

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych (ArcGIS Pro), Ćwiczenie 3

Mapa trudności szlaków rowerowych w rejonie Rowu Krzeszowickiego

Digitalizacja danych z materiałów archiwalnych

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
09.09.2024 12:01:00

Wprowadzenie

Wykonamy ćwiczenie, w którym utworzymy mapę trudności szlaków rowerowych wybranego fragmentu Rowu Krzeszowickiego. Obszar badań będzie obejmował ten sam fragment rowu, który był przedmiotem ćwiczeń dotyczących numerycznego modelu terenu interpolowanego metodą IDW ([Ćwiczenie 6](#)) oraz ćwiczeń dotyczących podstawowych ([Ćwiczenie 7](#)) i wtórnych atrybutów topograficznych ([Ćwiczenia 11 i 12](#)). W naszym ćwiczeniu trudność szlaków uzależnimy od nachylenia stoków. Przyjmujemy założenie, że szlak niezależnie od kierunku w którym jest pokonywany jest tym trudniejszy im większe jest jego nachylenie. Będzie to duże uproszczenie tego zadania. Mapę, którą utworzymy powinniśmy ściślej nazwać – mapą nachyleń stoków wzdłuż tras rowerowych ale do naszych celów dokonamy tego uproszczenia. Zasadniczym celami ćwiczenia są zapoznanie się z zagadnieniami: rektyfikacji obrazów rastrowych, wykorzystywaniem serwerów WMS i WMTS jako warstw bazowych, digitalizacją na ekranie oraz reklasyfikacją rastrów.

Do wykonania ćwiczenia będziemy potrzebowali mapy nachyleń stoków wybranego fragmentu Rowu Krzeszowickiego ([Ćwiczenie 7](#)) oraz mapy szlaków rowerowych (utworzymy ją samodzielnie).

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS Pro.

Ćwiczenie 3

1. Struktura ćwiczenia

W ćwiczeniu wykorzystamy projekt `RowKrzeszowicki` utworzony w poprzednich ćwiczeniach.

2. Źródło informacji o szlakach rowerowych

Do utworzenia wektorowej klasy szlaków rowerowych wykorzystamy fragment mapy turystycznej. Skan mapy należy pobrać z lokalizacji wskazanej przez prowadzącego.

- 2.1. Ze wskazanej lokalizacji pobierz archiwum ze skanem fragmentu mapy turystycznej.
- 2.2. W folderze domowym ćwiczenia (`...\RowKrzeszowicki\`) utwórz podfolder o nazwie `\turystyka\`.
- 2.3. Rozpakuj do niego zawartość archiwum z mapą turystyczną.
- 2.4. Przenieś archiwum `mapa.zip` do podfolderu `...\RowKrzeszowicki\SRC\`.

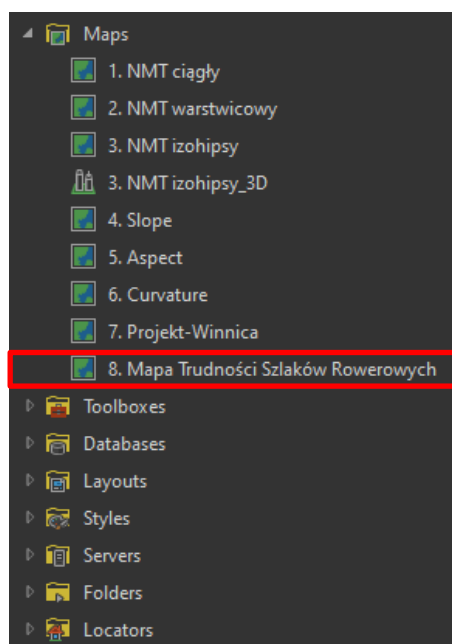
- 2.5. Przejdź do podfolderu \turystyka\, a następnie przy pomocy dowolnej przeglądarki plików graficznych (np. *InfranView*) otwórz rastrowy plik mapy o nazwie OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png.
- 2.6. Przejrzyj mapę aby zorientować się w obszarze, który obejmuje.

Arkusz mapy turystycznej na północy sięga Olkusza, na południu Kalwarii Zebrzydowskiej, na zachodzie Alwerni, a na wschodzie Krakowa. Jest znacznie większy od obszaru badań przyjętego w Ćwiczeniu 6. Nie będziemy go jednak wstępnie obcinać aby w całości móc go wykorzystać do nadania plikowi graficznemu współrzędnych.

3. Dodanie skanu mapy do projektu ArcGIS Pro

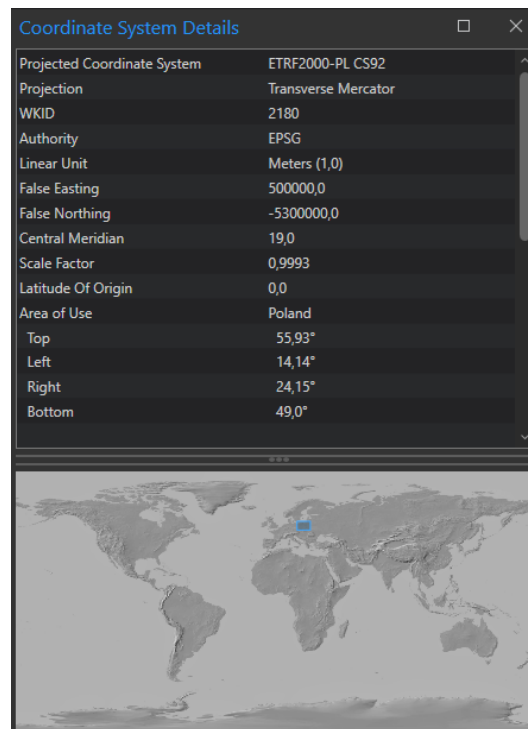
W tym etapie ćwiczenia dodamy plik graficzny mapy turystycznej do mapy ArcGIS Pro.

- 3.1. Z folderu projektowego otwórz plik projektowy RowKrzeszowicki.aprx.
- 3.2. W panelu *Catalog* zduplikuj mapę 4. Slope. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych ([Ryc. 1](#)).



Ryc. 1. Zawartość map projektu po dodaniu mapy 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych

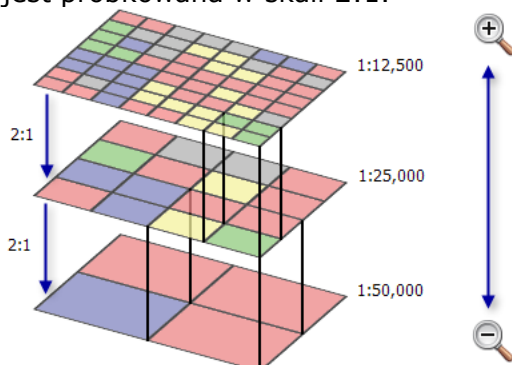
- 3.3. Otwórz mapę 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych do edycji.
- 3.4. W panelu *Contents* usuń warstwy NMT_izolinie i NMT (IDW) oraz wyłącz widoczność warstwy Slope.
- 3.5. Sprawdź czy mapa 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych ma nadane odwzorowanie Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych (PUWG) „1992”. Unikatowy numer tej projekcji (WKID) to 2180 ([Ryc. 2](#)).



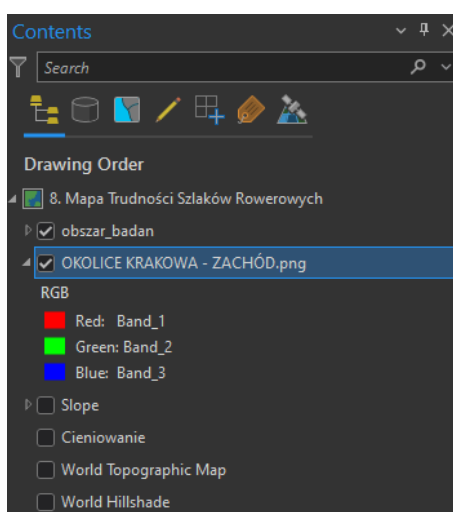
Ryc. 2. Parametry odwzorowania mapy 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych

- 3.6. W dolnym marginesie aplikacji zmień format wyświetlanych współrzędnych z domyślnych długości i szerokości geograficznej na metry.
- 3.7. Przy pomocy narzędzia *Add Data (Dodaj Dane)* na karcie *Insert (Wstaw)*, w grupie *Layer (Warstwa)* dodaj plik OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png. na scenę mapy. Gdy pojawi się komunikat o tworzeniu piramid¹ – potwierdź go przyciskiem *OK*.
- 3.8. W panelu *Content* kliknij ppm na warstwie OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer (Powiększ do warstwy)*.

¹ Piramidy (*pyramids*) – zawierają zmniejszone wersje oryginalnego zbioru danych rastrowych. Służą do poprawy wydajności ich wyświetlania pobierając tylko dane w określonej rozdzielczości wymaganej do wyświetlenia. Każda kolejna warstwa piramidy jest próbkowana w skali 2:1.



Na scenę mapy został dodany skan mapy turystycznej (Ryc. 3). Gdy poruszamy się kursorem po jego powierzchni, w dolnym marginesie aplikacji możemy zobaczyć zmieniające się współrzędne. W niczym jednak nie przypominają one współrzędnych geograficznych PUWG „1992”. Parametr X zmienia się (od lewego górnego narożnika skanu) w zakresie od 0 do około 4770, a Y w zakresie od 0 do około 6900. Wyświetlane współrzędne to nic innego jak numery wierszy i kolumn rastra. Można je więc interpretować jako współrzędne pikseli w matrycy pliku rastrowego. Aby móc wykorzystać skan mapy musimy nadać jego warstwie rastrowej współrzędne geograficzne.



