



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Systemy Informacji Geograficznej

Odwzorowania kartograficzne

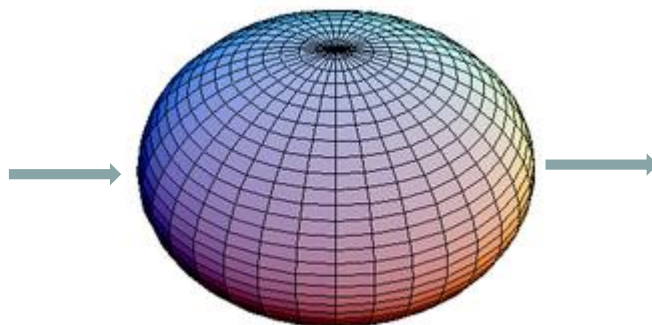
**Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki
Kraków, 2020**

Koncepcja

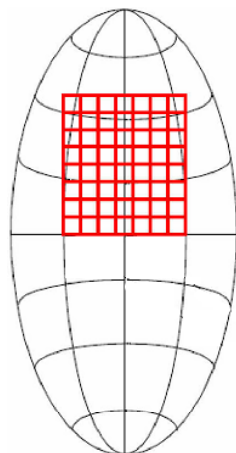
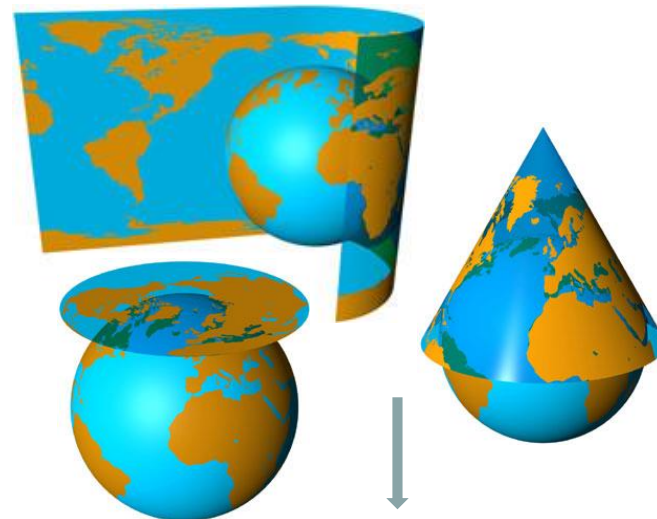
Ziemia



Model Ziemi (elipsoida)

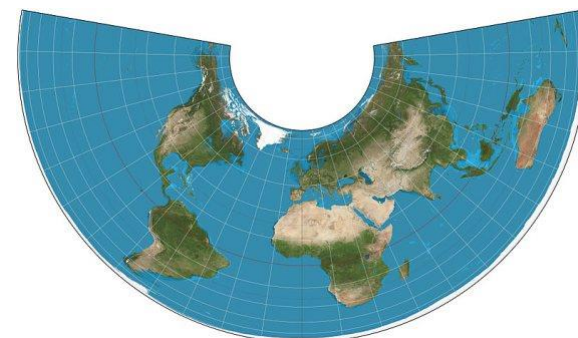


Różne odwzorowania
na płaszczyznę



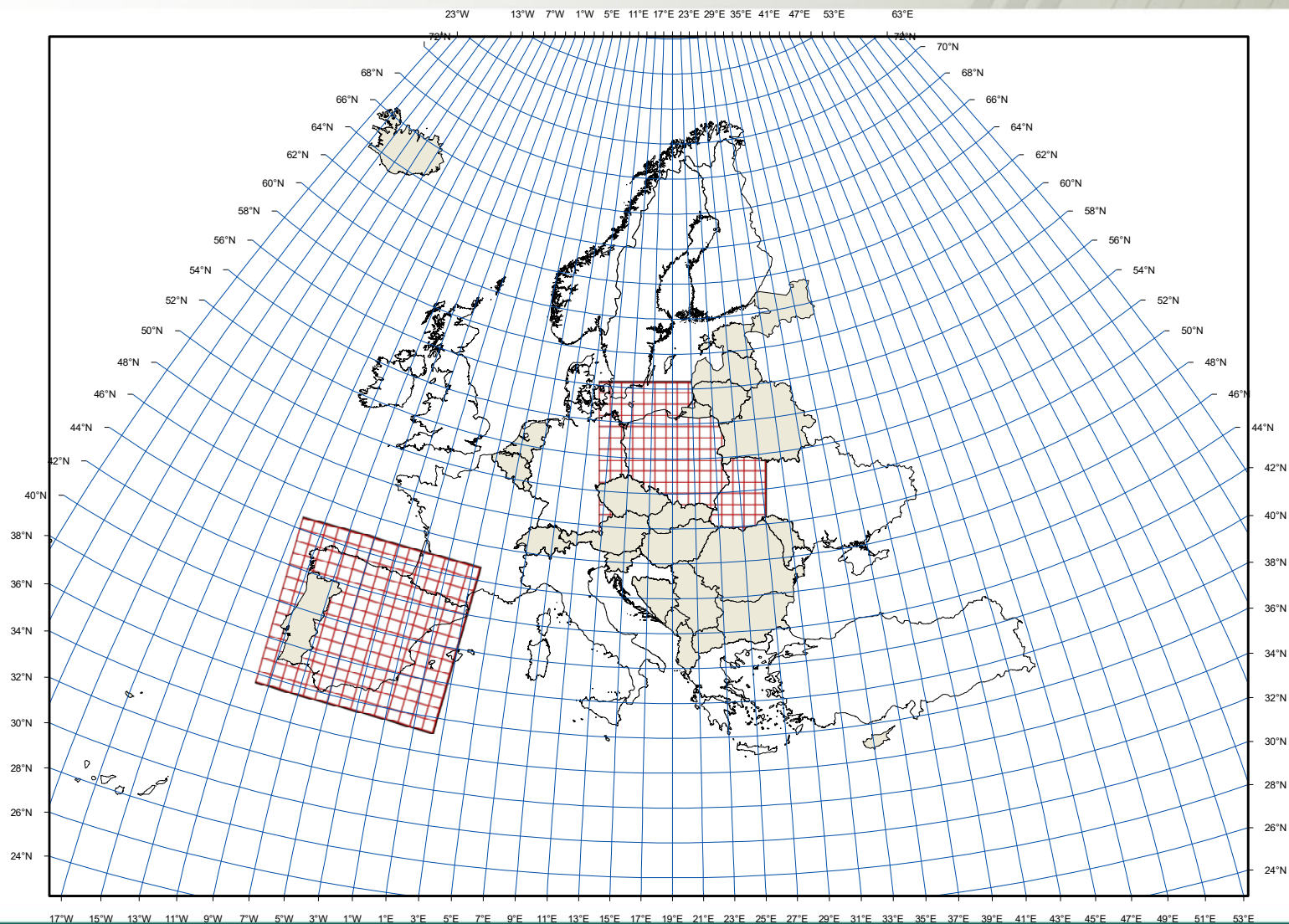
(wsp. płaskie)

odwzorowanie



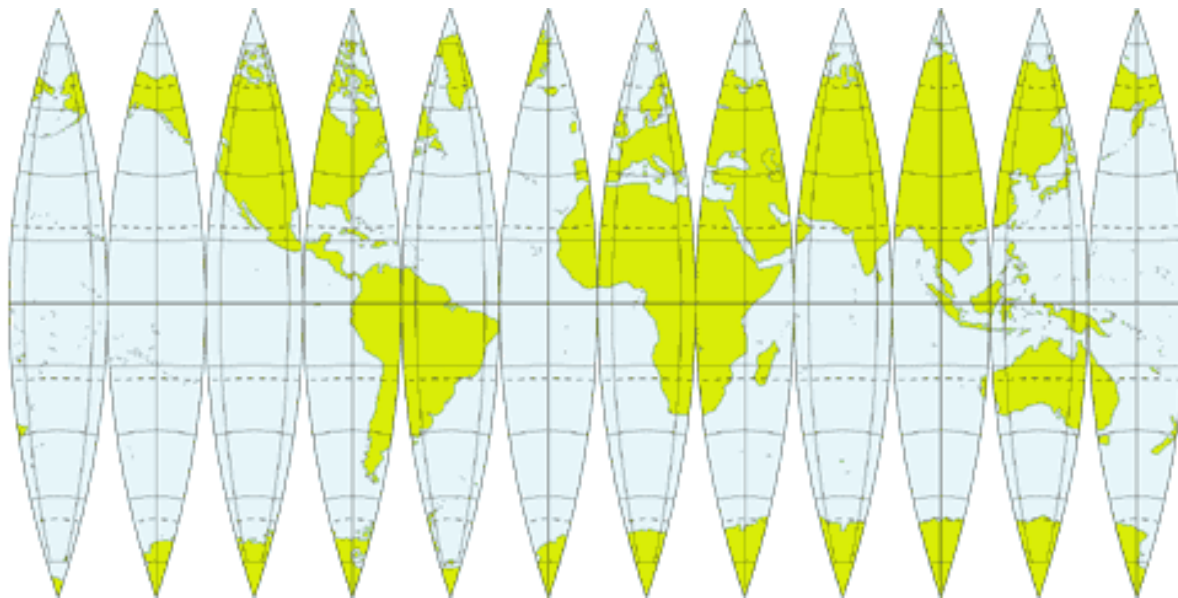
(wsp. geograficzne)

Odwzorowania kartograficzne



Odzwzorowania kartograficzne

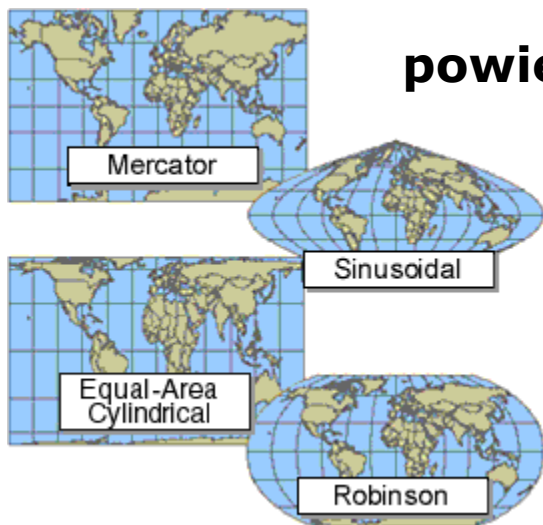
Odzwzorowania kartograficzne służą do konwersji danych z układu współrzędnych geograficznych (GCS) do układu współrzędnych płaskich (PCS).



Odzworowania kartograficzne

Tak jak istnieje wiele układów współrzędnych geograficznych, istnieje wiele różnych odzworowań kartograficznych.

Każde z nich, w właściwy sobie sposób zachowuje właściwości przestrzenne danych (**kształtu, powierzchni, odległości i kierunku**).



Odzworowania kartograficzne

Mapy są zawsze płaskie. Czy zawsze trzeba wykorzystywać współrzędne w projekcji?

- to zależy od zastosowania mapy.

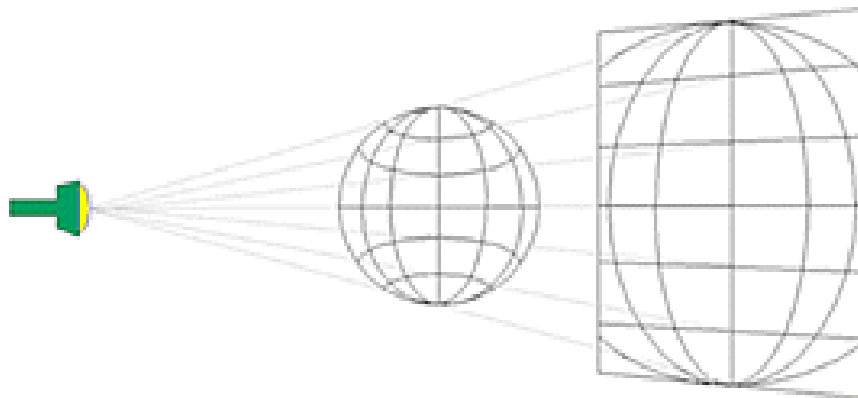
Np.: założmy, że projekt nie wymaga wysokiego poziomu dokładności współrzędnych, nie będziemy przeprowadzać żadnych analiz na podstawie lokalizacji i odległości lub po prostu chcemy szybko zrobić mapę. W takich sytuacjach, nie ma chyba potrzeby konwertowania danych do PCS.

Odzworowania kartograficzne

Jednakże, jeśli trzeba wykonać analizę (pomiar odległości, obliczenia powierzchni i obwodu, określić najkrótszą drogę między dwoma punktami itp.), lub jeśli chcesz pokazać konkretne właściwości przestrzenne obiektów na mapie, tak jak to naprawdę istnieje na Ziemi, należy używać konwersji danych do odpowiedniego odzworowania kartograficznego (PCS).

Koncepcja odwzorowania (projekcji)

Wyobraźmy sobie, że można wykonać projekcję (odwzorowanie) ze źródła światła przez powierzchnię modelu Ziemi na powierzchnię płaską.



Rodzaje odwzorowań klasycznych



Nazwy projekcji są związane ze sposobem odwz. modelu Ziemi na płaską powierzchnię mapy.

W rzeczywistości, projekcje tworzone są za pomocą formuł matematycznych.

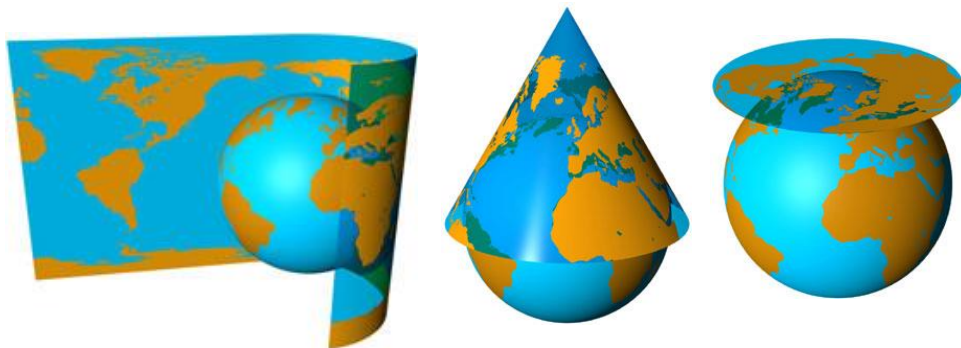
Zasadniczo, istnieją trzy typy powierzchni, które mogą być odwzorowane na mapie:

- cylinder,
- stożek,
- płaszczyzna.



Każda z tych powierzchni może być bez dodatkowych zniekształceń rozłożona na powierzchnię płaską.

Rodzaje odwzorowań klasycznych



Projekcje oparte na różnych odwzorowujących powierzchniach mogą być używane do mapowania konkretnych części Ziemi, np.:

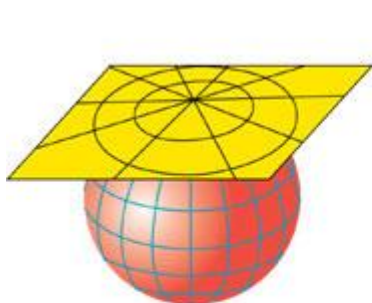
- **Walec** owinięty wokół Ziemi tak, że dotyka równik, tworzy odwzorowania, które są dokładne w strefie równikowej.
- **Stożek** umieszczony nad Ziemią tak, że dotyka jej w połowie drogi między równikiem a biegunem będzie tworzył mapy, które są dokładne w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych (między 30° - 60° szer. geograf. N i S).
- **Płaszczyzna**, która dotyka Ziemi na biegunie, będzie tworzyć mapy, które są dokładne w regionie polarnym.

