

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

ArcGIS Desktop, Ćwiczenie 9

# Położenie kabla transatlantyckiego

Właściwości odwzorowań kartograficznych

Tomasz Bartuś

---

Na podstawie materiałów szkoleniowych ESRI.  
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.

---

<http://home.agh.edu.pl/~bartus>  
2024-01-04

## Ćwiczenie 9

### Położenie kabla transatlantyckiego. Właściwości odwzorowań kartograficznych\*

\* - Na podstawie oficjalnych materiałów szkoleniowych ESRI (Learning ArcGIS Desktop (for ArcGIS 10)).

W ostatnim ćwiczeniu tworzyliśmy mapę pokazującą lokalizację kabla transatlantyckiego. W tym ćwiczeniu, naszym zadaniem będzie wybór odpowiedniego odwzorowania kartograficznego. Celem mapy jest jak najwierniejsze przedstawienie położenia kabla (najmniejsza ilość zniekształceń) oraz jak najwierniejsze oddanie jego prawdziwej długości. Mapa, podobnie jak w poprzednim ćwiczeniu, będzie koncentrowała się na rejonie północnego Atlantyku, gdzie znajduje się kabel.

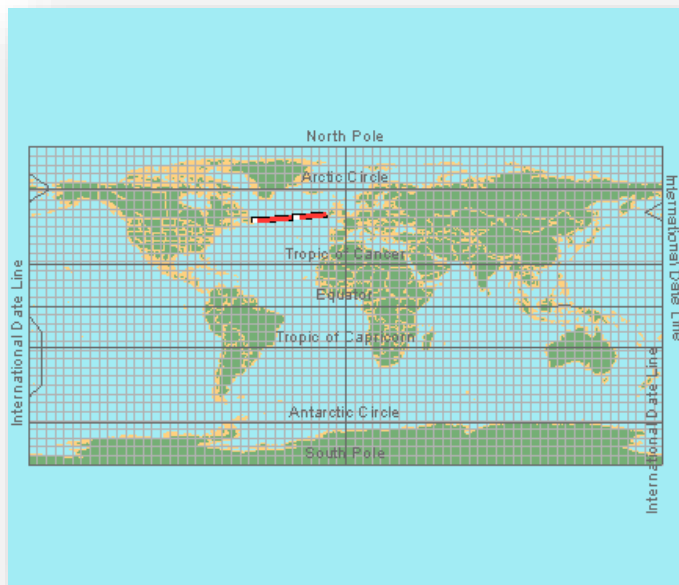
Decyzja, które odwzorowanie jest najbardziej odpowiednie, zostanie oparta na serii doświadczeń, w trakcie których będziemy zmieniali odwzorowanie mapy i następnie będziemy obserwowali jak zmienia się wygląd mapy i jak to wpływa na właściwości kształtu obiektów, ich powierzchni, odległości i kierunku.

#### 1. Włączenie ArcMap i otwarcie dokument mapy

1.1. Jeśli to konieczne, uruchom ArcMap i z folderu

...\LearnArcGIS10\Reference\Project\ otwórz plik Cable\_map.mxd.

Widzisz znaną już mapę polityczną świata z siatką geograficzną oraz linią kabla transatlantyckiego (Ryc. 1).

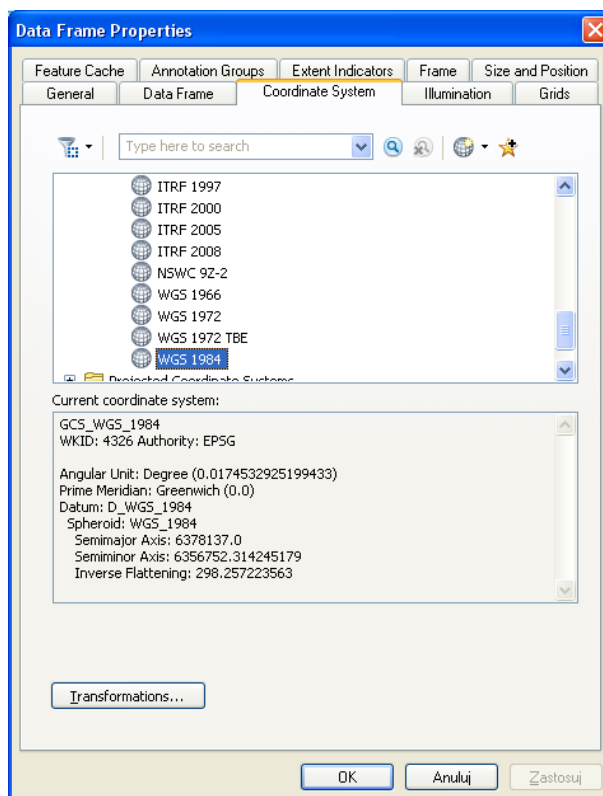


**Ryc. 1. Dokument mapy z danymi projektu**

Przed testowaniem wpływu zmiany odwzorowań kartograficznych na wyświetlanie warstw aktywnej mapy, sprawdzimy z jakiego układu współrzędnych korzystają wyświetlane dane.

- 1.2. W panelu zawartości kliknij ppm nagłówek ramki danych *Transatlantic Cable* i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Properties* (*Właściwości*). Kliknij zakładkę *Coordinate System* (*System Współrzędnych*).

Aktualnym układem współrzędnych geograficznych jest *GCS\_WGS\_1984* ([Ryc. 2](#)).

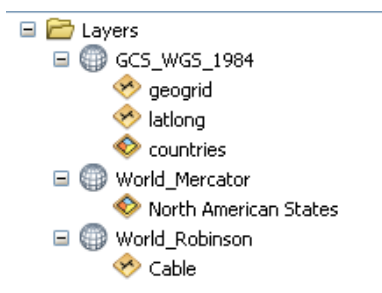


**Ryc. 2. Układ współrzędnych geograficznych ramki danych Transatlantic Cable**

- 1.3. W głównym polu okna dialogowego *Data Frame Properties* (*Właściwości ramki danych*), na samym dole listy dostępnych układów współrzędnych, rozwiń folder *Layers* (*Warstwy*).

W podfolderach z nazwami wykorzystywanych układów współrzędnych znajdują się informacje o odpowiednich warstwach znajdujących się na mapie.

- 1.4. Rozwiń wszystkie podfoldery aby zobaczyć układ współrzędnych każdej warstwy (Ryc. 3).



**Ryc. 3. Informacja o układach współrzędnych każdej z warstw projektu**

Zauważ, że dwie warstwy projektu posiadają wybrane odwzorowanie kartograficzne (PCS). Plik *Cable.shp* posiada projekcję *World\_Robinson*, a plik *North American States.shp* projekcję *World\_Mercator*.

