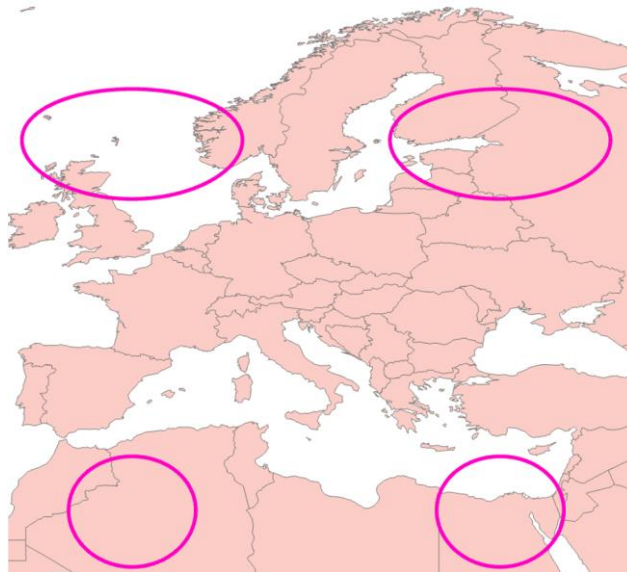


# Rozdział 3

## Współrzędne prostokątne, odwzorowania

Współrzędne geograficzne służą nam znakomicie do określenia położenia punktów na powierzchni Ziemi (elipsoidy). Problemy pojawiają się, gdy chcemy zmienić ją na płaską powierzchnię ekranu lub mapy.

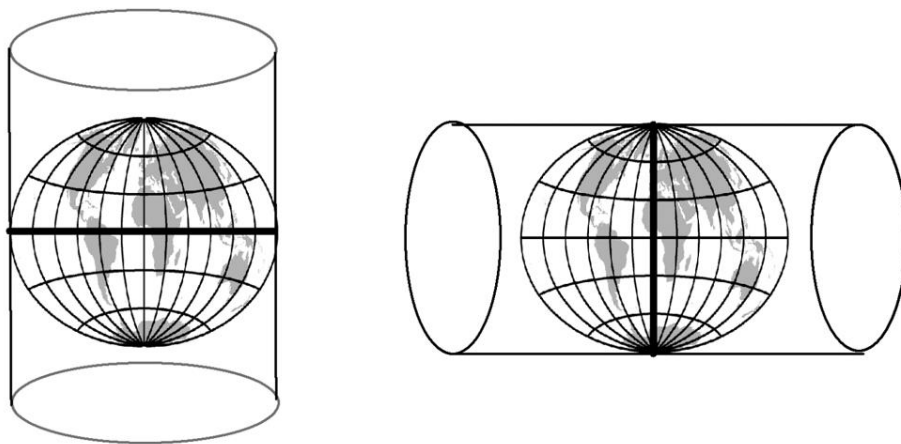


Rysunek 3.1 Mapa poligonów krajów Europy i północnej Afryki we współrzędnych geograficznych. Indykatory Tissota (czerwone elipsy) pokazują zniekształcenia tak utworzonej mapy.

Mapa na Rysunku 3.1 traktuje stopnie szerokości i długości geograficznej jako jednostki długości układu współrzędnych prostokątnych XY aby stworzyć powyższy rysunek. Problem polega na tym, że jeden stopień długości geograficznej (w poziomie) zmienia swą długość liniową (dystans w metrach na powierzchni Ziemi) wraz ze zmianą szerokości geograficznej. Długość liniowa jednego stopnia długości geograficznej na  $60^{\circ}$  szerokości geograficznej to połowa jego długości na równiku. Ze względu na to, że na naszej mapie jeden stopień długości ma stałą długość liniową geometria obiektów ulega zniekształceniu (rozciągnięciu w poziomie wraz z postępem na północ). Wizualną miarą tego zniekształcenia są obrysy czerwonych elips zwane indykatorami Tissota. W rzeczywistości są to okręgi o promieniu 500 km. Ich

zniekształcenie w stosunku do okręgu informuje nas o tym jakim deformacjom ulegają odległość, kierunek, powierzchnia i kształt na naszej mapie.

Aby te zniekształcenia były jak najmniejsze stosuje się różne metody przeniesienia położenia punktów z powierzchni elipsoidy na powierzchnię płaską. Metody te to tzw. **odwzorowania**, funkcje przeliczające współrzędne geograficzne (w stopniach) na płaskie współrzędne prostokątne (w metrach) minimalizujące zniekształcenia. Jedną z idei tych metod jest rzutowanie geometryczne powierzchni kuli na powierzchnie płaskie lub takie, które mogą być następnie rozwinięte do powierzchni płaskiej.



