

planety opracowanie pełnego analitycznego modelu tego ruchu jest bardzo złożonym problemem. Wymaga znajomości wewnętrznej budowy planety, zrozumienia roli ziemskich ośrodków ciekłych (czyli na przykład oceanów) i wiatrów w zaburzeniach ruchu obrotowego Ziemi, poznania oddziaływań grawitacyjnych ze strony ciał niebieskich, a także wykorzystania zaawansowanych procedur obliczeniowych.

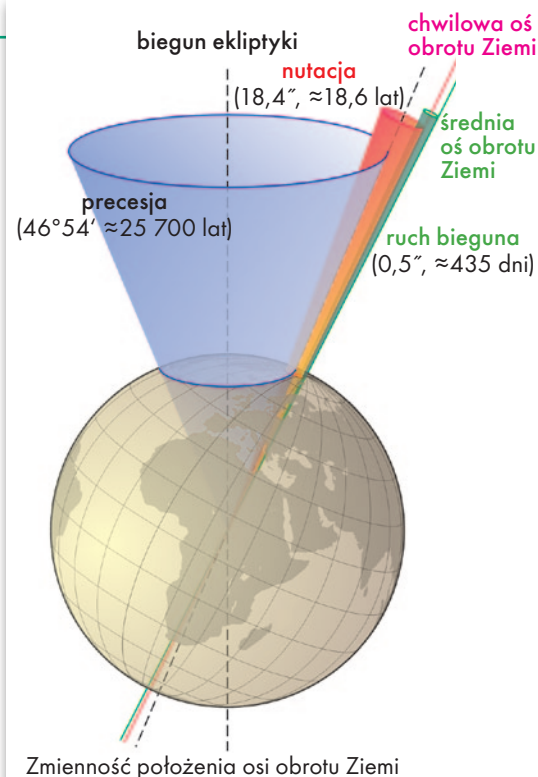
• Pierwsza kampania porównawcza

Wiele ośrodków badawczych i komercyjnych z całego świata podejmowało próby opracowania metody prognozowania EOP, wykorzystując zarówno modele geofizyczne, jak i zaawansowane metody analizy szeregów czasowych. Wyrazem zrozumienia wagi tego zagadnienia było przeprowadzenie w latach 2006–2008 kampanii porównawczej otrzymywanych EOP (Earth Orientation Parameters Prediction Comparison Campaign,

EOP PCC), której celem było porównanie oraz walidacja tych zróżnicowanych metod predykcji pod kątem znalezienia optymalnej metody prognozowania. To ważne międzynarodowe przedsięwzięcie poprowadziła Politechnika Wiedeńska w ścisłej współpracy z Centrum Badań Kosmicznych PAN.

• Druga kampania porównawcza

W ciągu ponad dziesięciu lat, które upłynęły od ostatniej kampanii porównawczej predykcji EOP, dokonano znacznego postępu w metodach przetwarzania obserwacji geodezyjnych. Zmniejszeniu uległy również opóźnienia w dostarczaniu tych danych oraz poszerzona została wiedza na temat roli geofizycznych ośrodków ciekłych w zaburzeniach ruchu obrotowego Ziemi i w opracowaniu predykcji EOP. Liczba grup badawczych, które czynnie pracują nad nowymi metodami prognozowania, również uległa zwiększeniu.



Globalne prognozowanie

O szczegółach kampanii porównawczej predykcji EOP opowiada
prof. JOLANTA NASTULA z Centrum Badań Kosmicznych PAN

DAMIAN CZEKAJ: Obecnie 18 zespołów przygotowuje i udostępnia swoje prognozy parametrów orientacji Ziemi (EOP). Jak to wygląda w praktyce?

JOLANTA NASTULA: Każdy z uczestników musi przesłać na serwer w CBK swoje prognozy w środę do godziny 20:00 czasu UTC (22:00 czasu letniego w Polsce). Następnie są one przenoszone na drugi serwer, niedostępny dla uczestników, a dostępny tylko dla Biura EOP PCC (EOP PCC Office). Ma to na celu uniknięcie podmieniania danych przez uczestników po terminie przesyłania.

Biuro zdefiniowało dwa formaty przesyłanych prognoz z przyjętym schematem nazwy zawierającym m.in. indywidualny numer kandydata. Ma to umożliwić automatyczne opracowywanie danych po stronie Biura. Format pliku pozwala na

podawanie wszystkich parametrów orientacji Ziemi albo tylko wybranych przy zastosowaniu odpowiedniego sufixa w nazwie. W pierwszym przypadku można także dla danego parametru podać odpowiednią, zastrzeżoną wartość, co jest dla Biura informacją, że dany parametr jest nieprognozowany przez uczestnika. Udostępnienie dwóch formatów prognozy umożliwia uczestnikom samodzielny wybór najszybszego i najwygodniejszego dla nich sposobu generowania plików.