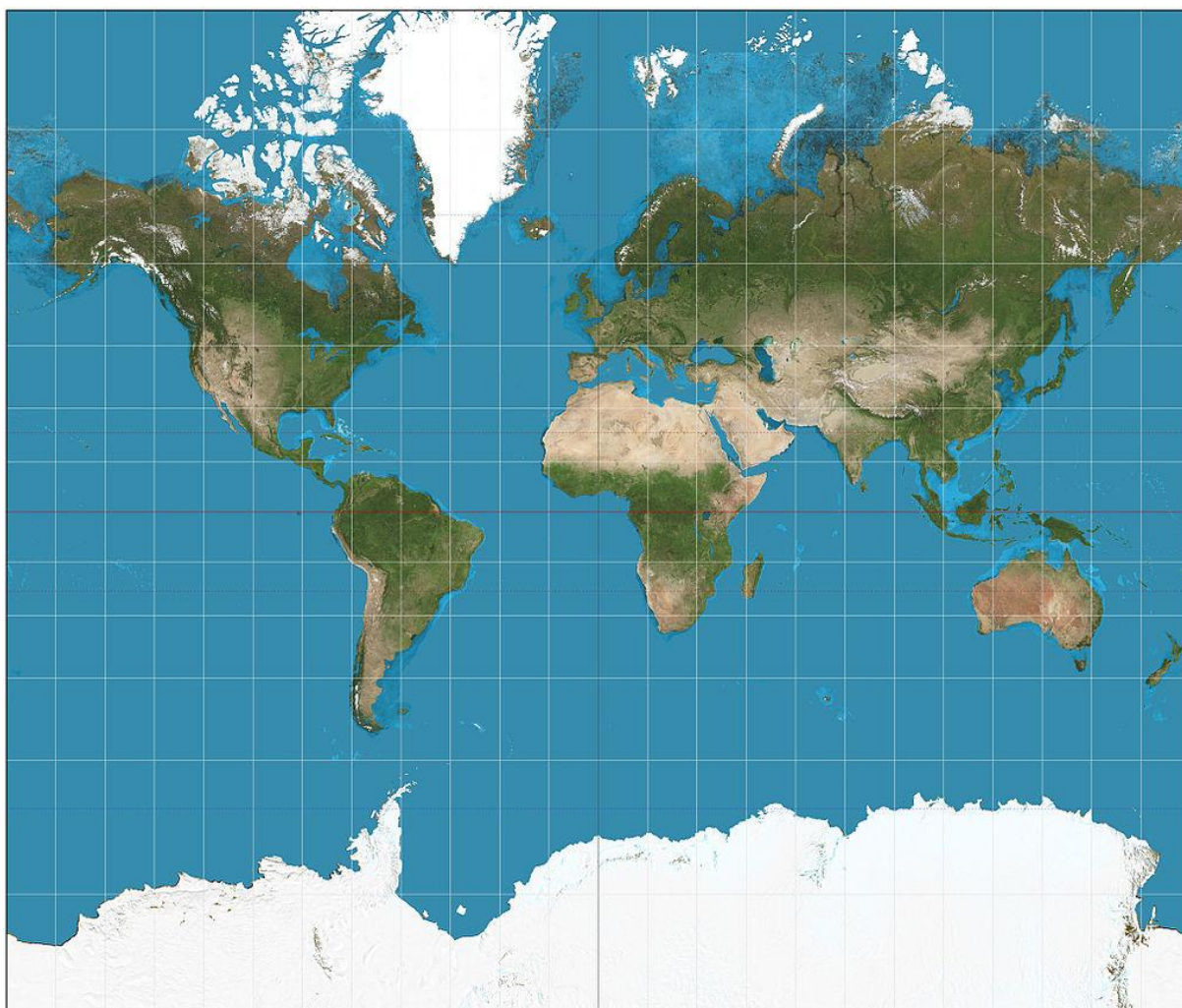
ArcMap potrafi wyświetlać te warstwy prawidłowo, ponieważ mają one wspólny podstawowy układ współrzędnych geograficznych, który pasuje do ramki danych (GCS\_WGS\_1984).

W następnych krokach ćwiczenia będziemy przypisywać ramce danych różne odwzorowania kartograficzne i będziemy badali wpływ każdego z nich na prezentowany obraz mapy.

W następnym etapie ćwiczenia zatrzymaj okno dialogowe *Data Frame Properties* (Właściwości ramki danych) otwarte.

## 2. Odwzorowanie Mercatora

Układ odwzorowania Mercatora jest projekcją cylindryczną (Ryc. 4). Linie długości geograficznej (południki) są w niej w równej odległości i są proste; linie szerokości geograficznej (równoleżniki) są również proste. Południki i równoleżniki przecinają się pod kątem prostym.



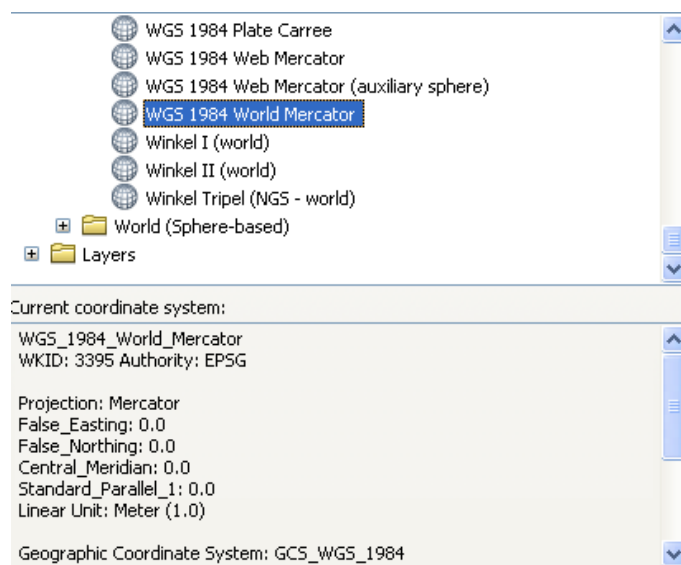
Ryc. 4. Mapa świata w odwzorowaniu walcowym Merkatora (Wikipedia)

Odwzorowanie Merkatora jest standardem wykorzystywanym w kartografii morskiej. Dzieje się tak za sprawą tzw. odwzorowania wiernokątnego. Linie proste na mapach reprezentujące azymuty kursów jednostek pływających stanowią prawdziwe kierunki magnetyczne. Jest to także odwzorowanie **konforemne**, co oznacza, że zachowuje wierność kształtów (na obszarach w pobliżu równika).

W tym etapie ćwiczenia przypiszemy ramce danych projekcję Merkatora, a następnie zbadamy skutki takiej modyfikacji.

