

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Mapa szlaków rowerowych rejonu Rowu Krzeszowickiego

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 3

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.

2021-10-26

Wprowadzenie

Wykonamy ćwiczenie, w którym samodzielnie 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 5](#)) oraz ćwiczeń dotyczących podstawowych ([Ćwiczenie 6](#)) i wtórnych atrybutów topograficznych ([Ćwiczenie 10](#)). 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 6](#)) oraz mapy szlaków rowerowych (utworzymy ją samodzielnie).

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS 10.X for Desktop (ArcView, ArcEditor, lub ArcInfo).

Ćwiczenie 6

1. Struktura ćwiczenia

- 1.1. W swoim katalogu osobistym utwórzmy folder `/szlaki_rowerowe`. Będzie to folder domowy tego ćwiczenia.

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 (`/szlaki_rowerowe/`) utwórz podfolder o nazwie `/raster`.

- 2.3. Rozpakuj do niego zawartość archiwum z mapą turystyczną.
- 2.4. Przenieś archiwum `mapa.zip` do podfolderu `/szlaki_rowerowe/src`.
- 2.5. Przejdź do podfolderu `/raster`, 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.

Arkusze 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 5](#). Nie będziemy go jednak wstępnie obcinać aby w całości móc go wykorzystać do nadania plikowi graficznemu współrzędnych.

3. Dodanie skanu mapy na scenę ArcMap

W tym etapie ćwiczenia plik graficzny mapy turystycznej dodamy na scenę ArcMap.

- 3.1. Otwórz program ArcMap.
- 3.2. W folderze domowym projektu utwórz nowy plik projektowy o nazwie `trudnosc_szlakow_rowerowych.mxd`.
- 3.3. Ramce *Layers* nadaj odwzorowanie „PUWG 1992”. Unikatowy numer tej projekcji (WKID) to 2180. Jeśli do tej pory tego nie zrobiłeś, dodaj odwzorowanie „PUWG 1992” do ulubionych projekcji.
- 3.4. Przy pomocy narzędzia *Dodaj Dane (Add Data)* znajdującego się na pasku narzędzi standardowych, dodaj plik `OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png` na scenę ArcMap.

Pojawi się okno dialogowe informujące Cię o tym, że rastrowy plik dodawany do projektu nie posiada informacji o odwzorowaniu kartograficznym. Oczywiście tak jest. Dodajemy zwykły plik graficzny, a nie mapę.

- 3.5. Klikamy *OK*.

Na scenę ArcMap zostaje dodany skan mapy turystycznej ([Fig. 1](#)). Gdy poruszamy się kursorem po jego powierzchni, w prawym dolnym rogu aplikacji możemy zobaczyć zmieniające się współrzędne. W niczym jednak nie przypominają one współrzędnych geograficznych. Parametr X zmienia się (od lewego górnego narożnika skanu) w zakresie od 0 do około 4770, a Y w zakresie od 0 do około 2420. Wyświetlane współrzędne to nic innego jak numery wierszy i kolumn rastra. Można je więc interpretować jako współrzędne pikseli w macierzy pliku rastrowego. Aby móc wykorzystać skan mapy musimy nadać warstwie rastrowej współrzędne geograficzne.



Fig. 1. Ramka *Layers* 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 georeferencje¹. Mówiąc bardziej przystępnie „wpasujemy” ją w wybrany układ współrzędnych. W praktyce dokonywana jest transformacja z układu współrzędnych rastra (rzędy i kolumny matrycy) do odwzorowania kartograficznego np. PUWG „1992”. Proces przekształcenia geometrycznego powierzchni warstwy rastrowej wraz określeniem jej układu współrzędnych nosi nazwę **rektyfikacji**. Proces polega na wskazaniu n par punktów na mapie rektyfikowanej (w naszym przypadku – na warstwie mapy turystycznej) i na mapie wzorcowej w docelowym odwzorowaniu kartograficznym. Jako „wzorców współrzędnych” używa się najczęściej map topograficznych albo ortofotomap². 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 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,

¹ Georeferencja – jest to zbiór danych umożliwiających transformację współrzędnych wyrażonych w układzie pikselowym do układu współrzędnych geodezyjnych elipsoidalnych oraz do dowolnego układu prostokątnego płaskiego (odwzorowania).

² 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).

na których będzie mógł je oprzeć. Minimalna liczba (w ramach tego projektu) niech wynosi pięć punktów.

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

Pasek narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)*; [Fig. 2](#), [Tab. 1](#)) posiada szereg ciekawych narzędzi.

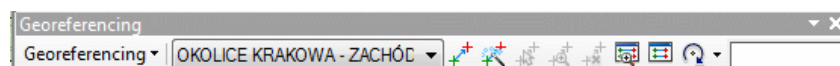


Fig. 2. Pasek narzędzi Georeferencing

Tab. 1. 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 mapy turystycznej do odwzorowania PUWG „1992”. Za wzorzec współrzędnych obiektów przestrzennych posłuży nam mapa

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

- 4.2. Uruchom przeglądarkę www.
- 4.3. W wyszukiwarce wpisz frazę „*geoportal wms*”.
- 4.4. W wynikach wyszukaj strony z tytułem „Usługi przeglądania WMS i WMTS – Geoportal 2”.

WMS (ang. *Web Map Service*) i **WMTS** (ang. *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.

- 4.5. W spisie dostępnych usług wyszukajmy usługi WMTS „Rastrowa Mapa Topograficzna Polski”.
- 4.6. Skopiujmy adres usługi.
- 4.7. Przejdźmy teraz do aplikacji ArcMap. W oknie *Catalog* wyszukajmy narzędzia *Add WMTS Server* (*Dodaj Serwer WMTS*; Fig. 3).

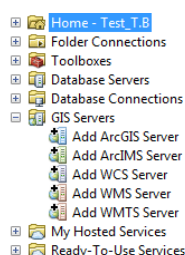


Fig. 3. Spis udostępnionych usług oknie aplikacji *Catalog*

- 4.8. Uruchom narzędzie *Dodaj Serwer WMTS* (*Add WMTS Server*).
- 4.9. W oknie dialogowym *Dodaj Serwer WMTS* (*Add WMTS Server*) w polu URL: wklej skopiowany adres usługi Geoportalu, następnie wciśnij przycisk *Get Layers* (*Pobierz Warstwy*; Fig. 4), a na końcu wciśnij przycisk *OK*.