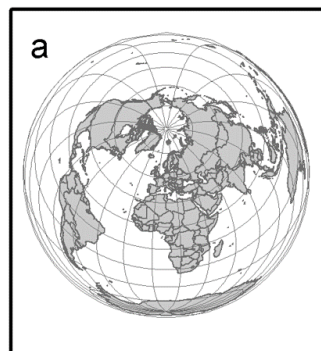
Rysunek 3.2 Rzutowanie powierzchni kuli na pobocznice walca jest podstawą odwzorowania Merkatora. Z prawej strony pokazane jest poprzeczne odwzorowanie Merkatora, którego modyfikacje są podstawą wielu współczesnych układów współrzędnych i systemów układów współrzędnych stosowanych w geodezji i kartografii.

Każdemu odwzorowaniu odpowiada odwrotna funkcja odwzorowawcza, która pozwala na przeliczenie współrzędnych prostokątnych danego odwzorowania z powrotem do współrzędnych geograficznych (dla danego poziomego układu odniesienia). Aby zastosować dane odwzorowanie do konkretnego obszaru powierzchni Ziemi, musimy dostarczyć do niego szereg parametrów z których najważniejszymi są: południk środkowy (central meridian), równoleżnik standardowy (standard parallel), odcięta punktu głównego (false easting) i rzędna punktu głównego (false northing). Odwzorowania wraz z przyjętymi parametrami tworzą czasem oficjalne układy współrzędnych lub ich zestawy zwane systemem układów współrzędnych. W masie odwzorowań, układów współrzędnych i systemów układów współrzędnych łatwo się jest pogubić. Na szczęście najczęściej używamy tylko kilka z nich.

Jeżeli chcemy wykonać mapę lub przygotować warstwę do analizy dużych obszarów np. mórz, dowolnego oceanu, kontynentu lub jego części to można wykorzystać **wiernopowierzchniowe azymutalne odwzorowanie Lamberta** (Lambert Azimuthal Equal Area - LAEA). To odwzorowanie wraz ze zdefiniowanymi parametrami jest zalecanym przez *Eurostat* i *European Environment Agency* układem współrzędnych dla Europy przy tworzeniu map w skalach mniejszych niż 1:500 000.

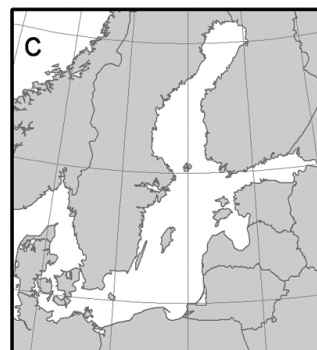
Coordinate Reference System	Authority ID
ETRS89 / LAEA Europe	EPSG:3035

Istniejące układy współrzędnych identyfikujemy za pomocą nazwy w tym przypadku będzie to LAEA Europe, ale istnieje też możliwość znalezienia jej za pomocą numeru **EPSG**. EPSG Geodetic Parameter Dataset został stworzony przez organizację o nazwie International Association of Oil & Gas Producers i stanowi z założenia kompletny zbiór układów współrzędnych. Możemy oczywiście dowolnie je modyfikować podstawiając własne parametry i tworzyć nowe układy współrzędnych (najlepiej robić to na bazie istniejących). Te identyfikatory występują często pod nazwą WKID (well-known ID). Mapa Europy będzie miała postać.



ETRS\_1989\_LAEA  
 Lambert\_Azimuthal\_Equal\_Area  
 False\_Easting: 4321000.00  
 False\_Northing: 3210000.00  
 Central\_Meridian: 10.0 (a i b) 20.0 (c)  
 Latitude\_Of\_Origin: 52.00

GCS\_ETRS\_1989



Rysunek 3.3 Trzy sposoby wykorzystania LAEA Europe. Dla połowy globu z Europą w centrum (a). Typowe przedstawienie Europy z południkiem środkowym  $10^0$  (b). Modyfikacja południka środkowego do  $20^0$  (c).

