



**Wydział Geodezji
i Kartografii**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYBRANE ZAGADNIENIA GEODEJI WYŻSZEJ

KIERUNEK: GEOINFORMATYKA, SEM 3

WSTĘP DO ASTRONOMII GEODEZYJNEJ

mgr inż. Maciej Grzymała

maciej.grzymala@pw.edu.pl

Zakład Geodezji i Astronomii Geodezyjnej

Wydział Geodezji i Kartografii

Politechnika Warszawska

Semestr zimowy rok akad. 2022/2023

**Warsaw University
of Technology**



Geodezja ma na celu wyznaczanie kształtu i rozmiarów Ziemi oraz jej pola grawitacyjnego.

- 1 wyznaczanie precyzyjnych globalnych, regionalnych i lokalnych układów odniesienia
- 2 wyznaczanie ziemskiego pola grawitacji (także geoidy)
- 3 mierzenie i modelowanie zjawisk geodynamicznych (np. ruch bieguna, ruch obrotowy Ziemi, deformacje skorupy ziemskiej)

Astronomia geodezyjna jest to część astronomii zajmująca się definiowaniem oraz realizacją ziemskich i niebieskich układów odniesienia.

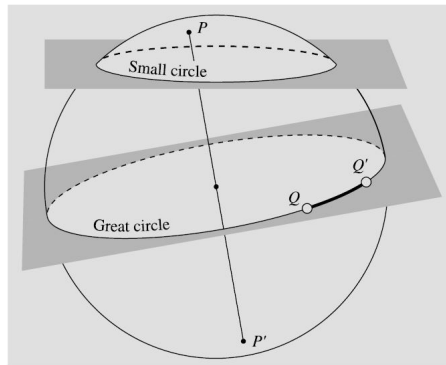
Geodezja satelitarna (kosmiczna) zajmuje się tymi aspektami geodezji i astronomii geodezyjnej, które mogą być realizowane poprzez wykorzystanie sztucznych satelitów Ziemi jako cele obserwacyjne bądź jako platformy obserwacyjne.

Sfera niebieska

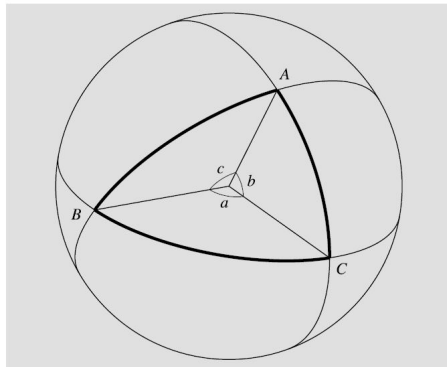
Sfera niebieska jest to sfera o środku umieszczonym w środku Ziemi i o nieskończenie wielkim jednostkowym promieniu.

Przecięcie sfery płaszczyzną jest kołem:

- kołem wielkim nazywamy przecięcie sfery płaszczyzną przechodzącą przez środek sfery
 - linia prostopadła do płaszczyzny przechodząca przez środek sfery przecina sferę w dwóch punktach P i P' , które nazywamy biegunami
- kołem małym nazywamy przecięcie sfery płaszczyzną nie przechodzącą przez środek sfery



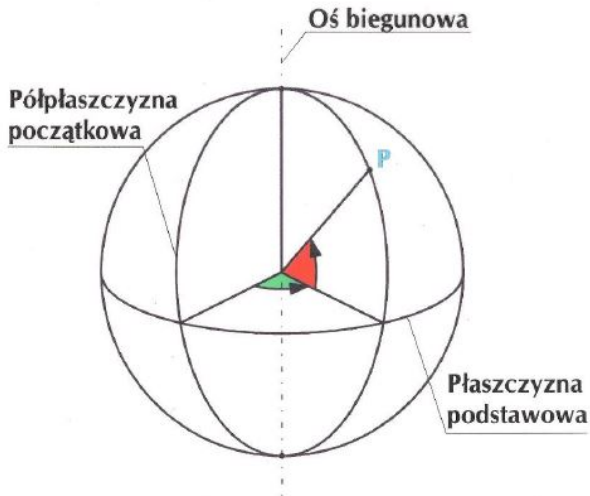
- Bokiem trójkąta sferycznego nazywamy bądź łuk koła wielkiego łączącego dwa wierzchołki trójkąta, bądź kąt środkowy, na którym oparty jest rozważany łuk koła wielkiego. Boki wyrażone są najczęściej w mierze stopniowej lub czasowej i oznaczone są **małymi literami** **a, b, c**
- Kątem trójkąta sferycznego nazywamy kąt płaski pomiędzy stycznymi do boków trójkąta w punkcie stanowiącym jego wierzchołek, bądź kąt dwuścienny zawarty pomiędzy płaszczyznami kół wielkich tworzących boki trójkąta. Kąty w trójkącie sferycznym oznaczamy **wielkimi literami A, B, C**.
- Rozważane będą trójkąty o bokach i kątach mniejszych od 180° .





