



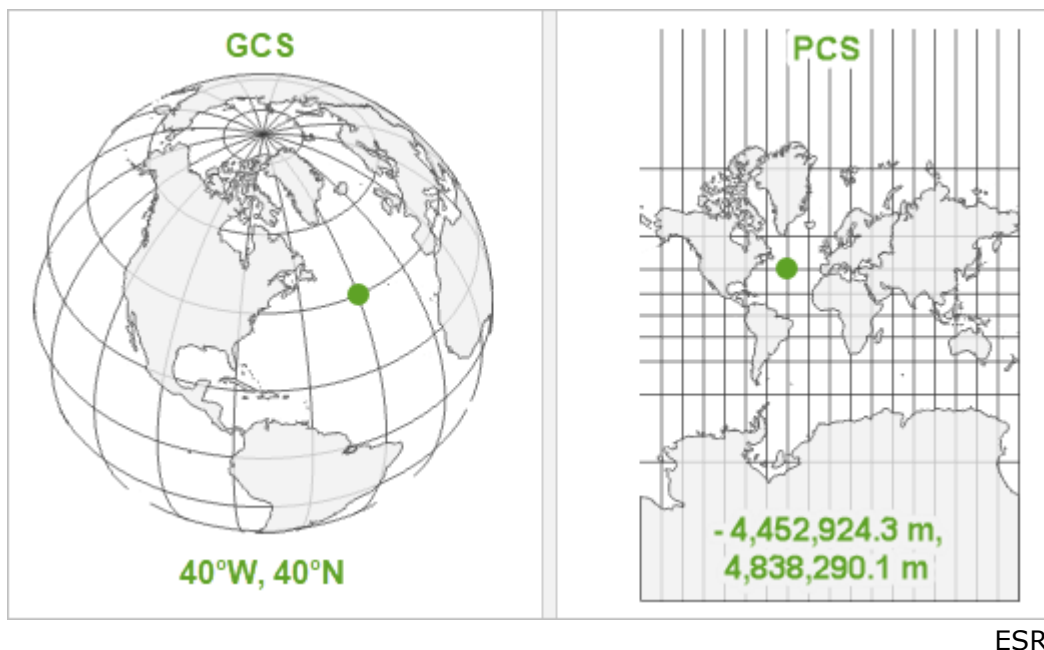
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE  
AGH UNIVERSITY OF KRAKOW

# Geograficzne Systemy Informacyjne

Układy współrzędnych

Tomasz Bartuś  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki

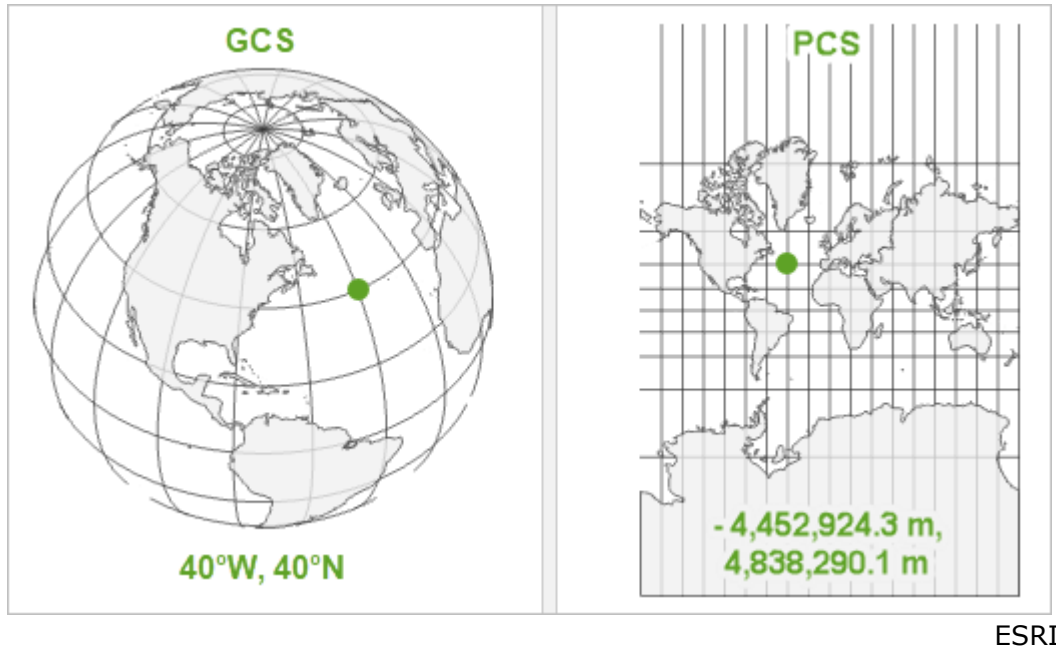
## Układy współrzędnych



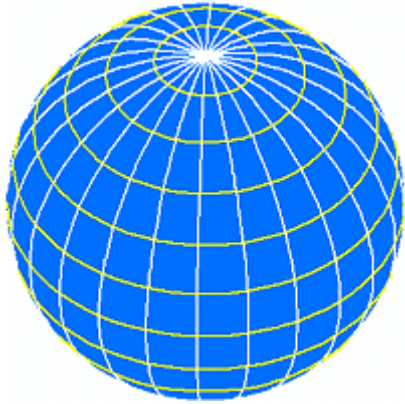
- Istnieją dwa rodzaje układów współrzędnych: **geograficzne** (*geographic coordinate system* **GCS**) i **odwzorowania kartograficzne** (projekcje) (*projected coordinate system* **PCS**).

- GCS** jest używany do lokalizacji obiektów na zakrzywionej powierzchni Ziemi.
- PCS** są wykorzystywane do lokalizacji obiektów na powierzchni płaskiej – *arkusza mapy* lub *cyfrowej mapie GIS wyświetlanej na płaskim ekranie komputera*.

## Układy współrzędnych

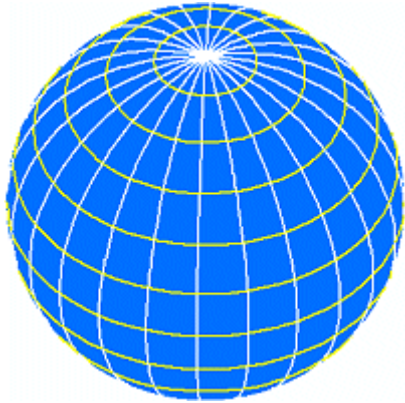


- Każdy z wymienionych układów współrzędnych próbuje możliwie jak najdokładniej zamodelować lokalizacje obiektów na powierzchni Ziemi
- żaden system nie jest pozbawiony pewnych niedokładności.