Rodzaj powierzchni używanej w projekcji mapy, pomoże Ci określić, czy projekcja jest odpowiednia do twoich celów.



AGH

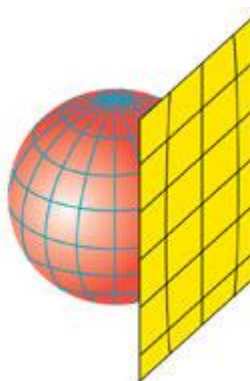
Położenie powierzchni odwzorowania



położenie normalne



położenie ukośne



położenie poprzeczne

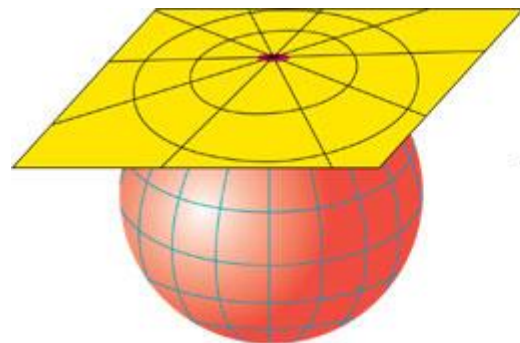
Ze względu na położenie powierzchni odwzorowania względem modelu Ziemi można wyróżnić:

- **położenie normalne** (in. biegunowe) – płaszczyzna odwzorowania jest prostopadła do osi modelu Ziemi, oś stożka i walca pokrywa się z osią modelu Ziemi;
- **położenie poprzeczne** (in. równikowe) – płaszczyzna odwzorowania jest równoległa do osi modelu Ziemi, oś stożka i walca leżą w płaszczyźnie równika;
- **położenie ukośne** – pozostałe położenia „pomiędzy” normalnym a poprzecznym (odwzorowania te, z wyjątkiem azymutalnych, są rzadziej stosowane).

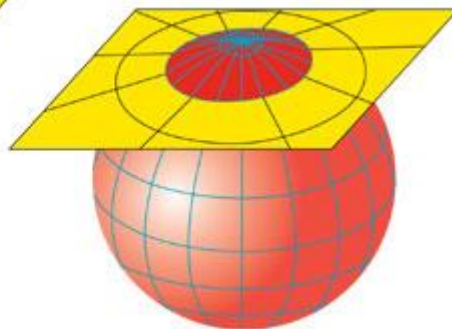


AGH

Położenie powierzchni odwzorowania



położenie styczne



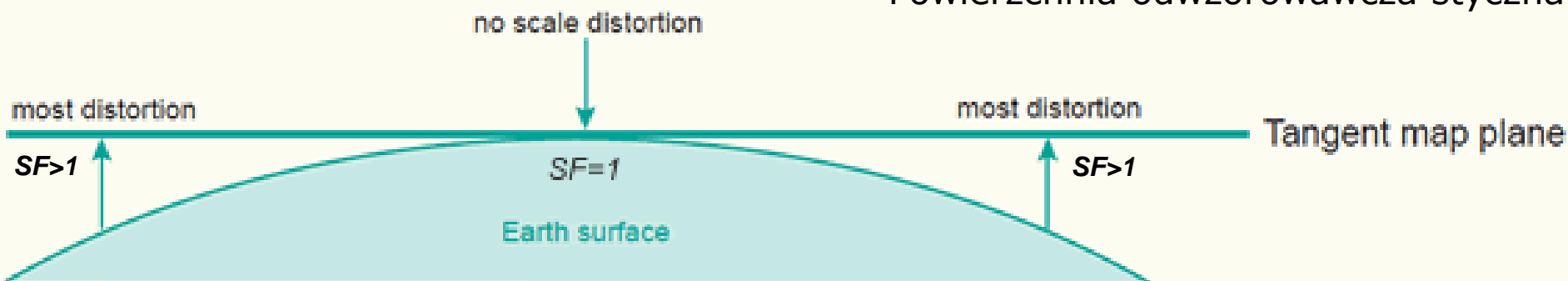
położenie sieczne

Niezależnie od rodzaju odwzorowania kartograficznego (azymutalne, stożkowe czy też walcowe) powierzchnia odwzorowania może:

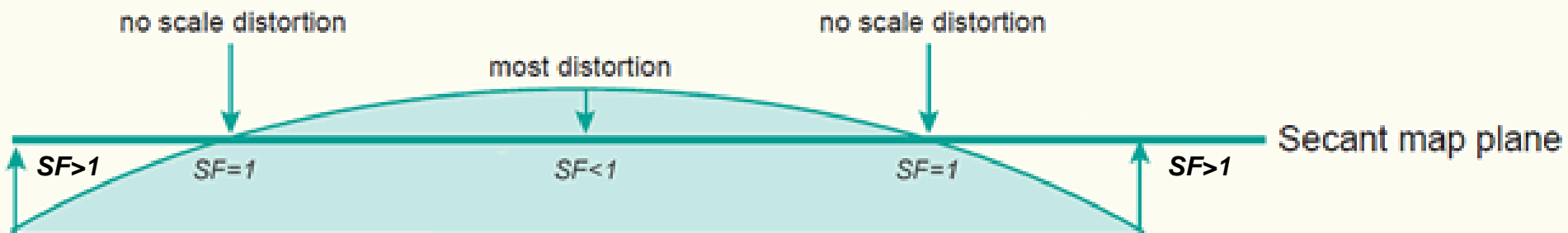
- stykać się z modelem Ziemi w jednym punkcie lub wzdłuż jednej linii – jest to położenie **styczne**,
- przecinać model Ziemi – jest to położenie **sieczne**.

Zniekształcenia w odwzorowaniach stycznych i siecznych

Powierzchnia odwzorowawcza styczna

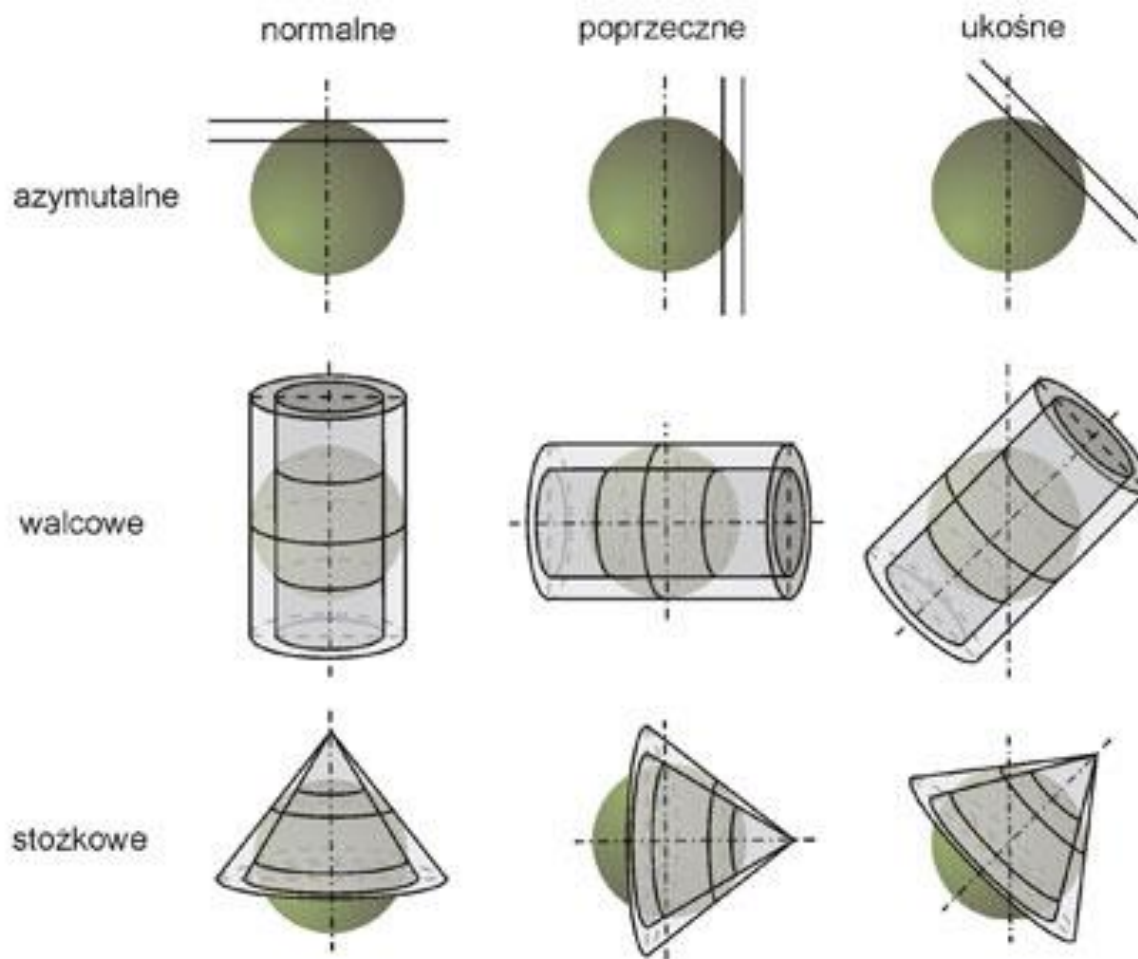


Powierzchnia odwzorowawcza sieczna

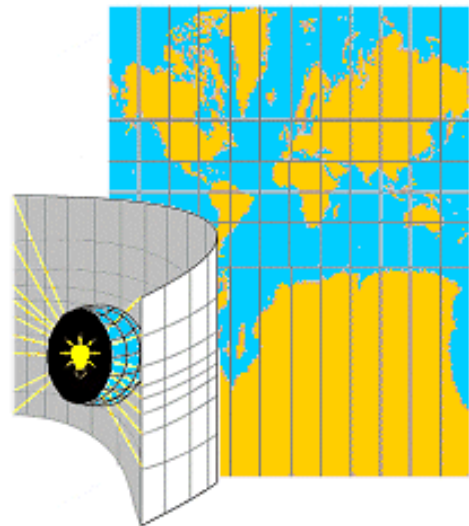


SF – współczynnik skali (ang. *scale factor*)

Położenie powierzchni odwzorowawczych



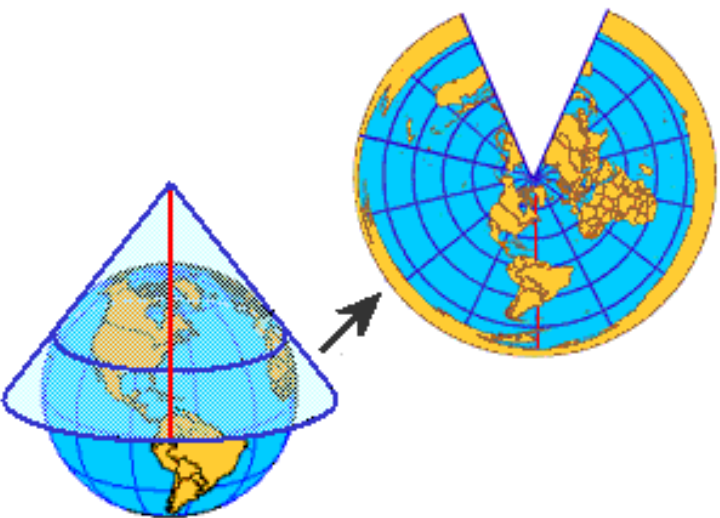
Odwzorowania walcowe (cylindryczne)



Tworzone są przez owinięcie cylindra wokół modelu Ziemi i projektowanie źródła światła przez jego powierzchnię na cylinder. Cylinder jest następnie rozkładany wzdłuż linii południków do powierzchni płaskiej.

Odwzorowania walcowe (najczęściej używane w położeniu *normalnym*), tworzą mapy z prostymi, równomiernie rozmieszczonymi południkami i równoleżnikami, które przecinają się pod kątem prostym.

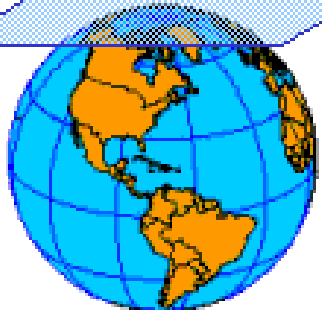
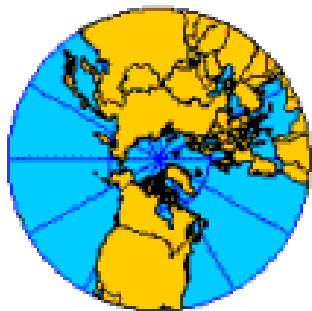
Odwzorowania stożkowe



Są tworzone przez ustawienie stożka na modelu Ziemi (niemal wyłącznie w położeniu *normalnym*) i projekcję światła na stożek. Stożek jest następnie cięty wzdłuż linii południka i jest rozkładany na płaszczyznę.

Odwzorowania stożkowe tworzą mapy z prostymi zbieżnymi liniami południków i koncentrycznymi kołowymi łukami równoleżników

Odwzorowania płaszczyznowe



Są tworzone przez źródło światła przechodzące przez model Ziemi na powierzchnię płaską (płaszczyznę).

Płaszczyzna jest przyłożona do obszarów okołobiegunowych, map strefy równikowej (w położeniu *poprzecznym*) oraz innych szerokości geograficznych (w położeniu *ukośnym*).

W obsz. okołobiegunowych, odwzorowania płaszczyznowe tworzą mapy, na których linie południków zbiegają się na biegunach i promieniście rozchodzą się na zewnątrz. Linie równoleżników tworzą serię koncentrycznych okręgów.

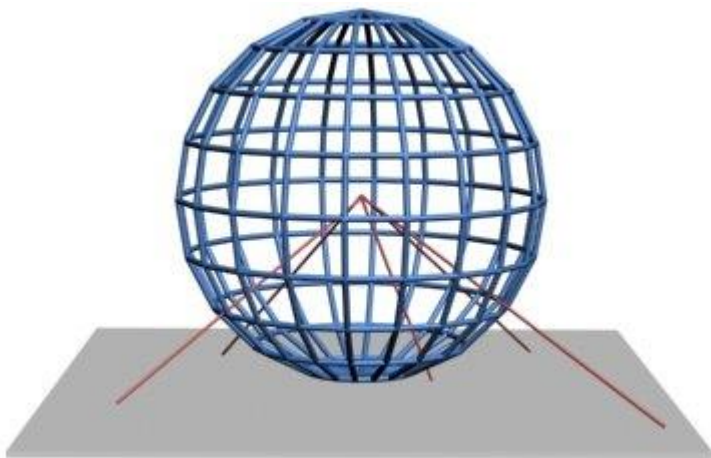
Metody odwzorowania modelu Ziemi na płaszczyznę

Odwzorowania płaszczyznowe są inaczej nazywane **azymutalnymi**. Powstają one w wyniku rzutowania modelu powierzchni Ziemi na płaszczyznę styczną / sieczną.