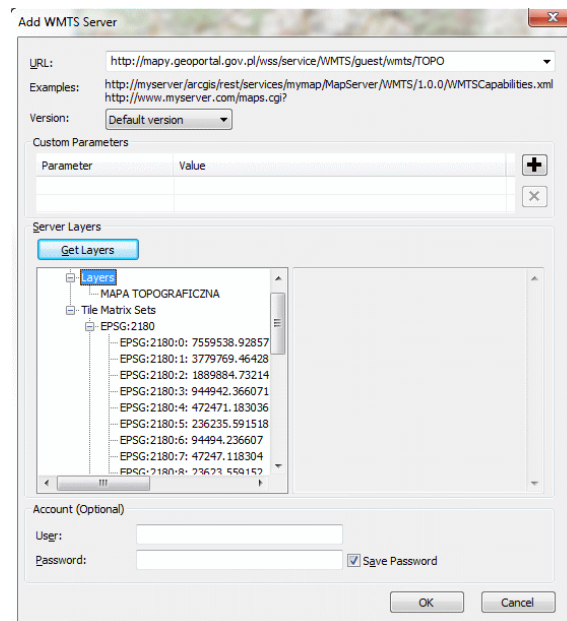


Fig. 4. Okno dialogowe Add WMTS Server z dodanym adresem usługi TOPO serwera geoportal.gov.pl

W oknie *Catalog*, w spisie *GIS Servers* (*Serwery GIS*) pojawił się nowy zapis „Usługa przeglądania rastrowych map topograficznych dla Polski. Profil kafelkowany (WMTS) on mapy.geoportal.gov.pl” (Fig. 5).

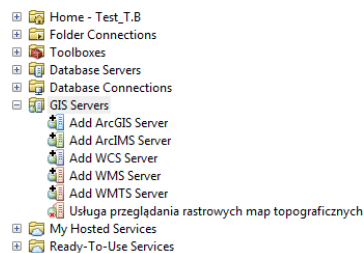


Fig. 5. Wpis usługi przeglądania rastrowych map topograficznych dla Polski

5. Dodanie na scenę rastrowej warstwy on-line

Dodamy teraz na scenę warstwę mapy topograficznej udostępnioną on-line przez Geoportal.

- 5.1. W oknie *Catalog* kliknij dwukrotnie na usłudze przeglądania rastrowych map topograficznych dla Polski.
- 5.2. Gdy z lewej strony obok usługi pojawi się krzyżyk, otwórz go. Wewnątrz pojawi się warstwa MAPA TOPOGRAFICZNA (Fig. 6).

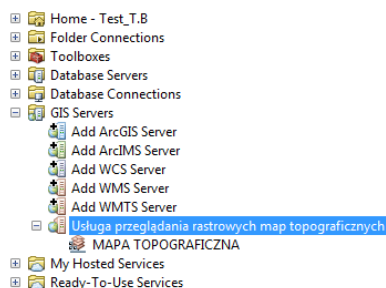


Fig. 6. Warstwa MAPA TOPOGRAFICZNA pobrana z usługi on-line przeglądania map topograficznych portalu geoportal.gov.pl

5.3. Przecignij tę warstwę na scenę ArcMap.

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 tabeli zawartości kliknij PPM na dodanej warstwie MAPA TOPOGRAFICZNA, i wybierz *Powiększ do warstwy* (Zoom to layer; Fig. 7).



Fig. 7. Mapa topograficzna Polski on-line (geoportal.gov.pl)

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



Powiększony fragment mapy topograficznej prezentuje [Fig. 8](#).



Fig. 8. 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. 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. Ja przedstawię poniżej procedurę dostosowania współrzędnych jednego punktu.

6. Wyznaczenie punktów dostosowania

- 6.1. W tabeli zawartości wybierz warstwę OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png, a następnie kliknij na niej PPM i wybierz *Powiększ do warstwy (Zoom to layer)*.
- 6.2. Odszukaj most na Skawie w Wadowicach. 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; Fig. 9).

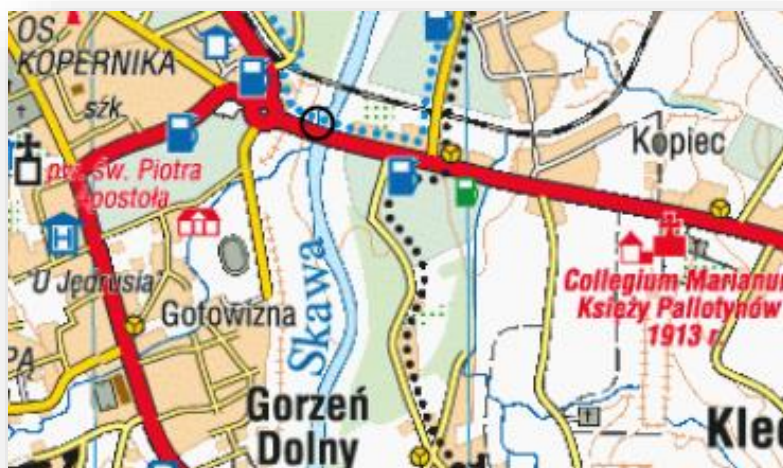


Fig. 9. Fragment mapy turystycznej w rejonie Wadowic z zaznaczonym położeniem pierwszego punktu dostosowania (1)

- 6.4. Z paska narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)* wybierz narzędzie *Dodaj Punkt Kontrolny (Add Control Points)* (Fig. 10), a następnie w punkcie, w którym północno zachodnia krawędź mostu przecina rzekę, jak możesz najdokładniej, kliknij pierwszy punkt pierwszej pary punktów dostosowania (1).



Fig. 10. Pasek narzędzi Georeferencing z zaznaczonym narzędziem Dodaj Punkt Kontrolny (Add Control Points)

Pierwszy punkt (1) z pierwszej pary punktów odniesienia mamy już wybrany. Teraz musimy odnaleźć ten sam punkt na mapie topograficznej.

- 6.5. W tabeli zawartości wyłącz widoczność warstwy OKOLICE KRAKOWA – ZACHÓD.png.
- 6.6. Znajdź na mapie topograficznej most w Wadowicach na Skawie (Fig. 11).

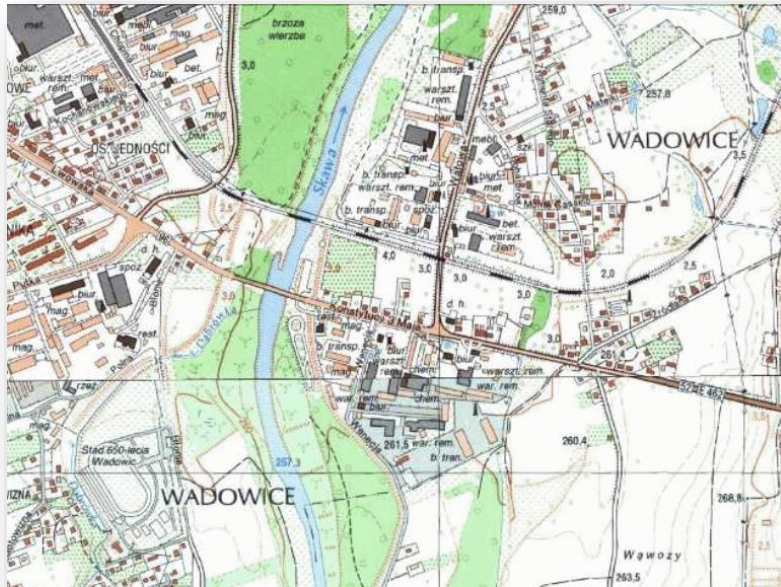


Fig. 11. Fragment mapy topograficznej w rejonie Wadowic (geoportal.gov.pl)

- 6.7. Powiększ mapę topograficzną w obrębie mostu na Skawie w Wadowicach. (Fig. 12).



