

Geocentryczny układ współrzędnych geodezyjnych (WGS84)

# World Geodetic System 1984

SABINA ŁYSZKOWICZ

Jednym z pierwszych globalnych geocentrycznych systemów odniesienia był system WGS (World Geodetic System) opracowany przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych w 1960. r. W pierwszych latach po wprowadzeniu WGS60 nastąpił poważny wzrost liczby i dokładności obserwacji satelitarnych, co spowodowało opracowanie dalszych dokładniejszych wersji systemu.

## 1. Wstęp

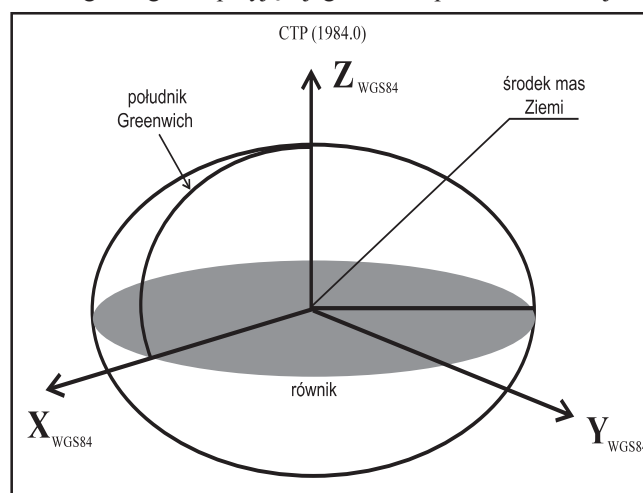
Poznanie i kartowanie kształtu Ziemi odbywało się stopniowo w ciągu wielu stuleci. Każda nowa mapa jest syntezą naszej wiedzy z zakresu geodezji i kartografii w danym okresie. Mapy zazwyczaj są sporządzane w lokalnych układach współrzędnych (np. w układzie „42”, European 1979, North American 1983). Liczebność lokalnych układów w skali światowej jest znaczna (kilkaset). Układy te są lepiej lub gorzej zdefiniowane w klasyczny sposób. Pomijając ich często słabą definicję, to wskutek ruchów skorupy ziemskiej i innych zjawisk przyrodniczych układy te ulegają zniekształceniom. Krótko mówiąc, lokalne układy współrzędnych mają „swoje lata”. Dlatego też z praktycznego punktu widzenia pojawiła się konieczność stworzenia jednolitego globalnego układu współrzędnych dla celów kartograficznych i geodezyjnych.

W ostatnim trzydziestoleciu zmagania nad powiązaniem lokalnych systemów w jeden globalny geodezyjny system odniesienia zostały zrealizowane dzięki poważnemu rozwojowi geodezyjnych technik satelitarnych. Jednym z pierwszych globalnych geocentrycznych systemów odniesienia był system WGS (World Geodetic System) opracowany przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych (Defence Mapping Agency, DMA) w 1960 r. W pierwszych latach po wprowadzeniu WGS60 nastąpił poważny wzrost liczby i dokładności obserwacji satelitarnych, co spowodowało opracowanie dalszych dokładniejszych wersji systemu WGS60, a mianowicie: WGS66, WGS72, a następnie WGS84, który obecnie jest stosowany w praktyce. Odbiorniki GPS (Global Positioning System) po odebraniu sygnałów od satelitów krążących po orbitach wokół Ziemi wyznaczają pozycję punktu na powierzchni Ziemi w tym to właśnie systemie. Celem niniejszej pracy jest zaznajomienie czytelnika

z tym systemem i z korzyściami wynikającymi z jego zastosowania do sporządzania map.

## 2. System odniesienia WGS84

Początek systemu (0,0,0) jest umieszczony w środku ciężkości mas Ziemi i przyjmuje się, że oś Z prawie pokrywa się z osią obrotu Ziemi. Oś obrotu Ziemi zmienia nieznacznie swe położenie w bryle ziemskiej. Zjawisko to jest znane pod nazwą ruchu bieguna. Kierunek osi Z będzie jednoznacznie zdefiniowany, jeśli zostanie odniesiony do pewnego średniego położenia bieguna. Po raz pierwszy wyznaczono średnie położenie bieguna w początkach XX wieku. Wówczas to z zaobserwowanych w latach 1900-1905 ruchów bieguna wyznaczono jego średnie położenie, znane pod nazwą CIO (Conventional International Origin). Ostatnio uściślono definicję średniego bieguna i przyjęte jego średnie położenie znane jest



