

Systemy odniesienia pozycji w odbiornikach nawigacyjnych

dr inż. Paweł Zalewski





Wprowadzenie

Terestryczne systemy odniesienia (terrestrial reference systems) lub systemy współrzędnych (coordinate systems) to inaczej układy, według których określana jest pozycja. Takie parametry pozycji jak: szerokość (**latitude**), długość (**longitude**), wysokość nad średnim poziomem morza (**height above MSL** lub **orthometric height**); x , y , z są zawsze powiązane z określonym systemem odniesienia.

Podając informację o pozycji i nanosząc pozycję na mapę należy zawsze zwrócić uwagę na system odniesienia według, którego została ona wyznaczona!



Podział systemów odniesienia

W celu określenia pozycji na lub w pobliżu powierzchni Ziemi (i innych planet...) używamy systemu współrzędnych stałego względem planety (**EF - Earth-fixed coordinate system**), co oznacza, że system obraca się wraz z Ziemią i współrzędne stałych w stosunku do Ziemi punktów są niezależne od czasu.

Terestryczne systemy odniesienia można podzielić i zdefiniować na podstawie sześciu kryteriów:

- układu współrzędnych (**coordinate frame**)
- elipsoidy odniesienia (**reference ellipsoid**)
- wektorów prędkości punktów siatki (**station velocities**)
- odwzorowania siatki (**grid, projection**)
- pola grawitacyjnego (**gravity field**)
- prędkości obrotu (**rate of rotation**)