Układy współrzędnych stosowane w astronomii

- Zdefiniowanie jakiegoś przestrzennego układu współrzędnych wymaga zdefiniowania w przestrzeni podstawowego kierunku (oś biegunowa) i płaszczyzny podstawowej, z wyróżnionym na niej kierunkiem jednej z osi współrzędnych (półpłaszczyzna początkowa),
- Położenie punktów na sferze niebieskiej określać będą dwie współrzędne sferyczne.



Układ współrzędnych horyzontalnych



Układ współrzędnych horyzontalnych (inaczej topocentrycznych/układ lokalny)

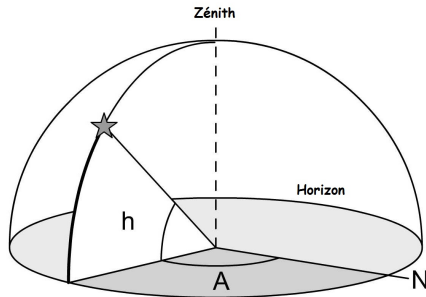
- płaszczyznę podstawową układu jest płaszczyzna horyzontu
- ós biegunowa: linia pionu (zenit–nadir)

Współrzędnymi sferycznymi tego układu są:

- azymut (Az),
- wysokość (h) lub odległość zenitalna (z). Pomiedzy wysokością a odległością zenitalną zachodzi następujący związek:

$$z = 90^{\circ} - h$$

Współrzędne horyzontalne gwiazd ulegają ciągłym zmianom wskutek ruchu obrotowego Ziemi i związanego z tym pozornego ruchu dobowego sfery niebieskiej.

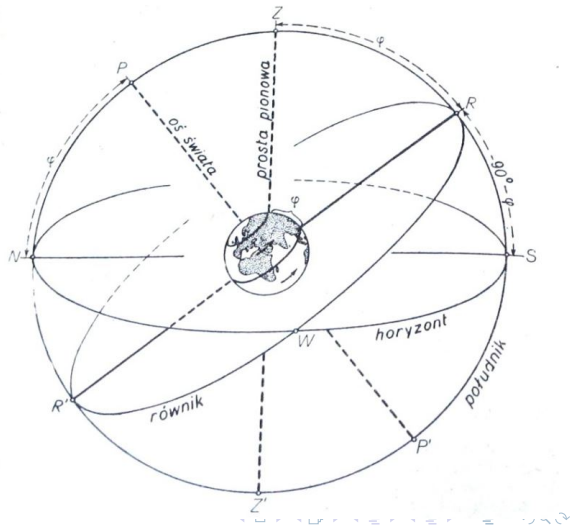


Układ współrzędnych równikowych:

- płaszczyzną podstawową układu jest płaszczyzna równika ziemskiego,
- oś biegunowa: oś obrotu Ziemi (biegun półn–biegun połd),
- półpłaszczyzna początkowa: południk punktu Barana (Υ).