pod nazwą CTP (Conventional Terrestrial Pole). Osie X, Y układu WGS84 są prostopadłe do osi Z, z tym że oś X przechodzi przez punkt przecięcia południka Greenwich z płaszczyzną równika (rys. na str. 5). Położenie południka Greenwich tradycyjnie jest definiowane przez znak wycięty na słupie w Starym Obserwatorium Greenwich w Londynie. Obecnie położenie południka jest zdefiniowane przez Międzynarodową Służbę Bieguna (International Earth Rotation Service) w Paryżu, poprzez współrzędne wybranych stacji laserowych i interferometrycznych.

### 3. Parametry opisujące układ WGS84

Geodezja w pierwszej kolejności zajmuje się fizyczną powierzchnią Ziemi, geometryczną (lub matematyczną) powierzchnią odniesienia, jaką jest elipsoida, i powierzchnią ekwipotencjalną (poziomą), jaką jest geoida.

Elipsoidą odniesienia systemu WGS84 jest elipsoida ziemską GRS80 (Geodetic Reference System 1980) zaakceptowana przez Międzynarodową Unię Geodezji i Geofizyki w 1979 roku w Canberze w Australii. Tak więc elipsoida WGS84, która określa geometryczną powierzchnię i teoretyczne przyspieszenie siły ciężkości Ziemi, jest geocentryczną, ekwipotencjalną elipsoidą obrotową. Podane w tabeli poniżej cztery parametry elipsoidy WGS84 są identyczne z parametrami opisującymi elipsoidę GRS80, ale z małym wyjątkiem. System WGS84 jest zdefiniowany przez stałą  $\bar{C}_2$  (znormalizowany współczynnik zonalny drugiego stopnia), podczas gdy elipsoida GRS80 jest zdefiniowana przez spłaszczenie statyczne  $J_2$ . Wartość liczbowa współczynnika  $\bar{C}_2$  została obliczona z zależności  $\bar{C}_2 = -J_2\sqrt{5}$  z dokładnością ośmiu cyfr znaczących.

#### Parametry definiujące elipsoidę WGS84

parametr	oznaczenie	wartość liczbowa	dokładność wyznaczenia
większa półoś	a	6 378 137 m	±2 m
znormalizowany współczynnik zonalny drugiego stopnia	$\bar{C}_2$	$-484,16685 \times 10^{-6}$	$\pm 1,30 \times 10^{-9}$
prędkość kątowa obrotu Ziemi	$\omega$	$7\,292\,115 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$	$\pm 0,15 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
stała grawitacyjna Ziemi <sup>1</sup> (łącznie z masą atmosfery)	GM	$3\,986\,004,418 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$\pm 0,6 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

<sup>1</sup>Aktualnie przyjęta wartość (Malys i Slater, 1994)

Inne stałe przyjęte do opisu układu WGS84 zainteresowany czytelnik może znaleźć w pracy DMA, 1991.

### 4. Model pola siły ciężkości Ziemi

Model pola siły ciężkości Ziemi EGM (Earth Gravitational Model) układu WGS84 jest rozwinięciem potencjału siły ciężkości w szereg funkcji kulistych do stopnia i rzędu 180 i zawiera 32 755 współczynników. Współczynniki modelu EGM zostały obecnie odtajnione i są dostępne.

### 5. Geoida

Geoida jest definiowana jako ta szczególna powierzchnia ekwipotencjalna, która pokrywa się ze średnim poziomem mórz i oceanów przedłużonym pod lądami. Z matematycznego punktu widzenia geoida jest definiowana przez odstęp N od elipsoidy

odniesienia. Pierwsza definicja geoidy ma istotne znaczenie praktyczne. Hipotetyczne przedłużenie średniego poziomu mórz i oceanów pod lądami umożliwia skonstruowanie układu wysokościowego dla obszarów, gdzie tradycyjna niwelacja geometryczna jeszcze nie istnieje. Dodatkowo, znajomość geoidy wraz z pomiarami satelitarnymi (zazwyczaj GPS) umożliwia wyznaczenie wysokości nad średni poziom morza ze znanej zależności

$$H = h - N,$$

gdzie  $H$  jest wysokością (ortometryczną) względem średniego poziomu morza,  $h$  jest wysokością elipsoidalną z pomiarów GPS, a  $N$  jest odstępem geoidy od elipsoidy.

