

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Rektyfikacja map geologicznych SMGP

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 4

Tomasz Bartuś
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.
2023-03-21

Wprowadzenie

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS 10.X for Desktop.

W tym ćwiczeniu nauczymy się:

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

Ćwiczenie 3

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 tutoriala niezrektyfikowane mapy będą nazywane grafikami albo obrazami. Mapy geologiczne są przez PIG-PIB publikowane 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 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 oba układy 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 WSPÓŁRZĘDNE!**

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

Parametr	UW „1942”	PUWG „1992”
EPSG	Pasy południkowe o szer. 3°: południk osiowy 15°E – 3329 południk osiowy 18°E – 3330 południk osiowy 21°E – 3331 południk osiowy 24°E – 3332 Pasy południkowe o szer. 6°: południk osiowy 15°E – 3333 południk osiowy 21°E – 3334 południk osiowy 27°E – 3335	2180
Elipsoida	Krasowskiego	WGS1984
Układ odniesienia	Pulkovo	-
Odwzorowanie	Walcowe Gaussa-Krugera, styczne	Walcowe 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](#) (Fig. 1).

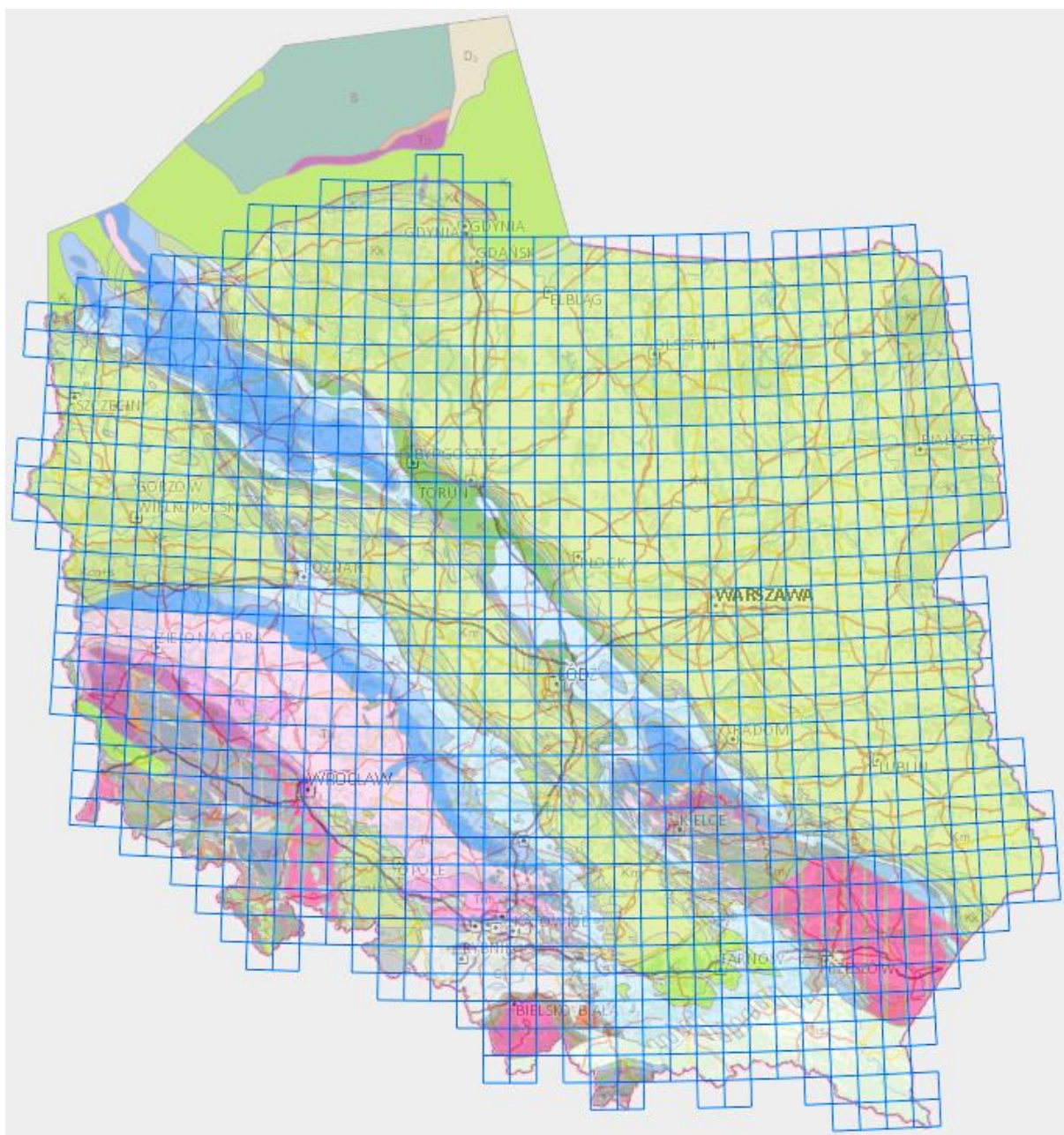


Fig. 1. Podział obszaru Polski na arkusze SMGP w skali 1:50 000 (Portal mapowy Geologia)

- 1.2. Powiększenie mapy w portalu pozwala na szczegółowe zapoznanie się z podziałem mapy na arkusze w skali 1: 50 000 (Fig. 2).

