

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych (ArcGIS Pro), Ćwiczenie 4

Praca z rastrowymi mapami geologicznymi SMGP

Rektyfikacja map geologicznych SMGP

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
10.09.2024 14:06:00

Wprowadzenie

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS Pro.

W tym ćwiczeniu nauczymy się:

- ☐ jak tworzyć grafikę punktową w oparciu o narzędzie *Go to XY*,
- ☐ jak konwertować grafikę na klasę obiektów punktowych,
- ☐ jak konwertować współrzędne klas obiektów pomiędzy różnymi odwzorowaniami,
- ☐ jak nadawać rastrom georeferencję,
- ☐ jak kontrolować wielkość błędów kalibracji.

Ćwiczenie 4

Nasze zadanie będzie polegało na nadaniu georeferencji przykładowej mapie geologicznej. Mapy geologiczne udostępniane są przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) w formie niezrektyfikowanych rastrów. Oznacza to, że nie mają one nadanej georeferencji i można je uważać za zwykłe pliki graficzne. W dalszej części tego ćwiczenia niezrektyfikowane mapy będą nazywane grafikami albo obrazami. Mapy geologiczne są publikowane przez PIG-PIB najczęściej w formacie .JPG. Nasze zadanie będzie polegało na odnalezieniu wybranego arkusza Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1: 50 000 i na nadaniu mu właściwych współrzędnych.

Współcześnie średnioskalowe projekty GIS muszą być wykonywane w odwzorowaniu Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych (PUWG) „1992” (Dz.U. 2000 nr 70 poz. 821), natomiast mapy geologiczne publikowane przez PIG-PIB są wykonane w starszym odwzorowaniu Układzie Współrzędnych (UW) „1942”.

UWAGA!

Musimy zdawać sobie sprawę, że PUWG „1992” i UW „1942” używają odmiennych elipsoid, a co za tym idzie odmiennych układów współrzędnych geograficznych (Tab.1) i przez to mają niekompatybilne współrzędne wyrażone poprzez długość i szerokość geograficzną. Ten sam punkt o współrzędnych zadanych długością i szerokością geograficzną wyrażonymi w UW „1942”, w układzie PUWG „1992” będzie miał **INNE WSPÓLRZĘDNE!**

UWAGA, cd.

Tab. 1. Porównanie parametrów Układu Współrzędnych "1942" i Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych „1992”

Układ współrzędnych	Strefy	Południk osiowy	EPSG	Elipsoida	Układ odniesienia	Odwzorowanie
UW „1942	pasy południkowe o szer. 3°	15°E	3329	Krasowskiego	Pulkowo	wałcowe Gaussa-Krugera, styczne
		18°E	3330			
		21°E	3331			
		24°E	3332			
	pasy południkowe o szer. 6°	15°E	3333			
		21°E	3334			
		27°E	3335			
PUWG „1992”	jednostrefowe		2180	GRS80 (b. podobna do WGS 84)	-	wałcowe Gaussa-Krugera, sieczne

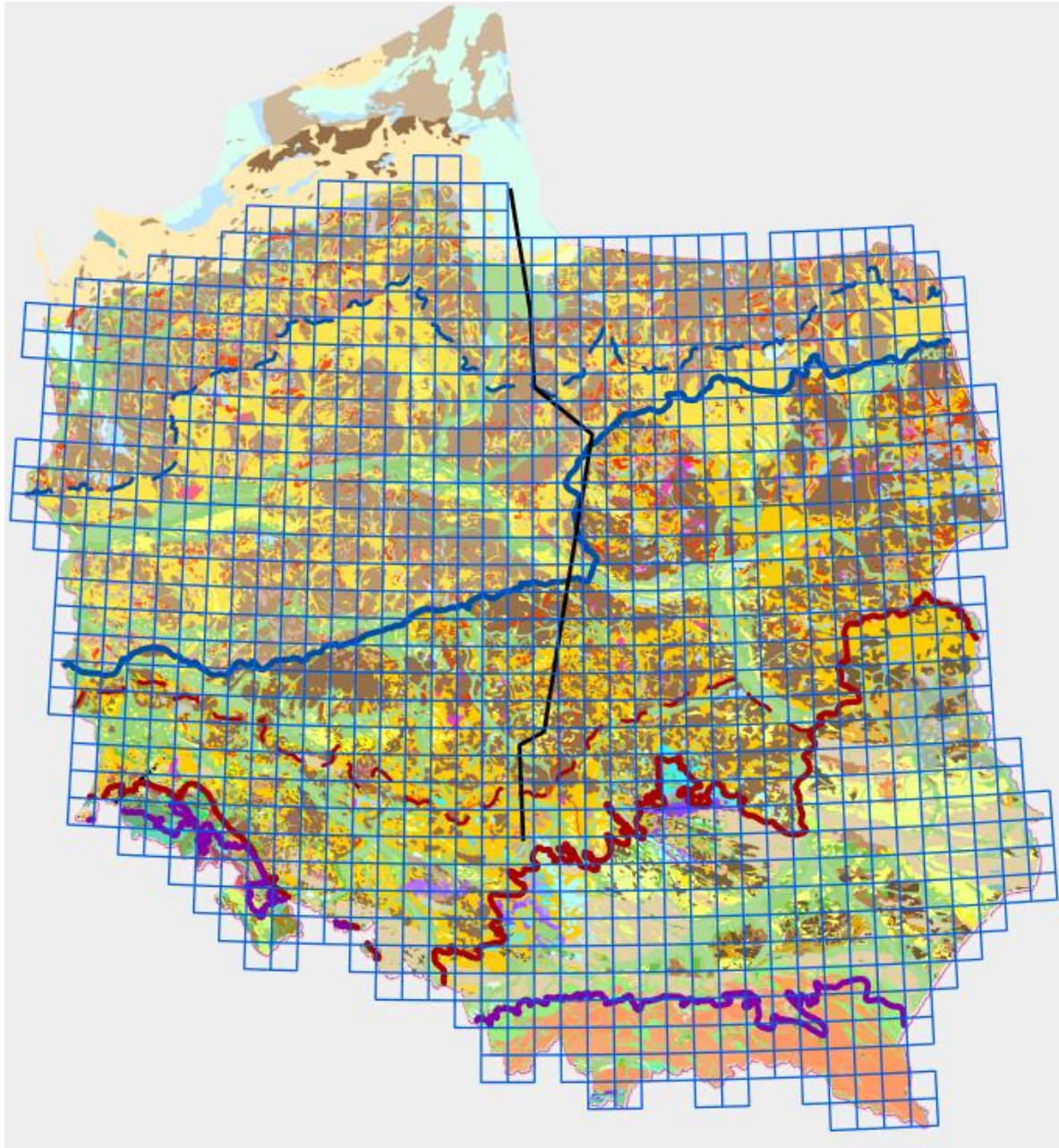
Stąd wniosek, że proces nadania georeferencji rastrom SMGP jest nieco bardziej skomplikowany i będzie dodatkowo wymagał konwersji współrzędnych punktów kontrolnych do współczesnego układu PUWG „1992” (W.T. G-1.10, 2001).