Ryc. 3. Mapa 8. Mapa Trudności Szlaków Rowerowych zawierająca plik rastrowy mapy turystycznej z rozbiem na trzy kolory podstawowe RGB

4. Kalibracja plików rastrowych

W tej części ćwiczenia, wyświetlonej warstwie mapy turystycznej nadamy **georeferencję**². Mówiąc bardziej przystępnie „wpasujemy” ją w wybrany układ współrzędnych. W praktyce dokonywana jest transformacja z układu współrzędnych rastra (rzędy i kolumny) do odwzorowania kartograficznego np. PUWG „1992”. Proces przekształcenie geometrycznego powierzchni warstwy rastrowej wraz określeniem jej układu współrzędnych nosi nazwę **rektyfikacji**. Proces polega na wskazaniu n par punktów kontrolnych na rektyfikowanej mapie (w naszym przypadku – na warstwie mapy turystycznej) i na mapie wzorcowej w docelowym odwzorowaniu kartograficznym. Jako

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).

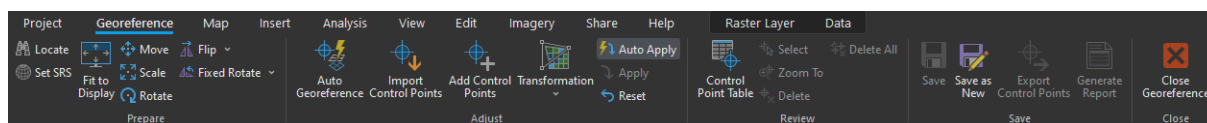
„wzorców współrzędnych” używa się najczęściej map topograficznych albo **ortofotomap**³. Tak więc w kolejnych krokach będziemy musieli:

- wybrać lokalizację punktów kontrolnych,
- nadać im docelowe wartości współrzędnych w wybranym odwzorowaniu kartograficznym (PCS),
- wybrać rodzaj transformacji geometrycznej.

Kluczowym punktem transformacji decydującym o jakości wpasowania rastra w przestrzeń projekcji kartograficznej 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 np. skrzyżowania głównych dróg, mosty, skrzyżowania dróg i 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 geometrycznej. 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) niech wynosi pięć punktów.

- 4.1. W panelu *Contents* zaznacz warstwę z rektyfikowaną mapą OKOLICE KRAKOWA – ZACHÓD.png.
- 4.2. Na wstążce wybierz kartę *Imagery (Obrazowanie)*, a w grupie *Alignment (Wyrównanie)* wybierz polecenie *Georeference (Georeferencja)*.

Otwiera się nowa karta *Georeference (Geoodeniesienie)* (Ryc. 4), która posiada szereg ciekawych narzędzi (zob. ramka dalej).



Ryc. 4. Wstążka narzędzi *Georeference*; zob. ramka dalej

Dokonamy teraz rektyfikacji rastra mapy turystycznej do odwzorowania PUWG „1992”. Za wzorec współrzędnych obiektów przestrzennych posłużą nam mapa

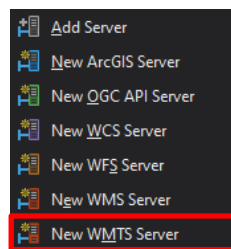
³ Ortofotomapa – mapa, której treść jest obrazem aerofotograficznym (zwykle zdjęcia lotnicze lub satelitarne powierzchni Ziemi) przetworzonym metodą różniczkową oraz przedstawiona w nawiązaniu do układu współrzędnych przyjętego odwzorowania kartograficznego. Inaczej, zespół przetworzonych zdjęć lotniczych,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

topograficzna udostępniona przez portal **geoportal.gov.pl** za pośrednictwem usług on-line.

- 4.3. Uruchom przeglądarkę www.
- 4.4. W wyszukiwarce wpisz frazę „geoportal wms”.

- **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.

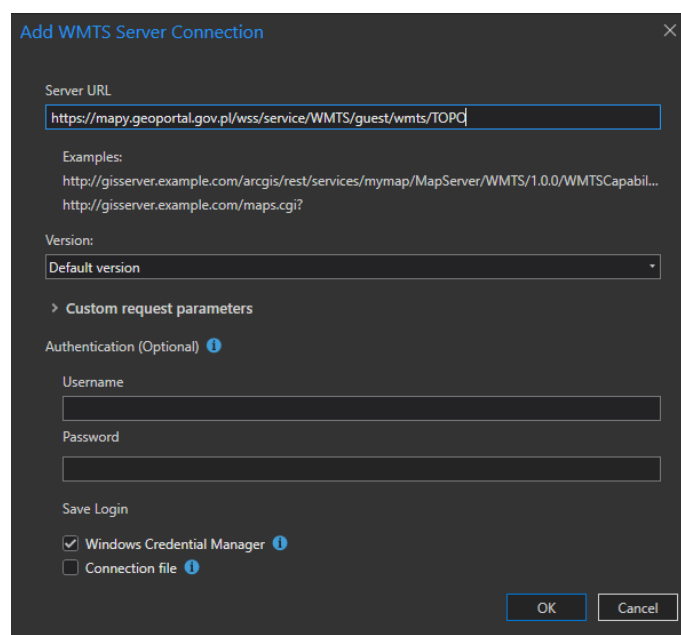
- 4.5. W wynikach wyszukaj strony z tytułem „Usługi przeglądania WMS i WMTS⁴”.
- 4.6. W spisie dostępnych usług wyszukajmy usługi WMTS „Rastrowa Mapa Topograficzna Polski”.
- 4.7. Skopiujmy adres usługi WMTS.
- 4.8. Przejdź teraz do aplikacji ArcGIS Pro. Na karcie *Insert (Wstaw)*, w grupie *Project (Projekt)* rozwiń listę *Connections (Połączenia)* i wybierz z niej polecenie *Server > New WMTS Server* (Ryc. 5).



Ryc. 5. Spis możliwych do wykorzystania usług online

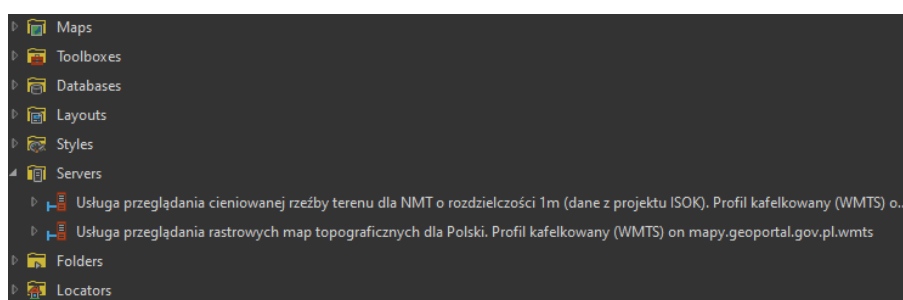
- 4.9. W oknie dialogowym *Add WMTS Server Connection (Dodaj połączenie z serwerem WMTS)* w polu *Server URL* wklej skopiowany adres usługi Geoportalu (Ryc. 6), a następnie wciśnij przycisk *OK*.

⁴ **WMS** (*Web Map Service*) i **WMTS** (*Web Map Tile Service*) są serwerami udostępniającymi on-line za pomocą interfejsu http rastrowe dane przestrzenne. WMS generuje mapy na konkretne żądanie o zadanej rozdzielczości (trwa to dłużej, ale uzyskane obrazki są lepszej jakości), natomiast WMTS przyspiesza ten proces używając map wcześniej wygenerowanych (trwa to krócej) lecz traci się nieraz na jakości przy skalach, dla których nie ma w systemie wygenerowanych obrazów. W systemach WMS/WMTS udostępniane są mapy m.in. w *Geoportalu*, a także w wielu innych portalach branżowych np. mapy *Lasów Państwowych*. Mapy tak generowane można przeglądać przez przeglądarki internetowe, a specjalne aplikacje pozwalają takie mapy pobrać i zapisać na dysku.



Ryc. 6. Okno dialogowe *Add WMTS Server Connection* z dodanym adresem usługi TOPO serwera geoportal.gov.pl

W panelu *Catalog*, w spisie *Servers* (Serwery) pojawił się nowy zapis „Usługa przeglądania rastrowych map topograficznych dla Polski. Profil kafelkowany (WMTS) on mapy.geoportal.gov.pl” (Ryc. 7).

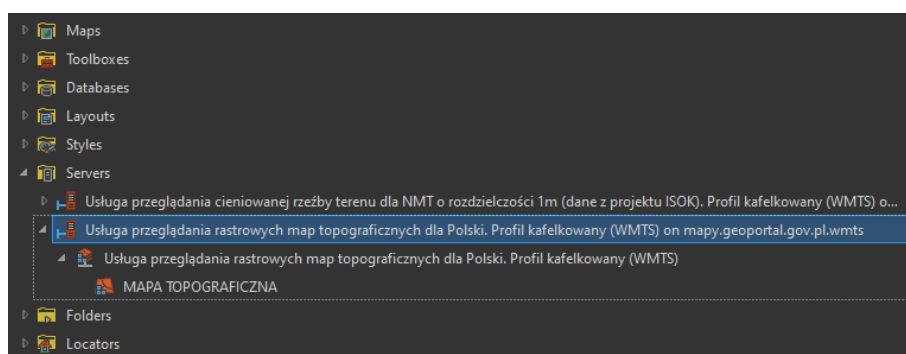


Ryc. 7. Spis usług online udostępnionych w projekcie

5. Dodanie do mapy usługi on-line

Dodamy teraz do aktywnej mapy warstwę mapy topograficznej udostępnioną on-line przez Geoportal.

- 5.1. W panelu *Catalog* kliknij dwukrotnie na usłudze przeglądania rastrowych map topograficznych dla Polski.
- 5.2. Gdy z lewej strony obok usługi pojawi się mały trójkącik, otwórz go. Wewnątrz pojawi się warstwa MAPA TOPOGRAFICZNA (Ryc. 8).