ESRI

- Układ współrzędnych geograficznych jest układem odniesienia dla identyfikacji położenia i pomiaru obiektów na zakrzywionej powierzchni Ziemi.
- Składa się z sieci przecinających się linii nazywanych siatką geograficzną.
- Pionowe linie siatki wyznaczają **długości geograficzne** (ang.: *longitude*).
- Poziome linie siatki wyznaczają **szerokości geograficzne** (ang.: *latitude*).

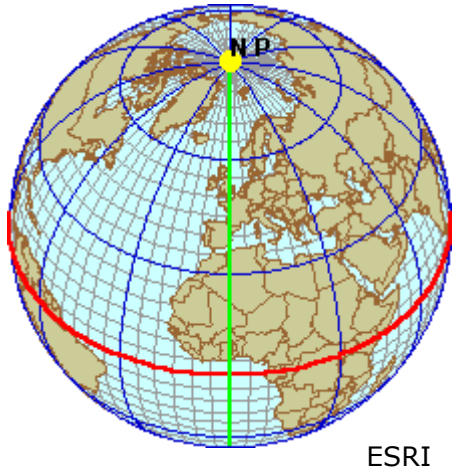


ESRI

- Wartości współrzędnych są wyrażone w *stopniach, minutach i sekundach*.
- *Stopień* wyznacza zawsze  $1/360$  część obwodów.
- Każdy stopień dzieli się na 60 minut ('), a minuta dzieli się na 60 sekund (").

**CIEKAWOSTKA**, Mila morska (Mn, *nautical mile* – NM, *International Nautical Mile* – INM) – jednostka odległości stosowana w nawigacji morskiej oraz lotnictwie równa długość łuku południka ziemskiego odpowiadająca jednej minucie kątowej koła wielkiego. Umownie, ze względu na zmienny kształt geoidy, przyjmowana jest wartość uśredniona długości równa 1851,852 m

## GCS – południki

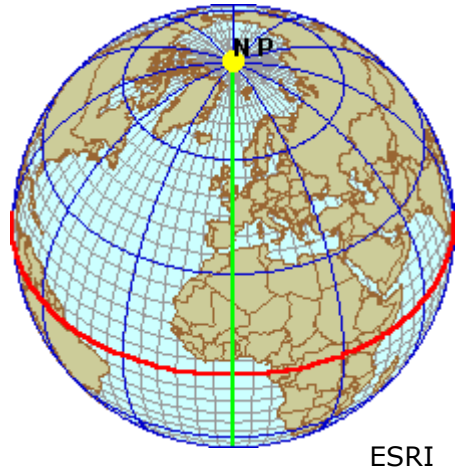


- Linie długości geograficznej są nazywane **południkami** (ang. *meridian*).
- Miara długości geograficznej rozpoczyna się od umownie wybranego tzw. południka zerowego i zmienia się w zakresie:

- $0^\circ$  do  $180^\circ$  na E od południka zerowego
- $0^\circ$  do  $-180^\circ$  na W od południka zerowego



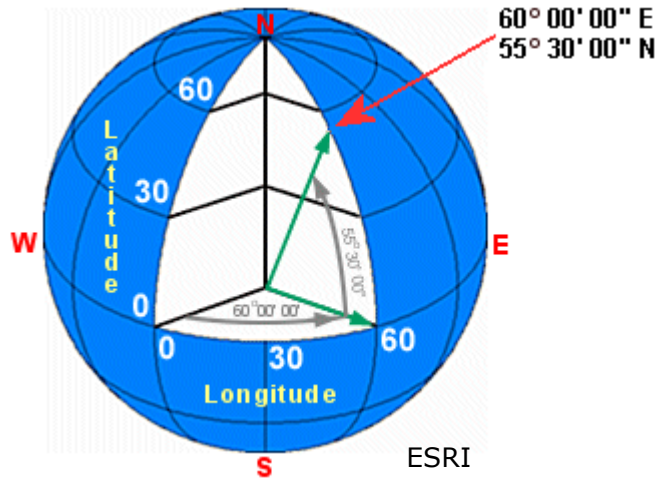
## GCS – równoleżniki



- Linie szerokości geograficznej są nazywane **równoleżnikami** (ang. *parallele*).
- Zerową szerokość geograficzną ma równik.
- Wartości szerokości geograficznej zmieniają się w zakresie:
  - $0^{\circ}$  do  $90^{\circ}$  od równika do bieguna N,
  - $0^{\circ}$  do  $-90^{\circ}$  od równika do bieguna S.



## GCS



- Długość i szerokość geograficzna są w rzeczywistości wartościami kątów mierzonymi od środka Ziemi do punktu na powierzchni Ziemi.

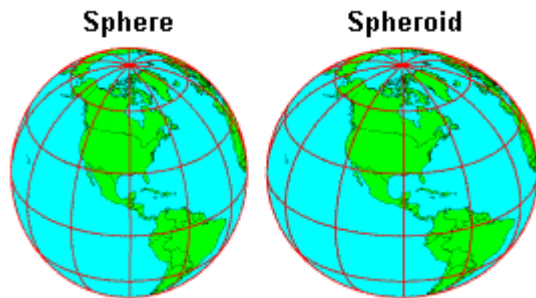
- Np.:

długość:  $60^{\circ}00'00''\text{E}$

szerokość:  $55^{\circ}30'00''\text{N}$

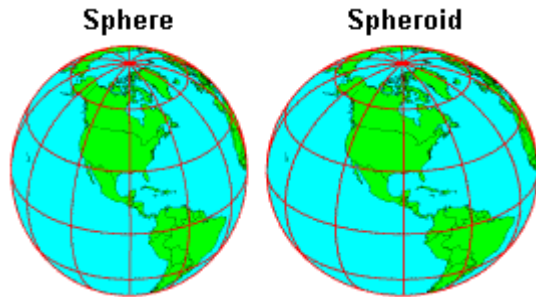


## Systemy współrzędnych geograficznych



- Systemy współrzędnych geograficznych starają się w jak najdokładniejszy sposób oddać kształt Ziemi.
- Na przestrzeni lat wykonanych zostało **wiele modeli** kształtu Ziemi, a każdy z nich ma swój **własny** system współrzędnych geograficznych.
- Wszystkie systemy oparte są na stopniach długości i szerokości geograficznej, ale dokładne wartości szerokości, długości geograficznej przypisane do poszczególnych miejsc **będą się od siebie różnić.**

## Systemy współrzędnych geograficznych



- Dwa kształty, które są powszechnie stosowane do modelowania powierzchni Ziemi to kula (sfera) i sferoida (elipsoida).
- Założenie, że Ziemia jest kulą upraszcza obliczenia matematyczne i sprawdza się w opracowaniach małoskalowych (mapy odwzorowujące dużą pow. Ziemi). Kula nie zapewnia jednak wystarczającej dokładności, dla map wielkoskalowych. Dla nich, korzystne jest użycie powierzchni sferoidalnej.
- Sferoida jest bardziej dokładnym modelem Ziemi.