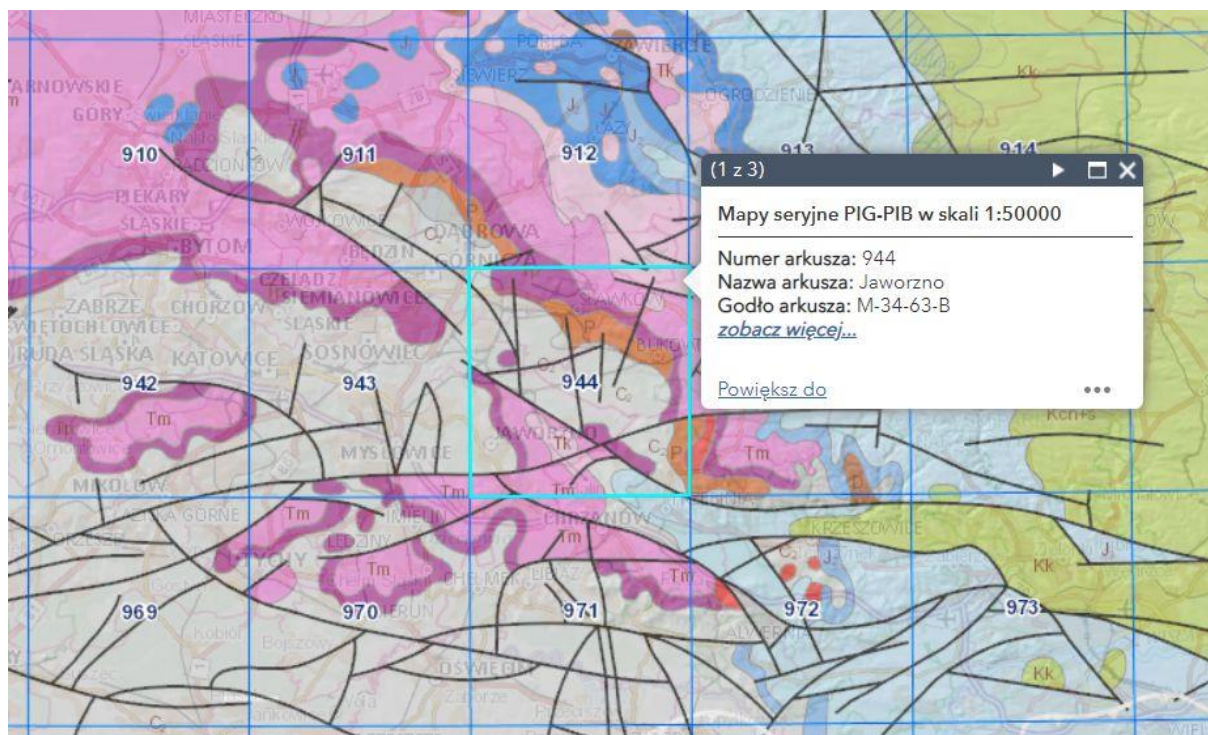


Fig. 2. Powiększony fragment okna portalu mapowego Geologia z widocznymi szczegółami dotyczącymi arkusza SMGP Jaworzno (Portal mapowy Geologia)

- 1.3. Kliknięcie na napis „zobacz więcej” umożliwia dostęp do zasobów Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG) (Fig. 3).

Seryjne mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000, arkusz 944 –
Jaworzno (M-34-63-B)

Serial geological maps of Poland 1:50 000, sheet 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

SMGP – tekst do mapy (SMGP – Explanation to the map)
SMGP – skan mapy (SMGP – Scanned map)
SMGP – metryki otworów (SMGP – Borehole metrics)
MLP – Skan mapy (MLP – Scanned map)
MHP – tekst do mapy (MHP – Explanation to the map)
MHP – skan mapy (MHP – Scanned map)
MHP-PPW-WH – skan mapy (MHP-PPW-WH – Scanned map)
MHP-PPW-WJ – tekst do mapy (MHP-PPW-WJ – Explanation to the map)
MHP-PPW - jakość – skan mapy (MHP-PPW - quality – Scanned map)
MHP-PPW - wrażliwość – skan mapy (MHP-PPW - vulnerability – Scanned map)
MGŚP – tekst do mapy (MGŚP – Explanation to the map)
MGŚP plansza A – skan mapy (MGŚP Sheet A – Scanned map)
MGŚP plansza B – skan mapy (MGŚP Sheet B – Scanned map)
MGŚP (II) – tekst do mapy – woj. małopolskie (MGŚP (II) – Explanation to the map)
MGŚP (II) – tekst do mapy – woj. śląskie (MGŚP (II) – Explanation to the map)
MGŚP (II) plansza A – skan mapy (MGŚP (II) Sheet A – Scanned map)
MGŚP (II) plansza B – skan mapy (MGŚP (II) Sheet B – Scanned map)

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

- 1.4. Aby pozyskać wybrany skan SMGP należy kliknąć na link **SMGP – skan mapy (SMGP – Scanned map)** (Fig. 4).

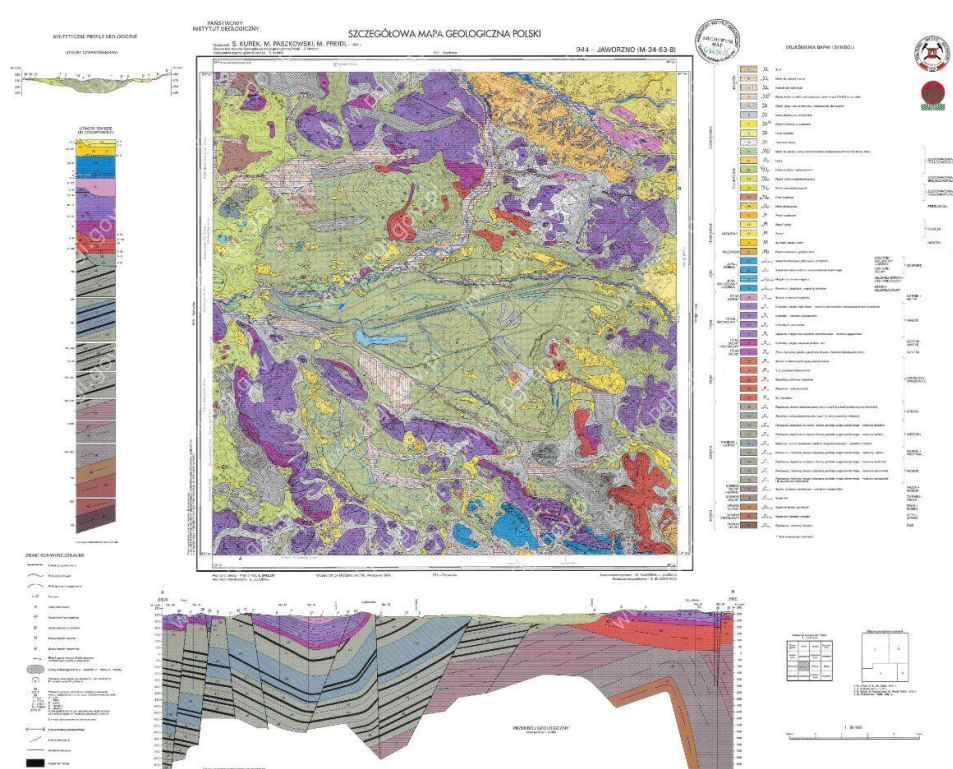


Fig. 4. Skan arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B)

- 1.5. Pobraną mapę zachowujemy w folderze /rektyfikacja/GEOL/SMGP/raster.

2. Dodanie arkusza SMGP na scenę ArcMap

- 2.1. Uruchom program *ArcMap*.
 2.2. Sprawdź jaki układ współrzędnych wykorzystano do utworzenia SMGP 972 – Krzeszowice (M-34-64-C). Można to zrobić szukając w zasobach Internetu informacji o [metadanych](#) tego arkusza (Fig. 5).

