucji IAU ...	197
<i>WIESŁAW KOSEK</i>	
<i>MACIEJ KALARUS</i>	
<i>WALDEMAR POPIŃSKI</i>	
Porównanie wyników różnych metod prognozowania parametrów orientacji Ziemi .....	217
<i>Rezolucje Zgromadzenia Generalnego IAU 1991</i> .....	243
<i>Rezolucje Zgromadzenia Generalnego IAU 1994</i> .....	253
<i>Rezolucje Zgromadzenia Generalnego IAU 1997</i> .....	257
<i>Rezolucje Zgromadzenia Generalnego IAU 2000</i> .....	265



**NEW CELESTIAL AND TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEMS  
AND FRAMES AND THEIR MUTUAL RELATIONS**

**CONTENTS**

<i>Introduction</i> .....	7
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
<i>JERZY B. ROGOWSKI</i>	
Reference Systems and Frames in Geodesy, Geodynamics and Astronomy .....	11
<i>JERZY B. ROGOWSKI</i>	
<i>MARIUSZ FIGURSKI</i>	
Terrestrial Reference Systems and Reference Frames and their Realizations .....	37
<i>BARBARA KOŁACZEK</i>	
Fundamental Celestial Reference Systems and Frames and their Realizations .....	69
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
Relations between Celestial Reference Systems and the Terrestrial Reference System .....	85
<i>JAN KRYŃSKI</i>	
New Time Scales and the Concept of the Intermediate Reference System .....	111
<i>ALEKSANDER BRZEZIŃSKI</i>	
New Precession-Nutation Model .....	145
<i>BARBARA KOŁACZEK</i>	
Monitoring and the Characteristic of Variations of Earth Rotation ...	163
<i>MARCIN SĘKOWSKI</i>	
Astronomical Almanac of IGiK (Rocznik Astronomiczny IGiK) in the Presence of Newest IAU Resolutions .....	197
<i>WIESŁAW KOSEK</i>	
<i>MACIEJ KALARUS</i>	
<i>WALDEMAR POPIŃSKI</i>	
Comparison of Earth Orientation Parameters Prediction Using Different Methods .....	217
<i>Resolutions of the IAU General Assembly 1991</i> .....	243
<i>Resolutions of the IAU General Assembly 1994</i> .....	253
<i>Resolutions of the IAU General Assembly 1997</i> .....	257
<i>Resolutions of the IAU General Assembly 2000</i> .....	265

*Recenzent:*  
*prof. dr hab. Władysław Góral*

*Słowa kluczowe:* *niebieski system odniesienia, ziemski system odniesienia, układ odniesienia, układ współrzędnych, systemy czasu, parametry ruchu obrotowego Ziemi, precesja, nutacja, ruch bieguna, transformacje*

*Słowo wstępne*

*Problem definicji i praktycznej realizacji ziemskiego i niebieskiego systemu odniesienia należy do fundamentalnych problemów astronomii, geodezji, metrologii i badań geodynamicznych. W szczególności, we współczesnej geodezji wiąże się on z możliwością efektywnego korzystania z globalnych precyzyjnych systemów obserwacyjnych. Obserwacje satelitarne i astronomiczne odniesione są do układów niebieskich. Wykorzystanie takich obserwacji do wyznaczania pozycji punktów na powierzchni Ziemi w dostatecznie precyzyjnie zdefiniowanym i realizowanym ziemskim układzie odniesienia wymaga odpowiednio dokładnie zdefiniowanego i realizowanego niebieskiego układu odniesienia oraz odpowiednio dokładnego opisu ruchu obrotowego Ziemi, który określa relację pomiędzy układem ziemskim i niebieskim.*

*W ostatnich 20 latach zaszły ważne zmiany w poznaniu ruchu obrotowego Ziemi. Nastąpił ogromny postęp w zakresie osiąganych precyzji i rozdzielczości czasowych obserwacji, jak również w strategiach i technologiach ich opracowywania. Istotną zmianą jest także fakt, że począwszy od 1980 roku, parametry ruchu obrotowego Ziemi są monitorowane w sposób ciągły. Wiodącą rolę w ich wyznaczeniu odgrywają pomiary interferometryczne obiektów pozagalaktycznych. Używanie dotychczasowego katalogowego układu odniesienia, opartego na równiku niebieskim (określonego przez średnią w sensie ruchów bieguna oś obrotu Ziemi) oraz punkcie początkowym zdefiniowanym położeniem ekliptyki (punkt średniej równonocy wiosennej) stawało się coraz trudniejsze, a nawet prowadziło do degradacji precyzji osiąganej w obserwacjach astronomicznych, ocenianej na kilka milisekund łuku. Dodatkowo konstrukcja katalogów nie zapewniała całkowitej eliminacji obrotu definiowanych przez nie układów odniesienia.*