1. Pozyskiwanie arkuszy Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski

Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000 (SMGP) jest mapą seryjną obejmującą powierzchnię całej Polski i podzieloną na **1069 arkuszy**. Jej opracowanie jest jednym z głównych przedsięwzięć polskiej geologii. SMGP przedstawia szczegółowe rozpoznanie budowy geologicznej całego kraju. Jest to podstawowa mapa geologiczna, wykonana w skali 1:25 000. SMGP dla każdego arkusza stanowi operat geologiczny złożony z barwnej mapy w skali 1:50 000 wydrukowanej na planszy wraz z przekrojami geologicznymi, profilami syntetycznymi i objaśnieniami barw i symboli oraz objaśnień tekstowych w postaci broszury zawierającej również dodatkowe przekroje geologiczne i mapy tematyczne w skali 1:1000. SMGP jest odpłatnie udostępniana zarówno w formie wydruku na papierze jak i w wersji cyfrowej. Nieodpłatnie użytkownicy mają dostęp do skanów map w formacie .JPG oraz do w.w. broszury. Na podstawie SMGP są opracowywane zarówno mapy geologiczne w innych skalach np. 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 jak również mapy seryjne: hydrogeologiczne, geologiczno-gospodarcze, geośrodowiskowe, geochemiczne, litogenetyczne, geologiczno-turystyczne i inne. SMGP jest podstawą dla poszukiwań surowców mineralnych, zaopatrzenia w wodę, planowania przestrzennego, prowadzenia analiz z zakresu ochrony środowiska i geozagrożeń, a także badań geologiczno-inżynierskich. Opracowania arkuszy SMGP zostały wykonane w latach

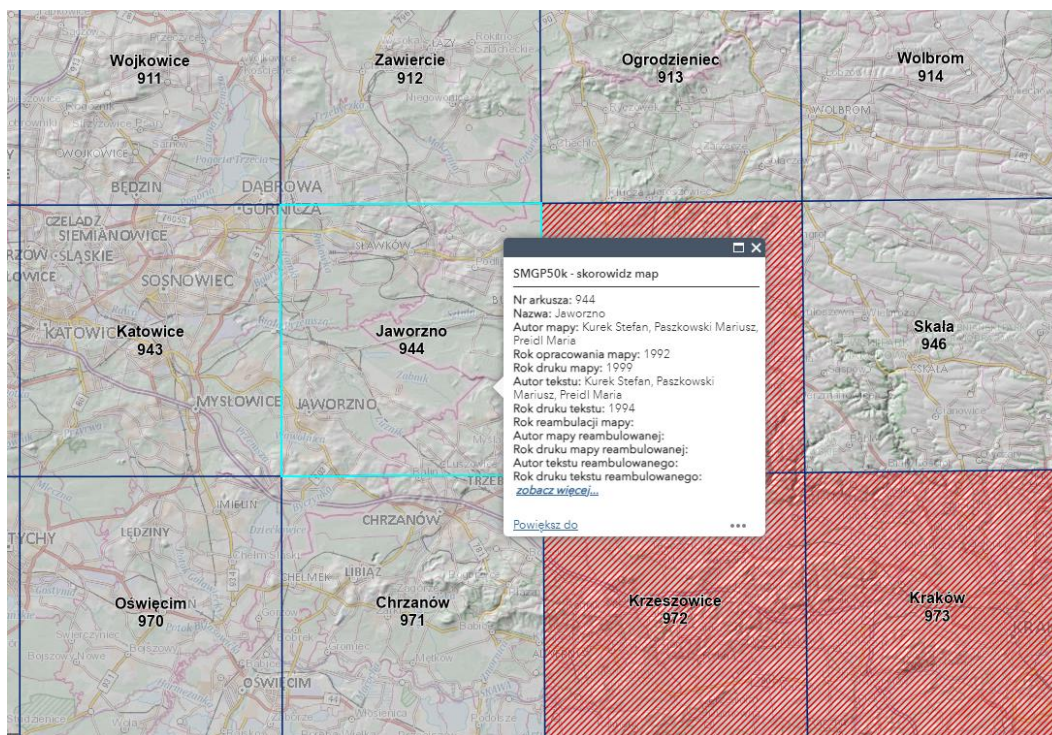
1956–2009. Uzyskano w ten sposób pełne pokrycie szczegółową mapą geologiczną terenu całej Polski.

- 1.1. Zasoby SMGP można pobrać z portalu mapowego [Geologia](#) ([Ryc. 1](#)).



Ryc. 1. Podział obszaru Polski na arkusze SMGP w skali 1:50 000 (Portal mapowy Geologia)

- 1.2. Należy wyłączyć widoczność wszystkich warstw i wybrać warstwę Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50000., a następnie przesunąć ją w górę na sam szczyt stosu warstw.
- 1.3. Powiększenie mapy w portalu pozwala na szczegółowe zapoznanie się z podziałem mapy na arkusze w skali 1: 50 000 ([Ryc. 2](#)).



Ryc. 2. Powiększony fragment okna portalu mapowego *Geologia* z widocznymi szczegółami dotyczącymi arkusza SMGP Jaworzno (*Portal mapowy Geologia*)

- 1.4. Kliknięcie na napis „*zobacz więcej...*” umożliwia dostęp do zasobów Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG) ([Ryc. 3](#)).

Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski - arkusz 944 – Jaworzno

Detailed Geological Map of Poland - Sheet: 944 – Jaworzno

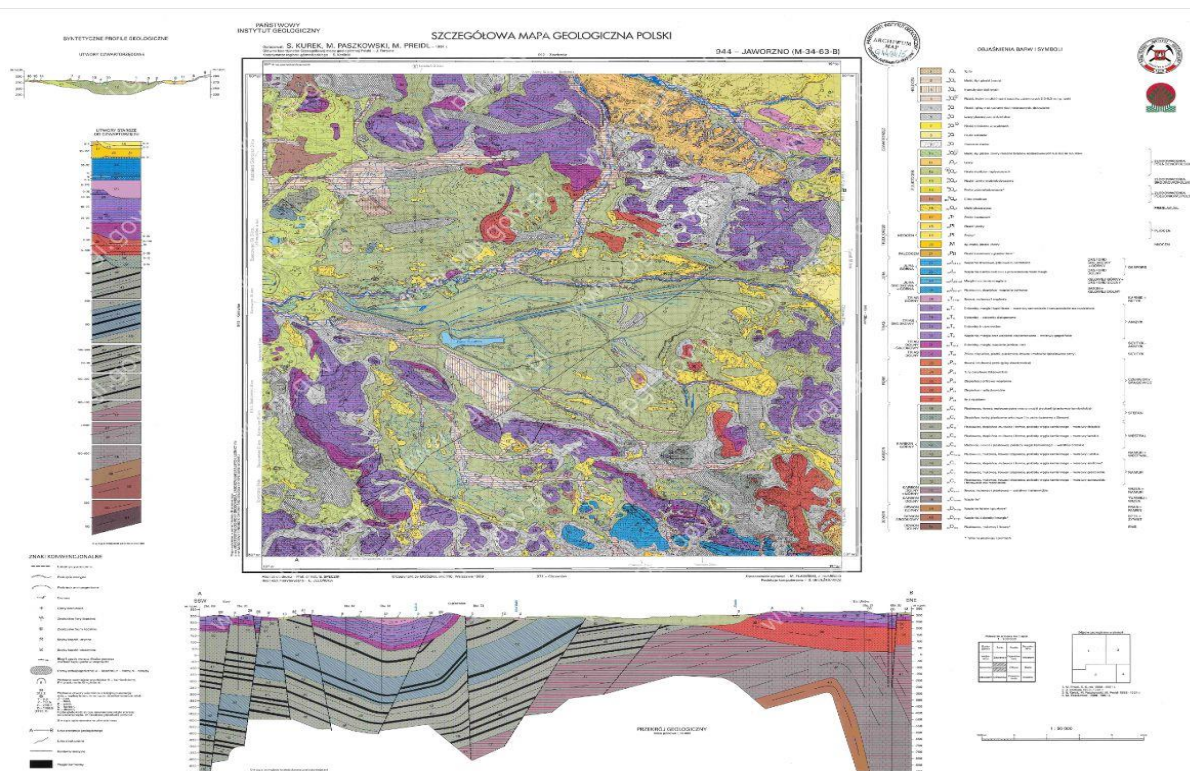
SMGP – tekst do mapy (DGMP – Explanation to the map)

SMGP – skan mapy (DGMP – Scanned map)

SMGP – metryki otworów (DGMP – Borehole metrics)

Ryc. 3. Zasoby CBDG dotyczące arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

- 1.5. Aby pozyskać wybrany skan SMGP należy kliknąć na link **SMGP – skan mapy (SMGP – Scanned map)** ([Ryc. 4](#)).



Ryc. 4. Skan arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

1.6. Pobraną mapę zachowujemy w folderze

D:\ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\Imię_Nazwisko\RektyfikacjaSMGP\raster\.

2. Określenie układu współrzędnych arkusza SMGP

2.1. Sprawdź jaki układ współrzędnych wykorzystano do utworzenia SMGP 972 – Jaworzno (M-34-63-B). Można to zrobić szukając w zasobach Internetu informacji o **metadanych** tego arkusza (Ryc. 5).