INFORMACJE O ZASOBIE:	
Typ zasobu:	kod [dataset] - zbiór danych
Układ współrzędnych:	urn:ogc:def:crs:EPSG:7.9:3334

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

Jak widać na Fig. 5, arkusz Jaworzno używa współrzędnych w układzie o **EPSG¹ 3334**. Jest to stare odwzorowanie Gaussa-Kruger'a styczne z 1942 roku, wykorzystujące

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).

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° (Fig. 6).

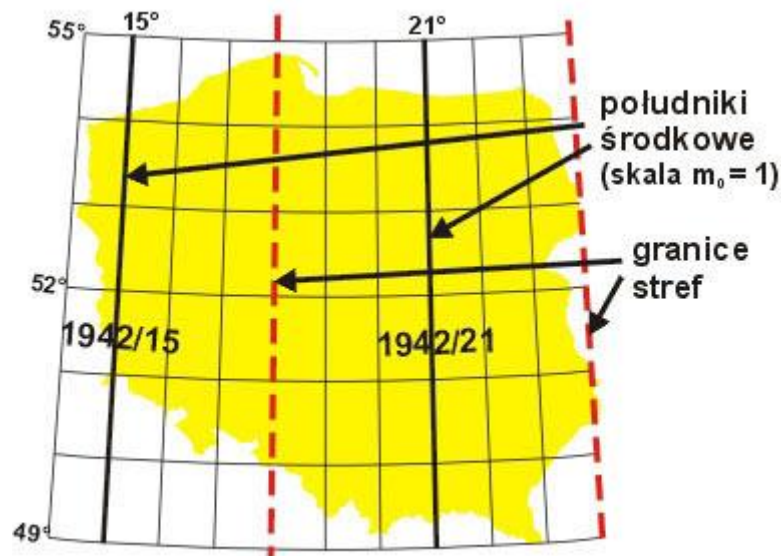


Fig. 6. Podział Polski na dwie 6-stopniowe strefy układu współrzędnych "1942"

- 2.3. Zmień odwzorowanie ramki danych ArcMap na projekcję o kodzie EPSG 3334. Jak widać, rzeczywiście to odwzorowanie „1942” (Fig. 7).

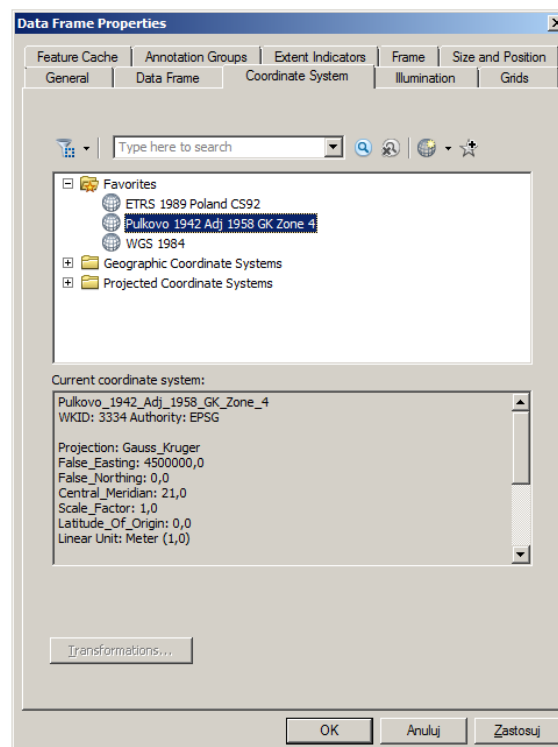


Fig. 7. Definicja odwzorowania ramki danych pliku projektowego

- 2.4. Zapisz plik projektowy jako Jaworzno42.mxd.

- 2.5. Zmień nazwę pobranego pliku smgp0944.jpg na Jaworzno.jpg.
- 2.6. Dodaj na scenę plik Jaworzno.jpg. Zignoruj komunikat o braku georeferencji dodanego obrazu.


3. Wprowadzanie punktów kontrolnych narożników obrazu mapy

- 3.1. Powiększ fragment północno-zachodniego narożnika mapy i odczytaj jego współrzędne (Fig. 8).



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

Odczytane współrzędne to: 19° 15' 00'' E oraz 50° 20' 00'' N.

- 3.2. Klikając w ikonę  w menu głównym uruchom narzędzie *Go To XY*.
- 3.3. W ustawieniach narzędzia wybierz jednostki do wprowadzania na *Degrees Minutes Seconds* (Fig. 9).

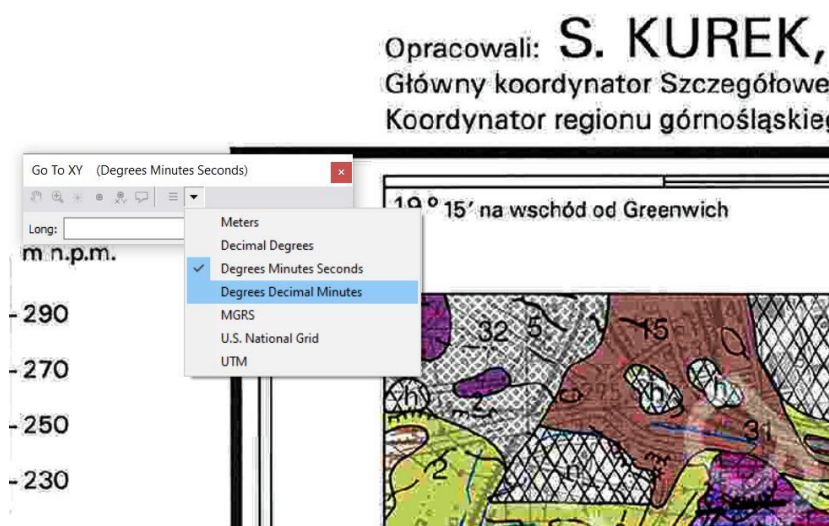


Fig. 9. Ustawienia narzędzia *Go To XY*

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

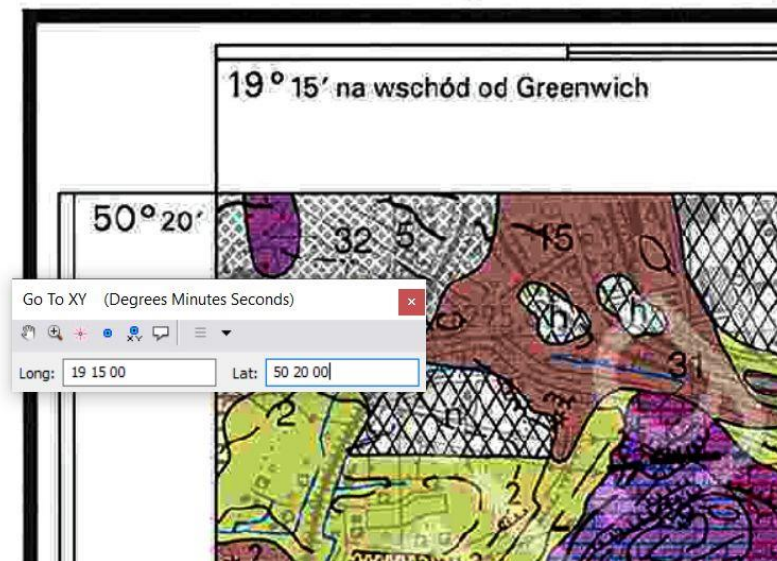



Fig. 10. Okno narzędzia *Go To XY* z wprowadzonymi współrzędnymi pierwszego punktu kontrolnego

- 3.5. W narzędziach okna *Go To XY* kliknij na ikonkę *Add Point* .