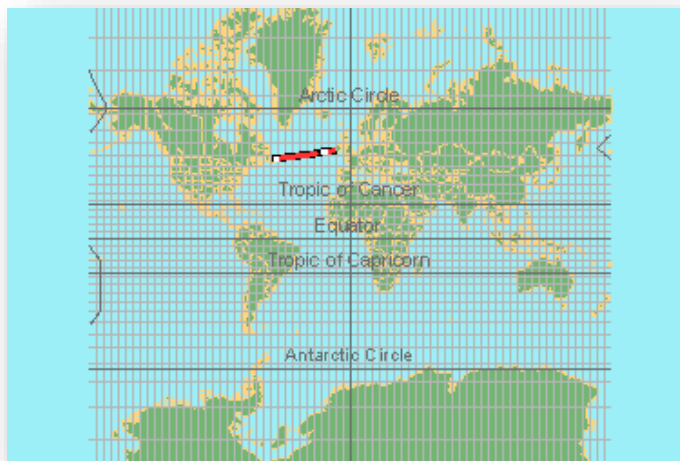
- 2.1. W oknie dialogowym *Data Frame Properties* (Właściwości ramki danych), w zakładce *Coordinate System* (System współrzędnych), w polu wyboru systemu współrzędnych rozwiń folder *Projected Coordinate Systems* (Odwzorowania kartograficzne).
- 2.2. Rozwiń następnie podfolder *World*.
- 2.3. W folderze *World* przewiń w dół i wybierz *WGS 1984 World Mercator*.

Poniżej listy odwzorowań ukażą się parametry odwzorowania Merkatora (Ryc. 5).



**Ryc. 5. Parametry odwzorowania Merkatora**

- 2.4. Aby zmienić projekcję kliknij przycisk *OK* i zamknij okno dialogowe. Obejrzyj mapę (Ryc. 6)



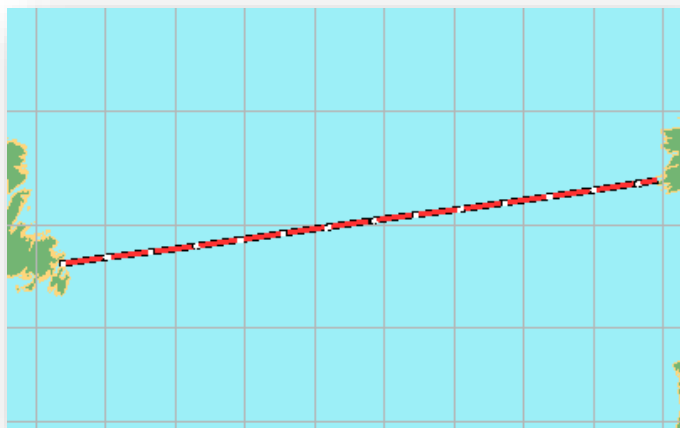
**Ryc. 6. Dokument mapy z danymi projektu w odwzorowaniu Mercatora**

*PYTANIE 1: Co można powiedzieć o wielkości i proporcjach poszczególnych kontynentów?*

W następnym kroku ćwiczenia powiększymy interesujący fragment mapy i zmierzmy długość kabla transatlantyckiego.

### 3. Pomiar długości kabla za pomocą dwóch metod

- 3.1. W panelu zawartości kliknij ppm warstwę *Cable* i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer (Powiększ do warstwy)* (Ryc. 7).



**Ryc. 7. Powiększony obraz dokumentu mapy w odwzorowaniu Merkatora**

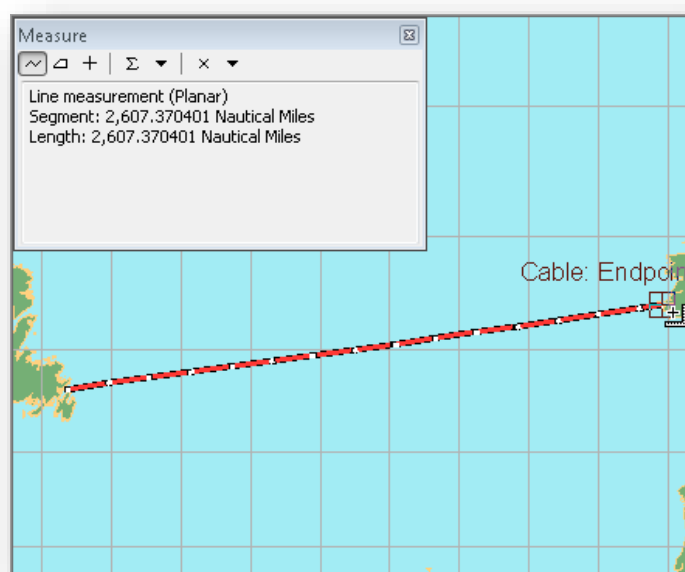
Bezpośrednio przed pomiarem długości kabla warto upewnić się, że jednostki odległości narzędzia pomiaru, od poprzedniego ćwiczenia są nadal ustawione na mile morskie.

- 3.2. Kliknij narzędzie *Measure (Pomiar)* .

Otworzy się okno *Measure (Pomiar)*.

- 3.3. Kliknij strzałkę *Choose Units (Wybór jednostki)*. Wybierz opcję odległość i sprawdź czy nadal są zaznaczone *Nautical Miles*.
- 3.4. Z wybranym narzędziem *Measure Line (Pomiar linii)* kliknij jeden koniec kabla, aby rozpocząć pomiar.
- 3.5. Kliknij dwukrotnie drugi koniec aby zakończyć pomiar.
- 3.6. W oknie *Measure (Pomiar)* spójrz na otrzymany wynik ([Ryc. 8](#)).

W zależności od miejsca kliknięcia, Twój pomiar może być nieco inny niż ten pokazany na [Ryc. 8](#).



**Ryc. 8. Długość kabla transatlantyckiego w odwzorowaniu Mercatora (pomiar płaski)**

Otrzymana wartość jest znacznie większa niż pomiar uzyskany w ostatnim ćwiczeniu ([Ćwiczenie 8](#)) (1 651 mil morskich). Dzieje się tak ponieważ projekcja Mercatora nie oddaje wiernie odległości. Błąd dystorsji<sup>1</sup> polega tu na nieproporcjonalnym wzroście odległości w miarę oddalania się od równika w kierunku biegunów. Otrzymany wzrost odległości jest spowodowany odległym położeniem kabla transatlantyckiego od równika i związanym z tym dużym zniekształceniem (wzrostem) odległości. Z poprzedniego etapu ćwiczenia ([Ryc. 6](#)) pamiętamy, że także wielkość obiektów zwiększa się od równika w kierunku biegunów.


<sup>1</sup> Dystorsja – zniekształcenie proporcji polegające na niejednakowym powiększaniu lub zmniejszaniu różnych części obrazu.