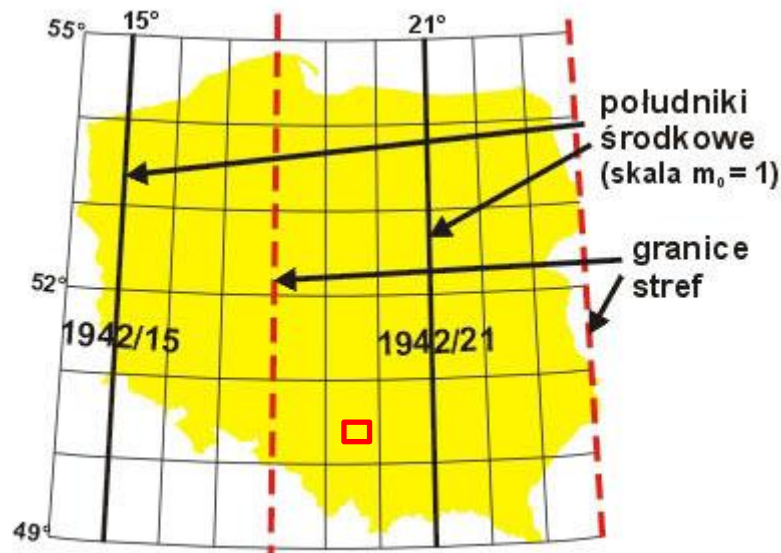
INFORMACJE O ZASOBIE:	
Kategoria:	http://inspire.ec.europa.eu/metadata-codelist/TopicCategory/environment
Identyfikator zasobu:	PL.PGI/ZD.A.03135
Typ zasobu:	zbiór danych - http://inspire.ec.europa.eu/metadata-codelist/ResourceType/dataset
Referencyjny układ współrzędnych:	http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/3334

Ryc. 5. Wybrane metainformacje dotyczące zasobu Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000 (SMGP) Arkusz: Jaworzno (PiG-PiB)

Jak widać na Ryc. 5, arkusz Jaworzno używa współrzędnych w układzie o **EPSG¹ 3334**. Jest to zgodne z informacją zawartą na Ryc. 6 i w Tab. 1. Jest to stare

¹ EPSG – Unikatowy kod (EPSG Geodetic Parameter Set) służący do opisu parametrów układów współrzędnych geograficznych i odwzorowań kartograficznych. Standard utworzony przez European Petroleum Survey Group (EPSG).

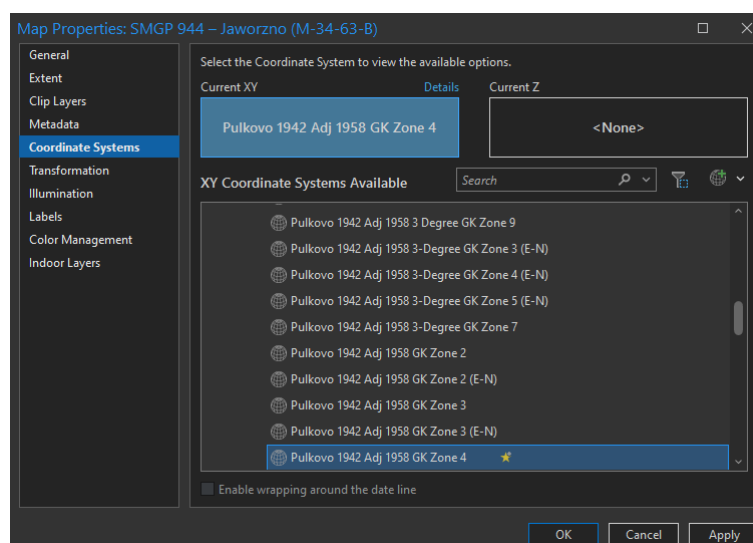
odwzorowanie Gaussa-Krugiery styczne z 1942 roku, wykorzystujące elipsoidę Krasowskiego w punkcie przyłożenia (*datum*) Pulkovo (59°46'18.55"N, 30°19'42.09"E). Odwzorowanie to wykonano dla południkowego pasa o szerokości 6° z południkiem osiowym 21° (Ryc. 6).



Ryc. 6. Podział Polski na dwie 6-stopniowe strefy Układu Współrzędnych "1942"; czerwona ramka przedstawia przybliżone położenie arkusza SMGP Jaworzno

3. Dodanie obrazu SMGP na scenę ArcGIS Pro

- 3.1. Uruchom program *ArcGIS Pro* w trybie *Start without template*.
 - 3.2. Utwórz nową mapę i nazwij ją SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B).
 - 3.3. Zmień odwzorowanie utworzonej mapy na projekcję o kodzie EPSG: 3334.
- Jak widać, rzeczywiście to odwzorowanie „1942” (Ryc. 7).



Ryc. 7. Definicja odwzorowania mapy SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

- 3.4. Zapisz plik projektowy w folderze

D:\ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\Imię_Nazwisko\RektyfikacjaSMGP\.

- 3.5. Dodaj na scenę mapy plik smgp0944.jpg.

4. Wprowadzanie punktów kontrolnych narożników obrazu mapy

W tej części ćwiczenia utworzymy klasę obiektów punktowych ze współrzędnymi naroży mapy w UW 1942.

- 4.1. Powiększ fragment północno-zachodniego narożnika obrazu smgp0944.jpg i odczytaj jego współrzędne w UW „1942” (Ryc. 8).



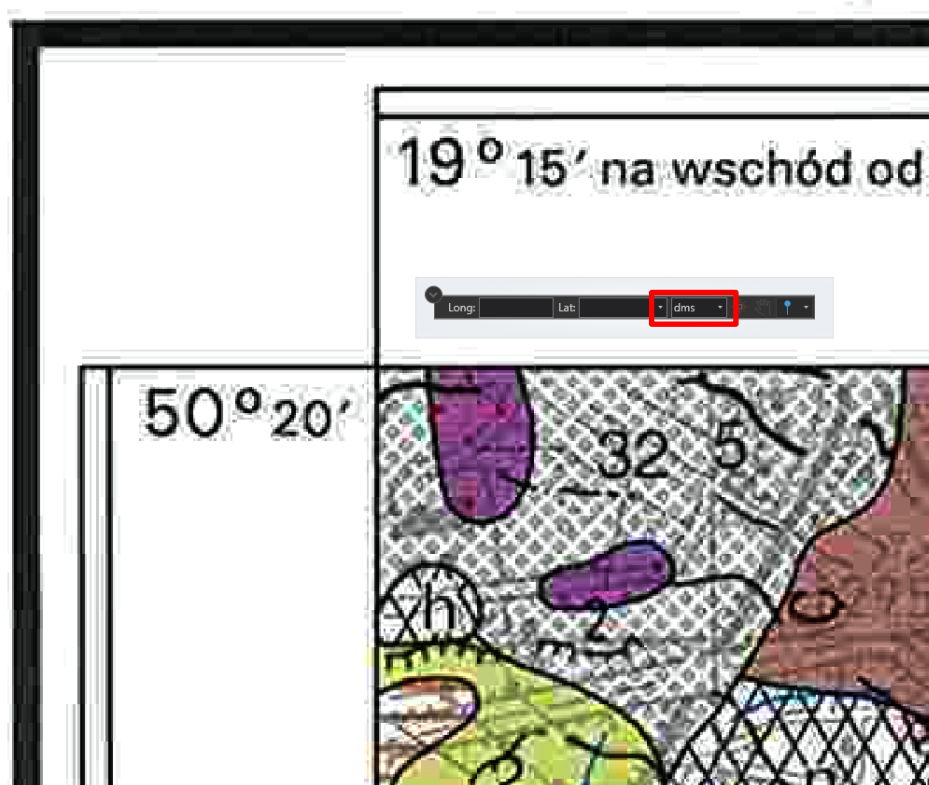
Ryc. 8. Powiększony fragment północno-zachodniego narożnika arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

Współrzędne północno-zachodniego narożnika mapy to:

19° 15' 00" E

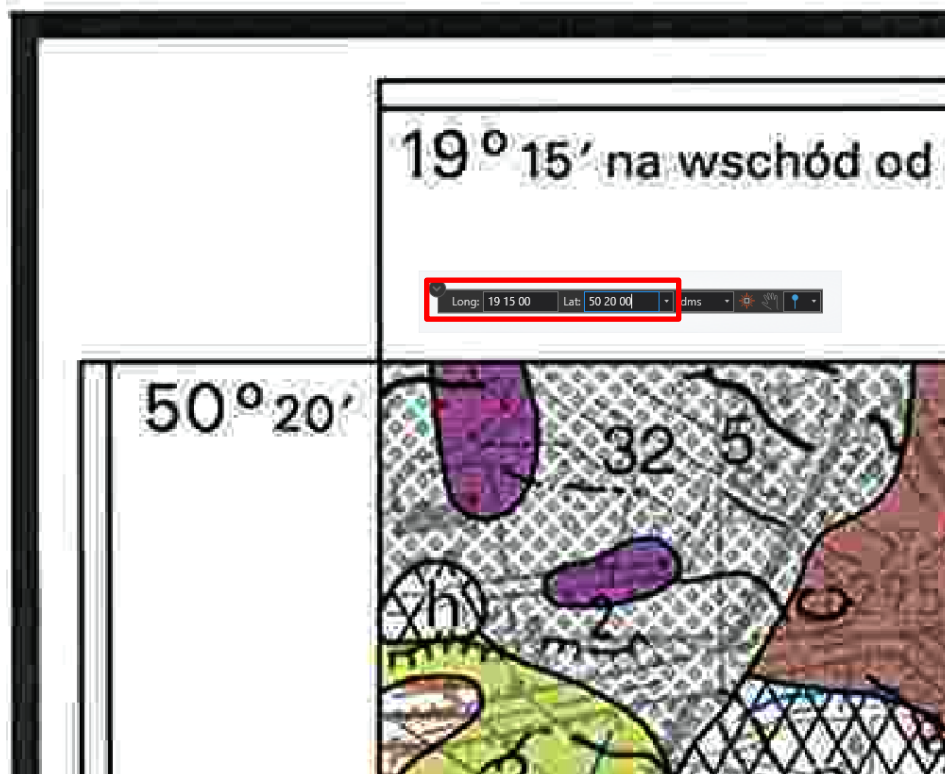
50° 20' 00" N

- 4.2. Na wstążce aplikacji, na karcie *Insert*, w grupie *Navigate* uruchom narzędzie *Go To XY*.
- 4.3. W ustawieniach narzędzia wybierz jednostki wprowadzania danych na *DMS* (*Degrees Minutes Seconds*) (Ryc. 9).



Ryc. 9. Ustawienia narzędzia *Go To XY*

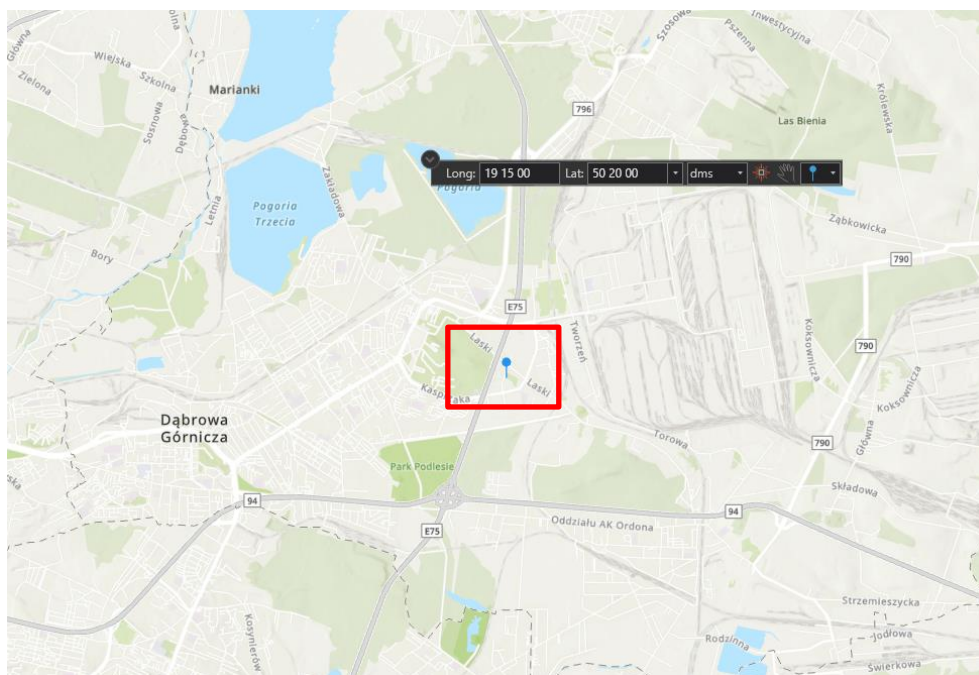
- 4.4. W oknie dialogowym narzędzia *Go To XY* wpisz współrzędne pierwszego punktu kontrolnego. Rozdzielając stopnie, minuty i sekundy używaj spacji (Ryc. 10).



Ryc. 10. Okno narzędzia *Go To XY* z wprowadzonymi współrzędnymi pierwszego punktu kontrolnego

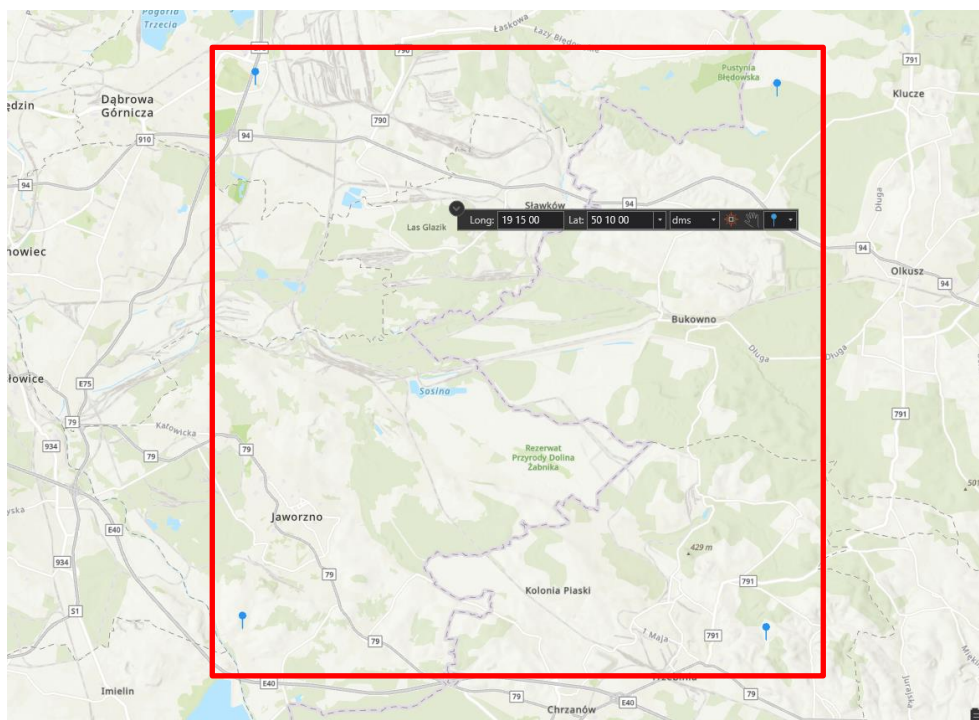
- 4.5. W narzędziach okna *Go To XY* kliknij na ikonkę *Mark Location* (Zaznacz lokalizację).
- 4.6. Za pomocą narzędzia *Pan To Location* przejdź do miejsca lokalizacji punktu.

Na scenę został dodany punkt (Ryc. 11). Jest to zwykła grafika. Oznacza to, że przy skalowaniu obiekt ten nie będzie zachowywał się tak jak obiekty geograficzne. Po zgromadzeniu wszystkich czterech punktów symbolizujących położenie naroży mapy będziemy te grafiki konwertowali na klasę obiektów punktowych.



Ryc. 11. Lokalizacja północno-zachodniego narożnika arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

- 4.7. Powiększając kolejno pozostałe naroża mapy, w analogiczny sposób wprowadź pozostałe trzy punkty narożników mapy (Ryc. 12).



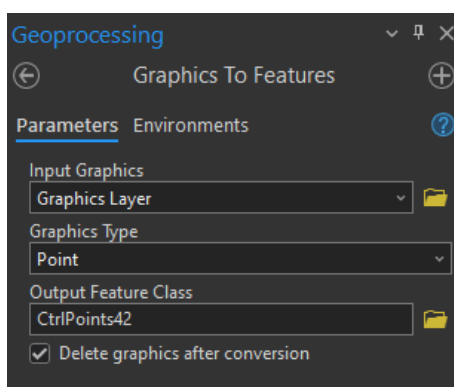
Ryc. 12. Naniesiony zbiór graficznych punktów kontrolnych naroży mapy

- 4.8. Zamknij narzędzie Go To XY.

