

Układy współrzędnych i odwzorowania geograficzne.

Odwzorowania stosowane w polskiej kartografii geologicznej i podstawowe informacje na temat innych odwzorowań stosowanych w Polsce

dr inż. Bartosz Papiernik

Kraków

Marzec 2013

Kreśląc mapy topograficzne, geologiczne, przekroje strukturalne i hipsograficzne musimy umieścić przedstawiane w formie graficznej struktury i/lub atrybuty (np. miąższość czy porowatość) w odpowiednim dla nich układzie współrzędnych. Pozwoli to zachować odpowiednie relacje geometryczne między poszczególnymi elementami rysunku, a w konsekwencji wyciągnąć odpowiednie wnioski na temat badanego rejonu.

W GEODEZJI ORAZ KARTOGRAFII GEOGRAFICZNEJ I GEOLOGICZNEJ WYRÓŻNIANE SĄ TRZY PODSTAWOWE TYPY UKŁADÓW WSPÓLRZĘDNYCH:

- Współrzędne geograficzne - rzutowane na sferę bądź w dokładniejszych odwzorowaniach na elipsoidę obrotową (podstawowe współrzędne w kartografii – zwłaszcza na mapach wymagających mniejszej dokładności)
- Współrzędne prostokątne płaskie (tzw. geodezyjne) najpowszechniej używane do sporządzania wszelkich dokładnych map wielkoskalowych.
- Współrzędne biegunowe – stosunkowo rzadziej stosowane w kartografii geologicznej.

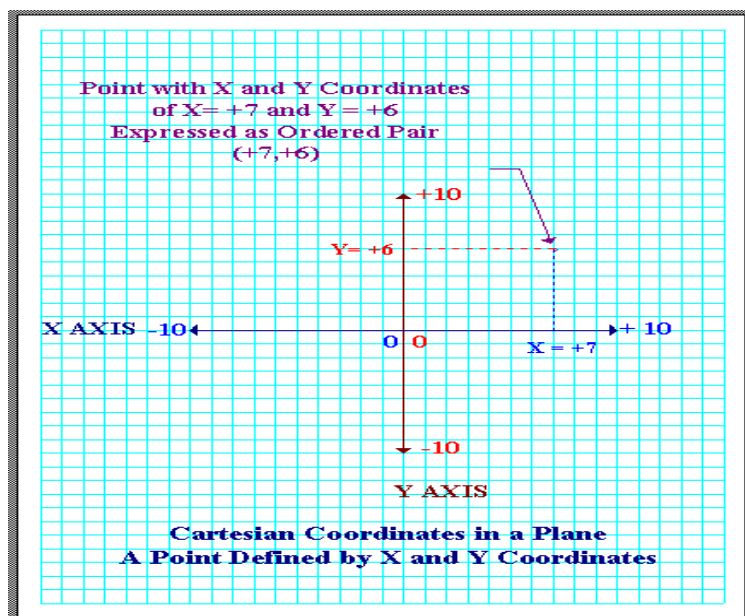
Każdy z wymienionych rodzajów układów może być wykorzystany w formie dwuwymiarowej lub trójwymiarowej.

UKŁADY DWUWYMIAROWE:

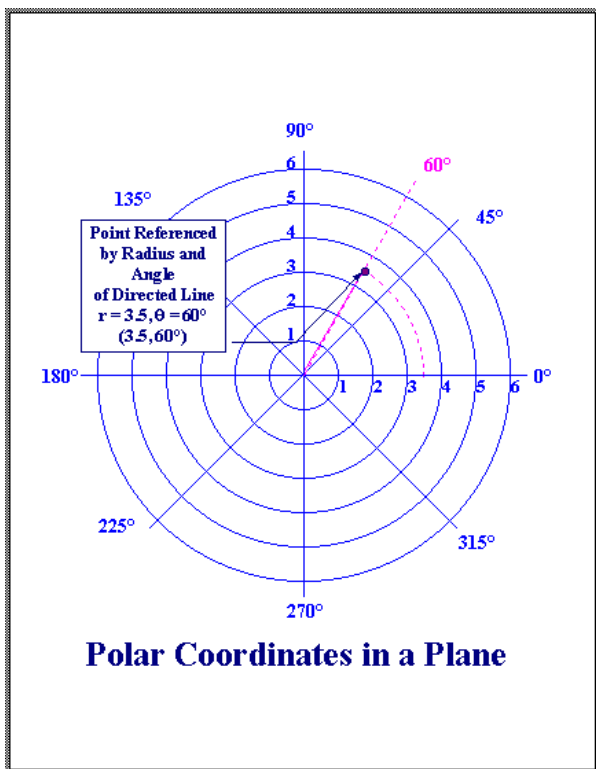
1) **Współrzędne geograficzne** to układ, w którym określone są *szerokość geograficzna* φ i *dlugość geograficzna* λ mierzone jako kąty zawarte pomiędzy punktem X, a równikiem (φ) oraz południkiem początkowym 0° (λ). Układ ten jest stosowany wszędzie tam, gdzie wystarczająca dokładność lokalizacji sięga kilkudziesięciu metrów.

Południki i równoleżniki na pojedynczych arkuszach map topograficznych są liniami prostymi, układającymi się w trapez. Na mapach przeglądowych przyjmują formę łuków.

2) **Współrzędne prostokątne płaskie** stanowią w istocie prosty układ kartezjański:



- Osie X i Y można skalować w dowolny sposób
- Współrzędna punktu wyrażona jest jako odległość od początku układu współrzędnych jako para liczb w porządku X,Y.
- W wyniku zastosowania odwzorowań geograficznych punkty umieszczone na mapie muszą mieć przypisane wyliczone współrzędne prostokątne płaskie X, Y oraz mogą mieć przypisaną rzędną wysokościową.



obserwacji;

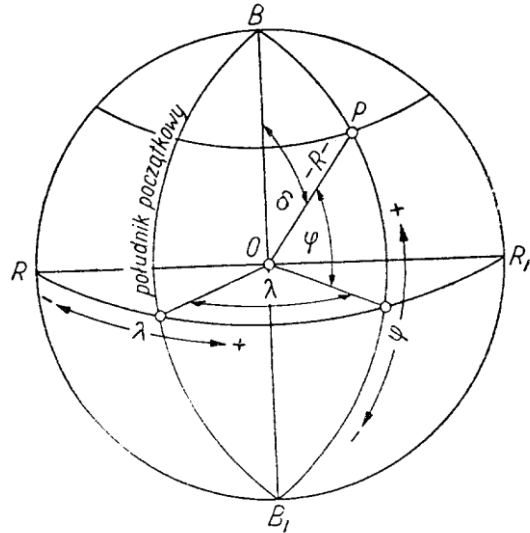
3) Współrzędne biegunowe (stosowane raczej w statystyce bądź geologii strukturalnej)

Układy biegunowe mogą być skalowane w różnorodny sposób:

- dla siatek używanych w analizie strukturalnej wzdłuż okręgu zapisywane są zmiany azymutu biegu warstw zaś wzdłuż osi zmiany kąta nachylenia
- w kierunkowych wykresach statystycznych na okręgu znaczony jest azymut, a wzdłuż promieni częstość

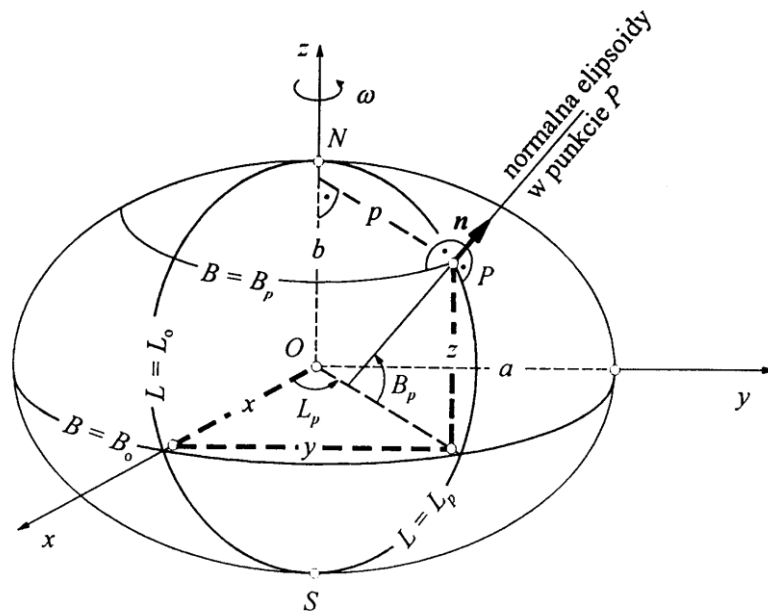
UKŁADY TRÓJWYMIAROWE

1) **Współrzędne geograficzne** to układ, w którym określone są **szerokość geograficzna** φ i **długość geograficzna** λ mierzone jako kąty zawarte pomiędzy punktem X, a równikiem (φ) oraz południkiem początkowym 0° (λ), trzecią współrzędną jest **wysokość Z** mierzona względem stosowanej sfery lub elipsoidy obrotowej. Ten układ, w którym określone są **szerokość geograficzna** φ i **długość geograficzna** λ jest stosowany do dziś wszędzie tam, gdzie wystarczy niewielka dokładność określenia położenia, rzędu dziesiątek metrów. Należy zwrócić uwagę na fakt, że oprócz niewielkiej dokładności, w danym układzie nie występuje współrzędna - wysokość punktu, przez którą rozumiemy odstęp punktu od określonej powierzchni odniesienia – geoidy (Lamparski 1998).



Układ współrzędnych geograficznych (Jacek Lamparski, 1998)

Większa dokładność lokalizacji i przeliczeń zapewnia zastosowanie układu współrzędnych elipsoidalnych, uwzględniających spłaszczenie Ziemi



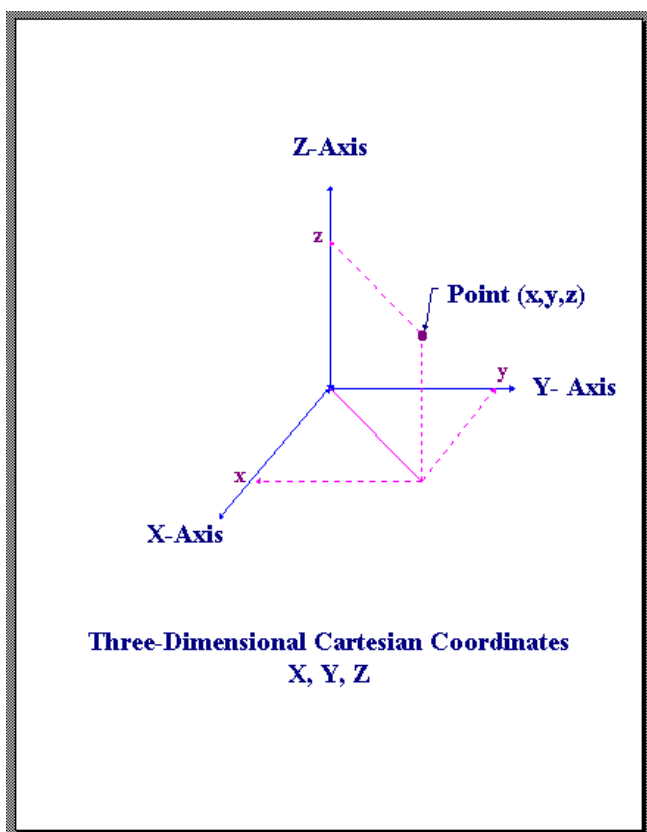
Układ współrzędnych elipsoidalnych (Jacek Lamparski, 1998)

Punkty są zrzutowane z fizycznej powierzchni Ziemi na powierzchnię elipsoidy. Punkt jest określony przy pomocy dwóch współrzędnych - jest to szerokość geodezyjna (elipsoidalna) B oraz długość geodezyjna (elipsoidalna) L . Może być określona również wysokość punktu nad powierzchnią elipsoidy - jest to tzw. wysokość elipsoidalna.