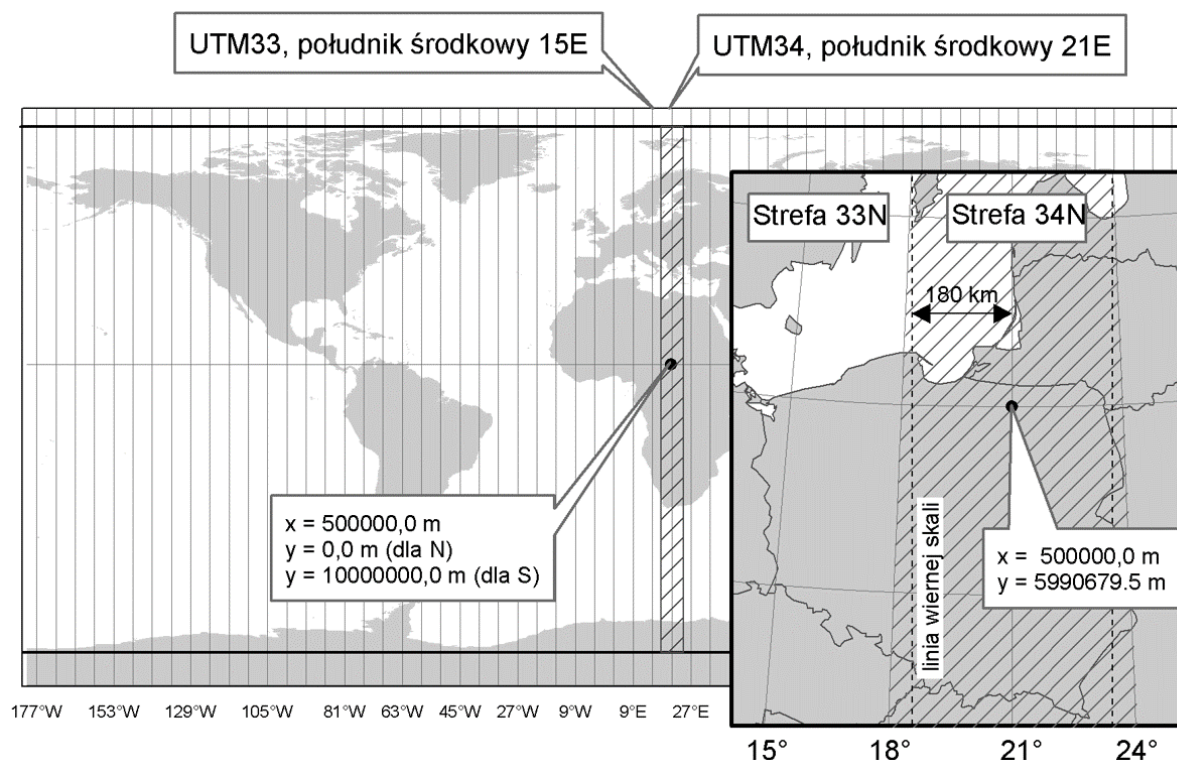
Pełen opis układu współrzędnych LAEA Europe będzie wyglądał w następujący sposób.

Coordinate System Details		
Projected Coordinate System	ETRS 1989 LAEA	Nazwa układu współrzędnych
Projection	Lambert Azimuthal Equal Area	Nazwa odwzorowania
WKID	3035	Identyfikator WKID
Authority	EPSG	Pochodzenie identyfikatora
Linear Unit	Meters (1.0)	Jednostka
False Easting	4321000.0	Parametry:
False Northing	3210000.0	
Central Meridian	10.0	
Latitude Of Origin	52.0	
Geographic coordinate system	GCS ETRS 1989	Układ współrzędnych geograficznych
WKID	4258	Identyfikator WKID
Authority	EPSG	
Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)	Jednostka
Prime Meridian	Greenwich (0.0)	
Datum	D ETRS 1989	Poziomy układ odniesienia
Spheroid	GRS 1980	Nazwa elipsoidy i jej parametry:
Semimajor Axis	6378137.0	
Semiminor Axis	6356752.314140356	
Inverse Flattening	298.257222101	

Wszystkie dane geograficzne bazują na określonym poziomym układzie odniesienia (Datum), definiujący geograficzny układ współrzędnych. W dolnej części opisu znajduje się definicja tego układu GCS ETRS 1989 (Geographic Coordinate System + Datum). W górnej części znajduje się opis układu współrzędnych prostokątnych, który powstał w rezultacie odwzorowania z wymienionymi parametrami. Należy zwrócić uwagę, że oba układy posiadają swoje WKID.

Przy skalach większych niż 1:500 000 powszechnie stosuje się **system współrzędnych UTM** (Universal Transverse Mercator) obejmujących prawie cały glob ziemski. Oparty on jest na poprzecznym odwzorowaniu Merkatora. W systemie tym Ziemia jest podzielona na 60 stref północnych i południowych (60 uzupełniających się układów współrzędnych) o szerokości 6 stopni długości geograficznej. Strefy te otaczają kolejne południki środkowe stref, które są prawie styczne z powierzchnią walca (Rysunek 3.2). Dwa południki styczne znajdują się po obu stronach południka środkowego w odległości około 180 km. Strefy nie pokrywają całej powierzchni Ziemi. Na północy sięgają  $84^0$  N a na

południu  $80^{\circ}$  S. Strefy oznaczone są kolejnymi numerami i literą wskazującą półkulę (strefy 1N i 1S zaczynają się na  $180^{\circ}$  W i wzrastają w kierunku wschodnim). Początek każdego układu współrzędnych systemu UTM znajduje się na przecięciu południka danej strefy z równikiem. W tym miejscu  $X=500000$  m (rośnie na wschód), natomiast  $Y$  dla półkuli N = 0 m (rośnie na północ), a dla półkuli południowej N = 10 000 000 m (maleje na południe).