Ryc. 8. Usługa MAPA TOPOGRAFICZNA gotowa do dodania na scenę mapy

- 5.3. Przeciągnij usługę MAPA TOPOGRAFICZNA na scenę mapy.

UWAGA!

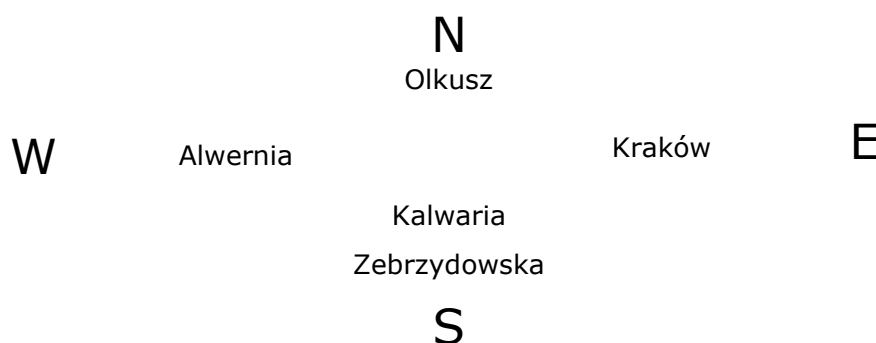
Dodana mapa topograficzna ma współrzędne w PUWG „1992”, zaś plik graficzny mapy turystycznej ma współrzędne „pikselowe”. Te dwa układy współrzędnych mają się nijak do siebie. Z tego powodu widząc na scenie raster mapy turystycznej, nie widzimy dodanej mapy topograficznej.

- 5.4. Aby przejrzeć mapę topograficzną, w panelu *Contents* kliknij PPM na dodanej warstwie MAPA TOPOGRAFICZNA, i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer (Powiększ do warstwy)* (Ryc. 9).



Ryc. 9. Mapa topograficzna Polski on-line (geoportal.gov.pl)

- 5.5. Powiększ fragment mapy topograficznej w granicach wyznaczonych rastrową mapą turystyczną. Dla przypomnienia zasięg przestrzenny mapy turystycznej jest następujący:



Powiększony fragment mapy topograficznej prezentuje [Ryc. 10](#).



Ryc. 10. Fragment mapy topograficznej on-line (skala około 1:220 000) na zachód od Krakowa (geoportal.gov.pl)

Gdy mamy już na scenie dwie mapy:

- niezrektyfikowaną Mapę turystyczną,
- Mapę topograficzną w odwzorowaniu PUWG „1992”,

możemy przystąpić do wyboru punktów dostosowania (kontrolnych). W tym celu wybierz pięć punktów (w okolicach każdego narożnika mapy oraz jeden w jej środku), których

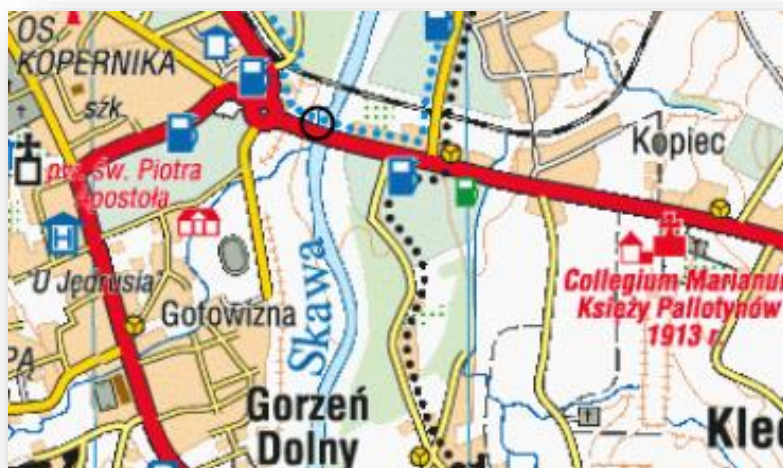
położenie na jednej i na drugiej mapie nie budzą zastrzeżeń. Poniżej zostanie przedstawiona kompletna procedura dostosowania współrzędnych jednego punktu.

6. Wyznaczenie punktów dostosowania

- 6.1. W panelu *Contents* wybierz warstwę OKOLICE KRAKOWA – ZACHÓD.png, a następnie kliknij na niej PPM i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer (Powiększ do warstwy)*.
- 6.2. Odszukaj most na Skawie w Wadowicach (Ryc. 11). Niech północno-zachodnia krawędź mostu stanowi pierwszy punkt dostosowania.

Most jest obiektem trwałym w czasie i łatwym do identyfikacji na innych mapach. Nie jest jednak obiektem punktowym, dlatego najlepiej będzie jeśli wybierzemy w jego obrębie jeden charakterystyczny punkt, który wyznaczymy jako pierwszy punkt dostosowania.

- 6.3. Powiększ mapę tak aby móc dokładnie wybrać pierwszy punkt pierwszej pary punktów dostosowania (1; Ryc. 11).



Ryc. 11. Fragment mapy turystycznej w rejonie Wadowic z zaznaczonym położeniem pierwszego punktu dostosowania (1)

- 6.4. Z karty *Georeference (Geoodniesienie)* wybierz narzędzie *Add Control Points (Dodaj punkty kontrolne; Ryc. 4)*, a następnie w punkcie, w którym północno-zachodnia krawędź mostu przecina rzekę, jak możesz najdokładniej, kliknij pierwszy punkt pierwszej pary punktów dostosowania (1) (Ryc. 12).



Ryc. 12. Fragment mapy turystycznej w rejonie Wadowic z dodanym pierwszym punktem pierwszej pary punktów dostosowania (1)

Pierwszy punkt (1) z pierwszej pary punktów odniesienia mamy już wybrany. Teraz musimy odnaleźć ten sam punkt na mapie topograficznej (w układzie PUWG „1992”).

- 6.5. W panelu *Contents* wyłącz widoczność warstwy OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png.
- 6.6. W panelu *Contents* kliknij PPM na warstwie MAPA TOPOGRAFICZNA i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zoom To Layer (Powiększ do warstwy)*.
- 6.7. Znajdź na mapie topograficznej most w Wadowicach na Skawie (Ryc. 13).



Ryc. 13. Fragment mapy topograficznej w rejonie Wadowic (geoportal.gov.pl)

- 6.8. Powiększ mapę topograficzną w obrębie mostu na Skawie w Wadowicach. (Ryc. 14).



Ryc. 14. Fragment mapy topograficznej w rejonie Wadowic z zaznaczonym położeniem pierwszego punktu dostosowania (1; geoportal.gov.pl)

- 6.9. Jeśli to konieczne, z karty narzędzi *Georeference* ponownie wybierz narzędzie *Add Control Points* (Dodaj punkt kontrolny; Ryc. 4)
- 6.10. Kliknij w punkcie, w którym północno-zachodnia krawędź mostu przecina rzekę (1).

Właśnie wskazaliśmy na obu mapach pierwszą parę punktów, które dokładnie sobie odpowiadają (1 -> 1). Jak widać, rektyfikacja mapy turystycznej będzie tym dokładniejsza im dokładniejsze są obie mapy – wzorcowa oraz rektyfikowana oraz im dokładniej wskażemy wszystkie punkty dostosowania. Nie należy się więc spieszyć i trzeba kolejne czynności wykonać tak dokładnie jak to tylko jest możliwe.

Teraz pora zgromadzić kolejne cztery pary punktów dostosowania. Punkt w okolicy Wadowic jest położony południowo-zachodnim narożu mapy turystycznej. Pozostało zatem zgromadzić pary punktów z:

- naroża północno-zachodniego (2 -> 2),
- naroża północno-wschodniego (3 -> 3),
- naroża południowo-wschodniego (4 -> 4) oraz
- z centrum mapy (5 -> 5).

Aby zgromadzić wszystkie 5 par punktów dostosowania, dla kolejnych par punktów powtórz procedurę opisaną w punktach 6.1–6.10.

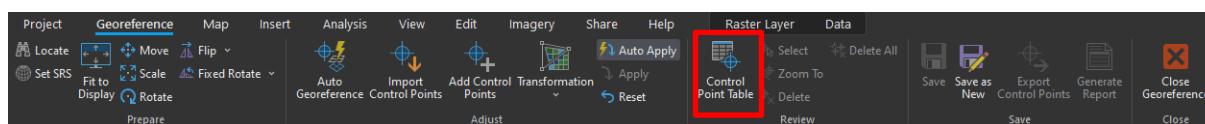
UWAGA!

Definiując pary punktów dostosowania, zawsze jako **pierwszy** deklarujemy punkt **na mapie rektyfikowanej** (w naszym przypadku – turystycznej), a dopiero potem odpowiadający mu punkt na mapie wzorcowej (np. topograficznej).

7. Kontrola jakości punktów dostosowania

Po zgromadzeniu wszystkich pięciu par punktów dostosowania warto skontrolować jakość zebranych punktów kontrolnych.

- 7.1. Z paska narzędzi *Georeference* wybierz narzędzie *Control Point Table* (*Tabela punktów kontrolnych*; Ryc. 15).



Ryc. 15. Wstążka narzędzi *Georeference* z zaznaczonym narzędziem *Control Point Table*

Narzędzie *Control Point Table* tworzy tabelę (Ryc. 16) zawierającą zbiorcze informacje o wszystkich utworzonych parach punktów dostosowania i pokazuje błędy wynikające z niedokładności map oraz błędy wskazań punktów na ekranie komputera.