Zależnie od położenia środka rzutu **odwzorowanie azymutalne** może być:

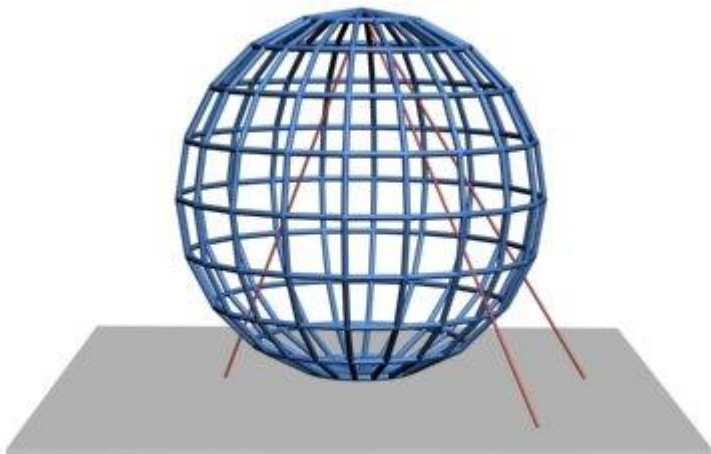
Odwzorowanie centralne (gnomoniczne)

- **centralne (gnomoniczne)** – środek rzutu znajduje się w środku modelu Ziemi,



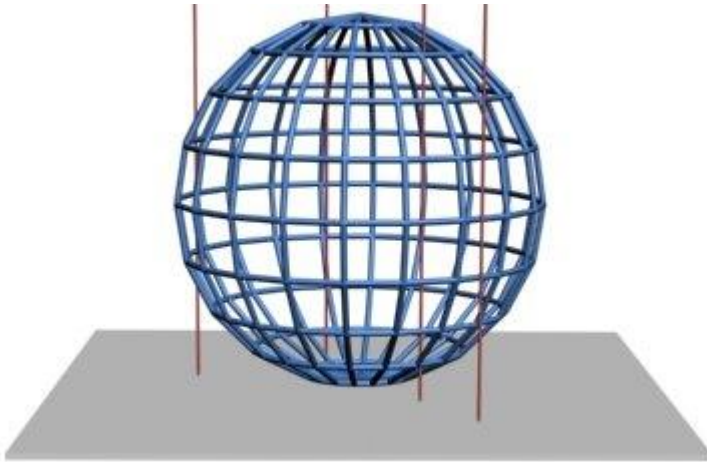
Odwzorowanie stereograficzne

- **stereograficzne** – środek rzutu jest umieszczony na biegunie przeciwnym,



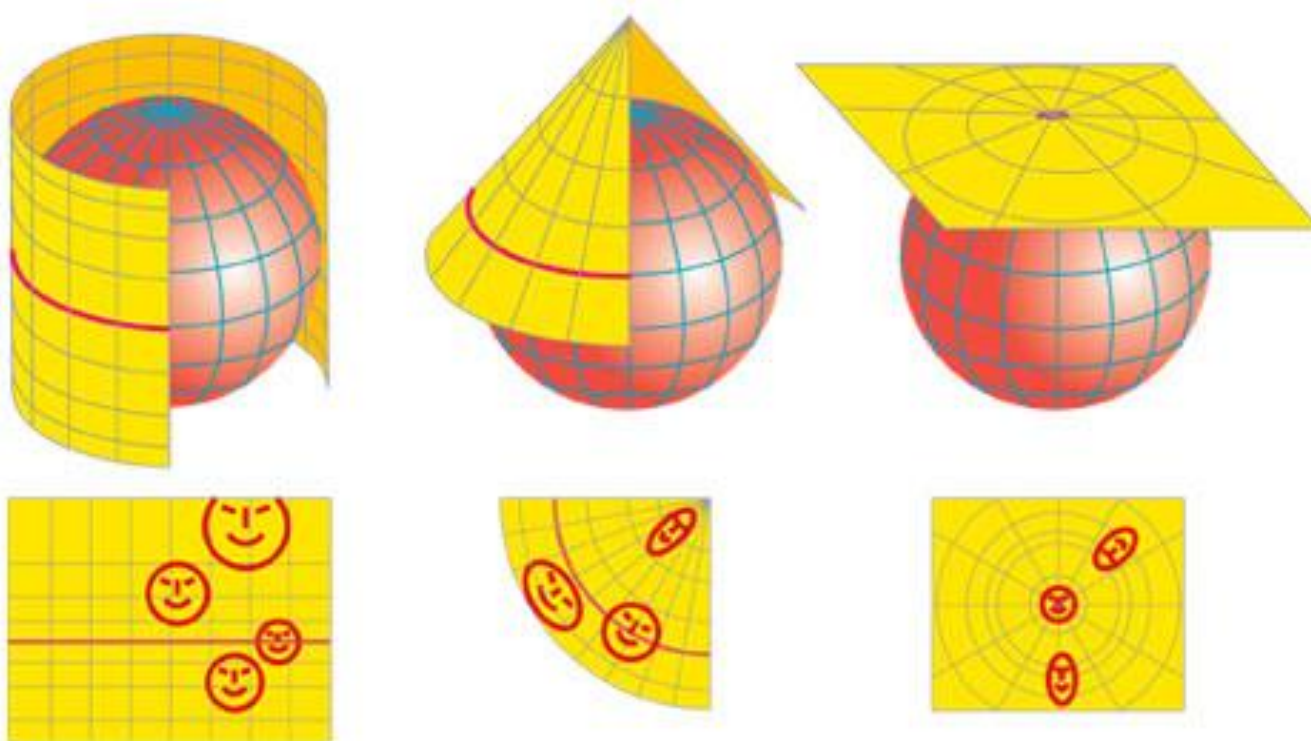
Odwzorowanie ortograficzne

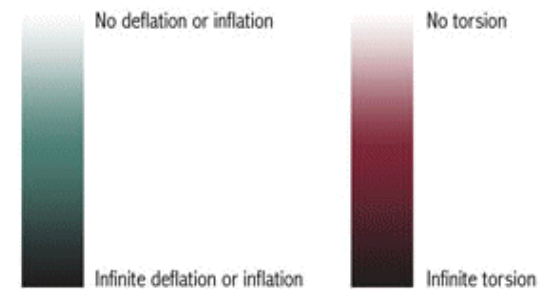
- **ortograficzne** – środek rzutu jest oddalony od płaszczyzny rzutu nieskończenie daleko.



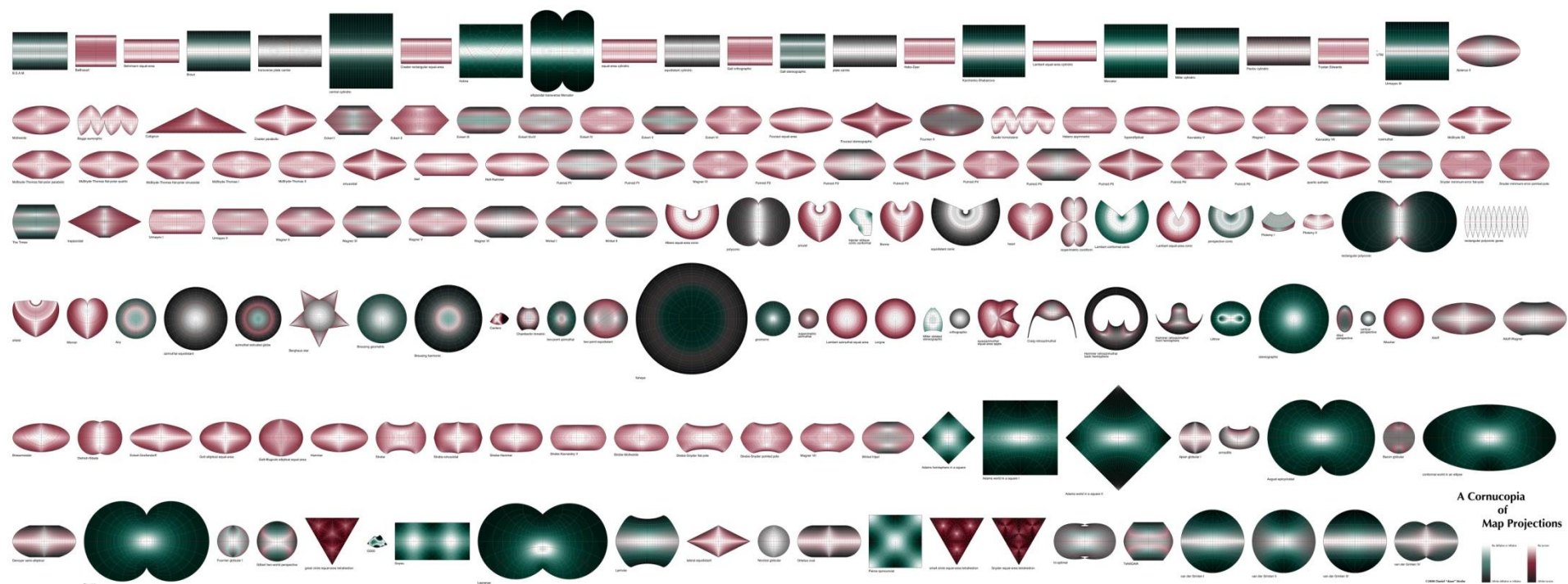
Zniekształcenia

Przekształcenia obiektów z powierzchni kulistej do powierzchni płaskiej, niezależnie od użytej powierzchni projekcyjnej, powodują zniekształcenia.





Różne odwzorowania modelu Ziemi na płaszczyznę lub na powierzchnię rozwijalną do płaszczyzny



Zniekształceniom na mapach podlegają cztery właściwości obiektów przestrzennych:

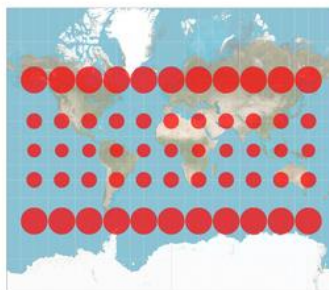
- kształt,
- obszar,
- dystans,
- kierunek.

Każda projekcja kartograficzna poprawnie odwzorowuje jeden lub kilka (ale nie wszystkie) z czterech właściwości przestrzennych.

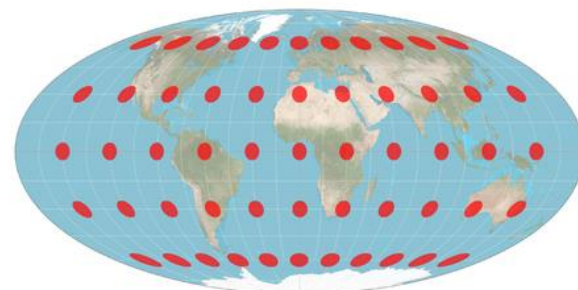
Zniekształcenia

Istnieje więc możliwość użycia takiego odwzorowania kartograficznego, aby zniekształcenia jednego z w.w. elementów były minimalne. Wybór ten zależy głównie od celu, jakiemu dana mapa ma służyć. Są zatem odwzorowania:

- **wiernokątne** (zwane też **wiernokształtnymi**),
- **wiernopowierzchniowe**,
- **wiernoodległościowe** (odległości mogą pozostać wierne tylko wzdłuż określonych linii lub kierunków).
- **wiernokierunkowe**



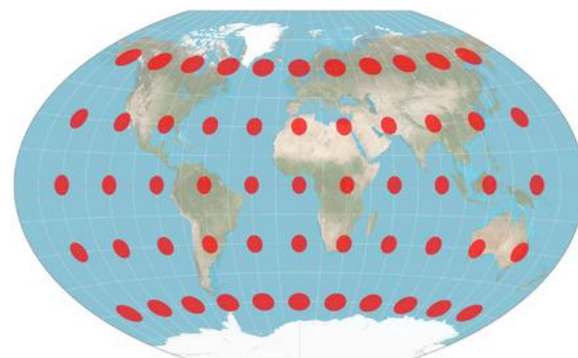
Siatka wiernokątna
(odwzorowanie walcowe Mercatora)



Siatka wiernopowierzchniowa
(odwzorowanie umowne -
- pseudowalcowe Mollweidego)



Siatka wiernoodległościowa
(odwzorowanie azymutalne,
odległości zachowane są tylko
wzdłuż południków)



Siatka umowna Winkela
(modyfikacja odwzorowania azymutalnego,
posiada wszystkie trzy rodzaje zniekształceń,
ale są one stosunkowo nieduże)

Koła pokazują jak
zmieniają się powierzchnie
i odległości na mapach
wykonanych w tych
odwzorowaniach.

Odzw. wiernokątne (wiernokształtne)

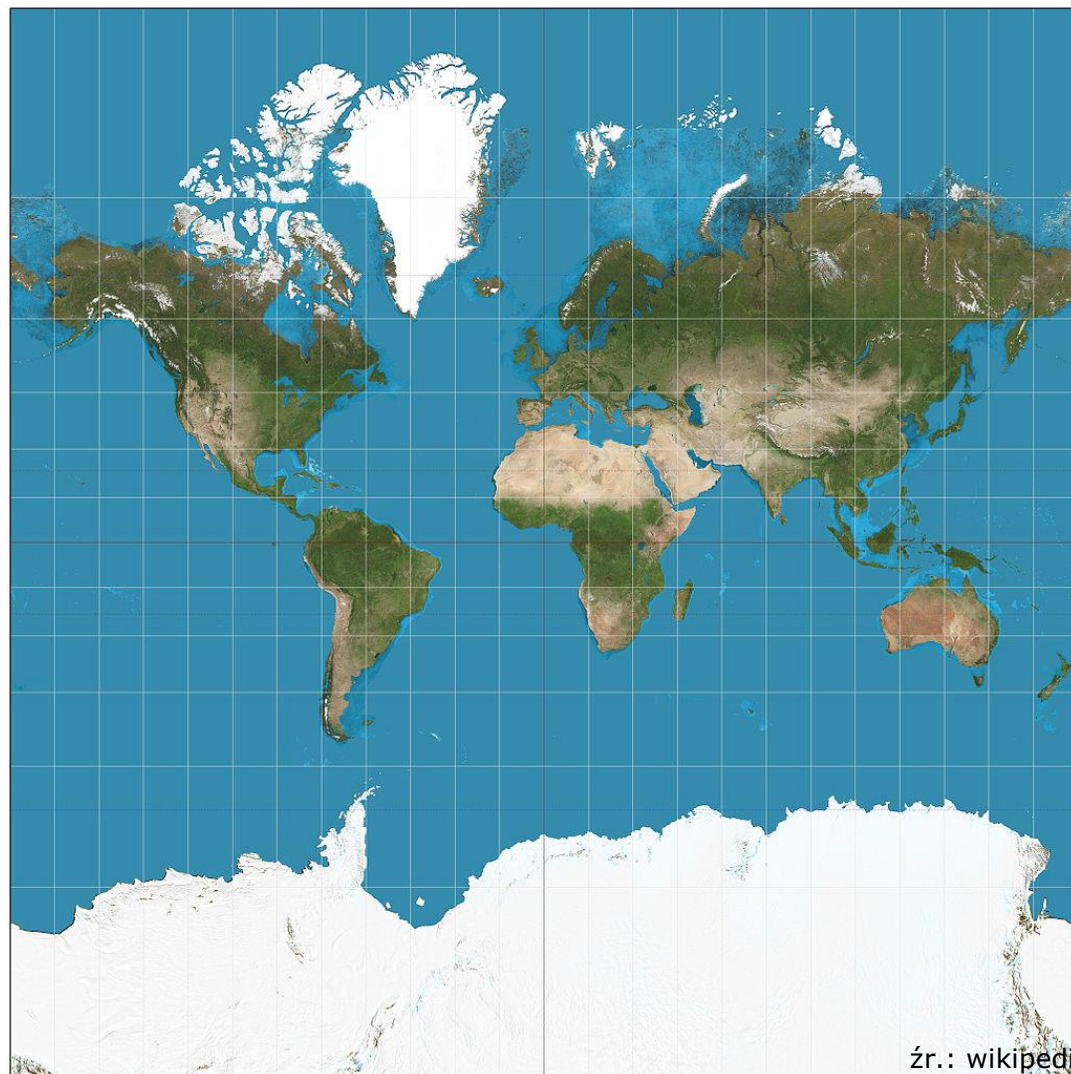
Jeśli mapa zachowuje kształt, to kształty, takie jak kontury krajów, wyglądają tak samo na mapie, jak na modelu powierzchni Ziemi. Mapa, która zachowuje kształt nazywana jest „konforemna” (ang.: *conformal*).

np. odwzorowania Merkatora i Gaussa-Krügera

ZASTOSOWANIE:

- w komunikacji morskiej i lotniczej,
- mapy topograficzne,
- mapy meteorologiczne.