Współrzędnymi sferycznymi tego układu są:

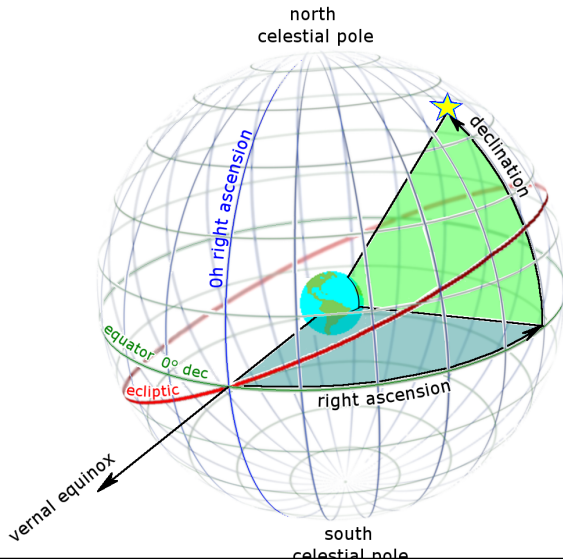
- rektascenzja (α),
- deklinacja (δ)



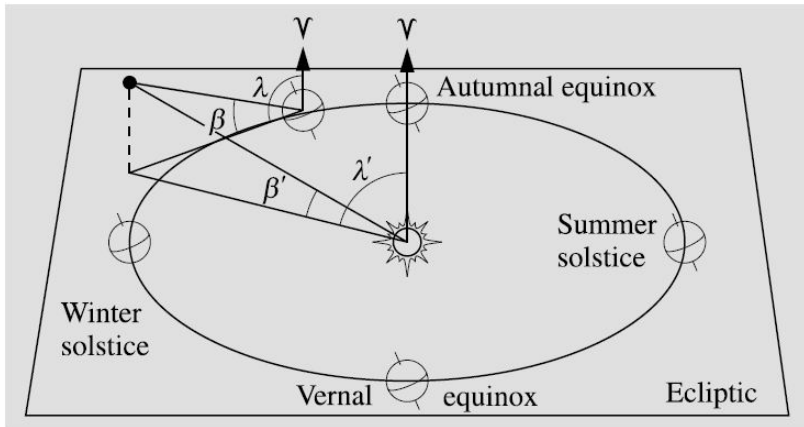
Układ współrzędnych równikowych ekwinokcjalnych



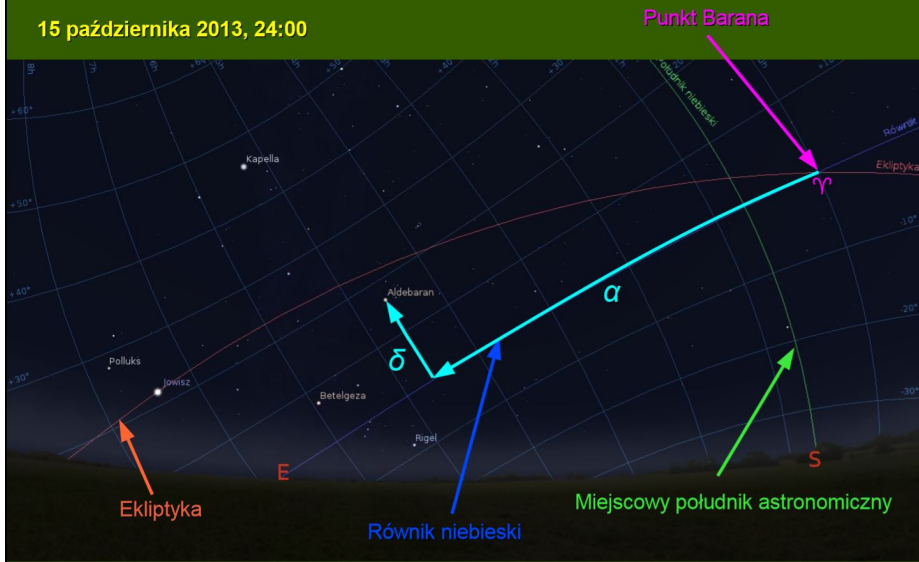
- Rektascenzją (α) nazywamy kąt dwuścienny zawarty pomiędzy płaszczyznami południka punktu Barana i południka danej gwiazdy. Rektascenzję liczymy dodatnio w kierunku: zachód-południe-wschód **przeciwnie do ruchu wskazówek zegara**
- Deklinacja (δ) nazywamy kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną równika niebieskiego a kierunkiem do danej gwiazdy, mierzony w płaszczyźnie południka niebieskiego
- Deklinację liczymy od 0° do 90° na półkuli północnej i ujemnie na półkuli południowej.