*W ślad za postępem w dziedzinie obserwacji, w latach 1990–1999 nastąpiła również ogromna poprawa w modelowaniu teoretycznym, osiągającym dokładności na poziomie mikrosekund łuku. Znalazło to odbicie także w uściśleniu i bardziej precyzyjnym zdefiniowaniu i realizacji ziemskich systemów odniesienia. Międzynarodowy Ziemski System Odniesienia ITRS, którego kolejnymi, coraz dokładniejszymi realizacjami są definiowane przez IERS kinematyczne układy odniesienia ITRF, został przyjęty jako obowiązujący przez Międzynarodową Unię Geodezji i Geofizyki IUGG w 1991 r.*

*Nowe definicje niebieskich systemów odniesienia, transformacje między systemami oraz relacje między systemami czasu zostały przyjęte przez Międzynarodową Unię Astronomiczną IAU (2000 r.) i IUGG (2003 r.) za obowiązujące od 1 stycznia 2003 r. Zdefiniowany w ramach ogólnej teorii*

względności w czterowymiarowej czasoprzestrzeni kinematyczny Międzynarodowy Niebieski System Odniesienia ICRS, o stałej, z dokładnością do ruchów własnych definiujących go obiektów pozagalaktycznych, orientacji, zastąpił stosowane przez ostatnie stulecia quasi-kartezjańskie systemy katalogów fundamentalnych, zorientowane za pomocą średniego równika i średniego punktu równonocy wiosennej na zadaną epokę. Używane dotychczas do transformacji niebieskiego systemu odniesienia w ziemski system odniesienia modele precesji IAU1976 i nutacji IAU1980 wraz z modelem ruchu bieguna (od 1984 r. – Niebieskiego Bieguna Efemerydalnego CEP) zastąpiono nowym, precyzyjnym modelem precesyjno-nutacyjnym IAU2000 oraz spójnym z nim modelem ruchu bieguna (Pośredniego Bieguna Niebieskiego CIP). Miejsce układu równikowego odniesionego do punktu równonocy na epokę daty, w którym wyrażano pozycje pozorne, zajął znacznie bardziej precyzyjnie zdefiniowany Pośredni System Odniesienia IRS, zaś miejsce czasu gwiazdowego GST jako parametru transformacji – Kąt Obrotu Ziemi ERA związany nową definicją z czasem UT1.

W stosunkowo niedługim czasie, w zakresie definicji i realizacji systemów odniesienia, systemów czasu i modelowania wzajemnych relacji między systemami zaszły zasadnicze zmiany zarówno jakościowe jak i ilościowe. Prace podjęte w Zakładzie Geodezji i Geodynamiki Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie nad opracowaniem Rocznika Astronomicznego IGIK na 2004 rok z zastosowaniem nowych obowiązujących systemów odniesienia, systemów czasu oraz transformacji pomiędzy systemami, a także wyróżnienie Aleksandra Brzezińskiego z Centrum Badań Kosmicznych PAN zespołową Europejską Nagrodą Kartezjusza za opracowanie modelu nutacji dla niesztymnej Ziemi przyczyniły się do wzrostu zainteresowania w krajowym środowisku naukowym problematyką współczesnych systemów odniesienia. Staraniem Sekcji Dynamiki Ziemi Komitetu Geodezji PAN zorganizowany został we współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii workshop na temat „Nowe obowiązujące systemy współrzędnych ziemskich i niebieskich oraz ich wzajemne relacje”.

W workshopie, który odbył się w IGIK w Warszawie w dniach 27–28 maja 2004 roku, wzięło udział 55 uczestników reprezentujących wszystkie krajowe ośrodki naukowe zaangażowane w nauczanie akademickie i badania w zakresie geodezji, astronomii geodezyjnej i geodynamiki. Opracowany przez Komitet Naukowy workshopu program obejmował 8 przeglądowych wykładów: J. Kryński, J.B. Rogowski „Systemy i układy współrzędnych w geodezji, geodynamice i astronomii”, J.B. Rogowski, M. Figurski „Ziemskie globalne systemy odniesienia i ich realizacje”, B. Kołaczek „Nowe niebieskie systemy odniesienia – definicje, rozwój historyczny, realizacje”, J. Kryński „Relacje pomiędzy systemami niebieskimi i systemem ziemskim”, J. Kryński „Nowe skale czasu i idea pośredniego systemu odniesienia”, A. Brzeziński, „Nowy model precesyjno-nutacyjny”, B. Kołaczek „Parametry ruchu obrotowego Ziemi i ich zmienność”, M. Sękowski „Rocznik Astronomiczny IGIK



wobec najnowszych rezolucji IAU”, których treść została uzgodniona z zaproszonymi do ich wygłoszenia wykładowcami. W sesji posterowej zaprezentowano dodatkowo pracę autorstwa Wiesława Koska, Macieja Kalarusa i Waldemara Popińskiego „Porównanie różnych metod prognozowania parametrów orientacji Ziemi” oraz udostępniono w postaci przygotowanych w IGiK posterów treści rezolucji Międzynarodowej Unii Astronomicznej IAU dotyczących systemów odniesienia z czterech ostatnich Zgromadzeń Generalnych: 1991, 1994, 1997 i 2000.