Link	Source X	Source Y	Map X	Map Y	Residual X	Residual Y	Residual
1	289,072327	-6 282,399760	536 631,524382	223 402,051182	0,579922	-2,101390	2,179942
2	4 102,057337	-6 603,968076	563 538,352463	221 143,355003	1,778209	3,630647	4,042725
3	4 389,969950	-283,057319	565 593,795443	265 744,201565	-0,536507	-2,994164	3,041851
5	922,455664	-414,307571	541 127,536823	264 821,345507	2,830265	-4,849199	5,614725
6	1 659,002983	-3 527,013352	546 304,791171	242 847,480378	-4,651888	-3,384293	5,752695

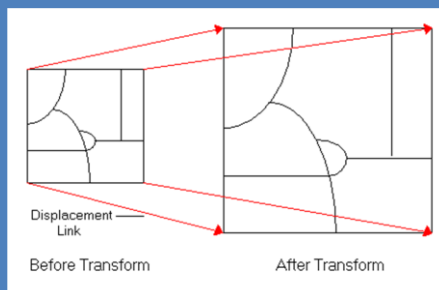
Ryc. 16. Tabela błędów dostosowania; ramka prezentuje błędy poszczególnych punktów dostosowania

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 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 (*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.

CD...

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

$$\begin{aligned}x' &= Ax + By + C \\y' &= Dx + Ey + F\end{aligned}$$

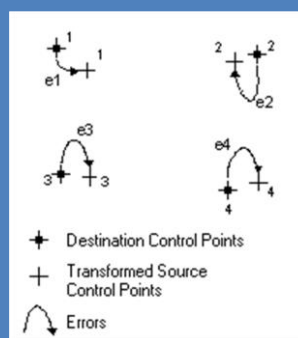
gdzie:

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 resztkowe (*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.

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

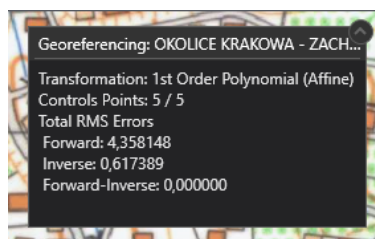
Błędy resztkowe wyrażone są w jednostkach mapy (najczęściej w metrach). Na ich podstawie można wyrobić sobie opinię o jakości punktów kontrolnych przeprowadzanej transformacji. W naszym przypadku ([Ryc. 16](#)), największy błąd resztkowy generuje para punktów dostosowania „5”. Błąd dostosowania tej pary punktów wynosi ponad 5,7 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.

Miarą jakości całej transformacji jest **średni błąd kwadratowy** (*Total RMS Error*). Całkowity błąd modelu wynosi 4,358 m ([Ryc. 17](#)).



Ryc. 17. Okno podsumowujące transformację

Warstwę mapy turystycznej będziemy wykorzystywali jako warstwę źródłową podczas wektoryzacji klasy szlaków rowerowych. Ich położenie na mapie turystycznej nie jest nigdy zbyt dokładne, dlatego otrzymany błąd RMS jest jak najbardziej do zaakceptowania.

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

W ten sposób transformaty mapy zostaną zapamiętane.

8. Dodanie na scenę obszaru badań

- 8.1. W panelu *Contents* wyłącz widoczność warstwy *MAPA TOPOGRAFICZNA* i włącz widoczność warstw *OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png* oraz *obszar_badan*.
- 8.2. Powiększ scenę mapy do zakresu warstwy *obszar_badan* ([Ryc. 18](#)).



Ryc. 18. Obszar realizacji mapy trudności szlaków rowerowych na tle zrektyfikowanej mapy turystycznej

Mamy zrektyfikowaną mapę źródłową. Jesteśmy więc przygotowani do wektoryzacji warstwy szlaków rowerowych. Nasza mapa trudności szlaków rowerowych będzie obejmowała obszar zakreślony ramką.

9. Wektoryzacja klasy szlaków rowerowych

Podczas pracy będziemy wykorzystywać najbardziej popularną metodę digitalizacji „na ekranie”.

9.1. W geobazie RowKrzeszowicki.gdb utwórz klasę obiektów liniowych szlaki.

Klasę szlaki zaprojektuj tak aby docelowo mogły się w niej znaleźć różne szlaki turystyczne (piesze, rowerowe, kajakowe, konne, pielgrzymkowe, ścieżki dydaktyczne i inne). Klasa powinna wykorzystywać projekcję PUWG „1992” oraz **być opisana niezbędnymi atrybutami**. Zastanów się jakie atrybuty powinna zawierać taka klasa, aby móc szlaki na mapach różnicować w zależności od ich rodzajów i kolorów.

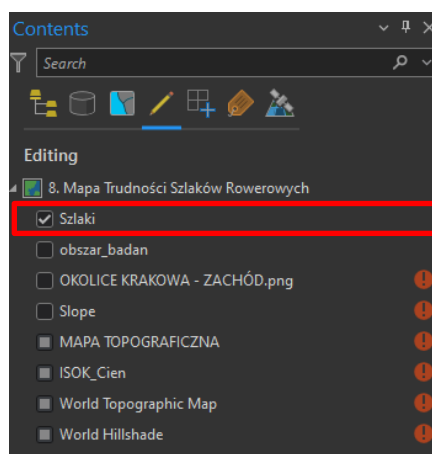
9.2. Powiększ południowo-zachodni narożnik obszaru badań (Ryc. 19).



Ryc. 19. Południowo-zachodni fragment obszaru badań (czerwona ramka) z wyświetloną w tle mapą turystyczną

Do pustej klasy obiektów będziemy wektoryzować poszczególne fragmenty szlaków rowerowych. Na mapie turystycznej mają one symbole kolorowych linii kropkowych. W przedstawionym powyżej fragmencie mapy (Ryc. 19) mamy więc do czynienia z dwoma szlakami rowerowymi – czerwonym i zielonym. Zdigitalizujemy te dwa fragmenty szlaków w obszarze badań.

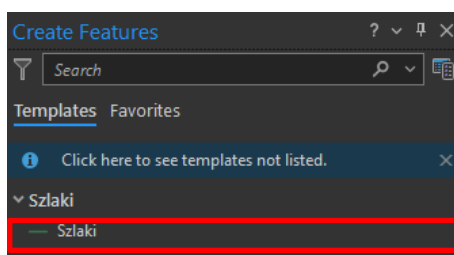
- 9.3. W panelu *Contents* wybierz kartę *List By Editing* (*Lista według edycji*) i zdefiniuj warstwę *Szlaki* jako jedyną dostępną do edycji (Ryc. 20).



Ryc. 20. Panel *Contents*, *List By Editing*

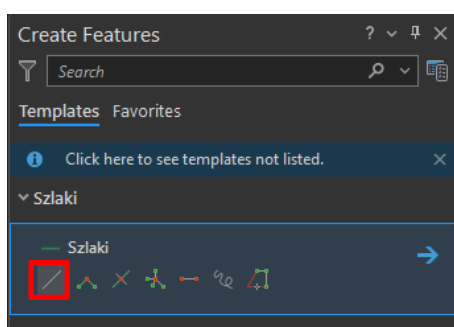
- 9.4. Jeśli to konieczne, wprowadź program ArcGIS Pro w tryb edycji.
- 9.5. Na wstążce aplikacji, na karcie *Edit (Edycja)* wybierz narzędzie *Create (Twórz)*.

Pojawi się panel *Create Features (Tworzenie obiektów)* z domyślnie utworzonym szablonem *Szlaki* (Ryc. 21).



Ryc. 21. Szablon Szlaki służący do tworzenia nowych szlaków

- 9.6. W panelu *Create Features* wybierz szablon *Szlaki*, z domyślnym narzędziem konstrukcyjnym obiektów liniowych *Line (Linia)* (Ryc. 22).



Ryc. 22. Narzędzia konstrukcyjne do tworzenia obiektów liniowych; ramką zaznaczono narzędzie *Line*

- 9.7. Za pomocą możliwie małej liczby punktów, dokładnie naśladując przebieg szlaków, utwórz dwa nowe obiekty (Ryc. 23). Każdą linię kończ dwukrotnym szybkim kliknięciem.



Ryc. 23. Południowo-zachodni fragment obszaru badań (czerwona ramka) z zwektoryzowanymi dwoma fragmentami szlaków rowerowych

- 9.8. Na karcie *Edit (Edycja)*, w grupie *Manage Edits (Zarządzaj edycją)* wybierz polecenie *Save (Zachowaj)*.
- 9.9. W panelu *Contents* kliknij PPM na warstwę *Szlaki* i obejrzyj jej tabelę atrybutową (Ryc. 24).

Szlaki

Field:

Add

Calculate

Selection:

Select By Attributes

Zoom To

Switch

Clear

Delete

Copy

	OBJECTID *	SHAPE *	Shape_Length	Typ szlaku	Kolor szlaku
1	1	Polyline Z	329,300576	<Null>	<Null>
2	2	Polyline Z	544,877491	<Null>	<Null>
Click to add new row.					

Ryc. 24. Tabela atrybutowa warstwy *Szlaki* (z przykładowym zestawem atrybutów); widoczne są dwa rekordy dwóch dodanych obiektów liniowych

Jak widać, w tabeli atrybutowej przybyły dwa nowe obiekty. Póki co nie mają one zadeklarowanych żadnych atrybutów. Musimy to teraz zmienić.

- 9.10. Zaznaczając w tabeli atrybutowej jeden bądź drugi rekord, zorientuj się których linii dotyczą odpowiednie zapisy.
- 9.11. Dla obu obiektów uzupełnij poprawnie wartości atrybutów *TYP* (Typ szlaku) i *KOLOR* (Kolor szlaku) (Ryc. 25).

UWAGA – u ciebie zarówno nazwy atrybutów, jak i ich wartości mogą być inne!