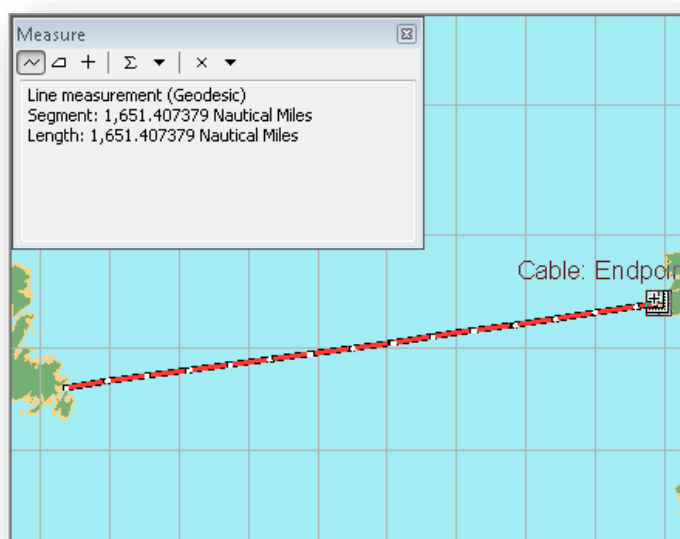
**UWAGA!**

ArcMap umożliwia dwa sposoby pomiaru odległości. Pierwszy sposób umożliwia obliczanie odległości w używanym odwzorowaniu kartograficznym – PCS (na płaskiej powierzchni mapy/ekranu). Druga metoda służy do obliczania odległości w układzie współrzędnych geograficznych – GCS (na zakrzywionej powierzchni Ziemi). ArcMap pozwala zmierzyć odległość przy użyciu obu metod, gdy mapa posiada zadeklarowany PCS<sup>1</sup>

Zmierzymy długość kabla przy użyciu metody opartej na powierzchni zakrzywionej.

- 3.7. W oknie *Measure (Pomiar)* kliknij przycisk *Clear and Reset Results (Usuń i wyczyść wyniki)* .
- 3.8. Kliknij strzałkę listy rozwijanej *Choose Measurement Type (Wybierz typ pomiaru)* i wybierz *Geodesic (Geodezyjne)*.
- 3.9. Ponownie zmierz długość kabla.

Zauważ, że linia pomiarowa zmieniła się teraz w łuk. Zmierzona odległość wyniosła do około: 1 651 mil morskich. Tym razem wartość pomiaru jest mniejsza i bliższa rzeczywistej długości kabla wynoszącej 1 686 mil morskich ([Ryc. 9](#)).

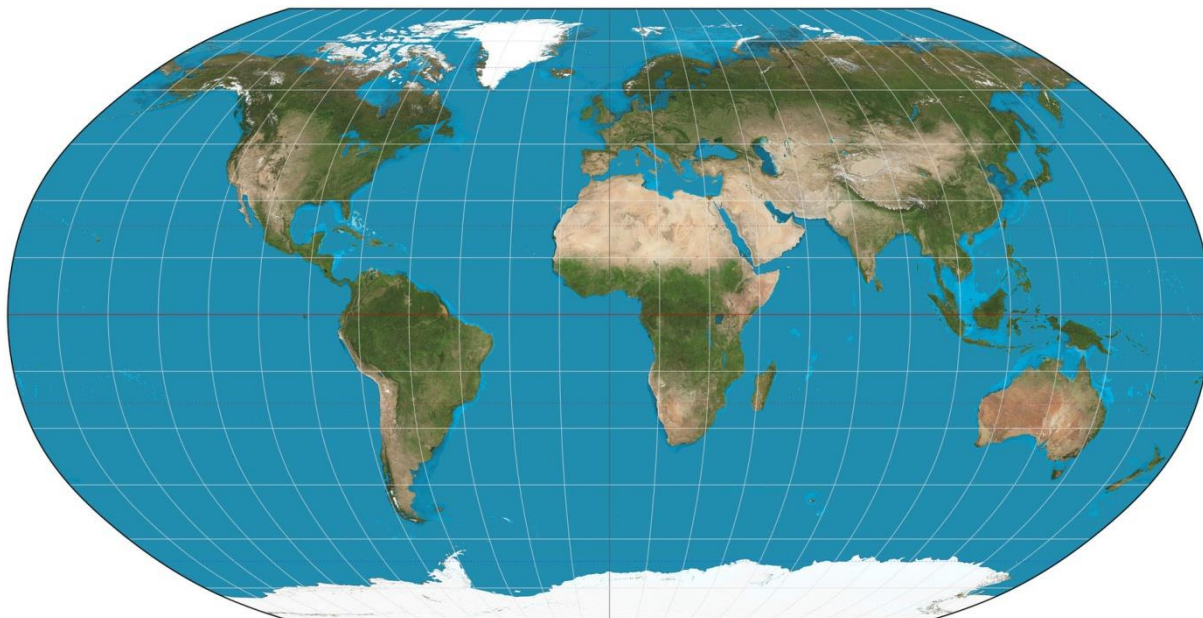


**Ryc. 9. Długość kabla transatlantyckiego w odwzorowaniu Mercatora (pomiar metodą geodezyjną uwzględniającą krzywiznę Ziemi)**

W następnym kroku ćwiczenia zastosujemy projekcję Robinsona i ponownie określimy ograniczenia mapy.

#### 4. Odwzorowanie Robinsona

Odwzorowanie Robinsona to „pseudocylicydryczna” projekcja kartograficzna, która jest podobna do odwzorowania cylindrycznego (np. Merkatora), z tym że południki są zakrzywione, a nie proste (Ryc. 10).



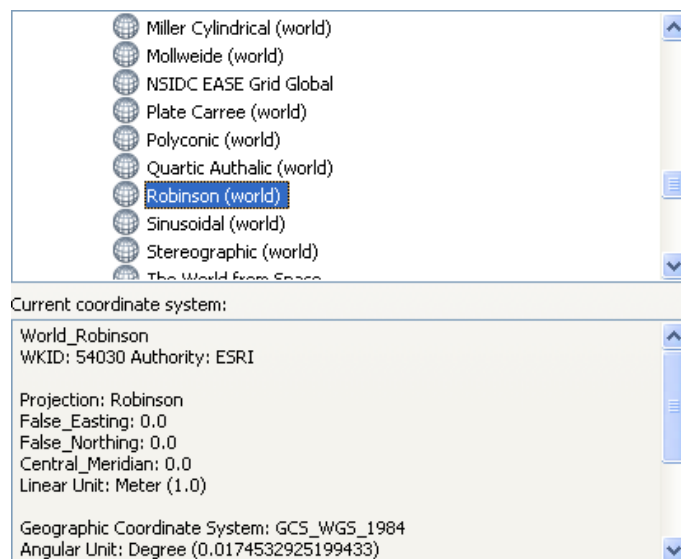
**Ryc. 10. Mapa świata w odwzorowaniu walcowym Robinsona (Wikipedia)**

W projekcji Robinsona centralny południk (południk zerowy) jest prosty i prostopadły do równika, a pozostałe południki są zakrzywione (wklęsłe w kierunku centralnego południka). Równoleżniki są liniami prostymi, równoodległymi od siebie.