Punkt Barana, (Υ) punkt równonocy wiosennej (punkt Barana) – miejsce przecięcia się ekliptyki z równikiem, gdzie Słońce zmienia deklinację z ujemnej na dodatnią



15 października 2013, 24:00

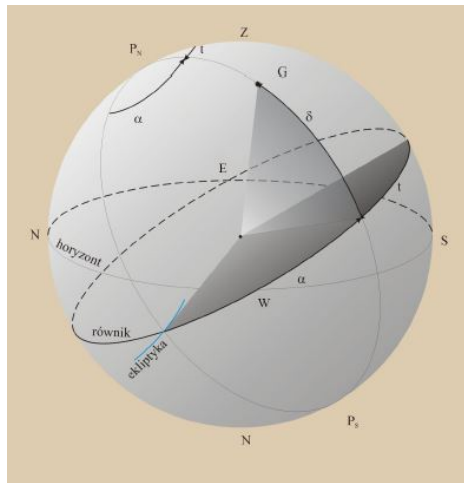


Układ współrzędnych równikowych godzinnych:

- płaszczyzną podstawową układu jest płaszczyzna równika ziemskiego
- oś biegunowa: oś obrotu Ziemi (biegun półn–biegun połd)
- półpłaszczyzna początkowa: południowe ramię południka miejscowego

Współzrzednymi sferycznymi tego układu są:

- kąt godzinny (t),
- deklinacja (δ)





- Kątem godzinnym (t) nazywamy kąt dwuścienny zawarty pomiędzy płaszczyznami południka miejscowego i południka rozpatrywanej gwiazdy. Liczony dodatnio w kierunku: zachód–północ–wschód, czyli **zgodnie z ruchem wskazówek zegara**
- Kąt godzinny jako kąt liczony od płaszczyzny południka miejscowego jest współrzędną lokalną, związaną z miejscem obserwacji

Związek między kątem godzinnym a rektascenzją:

$$t\gamma = \alpha_* + t_*$$

gdzie:

- $t\gamma$ – kąt godzinny punktu Barana,
- t_* – kąt godzinny danej gwiazdy,
- α – rektascenzja danej gwiazdy.

Kąt godzinny punktu Barana $t\gamma$ nazywany jest czasem gwiazdowym

$$\begin{aligned}\sin h &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \\ \sin z \cos Az &= \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos t \\ \sin Az &= -\frac{\sin t \cos \delta}{\cos h}\end{aligned}$$

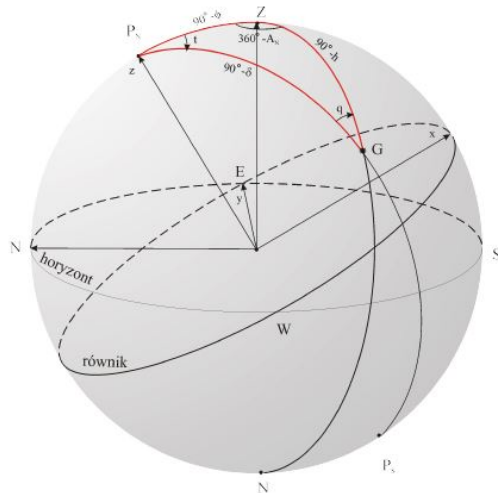



Zamianę odwrotną, czyli współrzędnych horyzontalnych na równikowe, uzyskamy pisząc wzory podstawowe dla boku $P_n G$ i kąta przy biegunie paralaktycznym:

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos Az$$

$$\cos \delta \cos t = \cos \varphi \sin h - \sin \varphi \cos h \cos Az$$

$$\sin t = -\frac{\sin Az \cos h}{\cos \delta}$$



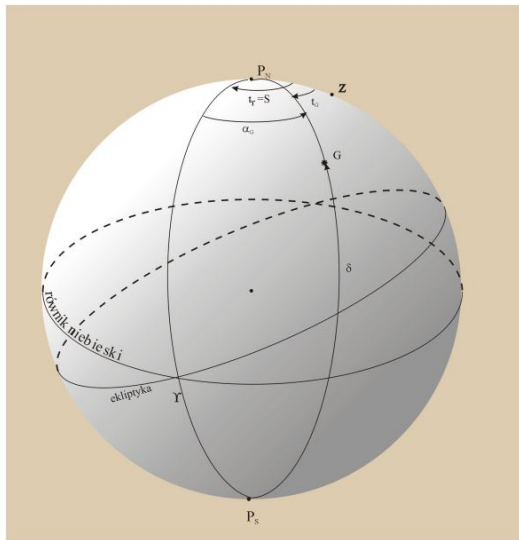


Transformację współrzędnych pomiędzy układem równikowym i równikowym godzinnym realizują związki:

$$\alpha_* = t\gamma - t_*$$

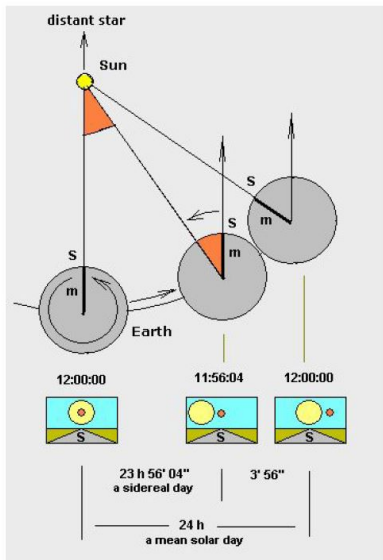
$$t_* = t\gamma - \alpha_*$$

Drugą współrzędną w obu układach jest deklinacja (δ)





Czas gwiazdowy i słoneczny



kąt o jaki Ziemi zrobi obrót w ciągu jednej doby słonecznej:

$$360^{\circ} + \left(\frac{1}{365,2422} \right) \cdot 360^{\circ} = 360^{\circ}59'8''$$

- Doba gwiazdowa = 23h 56m 04,091s czasu słonecznego
- Doba słoneczna = 24h 03m 56,555s czasu gwiazdowego
- opóźnienie początku doby słonecznej względem doby gwiazdowej o 3m 56,555s czasu gwiazdowego na dobę, czyli 3m 55,909s czasu słonecznego



- Podstawową jednostką skali czasu gwiazdowego jest doba gwiazdowa
- Dobą gwiazdową nazywamy okres zawarty pomiędzy dwoma kolejnymi kulminacjami górnymi punktu Barana. W zależności od wyboru kulminacji średniego lub prawdziwego punktu Barana, rozróżniamy średnią i prawdziwą dobę gwiazdową. Początkiem doby gwiazdowej jest moment kulminacji górnej punktu Barana,
- Z powodu precesji punktu Barana, doba gwiazdowa jest krótsza o 0,0084s od rzeczywistego pełnego obrotu Ziemi wokół osi.

CZAS GWIAZDOWY A REKTASCENZJA

Czas gwiazdowy jest to kąt godzinny punktu Barana:

$$S = t\gamma$$

Kąt godzinny punktu Barana można wyrazić wzorem:

$$t\gamma = t_* + \alpha_*$$

Dla gwiazd górujących $t_* = 0$, czas gwiazdowy jest równy ich rektascenzji:

$$t\gamma = \alpha_*$$



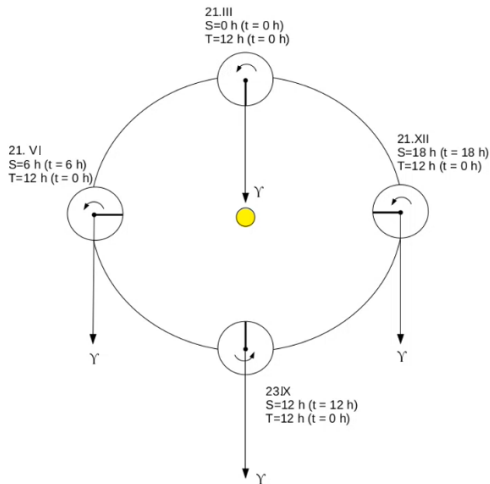
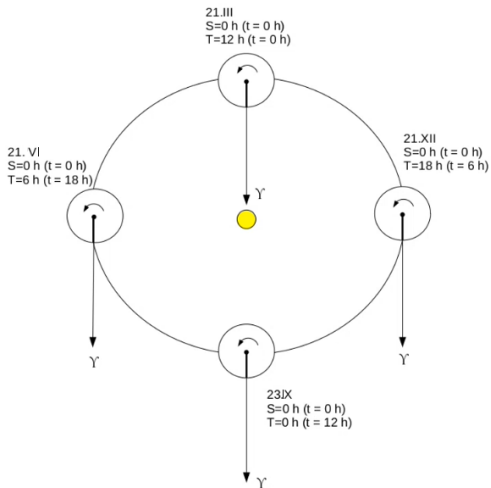
- Czas godzinny prawdziwy jest to kąt godzinny Słońca prawdziwego, powiększony o 12 godzin:

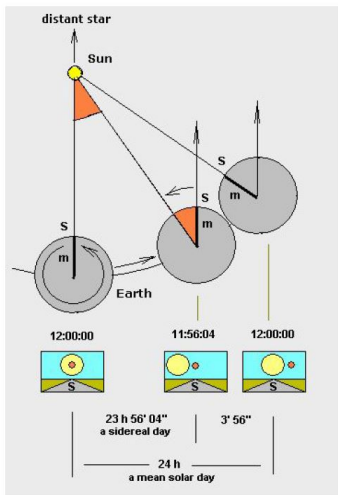
$$T_v = t_{\odot} + 12^h$$

Punkt zerowy skali czasu prawdziwego określa nam moment kulminacji dolnej Słońca prawdziwego, wówczas $t_{\odot} = 12^h$ i $T_v = 0$.

- Ze względu na niejednostajny ruch orbitalny Ziemi wokół Słońca (II prawo Keplera) i nachylenie płaszczyzny ekliptyki do równika pod kątem $23,5^\circ$, kąt godzinny Słońca prawdziwego zmienia się niejednostajnie. Dlatego wprowadzono pojęcie **Słońca średniego i czasu słonecznego średniego** T .
- różnicę pomiędzy czasem słonecznym prawdziwym a czasem słonecznym średnim nazywamy równaniem czasu:

$$E = T_v - T = t_{\odot} - t_{\odot\text{śr}}$$





długość roku zwrotnikowego:

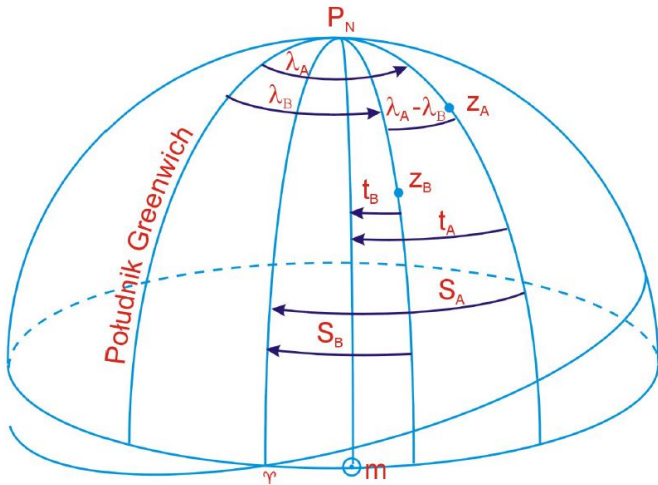
- 365,2422 dób słonecznych (365,2421896698)
- 366,2422 dób gwiazdowych (366,2421896698)

Stosunek jednostek czasu gwiazdowego słonecznego można też otrzymać w następujący sposób:

$$k = \frac{366,2421896698}{365,2421896698} = 1,0027379093 \approx \frac{24}{23^h56^m4^s}$$

Zależność odwrotna

$$k = \frac{365,2421896698}{366,2421896698} = 0,9972695663 \approx \frac{23^h56^m4^s}{24}$$



Czas gwiazdowy, zdefiniowany jako kąt godzinny punktu Barana jest czasem lokalnym, a także czas słoneczny, związane są z południkiem miejsca obserwacji, a więc pozycją obserwatora.

