

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Modelowanie hydrologiczne z Arc Hydro Tools

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 16

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

2021-10-26

Wprowadzenie

Kurs wprowadza w podstawowe zagadnienia modelowania hydrologicznego.

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS 10.5 for Desktop (ArcView, ArcEditor, lub ArcInfo).

Aplikację Arc Hydro Tools pobieramy z lokalizacji:

<http://downloads.esri.com/archydro/archydro/setup/10.5/>

W przypadku innej wersji ArcGIS, należy zmienić ostatnią część linku. Po pobraniu aplikacji należy wyłączyć ArcGIS i ją zainstalować. Po zainstalowaniu, otwieramy ArcGIS. Pasek aplikacji Arc Hydro Tools jest ukryty. Należy wyciągnąć go na scenę ArcGIS poprzez menu: *Customize > Toolbars > ArcHydroTools* (Fig. 1). Po jego wybraniu na scenie ArcGIS pojawi się pasek narzędzi *Arc Hydro Tools* (Fig. 2).

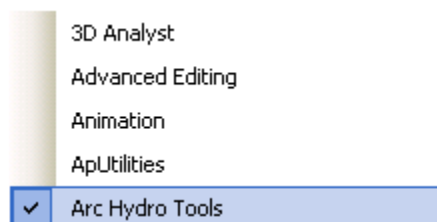


Fig. 1. Menu pasków narzędzi z wybranym narzędziem Arc Hydro Tools



Fig. 2. Pasek narzędzi Arc Hydro Tools

Dodatkowo narzędzia Arc Hydro Tools pojawią się w menu Toolbox (Fig. 3).

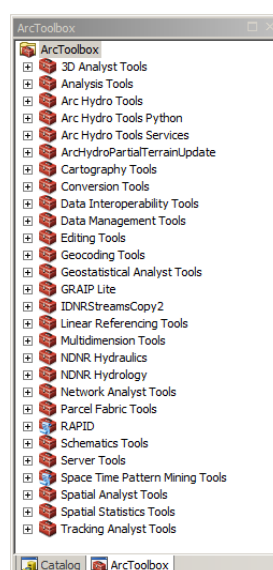


Fig. 3. Narzędzia Arc Hydro Tools dodane do okna ArcToolbox

Dane

Pobieramy [dane](#).

Będziemy wykorzystywać trzy różne zestawy danych ([Fig. 4](#)).

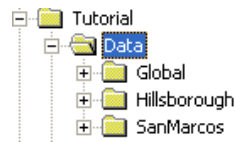


Fig. 4. Lokalizacja danych ćwiczeniowych

- Global: dane używane podczas testowania funkcji globalnych
- Hillsborough: dane używane podczas badania funkcji morfologicznych
- SanMarcos: główne dane używane w tym ćwiczeniach

Główne dane użyte w tym ćwiczeniu są przechowywane w podkatalogu `SanMarcos`. Pochodzi z jednostki hydrologicznej nr 12100203 (San Marcos w Teksasie). Dane zostały utworzone przez import oryginalnych danych wektorowych (w formacie shapefile) do geobazy `SanMarcos.gdb` ([Fig. 5](#)).

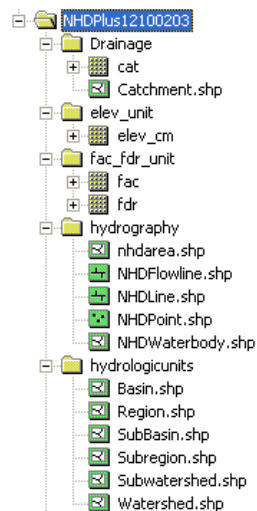


Fig. 5. Zbiór oryginalnych danych źródłowych dla jednostki hydrologicznej nr 12100203 (San Marcos w Teksasie)

Zbiory danych posiadają taki sam zasięg przestrzenny jak pliki grid. Zaimportowano następujące dane ([Fig. 6](#)).

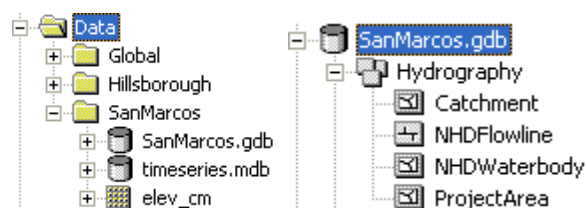


Fig. 6. Zaimportowane klasy obiektów ćwiczeniowych

Zestaw danych Hydrography zawiera następujące klasy obiektów:

- Catchment: zlewnie
- NHDFlowline: ciekі powierzchniowe
- NHDWaterbody: zbiorniki wodne
- ProjectArea: podzbiór zlewni

Ćwiczenie 15

*- Na podstawie oficjalnych materiałów szkoleniowych ESRI (Arc Hydro Tools 2.0).