	OBJECTID *	SHAPE *	Shape_Length	Typ szlaku	Kolor szlaku
1	1	Polyline Z	329,300576	1	1
2	2	Polyline Z	544,877491	1	2
	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>

Ryc. 25. Zawartość tabeli atrybutowej warstwy Szlaki z uzupełnionymi atrybutami TYP (Typ szlaku) i KOLOR (Kolor szlaku)

Sprawdź!

Jaką wartość atrybutu TYP będą miały wszystkie szlaki rowerowe?

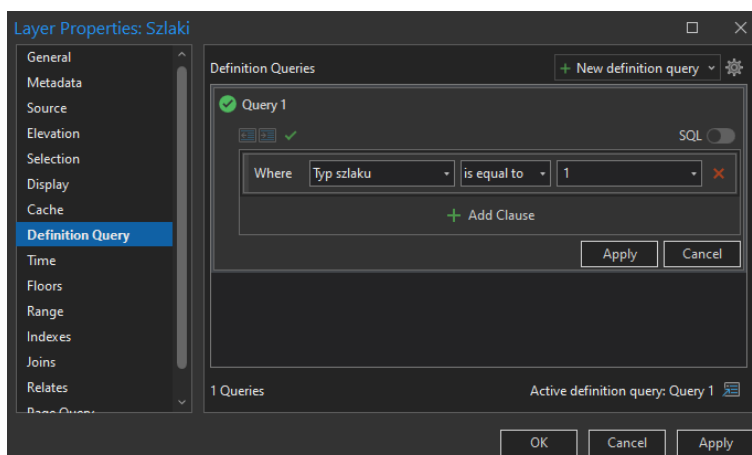
Jakie wartości atrybutów KOLOR będą miały szlaki czerwone i zielone?

9.12. Zamknij tabelę atrybutową.

10. Modyfikacja szablonów obiektów

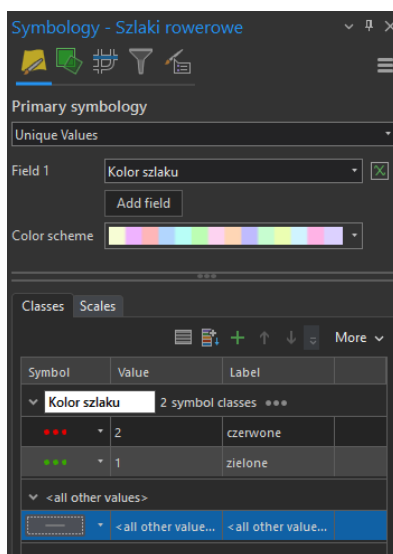
W tej części ćwiczenia utworzymy dwa szablony służące do automatycznego tworzenia nowych obiektów szlaków rowerowych czerwonych i zielonych. W dalszej części ćwiczenia samodzielnie zmodyfikujesz szablony aby móc także tworzyć szlaki rowerowe czarne, żółte i niebieskie.

- 10.1. W panelu *Contents*. Kliknij PPM na warstwie *Szlaki*. Z menu kontekstowego wybierz polecenie *Properties (Właściwości)*.
- 10.2. We właściwościach warstwy *Szlaki* utwórz *kwerendę wybierającą (Definition Query)* wyświetlającą wyłącznie szlaki rowerowe (Ryc. 26). Ten punkt ćwiczenia przyda nam się gdy w przyszłości zechcemy klasę *szlaki* rozszerzyć także o inne rodzaje szlaków turystycznych.



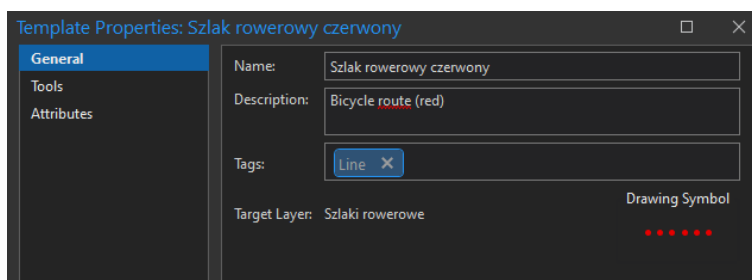
Ryc. 26. Kwerenda wybierająca szlaki rowerowe; w zależności od zdefiniowanych atrybutów i ich wartości kwerenda może wyglądać inaczej

- 10.3. Warstwa *Szlaki* po dodaniu kwerendy wybierającej wyświetla już tylko szlaki rowerowe, dlatego w tabeli *Contents* zmień jej nazwę na *Szlaki rowerowe*.
- 10.4. Wyświetl obiekty warstwy *Szlaki rowerowe* innymi stylami w zależności od koloru. Korzystając z narzędzia *Feature Layer > Symbology* zmień style szlaków rowerowych czerwonych i zielonych na intuicyjne.
- 10.5. Będąc nadal w oknie *Symbology – Szlaki rowerowe* zmień etykiety wyświetlanych szlaków na: czerwone i zielone (Ryc. 27).



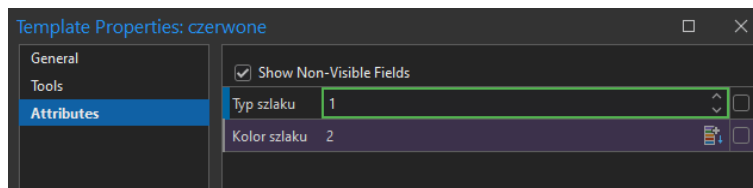
Ryc. 27. Symbolizacja warstwy Szlaki rowerowe

- 10.6. Teraz zajmiemy się utworzeniem szablonów szlaków rowerowych czerwonych i zielonych. W górnej części okna *Create Feature (Tworzenie obiektu)* wybierz narzędzie *Menage Templates (Zarządzanie szablonami)*.
- 10.7. W panelu *Menage Templates* zaznacz warstwę *Szlaki rowerowe*.
- 10.8. W dolnej części panelu kliknij PPM na szablonie *czerwone*.
- 10.9. Zmień nazwę szablonu na *Szlak rowerowy czerwony*, a jego opis na *Bicycle route (red)* (Ryc. 28).



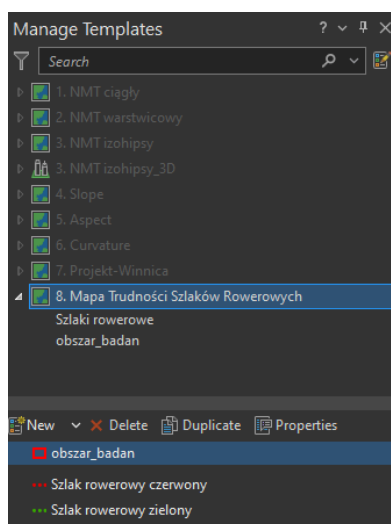
Ryc. 28. Okno dialogowe właściwości szablonu czerwone (zakładka *General*); zmiana opisu szablonu do tworzenia czerwonych szlaków rowerowych

- 10.10. Przejdź do zakładki *Attributes* i zdefiniuj domyślną wartość atrybutu *Typ* (*Typ szlaku*) (Ryc. 29). W Twoim przypadku wartość ta może być inna.



Ryc. 29. Okno dialogowe właściwości szablonu czerwone (zakładka *Attributes*); zmiana domyślnych wartości atrybutu *Typ* (*Typ szlaku*)

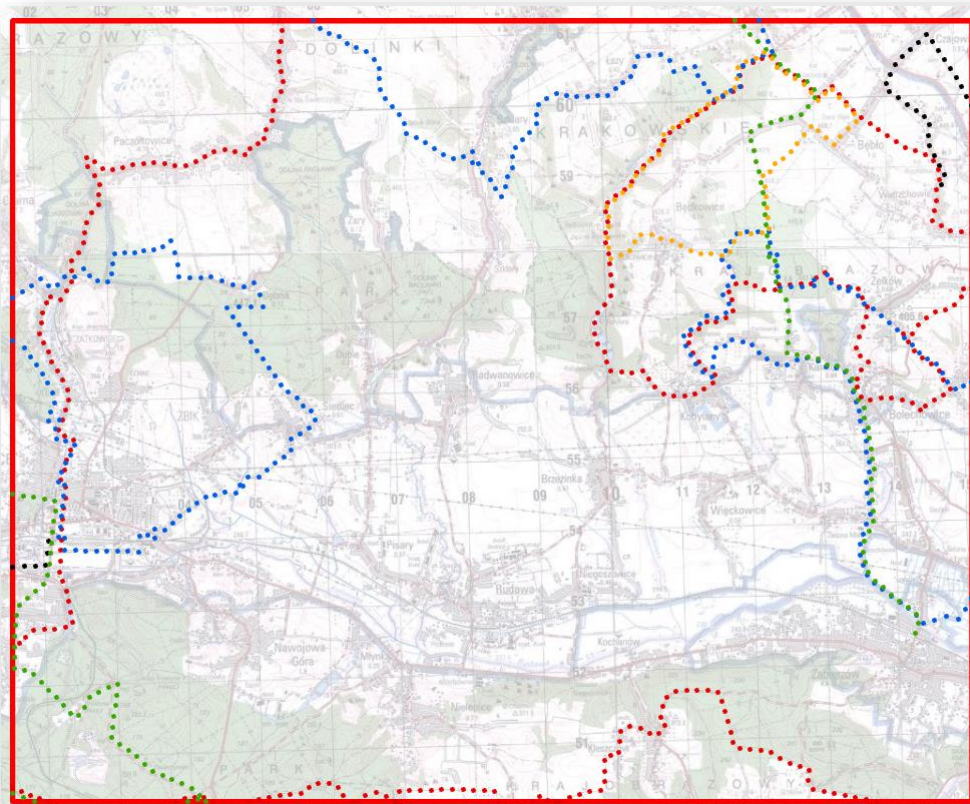
- 10.11. Podobnie uzupełnij opis i domyślną wartość atrybutu *Typ* (*Typ szlaku*) dla szablonu zielone.
- 10.12. Po wszystkich modyfikacjach, w oknie *Utwórz Obiekt* (*Create Features*) pojawią się dwa nowe szablony szlaki – czerwone i zielone (Ryc. 30).