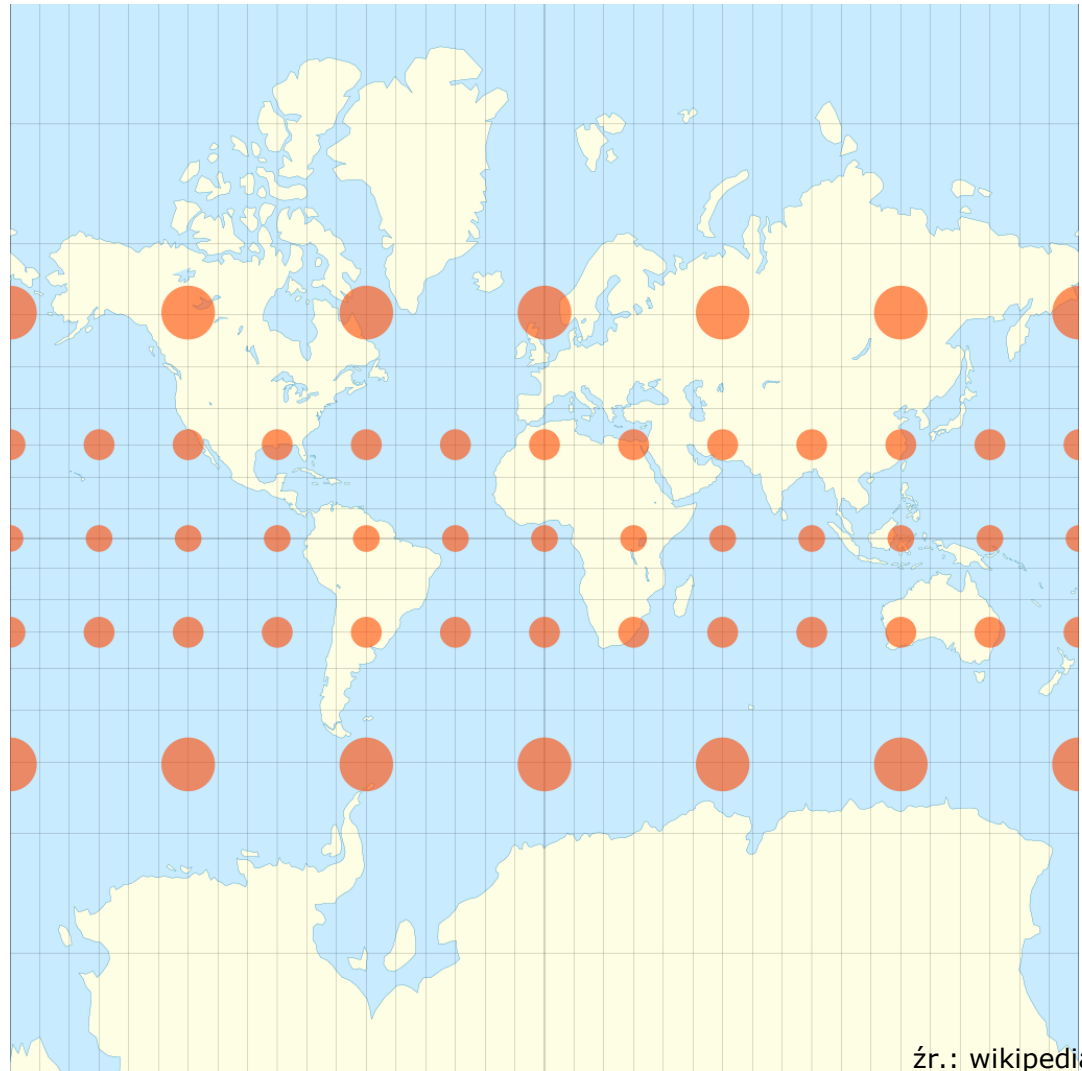
Odzwz. wiernokątne (wiernokształtne)



Odzwzorowanie Merkatora

źr.: wikipedia

Odzw. wiernokątne (wiernokształtne)



Odzworowanie Merkatora

Odwzorowania wiernopowierzchniowe

(ang. *equal-area*)

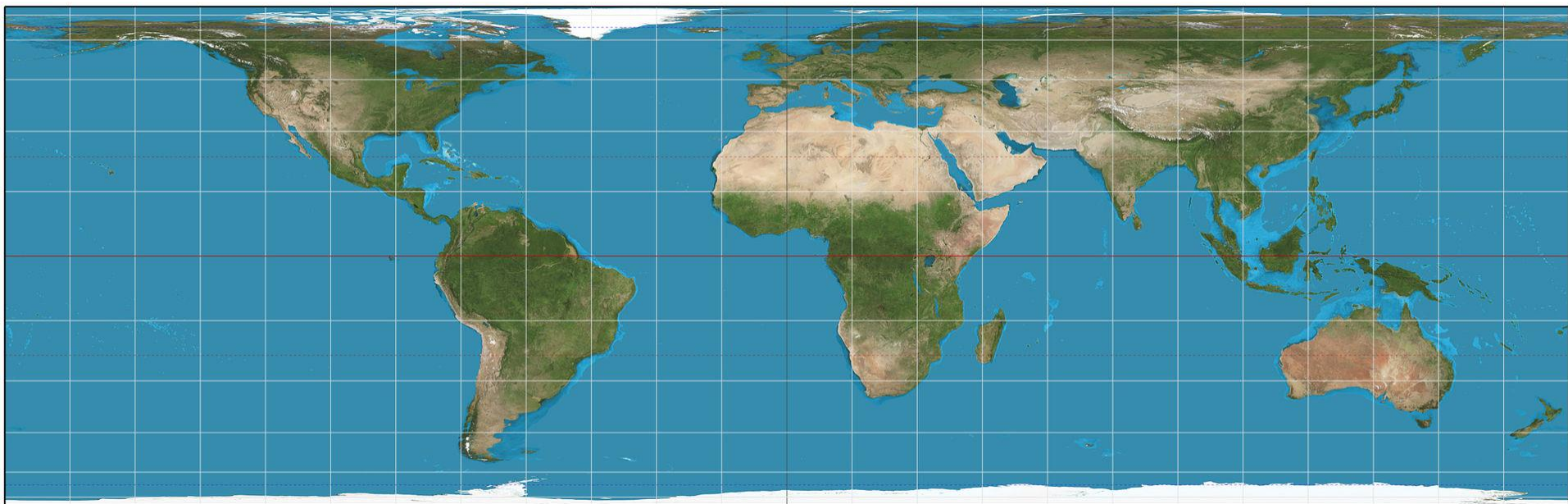
W przypadku map zachowujących zgodność powierzchni, wielkość elementu na mapie jest taka sama jak na modelu powierzchni Ziemi.

np. odwzorowania Lamberta i Mollweidego

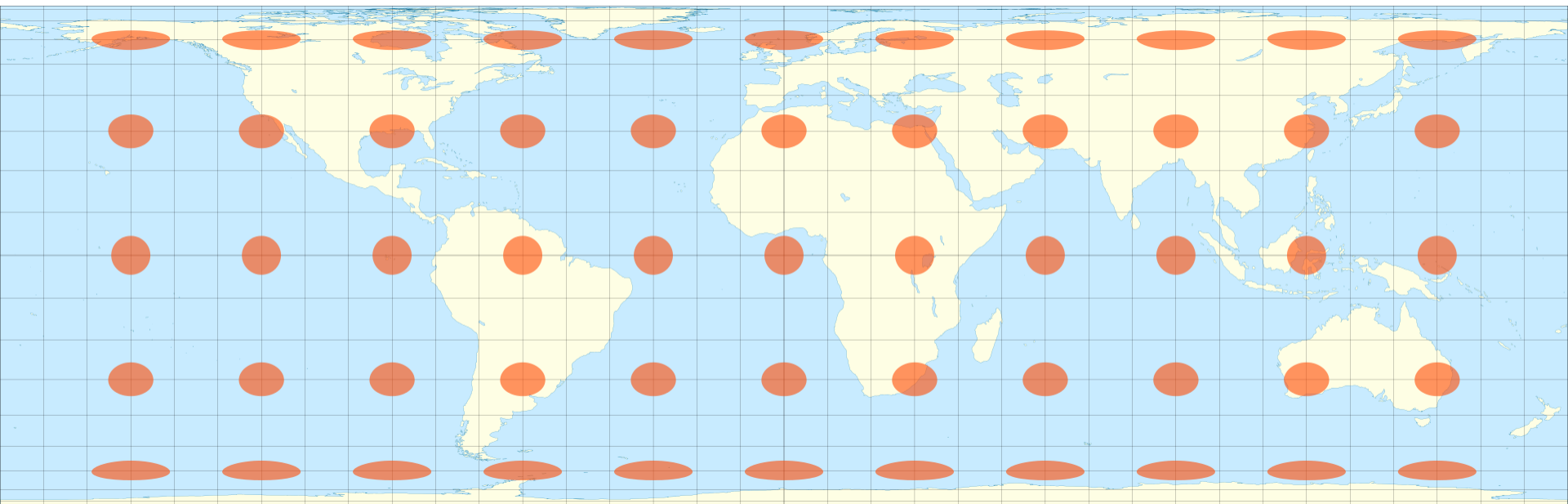
ZASTOSOWANIE:

- w atlasach geograficznych,
- na mapach politycznych,
- do obliczania powierzchni np. lasów, jednostek administracyjnych itp.

Odwzorowania wiernopowierzchniowe



Odwzorowania wiernopowierzchniowe



Odwzorowania wiernoodległościowe

Jeśli mapa zachowuje odległość, to dystans pomiędzy jednym punktem na mapie a innym, jest identyczny, jak na modelu powierzchni Ziemi.

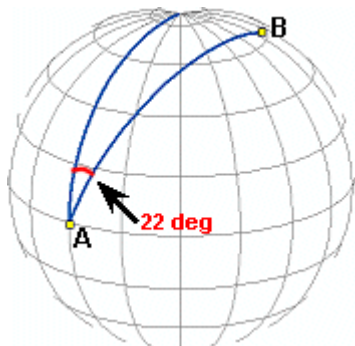
Większość map posiada jeden lub dwa punkty prawdziwej odległości. Mapy w odwzorowaniach wiernoodległościowych zachowują prawdziwą odległość dla kierunków rozchodzących się z tych punktów.

Odwzorowania wiernoodległościowe

Dwupunktowa
wiernoodległościowa
projekcja Azji.
Wszystkie odległości
są prawidłowe od
dwóch punktów
(45°N, 40°E) i
(30°N, 110°E)



Odwzorowania wiernokierunkowe



Kierunek lub azymut, jest kątem wyrażonym w stopniach i liczonym od kierunku północnego.

Projekcja wiernokierunkowa (ang. *retroazimuthal*) zachowuje kierunek dla wszystkich prostych wychodzących z jednego, określonego miejsca (punkt centralny). Na mapach azymutalnych, kierunki z jednej centralnej lokalizacji do wszystkich innych punktów na mapie będą wyświetlane poprawnie.

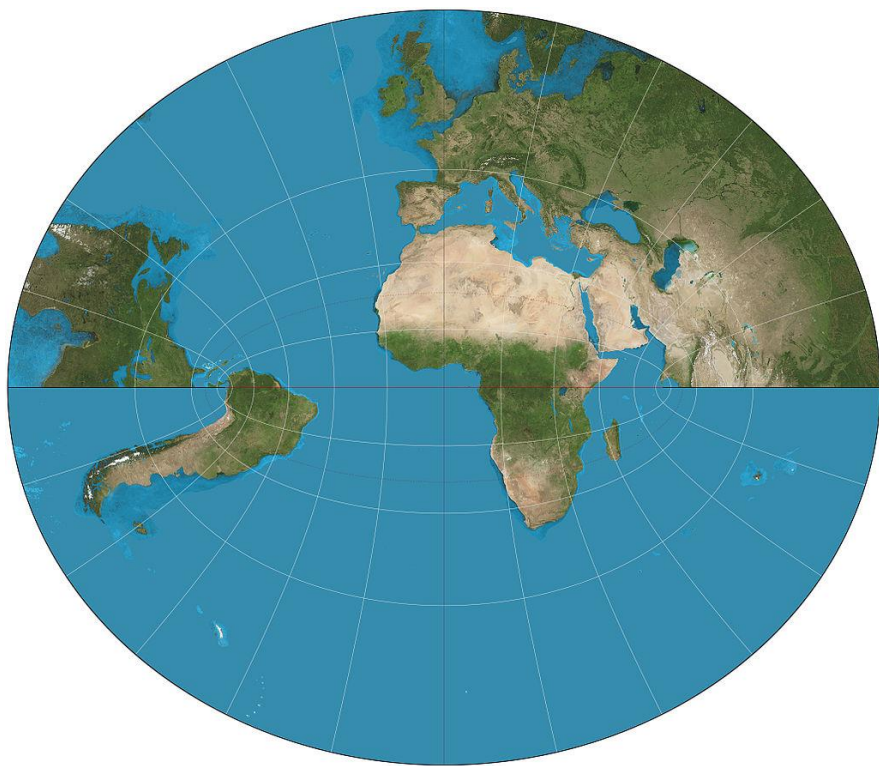
Azymut z A do B wynosi 22° . Jeżeli wartość azymutu z A do B jest taka sama na mapie, jak na modelu pow. Ziemi, a wtedy mapa zachowuje kierunek z punktu A do B.