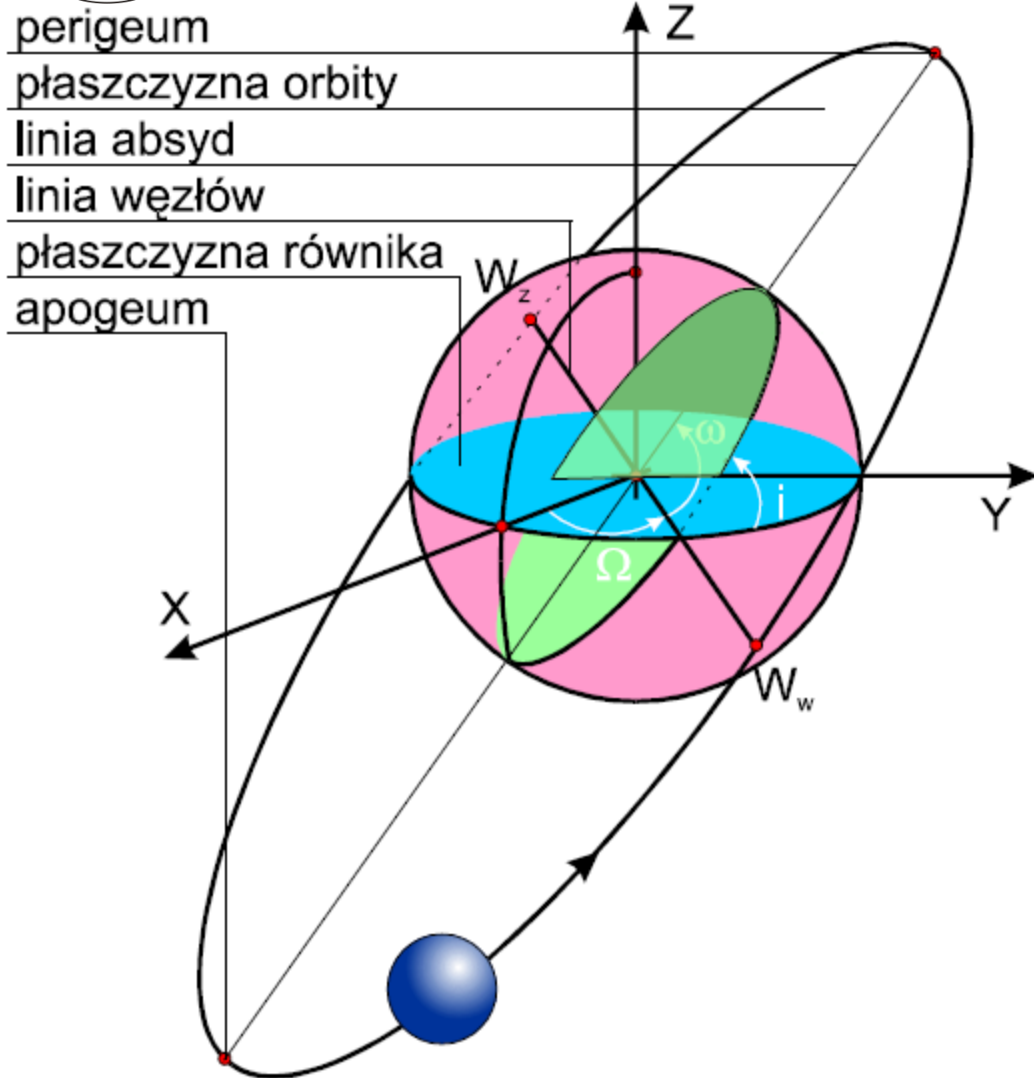
Układ współrzędnych

Przyjęcie układu współrzędnych (kartezjański - prostokątny lub biegunowy) jest konieczne w celu wyznaczenia położenia dowolnego punktu na powierzchni elipsoidy ziemskiej.

Położenie to wyznaczane jest w geodezji za pomocą współrzędnych prostokątnych przestrzennych x, y, z odniesionych do płaszczyzn symetrii elipsoidy. Jedną z tych płaszczyzn jest płaszczyzna równika (w której leżą osie: X , skierowana na 0° - 180° długości – punkt równonocy wiosennej i Y), zaś dwie pozostałe to płaszczyzny południkowe wzajemnie prostopadłe (w których zawarta jest oś Z skierowana do bieguna północnego).

Środek układu położony jest zwykle w pobliżu środka Ziemi, zależnie od przyjętej elipsoidy odniesienia.

Układ współrzędnych



Część wspólna płaszczyzn równika i orbity nazywana jest linią węzłów, którą wyznaczają punkt przejścia satelity z półkuli południowej na północną (węzeł wstępujący - W_w), oraz przeciwległy węzeł zstępujący - W_z . Podobnie prosta wyznaczona przez punkty apogeum i perigeum określana jest jako linia absyd.