5. Konwersja punktów kontrolnych do klasy obiektów punktowych

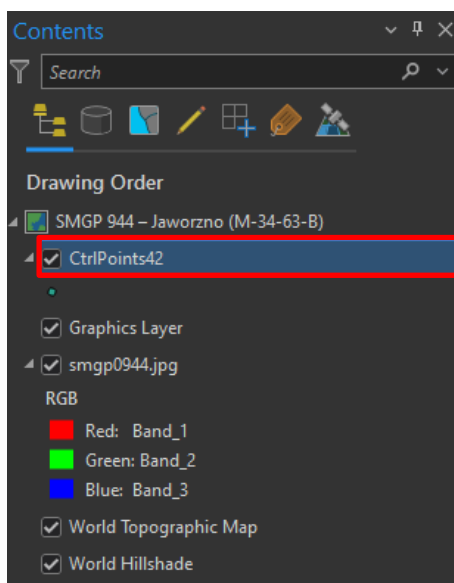
Jak już wspomniano, punkty dodane w rozdziale 4 są grafikami. Zostały dodane do projektu na specjalną warstwę `Graphic Layer`. Dodane punkty trzeba teraz przekonwertować do klasy obiektów punktowych (o współrzędnych w UW „1942”).

- 5.1. Odszukaj narzędzie *Graphics To Features (Conversion)*.
- 5.2. Jako *Input Graphic* wprowadź nazwę warstwy z grafiką `Graphic Layer`. Typ grafiki to oczywiście punkty (`Point`). Wyjściową klasę obiektów punktowych (*Output Feature Class*) zapiszemy do domyślnej geobazy projektu pod nazwą `CtrlPoints42` (Ryc. 13).



Ryc. 13. Panel narzędzia **Geoprocessing** – **Graphics To Features**

- 5.3. Po prawidłowym wypełnieniu panelu narzędzia kliknij przycisk *Run*.
W panelu *Contents* pojawi się utworzona warstwa z punktami kontrolnymi naroży mapy (Ryc. 14).



Ryc. 14. Panel zawartości z utworzoną warstwą punktów kontrolnych `CtrlPoints42`

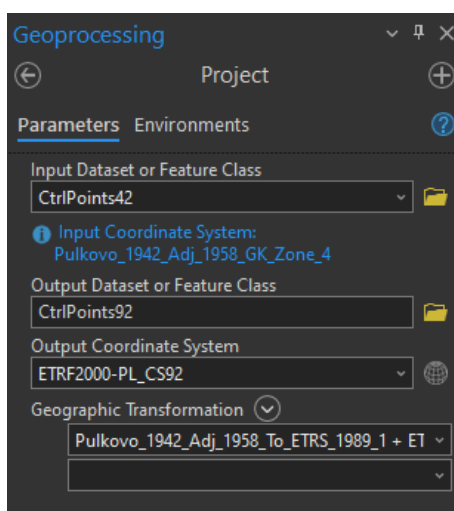
Mamy już klasę obiektów punktowych, dlatego utworzone punkty graficzne nie będą nam już potrzebne. Możemy je usunąć.

- 5.4. W panelu *Contents* usunąć warstwę *Graphic Layer*.

6. Konwertowanie współrzędnych obiektów pomiędzy różnymi odwzorowaniami

Utworzona klasa obiektów punktowych ma współrzędne w odwzorowaniu UW „1942” (EPSG: 3334). Docelowo chcemy aby nasza mapa miała współrzędne w odwzorowaniu PUWG „1992”, dlatego musimy przekonwertować współrzędne punktów kontrolnych naroży mapy z układu współrzędnych „1942” na układ PUWG „1992”.

- 6.1. Korzystając z narzędzia *Wyszukaj (Search)* odszukaj narzędzie o nazwie **Project**. Pozwala ono na konwersję współrzędnych obiektów pomiędzy dowolnymi odwzorowaniami.
- 6.2. Jako zbiór danych wejściowych wprowadź klasę punktów kontrolnych w UW „1942” – *CtrlPoints42*, zaś jako zbiór wyjściowy (*Output Dataset or Feature Class*) – *CtrlPoints92*. Jako docelowe odwzorowanie zbioru wyjściowego zdefiniuj PUWG „1992” (EPSG: 2180) ([Ryc. 15](#)).



Ryc. 15. Panel konwersji współrzędnych punktów kontrolnych z układu „1942” na układ „1992”

Program sam dobierze odpowiednią domyślną transformację.

- 6.3. Po uzupełnieniu formularza naciśnij przycisk *Run*.

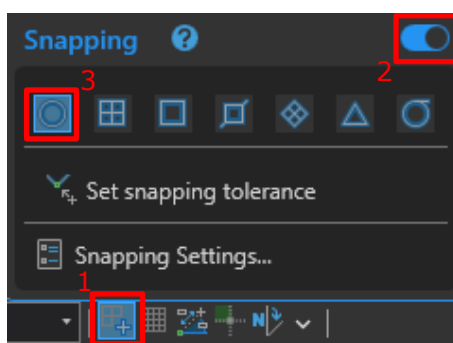
Utworzony zbiór punktów kontrolnych w PUWG „1992” został dodany do mapy. Mapa ma odwzorowanie UW „1942”. Dodane punkty w układzie „1992” (*CtrlPoints92*) są konwertowane w locie i wyświetlane ponad punktami *CtrlPoints42* w PUWG „1942” (pary punktów pokrywają się).

- 6.4. Zachowaj zmiany w projekcie
- 6.5. Zamknij mapę SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B).
- 6.6. Utwórz w ArcGIS Pro nową pustą mapę i nazwij ją SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B) PUWG1992.
- 6.7. Sprawdź czy utworzona mapa ma odwzorowanie PUWG „1992”. Jeśli tak nie jest – nadaj mapie odwzorowanie PUWG „1992” (EPSG: 2180).
- 6.8. Dodaj na scenę przekonwertowany plik punktów kontrolnych CtrlPoints92.
- 6.9. Dodaj na scenę mapy obraz arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B) – smgp0944.jpg.

7. Ustawienie opcji przyciągania

W następnych krokach będziemy kolejno wskazywać naroża obrazu rastrowego SMGP i przypisywać im położenie kolejnych punktów kontrolnych ze zbioru CtrlPoints92. Wymagana tu będzie wysoka precyzja, dlatego zanim do tego przejdziemy musimy ustawić odpowiednie parametry przyciągania.

- 7.1. Z paska narzędzi *szybkiego dostępu Snapping*, dostępnego w dolnej części okna aplikacji, włącz opcję przyciągania (przełącznik w prawym górnym narożu okna) (Ryc. 16) oraz wybierz opcje przyciągania *Point snaps to the nearest point or LAS point feature* (Punkt dołączany do najbliższego punktu lub obiektu punktowego LAS).



Ryc. 16. Okno ustawień opcji narzędzia *Snapping*; ramkami zaznaczono położenie paska narzędzi *Snapping* (1), włącznik opcji przyciągania (2) oraz dołączanie do punktów (3)

8. Kalibracja rastrów

W tej części ćwiczenia, wyświetlonej warstwie mapy SMGP nadamy georeferencję². Mówiąc bardziej przystępnie „wpasujemy ją” w wybrany układ współrzędnych. W praktyce dokonywana jest transformacja z układu współrzędnych grafiki (rzędy i kolumny matrycy rastra) do układu współrzędnych geograficznych (w naszym

² Georeferencja – jest to zbiór danych umożliwiających transformację współrzędnych wyrażonych w układzie pikselowym do układu współrzędnych geodezyjnych elipsoidalnych oraz do dowolnego układu prostokątnego płaskiego (odwzorowania).

przypadku PUWG „1992”). Proces przekształcenie geometrycznego powierzchni warstwy rastrowej wraz z określeniem jej układu współrzędnych nosi nazwę **rektyfikacji**. Proces polega na wskazaniu n par punktów na rektyfikowanej mapie (w naszym przypadku – na warstwie SMGP) oraz odpowiadających im punktów w docelowym układzie odniesienia (np. z wykorzystaniem zwektoryzowanych punktów kontrolnych albo punktów na mapie wzorcowej). Jako „wzorców współrzędnych” najczęściej używa się znanych współrzędnych narożników rektyfikowanego obrazu, map topograficznych albo ortofotomap³. Tak więc w kolejnych krokach będziemy musieli:

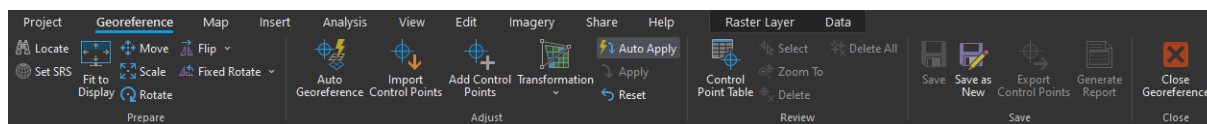
- wybrać lokalizację punktów kontrolnych na rektyfikowanym obrazie,
- nadać im docelowe wartości współrzędnych w wybranym układzie odniesienia,
- ew. wybrać rodzaj transformacji geometrycznej.