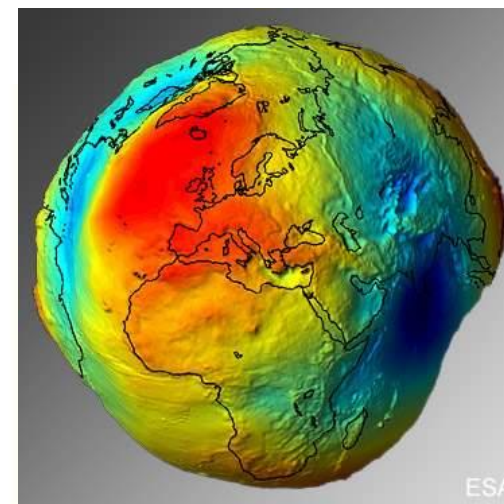
## Pow. Ziemi/geoida/elipsoida/sferoida

Powierzchnia morza

Elipsoida

Geoida

Powierzchnia Ziemi



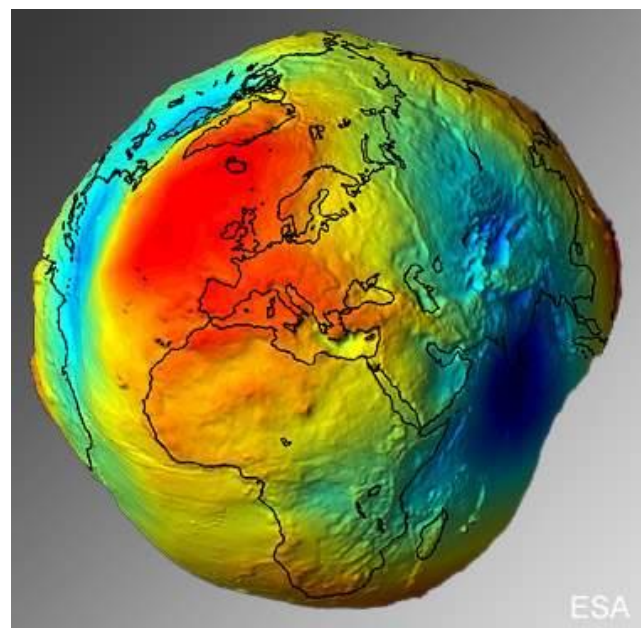
Model: geoida (model grawimetryczny)  
Przewyższenie: 7000 razy  
2014 r.

Dane: Europejska Agencja Kosmiczna  
Satelita GOCE (*Gravity field and steady-  
state ocean circulation explorer*)

## Pow. Ziemi/geoida/elipsoida/sferoida

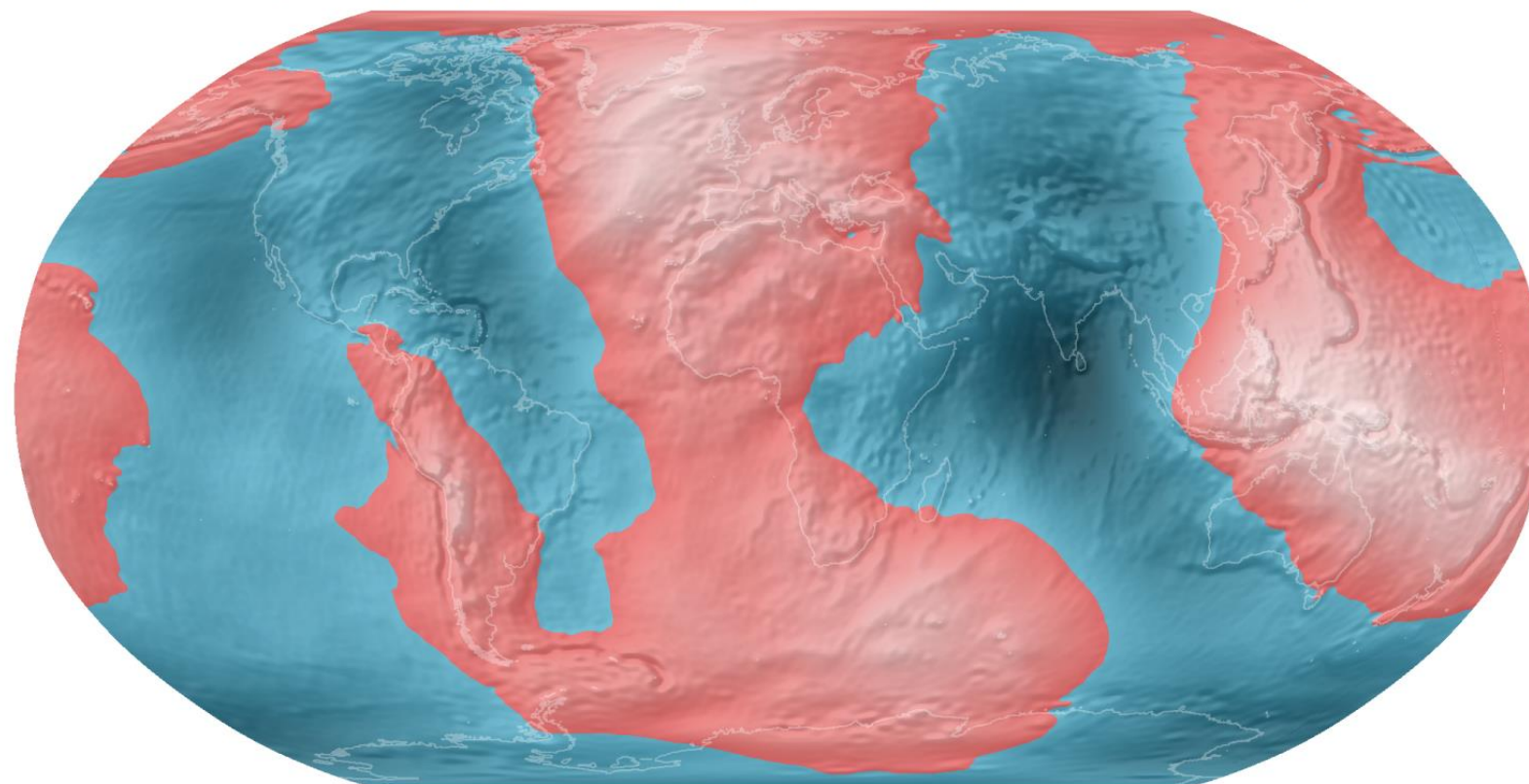
- **Geoida** - teoretyczna powierzchnia stałego potencjału siły ciężkości, pokrywająca się z powierzchnią mórz i oceanów Ziemi, przedłużona umownie pod lądami.
- **Sferoida** – bryła lub powierzchnia zbliżona do elipsoidy przedstawiająca kształt Ziemi, powstająca w wyniku równowagi ciał ciekłych wirujących ze stałą prędkością kątową  $\omega$  wokół stałej osi.
- **Elipsoida** – bryła lub powierzchnia, której wszystkie przekroje płaskie są elipsami. Szczególnym przypadkiem elipsoidy jest elipsoida obrotowa, powierzchnia ograniczona powstała przez obrót elipsy wokół własnej osi symetrii.

