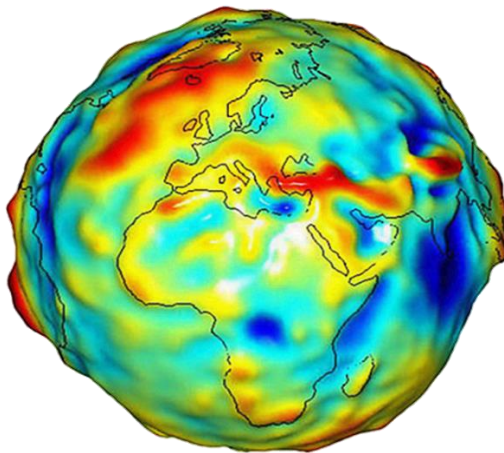


Rozdział 1

Współrzędne geograficzne i lokalizacja

Unikalną cechą danych przestrzennych jest ich lokalizacja czyli wykorzystanie miejsca w którym znajdują się one na powierzchni Ziemi. Oznacza to, że każda obserwacja będzie musiała posiadać atrybuty opisujące jej położenie.

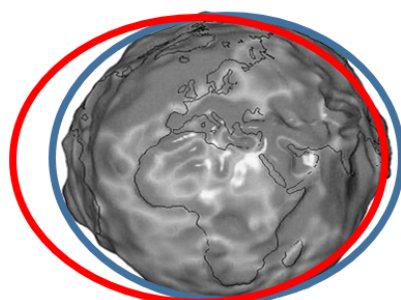
Ziemia ma kształt **geoidy**, bryły o nieregularnej powierzchni przypominającej lekko spłaszczoną od dołu i góry kulę. Aby wyobrazić ją sobie należałoby przyjąć, że cała powierzchnia Ziemi została zalana przez ocean. Poziom wody w każdym miejscu tego oceanu ulegałby oczywiście ciągłym wahaniom. Jednak gdybyśmy „zamrozili” powierzchnię wody w jej średnim położeniu w każdym miejscu kuli ziemskiej to otrzymalibyśmy właśnie geoidę, której powierzchnia pokryta byłaby wzniesieniami i obniżeniami o różnicach wysokości dochodzących do około stu metrów. Przyczyną tych nierówności powierzchni geoidy są różnice w gęstości skał tworzących wewnątrz Ziemi. Spłaszczenia w okolicach biegunowych są natomiast rezultatem działania siły odśrodkowej będącej rezultatem ruchu wirowego Ziemi na około własnej osi, która to siła jest największa na równiku a najmniejsza na biegunach.



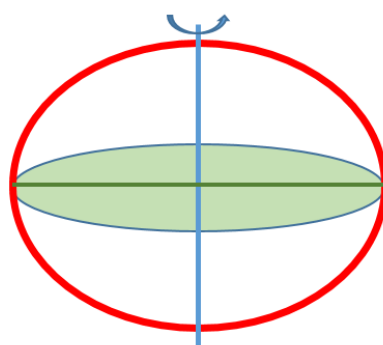
Rysunek 1.1 Kształt Ziemi. Nieregularna kulista bryła zwana geoidą.

Do określania położenia punktu w przestrzeni używamy **układów współrzędnych**. Na powierzchni nieregularnej geoidy nie jesteśmy w stanie określić takiego układu, potrzebujemy do tego regularnej bryły będącej dobrym

modelem geoidy. Taką bryłą jest **elipsoida**, która powstaje przez obrót elipsy dookoła jej osi.



Modelem geoidy mogą być różne elipsoidy, mogą być także one różnie umieszczone względem geoidy.



Elipsoida jest bryłą, która powstaje w rezultacie obrotu elipsy wokół jej osi. Oś niebieska będzie modelem osi Ziemi (przechodzącej przez bieguny), oś zielona tworzy w wyniku obrotu koło (płaszczyznę równika).

Rysunek 1.2 Elipsoida jako model geoidy.

Do tworzenia modelu geoidy używa się różnych elipsoid, które są jednoznacznie zdefiniowane przez wielkość swoich półosi, a ściślej długość półosi wielkiej i spłaszczenie obliczane jako $\frac{(półoś\ wielka - półoś\ mała)}{półoś\ wielka}$. Praktycznie istotne są tylko dwie z nich:

Tabela 1.1 Podstawowe elipsoidy – modele Ziemi.