Projekcja Robinsona jest często stosowaną projekcją kartograficzną. Głównym tego powodem jest fakt, że mapa wykonana w tym odwzorowaniu „dobrze wygląda”. Projekcja Robinsona wszędzie minimalizuje zniekształcenia, z wyjątkiem okolic biegunów.

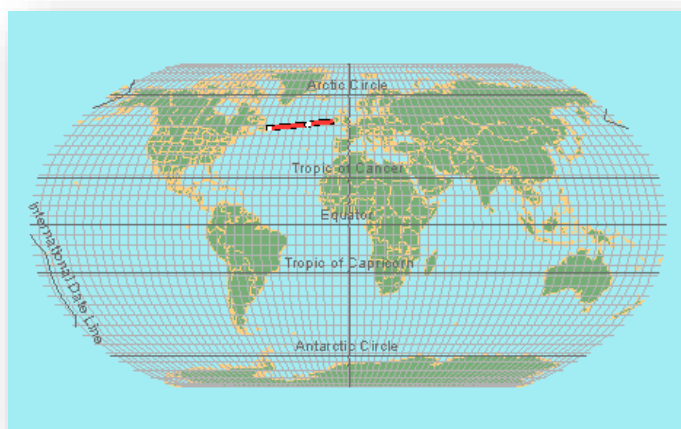
W tym etapie ćwiczenia, do ramki danych przypiszemy odwzorowanie Robinsona i zbadamy efekty zastosowanej projekcji.

- 4.1. Otwórz okno dialogowe *Data Frame Properties* (Właściwości ramki danych).
- 4.2. W zakładce *Coordinate System* (System współrzędnych) rozwiń listę rozwijaną predefiniowanych odwzorowań kartograficznych i następnie podfolder *World*.
- 4.3. Przewiń w dół i wybierz *Robinson (world)*.
- 4.4. Poniżej listy odwzorowań ukażą się parametry odwzorowania Robinsona (Ryc. 11).



**Ryc. 11. Parametry odwzorowania Robinsona**

- 4.5. Kliknij przycisk *OK*, a następnie, aby zobaczyć cały zakres mapy, kliknij ikonę *Full Extent* (Pełny zasięg) . Jeśli to konieczne, przesuń okno *Measure* (Pomiar) na bok.
- 4.6. Przyjrzyj się otrzymanej mapie ([Ryc. 12](#)).



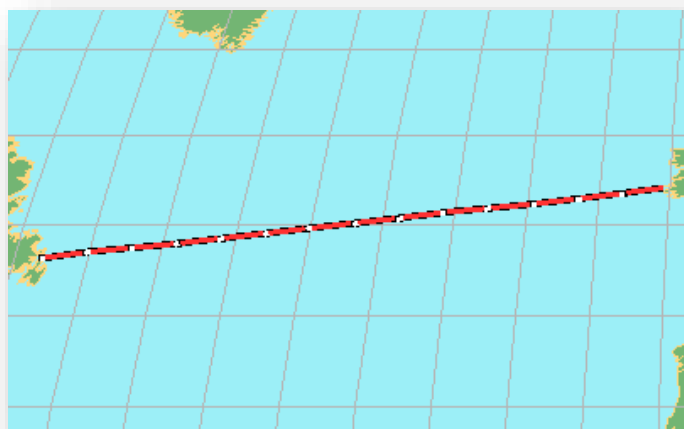
**Ryc. 12. Dokument mapy z danymi projektu w odwzorowaniu Robinsona**

*PYTANIE 2: Jakiego rodzaju zniekształcenia można zauważyć na mapie?*

Odwzorowanie Robinsona jest jednym z najczęściej stosowanych projekcji na mapach ściennych.

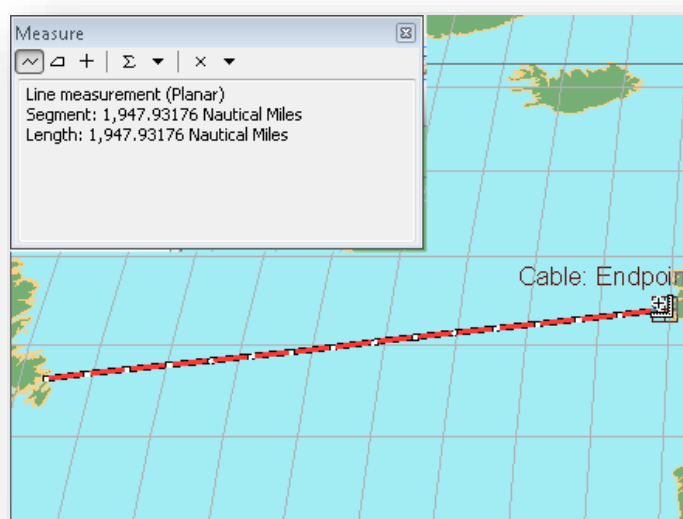
Przejdźmy do pomiaru długość kabla transatlantyckiego.

- 4.7. Powiększ okno mapy do warstwy *Cable* ([Ryc. 13](#)).



**Ryc. 13. Powiększony fragment mapy w odwzorowaniu Robinsona**

- 4.8. W oknie dialogowym *Measure* (*Pomiar*) należy sprawdzić czy wybranym rodzajem pomiaru jest *Planar* (*Płaski*).
- 4.9. Za pomocą narzędzia *Measure Line* (*Pomiar linii*) zmierzmy długość kabla transatlantyckiego, a następnie spójrzmy na otrzymany wynik (Ryc. 14).



**Ryc. 14. Długość kabla transatlantyckiego w odwzorowaniu Robinsona (pomiar płaski)**

Pomiar odległości wykazuje pewne zniekształcenie, nie jest ono jednak tak duże jak to było w odwzorowaniu Mercatora (Ryc. 8; Tab. 1).