W każdym z tych układów można wpisać układ kartezjański X,Y,Z. Przeliczenie zarówno współrzędnych geograficznych jak i elipsoidalnych na te współrzędne nie stwarza większych trudności (tab. 1).

Tab.1 Przeliczenie współrzędnych geograficznych i kartograficznych do układu Kartezjańskiego (Lamparski 1998)

Układ geograficzny	Układ elipsoidalny
$X = R \cos \varphi \cos \lambda$	$X = N \cos B \cos L$
$Y = R \cos \varphi \sin \lambda$	$Y = N \sin B \sin L$
$Z = R \sin \varphi$	$Z = N(1 - e^2) \sin B$
jeżeli punkt jest położony H nad kulą	jeżeli punkt jest położony nad elipsoidą
$X = (R + H) \cos \varphi \cos \lambda$	$X = (N + h) \cos B \cos L$
$Y = (R + H) \cos \varphi \sin \lambda$	$Y = (N + h) \sin B \sin L$
$Z = (R + H) \sin \varphi$	$Z = [N(1 - e^2) + h] \sin B$

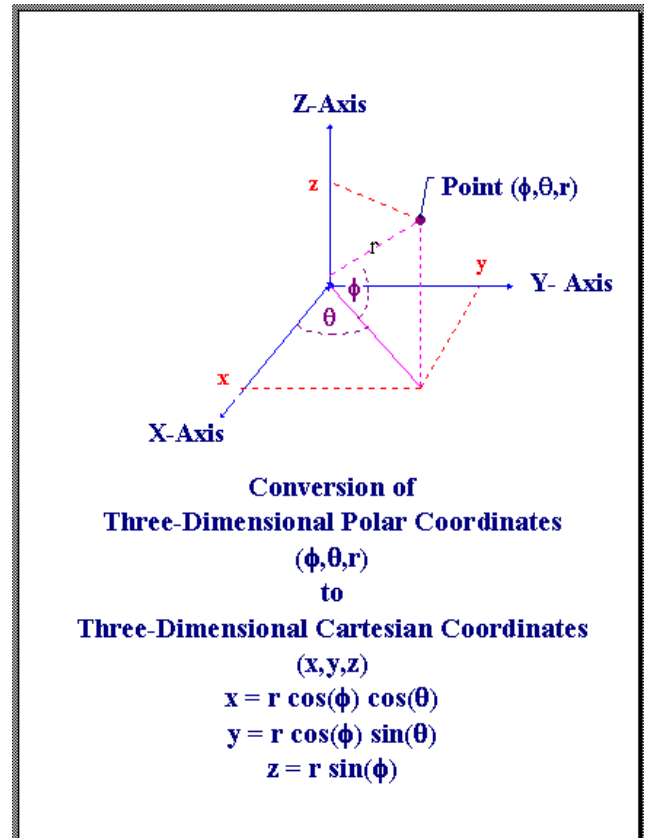


2) Współrzędne prostokątne płaskie – prostokątny, trójwymiarowy układ kartezjański

- Początek układu współrzędnych znajduje się w centrum geoidy lub elipsoidy (X,Y,Z =0;0;0)
- Lokalizacja punktów wyraża najczęściej odległość (metry) od punktu 0;0;0 bądź od powierzchni odniesienia

Trójwymiarowy układ biegunowy (oraz sposób przeliczania pomiędzy układami biegunowym i prostokątnym)

- Początek układu współrzędnych w centrum geoidy bądź elipsoidy;
- Współrzędne XY wyrażone w jednostkach kątowych ($^{\circ}$ lub radianach), na ogół są to współrzędne geograficzne
- Przedstawione na rysunku wzory pozwalają przeliczać współrzędne biegunowe na prostokątne płaskie (geodezyjne)



Układy współrzędnych mogą być układami lokalnymi bądź „globalnymi”:

- **Do układów lokalnych** zalicza się wszystkie arbitralnie zakładane systemy odniesienia przede wszystkim prostokątne, z dowolnie wyznaczonym początkiem układu współrzędnych oraz skalowaniem osi. Układy lokalne nie mogą być na ogół przeliczone na współrzędne geograficzne. UL są stosowane w przekrojach geologicznych, mapach małych stanowisk – np. archeologicznych, ale też bywają stosowane w stosunkowo dużych skalach, np. KWB Belchatów (poufność danych?)
- **Pod pojęciem układy globalne** możemy rozumieć (choć nie jest to w sposób ścisły zgodne z definicjami kartografii) wszelkie układy odniesienia pozwalające umieścić nam mapy lokalne we właściwej pozycji na kuli ziemskiej.

Współrzędne takie pozwalają po zastosowaniu odpowiednich przeliczeń przedstawić lokalizacje analizowanych punktów w innym odwzorowaniu geograficznym bądź włączyć mapę szczegółową na mapę przeglądową.

GLOBALNE SYSTEMY ODNIESIENIA (GLOBAL REFERENCE SYSTEMS)

Zachowanie właściwych relacji liniowych (współrzędne prostokątne płaskie) lub kątowych (współrzędne biegunowe i geograficzne) kartowanych elementów wymaga ich właściwego przestrzennego odniesienia do powierzchni Ziemi. Pierwszym zadaniem na drodze stworzenia dwuwymiarowego obrazu powierzchni Ziemi jest zdefiniowanie samego, trójwymiarowego kształtu Ziemi w sposób matematyczny.

Teoretyczną powierzchnią Ziemi jest *geoida* czyli powierzchnia pokrywająca się z powierzchnią mórz i oceanów Ziemi w stanie spoczynku, przedłużona umownie pod lądami, a matematycznie definiowana jako powierzchnia stałego potencjału siły ciężkości. Natomiast najbardziej zbliżoną kształtem i rozmiarami do geoidy bryłą jest *elipsoida ziemską*. Określana jest ona matematycznie jako *elipsoida obrotowa spłaszczona* czyli jej półosie a , b , c spełniają warunek: $a = b > c$.

Gdy jest już zdefiniowany kształt Ziemi to kolejnym krokiem jest próba przedstawienia powyższej elipsoidy obrotowej na płaszczyźnie za pomocą odpowiedniego przekształcenia czyli funkcji. Elementom z jednego zbioru (elipsoida) przyporządkowuje się elementy z drugiego zbioru (płaszczyzna). Funkcję tą w geodezji nazywa się *odwzorowaniem kartograficznym*.

W momencie otrzymania zbioru punktów na płaszczyźnie następuje ostatni etap a mianowicie zdefiniowanie *układu (systemu) odniesienia*, a następnie *układu współrzędnych* na mapie.

MODELE POWIERZCHNI ZIEMI

Globalne systemy odniesienia bazują na różnorodnych modelach kształtu i rozmiaru Ziemi. Obecnie w zależności od potrzeb – głównie skali opracowania i jego zastosowania przyjmowane są zasadnicze grupy modeli powierzchni terenu:

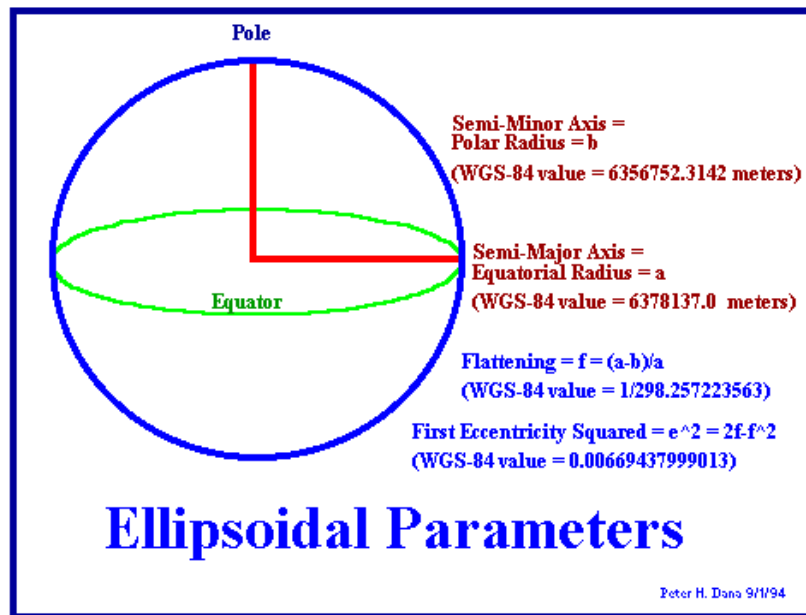
- *Płaskie modele powierzchni bywają współcześnie(!) używane do planowania badań terenowych na małych obszarach – na dystansach dla który krzywizna Ziemi jest nieistotna (mniej niż 10km)*
- *Sferyczne modele Ziemi zakładają, że ma ona stały promień we wszystkich kierunkach. Bywają one używane w nawigacji na niewielkich dystansach i do przybliżonego pomiaru odległości (są przyjmowane dla poglądowych map wieloskalowych)*
- *Elipsoidalne modele powierzchni Ziemi zakładają nieznaczne spłaszczenie Ziemi (ok. 20km). Przyjęcie modelu tego typu jest wymagane do pomiarów kierunków i odległości na dużych odległościach. Modele takie są wykorzystywane przez odbiorniki GPS. Są one podstawą większości używanych współcześnie odwzorowań geograficznych. Najdokładniejsze modele łączą ideę elipsoidy obrotowej oraz geoidy (powierzchni stałego potencjału siły ciężkości).*

ELIPSOIDY

Elipsoida ziemską jest to elipsoida obrotowa spłaszczona, najbardziej kształtem i rozmiarami zbliżona do rzeczywistej powierzchni Ziemi. Kształt i wielkość elipsoidy ziemskiej określa długość półosi wielkiej równikowej a i małej biegunowej b oraz spłaszczenie $\mu = (a - b)/a$. Środek elipsoidy ziemskiej pokrywa się ze środkiem ciężkości Ziemi, a oś mała — z osią obrotu Ziemi.

Teorię o elipsoidalnym kształcie Ziemi ogłosił 1687 I. Newton, podając jej spłaszczenie $\mu = 1/230$. Na podstawie uchwały Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki (MUGG) 1929 za model Ziemi przyjęto *elipsoidę Hayforda*, uznaną 1909 za międzynarodową. Jej elementy to: $a = 6\,378\,388$ m, $b = 6\,356\,912$ m, $\mu = 1/297$. Na podstawie nowych pomiarów, także satelitarnych, wyznaczono dokładniejsze wartości parametrów elipsoidy ziemskiej. W 1984 MUGG wprowadziła tzw. **Geodezyjny System Odniesienia 1980 (ang. Geodetic Reference System 1980) z nową *elipsoidą ziemską GRS80* określoną przez: wielką półoś**

równikową a , geocentryczną stałą grawitacyjną GM , dynamiczny współczynnik kształtu J_2 oraz prędkość kątową obrotu ω , przy czym $a = 6\,378\,137\text{ m}$, $GM = 3\,986\,005 \cdot 10^8\text{ m/s}^2$, $J_2 = 108\,263 \cdot 10^{-8}$, $\omega = 7\,292\,115 \cdot 10^{-11}\text{ rad/s}$; wyprowadzone na ich podstawie parametry wtórne wynoszą: $b = 6\,356\,752,3141\text{ m}$, $\mu = 1/298,257$.