# Geoida vs. elipsoida



## Kształt Ziemi w porównaniu z idealną elipsoidą

(różnica pomiędzy modelem geoidy EGM96 a elipsoidą odniesienia WGS84)



poniżej idealnej elipsoidy

powyżej idealnej elipsoidy

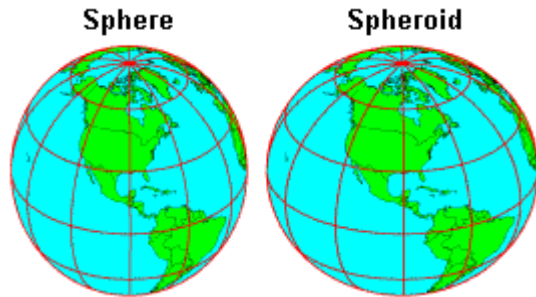
-107.0 m

0 m

+85.4 m

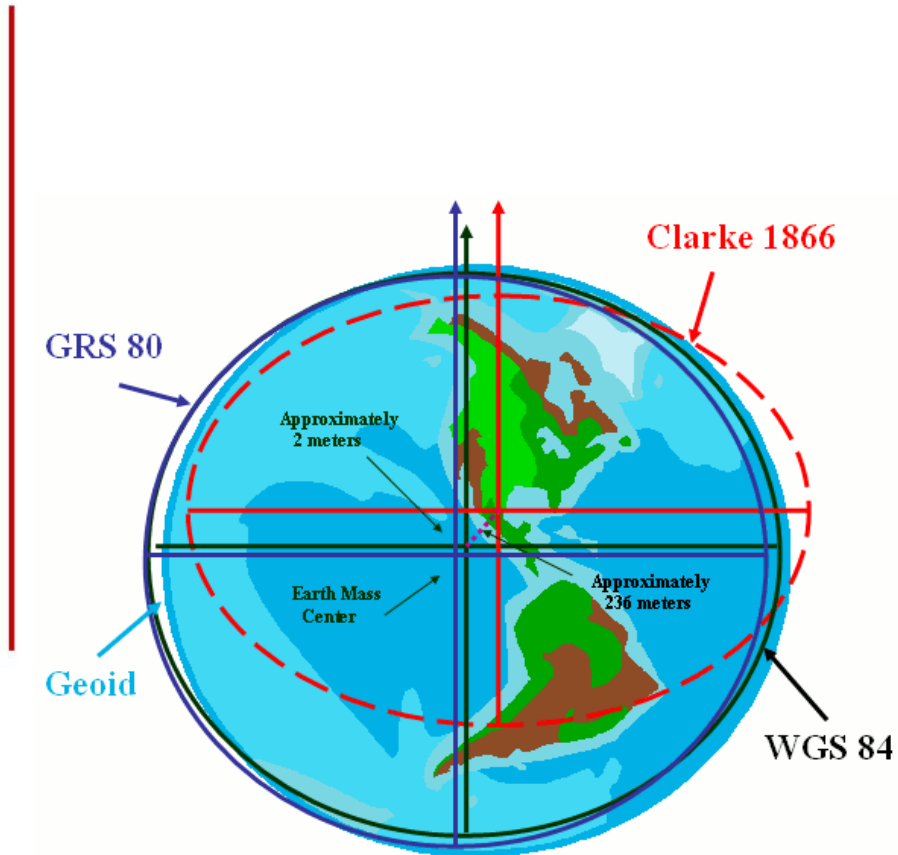


## Systemy współrzędnych geograficznych



- Obecnie są w użyciu różne modele Ziemi oparte na geoidach i sferoidach. Powodem jest to, że nowsza technologia dostarczyła bardziej dokładnych pomiarów kształtu Ziemi.
- Niektóre modele zostały stworzone do modelowania **całej** Ziemi, podczas gdy inne zostały opracowane dla dokładniejszego modelowania **określonych rejonów** Ziemi.