Fig. 12. Fragment mapy topograficznej w rejonie Wadowic z zaznaczonym położeniem pierwszego punktu dostosowania (1; geoportal.gov.pl)

- 6.8. Z paska narzędzi *Geoodniesienie (Georeferencing)* wybierz narzędzie *Dodaj Punkt Kontrolny (Add Control Points; Fig. 10)*
- 6.9. 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 6.1–6.9.

UWAGA!

Definiując pary punktów dostosowania, **zawsze** jako pierwszy deklarujemy punkt na mapie 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 *Geoodniesienie (Georeferencing)* wybierz narzędzie *Zobacz Tabelę Dostosowania (View Link Table; Fig. 13)*.

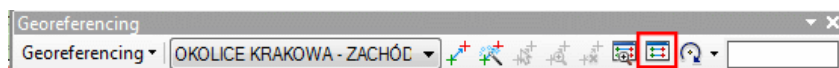


Fig. 13. Pasek narzędzi *Georeferencing* z zaznaczonym narzędziem *Zobacz Tabelę Dostosowania (View Link Table)*

Narzędzie *Zobacz Tabelę Dostosowania (View Link Table)* prezentuje tabelę (Fig. 14) 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:6.53971			
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	288.677019	-6282.350858	536631.407023	223402.013217	-4.82979	2.2693	5.33634
<input checked="" type="checkbox"/>	2	4037.618403	-6212.854362	563102.209189	223895.411237	3.56279	2.812	4.53881
<input checked="" type="checkbox"/>	3	4105.948384	-604.276365	563554.948170	263480.671434	-5.2893	2.78534	5.97786
<input checked="" type="checkbox"/>	4	416.457009	-348.727505	537519.815386	265281.481536	3.54891	2.24914	4.20159
<input checked="" type="checkbox"/>	5	2410.296227	-3380.315260	551604.399284	243873.474000	3.00739	-10.1158	10.5534

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

Fig. 14. Tabela błędów dostosowania

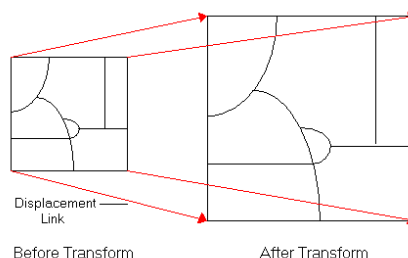
Tabela błędów dostosowania zawiera szczegółowe informacje na temat współrzędnych lokalnych pliku graficznego (*Z Source*, *Y Source*), współrzędnych tych samych punktów na mapie wzorcowej (*X Map*, *Y Map*), a także błędów poszczególnych par punktów dostosowania zrzutowanych na oś X, Y, błędu całkowitego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

- 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:

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

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

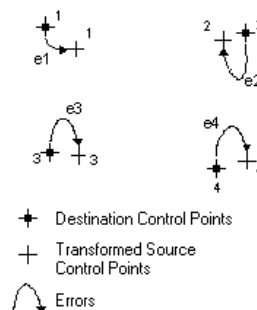
gdzie:

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 resztkowe (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 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 (Fig. 14), największy błąd resztkowy generuje para punktów dostosowania „5”. Całkowity błąd dostosowania wynosi w tym przypadku 10 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, 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 jest jak najbardziej do zaakceptowania.

- 7.2. Aby zachować utworzone przekształcenie, z menu *Georeferencja* (*Georeferencing*) wybierz opcję *Odśwież Georeferencję* (*Update Georeferencing*).

W ten sposób nowe współrzędne zostaną zapamiętane.

8. Dodanie na scenę obszaru badań

- 8.1. Z geobazy `NMT.gdb` przeciągnij na scenę klasę `obszar_badań`.
- 8.2. Zmień styl poligonu obszaru badań na bez wypełnienia i z grubszą czerwoną ramką.
- 8.3. Powiększ scenę ArcMap do zakresu klasy `obszar_badań` (Fig. 15).

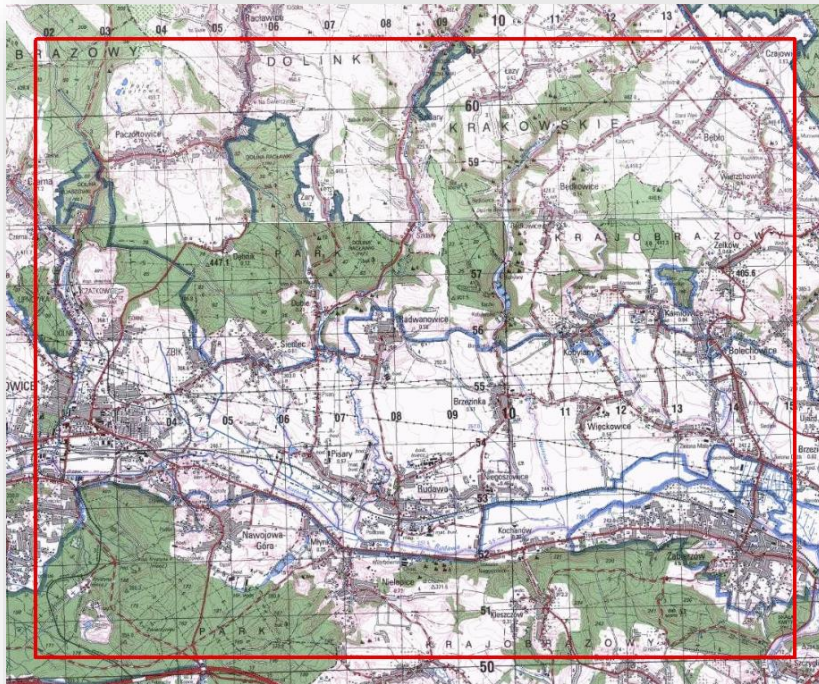


Fig. 15. Obszar realizacji mapy trudności szlaków rowerowych na tle fragmentu mapy topograficznej (geoportal.gov.pl)

Nasza mapa trudności szlaków rowerowych będzie obejmowała obszar zakreślony ramką.

- 8.4. Wyłącz widoczność warstwy MAPA TOPOGRAFICZNA i pozostaw widoczną warstwę OKOLICE KRAKOWA - ZACHÓD.png.

Mamy zrektyfikowaną mapę źródłową. Jesteśmy więc przygotowani do wektoryzacji warstwy szlaków rowerowych.

9. Wektoryzacja klasy szlaków rowerowych

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

- 9.1. W geobazie NMT 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 (Fig. 16).



Fig. 16. 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 (Fig. 16) mamy więc do czynienia z dwoma szlakami rowerowymi – czerwonym i zielonym. Zdigitalizujemy te dwa fragmenty szlaków w obszarze badań.

- 9.3. Wprowadźmy pustą klasę `szlaki` w tryb edycji.
- 9.4. Z paska narzędzi *Edycja (Editor)* wybierz narzędzie *Twórz Obiekt (Create Feature)*.
- 9.5. W górnej części okna *Twórz Obiekt (Create Feature)* wybierz klasę `szlaki`, a w dolnej części (*Construction Tools*) wybierz narzędzie *Linia (Line)*.
- 9.6. Za pomocą możliwie małej liczby punktów, naśladując przebieg szlaków, utwórz dwa nowe obiekty (Fig. 17). Każdą linię kończ dwukrotnym szybkim kliknięciem.