Elipsoida obrotowa Ziemi jest zdefiniowana przez półoś wielką równikową (*equatorial radius*) oraz małą biegunową (*polar radius*). Na podstawie tych wartości obliczany jest parametr spłaszczenia (*flattening*). Środek elipsoidy ziemskiej pokrywa się ze środkiem ciężkości Ziemi

Większość map stosowanych w geologii używa odwzorowań i systemów odniesienia opartych na elipsoidalnych modele powierzchni terenu. Odzwierciedlają one w uproszczony sposób topografię oraz w uśredniony poziom morza (nie uwzględniają lokalnych zmian wywołanych pływami).

W geodezji stosuje się tzw. *elipsoidę odniesienia*, na którą rzutuje się punkty fizyczne powierzchni Ziemi. Ma ona takie same parametry jak elipsoida ziemska, ale jest *styczna* w określonym punkcie (zwykle pośrodku mierzonego obszaru) do geoidy.

Najpowszechniej używane elipsoidy odniesienia przedstawia poniższa tabela

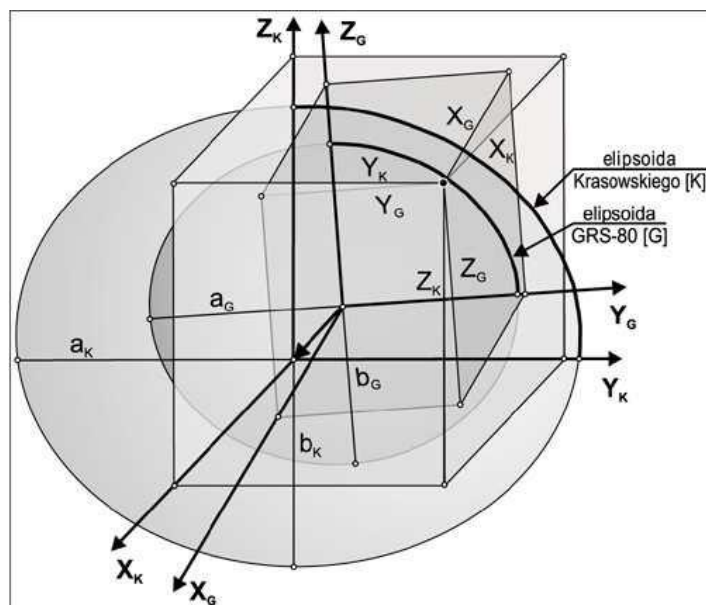
Selected Reference Ellipsoids

Ellipse	Semi-Major Axis (meters)	1/Flattening
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Fischer 1960 (Mercury)	6378166.0	298.3
Fischer 1968	6378150.0	298.3
G R S 1967	6378160.0	298.247167427
G R S 1975	6378140.0	298.257
G R S 1980	6378137.0	298.257222101
Hough 1956	6378270.0	297.0
International	6378388.0	297.0
Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
South American 1969	6378160.0	298.25
WGS 60	6378165.0	298.3
WGS 66	6378145.0	298.25
WGS 72	6378135.0	298.26
WGS 84	6378137.0	298.257223563

Peter H. Dana 9/1/94

W Polsce do 1952 r. stosowano **elipsoidę Bessela** ($a = 6\,377\,397,155$ m, $b = 6\,356\,078,963$ m, $\mu = 1/299,153$) z punktem przyłożenia do geoidy w Borowej Górze a od 1952 r., podobnie jak w innych państwach byłego Układu Warszawskiego, do sporządzania map stosowano **elipsoidę Krasowskiego** ($a = 6\,378\,245$ m, $b = 6\,356\,863$ m, $\mu = 1/298,3$) [2].

Obecnie w Polsce koegzystują rozwiązania oparte na różnych elipsoidach, ale nowe mapy wykorzystują **elipsoidę WGS84** (ang. *World Geodetic System 1984*). Posiada ona identyczne parametry jak elipsoida **GRS80** z jedną małą zmianą. Dotyczy ona harmoniki zonalnej drugiego rzędu J_2 (dynamiczny współczynnik kształtu). W tym wypadku $J_2 = 108\,263 \cdot 10^{-8}$. Ponieważ jednak **WGS84** praktycznie nie zmienia geometrii elipsoidy **GRS80** to pojęcia to traktuje się jako równoważne.



Wzajemne relacje przestrzenne elipsoid: Krasowskiego i GRS-80. Średnia różnica pomiędzy ich położeniem wynosi na obszarze Polski ok. 35 m

Geodezyjne systemy odniesienia (*Geodetical Datums*)

Wyróżniane są trzy zasadnicze typy geodezyjnych systemów odniesienia – pionowe, poziome i kompletne (opisujące zmienność poziomą i pionową).

W praktyce kartograficznej najczęściej wykorzystywane są systemy oparte na modelach elipsoidalnych. W polskiej geodezji i kartografii systemy te są znane pod nazwą „geodezyjne elipsoidy odniesienia” [GEO].

Nazwa ta jest bardzo zbliżona do wcześniej omówionych elipsoid (obrotowych). jednak termin GEO dotyczy precyzyjniej zdefiniowanego systemu, bowiem wykorzystuje on elipsoidy odniesienia wymienione we wcześniej przedstawionej tabeli, wprowadzając dodatkowy element zwiększający dokładność systemu odniesienia – punkt przyłożenia do geoidy (rzeczywistego modelu Ziemi). Wprowadzenie punktu przyłożenia powoduje, że obecnie wyróżnianych jest kilkaset GEO – zróżnicowanych dla poszczególnych regionów i krajów.

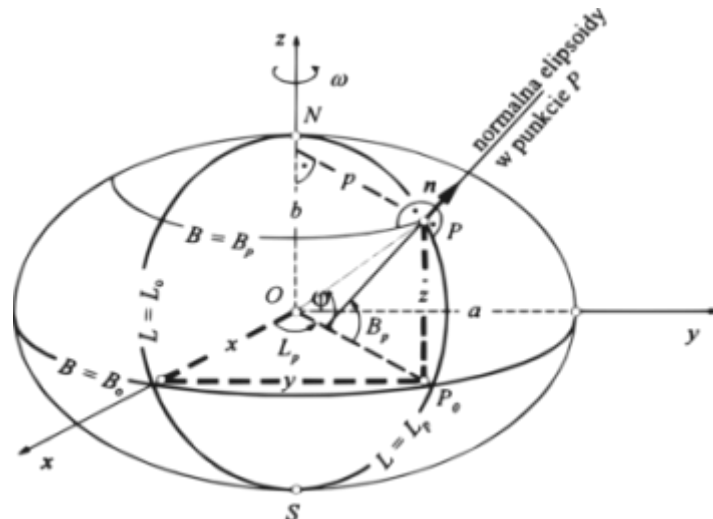
Dla obszaru **Polski Państwowa Służba Geodezyjno-Kartograficzna zdefiniowała dwa systemy współrzędnych geodezyjnych**, w oparciu o które produkowano po 1945 roku mapy topograficzne zarówno cywilne jak i wojskowe:

- **PULKOWO'42** - wykorzystujący **elipsoidę Krasowskiego**
- **geodezyjne układy odniesienia oznaczone symbolami PL-ETRF89 (EU-REF89) i PL-ETRF2000** odniesieniu do powierzchni elipsoidy GRS 80

W starszych systemach odniesienia elipsoidy odniesienia stykają się z geoidą w jednym punkcie na powierzchni Ziemi. Przykładowo w kartografii polskiej stosuje się *elipsoidę Krasowskiego* (z punktem przyłożenia do geoidy w Pułkowie. System odniesienia oparty na elipsoidzie Krasowskiego został przyjęty w krajach b. ZSRR w roku 1942. Jest on nazywany jest *Pułkowo '42* i od roku 1952 obowiązywał on także we wszystkich krajach byłego Układu Warszawskiego. PGNIG przestało go stosować dopiero w XXI wieku w związku z czym wiele do dziś wykorzystywanych danych i opracowań jest przedstawionych w tym układzie 1942

EUREF-89 (European Reference Frame 1989.0) to rozszerzenie europejskiego układu odniesienia ETRF (European Terrestrial Reference Frame 1989.0) na obszar Polski, w wyniku kampanii pomiarowej EUREF-POL 92, której rezultaty zostały zatwierdzone przez Podkomisję dla Europejskiego Układu Odniesienia (EUREF) Międzynarodowej Asocjacji Geodezji w 1994 r (*gisplay.pl*)

EUREF-89 - stosuje się Geodezyjny System Odniesienia 1980 (GRS 80) Powierzchnią odniesienia geodezyjnego układu odniesienia jest elipsoida obrotowa, której środek znajduje się w środku masy Ziemi oraz oś obrotu pokrywa się z osią obrotu Ziemi.



Geocentryczne o początku w środku masy Ziemi O , osi Z skierowanej wzdłuż osi obrotu Ziemi na biegun północny oraz osiach X, Y w płaszczyźnie równika Ziemi, przy czym XZ jest płaszczyzną południka Greenwich, lub odpowiadające

Współrzędne geograficzne geodezyjne: szerokość B i długość L - jako kąty kierunkowe prostej prostopadłej do elipsoidy, wysokość elipsoidalna h .

W odwzorowaniach geograficznych wprowadzana jest elipsoida zgodna z normami międzynarodowymi jest *elipsoida WGS84* (ang. *World Geodetic System 1984*) z punktem przyłożenia geoidy dla odczytów wysokościowych w Kronsztadzie.

Według rozporządzenia opublikowanego w Dzienniku ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Poz. 1247 Warszawa, dnia 14 listopada 2012 r.

Państwowy system odniesień przestrzennych tworzą:

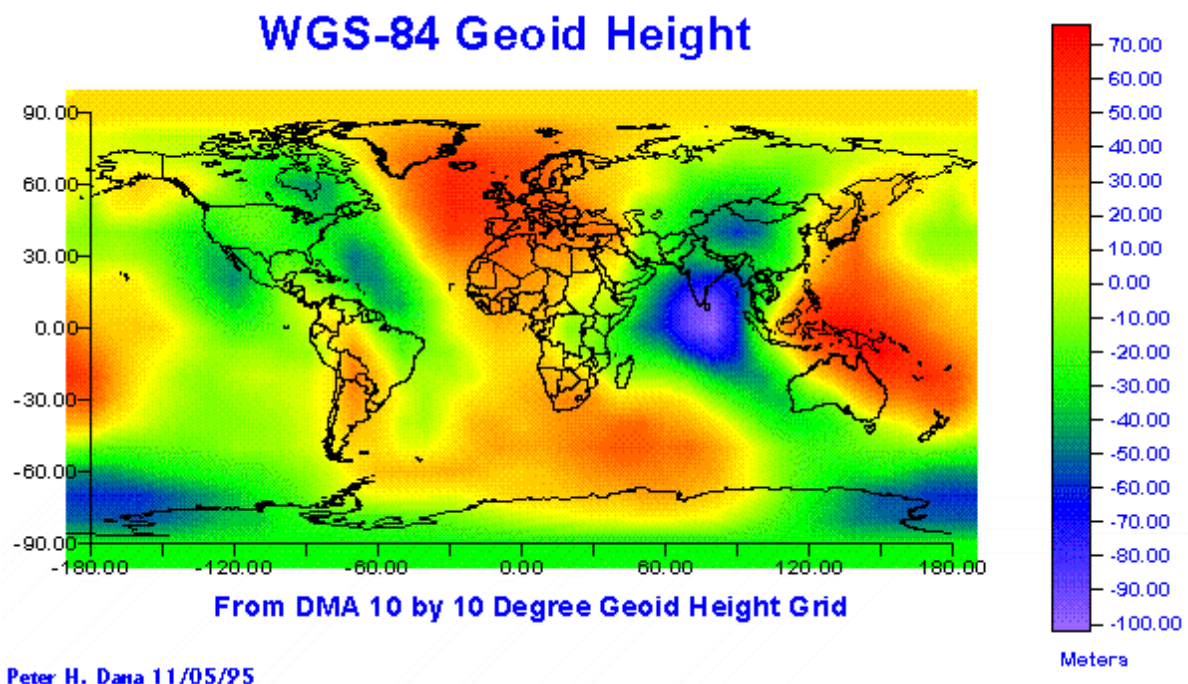
- 1) geodezyjne układy odniesienia oznaczone symbolami PL-ETRF2000 i PL-ETRF89, będące matematyczną i fizyczną realizacją europejskiego ziemskiego systemu odniesienia **ETRS89**;
- 2) układy wysokościowe oznaczone symbolami PL-KRON86-NH i PL-EVRF2007-NH, będące matematyczną i fizyczną realizacją europejskiego ziemskiego systemu wysokościowego **EVRS**;