Ryc. 30. Panel *Manage Templates* (*Zarządzanie szablonami*) z nowymi szablonami szlaków: Szlak rowerowy czerwony i Szlak rowerowy zielony

Teraz tworząc nowy szlak rowerowy czerwony lub zielony będziemy mogli wykorzystać utworzone szablony. Dzięki temu nowe obiekty automatycznie zostaną zapisane w geobazie z domyślnymi atrybutami *TYP* = 1 oraz *KOLOR* = 1 (lub *KOLOR* = 2). Dodatkową zaletą będzie stanowiło rysowanie szlaków za pomocą stylu zadeklarowanego w szablonie.

- 10.13. W miarę rozwoju sytuacji i wektoryzacji kolejnych szlaków, uzupełnij zasób zadeklarowanych szablonów i je wykorzystuj.
- 10.14. Zwektoryzuj w ten sposób wszystkie szlaki rowerowe występujące w zadeklarowanym obszarze badań. Kompletą klasę szlaków przedstawia Ryc. 31.



Ryc. 31. Zwektoryzowana klasa szlaków turystycznych (rowerowych) w obszarze badań; w tle fragment mapy topograficznej (geoportal.gov.pl)

11. Koncepcja mapy trudności szlaków rowerowych

Mapa trudności szlaków rowerowych będzie opierała się o klasę nachylenia zboczy (zob. [Wstęp](#)). Założmy, że niezależnie czy jedziemy w górę czy w dół, szlak będzie tym trudniejszy im trasa jest bardziej nachylona. Wykorzystamy tutaj warstwę *Slope* utworzoną w trakcie ćwiczenia dotyczącego podstawowych atrybutów topograficznych (zob. [Ćwiczenie 7](#)). Aby warstwę nachylenia zboczy powiązać z klasą szlaków turystycznych, wokół szlaków utworzymy bufor (klasa *bufor*). Następnie zrasteryzujemy⁵ ją. Pikselom położonym we wnętrzu bufora nadamy wartość „1”, zaś obszarom poza buforami wartość „0”. Następnie za pomocą algebry map, pomnożymy każdy piksel rastra *Slope* przez odpowiadający mu piksel rastra *bufor*. W ten sposób otrzymamy

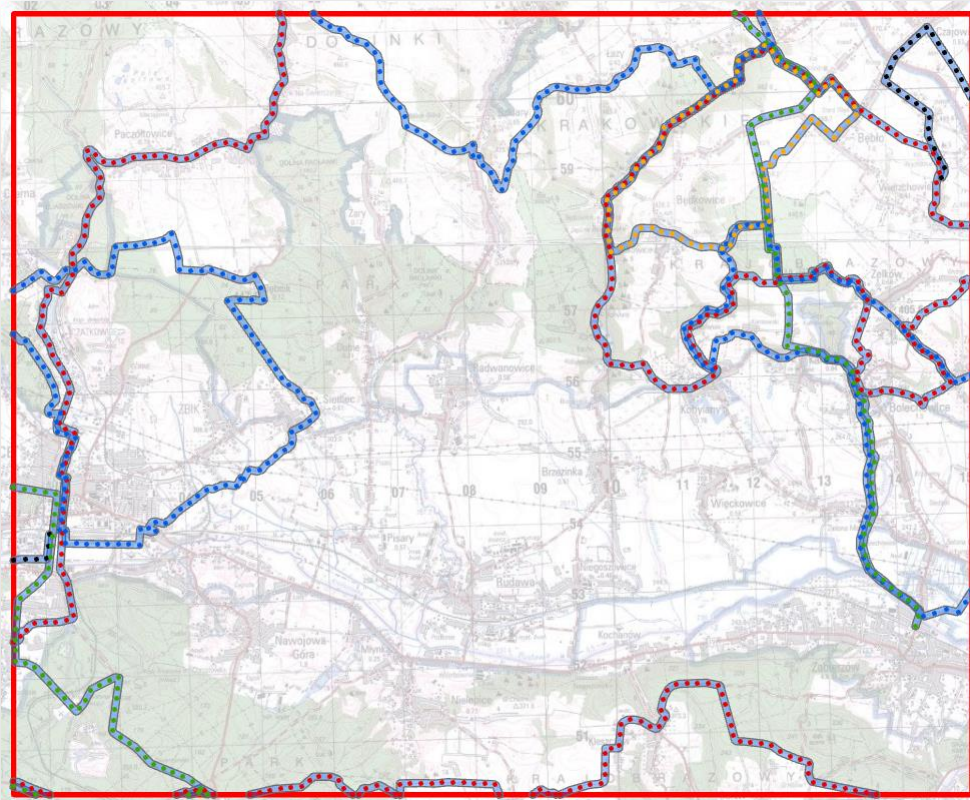
⁵ Rasteryzacja – rodzaj geoprzetwarzania polegający na jak najwierniejszym przedstawieniu obiektów klasy wektorowej (punktowej, liniowej bądź poligonowej) w modelu rastrowym. Najważniejszym parametrem rasteryzacji jest wielkość piksela wynikowego obrazu rastrowego – czyli rozdzielczość.

warstwę nachyleń zboczy wewnątrz buforów. Po odpowiedniej symbolizacji otrzymamy uproszczoną mapę trudności szlaków rowerowych.

Taka jest koncepcja dalszych działań. Przejdźmy więc do jej realizacji.

12. Utworzenie bufora wokół szlaków rowerowych

- 12.1. Wykonaj 50-metrowy bufor wokół klasy szlaków rowerowych. Nową klasę zapisz do geobazy `RowKrzeszowicki.gdb` w klasie `szlaki_bufor_50` (Ryc. 32).



Ryc. 32. Mapa wektorowa 50-metrowych buforów wokół szlaków turystycznych

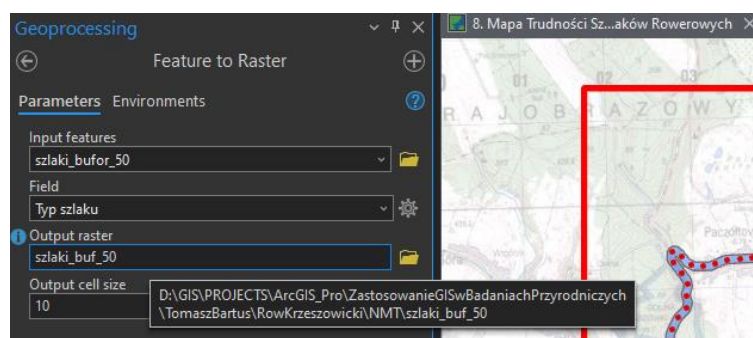
13. Rasteryzacja klasy wektorowej buforów wokół szlaków rowerowych

Rasteryzacja wcześniej utworzonej klasy `szlaki_bufor_50` jest podyktowana koniecznością późniejszego mnożenia przez siebie odpowiadających sobie pikseli dwóch rastrów – bufora oraz `Slope`.

- 13.1. W oknie szybkiego wyszukiwania wpisz frazę „Feature to Raster”.
- 13.2. Wyszukaj, a następnie uruchom narzędzie *Feature To Raster (Obiekt Do Rastra)*. Narzędzie wymaga zadeklarowania:

- atrybutu w oparciu, o który będzie dokonywana rasteryzacja; w naszym przypadku dobrym wyborem będzie atrybut `TYP`, ponieważ wszystkie bufora mają zadeklarowaną tę samą wartość „1” (jest to pochodna klasy `szlaki`). Będzie to przydatne gdy za chwilę będziemy zmieniali wartości pikseli wewnątrz buforów na „1”,
- wielkości piksela, który ustalamy na 10 m (tyle samo co wcześniej dla warstw pochodnych `nmt_idw`).

13.3. Wynikowy obraz rastrowy zapiszmy w postaci osobnego pliku rastrowego, w tym samym podfolderze, w którym znajdują się inne obrazy rastrowe pod nazwą – `szlaki_buf_50` (Ryc. 33).



Ryc. 33. Panel *Geoprocessing* – *Feature To Raster* z parametrami konwersji klasy wektorowej do obrazu rastrowego

- 13.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie, naciśnij przycisk *Run*.
- 13.5. Wyłącz widoczność wszystkich warstw poza `szlaki_buf_50`.
- 13.6. Przyjrzyj się zbiorowi rastrowemu `szlaki_buf_50`. Za pomocą narzędzia *Explora* (*Eksploracja*) na karcie *Map*, w grupie *Navigate* (*Nawigacja*) sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom wewnątrz buforów (Ryc. 34) i poza nimi.



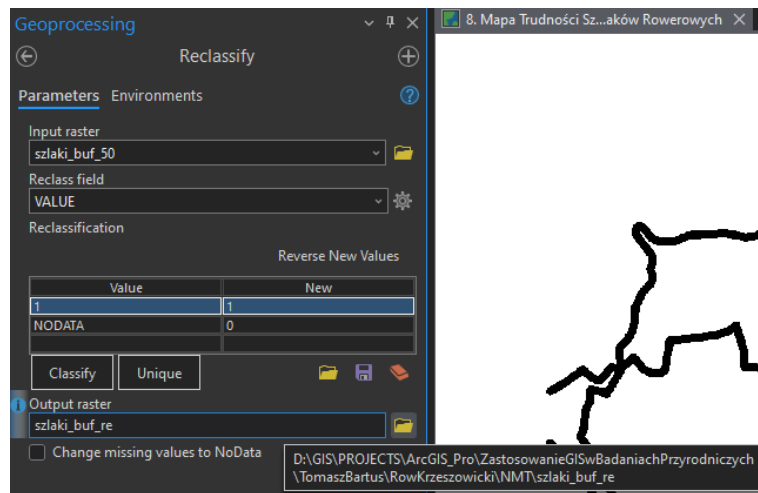
Ryc. 34. Warstwa rastrowa 50-metrowych buforów wokół szlaków turystycznych z zaznaczonym pikselem

Jak widać wartości pikseli rastra wewnątrz bufora wynoszą „1”, a poza nimi „NoData”.