Odstępy geoidy WGS84 mogą być obliczone z modelu EGM za pomocą znanych programów komputerowych i mogą być podane w węzłach siatki geograficznej o żądanej gęstości lub w postaci izolinii. Przykładowy rysunek globalnej geoidy podany jest na rys. 6.8. we wspomnianej publikacji DMA, 1991.

Ocenia się, że odstęp geoidy WGS84 są obarczone błędem rzędu  $\pm 2$  do  $6$  m i że są znane z dokładnością  $\pm 2$  do  $\pm 3$  m na 55% obszaru globu ziemskiego.

### 6. Układ WGS84 a satelitarne wyznaczanie pozycji metodą GPS

Globalny system pozycyjny GPS (Global Positioning System) został stworzony przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych dla celów nawigacji wojskowej. Cały system składa się z trzech części, a mianowicie z pewnej liczby satelitów

krążących wokół Ziemi, kilku stacji naziemnych kontrolujących ruch satelitów oraz licznej rzeszy użytkowników.

Satelity systemu GPS to w dużym uproszczeniu krążące po orbitach radiowe stacje nadawcze. Każdy satelita wyposażony jest w anteny nadawcze i odbiorcze oraz w dwa duże skrzydła, na których umieszczone są baterie słoneczne. Satelita wielkością swą dorównuje terenowemu samochodowi typu „Landrover” i waży około 800 kg. „Sercem” każdego satelity jest zegar atomowy, którego praca jest stymu-

lowana poprzez drgania atomów. Zegary tego typu są niezwykle dokładne, gubią jedną sekundę po upływie trzech milionów lat. Pierwsze satelity systemu GPS – satelity eksperymentalne – zostały skonstruowane w ten sposób, aby były odporne na działanie wszelkich przeciwności przez co najmniej 7 lat. Obecnie jest konstruowana nowa seria satelitów – operacyjnych – sukcesywnie wprowadzanych na orbity. System GPS osiągnął stan pełnej operacyjności, co oznacza, że po orbitach krąży 21 satelitów, a trzy zapasowe przechowywane są na Ziemi. Pozycje satelitów systemu GPS są wyznaczane w układzie WGS84.

Wyznaczenie pozycji z sygnałów GPS odbieranych przez odbiornik jednocześnie od kilku satelitów umożliwia realizację układu WGS84 w dowolnym punkcie globu ziemskiego, na lądzie, jak i na morzu. Ze względu na łatwość obsługi odbior-

ników, krótki czas pomiaru, niskie koszty oraz wysoką dokładność wyznaczenia pozycji system ten znalazł szerokie zastosowanie we wszystkich dziedzinach działalności gospodarczej, poczynając od nawigacji lądowej, lotniczej i morskiej, a kończąc na geodezji i szeroko pojętej inżynierii. W związku z tym pojawiła się konieczność transformacji różnych typów lokalnych danych geodezyjnych do układu WGS84.

## 7. WGS84 a inne układy geocentryczne

W 1983 roku po raz pierwszy geocentryczna elipsoida GRS80 została przyjęta do zdefiniowania układu współrzędnych w Stanach Zjednoczonych. Nowy geocentryczny układ współrzędnych otrzymał nazwę North American Datum 1983. Obecne trendy wskazują na to, że nowe geocentryczne układy zostaną przyjęte w Ameryce Południowej i Afryce. W Australii zdecydowano zmienić istniejący układ współrzędnych, poprzez transformację do WGS84, nie później niż do 2000 roku. W Europie został stworzony geocentryczny układ o nazwie ETRF-89. Układ ten zaistniał również w Polsce<sup>1</sup>.

## 8. Związek układu WGS84 z innymi lokalnymi układami

Jednym z podstawowych zadań globalnego układu geodezyjnego jest umożliwienie ujednoczenia lokalnych układów. Liczba lokalnych układów, jeśli zaliczyć do tej grupy wszystkie układy znajdujące się na wyspach<sup>2</sup> i inne układy lokalne bazujące na obserwacjach astronomicznych, osiąga rząd kilku setek. W celu odniesienia układów lokalnych do układu WGS84 niezbędny jest zbiór właściwie rozmieszczonych punktów łącznych<sup>3</sup>. Zbiór taki znajduje się w komputerowych bazach Defence Mapping Agency.