# Systemy współrzędnych geograficznych



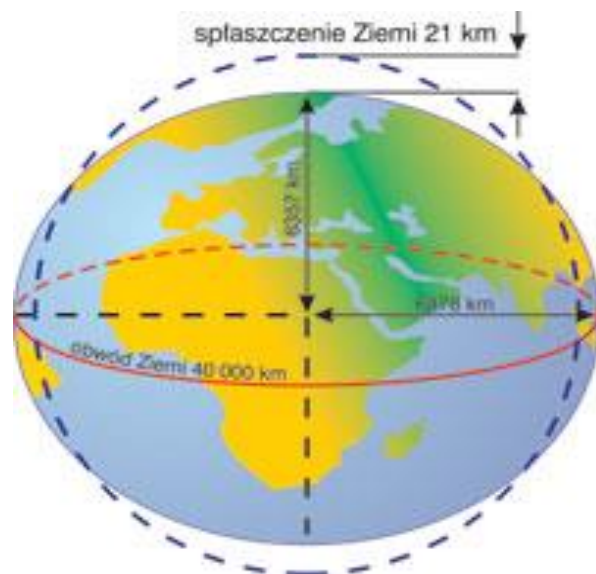
Elipsoidy używane do odwzorowania całej Ziemi,

- *World Geodetic System of 1972 (WGS72)*
- *Geodetic Reference System of 1980 (GRS80)*
- *World Geodetic System of 1984 (WGS84)*

- Elipsoidy dla Ameryce Północnej:
- Clarke 1866



# Historyczne elipsoidy ziemskie

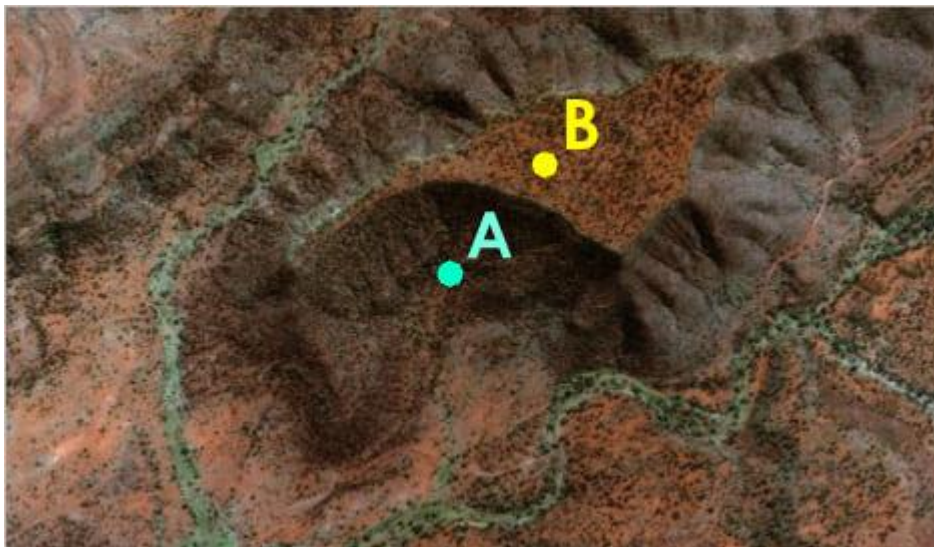


$$s = \frac{r_r - r_b}{r_r}$$

Nazwa	Duża półoś $r_r$ (m)	Mala półoś $r_b$ (m)	Odwrotność spłaszczenia (1/s)
Modified Everest (Malaya) Revised Kertau	6 377 304,063	6 356 103,038993	300,801699969
Timbalai	6 377 298,56	6 356 097,55	300,801639166
<a href="#">Sferoida</a> Everesta	6 377 301,243	6 356 100,228	300,801694993
<a href="#">Maupertuis</a> (1738)	6 397 300	6 363 806,283	191
<a href="#">Delambre</a> (1810)	6 376 985,0		308 6465
<a href="#">Everest</a> (1830)	6 377 276,345	6 356 075,413	300,801697979
<a href="#">Airy</a> (1830)	6 377 563,396	6 356 256,909	299,3249646
<a href="#">Bessel</a> (1841)	6 377 397,155	6 356 078,963	299,1528128
<a href="#">Clarke</a> (1866)	6 378 206,4	6 356 583,8	294,9786982
Clarke (1880)	6 378 249,145	6 356 514,870	293,465
<a href="#">Helmert</a> (1906)	6 378 200	6 356 818,17	298,3
<a href="#">Hayford</a> (1910)	6 378 388	6 356 911,946	297
Międzynarodowa (Hayford 1924)	6 378 388	6 356 911,946	297
NAD 27	6 378 206,4	6 356 583,800	294,978698208
<a href="#">Krassowski</a> (1940)	6 378 245	6 356 863,019	298,3
WGS-66 (1966)	6 378 145	6 356 759,769	298,25
Australian National (1966)	6 378 160	6 356 774,719	298,25
Nowa Międzynarodowa (1967)	6 378 157,5	6 356 772,2	298,24961539
GRS-67 (1967)	6 378 160	6 356 774,516	298,247167427
Południowo-Amerykańska (1969)	6 378 160	6 356 774,719	298,25
WGS-72 (1972)	6 378 135	6 356 750,52	298,26
<a href="#">GRS 80</a> (1979)	6 378 137	6 356 752,3141	298,257222101
NAD 83	6 378 137	6 356 752,3	298,257024899
<a href="#">WGS-84</a> (1984)	6 378 137	6 356 752,3142	298,257223563
ERS (1989)	6 378 136	6 356 751,302	298,257

## Dlaczego znajomość elipsoid jest ważna?

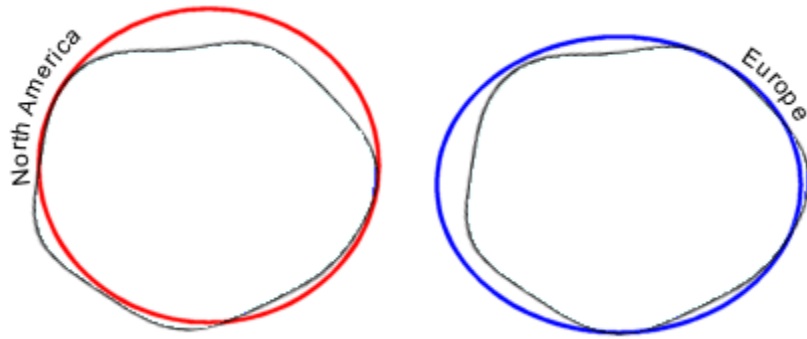
- Ignorowanie odchyleń wynikających z używania systemu jednej elipsoidy, niezależnie od tego według jakiej elipsoidy odwzorowano dane obiekty może prowadzić do błędów pomiarowych rzędu kilku lub w skrajnych przypadkach kilkuset metrów!