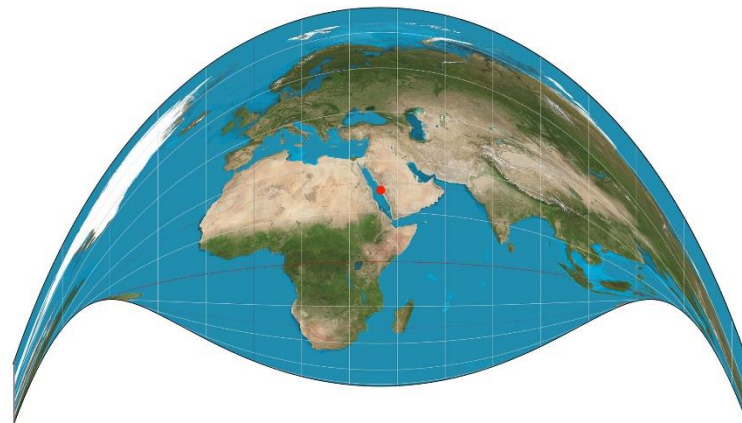
AGH

Odzw. wiernokierunkowe (azymutalne)

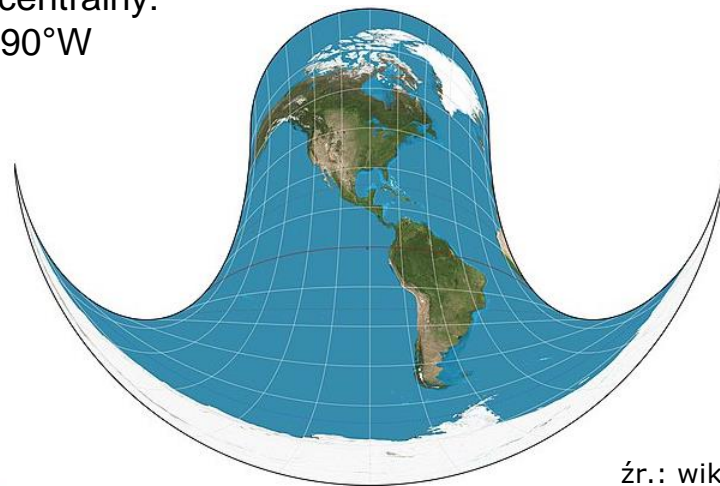
Odzworowanie Littrow'a
punkt centralny w środkumapy



Odzworowanie Craig'a



Odzworowanie Hammer'a
punkt centralny:
45°N, 90°W



Wybór odwzorowania

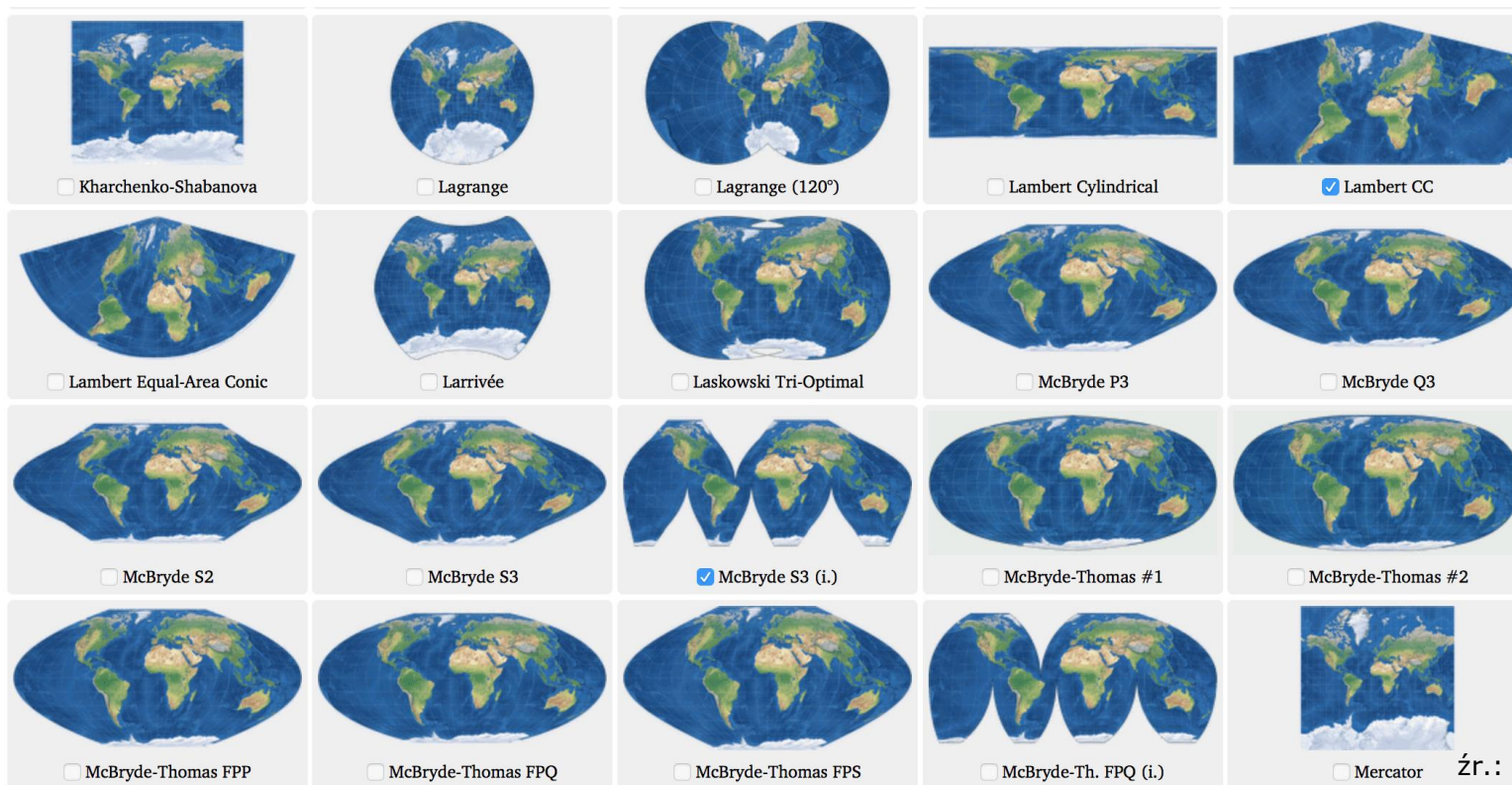
Każdy, kto korzysta z map, powinien mieć świadomość, w którym odwzorowaniu mapa została wykonana i które właściwości przestrzenne są zniekształcone (i w jakim stopniu).

Wybierając odwzorowanie, pomyśl które z właściwości chcesz zachować.

W opracowaniach wielkoskalowych (pokazujących stosunkowo niewielki obszar Ziemi), efekt odwzorowania będzie znacznie mniejszy niż w przypadku opracowań małoskalowych (pokazujących dużą część powierzchni Ziemi).

Wybór odwzorowania

Wybór odwzorowania kartograficznego dla swojego projektu zależy od: **celu opracowania i właściwości przestrzennych, które chcesz zachować.**



Odwzorowania kompromisowe

Jeśli mapa ma być wykorzystywana w formie przeglądowej lub w atlasie, to zazwyczaj chcemy zrównoważyć zniekształcenia kształtu i kierunków.

W takim przypadku, dobrym kompromisem będzie wybór projekcji umownej np. **Mollweidego** czy **Robinsona**.

Z drugiej strony, jeśli mapa ma określony cel, być może trzeba użyć projekcji, która pozwala zachować specyficzne właściwości przestrzenne.

Odzwzorowanie umowne

Powstają w wyniku modyfikacji odwz. klasycznych.

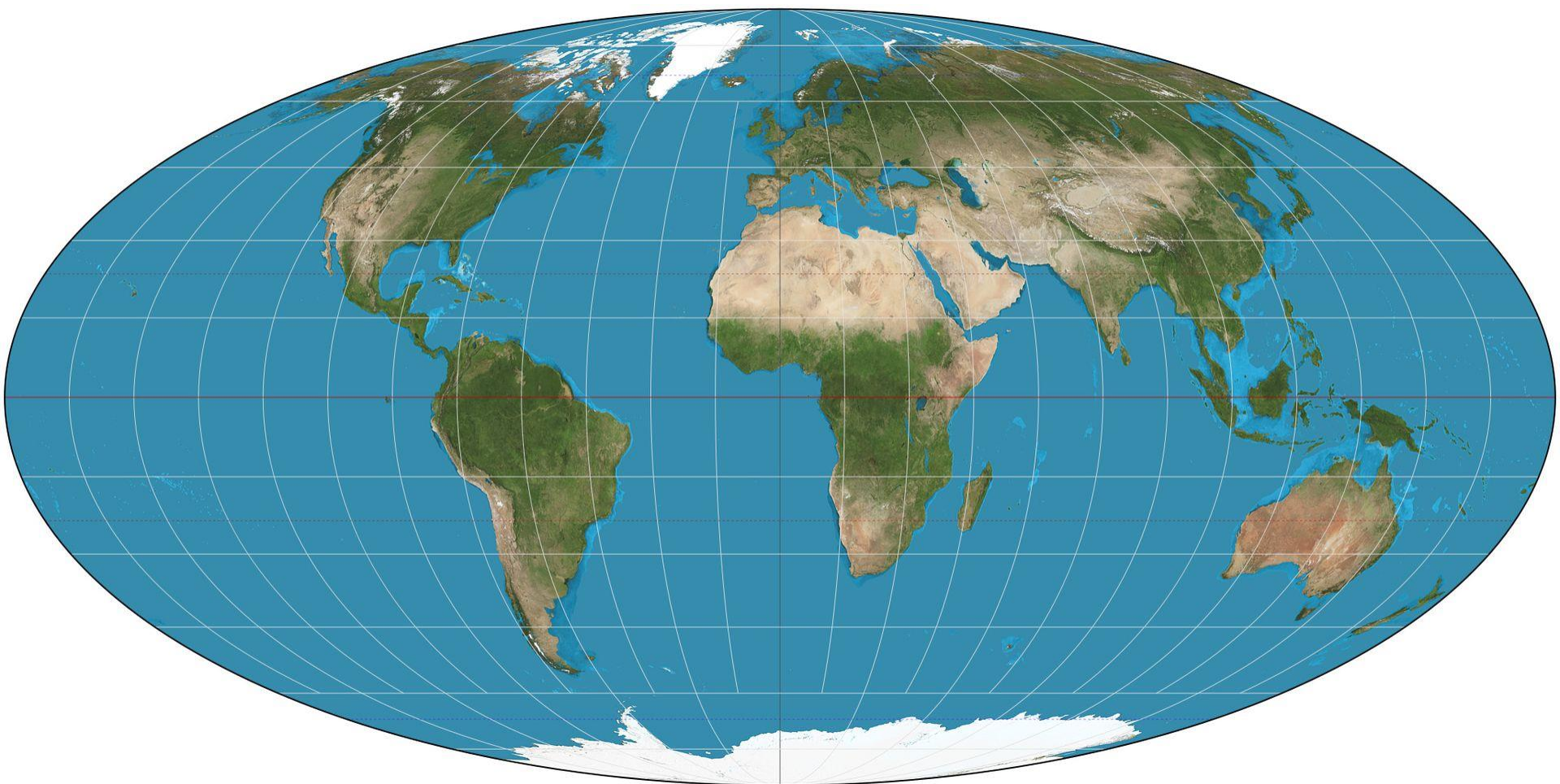
Odzwzorowanie Oswalda Winkela – często stosowane w atlasach geograficznych. Ma charakter pośredni między odzworowaniem wiernopowierzchniowym a wiernokątnym. Występują tu wszystkie trzy rodzaje zniekształceń, są one jednak stosunkowo nieduże.



Odzwzorowanie Mollweidego – zalicza się do odzworowań pseudowalcowych. Jest wiernopowierzchniowe, ale za to ma spore zniekształcenia kątów w strefie okołobiegunowej. Od dawna używa się go w polskiej kartografii szkolnej.

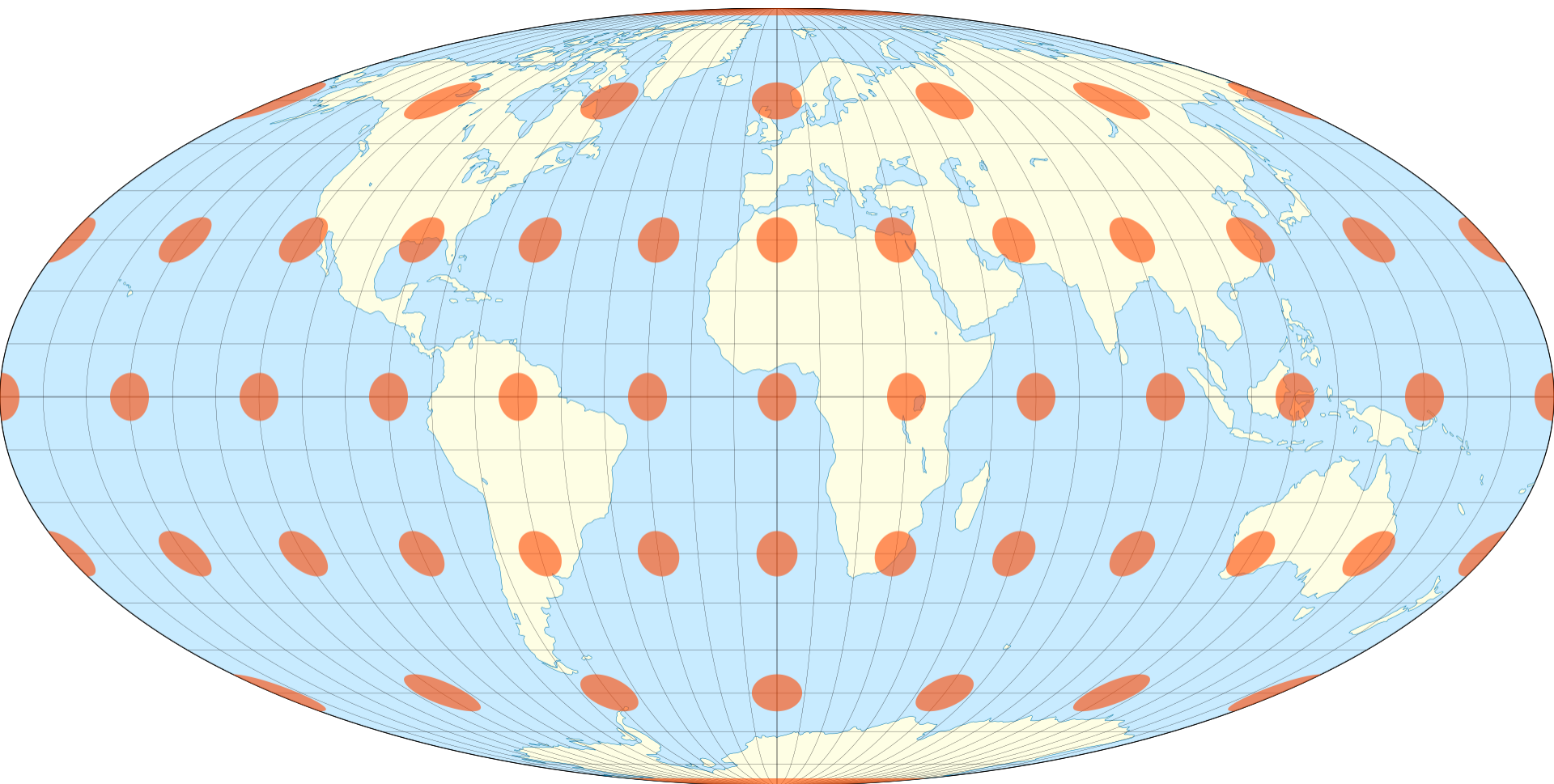


Odwzorowania wiernopowierzchniowe



Odwzorowanie Mollweidego.

Odwzorowania wiernopowierzchniowe



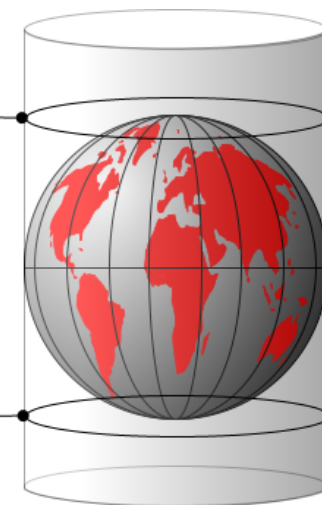
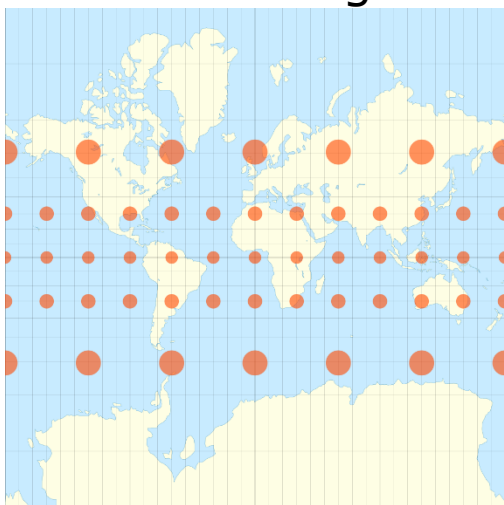
Odwzorowanie Mollweidego.

Wybór odwzorowania – właśc. przestrz.