Co się następnie z tymi prognozami dzieje? Czy są one na bieżąco sprawdzane?

Na początkowym etapie kampanii pliki z prognozami są jeszcze sprawdzane przez Biuro EOP PCC, ze względu na pojawiające się błędy w formatach lub nazwach plików. Zrezygnowaliśmy z automatycznej ingerencji

w format plików – wszelkie zmiany np. w nazwie pliku, aby były zgodne z naszymi założeniami, wprowadzamy manualnie po informacji lub za zgodą uczestników. Nie ingerujemy w żaden sposób w same wartości przesyłanych prognoz – te są niezmienne po wysłaniu pliku.

Poprawne pliki są wczytywane do bazy danych prognoz. W momencie wczytania pliku są kolejny raz sprawdzane: poprawność nazwy i formatu pliku (np. czy jest odpowiednia liczba kolumn z danymi albo czy pierwsza prognoza jest podana na odpowiedni dzień). Na tym etapie, oprócz zapisania prognozy w ujednoliconym formacie przygotowanym z myślą o dalszych analizach, tworzone są pliki pomocnicze, takie jak logfile, metadane wspomagające analizy czy pliki zawierające statystyki. Następnie automatycznie ge-



Fot. ze zbiorów Jolanty Nastuli

nerowana jest aktualizacja na stronę <http://eoppcc.cbk.waw.pl/static/CurrentStatus.html>.

Wczytywanie plików do bazy danych jest wykonywane regularnie co tydzień, zwykle na drugi dzień po terminie przesyłania prognoz.

Z czym te prognozy są porównywane i kto się tym zajmuje?

Nasze dane dotyczące referencyjnych wartości dla parametrów orientacji Ziemi są

Te wszystkie fakty stały się powodem do przeprowadzenia ponownej oceny jakości poszczególnych metod predykcji. Potrzeba taka została podniesiona między innymi przez międzynarodową grupę roboczą zajmującą się sygnałami klimatycznymi w parametrach orientacji Ziemi (Joint Working Group C.1: Climate Signatures in Earth Orientation Parameters), która została powołana przez Międzynarodową Asocjację Geodezji (International Association of Geodesy, IAG) w 2019 roku i działa jako podgrupa Międzykomisyjnego Komitetu ds. Geodezji w badaniach klimatu (Inter-Commission Committee on „Geodesy for Climate Research”, ICCR). Istotność tego zagadnienia dla środowiska międzynarodowego potwierdziła Międzynarodowa Służba Ruchu Obrotowego Ziemi i Systemów Odniesienia (International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS), która w marcu 2021 roku utworzyła specjalną grupę roboczą do prze-

prowadzenia kolejnej kampanii porównawczej predykcji parametrów orientacji Ziemi (IERS Working Group on the 2nd Earth Orientation Parameter Prediction Comparison Campaign).

Profesor Jolanta Nastula z Centrum Badań Kosmicznych PAN została liderem tej ważnej międzynarodowej aktywności we współpracy z IERS oraz GFZ (Deutsche GeoForschungsZentrum). Za przygotowanie kampanii odpowiada nadzorowana przez nią grupa w CBK PAN, w skład której wchodzi: mgr inż. Justyna Śliwińska, mgr inż. Tomasz Kur, mgr inż. Aleksander Partyka, Danuta Śleszyńska, Konrad Kowalski, a także dr Małgorzata Wińska z Politechniki Warszawskiej.

• Faza operacyjna drugiej kampanii

1 września 2021 roku została uruchomiona faza operacyjna kampanii, podczas której predykcje EOP przesyłane co tydzień przez zarejestrowanych uczestników są zbierane i regularnie pod-

dawane ewaluacji. W kampanii bierze udział 21 ośrodków badawczych z całego świata, które stanowią 18 zespołów przygotowujących i udostępniających swoje prognozy. Łącznie zgłoszono 36 różnych metod predykcji wykorzystujących różne algorytmy obliczeniowe, jak również rozmaite dane obserwacyjne i modele związane m.in. z oddziaływaniem atmosfery i oceanów. Przez pierwszych osiem tygodni kampanii wpłynęło łącznie 637 prognoz. Najczęściej obliczanymi parametrami są współrzędne ruchu bieguny oraz UT1-UTC (ponad 2/3 wszystkich plików), natomiast najrzadziej są przesyłane parametry nutacji (zaledwie 15% wszystkich plików).