Na scenę zostanie dodany punkt. Będzie 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.

- 3.6. Powiększając kolejno pozostałe naroża mapy, w analogiczny sposób wprowadź pozostałe trzy punkty narożników mapy (Fig. 11).

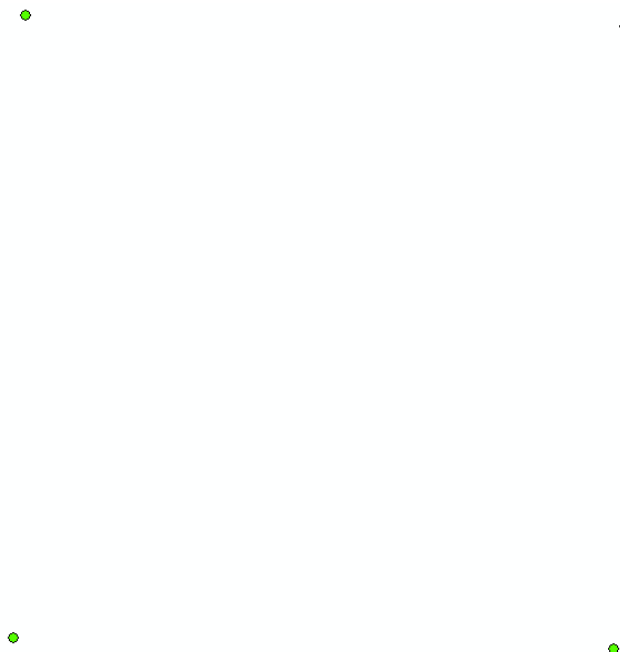


Fig. 11. Naniesiony zbiór graficznych punktów kontrolnych naroży mapy

4. Konwersja graficznych punktów kontrolnych narożników mapy do klasy obiektów punktowych ESRI shapefile

Jak już wspomniano, punkty dodane w rozdziale 3 są grafiką, którą trzeba teraz przekonwertować do klasy obiektów punktowych shapefile.

- 4.1. Z paska narzędzi *Drawing* wybierz opcję *Konwertuj grafikę do klasy obiektów* (*Convert Graphics To Features*) (Fig. 12).

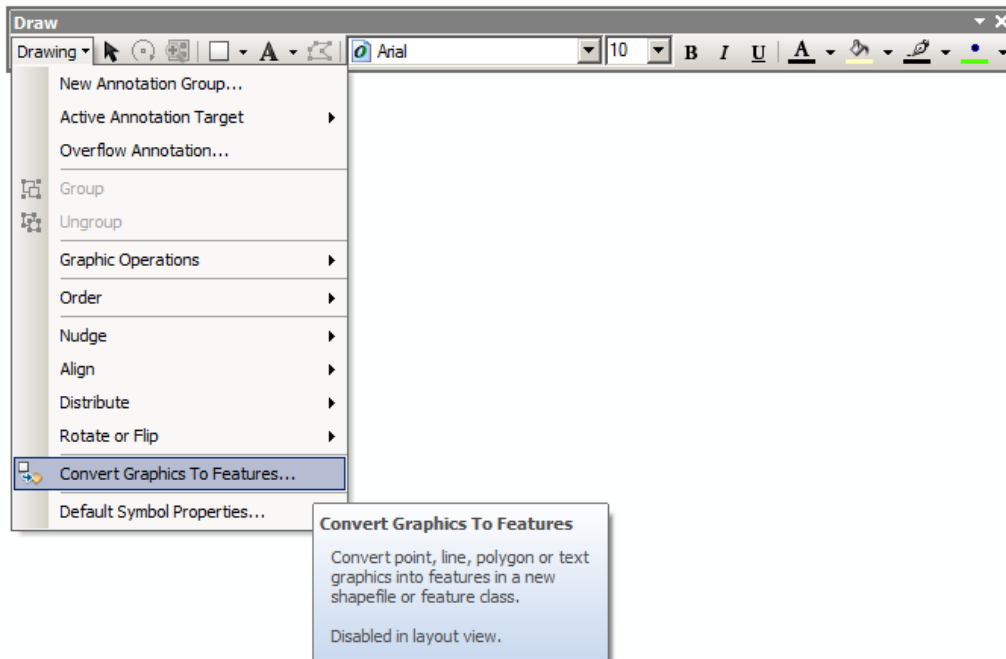


Fig. 12. Pasek narzędzi *Draw* z narzędziem *Konwertuj grafikę do klasy obiektów* (*Convert Graphics To Features*)

- 4.2. Zwróć uwagę, aby plik shapefile otrzymał odwzorowanie ramki danych – czyli UW „1942” oraz nazwę SMGPPJaworznoCtrlPoints42.shp i został zapisany do folderu projektowego (Fig. 13).

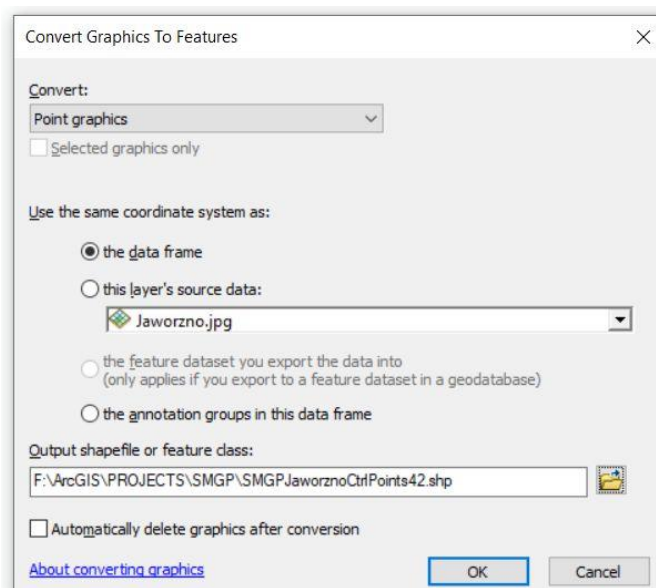


Fig. 13. Okno dialogowe *Konwertuj grafikę do klasy obiektów (Convert Graphics To Features)*

- 4.3. Po prawidłowym wypełnieniu okna dialogowego *Konwertuj grafikę do klasy obiektów (Convert Graphics To Features)* kliknij *OK*.
- 4.4. Gdy pojawi się okno z zapytaniem czy dodać wyeksportowane dane do tabeli zawartości jako warstwę – potwierdź – *Tak*.