3) układy współrzędnych: geocentrycznych kartezjańskich oznaczone symbolem XYZ, geocentrycznych geodezyjnych oznaczone symbolem GRS80h oraz geodezyjnych oznaczone symbolem GRS80H;

4) układy współrzędnych płaskich prostokątnych oznaczone symbolami: PL-LAEA, PL-LCC, PL-UTM, PL-1992 i PL-2000.

http://geoforum.pl/?menu=46812,46825,46904&link=geodezja-krotki-wyklad-systemy-i-uklady-nie-tylko-dla-nas#page_top

Dla nowych systemów odniesienia w skali globu błędy wzdłuż osi Z, od nie przekraczają 100m (od centrum masy Ziemi), a dokładność lokalizacji w płaszczyźnie XY jest zależna od odwzorowania. Dla prawdopodobnie najpowszechniej używanej w nowoczesnych odwzorowaniach geoidy WGS 84 *U. S. National Imagery and Mapping Agency* (niegdyś *Defense Mapping Agency*) opublikowała sieć punktów pomiarowych tworzących siatkę oddalonych o 10 stopni punktów. NIMA publikowała też mapy geoidy WGS84 dla siatki punktów odległych o 025 stopnia.



Przyporządkowanie współrzędnych geodezyjnych (prostokątne płaskie) do złego systemu odniesienia powoduje błędy lokalizacji sięgające nawet ponad 2000m w płaszczyźnie XY. Dlatego też przygotowując mapy na podstawie materiałów wejściowych wykonanych w różnych odwzorowaniach geograficznych i dla różnych systemu odniesienia należy dokonywać bardzo uważnie konwersji układów współrzędnych.

ODWZOROWANIA GEOGRAFICZNE

Odzworowanie kartograficzne to zdefiniowana matematycznie metoda przedstawiania powierzchni kuli ziemskiej na płaszczyźnie. W wyniku zastosowania odzworowania, aby każdemu punktowi na powierzchni kuli lub elipsoidy (w zależności od przyjętego modelu Ziemi), jednoznacznie odpowiada określony punkt lub zbiór punktów na płaszczyźnie.

W wyniku zastosowania przeliczeń z wykorzystaniem funkcji matematycznych odmiennych dla różnych odzworowań obraz równoleżników i południków jest rzutowany na płaszczyznę. **Stosowane funkcje określają związek** matematyczny pomiędzy **współrzednymi geograficznymi** (szer. geogr. φ i dł. geogr. λ) punktu na powierzchni Ziemi, a współrzednymi prostokątnymi (x, y) , pozwalając zrzutować mapę nie tylko siatkę kartograficzną ale również dowolny kształt.

Ze względu na nierozwijalność kuli (elipsoidy) na płaszczyźnie, wierne zachowanie równocześnie kątów, odległości i powierzchni jest w odzworowaniu niemożliwe. Ważną klasę odzworowań (tzw. rzuty kartograficzne) uzyskuje się przez rzutowanie geometryczne powierzchni kuli na płaszczyznę lub pomocnicze powierzchnie rozwijalne, którymi są pobocznicę stożka lub walca, przy czym każda z tych 3 powierzchni może być styczna do powierzchni kuli (elipsoidy) lub przecinać ją wzdłuż pewnych linii.

Zależnie od powierzchni, na którą odwzorowuje się siatkę geograficzną, wydzielane się odwzorowania kartograficzne:

- **równokątne** (wiernokątne, konforemne, *ang. conformal projection*)
- **równopowierzchniowe** (wiernopowierzchniowe, *ang. equivalence projection, equiareal projection*)
- **równoodległościowe** (wiernoodległościowe, *ang. equidistant projection*)
- **dowolne**

W zależności od położenia powierzchni odwzorowania w stosunku do kuli ziemskiej rozróżnia się następujące odwzorowanie kartograficzne:

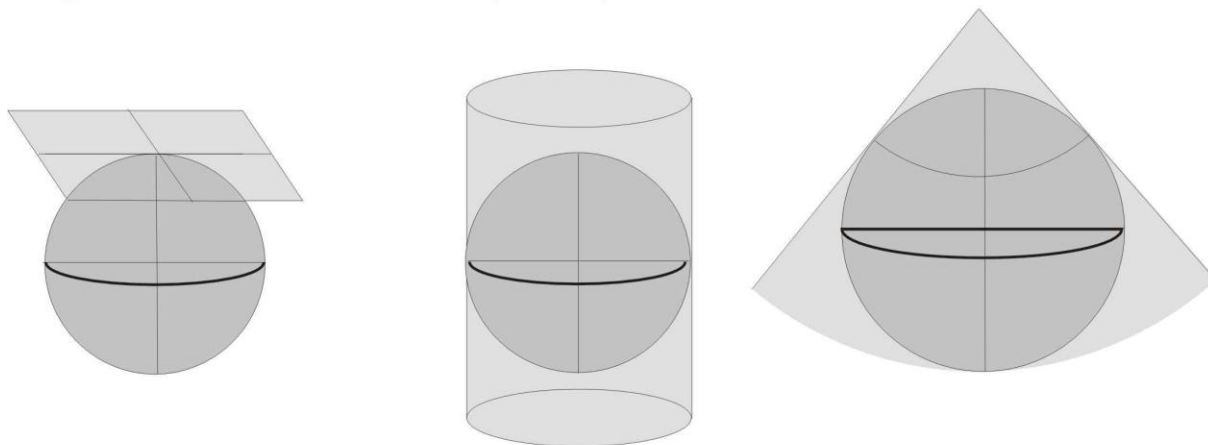
- **normalne** (*ang. polar*) - gdy płaszczyzna jest styczna do kuli na biegunie, a oś stożka lub walca jest równocześnie osią biegunową kuli
- **poprzeczne** (*ang. equatorial*) - gdy płaszczyzna jest styczna na równiku, a oś stożka lub walca pokrywa się z jedną z osi równika
- **ukośne** (*ang. oblique*) - gdy płaszczyzna oraz osie stożka lub walca zajmują położenie pośrednie

Zależnie od powierzchni, na którą odwzorowuje się siatkę geograficzną, rozróżnia się odwzorowania kartograficzne:

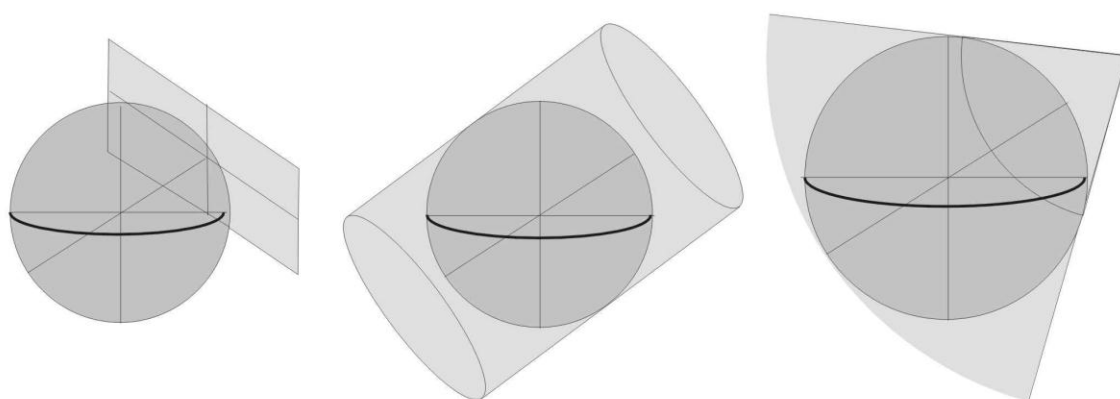
- **azymutalne (płaszczyznowe)** (*ang. azimuthal projection*) - powstające w wyniku rzutowania powierzchni Ziemi na płaszczyznę styczną do niej, w dowolnym jej punkcie. Zależnie od położenia środka rzutu odwzorowanie azymutalne może być:
 - centralne - środek rzutu znajduje się w środku Ziemi;
 - zewnętrzne - środek rzutu znajduje się w określonej odległości poza Ziemią;
 - ortograficzne - środek rzutu jest oddalony od płaszczyzny rzutu nieskończenie daleko;
 - stereograficzne - środek rzutu jest umieszczony na biegunie południowym

- **walcowe** (*ang. cylindrical projection*) - gdzie sferyczną powierzchnię Ziemi przenosi się na boczną powierzchnię walca obejmującego kulę ziemską. Powierzchnia Ziemi może być styczną lub sieczną do powierzchni walca
- **stożkowe** (*ang. conical projection*) - powierzchnia Ziemi jest rzutowana na wewnętrzną powierzchnię stożka. Może być styczne (*ang. tangent*) lub sieczne (*ang. secant*). Na kołach styczności (lub sieczności) odległości są odwzorowane bez zniekształceń i są praktycznie równokątne.
- **wielostożkowe** - powierzchnię Ziemi przenosi się na kilka stożków stycznych do równoleżników dla każdego pasa Ziemi (co np. 4° szerokości geograficznej tworzy się osobny stożek)

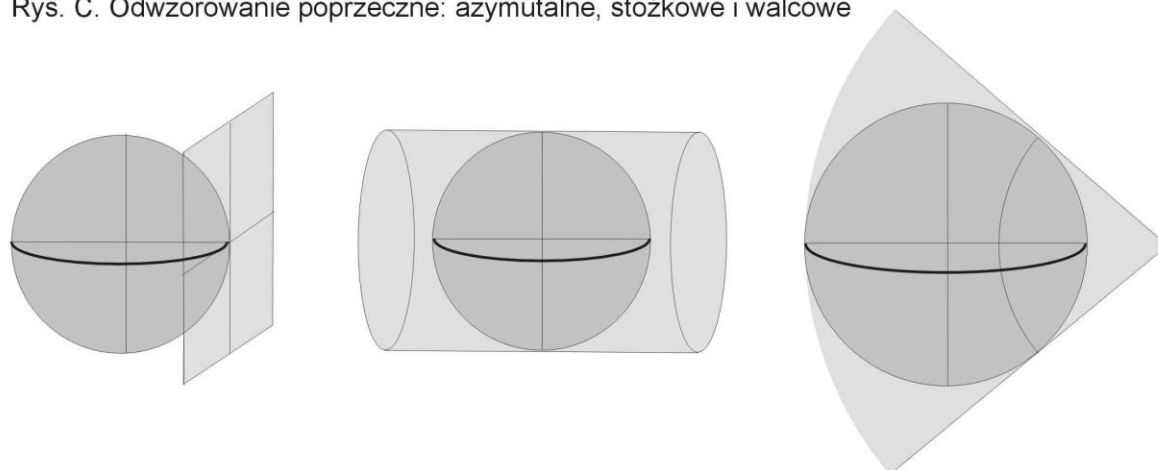
Rys. A. Odwzorowanie normalne: azymutalne, stożkowe i walcowe