Fig. 17. Południowo zachodni fragment obszaru badań (czerwona ramka) z wyświetloną w tle mapą turystyczną i zwektoryzowanymi dwoma fragmentami szlaków rowerowych

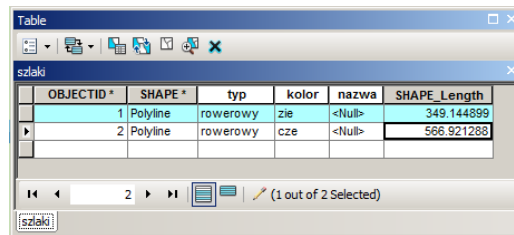
- 9.7. Z paska narzędzi *Edycja (Editor)* wybierz *Zachowaj Edycję (Save Edits)*.
- 9.8. W tabeli zawartości kliknij PPM na klasę *szlaki* i obejrzyj tabelę atrybutową (Fig. 18).

OBJECTID *	SHAPE *	typ	kolor	nazwa	SHAPE_Length
1	Polyline	<Null>	<Null>	<Null>	349.144899
2	Polyline	<Null>	<Null>	<Null>	566.921288

Fig. 18. Zawartość tabeli atrybutowej klasy *szlaki* (z przykładowym zestawem atrybutów)

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

- 9.9. Zaznaczając w tabeli atrybutowej jeden bądź drugi rekord, zorientuj się których linii dotyczą odpowiednie zapisy.
- 9.10. Dla obu obiektów uzupełnij poprawnie wartości atrybutów *typ* i *kolor* (Fig. 19). UWAGA – u ciebie zarówno nazwy atrybutów, jak i ich wartości mogą być inne!



OBJECTID *	SHAPE *	typ	kolor	nazwa	SHAPE_Length
1	Polyline	rowerowy	zie	<Null>	349.144899
2	Polyline	rowerowy	cze	<Null>	566.921288

Fig. 19. Zawartość tabeli atrybutowej klasy szlaki z uzupełnionymi atrybutami typ i kolor

10. Modyfikacja szablonów obiektów

W tej części ćwiczenia utworzymy dwa szablony automatycznie tworzące nowe obiekty szlaków rowerowych czerwonych i zielonych. W dalszej części ćwiczenia samodzielnie zmodyfikujesz szablony aby móc także tworzyć szlaki rowerowe czarne, żółte i niebieskie.

- 10.1. We właściwościach warstwy szlaki utwórz *Kwerendę Wybierającą* (*Definition Query*) wyświetlającą wyłącznie szlaki rowerowe (Fig. 20). Ten punkt ćwiczenia przyda nam się gdy w przyszłości zechcemy klasę szlaki rozszerzyć także o inne rodzaje szlaków turystycznych.

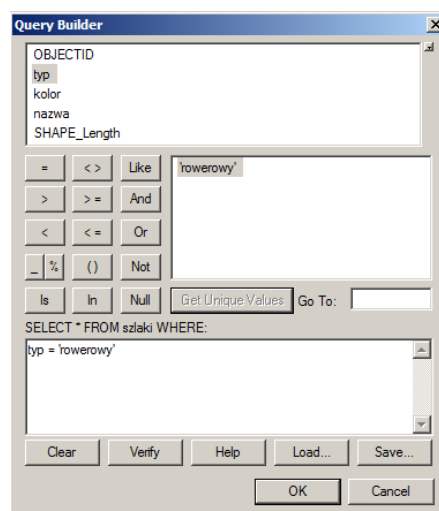


Fig. 20. Kwerenda wybierająca szlaki rowerowe

- 10.2. W tabeli zawartości wyświetl szlaki rowerowe innymi stylami w zależności od koloru.
- 10.3. Zmień style szlaków rowerowych czerwonych i zielonych na intuicyjne.
- 10.4. Będąc nadal w oknie *Właściwości Warstwy* (*Layer Properties*), zmień etykiety wyświetlanych szlaków na: czerwone i zielone (Fig. 21).

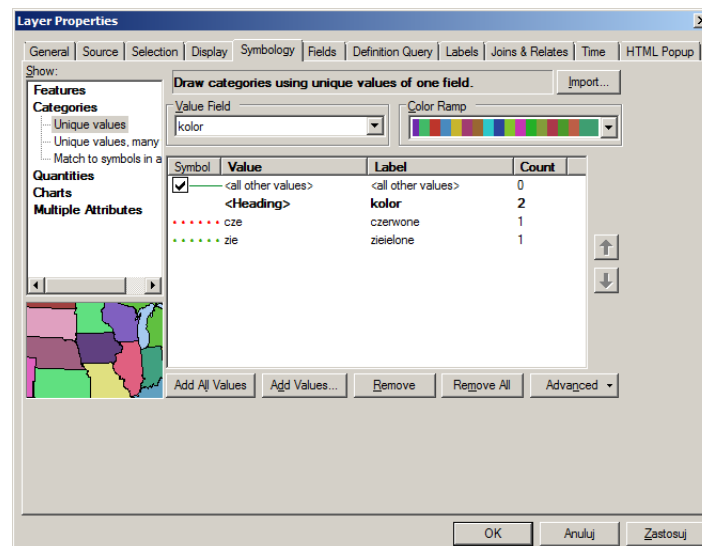


Fig. 21. Właściwości warstwy szlaki

- 10.5. W górnej części okna *Twórz Obiekt (Create Feature)* wybierz narzędzie *Menager Szablonów (Organize Templates)* (Fig. 22).

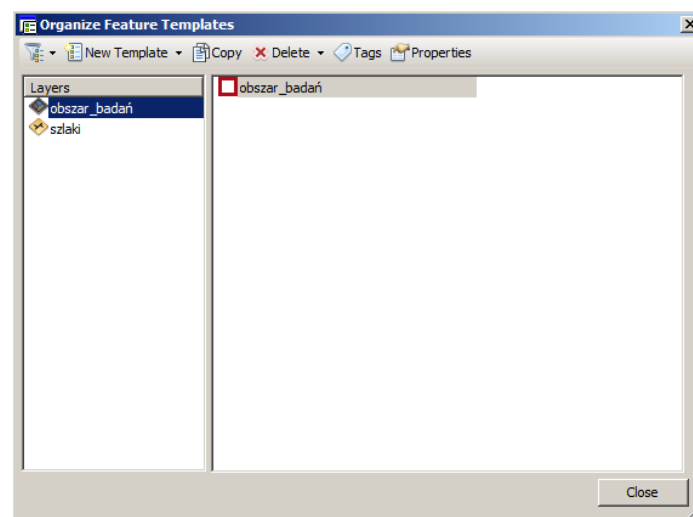


Fig. 22. Okno Menagera Szablonów (Organize Templates)

- 10.6. W oknie *Menager Szablonów (Organize Templates)* kliknij narzędzie *Nowy Szablon (New Template)*.
- 10.7. W oknie wybierz (ptaszek) warstwę *szlaki*, po czym kliknij przycisk *Dalej (Next)*.
- 10.8. Wybierz (ptaszki) dwie istniejące kategorie szlaków, po czym naciśnij przycisk *Koniec (Finish)*.
- 10.9. W oknie *Menager Szablonów (Organize Templates)* wybierz warstwę *Szlaki*, a następnie dwukrotnie kliknij na szablon „czerwone”. Uzupełnij *Opis (Description)* szablonu wprowadzając frazę „szlaki rowerowe czerwone” oraz zmieniając domyślną wartość atrybutu *typ* na „rowerowy” (Fig. 23).
- 10.10. Edycję szablonu zakończ wciskając przycisk *OK*.