ESRI

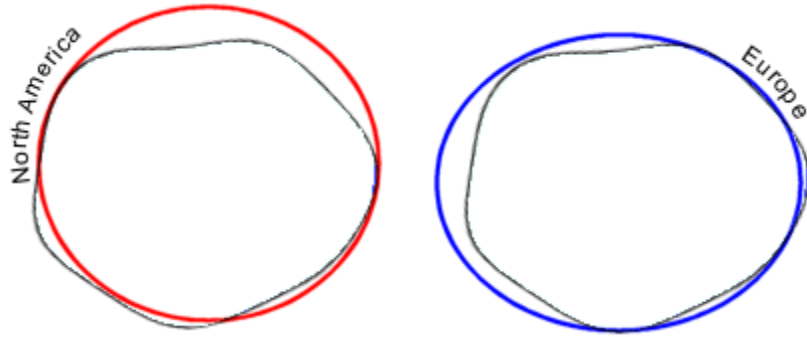
- A: 134,577°E; 24,006°S (GCS: *Australian Geodetic Datum 1984*),
- B: 134,577°E; 24,006°S (GCS: *WGS 1984*).

## Podsumowanie



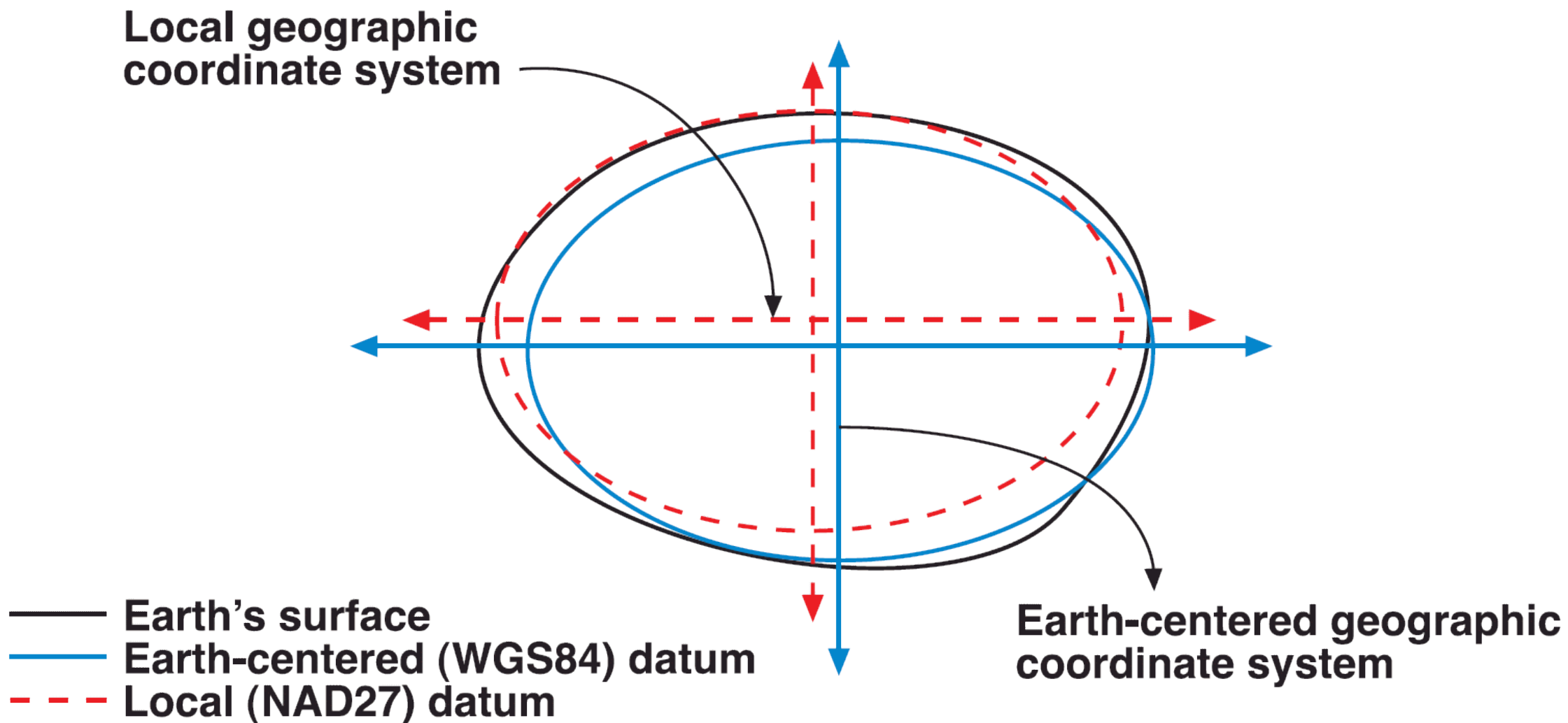
- Systemy współrzędnych geograficznych wykorzystują modele (elipsoidy, sferoidy, geoidy lub mniej dokładną kulę) do modelowania powierzchni Ziemi.
- Żaden model nie opisuje kształtu Ziemi w sposób dokładny. Idealna gładka powierzchnia nie odzwierciedla anomalii powierzchni Ziemi.
- Ponieważ nie ma jednego, uniwersalnego modelu odpowiedniego do przedstawienia całej powierzchni Ziemi, w użyciu jest więcej modeli.

## Układ odniesienia (*datum*)

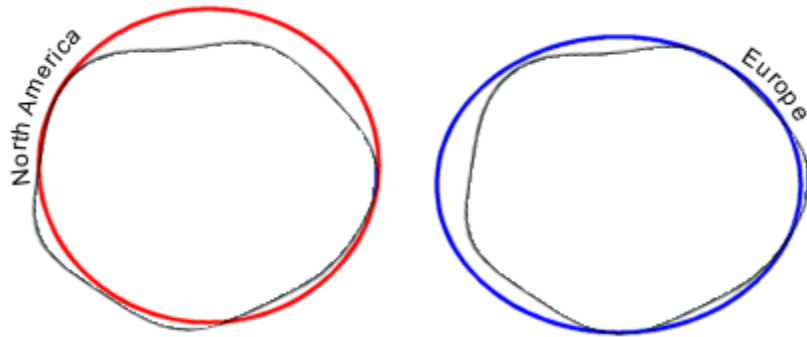


- Systemy współrzędnych geograficznych potrzebują sposobu na dopasowanie używanego modelu do powierzchni Ziemi.
- W tym celu system używa się **układów odniesienia** (przyłożenia).
- Układy odniesienia określają, którego modelu Ziemi używamy oraz w jakim punkcie go przykładamy do powierzchni Ziemi.