Układ współrzędnych

perigeum

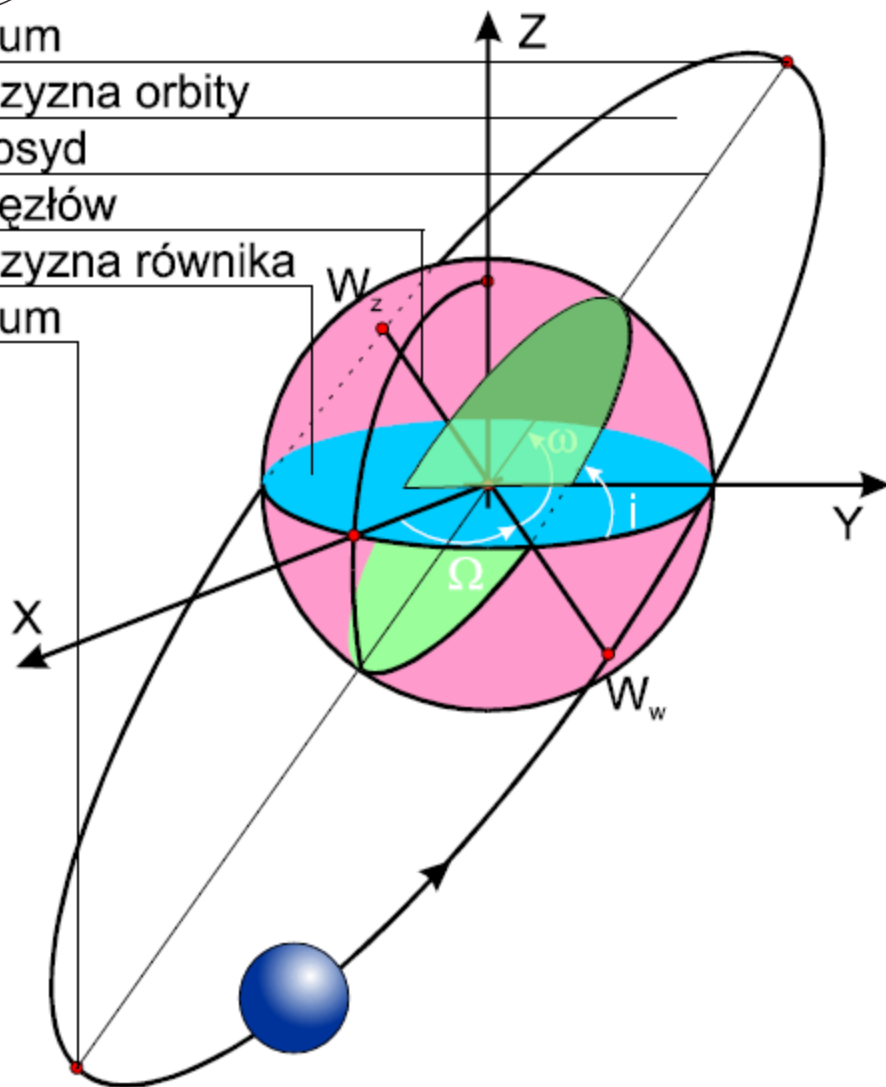
płaszczyzna orbity

linia absyd

linia węzłów

płaszczyzna równika

apogeum



Elementy orbity:

Rektascencja (długość) węzła wstępującego (Ω) - mierzony przeciwnie do ruchu wskazówek umieszczonego na biegunie północnym zegara kąt jaki tworzy linia węzłów z osią X układu współrzędnych.

Inklinacja (nachylenie) orbity (i) - mierzony przeciwnie do ruchu wskazówek umieszczonego w węźle W_w zegara kąt jaki tworzy płaszczyzna równika z płaszczyzną orbity. Orbity, dla których $i = 0^\circ$ nazywane są równikowymi, zaś te, dla których $i = 90^\circ$ - biegunowymi.