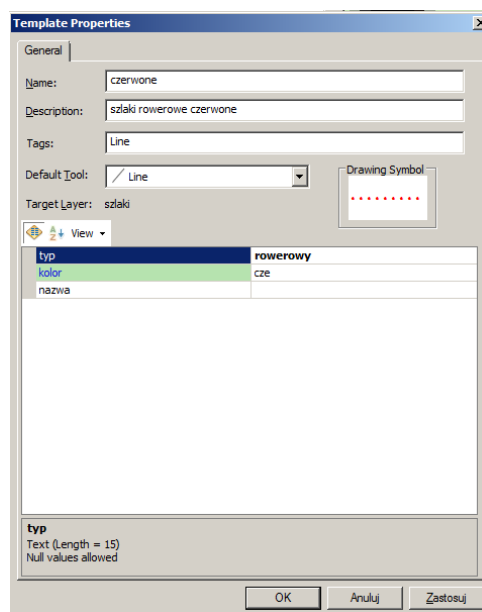


Fig. 23. Okno *Właściwości Szablону (Template Properties)* kategorii szlaków rowerowych czerwonych

- 10.11. Podobnie zmodyfikuj szablon szlaków rowerowych zielonych.
- 10.12. Po wszystkich modyfikacjach, w oknie *Utwórz Obiekt (Create Features)* pojawią się dwa nowe szablony szlaki – czerwone i zielone (Fig. 24).

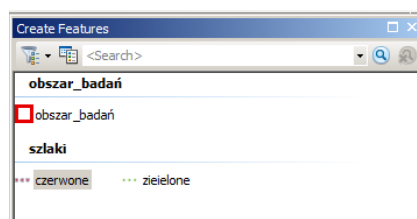


Fig. 24. Fragment okna *Utwórz Obiekt (Create Features)* z nowymi szablonymi szlaków czerwonych i zielonych

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 = „rowerowe”` oraz `kolor = „czerwone”` (lub `kolor = „zielone”`). Dodatkową zaletę będzie stanowiło rysowanie szlaków za pomocą stylu zadeklarowanego w szablonie.

- 10.13. W miarę rozwoju sytuacji i wektoryzacji kolejnych szlaków, uzupełnij zasób zadeklarowanych szablónów i je wykorzystuj.
- 10.14. Zwektoryzuj w ten sposób wszystkie szlaki rowerowe występujące w zadeklarowanym obszarze badań. Kompletną klasę szlaków przedstawia Fig. 25.

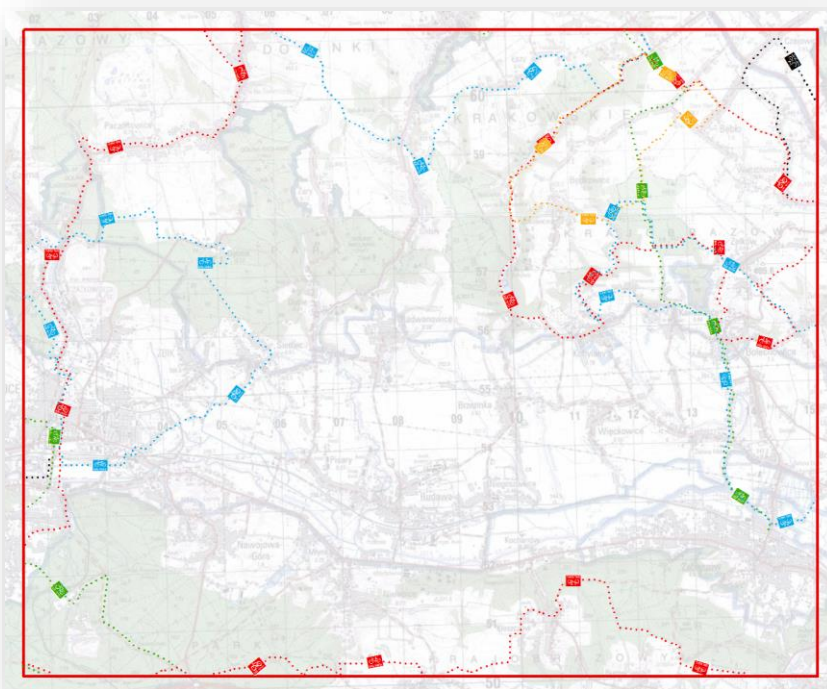


Fig. 25. Zwektoryzowana klasa szlaków turystycznych (rowerowych) w obszarze badań; w tle fragment mapy topograficznej (geoportal.gov.pl)

11. Koncepcja mapy trudności szlaków rowerowych

Mapa trudności szlaków rowerowych będzie opierała się o klasę nachylenia zboczy (zob. [Wstęp](#)). Tworzymy założenie, że niezależnie czy jedziemy w górę czy w dół, szlak będzie tym trudniejszy im trasa jest bardziej nachylona. Wykorzystamy tutaj klasę `Slope` utworzoną w trakcie ćwiczenia dotyczącego podstawowych atrybutów topograficznych (zob. [Ćwiczenie 5](#)). Aby warstwę nachylenia zboczy powiązać z klasą szlaków turystycznych, wokół szlaków utworzymy bufor (klasa `bufor`). Zrasteryzujemy³ ją. Pikselom położonym we wnętrzu bufora nadamy wartość „1”, zaś obszarom poza buforami wartość „0”. Następnie za pomocą algebry map, pomnożymy każdy piksel klasy `Slope` przez odpowiadający mu piksel klasy `bufor`. W ten sposób otrzymamy warstwę nachyleń zboczy wewnątrz buforów. Po odpowiedniej symbolizacji otrzymamy uproszczoną mapę trudności szlaków rowerowych.

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

³ 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.

12. Utworzenie bufora wokół szlaków rowerowych

- 12.1. Wykonaj 50-metrowy bufor wokół klasy szlaków rowerowych. Nową klasę zapisz do geobazy NMT w klasie `szlaki_bufor_50` (Fig. 26).