W tabeli zawartości pojawi się utworzona warstwa z punktami kontrolnymi naroży mapy (Fig. 14).

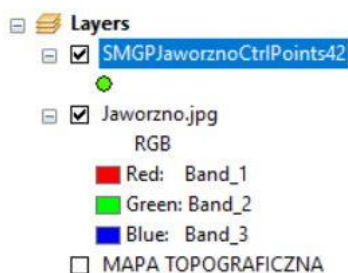


Fig. 14. Tabela zawartości z utworzoną warstwą punktów kontrolnych

- 4.5. Mamy już klasę obiektów w pliku shapefile, dlatego utworzone punkty graficzne nie będą nam już potrzebne. Możemy je więc usunąć. Z paska narzędzi *Draw* wybierz narzędzie *Zaznacz obiekty (Select Elements)*, a następnie zaznacz wszystkie punkty graficzne i usuń je ze sceny naciskając przycisk *Delete*.

5. Konwertowanie współrzędnych obiektów pomiędzy różnymi odwzorowaniami

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”.

- 5.1. Korzystając z narzędzia *Wyszukaj (Search)*, wyszukaj narzędzia o nazwie **Project**. Pozwala ono na konwersję współrzędnych obiektów pomiędzy dowolnymi odwzorowaniami.
- 5.2. Jako zbiór danych wejściowych wprowadź zbiór punktów kontrolnych w UW „1942” – SMGPJaworznoCtrlPoints42.shp, zaś jako zbiór wyjściowy SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp. Jako docelowe odwzorowanie zbioru wyjściowego zdefiniuj PUWG „1992” (Fig. 15).

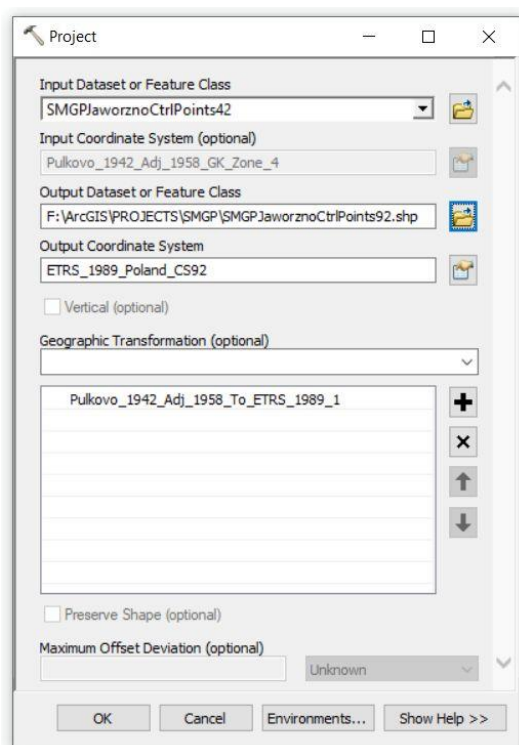


Fig. 15. Okno dialogowe konwersji współrzędnych punktów kontrolnych z układu „1942” na układ „1992”

Jak widać na Fig. 16 współrzędne punktów różnią się od siebie.



Fig. 16. Różnica położenia pary punktów kontrolnych naroży mapy w układach "1942" (punkt zielony) i "1992" (punkt czerwony)

- 5.3. Zachowaj zmiany i zamknij plik projektowy `Jaworzno42.mxd`.
- 5.4. Otwórz w ArcMap nowy pusty plik i nazwij go `Jaworzno92.mxd`.
- 5.5. W nowym pliku `Jaworzno92.mxd` nadaj ramce danych odwzorowanie PUWG „1992” (EPSG: 2180).
- 5.6. Dodaj na scenę przekonwertowany plik punktów kontrolnych `SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp`.
- 5.7. Dodaj na scenę mapy obraz skanu arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B) – `Jaworzno.jpg`.

6. Ustawienie opcji przyciągania

W następnych krokach będziemy kolejno wskazywać naroża pliku rastrowego obrazka SMGP i przypisywać im położenie kolejnych punktów kontrolnych ze zbioru `SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp`. Wymagana tu będzie wysoka precyzja, dlatego zanim do tego przejdziemy musimy ustawić odpowiednie parametry przyciągania.

- 6.1. Wprowadź ArcMap w tryb edycji.
- 6.2. Z paska narzędzi *Edytor (Editor)* wybierz *Opcje (Options)*.
- 6.3. W oknie dialogowym zaznacz opcję *Use classic snapping* i potwierdź to przyciskiem *OK* (Fig. 17).

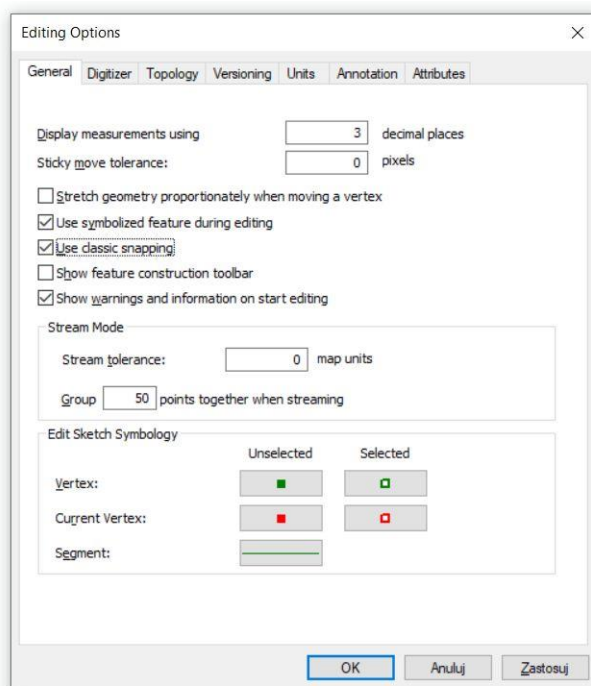


Fig. 17. Okno ustawień opcji Edytora

- 6.4. Z paska *Edytor (Editor)* wybierz *Snapping*, a potem *Snapping Window* (Fig. 18) i zaznacz wszystkie trzy opcje związane z dociąganiem (Fig. 19).