Rys. B. Odwzorowanie ukośne: azymutalne, stożkowe i walcowe



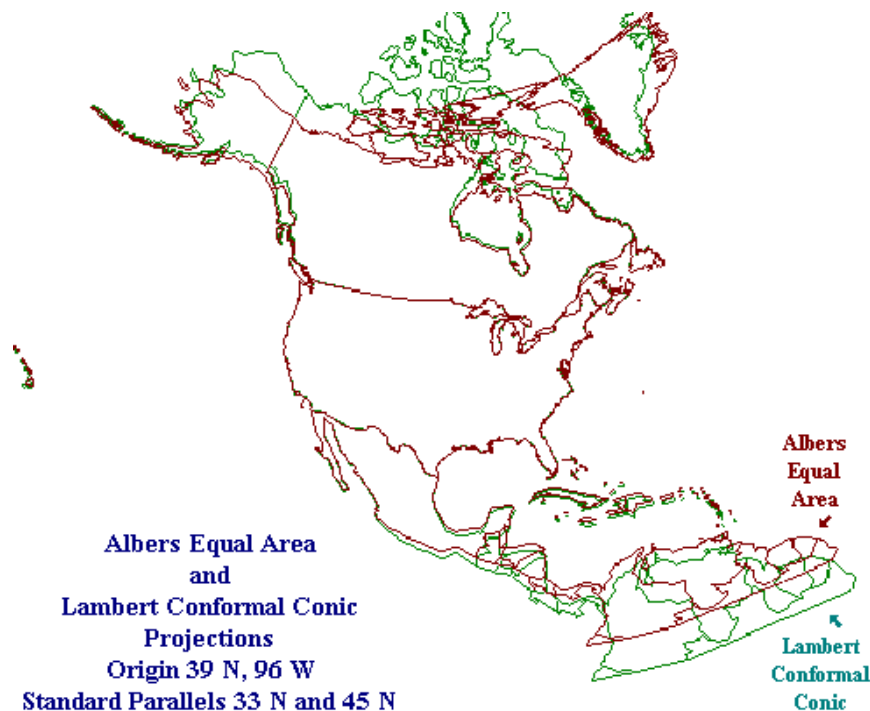
Rys. C. Odwzorowanie poprzeczne: azymutalne, stożkowe i walcowe



Podstawowe spośród kilkuset odwzorowań kartograficznych używanych współcześnie przedstawia tabela .1.

Różnice wynikłe z zastosowania różnych odwzorowań obrazuje rysunek autorstwa P.H.Dany , ukazujący różnice w przedstawieniu kształtu Ameryk przy

zastosowaniu odwzorowań Albersa i Lamberta (oba równopowierzchniowe i stożkowe!!!)

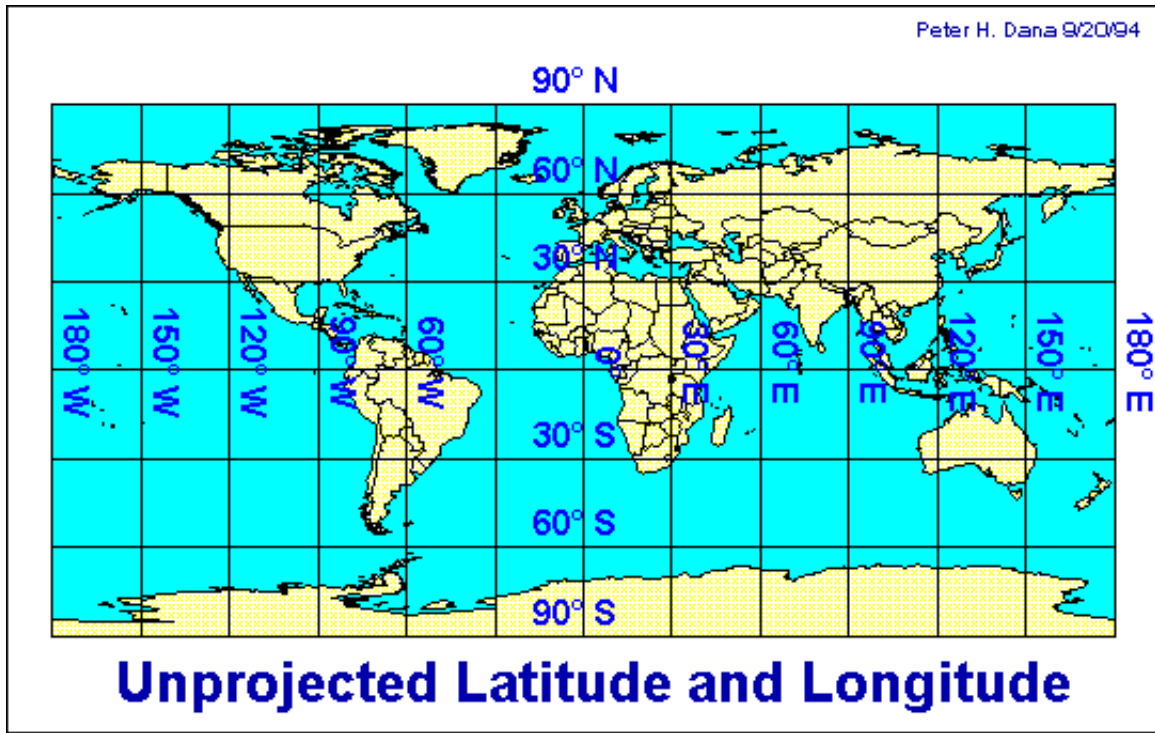


Prostokątne “odwzorowanie” LON –LAT

Współrzędne geograficzne na ogół są zapisywane w formacie DMS (stopnie-minuty-sekund). Format ten w dobie stosowania komputerów do zadań kartograficznych jest niewygodny, gdyż nie nadaje się do bezpośredniego przeliczania współrzędnych geograficznych na wsp. prostokątne płaskie (XY). W celu uniknięcia tej niedogodności w przetwarzaniu numerycznym powszechnie stosuje się przeliczanie współrzędnych geograficznych do formatu stopni dziesiętnych.

Zapisane jako stopnie dziesiętne (LON-LAT) współrzędne są danymi do przeliczeń współrzędnych geograficznych na prostokątne płaskie w dowolnych odwzorowaniach geograficznych. W niektórych programach interpretacyjnych bazujących na wykorzystaniu bazy danych współrzędne te są traktowane jako podstawowe, a sposób wyświetlania danych (właściwe odwzorowanie geograficzne) jest określone wyłącznie w graficznych nakładkach programu.

Czasami współrzędne LON-LAT są używane do stworzenia map. Otrzymane w ten sposób mapy traktują południki i równoleżniki jako prostokątny układ odniesienia z początkiem w miejscu przecięcia równika i południka 0.

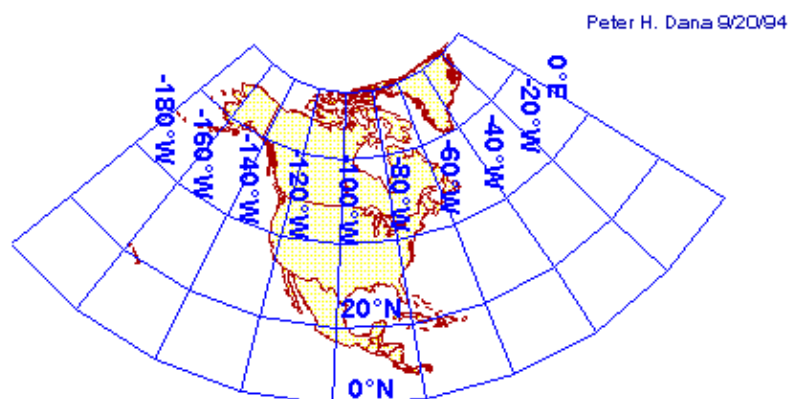


TYPY ODWZOROWAŃ UŻYWANYCH W POLSKIEJ KARTOGRAFII

GEOLOGICZNEJ

Równopowierzchniowe odwzorowanie stożkowe Albersa

W starszych opracowaniach przeglądowych typu atlasów, publikowanych przez Państwowy Instytut Geologiczny przed rokiem 2000 jako podkłady na ogół używane są mapy topograficzne wykonane w równopowierzchniowym odwzorowaniu stożkowym Albersa, które jest stosowane z powodzeniem dla obszarów wykazujących dużą rozciągłość południkową (np. przeglądowe mapy USA). Należy podkreślić, że w wydawnictwach PIG, także wycinkowe arkusze z obszaru Polski są wykonane w odwzorowaniu Albersa.



**North America
Albers Equal-Area Conic
Origin: 23N, 96W
Standard Parallels: 20N, 60N**

Dokładne parametry odwzorowania stosowanego przez PIG nie są znane, jednak najprawdopodobniej:

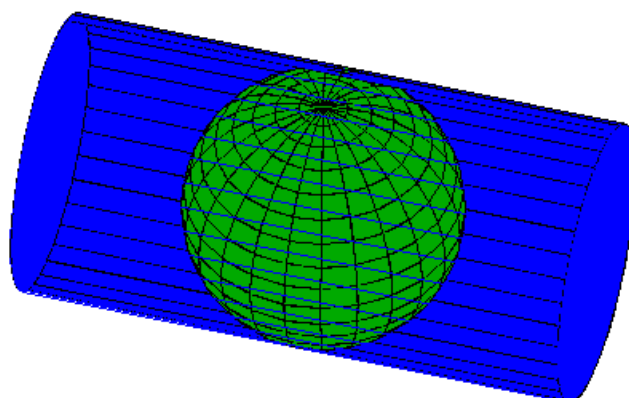
- Elipsoidą odniesienia jest Krassowski 1940
- Skalowanie osiowego południka wynosi 1

- początek układu współrzędnych (prostokątnych płaskich) wyznacza tu przecięcie osiowego południka 19° z równikiem;
- do centralnego południka przypisujemy wartość początkową X (false easting) 500 000.
- Początkowa wartość Y (*false northing*) wynosi 0m.
- Ponieważ jest to odwzorowanie sieczne wprowadzone są dwa dodatkowe czynniki odwzorowania – górna linie przecięcia elipsoidy Krassowski 1940 i płaszczyzny rzutowania $53^\circ 30'$ oraz dolna linia ich przecięcia ($50^\circ 30'$).
- Odwzorowanie w takiej konfiguracji jest zaliczane do systemu **PULKO-WO'42**.