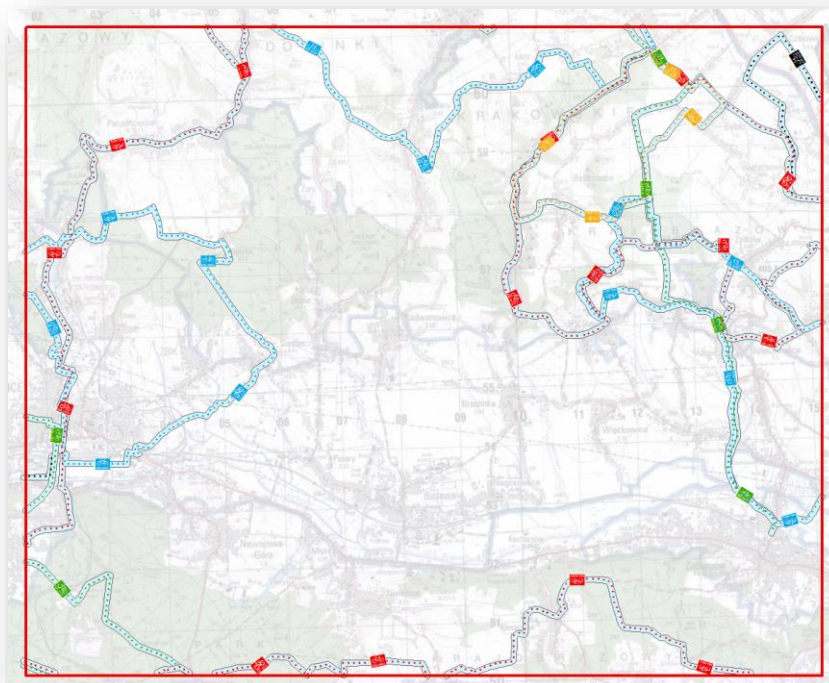


Fig. 26. Mapa wektorowa 50-metrowych buforów wokół szlaków turystycznych

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 klasy `Slope`.

- 13.1. W oknie dialogowym *Wyszukaj (Search)* wpisz frazę „*rasterization*”.
- 13.2. Wyszukaj, a następnie uruchom narzędzie *Obiekt Do Rastra (Feature To Raster)*. 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 „rowerowy” (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 klas pochodnych NMT).

- 13.3. Wynikowy obraz rastrowy zapiszmy w postaci osobnego pliku rastrowego, w tym samym podfolderze, w którym znajduje się geobaza NMT, pod nazwą – szlaki_buf_50 (Fig. 27).

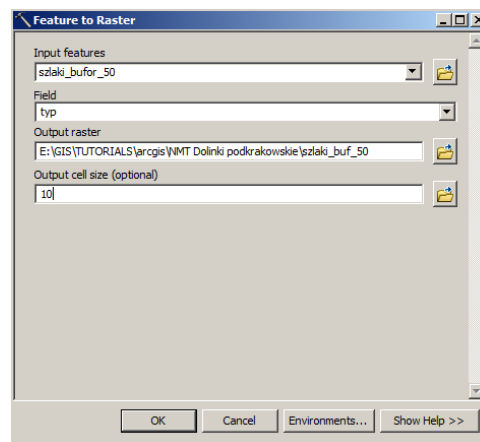



Fig. 27. Okno dialogowe narzędzia konwersji *Obiekt Do Rastra (Feature To Raster)*

- 13.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie, naciśnij przycisk *OK*.
- 13.5. Przyjrzyj się rastrowej klasie *szlaki_buf_50*. Za pomocą narzędzia *Identyfikacja (Identify)* – w głównym pasku narzędzi () , sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom wewnątrz buforów i poza nimi.

14. Reklasyfikacja rastrów

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

- 14.1. W oknie dialogowym *Wyszukaj (Search)* wpisz frazę „*reclassify*”.
- 14.2. Uruchom narzędzie *Reklasyfikacja (Reclassify) (Spatial Analyst)*.
- 14.3. Uzupełnij pola okna dialogowego *Reklasyfikacja (Reclassify)*:
- jako wejściowy reklasyfikowany raster wprowadź *szlaki_buf_50*,
 - reklasyfikowane pole to *Typ*,
 - zadeklarujemy teraz jak mają zmienić się wartości pikseli nowego rastra:
 - wartości pikseli posiadające atrybut „*rowerowy*” (obszary wewnątrz buforów) powinny zostać zmienione na „1”,
 - 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* (Fig. 28).

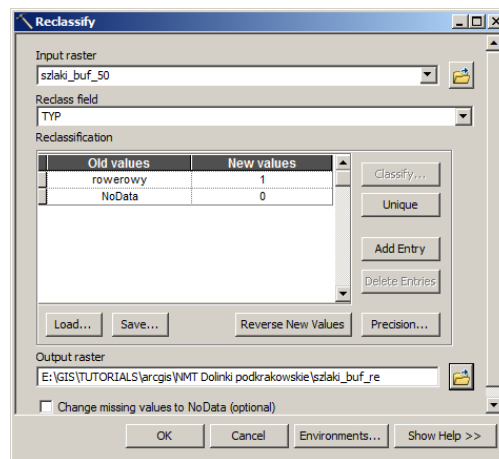


Fig. 28. Okno dialogowe narzędzia *Reklasyfikacja (Reclassify)* z reklasyfikowanym rastrem *szlaki_buf_50*

- 14.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie, naciśnij przycisk **OK**.
- 14.5. Przyjrzyj się utworzonemu rastrowi *szlaki_buf_re* (Fig. 29). Za pomocą narzędzia *Identyfikacja (Identify)*, sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom (*pixel value*) wewnątrz buforów i poza nimi.

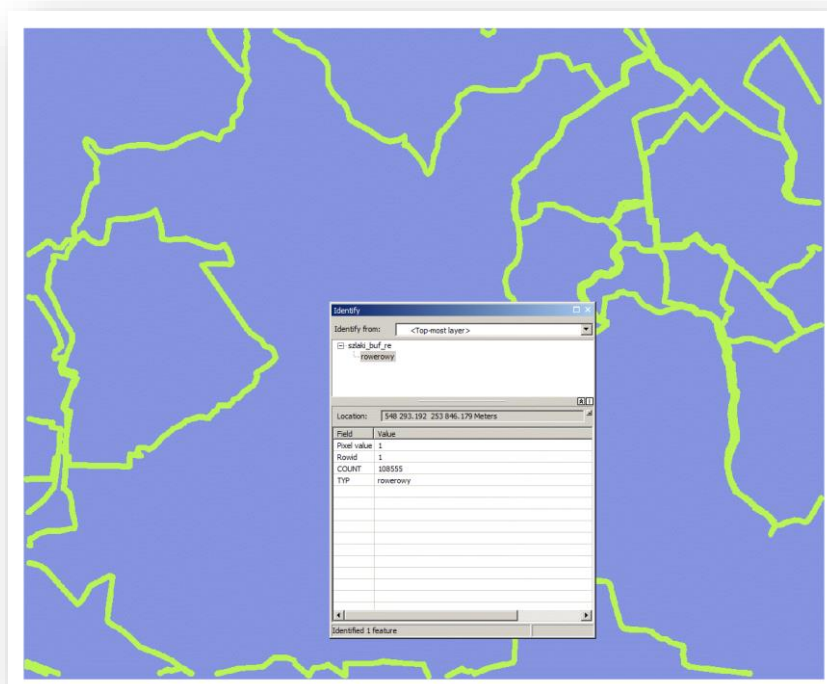


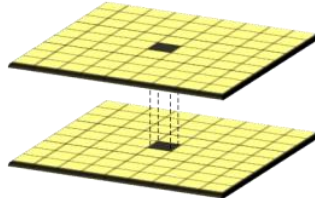
Fig. 29. Zreklasyfikowany raster bufora szlaków rowerowych

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

Co to jest 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 (ang. *local*), fokalne (ang. *focal*), zonalne (ang. *zonal*) i globalne (ang. *global*).