Nazwa elipsoidy	Półoś wielka	Spłaszczenie
WGS 1984 (WGS84)	6378137 m	1/298.257223563
GRS 80	6378137 m	1/298.2572

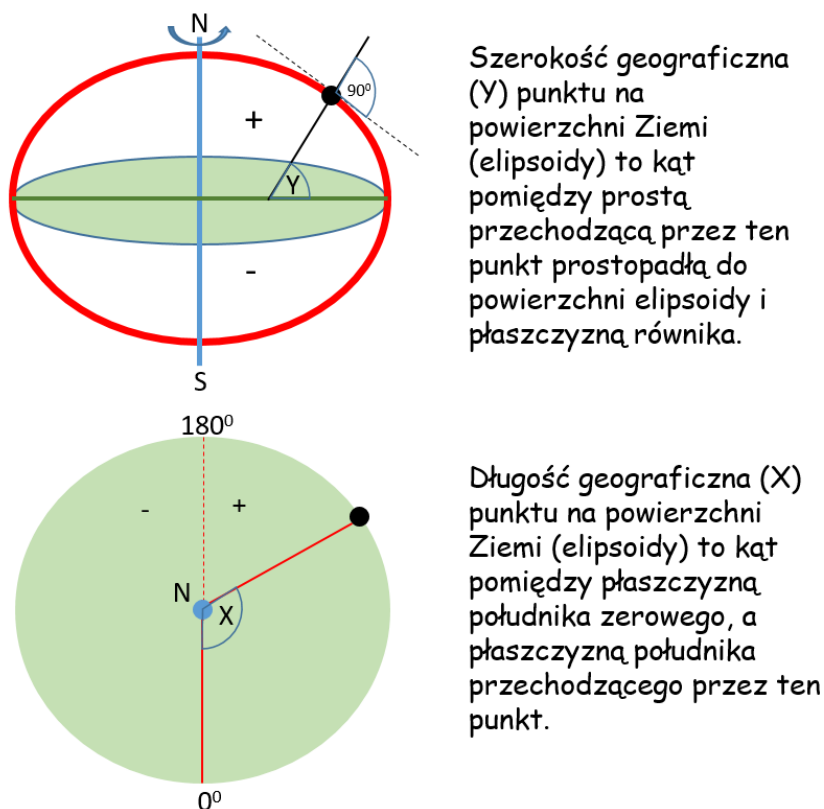
Są one prawie identyczne co sprawia, że często nie będzie istotne, która z nich jest aktualnie wykorzystywana. Oprócz wyboru elipsoidy istotne jest jej umieszczenie względem geoidy. Te dwa elementy rodzaj elipsoidy i sposób jej umieszczenia względem geoidy definiują **poziomy układ odniesienia** zwany po angielsku **datum**. Podobnie jak w przypadku elipsoid praktycznie będziemy używali dwóch poziomych układów odniesienia.

Tabela 1.2 Podstawowe układy odniesienia (datum).

Nazwa układu odniesienia	Nazwa elipsoidy	Uwagi
WGS84	WGS84	Układ obejmujący całą Ziemię (globalny). Jest także układem pionowego odniesienia, wysokości są liczone od powierzchni elipsoidy.
ETRS89	GRS 80	Aktualny poziomy układ odniesienia dla Europy. Jest na stałe zakotwiczony do płyty kontynentalnej Europy i przesuwa się (około 2 cm na rok) względem układu WGS84. Różnica w porównaniu z WGS84 nie jest większa niż pół metra.

Jeżeli mamy określony poziomy układ odniesienia to lokalizację każdego punktu powierzchni Ziemi (rzutowanej na elipsoidę) możemy określić używając współrzędnych **geograficznego układu współrzędnych** (ang. **GCS** – Geographic Coordination System). Geograficzny układ współrzędnych jest najważniejszą cechą danych geograficznych (posiadających lokalizację na powierzchni Ziemi). Wszystkie dane geograficzne mają określone położenie we współrzędnych geograficznych w danym poziomym układzie odniesienia.