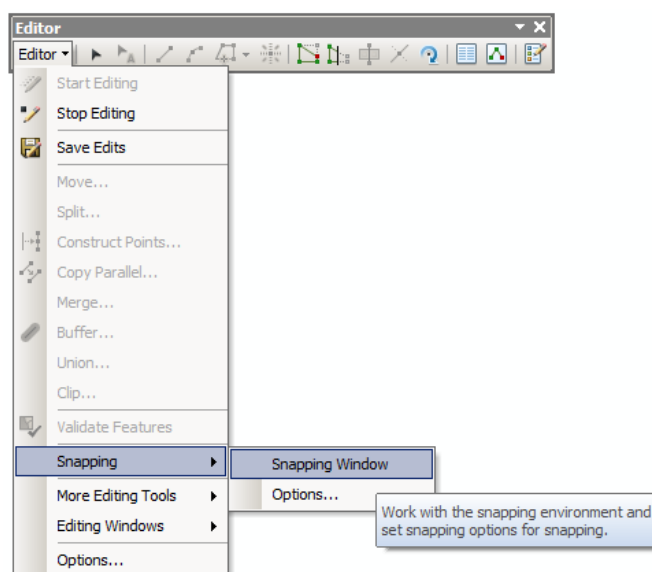


Fig. 18. Opcja *Snapping Window* paska narzędzi *Editor*

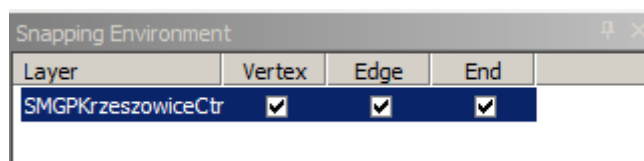


Fig. 19. Opcje Środowiska Przyciągania (*Snapping Environment*)

- 6.5. Zamknij okno ***Snapping Environment***.

7. Kalibracja rastrów

W tej części ćwiczenia, wyświetlonej warstwie mapy geologicznej 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 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,
- 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.

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).

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).

- 7.1. Z menu *Dostosuj (Customize) > Narzędzia (Toolbars)* wyciągnij na scenę pasek narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)*.

Pasek narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)*; [Fig. 20](#), [Tab. 2](#)) posiada szereg ciekawych narzędzi.



Fig. 20. Pasek narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)*

Tab. 2. Narzędzia paska *Geoodniesienie (Georeferencing)*

- **Choose Georeferencing Layer** (*Wybierz Warstwę do Georeferencji*) – w tym polu należy wybrać warstwę rastrową, którą chcemy rektyfikować (jeżeli w projekcie nie będzie żadnych warstw rastrowych okno będzie puste i cały pasek narzędzi będzie nieaktywny).
- **Add Control Points** (*Dodaj Punkty Kontrolne*) – podstawowe narzędzie georeferencji służące do dodawania punktów, 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).
- **Auto Registration** (*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.
- **Select Link** (*Wybierz Połączenie*) – pozwala zaznaczyć punkt dostosowania.
- **Zoom To Selected Link** (*Przybliż do Wybranego Połączenia*) – przybliża widok mapy do wybranego punktu dostosowania.
- **Delete Link** (*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.
- **View Link Table** (*Pokaż Tabelę Połączeń*) – 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*), **Shift** (*Przesuń*), **Scale** (*Skaluj*) – opcje zebrane pod jednym przyciskiem odnoszących się do przedmiotowego rastra.
- **Measurement** (*Wymiar*) – okno powiązane z narzędziami opisanymi w poprzednim punkcie; w tym miejscu możemy wpisać dokładny kąt obrotu, wektor przesunięcia lub współczynnik skali.

Dokonamy teraz rektyfikacji rastra SMGP *Jaworzno.jpg* do układu przestrzeni projektu („1992”). Za wzorzec współrzędnych obiektów wybranej przestrzeni geograficznej posłużą nam utworzony zbiór punktów kontrolnych *SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp*.

- 7.2. Powiększ fragment SMGP obejmujący północno-zachodnie naroże mapy.
- 7.3. Z paska narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)* wybierz narzędzie *Dodaj Punkt Kontrolny (Add Control Points)*; [Fig. 21](#)).

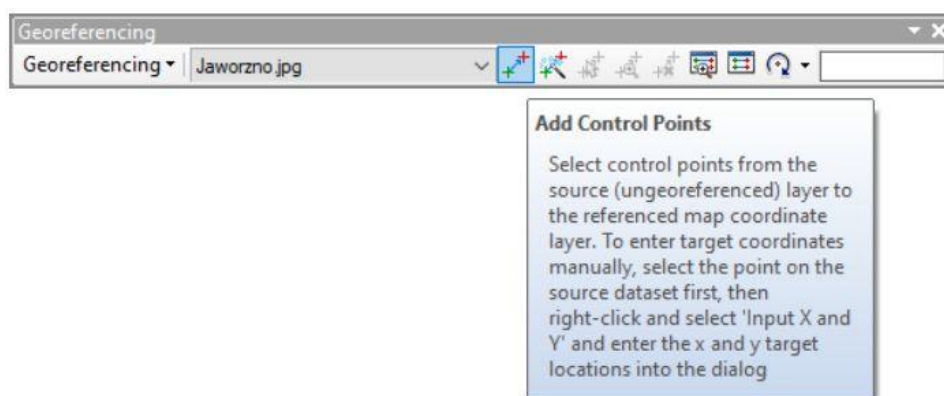


Fig. 21. Pasek narzędzi Geoodniesienie (Georeferencing) z wybranym narzędziem Dodawanie punktów kontrolnych (Add Control Points)

- 7.4. W północno-zachodnim narożniku mapy precyzyjnie kliknij pierwszy punkt pierwszej pary punktów dostosowania (1), a następnie używając polecenia *Zoom to Layer* przenieś się do przestrzeni punktów w odwzorowaniu „1992” i kliknij odpowiadający mu północno-zachodni punkt kontrolny (2) ze zbioru SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp (Fig. 22).

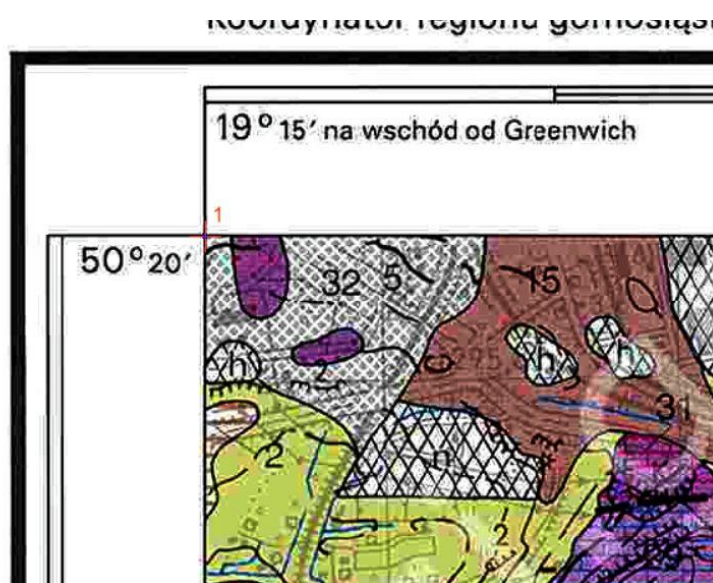


Fig. 22. Wprowadzanie pierwszej pary punktów kontrolnych

Pierwsza para punktów kontrolnych została dodana. SMGP została automatycznie przesunięta w ten sposób, że północno-zachodni narożnik mapy pokrywa się z północno-zachodnim punktem ze zbioru punktów kontrolnych pliku

SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp.