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

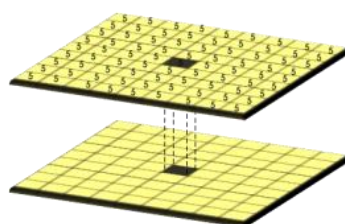
Wśród operacji lokalnych wyróżniamy:

- 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

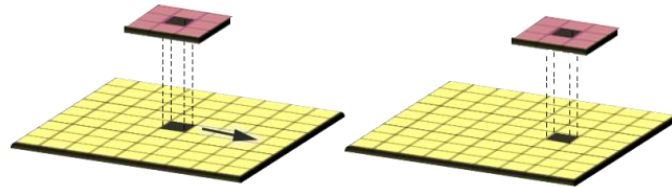
- operacje statystyczne (minimum, maximum, average, median),
- operacje relacji (greater than, smaller than, equal to),
- operacje trygonometryczne (sine, cosine, tangent, arcsine),
- operacje eksponentcyjne i logarytmiczne (exponent, logarithm).

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

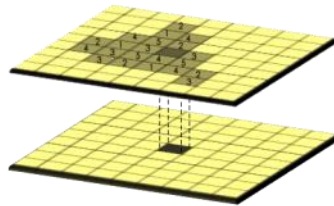


Operacje fokalne to funkcje przestrzenne, które obliczają wartości wyjściowe

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 5.

15.1. Wyświetl raster `Slope` na scenie mapy (Fig. 30).

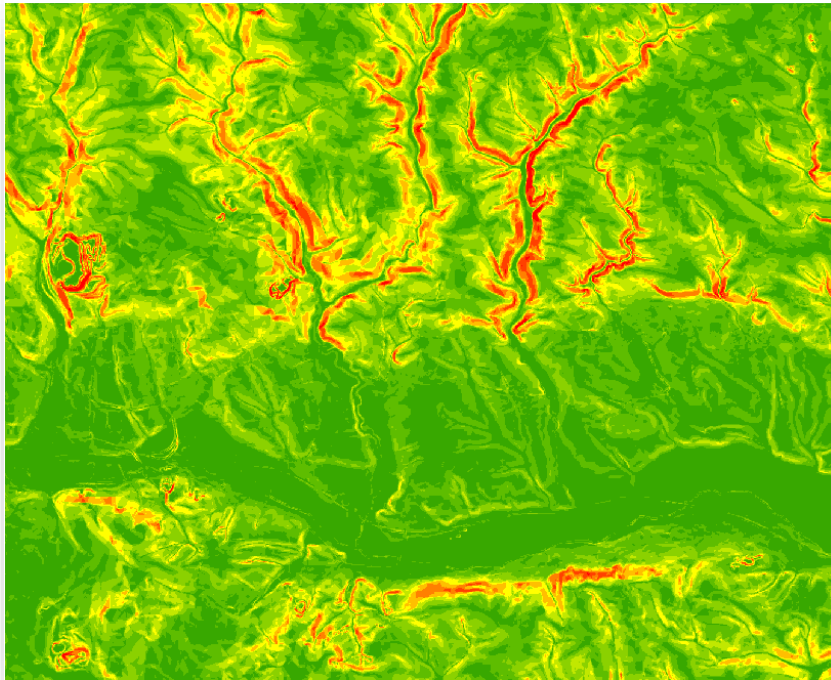


Fig. 30. Raster nachyleń stoków z Ćwiczenia 5-go

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 *Kalkulatora Rastrów* (*Raster Calculator*).

- 16.1. W oknie dialogowym *Wyszukaj* (*Search*) wpisz frazę „*raster calculator*”.
- 16.2. Uruchom narzędzie *Kalkulator Rastrów* (*Raster Calculator*).
- 16.3. Utwórz wyrażenie mnożące piksele rastra `Slope` przez piksele rastra `szlaki_buf_re` (Fig. 31). Plik wynikowy o nazwie `trud_szlak` zapisz w tej samej lokalizacji co rastry źródłowe.
- 16.4. Aby rozpocząć geoprzetwarzanie, naciśnij przycisk *OK*.

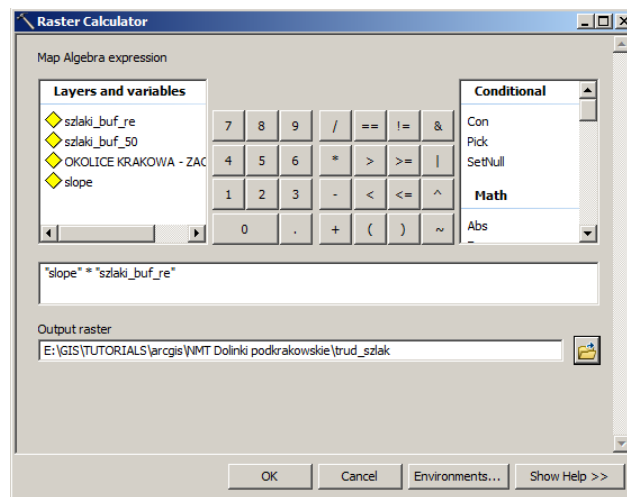


Fig. 31. Okno dialogowe narzędzia *Kalkulator Rastrów* (*Raster Calculator*)

- 16.5. Przyjrzyj się utworzonemu rastrowi `trud_szlak` (Fig. 32). Za pomocą narzędzia *Identyfikacja* (*Identify*), sprawdź jakie wartości zostały przypisane pikselom (`pixel value`) wewnątrz buforów i poza nimi.

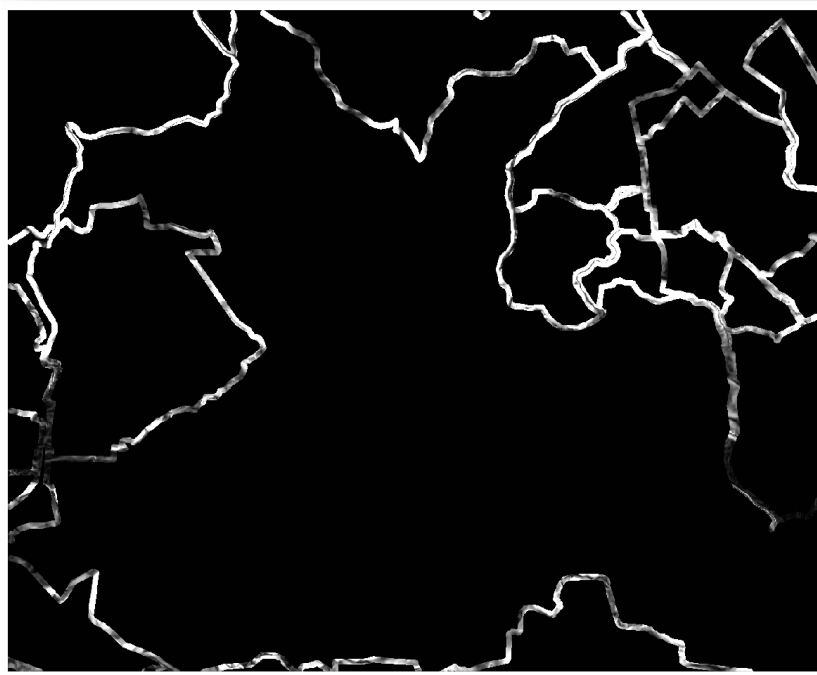


Fig. 32. Iloczyn przestrzenny rastrów `slope` i `szlaki_buf_re`

17. Symbolizacja mapy wynikowej

- 17.1. Zreklassyfikujmy mapę `trud_szlak` według klucza z Fig. 33.