Układ współrzędnych

perigeum

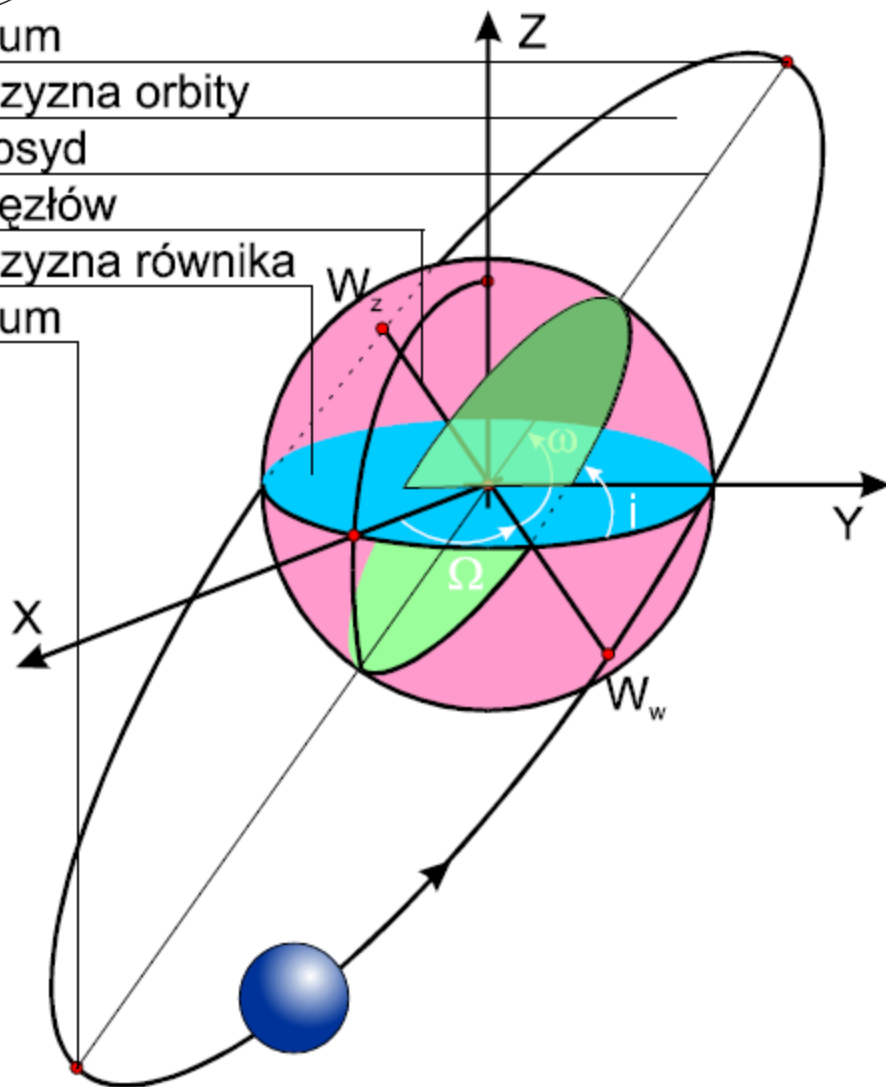
płaszczyzna orbity

linia absyd

linia węzłów

płaszczyzna równika

apogeum



Elementy orbity:

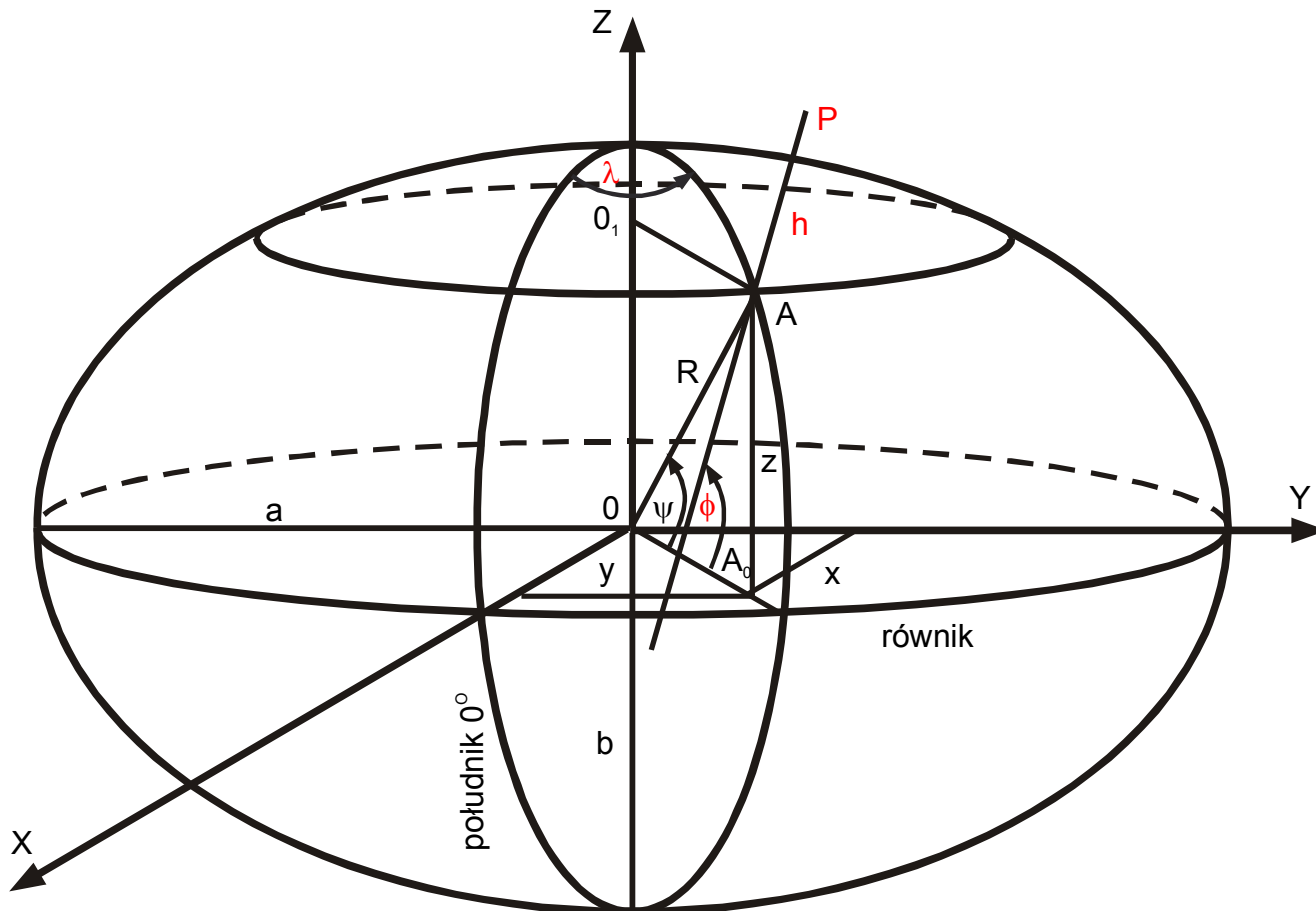
Argument perigeum (ω) - mierzony w płaszczyźnie orbity kąt pomiędzy kierunkiem węzła W_w i kierunkiem perigeum.