Rodzaj projekcji	Właściwości	Typowe zastosowania
Wiernokształtna	zachowuje lokalnych kształty i kąty	mapy topograficzne, mapy nawigacyjne, mapy pogody
Wiernopowierzchniowa	zachowuje powierzchnie	mapy gęstości punktów, mapy tematyczne
Wiernoodległościowa	zachowuje odległość od jednego lub dwóch określonych punktów do wszystkich innych punktów na mapie	mapy odległości lotniczych mapy sejsmiczne pokazujące odległości od epicentrum trzęsienia ziemi
Wiernokątna	zachowuje zgodność kierunków z jednego określonego punktu (zwykle w środku mapy) do wszystkich innych punktów na mapie	mapy nawigacji i planowania trasy
Kompromisowa	żaden punkt mapy nie jest pozbawiony zniekształceń; Zniekształcenie jest zminimalizowane w pobliżu centrum i wzdłuż równika	mapy świata

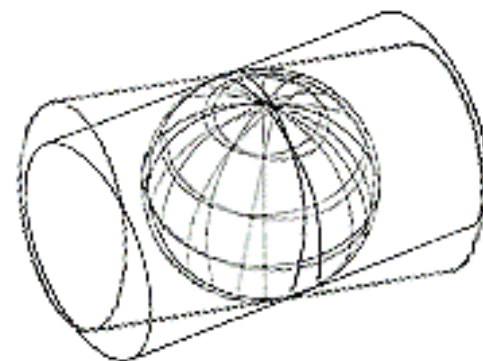
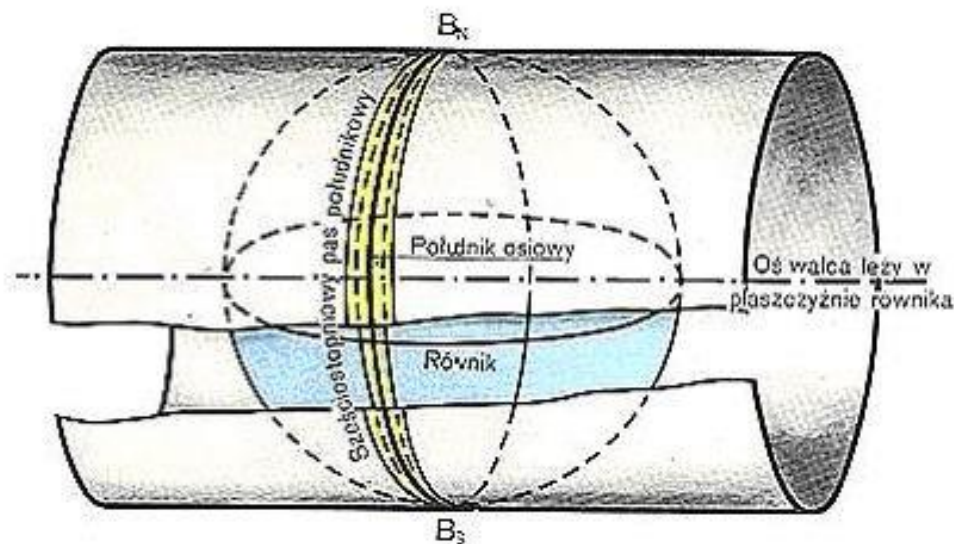
Odwzorowanie Merkatora

- normalne wiernokątne odwzorowanie walcowe styczne
- 1569r. flamandzki kartograf Gerhard Kremer (1512-1594)
- południki i równoleżniki są proste i równoległe (łatwo określać współrzędne), równokątne, zmienna skala odległości.



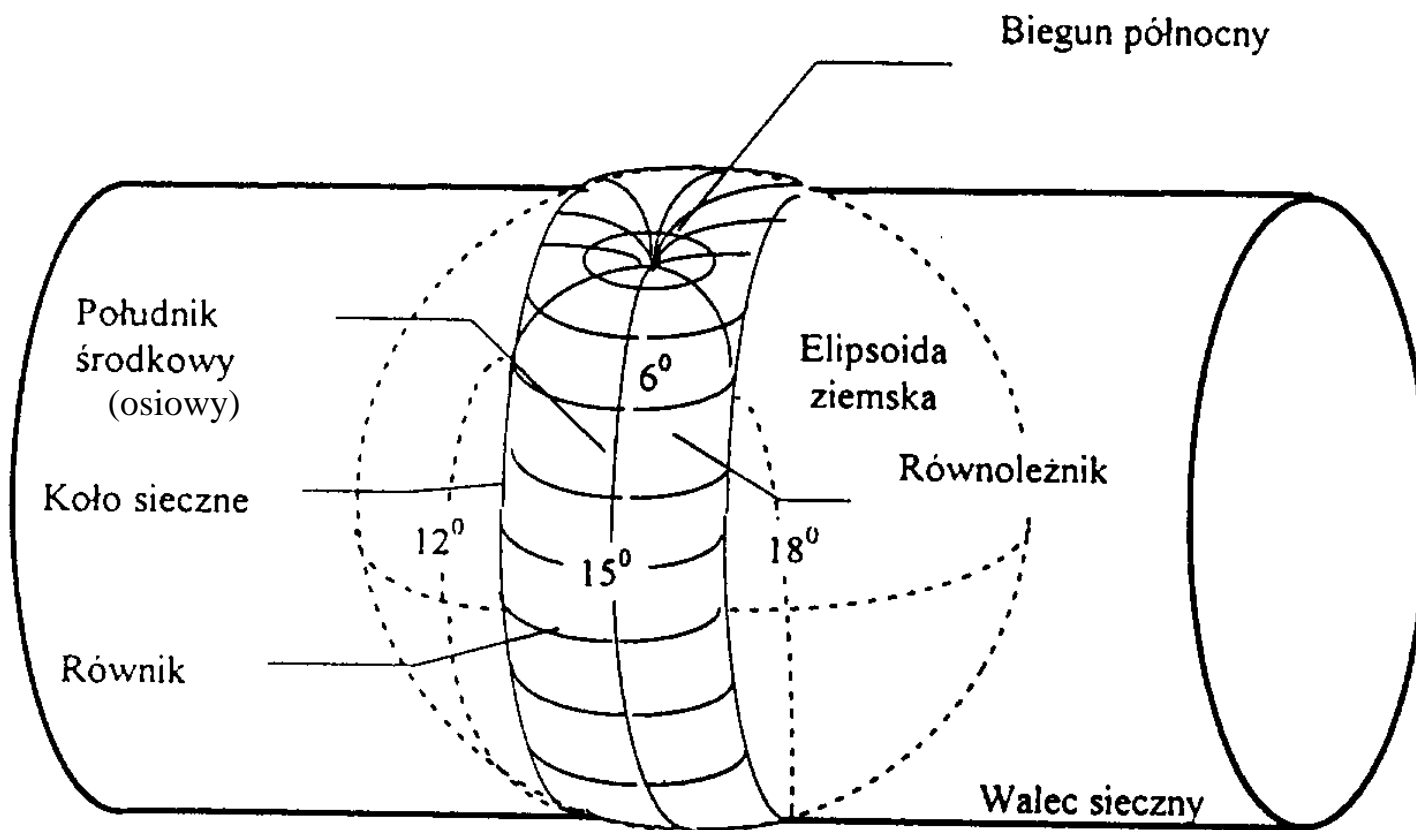
Odzworowanie Gaussa-Krügera (*Transverse Mercator Projection*)

- Oś modelu Ziemi jest prostopadła do osi walca
- zachowuje kąty i podobieństwo kształtów



każdy pas odzworowuje się oddzielnie

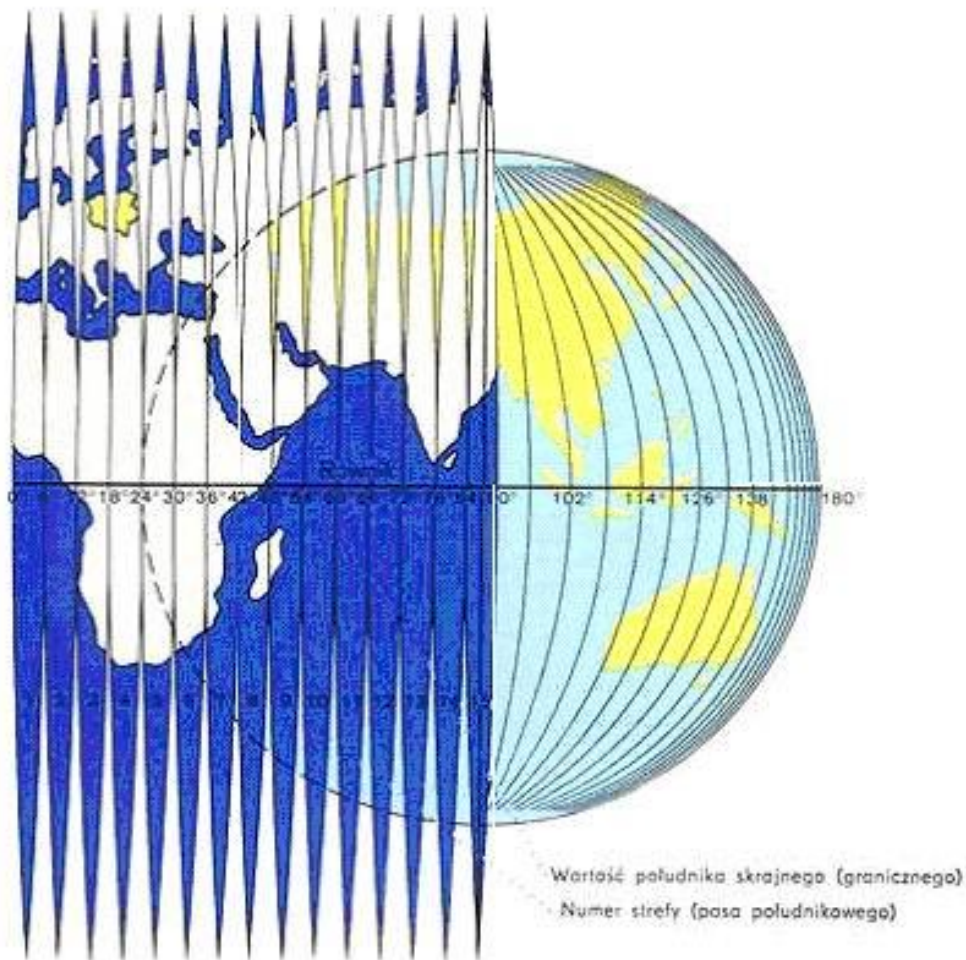
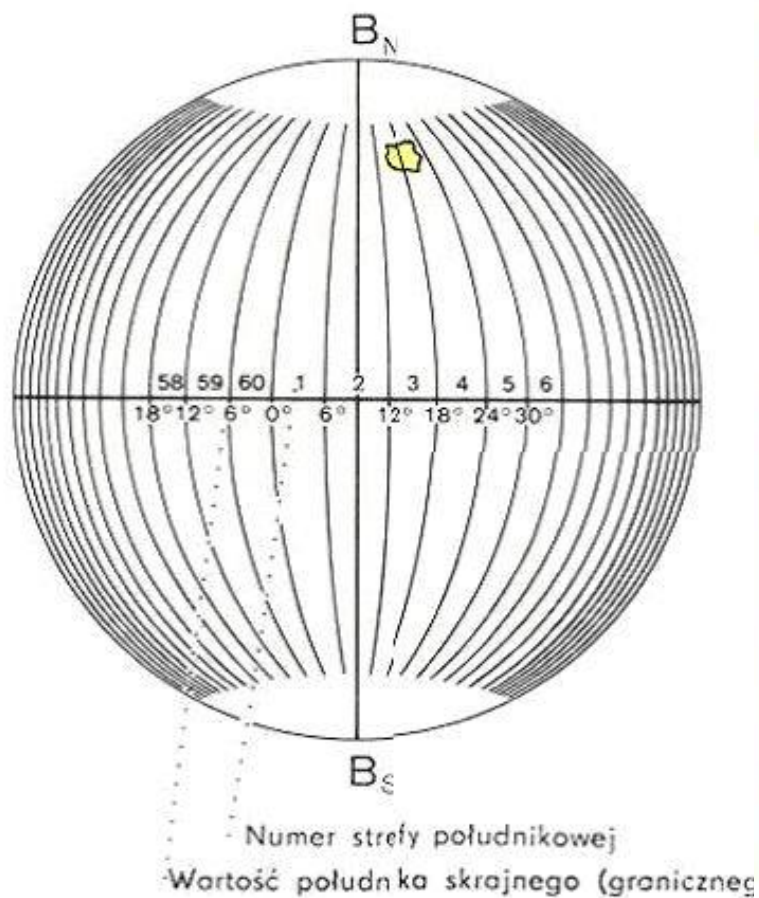
Odwzorowanie Gaussa-Krügera