## Układ odniesienia (*datum*)

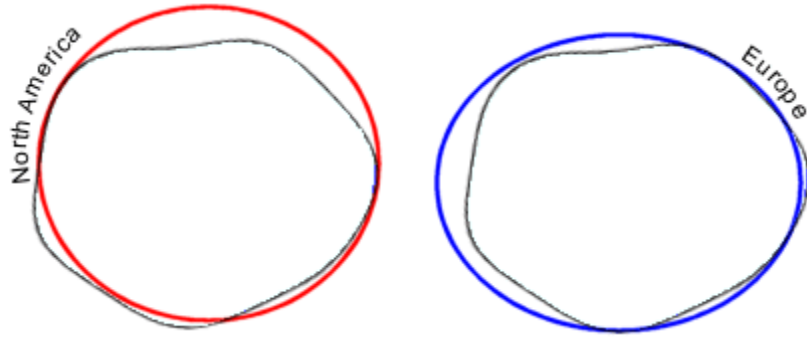


## Układ odniesienia



- Punkty odniesienia określają początek układu współrzędnych (*origin*).
- Początek układu współrzędnych jest punktem, w którym sferoida jest najlepiej dopasowana do powierzchni Ziemi i gdzie koordynaty (długość i szerokość geograf.) na modelach są prawdziwe i dokładne. Wszystkie inne punkty w systemie odnoszą się do początku układu współrzędnych.

## Punkty odniesienia



- Tak jak istnieją różne modele, w różnych częściach świata istnieją różne punkty odniesienia, które pomogą wyrównać modele do powierzchni Ziemi w różnych regionach.



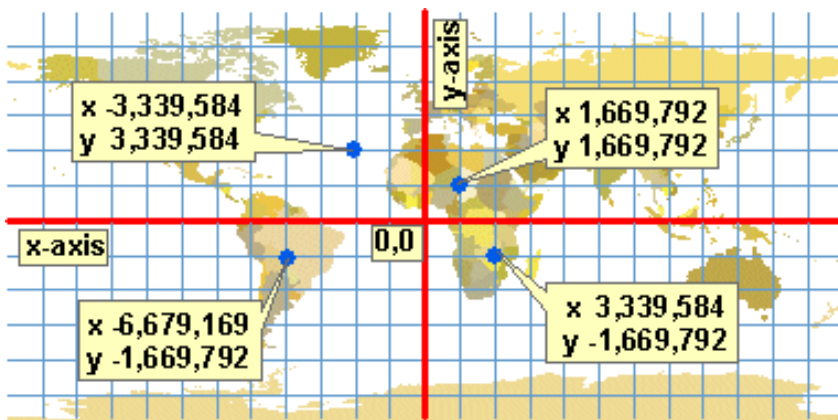
## Odwzorowania (projekcje) kartograficzne



Powierzchnia Ziemi jest zakrzywiona, a mapy są płaskie.

Aby przekształcić lokalizacje obiektów z sferycznej powierzchni Ziemi do płaskiej mapy, współrzędne z układu współrzędnych geograficznego muszą zostać przekształcone lub musi zostać dokonana ich projekcja do współrzędnych płaskich (X i Y).

## Odwzorowanie kartograficzne



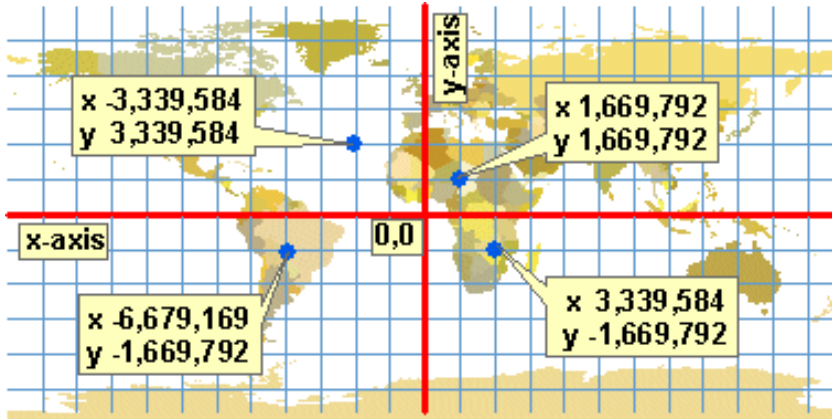
### **Odwzorowanie** (projekcja)

kartograficzna jest układem odniesienia dla identyfikacji położenia i pomiaru obiektów na płaskiej powierzchni mapy.

Składa się ono z linii, które przecinają się pod kątem prostym, tworząc siatkę.

Odwzorowania kartograficzne, które są oparte na współrzędnych kartezjańskich, mają swój początek układu, współrzędne, osie X i Y i jednostkę pomiaru odległości.

## Odwzorowanie kartograficzne



Początek układu współrzędnych (0,0), zwykle pokrywa się ze środkiem mapy. Oznacza to, że wartości współrzędnych X i Y będą dodatnie tylko w jednej ćwiartce mapy (prawej górnej).

## Odwzorowanie kartograficzne

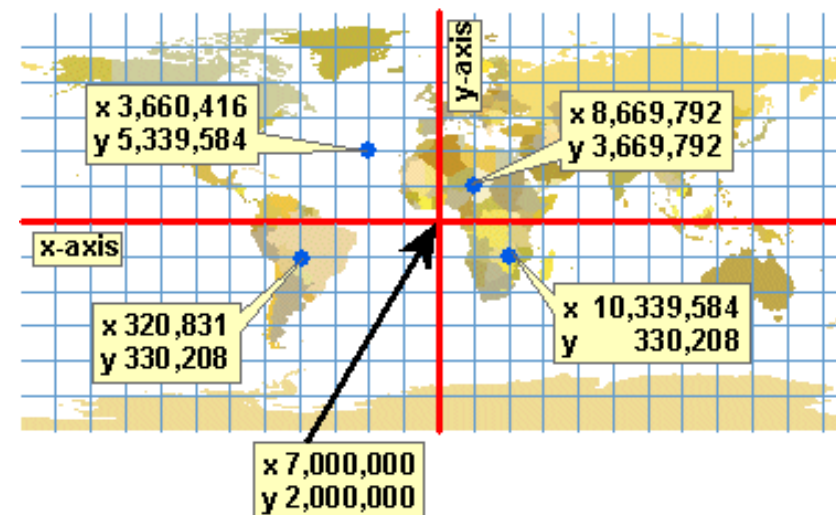
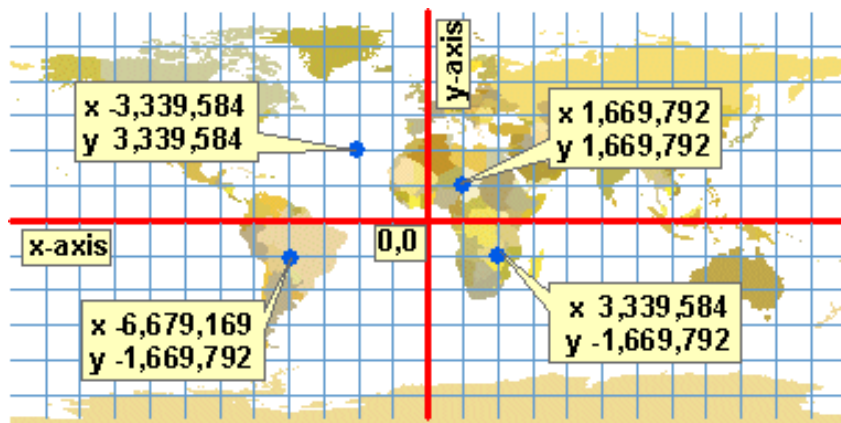
Na mapach drukowanych jest pożądané aby wszystkie wartości współrzędnych były liczbami dodatnimi.