Czas przechodzenia przez perigeum (t_p) - chwila osiągnięcia przez satelitę punktu najbliższego Ziemi.

Duża półoś orbity (a) oraz mimośród orbity (e) - parametry elipsy orbitalnej.

Elipsoida odniesienia

Dla celów kartografii morskiej następuje przeliczenie współrzędnych prostokątnych na geograficzne na podstawie modelu matematycznego przyjętej elipsoidy odniesienia:





Elipsoida odniesienia

Odstępstwo elipsoidy od kuli wyrażają spłaszczenie biegunowe (α) lub mimośród nazywany także ekscentrycznością liczbową (e):

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

Punkt A znajdujący się w dwóch układach współrzędnych, posiada w układzie geograficznym współrzędne ϕ i λ , oraz w układzie prostokątnym przestrzennym współrzędne x , y , z . Związki między tymi współrzędnymi (rys.) wynoszą:

$$x = OA_0 \cos \lambda$$

$$y = OA_0 \sin \lambda$$

$$z = OA_0 \operatorname{tg} \psi$$



Elipsoida odniesienia

przy czym:

$$OA_0 = O_1A = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$
$$\operatorname{tg} \psi = (1 - e^2) \operatorname{tg} \varphi$$

Ostatecznie otrzymamy następujące zależności pomiędzy x , y , z a ϕ i λ :

$$x = \frac{a \cos \varphi \cos \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$y = \frac{a \cos \varphi \sin \lambda}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$z = \frac{a(1 - e^2) \sin \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$