Z rysunku można odczytać, że:

$$S_A - S_B = \lambda_A - \lambda_B$$

$$t_A - t_B = \lambda_A - \lambda_B$$



Wprowadzając czas gwiazdowy Greenwich S^{Gr} ($\lambda_{Gr} = 0$) oraz czas słoneczny Greenwich T^{Gr} możemy dla Warszawy napisać:

$$\begin{aligned}S_m^{W-wa} &= S_m^{Gr} + \lambda_{W-wa} \\ T^{W-wa} &= T^{Gr} + \lambda_{W-wa}\end{aligned}$$

oraz

$$\begin{aligned}S_v^{W-wa} &= S_v^{Gr} + \lambda_{W-wa} \\ T_v^{W-wa} &= T_v^{Gr} + \lambda_{W-wa}\end{aligned}$$

ogólnie zaś:

$$\begin{aligned}S^A &= S^{Gr} + \lambda_A \\ T^A &= T^{Gr} + \lambda_A\end{aligned}$$

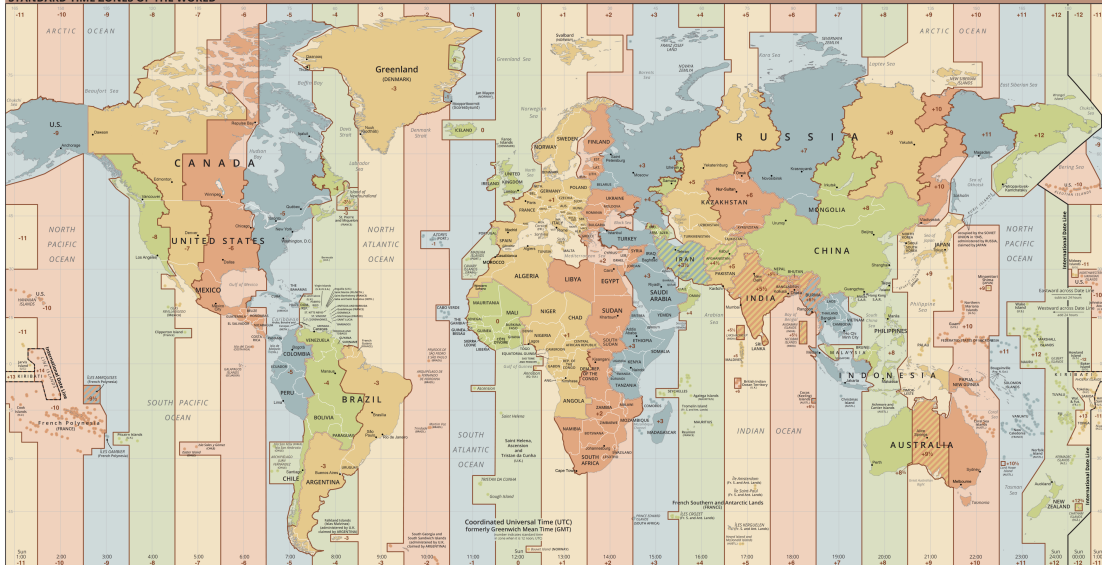


- Czasem uniwersalnym UT nazywamy czas słoneczny średni Greenwich
- UT1 - czas związany z rzeczywistym obrotem Ziemi wokół własnej osi. Ponieważ tempo rotacji Ziemi zmniejsza się, czas ten zmienia się
- UTC - czas strefowy koordynowany, jego jednostką jest stała sekunda atomowa. Aby zapobiec zwiększeniu różnicy między czasem UT1 a UTC o więcej niż 1s, raz na jakiś czas, dodaje się do czasu UTC *sekundę przestępną*.

Czas strefowy



STANDARD TIME ZONES OF THE WORLD





$$T^A = \left((S^A - \lambda_A) - S^{Gr} \right) k' + \lambda_A$$

oraz:

$$S^A = \left(T^A - \lambda_A \right) k + S^{Gr} + \lambda_A$$



Dziękuję za uwagę

Maciej Grzymała