Znaczną część workshopu przeznaczono na dyskusje, w trakcie których udzielano dodatkowych wyjaśnień w zakresie nowych pojęć, terminologii oraz podkreślano potrzebę wprowadzenia nowych systemów do programów kształcenia akademickiego w dziedzinie geodezji i kartografii. W podsumowaniu wysoko oceniono poziom, program i przygotowanie naukowe workshopu. Wyrażona została potrzeba szerszego rozpowszechnienia w środowisku problematyki związanej z systemami i układami odniesienia. Uznano za wskazane opracowanie i przedstawienie materiałów z workshopu w formie publikacji monograficznej. Przychylając się do wniosku uczestników workshopu, Prezydium Sekcji Dynamiki Ziemi Komitetu Geodezji PAN zobowiązało Autorów prac prezentowanych w ramach workshopu do przygotowania ich w postaci publikacji. Przyjęta została propozycja Dyrekcji IGiK wydania jednolicie opracowanych materiałów jako oddzielnego zeszytu z Serii Monograficznej IGiK. Sekcja Dynamiki Ziemi Komitetu Geodezji PAN powierzyła redakcję naukową tego wydawnictwa Janowi Kryńskiemu.

Przy formułowaniu programu workshopu kierowano się intencją przekazania w możliwie całościowej, a jednocześnie przystępnej formie współczesnego ujęcia zagadnień związanych z niebieskimi i ziemskimi systemami odniesienia i ich realizacji, systemami czasu oraz relacji pomiędzy tymi systemami. Mimo krótkiego, bo trwającego zaledwie trzy miesiące okresu przygotowań do workshopu, Autorzy zamawianych prezentacji zdołali spełnić oczekiwania organizatorów. W zwięzłej i przejrzystej formie zaprezentowali powierzone im do opracowania zagadnienia. Jednak już w trakcie obrad pojawiło się wiele problemów natury terminologicznej i interpretacyjnej. Wynikają one nie tylko z faktu, że nowe definicje systemów odniesienia i systemów czasu oparte są na ogólnej teorii względności, która zastąpiła używaną dotychczas mechanikę newtonowską, czego konsekwencją jest posługiwanie się czasoprzestrzenią o nieeuklidesowej geometrii, zamiast stosowanej do tej pory trójwymiarowej przestrzeni z geometrią euklidesową, ale również z powodu niejednoznaczności interpretacji nowych pojęć i terminów używanych dotychczas niemal wyłącznie w języku angielskim. Przykładowo, dla wyraźnie rozróżnianych w języku angielskim pojęć „reference system”, „reference frame” i „coordinate system” przyjmowanie w języku polskim odpowiednio nazw „system odniesienia”, „układ odniesienia” i „układ współrzędnych” i dodatkowo wyraźne rozróżnianie tych terminów i w konsekwen-

*cji rygorystyczne ich stosowanie nie spotyka się z pełną akceptacją w krajowym środowisku naukowym.*

*Prace zamieszczone w niniejszej monografii stanowią zwarty materiał, tworzący w całości unikatowe opracowanie wprowadzające w kompleks zagadnień związanych z nowymi niebieskimi i ziemskimi systemami odniesienia oraz zachodzącymi między nimi relacjami. W zawartym w poszczególnych pracach przeglądzie historycznym rozwoju systemów i układów odniesienia, traktowanym przez Autorów z różnych perspektyw, należy dopatrywać się nie tylko wyjaśnienia potrzeby wprowadzenia nowych systemów i ich złożoności, ale także wartościowego uporządkowania wiedzy w omawianej dyscyplinie. Szczególnie przydatna dla czytelnika monografii może być bogata lista materiałów źródłowych cytowanych przez Autorów poszczególnych opracowań. W końcowej części monografii umieszczono specjalnie w tym celu opracowane tłumaczenia na język polski rezolucji Międzynarodowej Unii Astronomicznej IAU dotyczących systemów odniesienia oraz obowiązujących skal czasu z czterech ostatnich Zgromadzeń Generalnych z lat 1991, 1994, 1997 i 2000.*

*Słowa uznania pragnę skierować pod adresem Autorów, którzy kosztem dużego nakładu pracy starali się nadać wysoki poziom naukowy i edukacyjny przygotowanym do druku opracowaniom. Do Autorów kieruję również wyrazy podziękowania za owocną współpracę w procesie redakcji naukowej przygotowywanych tekstów. Szczególną rolę w przygotowaniu materiałów do druku odegrał prof. Władysław Góral, który wnikliwie wykonał żmudną pracę recenzenta wszystkich zamieszczonych w zeszycie artykułów. Jego cenne uwagi przyczyniły się nie tylko do podniesienia wartości poszczególnych prac, ale były również pomocne w pracy nad ujednoczeniem całości wydawnictwa. Znaczący wkład w pracę nad ujednoczeniem rysunków i wykresów zamieszczonych w monografii wniósł Łukasz Żak z Zakładu Geodezji i Geodynamiki IGiK. Autorzy monografii mają nadzieję, że zamieszczone w niej materiały spotkają się z szerokim zainteresowaniem w polskim środowisku naukowym, w tym szczególnie w jednostkach dydaktycznych.*

*Redaktor Naukowy  
Jan Kryński*