**Rysunek 3.4 System współrzędnych UTM. Polskę obejmują dwie strefy UTM 33N i UTM 34N**

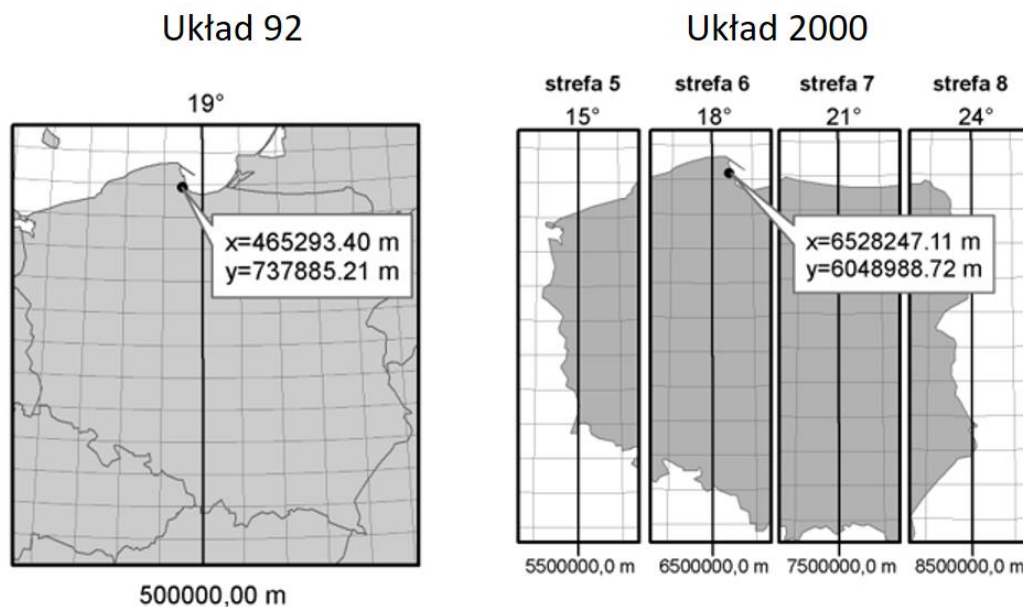
Linie wiernej skali pokrywają się południkami stycznymi. Na granicach strefy błąd odległości jest rzędu 1 cm dla odległości 25 m, zniekształcenia kształtu i powierzchni są także niewielkie. Dopuszczalnym jest rozszerzanie danej strefy na strefy sąsiadujące. Oznacza to, że dla całego obszaru Polski możemy używać strefy 33N albo 34N. Strefy te mogą posiadać poziomy układ odniesienia WGS84 albo ETRS89, dla większości zastosowań różnice są nieistotne.

Uzupełnieniem UTM dla dalekiej północy i południa jest układ współrzędnych UPS (Universal Polar Stereographic), który zapewnia podobną dokładność.

Praktycznie każdy kraj posiada urzędowy system odniesienia przestrzennego, w przypadku Polski jest to **Układ 1992** i **Układ 2000**. Ich poziomym układem odniesienia jest ETRS89. Oba układy wykorzystują odwzorowanie Gaussa-Krügera (pokrewne Mercatora). Wykazują one szereg podobieństw do systemu



UTM. W układzie 1992 południkiem środkowym jest  $19^{\circ}$  E, a początkowym równoleżnikiem jest równik. Punkt przecięcia równika z południkiem środkowym (początek układu XY) ma współrzędne  $X = 500\,000\text{ m}$ ,  $Y = -5\,300\,000\text{ m}$ .



Rysunek 3.5 Układy współrzędnych geodezyjnych obowiązujące w Polsce od 1 stycznia 2010 roku – układ 92 i układ 2000

Układ 2000 składa się z czterech stref o numerach 5, 6, 7, 8 (środkowymi południkami są odpowiednio  $15^{\circ}$  E,  $18^{\circ}$  E,  $21^{\circ}$  E,  $24^{\circ}$  E). Współrzędna X w każdej ze stref jest poprzedzana numerem strefy. Pozostała jej część jest wyznaczana podobnie jak w UTM i Układzie 92. Współrzędna Y jest wyznaczana tak jak w UTM, dla półkuli północnej z zerową wartością na równiku.