AGH

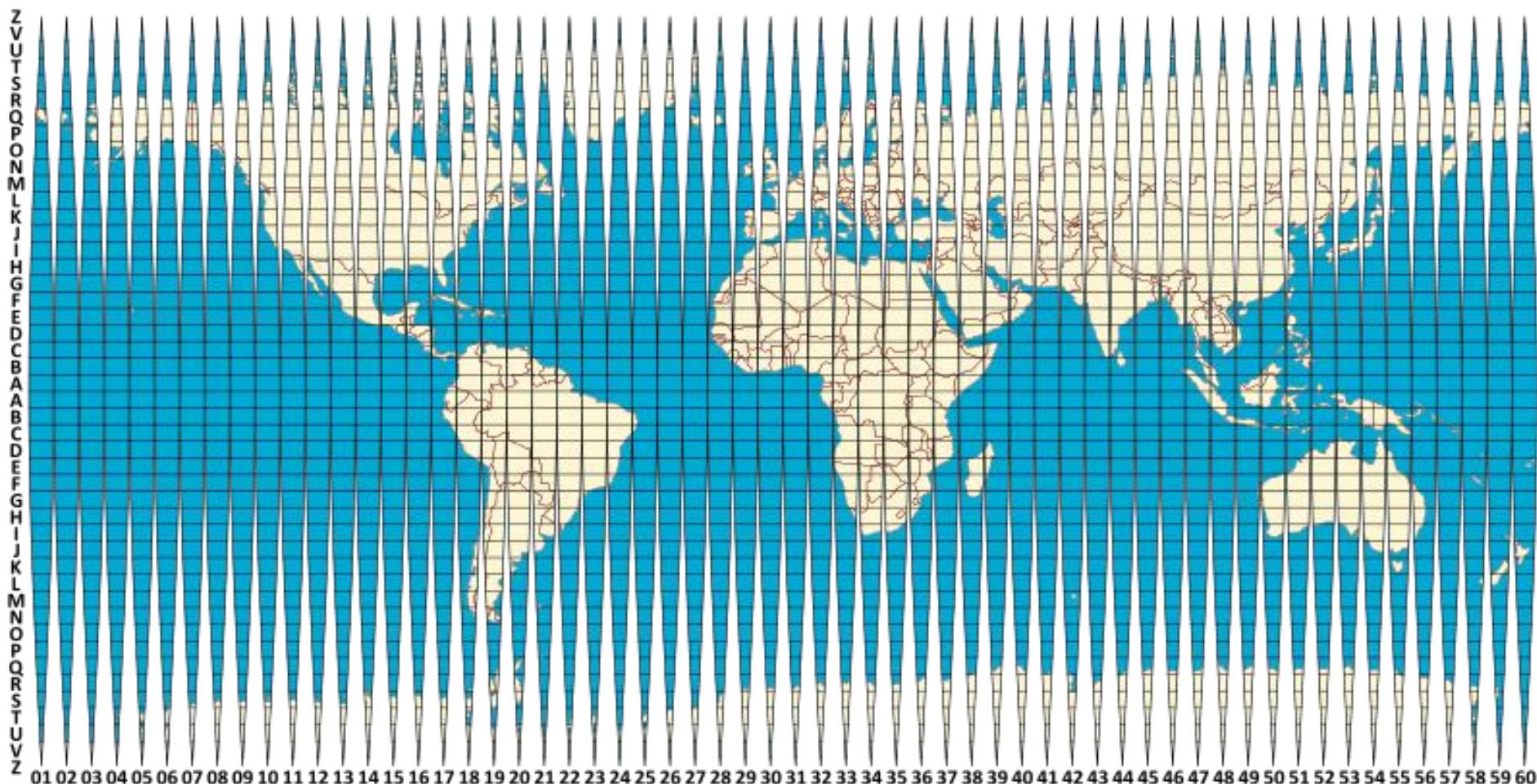
Odwzorowanie Gaussa-Krügera





AGH

Odwzorowanie Gaussa-Krügera



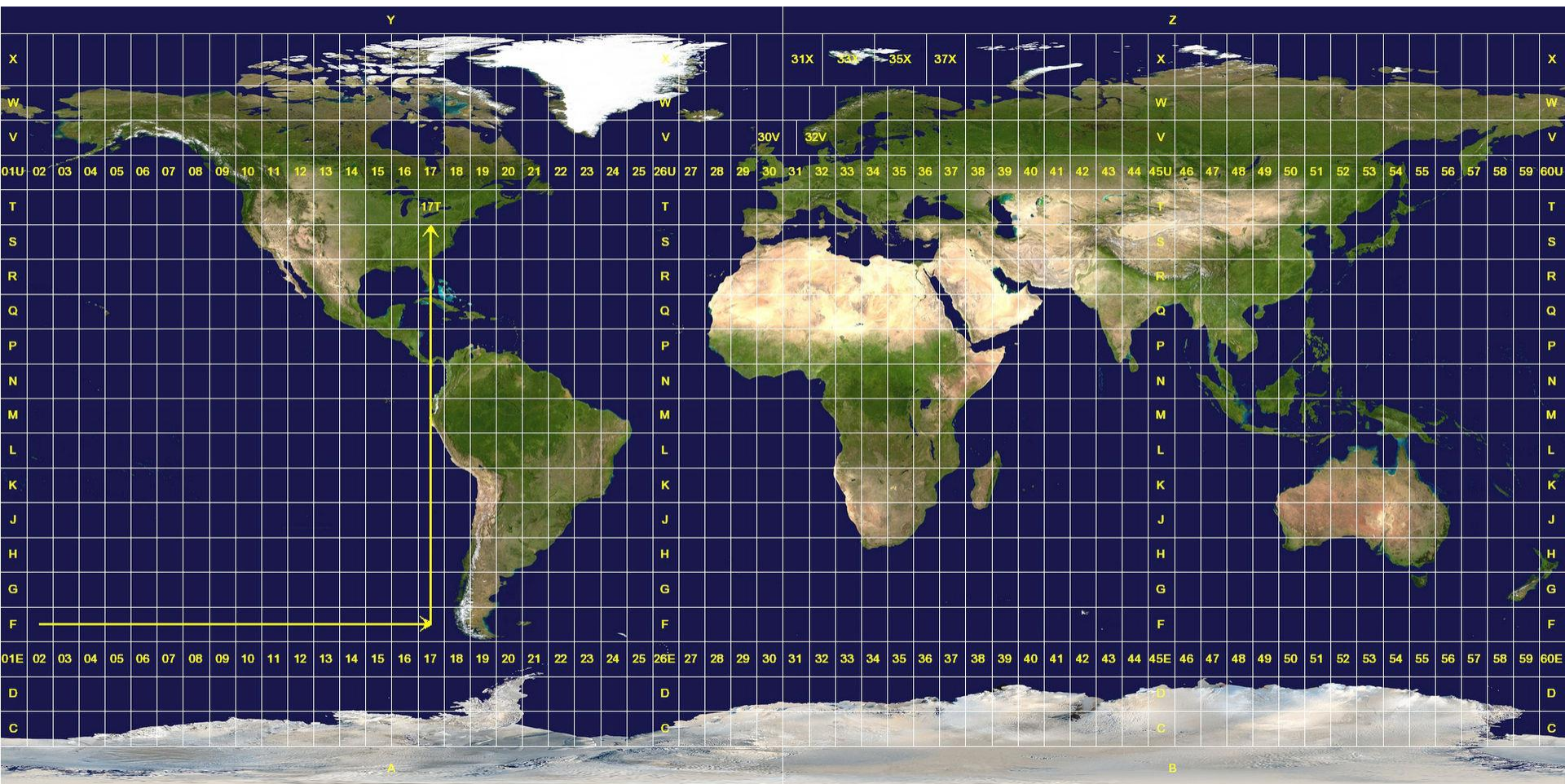
Układ współrzędnych UTM

Odwzorowanie poprzeczne Gaussa-Krügera w rozwiązaniu siecznym, przecinającym pow. Ziemi w dwóch liniach naokoło południka osiowego zostało wykorzystane w systemie współrzędnych UTM (ang. *Universal Transverse Mercator*), pokrywającego pow. Ziemi serią pionowych stref.



AGH

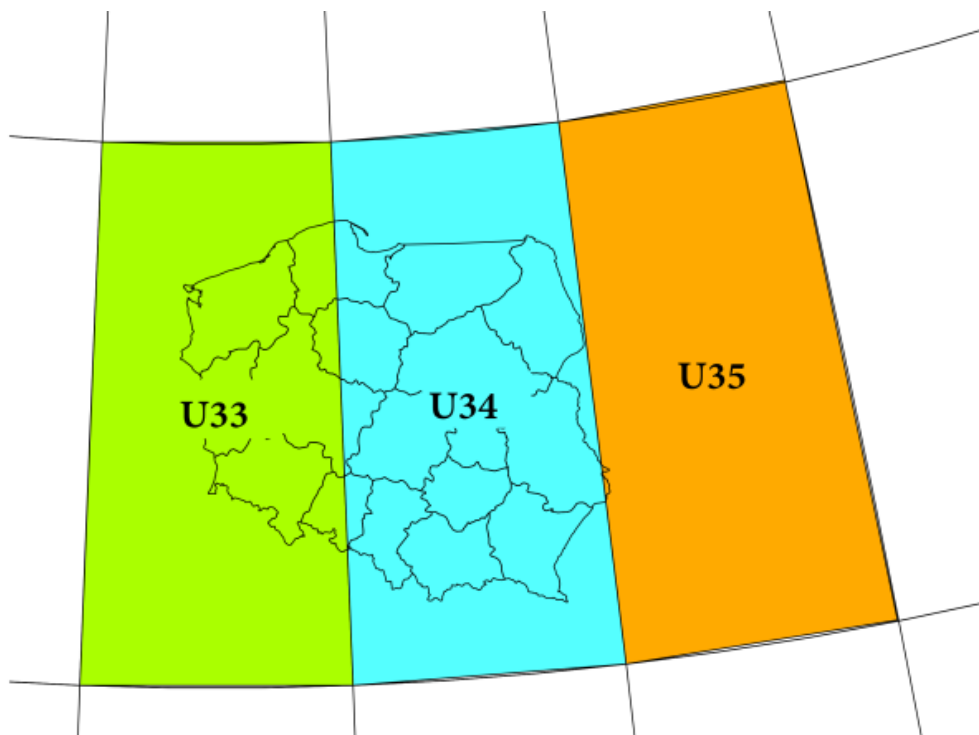
Układ współrzędnych UTM





AGH

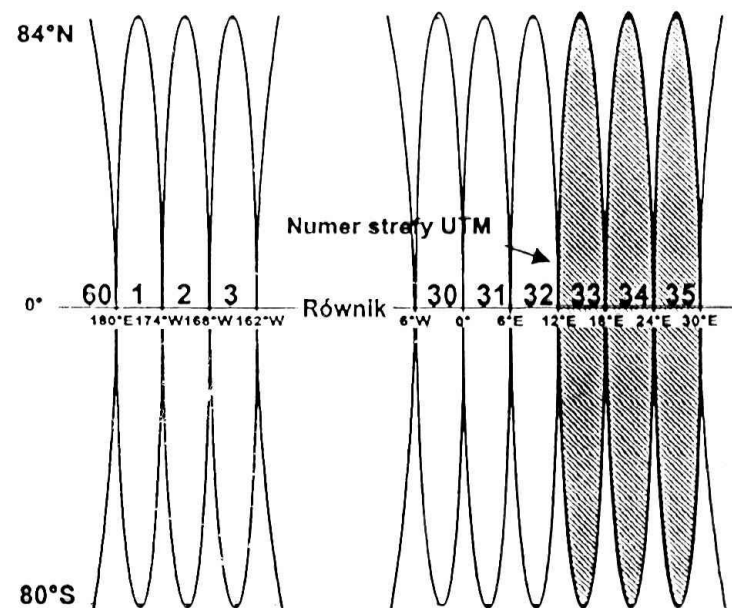
Układ współrzędnych UTM



strefa 33 (od 12° do 18° E) $L_0 = 15^\circ$

strefa 34 (od 18° do 24° E) $L_0 = 21^\circ$

strefa 35 (od 24° do 30° E) $L_0 = 27^\circ$



Rys. 14 Strefy odwzorowawcze układu współrzędnych UTM.

Układ współrzędnych UTM

- UTM wykorzystuje elipsoidę WGS-84,
- Stosuje się pomiędzy 80°S a 84°N.
- Jedynymi liniami prostymi w obrębie pasa są południk osiowy i równik.
- Odwzorowanie zachowuje kształty i kąty przy min. deformacji powierzchni.
- Max błąd w jednej strefie wynosi 1m na 2500m.
- Gdy obszar wykracza poza jedną strefę (jak w Polsce) można wyjść z układem wsp. poza nią, ale nie powinno się przekraczać stref następnych
- Poza strefą błędy szybko rosną.



AGH

Polskie układy współrzędnych (PUWG)

Parametry układów współrzędnych geodezyjnych stosowanych w Polsce

(wg: Wytyczne techniczne G-1.10. Główny Geodeta Kraju. Wyd. GIGiK, Warszawa, 2001)

UKŁAD	UW 1942		PUWG 1965					PUWG 1992	UTM		
parametr											
odwzorowanie	walcowe poprzeczne (Gaussa-Krügera; Mercatora) styczne		płaszczyznowe, quasi-stereograficzne (Rousilhe'a) sieczne				walcowe poprzeczne (Gaussa-Krügera; Mercatora) sieczne	walcowe poprzeczne (Gaussa-Krügera; Mercatora) sieczne			
strefa	3	4	1	2	3	4	5		33	34	35
elipsoida	Krassowski 1940							WGS 84			
system odniesień przestrzennych („datum”)	Pulkovo 1942										
półoś duża	6378245.000 m							6378137.000 m			
półoś mała	6356863.019 m							6356752.314 m			
delta WGS 84	+28 -130 -95							0 0 0			
południk centralny	15°	21°	-	-	-	-	18° 57' 30" (18,95833 °)	19°	15°	21°	27°
λ punktu centralnego	-	-	21° 05' 00" (21,08333 °)	21° 30' 10" (21,50278 °)	17° 00' 30" (17,008333 °)	16° 40' 20" (16,67222 °)	-	-	-	-	-
φ punktu centralnego	-	-	50° 37' 30" (50,62500 °)	53° 00' 07" (53,00194 °)	53° 35' 00" (23,58333 °)	51° 40' 15" (51,67083 °)	-	-	-	-	-
przesunięcie wschodnie	3500000	4500000	4637000	4603000	3501000	3703000	237000	500000	500000	500000	500000
przesunięcie północne	0	0	5467000	5806000	5999000	5627000	-4700000	-5300000	0	0	0
współczynnik skali na południku (w punkcie) centralnym	1		0.9998				0.999983	0.9993	0.9996		
kod EPSG	28403	28404	3120	2172	2173	2174	2175	2180	32633	32634	32635



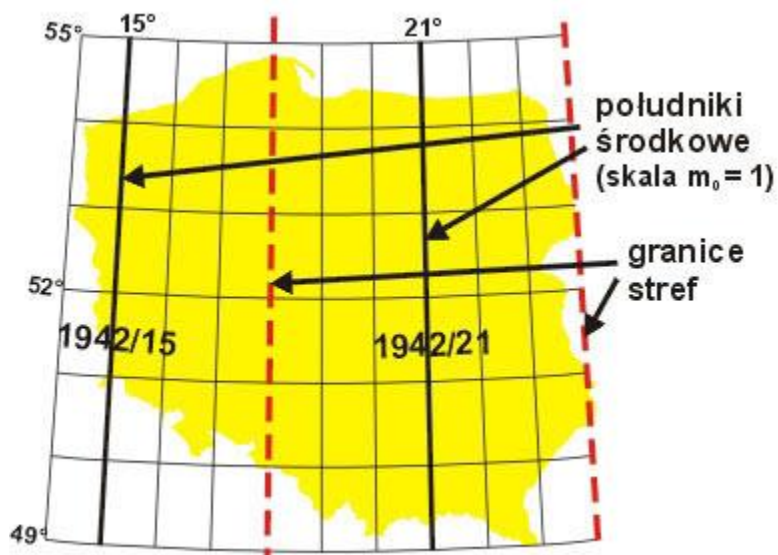
AGH

Odwzorowanie: *Gauss-Kruger*, styczne
Elipsoida: *Krassowskiego*
Układ odniesienia: *Pulkowo 42*

Układ współrzędnych 1942 (do poł. lat 60)

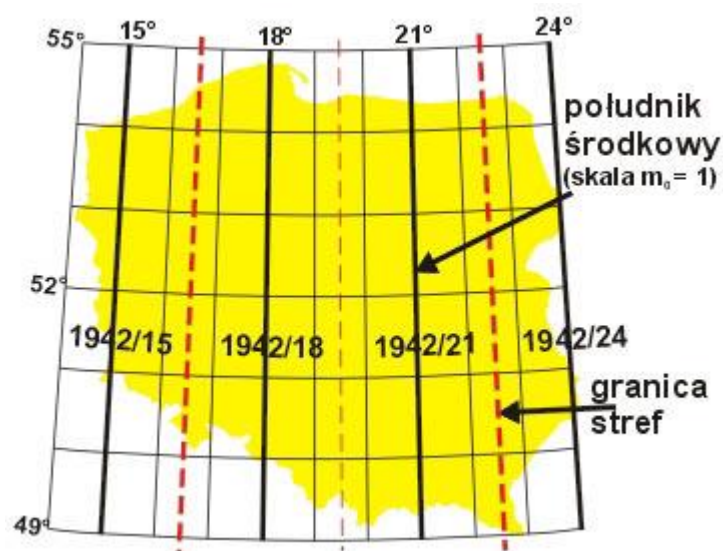
Odwz. Pasów 6°

- 2 strefy: **1942/15 i 1942/21**
- dla map śr.- i małoskalowych ($< 1:5000$)
- znieksz. odwzorowawcze:
- od 0 (na południku śr. każdej strefy)
- do ok. +59 cm/km (na brzegach stref)



Odwz. Pasów 3°

- 4 strefy: **1942/15(3), 1942/18(3), 1942/21(3), 1942/24(3)**
- dla map wielkoskalowych ($> 1:5000$)
- znieksz. odwzorowawcze:
- do ok. +15 cm/km (na brzegach stref)