- 7.5. W ten sam sposób (punkty 7.2–7.4) dodaj kolejne trzy pary punktów kontrolnych.

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 SMGPJaworznoCtrlPoints92.shp).

Jeśli wszystko przebiegło pomyślnie to powinieneś zobaczyć arkusz SMGP wpasowany w układ współrzędnych „1992” (Fig. 23).

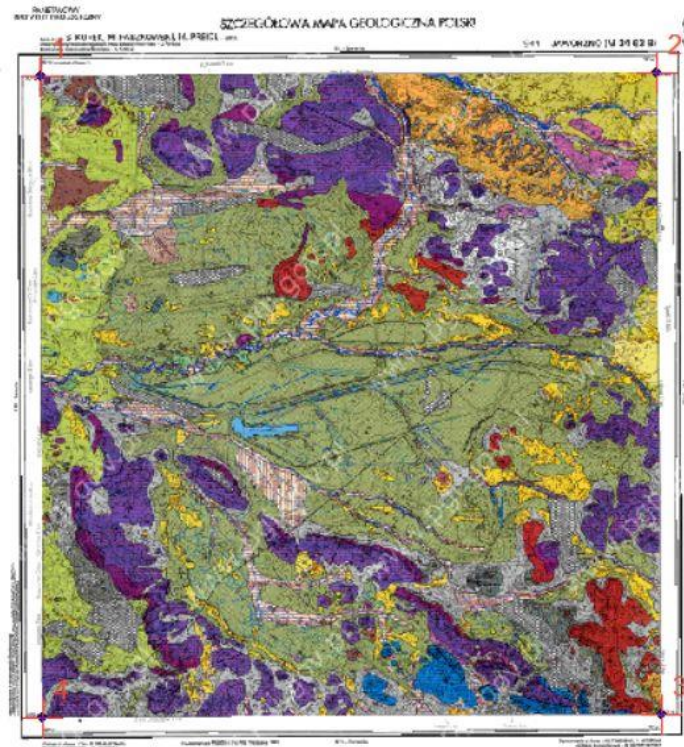


Fig. 23. Arkusz SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B) wpasowany w układ współrzędnych geograficznych punktów kontrolnych PUWG „1992”

8. Kontrola jakości punktów dostosowania

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

- 8.1. Z paska narzędzi *Geoodniesienie* (*Georeferencing*) wybierz narzędzie *Zobacz Tabelę Dostosowania* (*View Link Table*; Fig. 24).



Fig. 24. Pasek narzędzi *Georeferencing* z zaznaczonym narzędziem *Zobacz Tabelę Dostosowania* (*View Link Table*)

Narzędzie *Zobacz Tabelę Dostosowania* (*View Link Table*) prezentuje tabelę (Fig. 25) zawierającą zbiorcze informacje o wszystkich utworzonych parach punktów dostosowania i pokazuje sumaryczne błędy wynikające z niedokładności map oraz błędy wskazań punktów na ekranie komputera.

Link								
			Total RMS Error:		Forward: 1,68967			
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/> 1	1956,55929819	-592,23445273	517663,15848...	274014,17475...	1,69024745	0,08370974	1,69231905	
<input checked="" type="checkbox"/> 2	6163,03061547	-587,03911860	535450,51453...	274103,82733...	-1,69020032	-0,08370740	1,69227186	
<input checked="" type="checkbox"/> 3	6170,56568149	-4967,97023669	535574,85393...	255577,75483...	1,68495346	0,08344755	1,68701857	
<input checked="" type="checkbox"/> 4	1950,99578527	-4973,05919616	517725,34621...	255488,00651...	-1,68500059	-0,08344989	1,68706576	

☒ Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)
☐ Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Fig. 25. Tabela błędów dostosowania

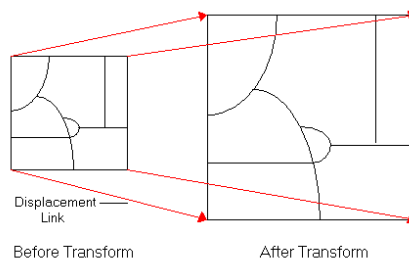
Tabela błędów dostosowania zawiera szczegółowe informacje na temat współrzędnych lokalnych pliku graficznego (*Z Source*, *Y Source*), współrzędnych tych samych punktów na mapie wzorcowej (*X Map*, *Y Map*), a także błędów poszczególnych par punktów dostosowania zrzutowanych na oś X, Y, błędu całkowitego dostosowania punktu oraz średniego błędu kwadratowego (RMS).

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 nieznanymi układami 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 (ang. *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 ładować 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:

- 1) afiniczna (domyślna) – wymaga minimum 3 par punktów dostosowania,
- 2) podobieństwa – wymaga minimum 2 par punktów dostosowania, RMS liczony jest z minimum 3 par punktów,

3) projekcji – wymaga minimum 4 par punktów dostosowania.

Każda z metod wykorzystuje charakterystyczne dla siebie funkcje przeliczeniowe, np. przekształcenia afiniczne mają postać:

$$x' = Ax + By + C$$

$$y' = Dx + Ey + F$$

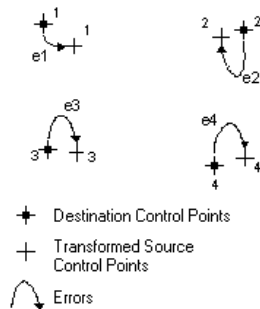
gdzie:

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.

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 (ang. *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 – ang. *root mean square*) mierzy błędy między docelowymi punktami kontrolnymi a przekształconymi lokalizacjami źródłowych 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 (Fig. 25), największy błąd reszkowy generuje para punktów dostosowania „1”. Całkowity błąd dostosowania wynosi w tym przypadku 1,69231905 m. Osoba tworząca projekt musi krytycznie ocenić czy uzyskany błąd jest akceptowalny czy nie. Jeśli nie jest akceptowalny, 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 1,7 m nie są duże dlatego otrzymany średni błąd kwadratowy (RMS – ang. *root mean square*) również na poziomie 1,68967 m jest jak najbardziej do zaakceptowania.