Układ 1942 (Odwzorowanie Gaussa –Krugera)

Polski Przemysł Naftowy używał przez dziesięciolecia do opracowania swoich map równokątnego odwzorowania stycznego, walcowego nazywanego *układ 1942*. Odwzorowanie to w europejskiej nomenklaturze jest znane jako odwzorowania *Gaussa-Krugera*, zaś w krajach anglosaskich jako *General Transvers Mercator*. Odwzorowania tego typu są styczne do powierzchni elipsoidy wzdłuż osiowego południka strefy o szerokości 6° lub 3° długości geograficznej oprate

Peter H. Dana 10/01/94



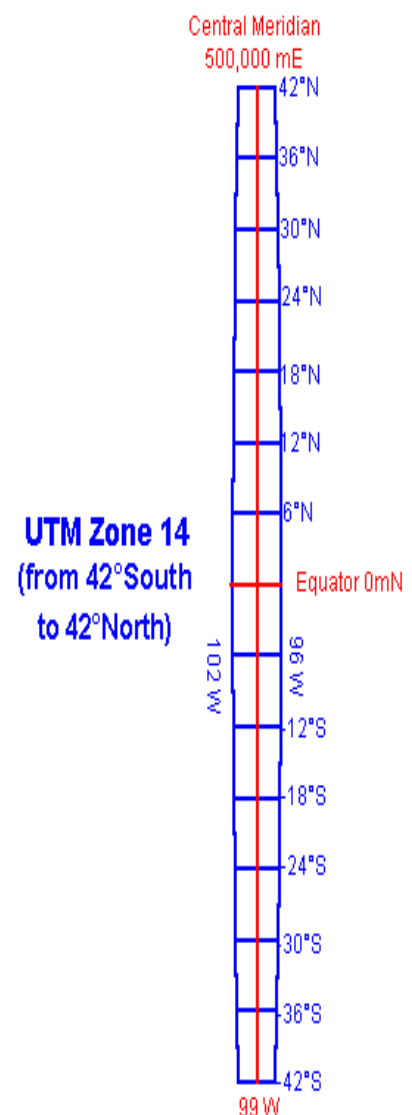
**Transverse Cylindrical
Projection Surface**

na Krügera na elipsoidzie Krasowskiego . W rezultacie świat jest podzielony na 60 lub 120 stref południkowych (strefa 1 otacza zawsze południk 0°).

Układ 1942 był państwowy układem współrzędnych płaskich prostokątnych wprowadzony do stosowania uchwałą Prezydium Rządu w 1953 r. Obejmował dwa podsystemy:

- odwzorowanie w pasach południkowych o szerokości 6°. W wyniku tego na obszarze Polski powstały dwie strefy odwzorowawcze: z południkami środkowymi 15° i 21°; nazywamy je pomocniczo: 1942/15 (6) i 1942/21 (6). Odwzorowanie to miało zastosowanie dla map średnio- i małoskalowych (skale mniejsze od 1:5000). Zniekształcenia odwzorowawcze zmieniały się od 0 (na południku środkowym każdej strefy) do ok. + 59 cm/km (na brzegach strefy)
- odwzorowanie w pasach południkowych o szerokości 3°. W wyniku tego na obszarze Polski powstały cztery strefy odwzorowawcze: z południkami środkowymi 15°, 18°, 21°, 24°; oznaczamy je pomocniczo: 1942/15 (3), 1942/18 (3), 1942/21 (3), 1942/24 (3). Odwzorowanie to miało zastosowanie dla map wielkoskalowych (skala 1:5000 i większe). Zniekształcenia odwzorowawcze na brzegach stref dochodziły do +15 cm/km.

W kartografii geologicznej wykorzystywany jest podział na strefy 6-stopniowe. Na obszarze Polski znajdują się dwie 6-stopniowe strefy odwzorowania *Gaussa-Kruger* (*Układ 1942*) z osiowymi południkami 15° (strefa 3 lub 33) oraz 21° (strefa 4 lub 34).



Dla godeł z 33 strefy odwzorowawczej (M-33-* oraz N-33-*):

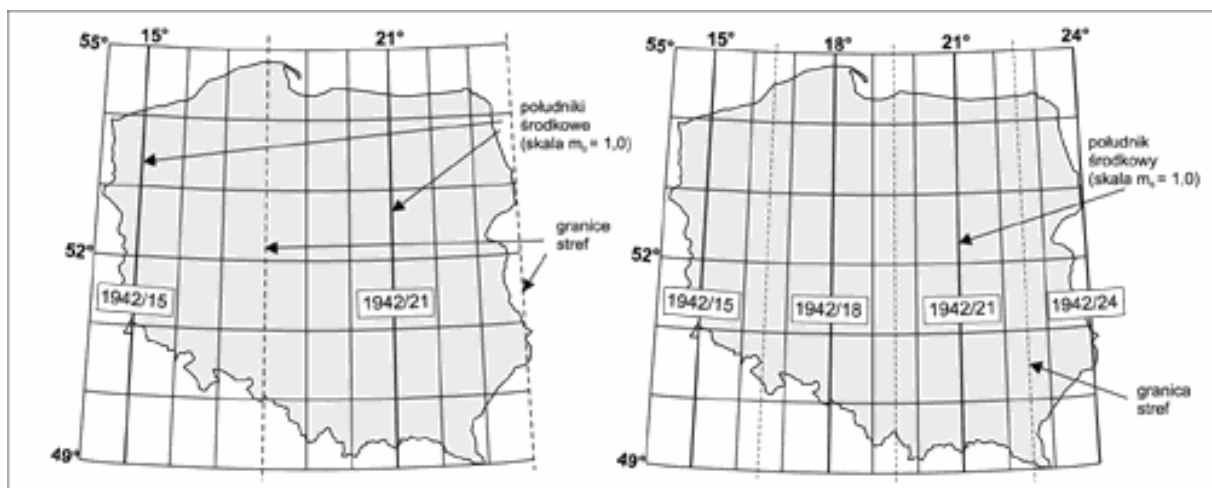
- *latitude origin* = 0,0000 (równik)
- *central meridian* = 15,0000 stopni dł. geogr. wsch.
- *scale factor* = 1,0000 (skala lokalna na południku centralnym)
- *false easting* = 500 000 m (wartość dla południka centralnego lub 3 500 000m)
- *false northing* = 0 m (wartość dla równika)
- Elipsoida: Krassowski

Dla godeł z 34 strefy odwzorowawczej (M-34-* oraz N-34-*):

- *latitude origin* = 0,0000 (równik)
- *central meridian* = 21,0000 dł. geogr. wsch.
- *scale factor* = 1,0000 (skala lokalna na południku centralnym)
- *false easting* = 500 000 m (wartość dla południka centralnego lub 4 500 000m)
- *false northing* = 0 m (wartość dla równika)
- Elipsoida: Krassowski

Odwzorowanie jest zaliczane do systemu PUŁKOWO'42

Współrzędne prostokątne są wyrażone w metrach. Punkt leżący na E od południka osiowego ma współrzędne X większe od 500 000 o odpowiednią ilość metrów. Zaś współrzędna Y to wyrażona w metrach odległości punktu od równika.



Układ "1942" a) odwzorowanie pasów 6-stopniowych, b) odwzorowanie pasów 3-stopniowych (Kadaj 2000)

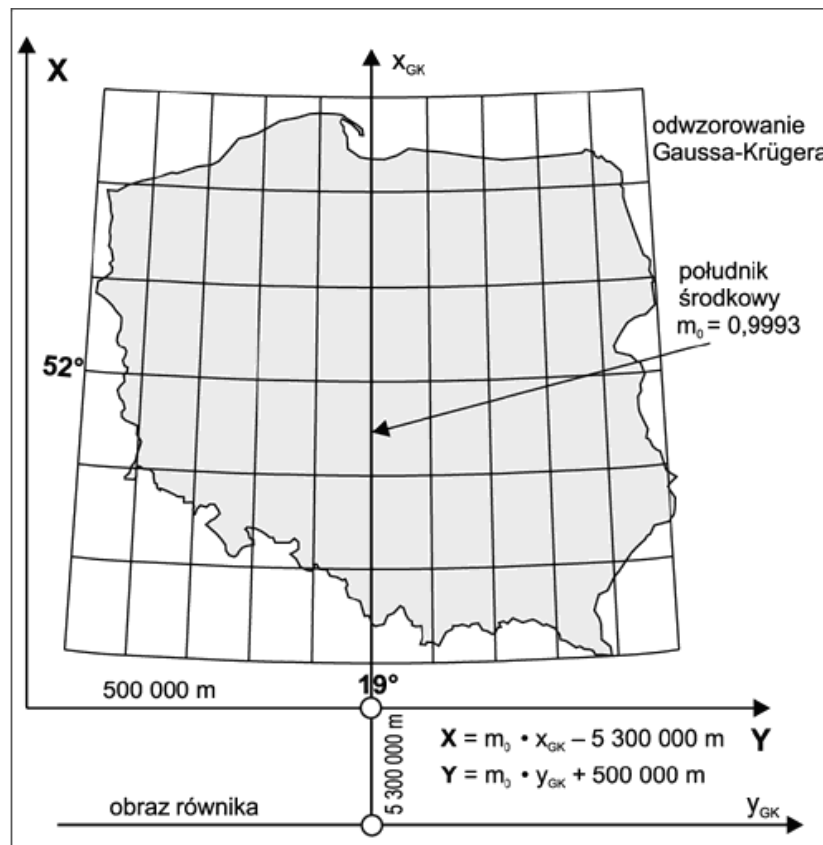
Układ obowiązywał w geodezyjnej służbie cywilnej do drugiej połowy lat 60.,
wojskowe mapy wydawane były w tym układzie aż do początku lat 90.

*Obecnie układ dwustrefowy 1942 jest wciąż istotnym układem współrzędnych
stosowanym w archiwalnych materiałach naftowych (niemal wszystkie mapy
archiwalne PGNIG przed 2000 r)*

UKŁAD 1992 (PL-1992, PUWG 1992)

Układ 1992 to państwowy układ współrzędnych płaskich prostokątnych,
stanowiący część państwowego systemu odniesień przestrzennych wprowadzo-
nego do stosowania rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 08.08.2000r.
Układ ten przeznaczony jest głównie dla map małoskalowych i średnioskalo-
wych. Wykorzystuje się w nim kartograficzne równokątne odwzorowanie
Gaussa-Krügera strefy elipsoidy ziemskiej na pobocznice walca eliptycznego o
osi znajdującej się w płaszczyźnie równika.. Układ wykorzystuje geodezyjny
układ odniesienia wykorzystujący system odniesienia GRS80

Obszar Polski obejmuje jeden pas południkowy układu współrzędnych PL-
1992 o rozciągłości od 14°00'E do 24°30'E i południku osiowym 19°E Współ-
czynnik zmiany skali w tym południku wynosi 0.9993. Wartości zniekształceń
odwzorowawczych mieszczą się w zakresie od -70 cm/km na południku osio-
wym do +91 cm/km na wschodniej granicy Polski. Ze względu na znaczne
zniekształcenia liniowe układ nie jest rekomendowany do wielkoskalowych
opracowań kartograficznych.



Parametry odzorowania Układ 1992 (PL-1992)

W obecnej chwili wszelkie kartograficzne opracowania geologiczne zatwierdzone przez odpowiednie komisje Ministerstwa Środowiska (np. Komisję Opracowań Kartograficznych) muszą być przedstawić w odzorowaniu **Układ 1992**.