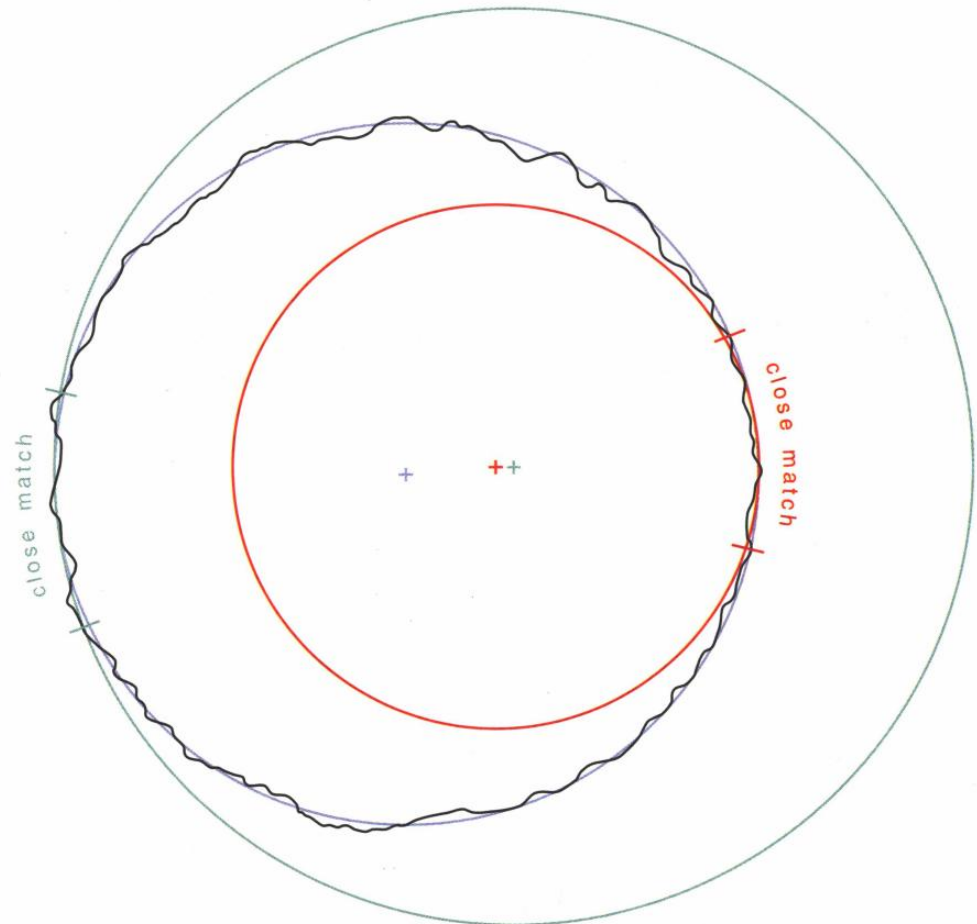
Elipsoida odniesienia

Ze względu na wierność odtworzenia powierzchni geoidy wyróżniamy elipsoidy:

- lokalne,
- globalne.

KEY

- Actual Earth
- "Large" spheroid (eg. International; $a = 6378388\text{m}$)
- "Best-fit"; WGS84 spheroid ($a = 6378137\text{m}$)
- "Small" spheroid (eg. Airy; $a = 6377563.396\text{m}$)





Wektory prędkości punktów siatki

W pewnych przypadkach, gdy pozycja musi być odniesiona do punktów lądowej siatki geodezyjnej należy uwzględnić zmiany położenia tych punktów (a tym samym umocowanego względem nich układu współrzędnych) wraz przemieszczaniem się mas kontynentalnych.

Jest to realizowane poprzez budowę modelu matematycznego ruchu punktów siatki (**station velocities model**) na podstawie zmian ich położenia w przeszłości.

W systemach odniesienia uwzględniających model ruchu punktów siatki współrzędne stają się zależne od czasu i konieczne jest podanie momentu czasu odniesienia (**epoch**) np. dla systemu ITRS epoka 1992.5 (zwykle do dziesiątych części roku).



Odwzorowanie siatki

Odwzorowanie siatki jest inaczej jej przekształceniem z postaci trójwymiarowej na dwuwymiarową (odwzorowanie płaskie). Każdy punkt elipsoidy odniesienia musi być przedstawiony przez jeden punkt takiego odwzorowania.

Odwzorowania map wprowadzają zniekształcenia siatki, przy czym niektóre z parametrów pozostają niezniekształcone, a ich dobór zależy od przeznaczenia mapy.

W odwzorowaniu Merkatora wartość zerową posiadają zniekształcenia kątów - jest to odwzorowanie wiernokątne (inne odwzorowania mogą być wiernoodległościowe albo wiernopowierzchniowe).



Przykłady „datum”

Coordinate Frame + Reference Ellipsoid = Datum

11 Principal stns	Airy	OSGB36
1591+ pts	WGS84 ellipsoid	WGS84 *
Potsdam	International 1924	ED50
Meads Ranch	Clarke 1886	NAD27

*** - kompletny system współrzędnych (6 składowych)**



Informacje na mapach Admiralicji

Positions are referred to Ordnance Survey of Great Britain (1936) Datum (see SATELLITE-DERIVED POSITIONS note).

SATELLITE-DERIVED POSITIONS

Positions derived from satellite navigation systems are normally referred to WGS Datum; the latitudes of such positions can be plotted directly on this chart, but longitudes should be moved 0.1 minutes EASTWARD to agree with this chart.



Pomiar wysokości

H = Orthometric Height

h = Ellipsoidal Height

N = Geoid Height

$$H = h - N$$