Ponieważ klasyczne układy poziome i pionowe występują rozdzielnie, oznacza to, że wysokości elipsoidalne w poziomych układach lokalnych są niedostępne. Wysokości te, niezbędne w celu prawidłowego wyznaczenia parametrów transformacji, zostały obliczone za pomocą metody podanej przez Kumara, 1989.

Obecnie publikacja DMA, 1991 zawiera informacje o parametrach transformacji między 105 lokalnymi lub regionalnymi poziomymi układami a układem WGS84.

## 9. Dokładność współrzędnych układu WGS84

Dokładność współrzędnych punktu w układzie WGS84 zależy od metody, jakiej użyto w celu ich wyznaczenia. W tabeli powyżej podano cztery metody zazwyczaj stosowane w celu wyznaczenia współrzędnych punktów w układzie WGS84 oraz dokładności, jakie można osiągnąć w poszczególnych metodach.

Z tabeli tej wynika, że pierwsza metoda (która umożliwia wyznaczenie położenia punktu bezpośrednio z obserwacji satelitarnych GPS) daje najwyższą dokładność rzędu 1-2 m. Metoda czwarta jest metodą najmniej dokładną, a dokładność

jej całkowicie zależy od dokładności oraz deformacji lokalnych i regionalnych układów.

### Metody wyznaczania współrzędnych w układzie WGS84 (DMA, 1991)

metoda określania współrzędnych	osiągalna dokładność
1. z opracowania satelitarnych obserwacji GPS	$\varphi$ i $\lambda$ $\pm 1$ m, h: $\pm 1-2$ m
2. poprzez transformację współrzędnych z układu dopplerowskiego (NSWC 9Z-2)	$\varphi$ i $\lambda$ $\pm 2$ m, h: $\pm 2-3$ m
3. poprzez transformację współrzędnych z układu WGS72	taka sama jak w punkcie 2, zależy od błędów transformacji
a. na punktach dopplerowskich	
b. na pozostałych punktach	
4. poprzez transformację lokalnych współrzędnych	taka sama jak w punkcie 3b

## 10. Podsumowanie

Układ WGS84 jest układem globalnym bazującym na danych, technice i technologii dostępnej przez DMA w początkach roku 1984. Układ ten zastąpił swego poprzednika WGS72. W drugiej edycji układu WGS84 parametry transformacji zostały znacznie udokładnione, a ich jakość została poprawiona w oparciu o materiały zgromadzone do października 1991. Obecnie została opracowana kolejna (trzecia) wersja tego układu o nazwie WGS84 (G730) i trwają dalsze prace nad jego udokładnieniem (Malys i Slater, 1994). Układ WGS84 został związany ze 105 lokalnymi układami<sup>4</sup>. Tak znaczny wzrost powiązań globalnego układu WGS84 z lokalnymi układami powinien zaowocować wydawaniem coraz dokładniejszych i coraz bardziej ujednoczonych map.

*Autorka jest pracownikiem naukowym  
Zakładu Inżynierskich Pomiarów Geodezyjnych  
w Instytucie Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej,  
Warszawa, ul. Armii Ludowej 16*

### Literatura:

DMA, 1991, *Department of Defence World Geodetic System 1984: Its definition and Relationship with Local Geodetic Systems*. DMA TR 8350.2, second edition, september 1991

Malys S., Slater J., 1994, *Maintenance and Enhancement of the World Geodetic System 1984, Proceedings of ION GPS-94, 7th International Technical Meeting of The Satellite Division of The Institute of Navigation*, Salt Lake City, Utah, pp.17-24

Kumar M., 1989, *A Practical Method to Compute Geoidal Heights for Local/Regional Datums*, Marine Geodesy, vol.13

<sup>1</sup> Koncepcja utworzenia i sposób realizacji nowego geocentrycznego układu współrzędnych w Polsce zostanie opisana w odrębnej publikacji.

<sup>2</sup> Przykładowo na wyspie Trinidad obowiązuje układ lokalny o nazwie Naparima BWI.

<sup>3</sup> Posiadających współrzędne w obu układach.

<sup>4</sup> W pierwszej edycji wyznaczono parametry transformacji dla 90 układów lokalnych, układ WGS72 miał powiązanie tylko z 27 układami lokalnymi.