Odzorowania stosowane w polskiej kartografii „pozageologicznej”

Układ 1965(PUWG 1965)

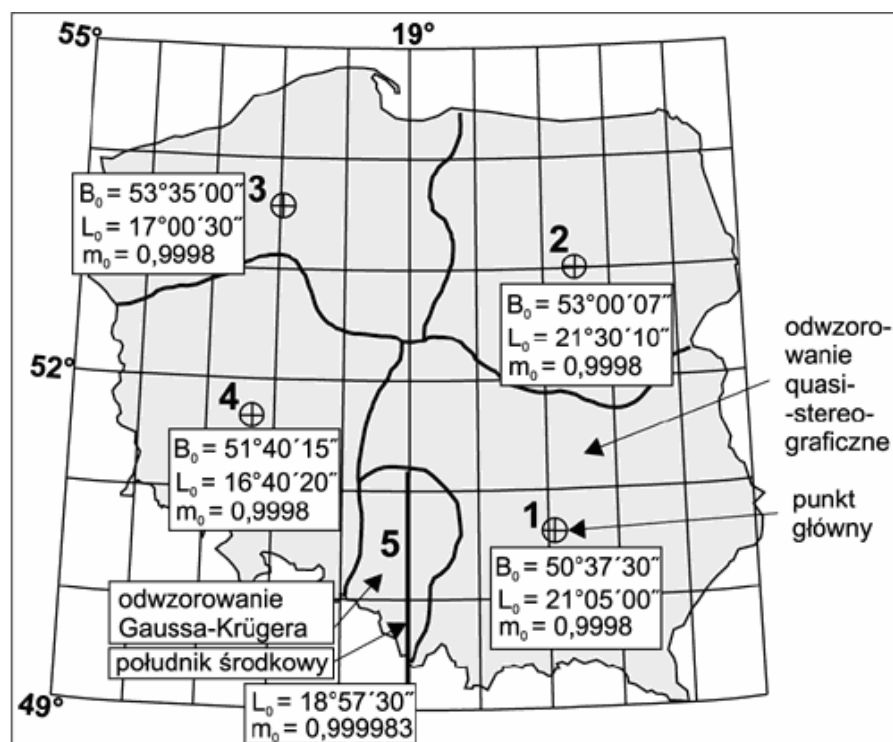
Państwowy układ współrzędnych płaskich prostokątnych wprowadzony do stosowania w 1968 r., przeznaczony głównie dla map wielkoskalowych. Obszar Polski podzielono na pięć stref z następująco zdefiniowanymi odzorowaniami:

1. odzorowanie quasi-stereograficzne z punktem styczności płaszczyzny z elipsoidą o współrzędnych $B_0 = 50^{\circ}37'30''$, $L_0 = 21^{\circ}05'00''$. Współczynnik zmiany skali w tym punkcie wynosi 0.9998.

2. odwzorowanie quasi-stereograficzne z punktem styczności płaszczyzny z elipsoidą o współrzędnych $B_0 = 53^{\circ}00'07''$, $L_0 = 21^{\circ}30'10''$. Współczynnik zmiany skali w tym punkcie wynosi 0.9998.
3. odwzorowanie quasi-stereograficzne z punktem styczności płaszczyzny z elipsoidą o współrzędnych $B_0 = 53^{\circ}35'00''$, $L_0 = 17^{\circ}00'30''$. Współczynnik zmiany skali w tym punkcie wynosi 0.9998.
4. odwzorowanie quasi-stereograficzne z punktem styczności płaszczyzny z elipsoidą o współrzędnych $B_0 = 51^{\circ}40'15''$, $L_0 = 16^{\circ}40'20''$. Współczynnik zmiany skali w tym punkcie wynosi 0.9998.
5. zmodyfikowane odwzorowanie Gaussa-Krügera z południkiem osiowym o długości geograficznej $L_0 = 18^{\circ}57'30''$. Współczynnik zmiany skali w tym południku wynosi 0.999983.

Zniekształcenia liniowe w każdej strefie układu mieszczą się w zakresie od -20 cm/km do +20 cm/km.

Odwzorowanie jest zaliczane do systemu PUŁKOWO'42



Układ "1965" podział na strefy

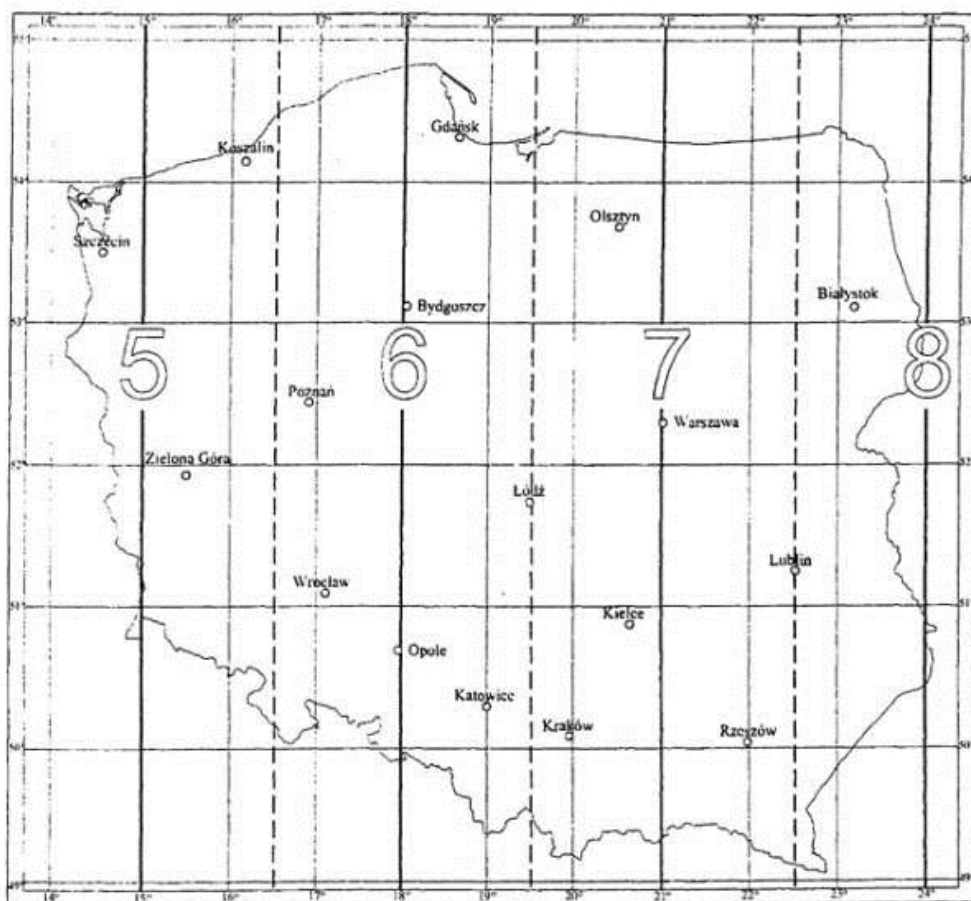
UKŁAD 2000 (PL-2000, PUWG 2000)

Układ 2000(PL-2000) to państwowy układ współrzędnych płaskich prostokątnych, stanowiący część państwowego systemu odniesień przestrzennych wprowadzonego do stosowania rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 08.08.2000r. Przeznaczony jest głównie dla map wielkoskalowych. Układ ten wykorzystuje kartograficzne równokątne odwzorowanie Gaussa-Krügera strefy elipsoidy ziemskiej na pobocznice walca eliptycznego o osi znajdującej się w płaszczyźnie równika. Dla obszaru Polski wyodrębniono cztery trzystopniowe strefy południkowe o południkach osiowych, których długości geograficzne wschodnie wynoszą $L_0 = 15^\circ, 18^\circ, 21^\circ$ i 24° . Pasy te oznaczono symbolami oznaczane odpowiednio numerami: 5, 6, 7 i 8.

Dla każdej z tych stref współczynnik zmiany skali w południku osiowym wynosi 0.999923, a zniekształcenia liniowe zawierają się w zakresie od -7.7 cm/km na południku osiowym do $\sim +7$ cm/km na brzegu każdej strefy. Układ wykorzystuje geodezyjny układ odniesienia wykorzystujący system odniesienia GRS80.



Układ PL-2000 Podział roboczy



rys. 1

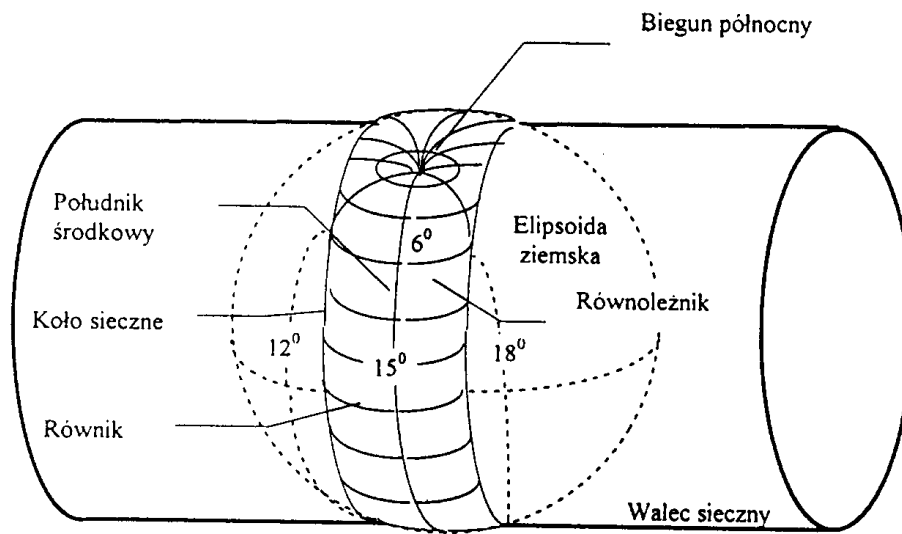
Podział obszaru kraju na cztery trzystopniowe pasy odwzorowania Gaussa-Krügera (Dziennik Ustaw z 24 sierpnia 2000 poz. 821)

Układ współrzędnych PL-2000 stosuje się na potrzeby wykonywania map w skalach większych od 1:10 000 – w szczególności mapy ewidencyjnej i mapy zasadniczej.

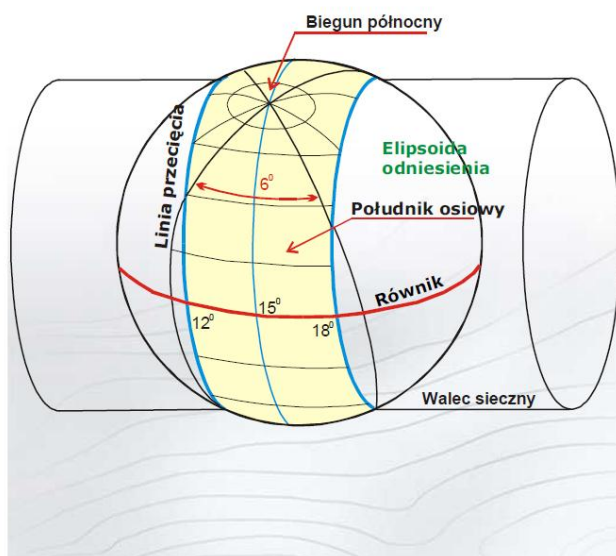
ODWZOROWANIE PL-UTM (UTM, Universal Transverse Mercator)

UTM to międzynarodowy, wojskowo-nawigacyjny układ współrzędnych płaskich stosujący elipsoidę WGS84 i uniwersalne poprzeczne odwzorowanie Mercatora (*ang. Universal Transverse Mercator Projection*). W Polsce wykorzystywany od początków lat 90. do opracowania map wojskowych zgodnych ze standardami NATO. W układzie tym pas powierzchni elipsoidy pomiędzy równoleżnikami 80°N i 80°S dzieli się na strefy południkowe o rozpiętości 6° długości geograficznej zaczynając od południka 180°. Współczynnik skali w

południku środkowym każdej strefy wynosi 0.9996, a zniekształcenie liniowe 40cm/km. Układ ten tworzy system meldunkowy dzieląc każdą z południkowych stref (ponumerowanych od 1 do 60) na czworoboki sferyczne, każdy o wysokości 8° szerokości geograficznej. Czworoboki te identyfikuje się poprzez kod cyfrowo-literowy np.34 U. Każdy z tych czworoboków dzieli się dalej na kwadraty o boku 100 km, oznaczane za pomocą kombinacji liter.