14. Reklasyfikacja rastrów

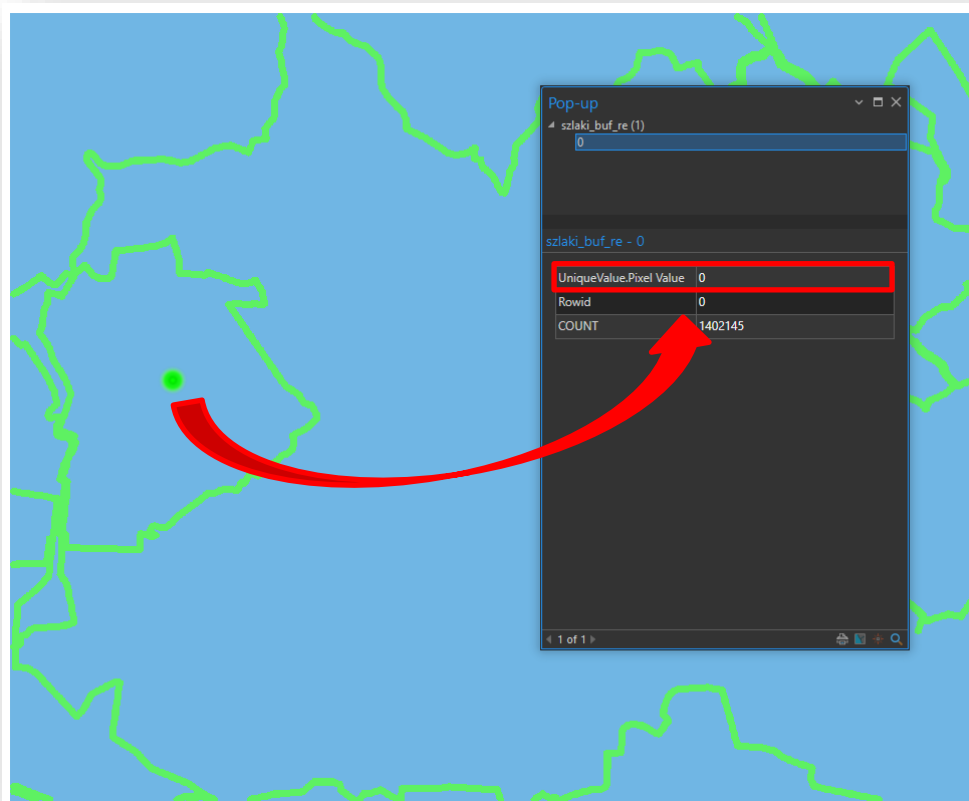
Pikselom zrasteryzowanej warstwy musimy teraz przypisać odpowiednie wartości – „1” (wewnątrz buforów) i „0” (poza buforami).

- 14.1. W oknie szybkiego wyszukiwania wpisz frazę „reclassify”.
- 14.2. Wybierz narzędzie *Reclassify (Spatial Analyst Tools)*.
- 14.3. Uzupełnij pola panelu *Geoprocessing – Reclassify (Reklasyfikacja)*:
 - jako wejściowy reklasyfikowany raster wprowadź `szlaki_buf_50`,
 - reklasyfikowane pole to `VALUE`,
 - zadeklarujemy teraz jak mają zmienić się wartości pikseli nowego rastra:
 - wartości pikseli posiadające atrybut „1” (obszary wewnątrz buforów) nie powinny być zmieniane,
 - wartości pozostałych pikseli powinny zostać zmienione na „0”.
 - Na koniec, raster wynikowy `szlaki_buf_re` zapiszmy w tej samej lokalizacji, w której znajduje się reklasyfikowany raster `szlaki_buf_50` (Ryc. 35).



Ryc. 35. Panel narzędzia *Geoprocessing* – *Reclassify* z reklasyfikowanym rastrem *szlaki_buf_50*

- 14.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie naciśnij przycisk *Run*.
- 14.5. W panelu *Contents* wyłącz widoczność warstwy *szlaki_buf_50*.
- 14.6. Przyjrzyj się utworzonemu rastrowi *szlaki_buf_re* (Ryc. 36). Za pomocą narzędzia *Explore* (*Eksploracja*) na karcie *Map*, w grupie *Navigate* (*Nawigacja*), sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom (*VALUE*) wewnątrz buforów i poza nimi.



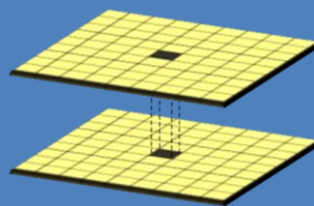
Ryc. 36. Zreklasyfikowany raster bufora szlaków rowerowych

Mamy więc już wszystko co potrzeba jeśli chodzi o szlaki rowerowe. Pora zająć się klasą nachyleń zboczy i wykonać mnożenie rastrów przez siebie.

Algebra map

operacje lokalne, fokalne, zonalne i globalne

Algebra map to rodzaj geoprzetwarzania, w którym wykorzystywane są dwa lub większa liczba zbiorów rastrowych. Na komórkach rastrów mogą być wykonywane różne operacje. Algebra map umożliwia operacje wykonywane **lokalne** (*local*), **fokalne** (*focal*), **zonalne** (*zonal*) i **globalne** (*global*).



W wyniku przeprowadzonych działań tworzone są nowe dane rastrowe. Wygenerowane wartości nowego rastra są funkcją wartości komórek położonych w rastrach wejściowych.

Operacje lokalne to operacje wykonywane na odpowiadającym sobie komórkach rastrów. Przykładem funkcji lokalnej może być średnia arytmetyczna np. gdy mamy dwa rastry, dla tego samego obszaru prezentujące temperaturę dla dwóch różnych pór dnia. Dla każdej pary pikseli wykonywana jest operacja obliczająca średnią, a wynik jest zapisywany w pikselu nowego rastra o tym samym położeniu co dane wejściowe. Wśród operacji lokalnych wyróżniamy:

operacje arytmetyczne (*addition, subtraction, multiplication, division*),

1	4	5		5	1	3		6	5	8
5	3	2	+	1	2	1	=	6	5	3
2	5	2		1	4	2		3	9	4

operacje statystyczne (*minimum, maximum, average, median*),

operacje relacji (*greater than, smaller than, equal to*),

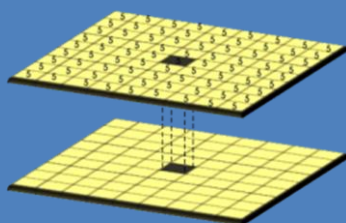
operacje trygonometryczne (*sine, cosine, tangent, arcsine*),

operacje eksponentcyjne i logarytmiczne (*exponent, logarithm*).

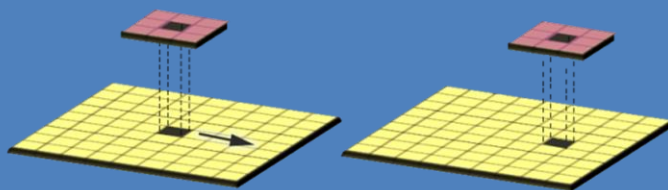
Algebra map c.d.

operacje lokalne, fokalne, zonalne i globalne

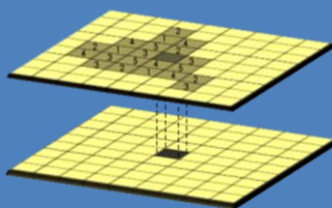
Operacje globalne to procesy lub funkcje wykonywane na każdej komórce rastra wyjściowego przy użyciu wszystkich komórek rastra wejściowego.



Operacje fokalne to funkcje przestrzenne, które obliczają wartości wyjściowe każdej komórki rastra na podstawie wartości sąsiedztwa. Dobrym przykładem jest operacja ruchomego okna (prostokątny układ komórek, który dla każdej komórki zestawu danych rastrowych wykonuje jakąś operację, po czym zmienia swą pozycję i ponownie wykonuje tę samą operację i tak aż do całkowitego wyczerpania powierzchni rastra).



Operacje zonalne to funkcje przestrzenne, które obliczają wartości wyjściowe każdej komórki rastra za pomocą strefy zawierającej tę komórkę. Przykładem zony mogą być zlewnie rzek – np. chcemy obliczyć całkowitą średnią objętość opadów atmosferycznych w każdej zlewni.