**Tab. 1. Porównanie wyników pomiarów**

Prawidłowa długość kabla			1 686 [NM]
Odwzorowanie	Pomiar płaski [NM]	Pomiar geodezyjny [NM]	
World Mercator	2 607,37	1 651,41	
World Robinson	1 947,93		

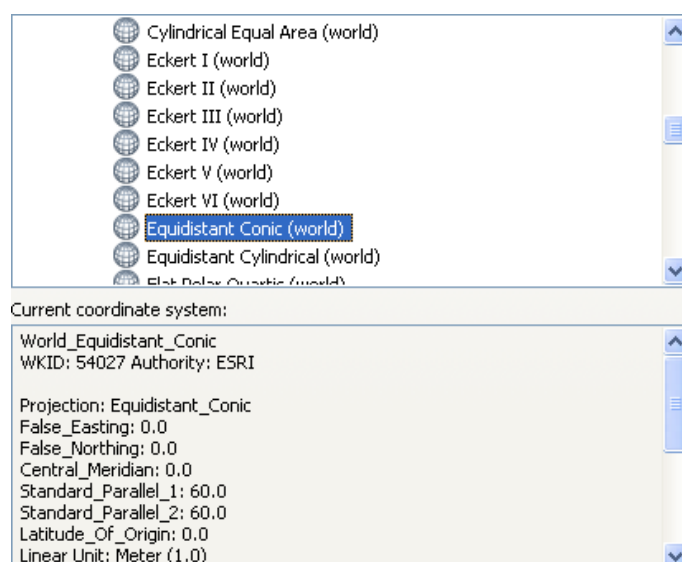
W następnym kroku ćwiczenia zmienimy projekcję na wiernoodległościowe odwzorowanie stożkowe.

## 5. Odwzorowanie wiernoodległościowe stożkowe


W wiernoodległościowym odwzorowaniu stożkowym (*Equidistant Conic projection*), południki są równomiernie rozłożonymi liniami prostymi, zbiegającymi się we wspólnym punkcie – wierzchołku stożka. Równoleżniki są równo rozmieszczonymi koncentrycznymi łukami. Wiernoodległościowa projekcja stożkowa eliminuje zniekształcenia wzdłuż jednego (projekcja styczna) lub dwóch (projekcja sieczna) równoleżników zwanych **wzorcowymi**. Są to miejsca, gdzie w wyobraźni stożek dotyka (przecina) powierzchnię Ziemi.

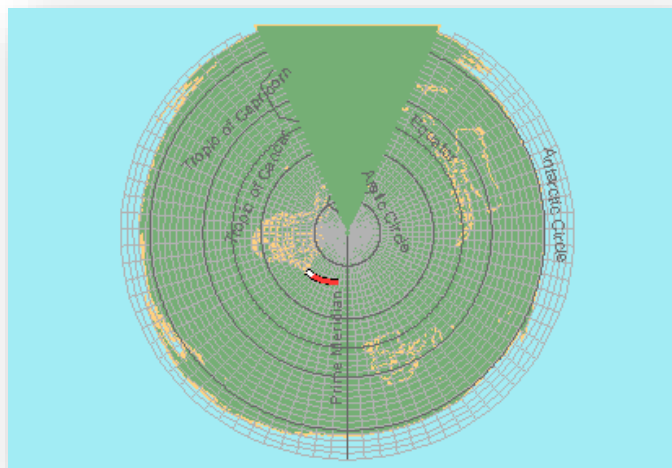
Wiernoodległościowa projekcja stożkowa jest powszechnie stosowana w atlasach do odwzorowywania małych krajów.

- 5.1. Otwórz okno dialogowe *Data Frame Properties (Właściwości ramki danych)*.
- 5.2. W zakładce *Coordinate System (System współrzędnych)* rozwiń listę rozwijaną predefiniowanych odwzorowań kartograficznych (*Projected Coordinate Systems*) i następnie podfolder *World*.
- 5.3. Przewiń w dół i wybierz *Equidistant Conic (world)*.
- 5.4. Powyżej listy odwzorowań ukażą się parametry wiernoodległościowego odwzorowania stożkowego ([Ryc. 15](#)). Zauważ, że standardowo przerwa powstająca w wyniku rozłożenia stożka wyznacza kąt 60°.



**Ryc. 15. Parametry wiernoodległościowego odwzorowania stożkowego**

- 5.5. Kliknij przycisk *OK*. Powiększ mapę do pełnego rozmiaru danych  ([Ryc. 16](#)).

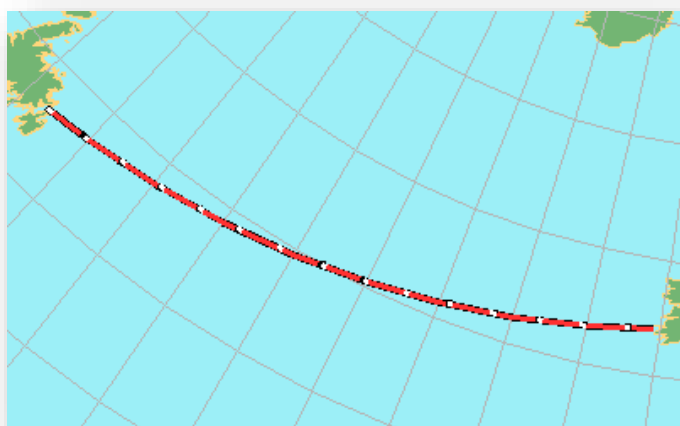


**Ryc. 16. Dokument mapy z danymi projektu w wiernoodległościowym odwzorowaniu stożkowym**

*PYTANIE 3: Jaki obszar mapy jest wolny od zniekształceń? Wskazówka: gdzie znajduje się równoleżnik wzorcowy?*

5.6. Powiększ mapę do warstwy Cable.

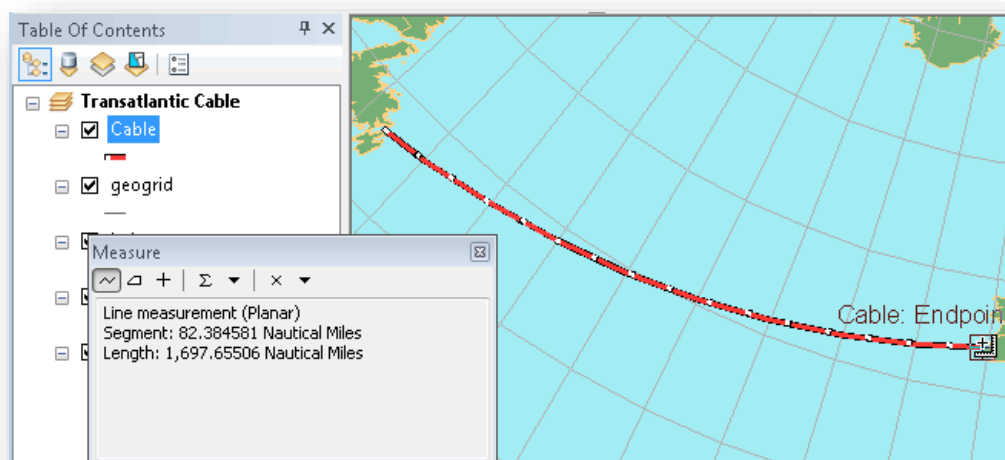
Zauważ, że linia wyznaczająca położenie kabla transoceanicznego zamieniła się w łuk (Ryc. 17).