Kampania planowana jest do końca 2022 roku z możliwością przedłużenia. Zachęcamy do odwiedzenia strony internetowej kampanii (eoppcc.cbk.waw.pl), gdzie znajdują się szczegółowe informacje dotyczące tego przedsięwzięcia.

Zespół CBK PAN

cyklicznie aktualizowane na podstawie plików udostępnianych przez IERS na stronie <https://www.iers.org/iers/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>. Docelowo do porównań zostanie wykorzystany szereg EOP 14 C04. Dane te są jednak dostępne z kilkutygodniowym opóźnieniem, dlatego na potrzeby

bieżące wykorzystujemy rozwiązanie szybkie dostępne np. w ramach Bulletin A lub finals.daily.

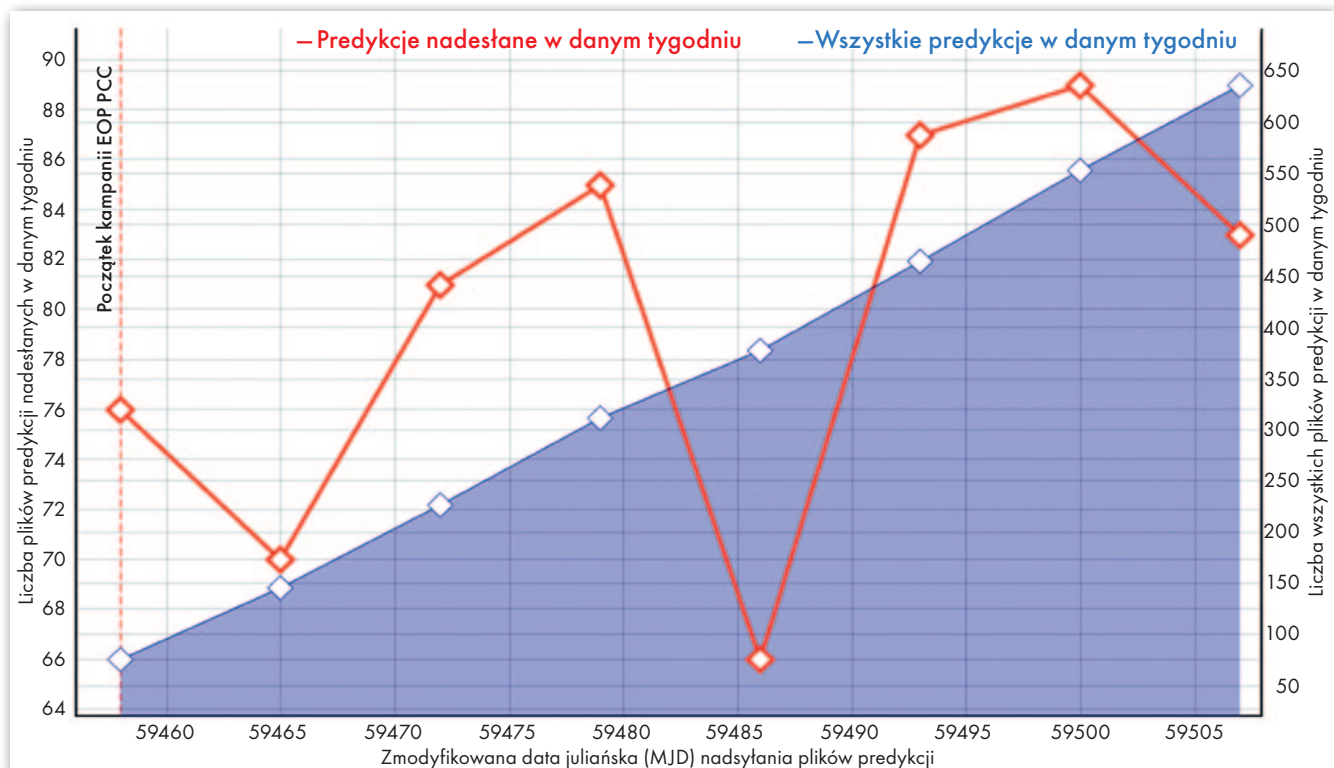
Obecnie prognozy są porównywane tylko w ramach wewnętrznych prac Biura EOP PCC – nawet uczestnicy nie mają dostępu do tych wyników. Wykonywane są podstawowe obliczenia sta-

tystyczne, jak również liczone są błędy samych prognoz. Rezultaty porównań będą dostępne publicznie w ramach spotkań grupy roboczej lub uczestników kampanii, w późniejszym etapie także w ramach konferencji i artykułów naukowych. Ewentualna publikacja wyników np. na stronie internetowej zosta-