AGH

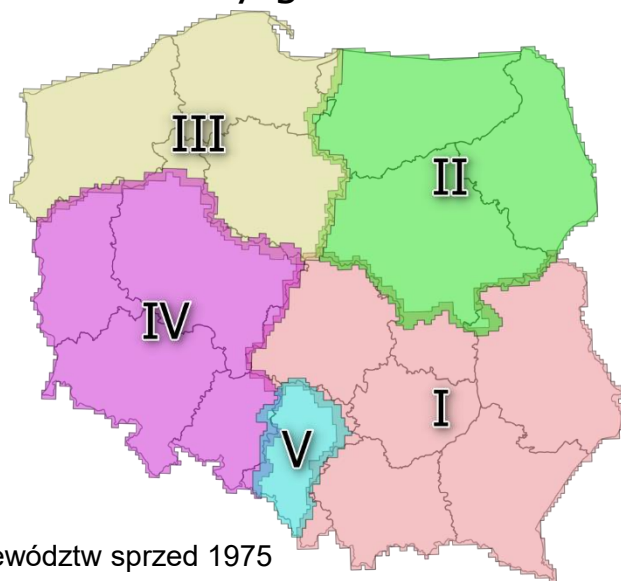
Odwzorowania: *quasi-stereograficzne, sieczne* (I,II,III,IV); *modyfik. Gauss-Krüger* (V)

Elipsoida: *Krassowskiego*

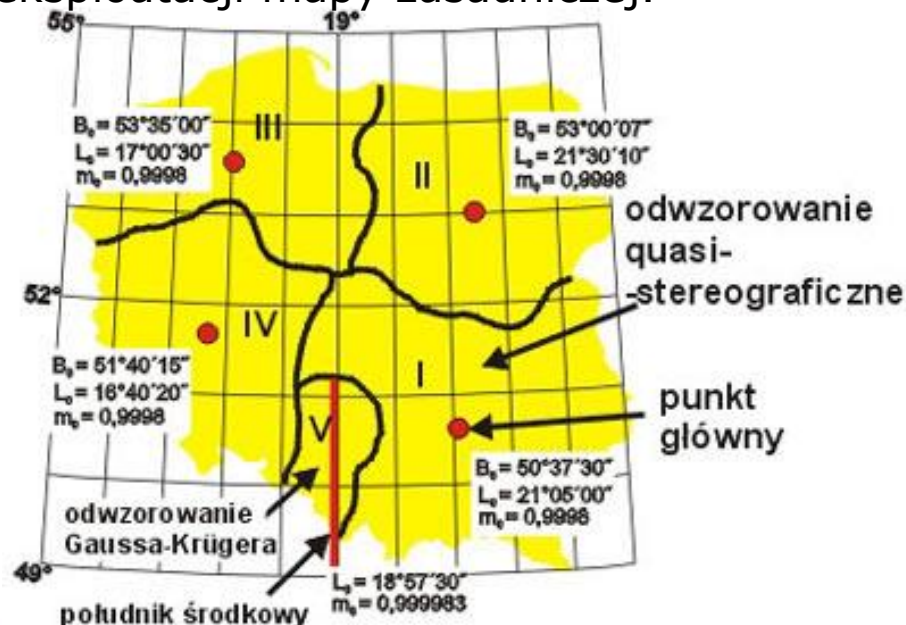
Układ odniesienia: *Pulkowo 42*

Układ współrzędnych 1965 (od końca lat 60)

- 5-strefowy układ odwzorowawczy
- Odwzorowanie *quasi-stereograficzne* - wiernokątne odwzorowanie płaszczyznowe elipsoidy definiuje się, określając położenie punktu głównego (środek płaszczyzny siecznej z powierzchnią elipsoidy) oraz skalę odwzorowania w tym punkcie (zniekształcenie odwzorowawcze w tym punkcie wynosiło z założenia -20 cm/km),
- był przeznaczony głównie do tworzenia i eksploatacji mapy zasadniczej.



podział województw sprzed 1975





AGH

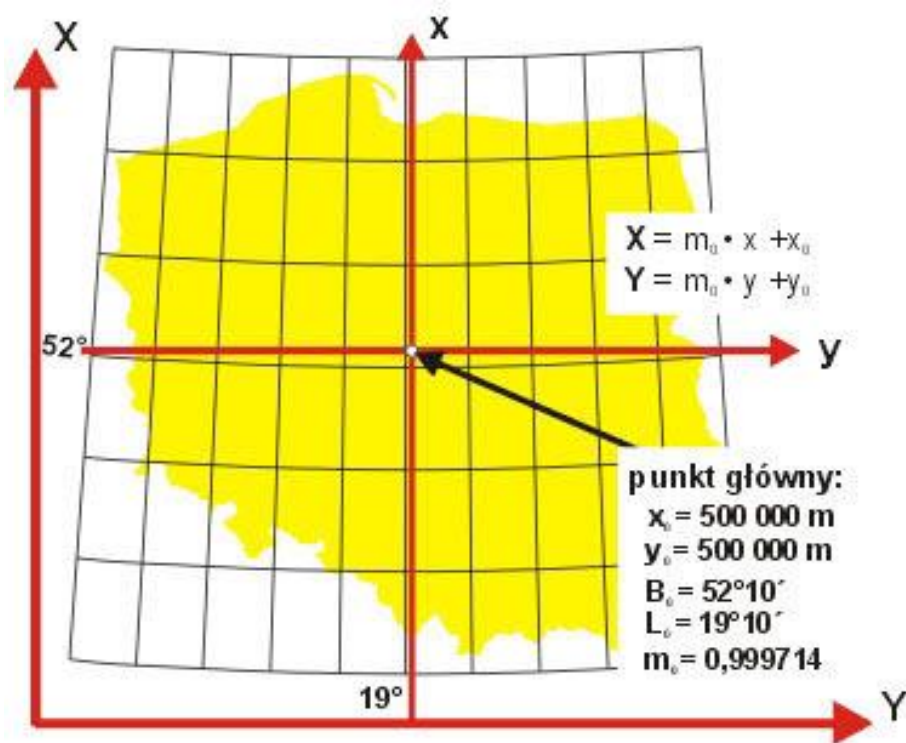
Odwzorowanie: azymutalne, styczne, quasi-stereograficzne

Elipsoida: *Krassowskiego*

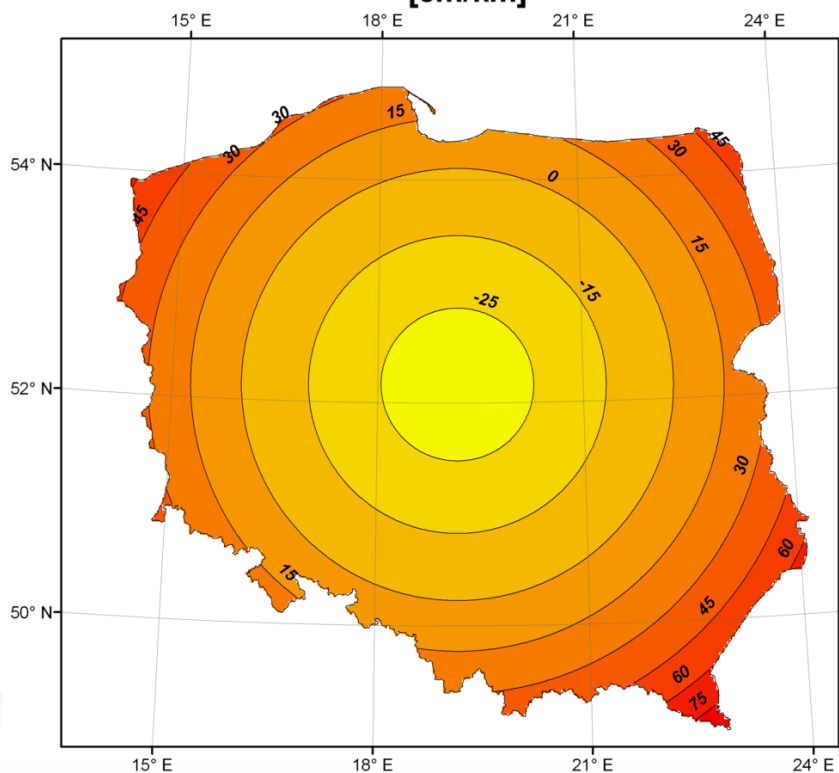
Układ odniesienia: Pulkowo 42

Układ współrzędnych GUGIK-80

- 1-strefowy układ odwzorowawczy
- Dla map przeglądowych w skalach 1:100 000 i mniejszych.
- Punkt główny odwzorowania wybrano w przybliżeniu w środku Polski

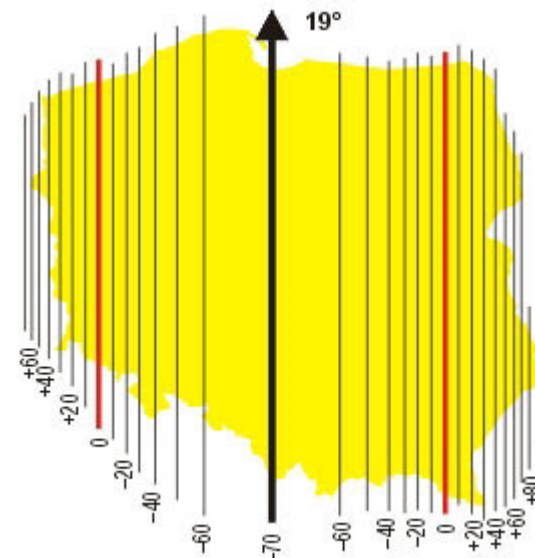
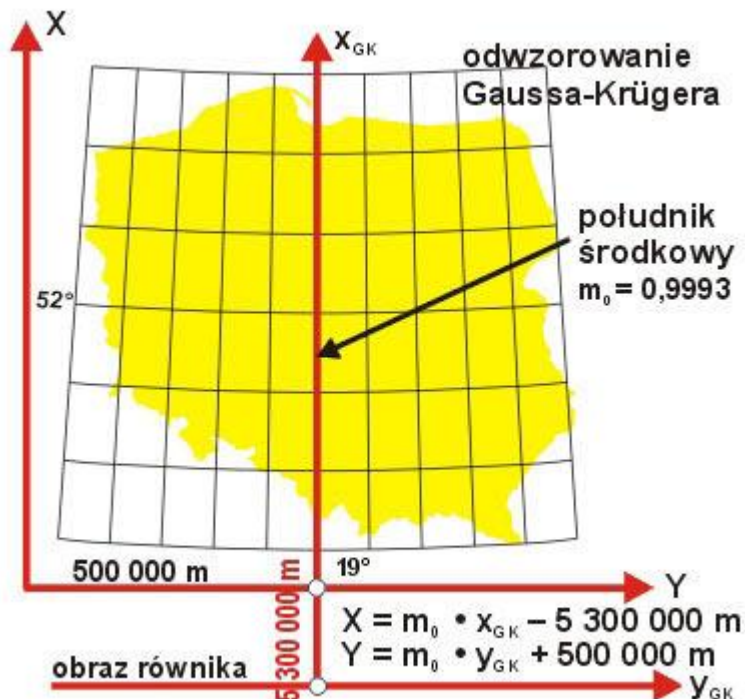


Rozkład zniekształceń długości w PUWG GUGiK 1980
[cm/km]



Układ współrzędnych PUWG „1992”

- Obecnie stanowi podstawę do wykonywania nowych map w skalach 1:10 000 i mniejszych.
- Ze względu na znaczne zniekształcenia liniowe układ nie jest rekomendowany do wielkoskalowych opracowań kartograficznych.



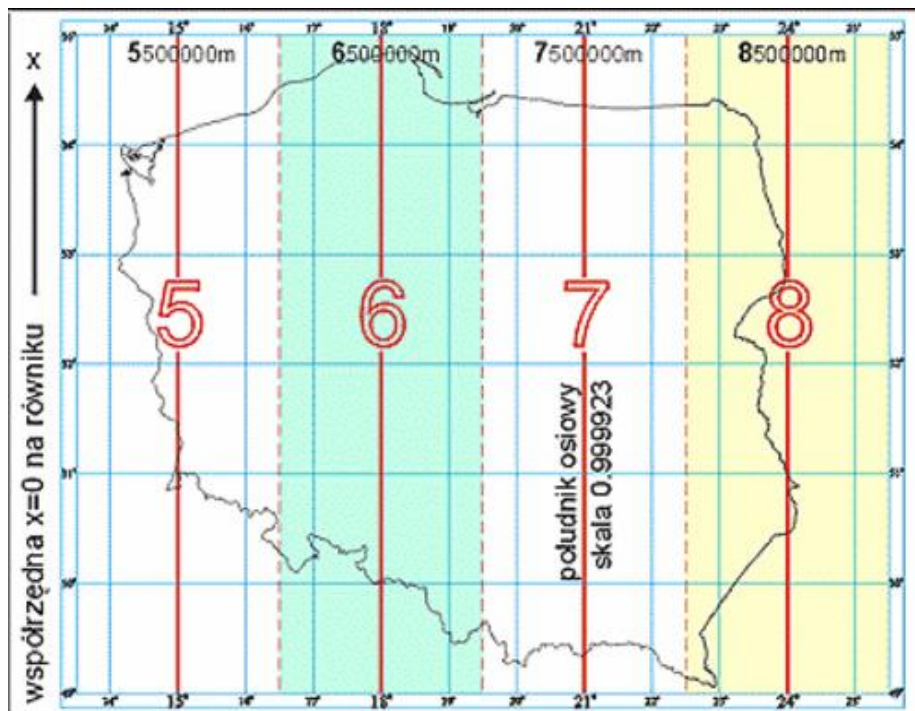


AGH

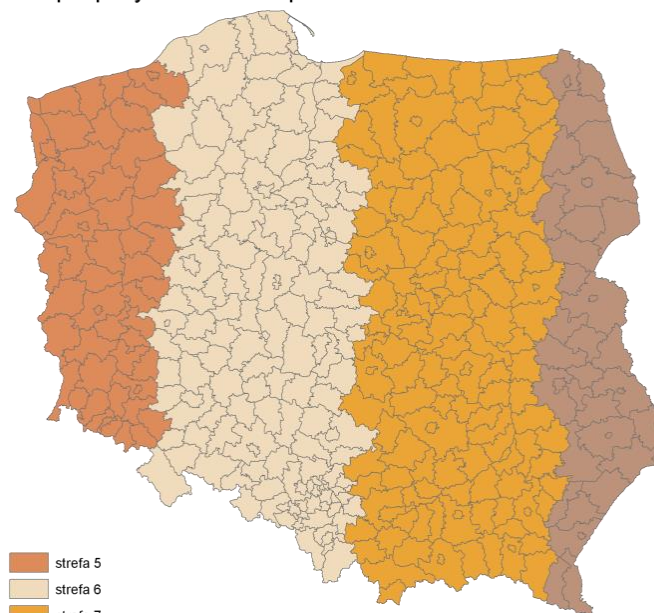
Odwzorowanie: *Gauss-Kruger*, 4-strefowe, sieczne
Elipsoida: *GRS-80 (WGS-84)*
Układ odniesienia: *geocentryczny*

Układ współrzędnych PUWG „2000”

- w pasach 3-stopniowych,
- W układzie „2000” zastosowano skalę $m_0 = 0,999923$, zniekształcenia liniowe (od $-7,7$ cm/km na południku środkowym strefy do maksymalnie ok. $+7$ cm/km na brzegu strefy).



Mapa przynależności powiatów do stref PUWG 2000



Literatura i wykorzystywane materiały

- Oficjalne materiały szkoleniowe ESRI
- 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.wiking.edu.pl/article.php?id=324>
- http://uriasz.am.szczecin.pl/naw_bezp/odwzorowania.html
- <http://geoforum.pl/?menu=46812,46826,46909&part=1>
- Melita Kennedy. Understanding Map Projections URL:
<http://php.auburn.edu/academic/classes/fory/7470/lab08/understanding%20map%20projections.pdf>
- http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_map_projections