Kluczowym punktem transformacji decydującym o jakości wpasowania rastra w wybraną przestrzeń geograficzną jest dobór punktów kontrolnych. Program dokonujący transformacji wykona ją tak dobrze jak dokładnie wskażemy mu pary punktów na mapie rektyfikowanej i wzorcowej. Punkty kontrolne powinny spełniać kryterium trwałości w czasie i łatwości identyfikacji. Takimi obiektami są właśnie naroża rektyfikowanego obrazu mapy o znanych współrzędnych albo np. skrzyżowania głównych dróg, mosty, skrzyżowania dróg linii kolejowych, wiadukty itp. Punkty kontrolne powinny być równomiernie rozłożone na całej mapie. W praktyce dobrze jest zdefiniować po jednym punkcie kontrolnym w każdym z naroży mapy oraz w jej środku. Od ilości punktów zależy wybór rodzaju transformacji. Im więcej punktów tym silniejsze może być przekształcenie, ponieważ program będzie miał więcej danych, na których będzie mógł je oprzeć. Minimalna liczba (w ramach tego projektu) będzie wynosiła 4 punkty.

- 8.1. W panelu *Contents* wybierz warstwę `smgp0944.jpg`, a następnie kliknij na niej PPM i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer* (*Powiększ do warstwy*).
- 8.2. Na wstążce wybierz kartę *Imagery* (*Obrazowanie*), a w grupie *Alignment* (*Wyrównanie*) wybierz polecenie *Georeference* (*Georeferencja*).

Otwiera się nowa karta *Georeference* (*Geoodeniesienie*) ([Ryc. 17](#)), która posiada szereg ciekawych narzędzi (zob. ramka dalej).

³ Ortofotomapa – mapa, której treść jest obrazem aerofotograficznym (zwykle zdjęcia lotnicze lub satelitarne powierzchni Ziemi) przetworzonym metodą różniczkową oraz przedstawiona w nawiązaniu do układu współrzędnych przyjętego odwzorowania kartograficznego. Inaczej zespół przetworzonych zdjęć lotniczych, dopasowanych do jednolitej skali i wpasowanych na punkty osnowy geodezyjnej (fotogrametrycznej).

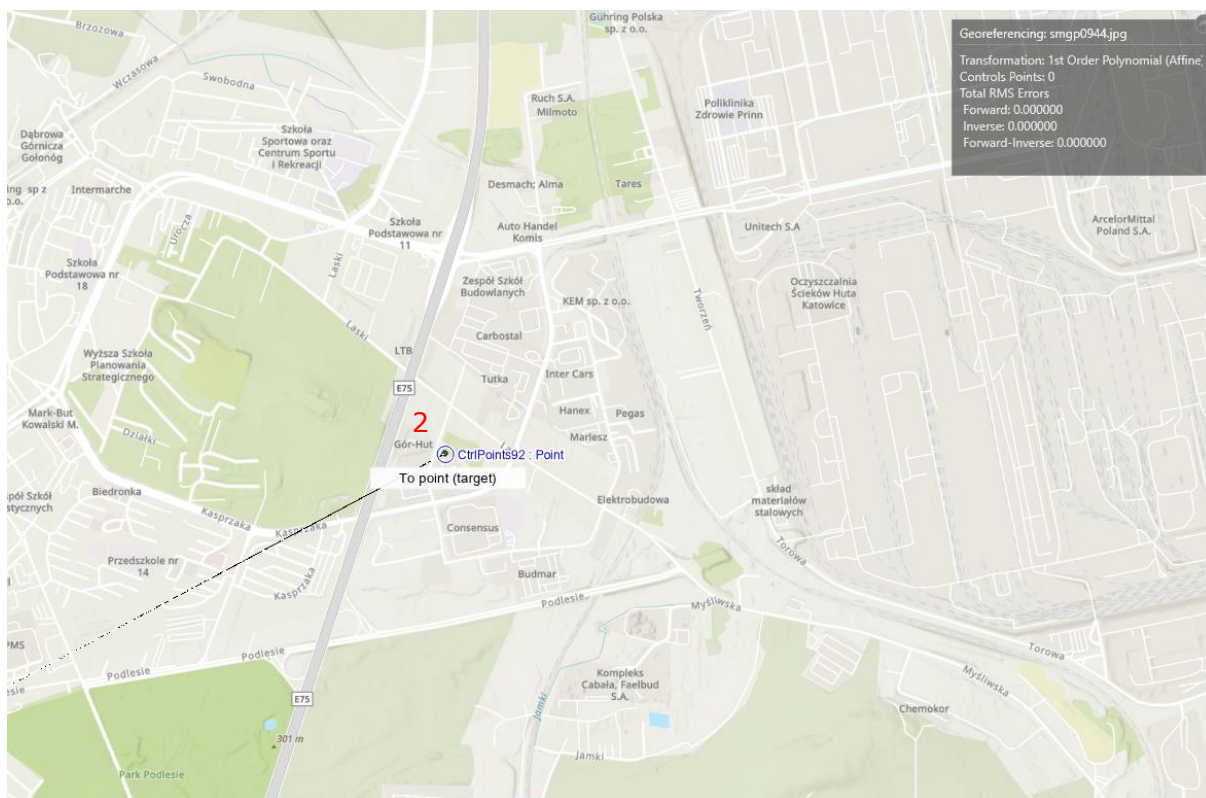
Ryc. 17. Wstążka narzędzi **Georeference**

Narzędzia wstążki **Georeference**

- **Auto Georeference** (*Automatyczna georeferencja*) – narzędzie, które samodzielnie tworzy punkty odniesienia bazując na innym rastrze, który już posiada odniesienie przestrzenne; aby cała operacja mogła się udać rastry muszą być w tej samej skali, korzystać z podobnej skali barw oraz muszą być położone możliwie blisko siebie; ze względu na dość rygorystyczne warunki konieczne do spełnienia, narzędzie to jest raczej mało popularne.
- **Import Control Points** (*Importuj punkty kontrolne*) – narzędzie umożliwia zaimportowanie wcześniej utworzonego zbioru punktów kontrolnych.
- **Add Control Points** (*Dodaj punkty kontrolne*) – podstawowe narzędzie georeferencji służące do dodawania punktów dostosowania (kontrolnych), na podstawie których zostanie przeprowadzona rektyfikacja. Ważna jest kolejność wprowadzanych punktów. Najpierw wskazujemy punkt na rektyfikowanym rastrze, a następnie ten sam punkt na mapie wzorcowej (ze współrzędnymi w docelowym odwzorowaniu kartograficznym).
- **Transformation** (*Transformacja*) – umożliwia wybór transformacji, t.j. przekształcenia matematycznego umożliwiającego dopasowanie dwóch zestawów punktów kontrolnych i minimalizację błędów dopasowania.
- **Control Point Table** (*Tabela punktów kontrolnych*) – wyświetla wszystkie punkty dostosowania wraz ze współrzędnymi źródłowymi (X/Y Source), współrzędnymi docelowymi (X/Y Map) oraz odchyłkami (Residual); z poziomu tabeli możliwe jest wczytanie z pliku tekstowego wcześniej ustalonych punktów dostosowania bądź wyeksportowanie aktualnie wyznaczonych punktów.
- **Rotate** (*Obróć*), **Move** (*Przesuń*), **Scale** (*Skaluj*) – opcje zebrane pod jednym przyciskiem odnoszących się do przedmiotowego rastra.
- **Select** (*Wybierz*) – pozwala zaznaczyć punkt dostosowania.
- **Zoom To** (*Przybliż do*) – przybliży widok mapy do wybranego punktu dostosowania.
- **Delete** (*Usuń połączenie*) – usuwa zaznaczony punkt dostosowania.
- **Viewer** (*Podgląd*) – opcja, za pomocą której możemy uruchomić dodatkowe okno, w którym będzie wyświetlony rektyfikowany raster; możliwe jest wyświetlenie obok siebie głównego okna programu oraz okna pomocniczego i wykonywanie kalibracji używając dwóch okien.