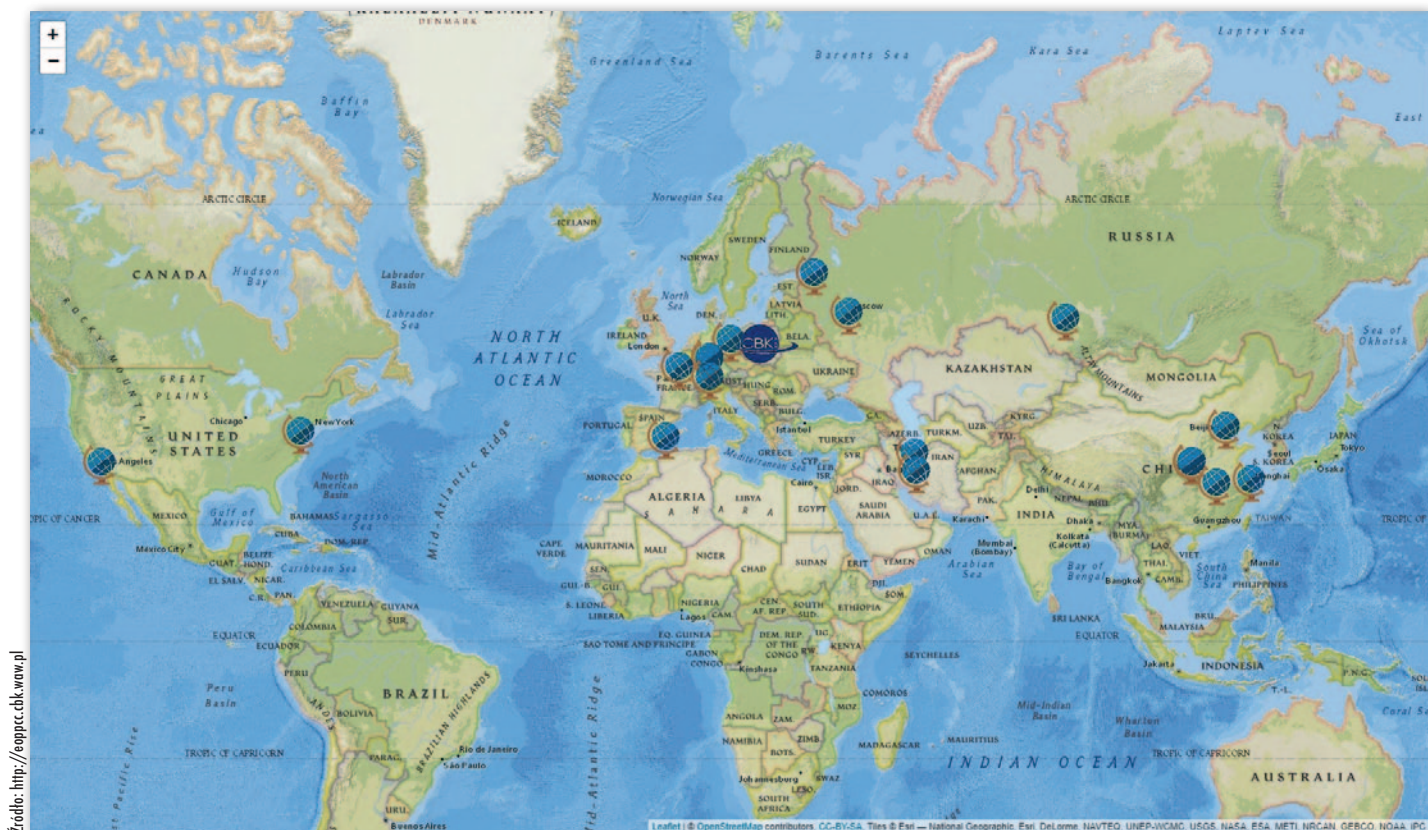
nie jeszcze przedyskutowana z uczestnikami.

Za całość powyższych prac odpowiada Biuro EOP PCC oraz Henryk Dobslaw z GFZ jako konsultant w krytycznych decyzjach, czyli takich, które mogą wpłynąć na dalszy przebieg kampanii.