- 8.2. Aby na trwałe nadać obrazowi arkusza SMGP poprawnie zdefiniowane georeferencje, z menu *Georeferencja* (*Georeferencing*) wybierz opcję *Rektyfikuj* (*Rectify*) (Fig. 26).

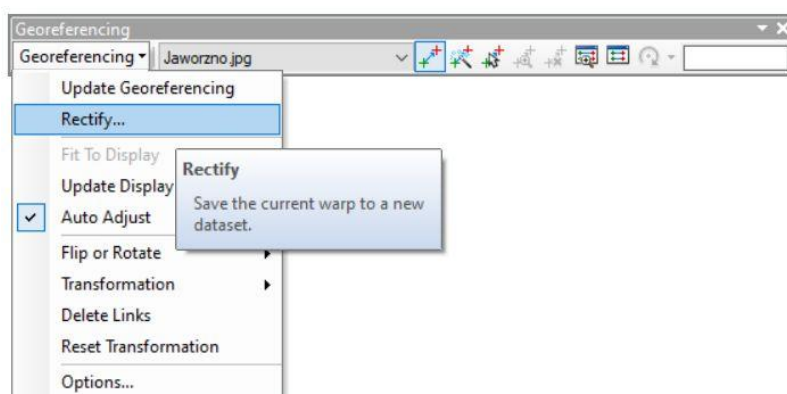


Fig. 26. Pasek narzędzi *Geoodniesienie* (*Georeferencing*) z wybranym narzędziem *Rektyfikuj* (*Rectify*)

Pojawi się okno dialogowe *Zachowaj jako* (*Save As*), w którym zdefiniujemy gdzie ma zostać zapisany nowy, skalibrowany plik arkusza SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B).

- 8.3. Zapisz nowy raster w formacie *.TIFF*, w tym samym folderze co zbiór *Jaworzno.jpg* ale pod nazwą *Jaworzno92.tif* (Fig. 27).

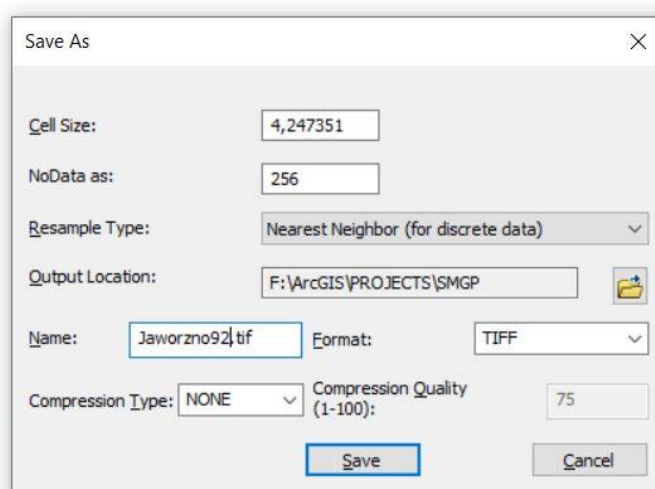


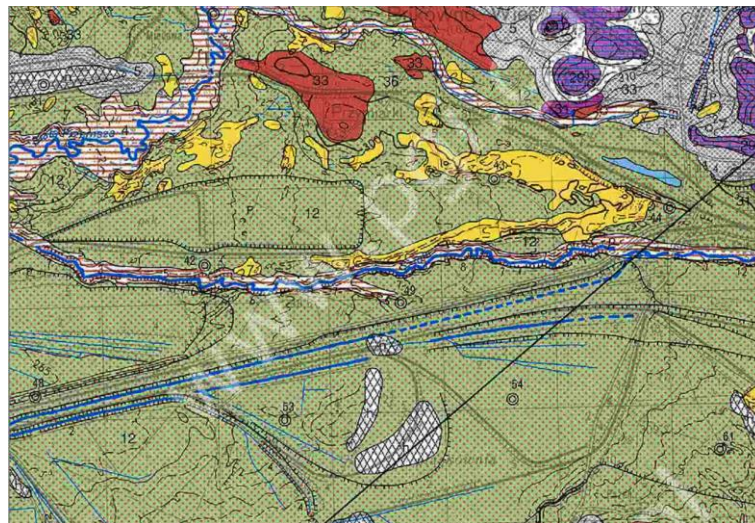
Fig. 27. Okno dialogowe *Zachowaj jako* (*Save As*) z wybranymi parametrami służącymi do wygenerowania zrektyfikowanego obrazu *Jaworzno92.tif* w formacie *GeoTIFF*

W ten sposób otrzymujemy zrektyfikowany obraz mapy w formacie GeoTIFF, który zawiera w sobie informację o georeferencji.

9. Test rektyfikacji

- 9.1. Aby sprawdzić jakość rektyfikacji dodaj na scene warstwę z ciekami powierzchniowymi. Może być to warstwa Open Street Map lub BDOT 10k. Porównaj położenie wektorów cieków powierzchniowych względem mapy rastrowej.

A



B

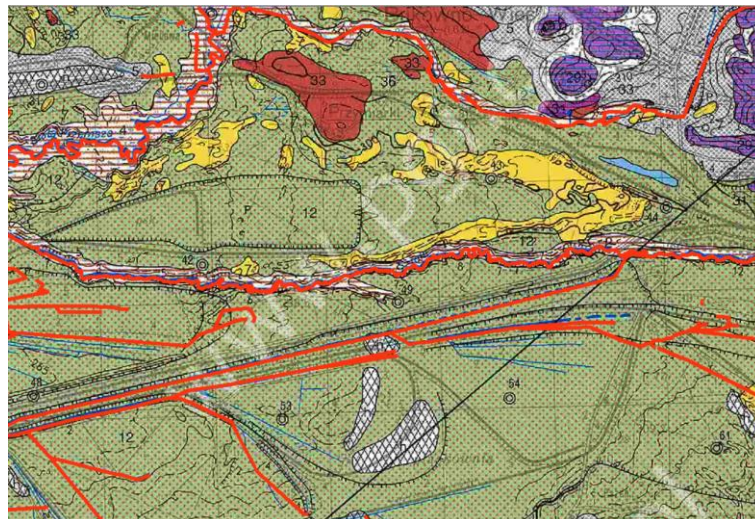


Fig. 28. Test dopasowania cieków powierzchniowych względem zrektyfikowanego rastra SMGP 944 – Jaworzno (M-34-63-B); A – zrektyfikowana mapa rastrowa, B – zrektyfikowana mapa rastrowa z nałożoną siecią cieków owierzchniowych (czerwone linie)

10. 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/>