Dokonyamy teraz rektyfikacji rastra SMGP `smgp0944.jpg` do układu projektu (PUWG „1992”). Za wzorzec współrzędnych obiektów wybranej przestrzeni geograficznej posłużymy utworzony zbiór punktów kontrolnych `CtrlPoints92`. Od tego momentu będą one nazywane **punktami dostosowania**.

- 8.3. Odszukaj północno-zachodni narożnik mapy (Ryc. 8). Będzie on pierwszym punktem dostosowania.
- 8.4. Z karty *Georeference* wybierz narzędzie *Add Control Points* (*Dodaj punkty kontrolne*; Ryc. 17), a następnie w północno-zachodnim narożu mapy, jak możesz najdokładniej, kliknij pierwszy punkt pierwszej pary punktów dostosowania (1).
- 8.5. Używając polecenia *Zoom to Layer* przenieś się do przestrzeni punktów w odwzorowaniu „1992” i kliknij odpowiadający mu północno-zachodni punkt kontrolny (2) ze zbioru `CtrlPoints92` (Ryc. 18).



Ryc. 18. Wprowadzanie drugiego z pierwszej pary punktów dostosowania

Pierwsza para punktów dostosowania została dodana. SMGP została automatycznie przesunięta w ten sposób, że północno-zachodni narożnik mapy pokrywa się teraz z północno-zachodnim punktem ze zbioru punktów kontrolnych klasy `CtrlPoints92` (Ryc. 19).



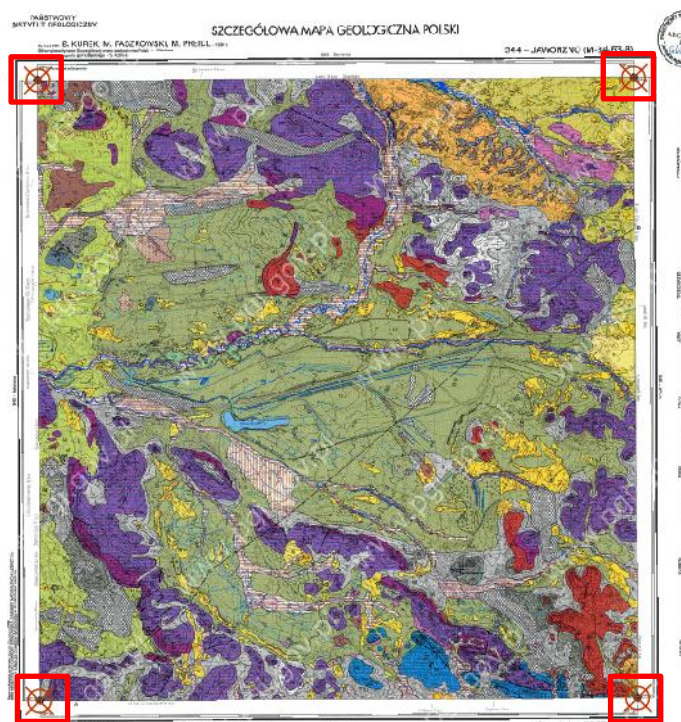
Ryc. 19. SMGP przesunięta północno-zachodnim narożem do pierwszego punktu dostosowania

- 8.6. W ten sam sposób (punkty 8.3–8.5) dodaj kolejne trzy pary punktów dostosowania.

UWAGA!

Definiując pary punktów dostosowania, **zawsze** jako **pierwszy** deklarujemy **punkt na rektyfikowanej grafice** (w naszym przypadku na arkuszu SMGP), a dopiero potem odpowiadający mu **punkt wzorcowy** (u nas punkt kontrolny ze zbioru CtrlPoints92).

Jeśli wszystko przebiegło pomyślnie to powinniście zobaczyć arkusz SMGP wpasowany w układ współrzędnych „1992” (Ryc. 20).

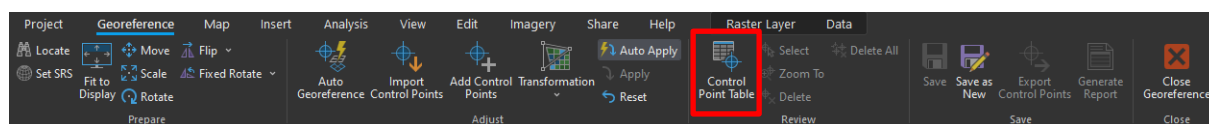


Ryc. 20. Arkusz SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B) wpasowany w układ współrzędnych geograficznych punktów kontrolnych PUWG „1992”

9. Kontrola jakości punktów dostosowania

Po zgromadzeniu wszystkich czterech par punktów dostosowania, warto skontrolować jakość przeprowadzonej rektyfikacji.

- 9.1. Z paska narzędzi *Georeference* wybierz narzędzie *Control Point Table* (Tabela punktów kontrolnych; Ryc. 21).



Ryc. 21. Wstążka narzędzi *Georeference* z zaznaczonym narzędziem *Control Point Table*

Narzędzie *Control Point Table* tworzy tabelę (Ryc. 22) zawierającą zbiorcze informacje o wszystkich utworzonych parach punktów dostosowania i pokazuje błędy wynikające z niedokładności map oraz błędy wskazań punktów na ekranie komputera.

1st Order Polynomial (Affine)									
	Link	Source X	Source Y	Map X	Map Y	Residual X	Residual Y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1 956.461817	-592.217275	517 663.158500	274 014.174800	1.319706	-0.042742	1.320398	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	6 163.019572	-587.078263	535 450.514600	274 103.827300	-1.319705	0.042742	1.320397	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	6 171.006789	-4 967.991904	535 574.853900	255 577.754800	1.315499	-0.042606	1.316189	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	1 950.999136	-4 973.142645	517 725.346200	255 488.006500	-1.315500	0.042606	1.316190	

Ryc. 22. Tabela błędów dostosowania; ramka prezentuje błędy poszczególnych punktów dostosowania

Tabela błędów dostosowania zawiera szczegółowe informacje na temat współrzędnych lokalnych pliku graficznego (*Source X*, *Source Y*), współrzędnych tych

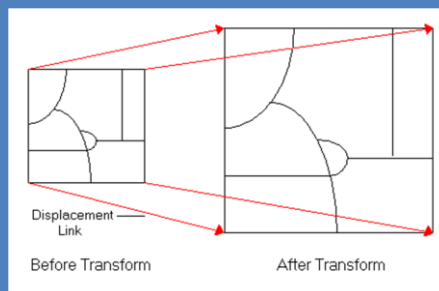
samych punktów na mapie wzorcowej (*Map X, Map Y*), a także błędów poszczególnych par punktów dostosowania zrzutowanych na osie X, Y oraz błędy resztkowe dostosowania punktów (*residuals*).

CZYM JEST TRANSFORMACJA?

JAK ROZUMIEĆ ŚREDNI BŁĄD KWADRATOWY TRANSFORMACJI?

Transformacje to przekształcenia dokonywane pomiędzy różnymi układami współrzędnych. Często są one wykorzystywane do konwersji danych z nieznanych układów współrzędnych np. skanowanych map, na rzeczywiste współrzędne geograficzne (projekcje kartograficzne).

Transformacje opierają się na porównaniu współrzędnych punktów kontrolnych źródłowego i docelowego, w specjalnych elementach zwanych łączami dostosowania (*displacement links*). W przypadku transformacji, do i od lokalizacji, łączy są używane do konstruowania formuł transformacji. Można tworzyć te łączy interaktywnie, wskazując znane miejsca źródłowe i docelowe, lub ładując odpowiednie pliki tekstowe łączy lub punktów kontrolnych.