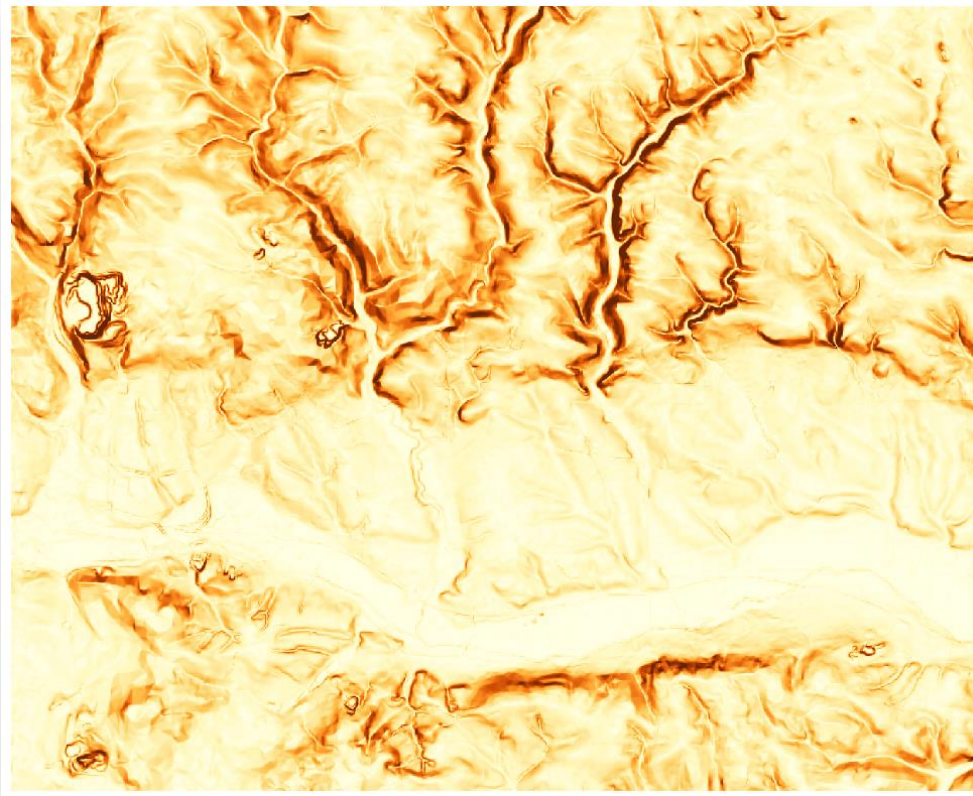


15. Raster nachyleń stoków

Raster nachyleń stoków wykonaliśmy wcześniej w [Ćwiczeniu 7](#).

15.1. W panelu *Contents* wyłącz widoczność warstwy `szlaki_buf_re`.

- 15.2. Wyświetl raster `Slope` na scenie mapy.
- 15.3. Raster `Slope` jest aktualnie kategoryzowany w oparciu o zdefiniowane kategorie. Zmień sposób symbolizacji rastra na *Stretch*, a następnie wybierz jakiś odpowiedni schemat kolorów (Ryc. 37).



Ryc. 37. Raster nachyleń stoków z Ćwiczenia 7

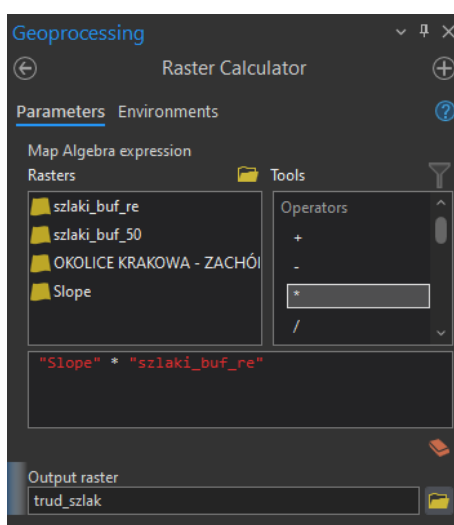
Wykorzystamy go do pomnożenia go przez raster `szlaki_buf_re`. Będzie to więc przykład lokalnej algebry map.

16. Iloczyn przestrzenny rastrów

Do przeprowadzenia lokalnych funkcji algebry map wykorzystujemy narzędzie *Raster Calculator* (Kalkulator rastrów).

- 16.1. W oknie szybkiego wyszukiwania *Command Search* wpisz frazę „`raster calculator`”.
- 16.2. Uruchom narzędzie *Raster Calculator* (*Image Analyst Tools*).
- 16.3. W panelu *Geoprocessing – Raster Calculator* utwórz wyrażenie mnożące piksele rastra `Slope` przez piksele rastra `szlaki_buf_re` (Ryc. 38). Plik wynikowy o nazwie `trud_szlak` zapisz w tej samej lokalizacji co rastry źródłowe.

16.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie naciśnij przycisk *Run*.



Ryc. 38. Panel narzędzia *Geoprocessing* – *Raster Calculator*

16.5. Przyjrzyj się utworzonemu rastrowi `trud_szlak` (Ryc. 39). Za pomocą narzędzia *Explore* (*Eksploracja*) na karcie *Map*, w grupie *Navigate* (*Nawigacja*), sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom wewnątrz buforów i poza nimi.



Ryc. 39. Iloczyn przestrzenny rastrow `Slope` i `szlaki_buf_re`

17. Symbolizacja mapy wynikowej

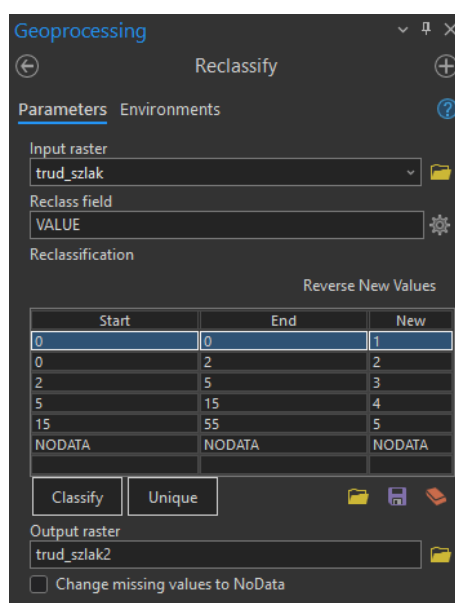
W tej części ćwiczenia dokonamy bonitacji przedziałowej (dyskretyzacji) rastra `trud_szlak`. Podzielimy zmienność nachyleń stoków wewnątrz bufora szlaków rowerowych na pięć kategorii (Tab. 1).

Tab. 1. Schemat klasyfikacji bonitacyjnej nachyleń stoków

Przedziały bonitacyjne rastra <code>trud_szlak</code>	Przydzielona klasa bonitacyjna
0, 0°	1
0, 0–2, 0°	2
2, 0–5, 0°	3
5, 0–15, 0°	4
15, 0–55, 0°	5

17.1. Wyłącz widoczność rastrow `Slope` oraz `trud_szlak`.

17.2. Zreklassyfikuj mapę `trud_szlak` według klucza z Tab. 1 (Ryc. 40).



Ryc. 40. Panel narzędzia *Geoprocessing* – *Reclassify* z parametrami dyskretyzacji rastra `trud_szlak`

17.3. Wynik reklassyfikacji zapisz do tej samej lokalizacji co poprzednio pod nazwą `trud_szlak2`.

17.4. Zmień symbolizację rastra wg klucza z Tab. 2.

Tab. 2. Tabela kolorów trudności szlaków rowerowych

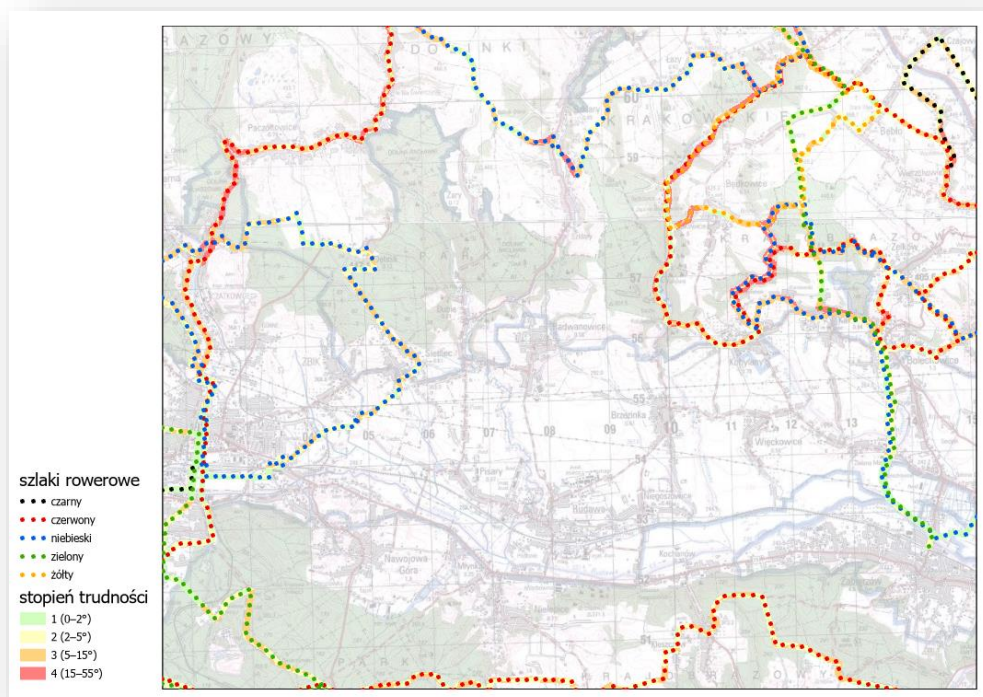
New values	Kolor		
	R	G	B
1	transparentny		
2	211	255	190
3	255	255	190
4	255	211	127
5	255	127	127

17.5. Po resymbolizacji raster prezentuje się tak jak na [Ryc. 41](#).



Ryc. 41. Zreklasyfikowany raster trudności szlaków rowerowych

- 17.6. Zduplikuj układ 5. `Layout Aspect`.
- 17.7. Nowemu układowi nadaj nazwę 6. `Layout Truność Szlaków Rowerowych`.
- 17.8. Skomponuj układ zawierający klasę szlaków rowerowych, półprzezroczysty podkład topograficzny oraz raster trudności szlaków rowerowych ([Ryc. 42](#)). Skomponuj czytelną legendę mapy.



Ryc. 42. Mapa trudności szlaków rowerowych w centralnej części Rowu Krzeszowickiego

Właśnie utworzyliśmy mapę trudności szlaków rowerowych dla centralnej części Rowu Krzeszowickiego.