Istnieją dwie współrzędne geograficzne: szerokość geograficzna (Y) i długość geograficzna (X), są to współrzędne kątowe, których jednostką jest **stopień**.



Rysunek 1.3 Współrzędne geograficzne.

Szerokość i długość geograficzna zostały pokazane na Rysunku 1.3.

Co do szerokości to należy zwrócić uwagę na kilka istotnych faktów. Po pierwsze linia służąca do określenia szerokości, która przecina powierzchnię elipsoidy jest pod kątem prostym do powierzchni stycznej do płaszczyzny elipsoidy (obrazuje ją czarna przerywana linia). Po drugie kąty szerokości liczymy od płaszczyzny równika, na którym szerokość jest zero. Szerokości na półkuli północnej będą miały znak plus, a na półkuli południowej znak minus. Na biegunach północnym i południowym osiągną wartości 90.0 i -90.0 stopni (znaku plus zwyczajowo nie zapisujemy). Po trzecie warto zwrócić uwagę na fakt, że prosta przecinająca płaszczyznę równika, która określa szerokość geograficzną na elipsoidzie, nie przechodzi przez jej środek. Przechodziłaby tylko wtedy, gdyby modelem geoidy była kula.

Jeżeli spojrzymy na definicję długości geograficznej to najlepiej będzie spojrzeć na nasz model z góry, czyli z nad bieguna północnego. Zielone koło to płaszczyzna równika, a czerwone linie to połówki elips tworzących elipsoidę. Tworzą one południki. Czerwona linia oznaczona 0^0 to szczególny południk zwany południkiem zerowym (przebiega on przez obserwatorium w Greenwich koło Londynu). Ta połówka elipsy od bieguna północnego (N) po biegun południowy ograniczona osią Ziemi, tworzy płaszczyznę południka zerowego. Czerwona linia na rysunku to także rzut prostopadły południka na płaszczyznę równika. Określając kąt długości geograficznej punktu bierzemy zawsze pod uwagę południk zerowy i południk przecinający dany punkt. Kąt pomiędzy płaszczyznami tych południków, albo pomiędzy rzutami tych południków na płaszczyznę równika daje kąt długości geograficznej. Po przeciwnej stronie południka zerowego jest południk 180^0 . Rozdziela on południki na przynależne do półkuli wschodniej i zachodniej. Południki na prawo od południka zero dają długości geograficzne wschodnie (dodatnie), a na lewo zachodnie (ujemne).

W GIS szerokość geograficzną będziemy oznaczać najczęściej literą Y, a długość geograficzną literą X. Wartości kątów będziemy zapisywać dwoma dziesiętnymi liczbami (np. X=18.3421, Y=54.2371). Ten sposób zapisu określa się skrótem DD.

Istnieją także inne sposoby zapisu współrzędnych geograficznych.

Tabela 1.3 Trzy rodzaje zapisu współrzędnych geograficznych.

Nazwa	Opis	Przykłady
DD	Stopnie dziesiętne (jedna liczba), szerokości południowe i długości zachodnie mają znak minus.	54.3241 -25.4 18.2345
DM	Stopnie i minuty dziesiętne (dwie liczby, pierwsza całkowita, druga dziesiętna). Po liczbach litery (N, S lub E, W).	54 19.446 N 25 24.0 W 18 14.07 E
DMS	Stopnie, minuty i sekundy (trzy liczby, dwie pierwsze całkowite). Po liczbach litery (N, S lub E, W).	54 19 26.76 N 25 24 0 W 18 14 4.2 E

Ze względu na to że istnieją trzy rodzaje zapisu powstaje problem przeliczania z jednego sposobu na drugi. Jest to proste jeśli zapamiętamy następującą zasadę.

Pamiętając, że 0.5 stopnia to 30 minut (analogicznie 0.5 minuty to 30 sekund) należy część dziesiętną pomnożyć przez 60. Natomiast ze względu na to, że 30 minut to 0.5 stopnia (a 30 sekund to 0.5 minuty) należy minuty lub sekundy podzielić przez 60. Czyli mnożymy albo dzielimy przez 60, tak aby relacja 0.5 do 30 lub 30 do 0.5 była zachowana.