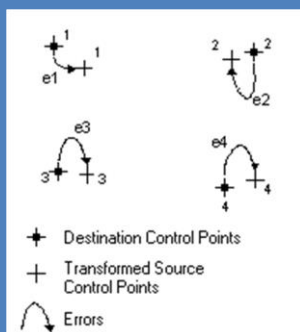


Podczas tworzenia łączy transformacji próbujemy dopasować ten sam punkt w lokalizacjach źródłowej i docelowej, np. możemy chcieć przekształcić współrzędne warstwy dróg do innego układu współrzędnych. Podczas tworzenia łączy dostosowania stosowane są różne metody matematyczne:

- afiniczna (domyślna) – wymaga minimum 3 par punktów dostosowania,
- podobieństwa – wymaga minimum 2 par punktów dostosowania, RMS liczony jest z minimum 3 par punktów,
- projekcji – wymaga minimum 4 par punktów dostosowania.
- Każda z metod wykorzystuje charakterystyczne dla siebie funkcje przeliczeniowe, np. przekształcenia afiniczne mają postać:
 - $x' = Ax + By + C$
 - $y' = Dx + Ey + F$
- gdzie:
 - x, y – współrzędne warstwy wejściowej (lokalne),
 - x', y' – współrzędne docelowe (po transformacji),
 - A, B, C, D, E, F – parametry transformacji określane poprzez porównanie położenia punktów kontrolnych lokalnych i docelowych.

CD...

Parametry transformacji są najlepiej dopasowywane na podstawie par współrzędnych punktów źródłowych i docelowych. Podczas przekształcania, obraz źródłowy jest skalowany, obracany, przechylany i przesuwany aby jak najlepiej dopasować go do nowych współrzędnych docelowych. Skonwertowane współrzędne poszczególnych punktów dostosowania nie będą idealnie pasować do prawdziwych lokalizacji docelowych punktów kontrolnych. Są to tzw. błędy reszkowe (*residuals*). Są one miarą dopasowania pomiędzy prawdziwymi lokalizacjami a przekształconymi współrzędnymi wyjściowymi punktów kontrolnych. Ten błąd jest generowany dla każdego łącza przemieszczenia osobno.



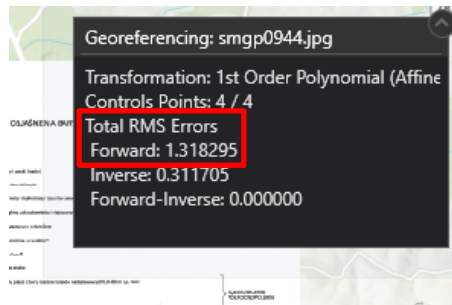
Średni błąd kwadratowy (RMS – *root mean square*) mierzy błędy między docelowymi punktami kontrolnymi a przekształconymi lokalizacjami źródłowymi wszystkich punktów kontrolnych.

$$\text{RMS error} = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2}{n}}$$

Błędy reszkowe wyrażone są w jednostkach mapy (najczęściej w metrach). Na ich podstawie można wyrobić sobie opinię o jakości punktów kontrolnych przeprowadzanej transformacji. W naszym przypadku ([Ryc. 22](#)), wszystkie punkty generują podobne błędy reszkowe wynoszące około 1,3 m. Osoba tworząca projekt musi krytycznie ocenić czy uzyskane błędy są akceptowalne czy nie. Jeśli nie są akceptowalne, można:

- wyłączyć uwzględnianie w transformacji najgorszej pary punktów dostosowania,
- usunąć najgorszą parę punktów dostosowania lub podmienić ją nową parą punktów.

W naszym przypadku zależy nam na jak najlepszym dopasowaniu arkusza SMGP dlatego te błędy powinny być minimalizowane. Błędy dopasowanie poszczególnych par punktów na poziomie 1,3 m nie są duże dlatego otrzymany średni błąd kwadratowy (RMS – *root mean square*; [Ryc. 23](#)) na poziomie 1,318295 m jest jak najbardziej do zaakceptowania.



Ryc. 23. Podsumowanie wyników rektyfikacji; ramką zaznaczono wartość średniego błędu dostosowania RMS

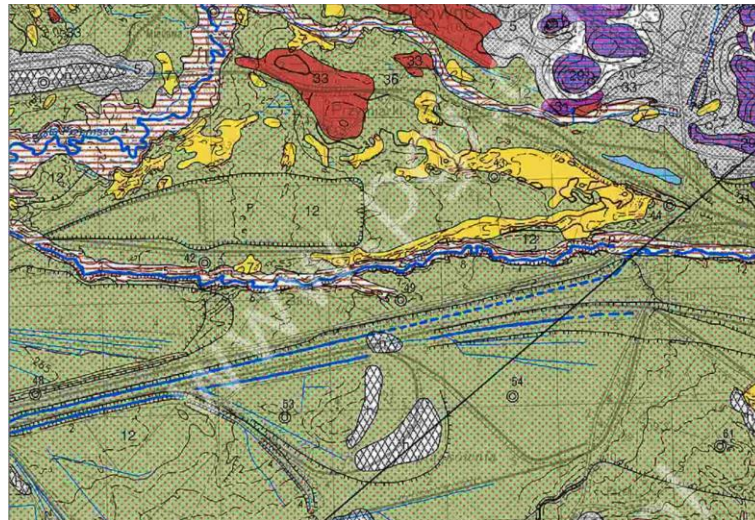
- 1.1. Aby zachować utworzone przekształcenie, z menu *Georeference* wybierz polecenie *Save (Zachowaj)*, a następnie *Close Georeference (Zamknij georeferencję)*.

W ten sposób transformaty mapy zostaną zapamiętane.

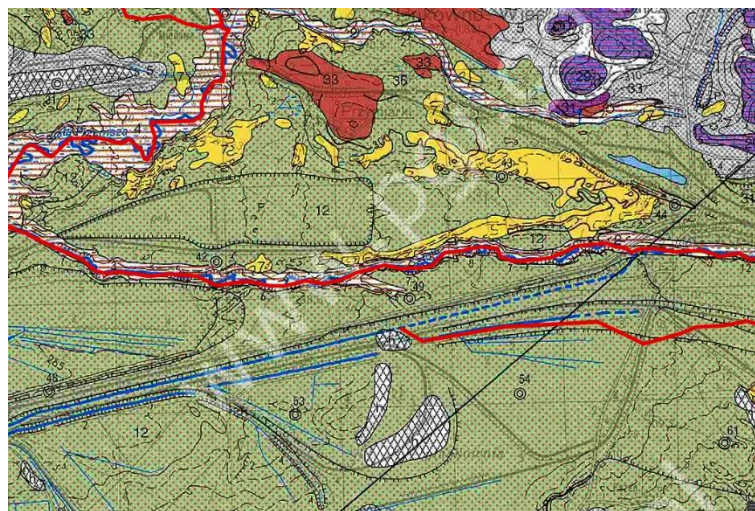
10. Test rektyfikacji

- 10.1. Aby sprawdzić jakość rektyfikacji dodaj na scene warstwę z ciekami powierzchniowymi. Może to być np. warstwa BDOO (`main.ot_swrs_1`). Pamiętając o tym, że BDOO jest zbiorem zgeneralizowanym, porównaj położenie wektorów cieków powierzchniowych względem mapy rastrowej (Ryc. 24).

A



B



Ryc. 24. Test dopasowania cieków powierzchniowych względem zrektyfikowanego rastra SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B); A – zrektyfikowana mapa rastrowa, B – zrektyfikowana mapa rastrowa z nałożoną siecią cieków powierzchniowych (czerwone linie)

Jak widać obraz `smgp0944.jpg` został poprawnie zrektyfikowany i posiadając współrzędne PUWG „1992” może stanowić źródło danych GIS.

11. Bibliografia

Dz.U. 2000 nr 70 poz. 821. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych.

W.T. G-1.10, 2001. Wytyczne Techniczne: *Formuły odwzorowawcze i parametry układów współrzędnych*. Główny Geodeta Kraju, Warszawa, 103.

<https://gis-support.pl/co-to-jest-epsg/>