Aby rozwiązać ten problem, do każdej wartości X i Y dodawane są dodatkowe liczby, na tyle duże, aby zapewnić, że wszystkie wartości współrzędnych, w obszarze zainteresowania, mają wartości dodatnie.

Liczba dodawana do współrzędnej X jest nazywana ***false Easting***.

Liczba dodawana do współrzędnej Y jest nazywana ***false Northing***.

## Odwzorowanie kartograficzne



Na rysunku po prawej

- do każdej współrzędnej X, dodano wartość *false Easting* równą **7 000 000**,
- do każdej współrzędnej Y dodano wartość *false Northing* równą **2 000 000**.

## Układy współrzędnych w ArcGIS Pro

- Wszystkie zbiory danych geograficznych posiadają swój *układ współrzędnych geograficznych* (GCS).
- Niektóre zbiory danych mają także *odwzorowanie kartograficzne* (PCS).
- Po dodaniu zestawu danych do ArcGIS Pro aplikacja automatycznie wykrywa wykorzystywany układ współrzędnych geograficznych oraz odwzorowanie kartograficzne (jeśli takie zostało użyte).

## Układy współrzędnych w ArcGIS Pro

- Jeżeli wszystkie dane, które wyświetlamy na mapie są przechowywane w tym samym GCS, można po prostu dodać go do mapy. Kolejne warstwy dokładane do projektu zostaną dzięki temu poprawnie nałożone.
- W przypadku zbiorów danych zawierających PCS, nawet jeśli są one różne, też można, po prostu dodać je do mapy bez konieczności konwersji danych. ArcGIS Pro automatycznie nałoży warstwy na mapę używając procesu zwanego „*projekcją w locie*”. **GCS jest „wspólnym językiem” wszystkich warstw projektu.**
- ArcGIS Pro posiada zdolność konwersji GCS na dowolny PCS i dowolnego PCS na używany w projekcie GCS.



## Układy współrzędnych w ArcGIS Pro

- Problem pojawia się, gdy chcemy wyświetlić zbiory danych, które mają różne GCS na tej samej mapie.
- Pierwszą warstwę można dodać do pustej ramki danych. Określi ona układ współrzędnych tej ramki. W przypadku, jeśli dodana warstwa używała PCS, ramka danych też będzie miał ten sam PCS.
- Jeśli dodajemy warstwę, która ma ten sam GCS ale inny PCS (lub wcale nie zawiera PCS), ArcGIS Pro wykona projekcji w locie i konwersji danych do PCS ramki danych.

## Układy współrzędnych w ArcGIS Pro

- Jeśli jednak spróbujemy dodać warstwę, która ma inny GCS, ArcGIS Pro wyświetli komunikat ostrzegawczy z informacją, że nie będzie w stanie prawidłowo wyświetlić danych. ArcGIS Pro może nadal wyświetlać dane w locie, ale nie może już zapewnić ich idealnego dopasowania.
- Dla zagwarantowania idealnego dopasowania danych, należy dokonać transformacji GCS (poza zakresem kursu).

## Układy współrzędnych w ArcGIS Pro

Jak się dowiedzieć jakiego układu współrzędnych używają nasze dane?

- W *Catalog* w metadanych można wyświetlić informacje o wykorzystywanym układzie współrzędnych.
- Jeśli zbiór danych nie posiada w jego metadanych informacji o systemie współrzędnych (nie jest to wymagane), możemy nie być w stanie poprawnie wyświetlić danych w ArcGIS Pro. Trzeba wtedy zrobić kilka testów weryfikujących użycie najbardziej prawdopodobnych układów współrzędnych, a następnie zdefiniować go za pomocą odpowiednich narzędzi ArcGIS Pro.

## Jednostki mapy i jednostki wyświetlania

**Jednostki mapy** są to jednostki, w których przechowywane są współrzędne dla zestawu danych. Są określane przez układ współrzędnych.

- Jeżeli dane są przechowywane w GCS, jednostkami mapy są zazwyczaj **stopnie dziesiętne (*Decimal Degrees (DD)*)**.  
(stopnie, minuty i sekundy wyrażone jako ułamek dziesiętny).
- Jeśli dane są przechowywane w PCS, jednostki mapy są zwykle wyrażone w metrach [m] lub stopach.
- Jednostki mapy mogą zostać zmienione tylko przez zmianę układu współrzędnych danych.

## Jednostki mapy i jednostki wyświetlania

**Jednostki wyświetlania** są niezależne od jednostek map i są własnością ramki danych. Jednostki wyświetlania są to jednostki, w których ArcGIS Pro wyświetla wartości współrzędnych i raporty pomiarów. Można je ustawić dla każdej ramki danych oddzielnie i zmieniać je w dowolnym momencie.

## Informacje dodatkowe

- [http://aragorn.pb.bialystok.pl/~dmalyszko/GIS\\_Materialy/SIP\\_Zajecia/SIP\\_Odwzorowania.htm](http://aragorn.pb.bialystok.pl/~dmalyszko/GIS_Materialy/SIP_Zajecia/SIP_Odwzorowania.htm)
- [http://www.syryjczyk.krakow.pl/Uklad%201965%20i%20inne\\_T.htm](http://www.syryjczyk.krakow.pl/Uklad%201965%20i%20inne_T.htm)