Na przykład zamieniając 52.234 stopnia na stopnie i minuty część dziesiętną 0.234 musimy pomnożyć przez 60 co daje 14.04 czyli otrzymujemy 52° 14.04' .

Liczba cyfr po kropce dziesiętnej ma znaczenie, informuje nas o dokładności podanych wartości. Ze względu na to, że jedna minuta (na południku) odpowiada 1852 metrów (tak na marginesie jest to jednostka długości zwana milą morską) to:

0.1 minuty równa się 185.2 m

0.01 minuty równa się 18.52 m

0.001 minuty równa się 1.852 m

Czyli trzy miejsca po kropce w minutach dają nam dokładność rzędu 2 m. W przypadku stopni jeden stopień południka to około 111 000 m:

0.1 stopnia równa się 11100 m

0.01 stopnia równa się 1110 m

0.001 stopnia równa się 111 m

0.0001 stopnia równa się 11.1 m

0.00001 stopnia równa się 1.11 m

Czyli dopiero pięć miejsc po kropce daje nam dokładność pozycji rzędu jednego metra. Dlatego też sens ma zapis 54.00000 stopnia, oznacza to, że dokładność położenia jest rzędu metrów.

Długości stopni i minut na równoleżnikach są zmienne i zmieniają się od równika, gdzie są w przybliżeniu równe długościom na południkach, w kierunku bieguna gdzie ich długość wynosi zero.

Trudno w to uwierzyć ale jeszcze trzydzieści lat temu praktycznie nie były powszechnie dostępne trzy technologie, bez których trudno sobie wyobrazić dzisiejszy świat. Są to internet, telefonia komórkowa i GPS. Pozwalają one praktycznie każdemu określić z dużą dokładnością aktualną własną lokalizację na powierzchni Ziemi, zapisanie tej lokalizacji i przesłanie jej jako email.

Centryczna siatka nieba pokazuje satelity GPS wykryte przez telefon (GPS są reprezentowane przez dyski, a satelity GLONASS przez kwadraty, wielkość symbolu pokazuje moc sygnału). Kolor zielony pokazuje, że dany satelita jest używany do określenia lokalizacji.

Określany jest szacowany błąd określenia lokalizacji.

Wysokość jest podawana względem powierzchni elipsoidy lub średniego poziomu morza.



Igła kompasowa w centrum siatki pokazuje kierunek pola magnetycznego zmierzony przez telefon. Obliczona jest deklinacja magnetyczna. Podany jest azymut boku telefonu.

Zielone słupki obrazują moc sygnału, wykres jest podzielony na cztery sekcje (od lewej: GPS, GLONASS, BEIDOU i GALILEO).

DOP opisuje współczynnik geometrycznej dokładności zależny od geometrii konfiguracji satelitów.

Rysunek 1.4 GPS w smartfonie (bezpłatny program GPS Status & Toolbox).

Nasze smartfony są powszechnie wyposażone w różnego rodzaju czujniki w tym odbiorniki sygnału GPS. GPS jest to globalny nawigacyjny system satelitarny (GNSS – global navigation satellite system). GPS jest zwykle używana jako nazwa systemu NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System), który jest systemem armii USA. Ale nie jest to jedyny system obejmujący cały świat towarzyszą mu system rosyjski GLONASS, chiński BEIDOU i europejski GALILEO. Nasz smartfon potrafi już korzystać z więcej niż jednego systemu do jak najdokładniejszego określenia lokalizacji. Odbiór zakodowanych sygnałów satelitarnych z czterech satelitów pozwala na określenie naszego położenia w przestrzeni (szerokość i długość geograficzna i

wysokość względem powierzchni elipsoidy). Większą dokładność uzyskujemy przy wykorzystaniu większej liczby satelit. Coraz częściej smartfony wykorzystują także technologię High Sensitivity GPS, która wykorzystuje specjalne przetwarzanie sygnału, które pozwala na wykorzystywanie bardzo słabych sygnałów w miejscach, gdzie jeszcze niedawno trudno było wykorzystywać GPS jak wąskie ulice otoczone wysokimi budynkami czy gęsty las.