1. Przegląd danych

- 1.1. W razie potrzeby otwórz nowy dokument ArcMap.
- 1.2. Dodaj w ArcCatalog ścieżkę do danych ćwiczeniowych.
- 1.3. Dodaj na scenę klasę grid NMT `elev_cm`. Aby poprawić wydajność, raster powinien być przechowywany jako plik grid, w katalogu na dysku (`Data\SanMarcos`), a nie w geobazie (Fig. 7).

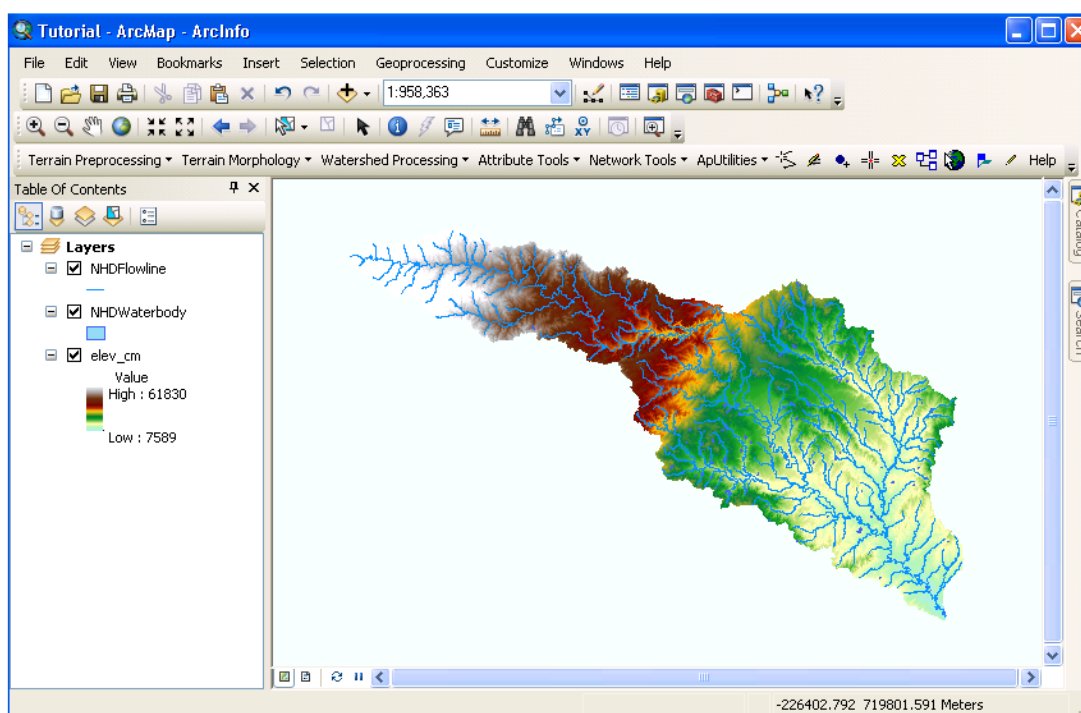


Fig. 7. Scena ArcGIS z klasami NMT, cieków powierzchniowych i zbiorników wodnych

- 1.4. W razie potrzeby zmień styl klas.
- 1.5. Dodaj do tabeli zawartości klasy: NHDFlowline i NHDWaterbody (Fig. 7).
- 1.6. W razie konieczności, w tabeli zawartości logicznie ułóż ich hierarchię.
- 1.7. W swojej domowej lokalizacji np.: `\d:\MNwBSP\Kowalski_Jan\`, utwórz geobazę plikową `hydro.gdb`.

- 1.8. Uczyń utworzoną geobazę – geobazą domyślną.
- 1.9. W swojej domowej lokalizacji, zapisz plik projektu jako `Tutorial.mxd`.

Jesteś gotowy, aby rozpocząć korzystanie z Arc Hydro Tools.

Przetwarzanie NMT (*Terrain Preprocessing*)

Terrain Preprocessing ma na celu przygotowanie NMT do analiz hydrologicznych. Jego użycie polega na utworzeniu poprawnego modelu sieci drenażu. Po wstępnym przetworzeniu, NMT i jego pochodne mogą być stosowane do efektywnego generowania i przetwarzania sieci strumieni i rzek. Menu narzędzi *Arc Hydro Tools* jest ustawione tak, że należy używać kolejnych narzędzi w porządku z góry na dół (Fig. 8).