**Ryc. 17. Powiększony fragment mapy w wiernoodległościowym odwzorowaniu stożkowym**

- 5.7. Do pomiaru długości kabla użyjemy narzędzia *Measure Line (Pomiar liniowy)*. Kliknij na jednym końcu kabla aby rozpocząć pomiar.
- 5.8. Kliknij na kablu w regularnych odstępach odległości (klikaj na małe, białe kwadraty), aż dojdiesz do punktu końcowego kabla.
- 5.9. Kliknij dwukrotnie aby zakończyć pomiar.

Pasek stanu pokazuje długość ostatniego segmentu oraz całkowitą długość wszystkich odcinków (Ryc. 18). Zauważ, że całkowita długość jest bardzo zbliżona do rzeczywistej długości kabla wynoszącej 1 686 mil morskich (Tab. 2).



**Ryc. 18. Długość kabla transatlantyckiego w wiernoodległościowym odwzorowaniu stożkowym (pomiar płaski)**

**Tab. 2. Porównanie wyników pomiarów**

Prawidłowa długość kabla	1 686 [NM]	
Odwzorowanie	Pomiar płaski [NM]	Pomiar geodezyjny [NM]
World Mercator	2 607,37	1 651,41
World Robinson	1 947,93	-
Equidistant Conic (World)	1 697,65	-

Pomiar jest dość dokładny ponieważ kabel jest położony w pobliżu 60-tego równoleżnika, gdzie praktycznie brak błędu dystorsji odległości.

Możesz sprawdzić to samemu otwierając okno dialogowe *Data Frame Properties* (Właściwości ramki danych), kliknij zakładkę *General* (Ogólne) i ustawiając jednostki wyświetlania na *stopnie dziesiętne* (*decimal degrees – DD*) lub *degrees minutes seconds – DMS* (*stopnie, minuty i sekundy*). Kiedy najedziesz kursorem na dowolny równoleżnik, jego współrzędne zostaną wyświetlone na pasku stanu poniżej obszaru wyświetlania mapy.

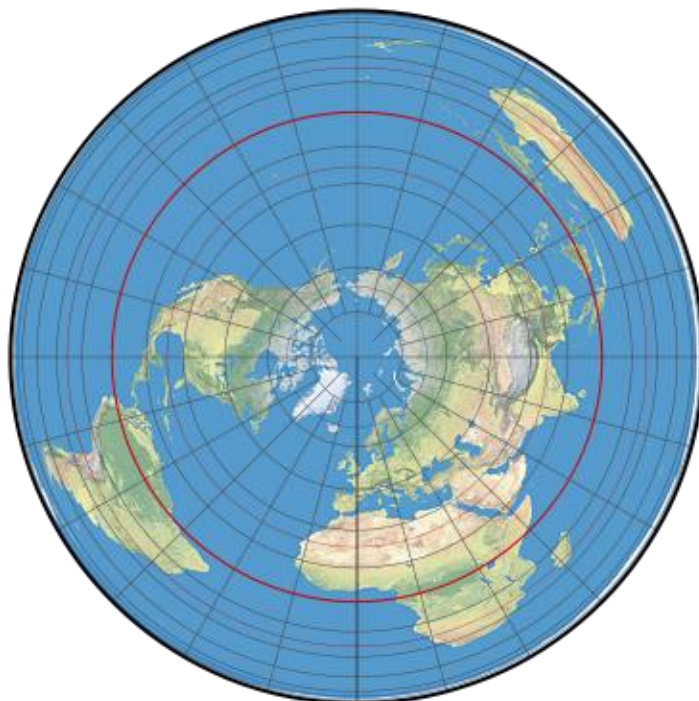
W następnym kroku ćwiczenia zmienimy odwzorowanie mapy po raz ostatni.

## 6. Wiernopowierzchniowe, azymutalne odwzorowanie Lamberta

Wiernopowierzchniowe, azymutalne odwzorowanie Lamberta (*Lambert Azimuthal Equal Area projection*) jest rodzajem projekcji płaszczyznowej (azymutalnej). Południki są równomiernie rozmieszczonymi liniami prostymi, które przecinają się na biegunie



(Ryc. 19). Równoleżniki są nierównomiernie rozmieszczonymi, koncentrycznymi okręgami. Jeżeli region, który odwzorowujemy jest w przybliżeniu okrągły i jeżeli chcemy zachować własność przestrzenne obszaru, dobrym wyborem będzie wybór wiernopowierzchniowego, azymutalnego odwzorowania Lamberta.

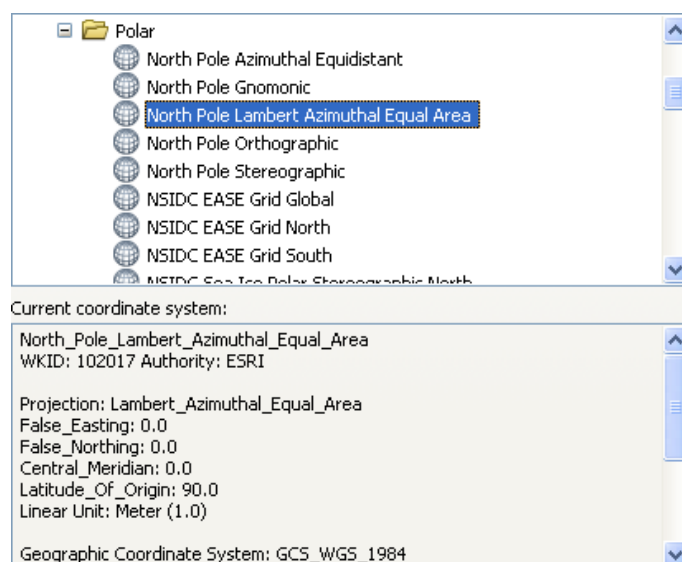


**Ryc. 19. Mapa świata w wiernopowierzchniowym, azymutalnym odwzorowaniu Lamberta**

Wiernopowierzchniowe, azymutalna projekcja Lamberta jest często stosowana w atlasach do odwzorowywania map regionów polarnych i map północnej i południowej półkuli.