Odwzorowanie UTM



- równokątne poprzeczne odwzorowanie Merkatora,
- 3 strefy odwzorowawcze: 33, 34 i 35,
- początek układu: $\varphi=0^{\circ}N$ i $\lambda=15^{\circ}E, 21^{\circ}E$ lub $27^{\circ}E$
- współrzędne płaskie: $x=0$ m i $y=500000$ m,
- współczynnik skali 0,9996,
- stosowany we współdziałaniu z jednostkami resortu obrony narodowej.

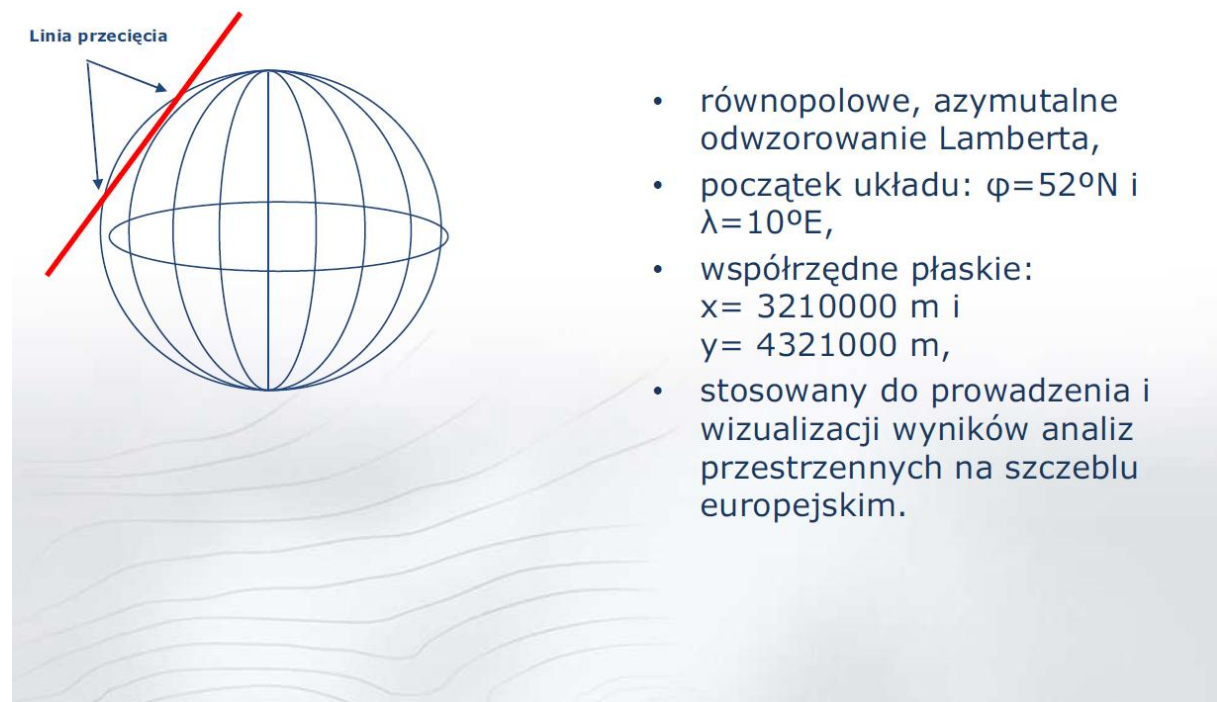
Odwzorowanie UTM w Polsce (Graszka 2011)

Obszar Polski obejmują trzy pasy południkowe układu współrzędnych PL-UTM o rozciągłości równej 6° długości geodezyjnej każdy, o południkach osiowych: 15°E, 21°E i 27°E, oznaczane odpowiednio numerami: 33, 34 i 35.

Układ współrzędnych PL-UTM stosuje się na potrzeby wydawania standardowych opracowań kartograficznych w skalach od 1:10 000 do 1:250 000, wydawania map morskich oraz wydawania innych map przeznaczonych na potrzeby bezpieczeństwa i obronności państwa;

Azymutalne równopowierzchniowe odwzorowanie Lamberta PL-LAEA

Układ współrzędnych płaskich prostokątnych PL-LAEA jest utworzony na podstawie matematycznie jednoznacznego przyporządkowania punktów na elipsoidzie odniesienia GRS80 odpowiednim punktom na płaszczyźnie według teorii azymutalnego równopowierzchniowego odwzorowania Lamberta. układ współrzędnych PL-LAEA stosuje się na potrzeby analiz przestrzennych i sprawozdawczości na poziomie ogólnoeuropejskim;



Stożkowe, równokątne odwzorowanie Lamberta PL-LCC

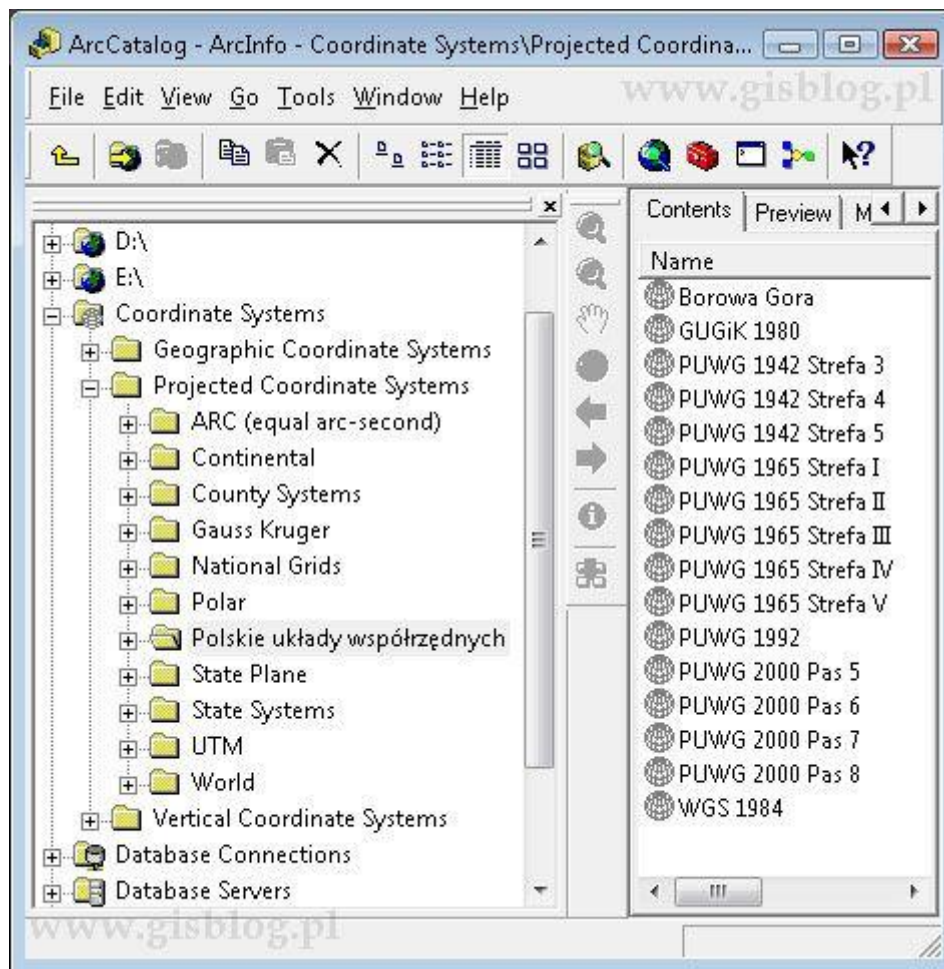
Układ współrzędnych płaskich prostokątnych PL-LCC jest utworzony na podstawie matematycznie jednoznacznego przyporządkowania punktów na elipsoidzie odniesienia GRS80 odpowiednim punktom na płaszczyźnie **według teorii stożkowego równokątnego odwzorowania Lamberta.**

Układ PL-LCC stosuje się na potrzeby wydawania map w skali 1:500 000 i w mniejszych skalach;



Zastosowanie odwzorowań w programach komputerowych stosowanych w kartografii wglębnej

Wykorzystując oprogramowanie ArcGIS do odwzorowania poszczególnych składników mapy można wykorzystać pliki z projekcjami (odwzorowaniami) udostępniane przez firmę ESRI (pliki o rozszerzeniu prj). Domyślnie w ArcGIS nie ma definicji układów współrzędnych stosowanych najczęściej w Polsce, można je sobie zainstalować razem z polską nakładką językową. (Lemańczyk 2009)



Powyższe definicje odwzorowań są dostępne w Internecie np. na stronie: <http://www.npgc.pl/index.php/2009/01/polskie-uklady-wspolrzednych-w-arcgis/> NPGC

Można je wykorzystywać także w programach firmy Golden Surfer i Digger. Informacje zawarte w plikach prj można skopiować jako dane w formacie WKT (Well known text) mogą być również wykorzystane do zdefiniowania

własnych odwzorowań w module Coordinate System Manager programu Petrel® (Schlumberger).

Programy GIS 9(QGIS, ARCmap, itp) pozwalają na łączenie w oknie wyświetlania danych zestawionych w wielu odwzorowaniach. Warunkiem jest dołączenie do wyświetlanego zestawu danych pliku definiującego projekcję. Programy Wykorzystywane w ilościowej kartografii wglębnej muszą mieć dane zestawione (Petrel, Surfer, ZMAP+, Geographix) bez błędów mogą wykorzystywać w jednym projekcie dane przygotowane w jednym odwzorowaniu !!!! Jednakże Petrel pozwala na przesyłanie danych między projektami wykonanymi w różnych odwzorowaniach , Kopiowaniu towarzyszy konwersja odwzorowania. Możliwość ta nie dotyczy sejsmiki 3D i gridów3D wszystkie inne typy danych mogą mieć współrzędne konwertowane „w locie”.

Do opracowania wykładu wykorzystano materiał z następujących źródeł:

http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u013/u013_f.html **Fundamental Geographic Concepts for GIScience**

Dana, Peter H. (1997) The Shape of the Earth, *NCGIA Core Curriculum in GIScience*, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u015/u015.html>, Created: October 23, 1997. Last revised: July 15, 1998.

<http://www.atomnet.pl/~geodeta/2000/59text1.htm>

<http://encyklopedia.pwn.pl/>

http://www.geodezja.katowice.pl/html/definicje_wytyczne.html#ortofoto

<http://www.atomnet.pl/~geodeta/2000/64text2.htm>

<http://www.hig.se/~dds/teach/prjectn.htm>

<http://mcmweb.er.usgs.gov/drg/mercproj/index.html>

http://www.heading.enter.net.pl/naw_mapy.htm

Lamparski J., 1998, <http://www.navi.pl/produkty/ssl/uklady/uklady.html>

<http://www.wodgik.rzeszow.pl/odwzorowania.shtml>

Kadaj R. 2000, Zasady transformacji współrzędnych pomiędzy różnymi układami kartograficznymi na obszarze Polski. Geodeta Nr 9 (64), WRZESIEŃ 2000

<http://geoforum.pl/archiwum/2000/64text2.htm>

<http://geoforum.pl/?menu=46812,46826,46909&part=1&link=rady-na-uklady>

Lemańczyk K. 2009, <http://www.npgc.pl/index.php/2009/01/polskie-uklady-wspolrzednych-w-arccgis/>

<http://www.gisplay.pl/geodezja/system-odniesien-przestrzennych.html>

Dziennik Ustaw Poz. 1247 Warszawa, dnia 14 listopada 2012 r.

Dziennik Ustaw z 24 sierpnia 2000 poz. 821

Graszka W.,2011, PAŃSTWOWY SYSTEM ODNIESIEN PRZESTRZENNYCH

http://wingik.slask.eu/files/INFOOSRODEK/XXII/Ro_S_O__Wieslaw_Graszka.pdf