Jaki będzie efekt tych prac? Czy spośród 36 różnych me-



Liczba plików predykcji nadsyłanych do biura EOP PCC przez uczestników w poszczególnych tygodniach



Źródło: <http://eopgcc.cbk.waw.pl>

Lokalizacja instytutów biorących udział w kampanii oraz biuro kampanii w CBK PAN

to predykcji zostanie wybrana jedna najlepsza? Czy też zostanie stworzona jakaś nowa zbiorcza metoda na podstawie zdobytych doświadczeń?

Celem kampanii jest porównanie oraz ewaluacja różnych metod prognozowania parametrów orientacji Ziemi (EOP). W wyniku tych prac spośród wielu różnych metod predykcji zostanie wybrana jedna lub kilka, które zapewnią najdokładniejsze prognozy. Dokładność prognoz zostanie określona na podstawie porównania wartości prognozowanych parametrów z wielkościami tych parametrów określonych na podstawie precyzyjnych pomiarów geodezyjnych przy wykorzystaniu takich technik, jak GNSS, SLR i VLBI.

W ramach kampanii planowane jest również opracowanie kombinacji różnych metod predykcji i sprawdzenie, czy takie zbiorcze rozwiązanie zapewni wyższą dokładność prognozowania niż predykcje opracowane na podstawie pojedynczej metody. Celem kampanii jest rów-

nież ocena aktualnych możliwości prognozowania EOP i ograniczeń wynikających z zastosowania określonych metod i danych wejściowych. Określona zostanie również dokładność, z jaką aktualnie jesteśmy w stanie przewidywać EOP.

Przeanalizowany zostanie wpływ różnych czynników (rodzaj, ilość i długość wykorzystanych danych wejściowych czy też zastosowana metoda prognozowania) na dokładność prognoz EOP. Przetestujemy również wpływ na dokładność predykcji wykorzystanych danych referencyjnych (oficjalne rozwiązanie IERS C04, codziennie aktualizowane dane IERS Rapid, dane dostarczane przez inne instytucje, jak np. International GNSS Service IGS, International Laser Ranging Service ILRS), na podstawie których waliduje się dane prognozowe.

Jak wygląda teraz praca w ramach kampanii w polskim zespole? Jakie algorytmy, dane, modele są wykorzystywane?

Polski zespół w CBK PAN jest koordynatorem całej kampanii i nie bierze w niej udziału jako uczestnik – nie opracowuje własnych predykcji EOP. Jego zadaniem jest gromadzenie nadsyłanych przez uczestników prognoz, wstępne sprawdzanie poprawności plików oraz merytoryczna ewaluacja poszczególnych predykcji. CBK PAN odpowiada za całą stronę organizacyjną oraz za część merytoryczną związaną z oceną dokładności metod prognozowania. Ustalało również zasady uczestnictwa i wymagania, które powinny spełniać nadsyłane przez uczestników prognozy.

Uczestnicy kampanii wykorzystują do swoich prognoz różne dane wejściowe (oficjalne rozwiązanie IERS C04, codziennie aktualizowane szybkie dane IERS Rapid, dane obserwacyjne dostarczane przez inne instytucje jak np. IGS, ILRS, International VLBI Service, na bieżąco procesowane obserwacje GNSS, geofizyczne dane na temat momentu pędu atmosfery, oceanów, hydrosfery), róż-

ne metody prognozowania (m.in. metoda najmniejszych kwadratów, autokorelacji, filtr Kalmana, sieci neuronowe), różne języki programowania (m.in. Fortran, Python, Matlab, C, Julia, Perl). Uczestnicy mają w tym zakresie pełną dowolność. Poszczególne prognozy różnią się między sobą również długością okresu, na jaki predykowane są EOP – przesyłane są do nas prognozy kilkudniowe, kilkumiesięczne, a nawet roczne. Niektórzy uczestnicy prognozują wszystkie EOP (współrzędne bieguna, zmiany długości doby lub różnice czasu UT1-UTC, nutacja), a inne zespoły skupiają się na przewidywaniu tylko niektórych parametrów.

Wszystkie prognozy są opracowywane i przesyłane przez uczestników raz w tygodniu, a nadesłane dane mają krok dzienny. Zarówno częstotliwość przysyłania danych, jak i rozdzielczość czasowa prognoz są dla wszystkich uczestników takie same i określone w zasadach uczestnictwa w kampanii.

Rozmawiał Damian Czekaj