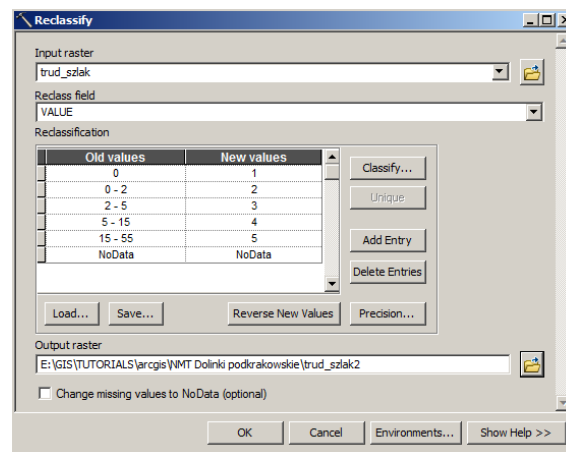


Fig. 33. Okno dialogowe narzędzia *Reklasyfikacja (Reclassify)* rastra *trud_szlak*

- 17.2. Wynik reklasyfikacji zapisz do tej samej lokalizacji co poprzednio pod nazwą *trud_szlak2*.
- 17.3. 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

- 17.4. Po resymbolizacji raster prezentuje się tak jak na [Fig. 34](#).

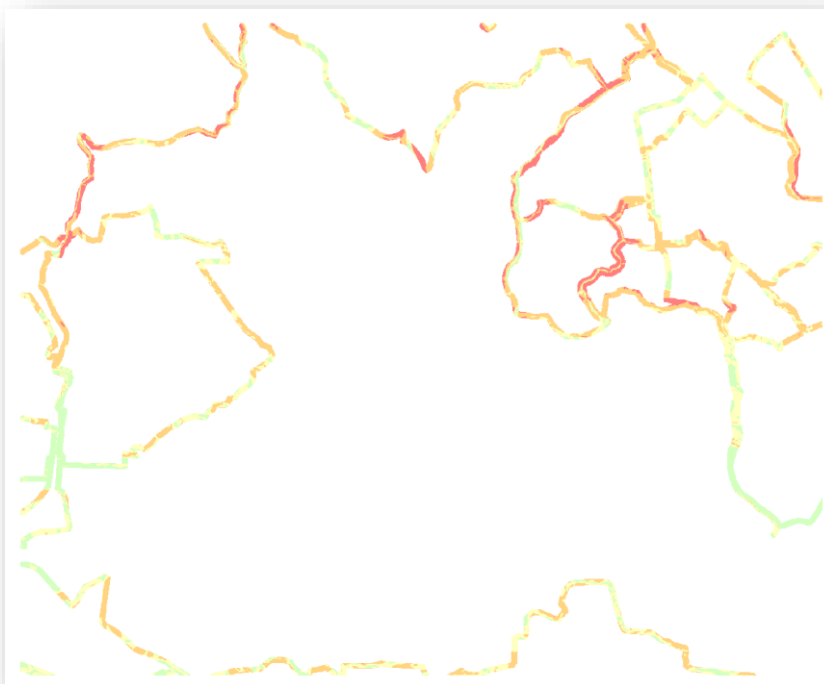


Fig. 34. Zreklasyfikowany raster trudności szlaków rowerowych

17.5. W widoku układu skomponuj mapę wynikową zawierającą klasę szlaków rowerowych, półprzeźroczysty podkład topograficzny oraz raster trudności szlaków rowerowych (Fig. 35). Skomponuj czytelną legendę mapy.

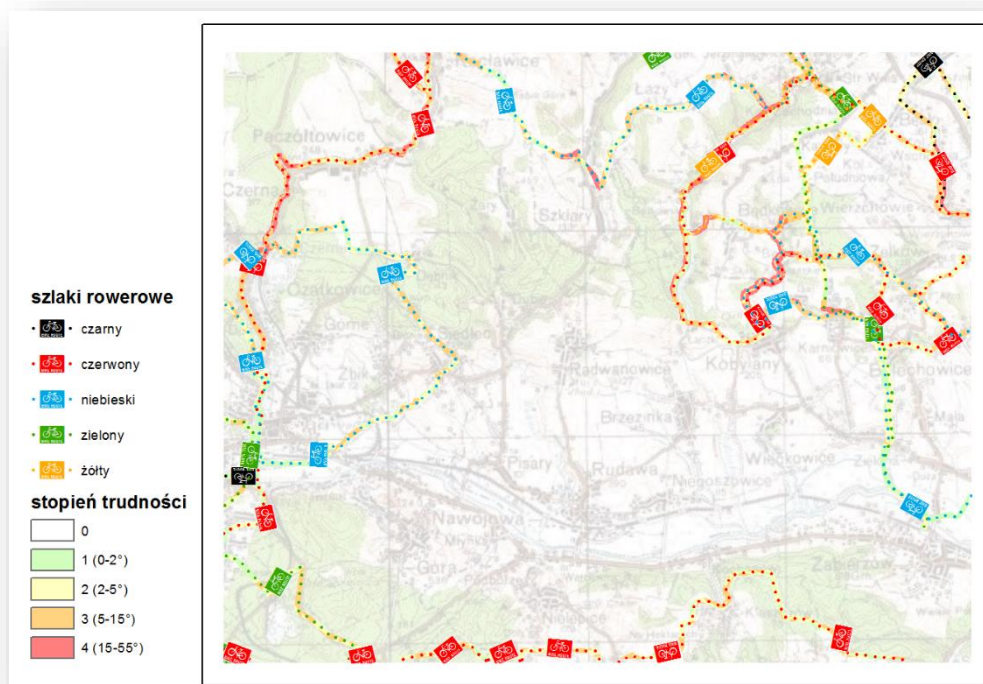


Fig. 35. Mapa trudności szlaków rowerowych w centralnej części Rowu Krzeszowickiego

Bibliografia

Potapowicz A., 2014. Tutorial ArcGIS: 7. Kalibracja, URL: <http://urbnews.pl/tutorial-arcgis-7-kalibracja/>

Urbański, J., 2011. GIS w badaniach przyrodniczych. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 252.

ArcMap 10.3 tutorial. About spatial adjustment transformations, URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/editing-existing-features/about-spatial-adjustment-transformations.htm>