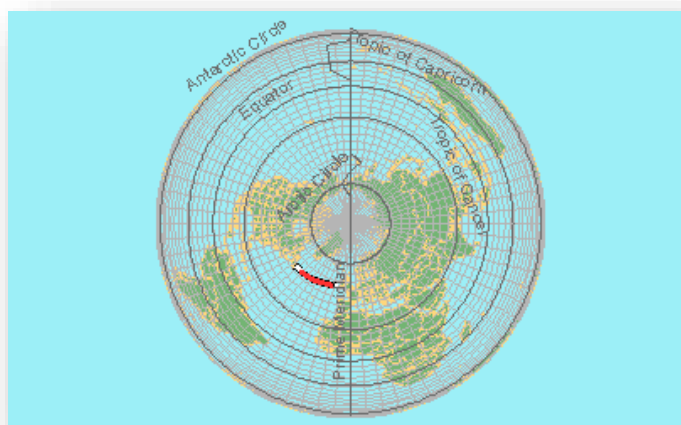
- 6.1. Otwórz okno dialogowe *Data Frame Properties* (*Właściwości ramki danych*)
- 6.2. W zakładce *Coordinate System* (*System współrzędnych*) rozwiń listę predefiniowanych odwzorowań kartograficznych (*Projected Coordinate Systems*) i następnie podfolder *Polar*.
- 6.3. Wybierz *North Pole Lambert Azimuthal Equal Area*.
- 6.4. Powyżej listy odwzorowań ukażą się parametry wiernopowierzchniowego, azymutalnego odwzorowania Lamberta (Ryc. 20).





**Ryc. 20. Parametry wiernopowierzchniowego, azymutalnego odwzorowania Lamberta**

- 6.5. Kliknij przycisk *OK*, powiększ mapę do pełnego zakresu danych i przyjrzyj się otrzymanej mapie (Ryc. 21).



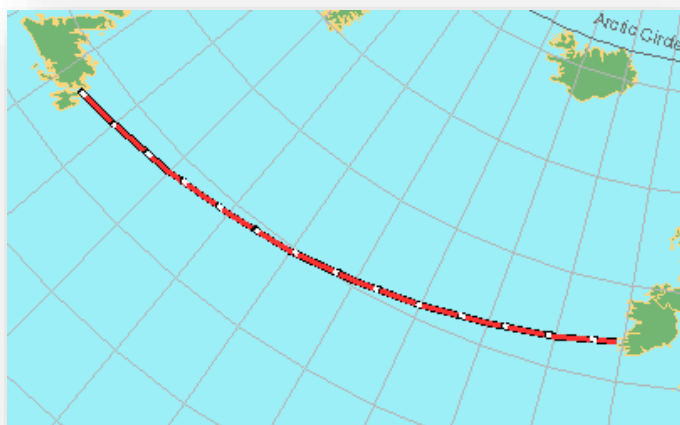
**Ryc. 21. Dokument mapy z danymi projektu w wiernopowierzchniowym, azymutalnym odwzorowaniu Lamberta**

Widzimy świat z perspektywy bieguna północnego.

*PYTANIE 4: Które rejony na mapie zostały odwzorowane bez zniekształceń?*

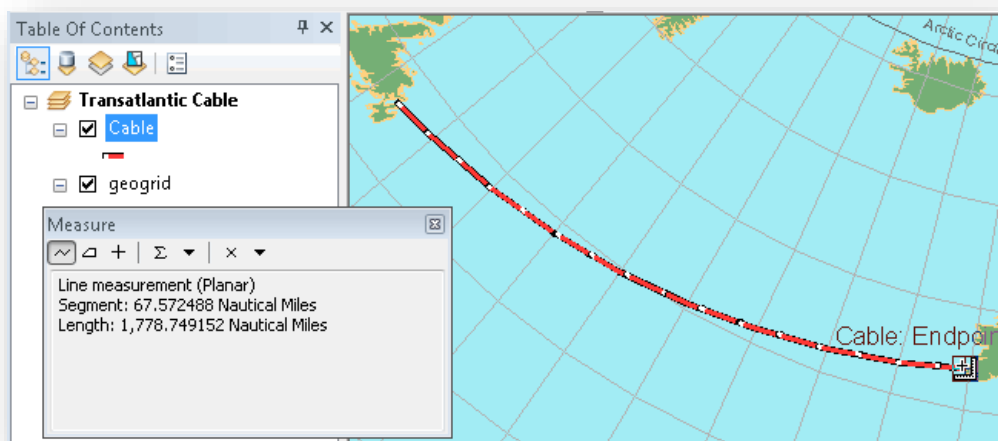
- 6.6. Powiększ mapę do zakresu warstwy *Cable*.

Zauważ, że kabel ponownie został wyświetlony jako łuk (Ryc. 22).



**Ryc. 22. Powiększony fragment mapy w wiernopowierzchniowym, azymutalnym odwzorowaniu Lamberta**

- 6.7. Upewnij się, że jednostki odległości w oknie *Measure (Pomiar)* nadal są ustawione na mile morskie.
- 6.8. Zmierz długość kabla, ponownie używając białych kwadratów jako odcinków pomiarowych.
- 6.9. Spójrz na okno *Measure (Pomiar)* aby zobaczyć łączną długość wszystkich segmentów (Ryc. 23).



**Ryc. 23. Długość kabla transatlantyckiego w wiernopowierzchniowym, azymutalnym odwzorowaniu Lamberta**

Pomiar (Tab. 3) jest większy niż faktyczna długość kabla (1 686 mil morskich). Jest tak ponieważ zniekształcenie odległości zwiększa się wraz z odległością od bieguna.

**Tab. 3. Porównanie wyników pomiarów**

<b>Prawidłowa długość kabla</b>	1 686 [NM]	
<b>Odwzorowanie</b>	<b>Pomiar płaski [NM]</b>	<b>Pomiar geodezyjny [NM]</b>
World Mercator	2 607,37	1 651,41
World Robinson	1 947,93	-
Equidistant Conic (World)	1 697,65	-
North Pole Lambert Azimuthal Equal Area	1 778,75	

6.10. Zamknij okno pomiaru odległości.

## 7. Wybór odwzorowania mapy

Teraz, gdy już przetestowaliśmy cztery różne odwzorowania kartograficzne i mogliśmy zaobserwować efekty użycia każdego z nich, musimy zdecydować, który powinniśmy wybrać.

Pamiętajmy, że mapa będzie koncentrowała się na obszarze północnego Atlantyku i w założeniu chcemy przedstawić położenie kabla transatlantyckiego z jak najmniejszą dyktorsją odległości co pozwoli na wizualizację jego prawdziwej długości.

*PYTANIE 5: Która projekcja jest najbardziej odpowiednia dla naszej mapy?*

- *Mercator*
- *Robinson*
- *Wiernoodległościowe odwzorowanie stożkowe*
- *Wiernopowierzchniowe, azymutalne odwzorowanie Lamberta*

Dzięki podjęciu tej decyzji będziemy gotowi aby utworzyć ostateczną wersję mapy.

7.1. Z menu *File (Plik)* wybierz polecenie *Zakończ*. Kliknij *Tak*, aby zapisać zmiany w dokumencie mapy.

W tym ćwiczeniu nauczyliśmy się, że wybrane odwzorowanie kartograficzne diametralnie zmienia wygląd mapy i wpływa na dokonywane pomiary. Wybór właściwej projekcji dla danych jest zawsze jednym z najważniejszych elementów tworzenia map GIS.