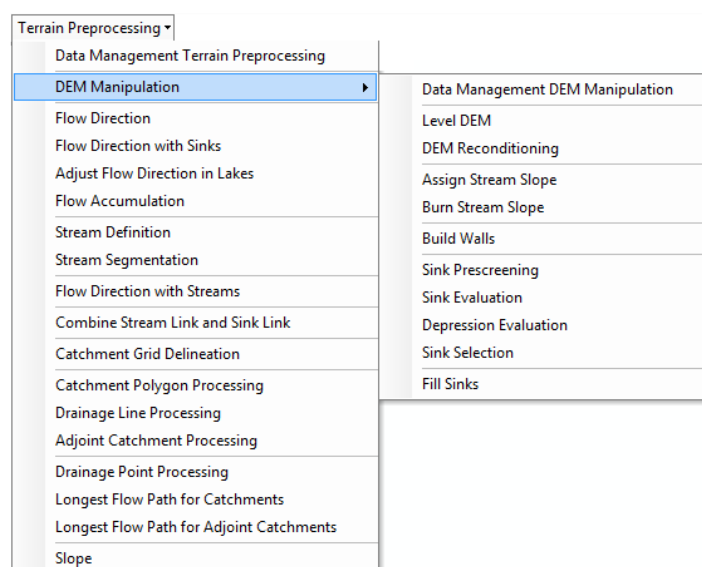


Fig. 8. Menu *Terrain Preprocessing* Arc Hydro Tools

2. Wypalenie w NMT wysokości tafli wody w miejscach występowania zbiorników wodnych (*Level DEM*)

Funkcja modyfikuje NMT poprzez ustawienie odpowiedniej stałej wysokości (`FillElev`) w miejscach występowania zbiorników wodnych. Funkcja potrzebuje surowego NMT oraz klasy poligonowej jezior. Ustawiamy niezbędne zmienne nazw klas. Ustawiamy odpowiedni atrybut `Fill Elevation` – rzędna wysokości jezior. Jeżeli zmienna ta pozostanie pusta (`None`), odpowiednim komórkom NMT zostanie przypisana wartość `No Data`.

- 2.1. Wybierz z Arc Toolbox, z menu *Arc Hydro Tools* > *Terrain Preprocessing* > *DEM Manipulation* > *Level DEM*.
- 2.2. Wybierz odpowiednią klasę NMT i klasę poligonową jezior oraz pozostaw nazwę domyślną klasy wynikowej `LevelDEM` (Fig. 9).

- 2.3. Pole *Input Fill Elevation Field* wykorzystuje indywidualne poziomy wypalania jezior składowane w tabeli atrybutowej klasy jezior. Pole *Fill Elevation* umożliwia podanie wartości rzędnej Z przez użytkownika. Jeśli warstwa poligonowa zbiorników wodnych posiada pole wysokości wypełnienia dla każdego jeziora, wybierz to pole jako pole wypełnienia wysokości. Jeśli to pole nie jest dostępne, pozostaw parametr pusty. Aby zatwierdzić puste pole, należy najpierw zaznaczyć jedno z istniejących pól, a następnie je usunąć.

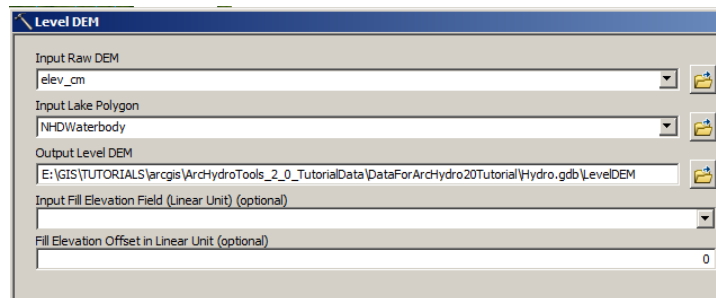


Fig. 9. Okno dialogowe *Level DEM*

- 2.4. Uruchom narzędzie klikając przycisk OK.

Nowa klasa grid została utworzona w docelowej lokalizacji. Można ją teraz dodać do tabeli zawartości.

3. Modyfikacja NMT (*DEM Reconditioning*)

Funkcja *DEM Reconditioning* modyfikuje NMT poprzez nałożenie na niego klasy obiektów liniowych i wypalenie (wycięcie) w warstwie NMT faktycznego położenia lokalnych minimum wysokości (Fig. 10). Wykorzystywany jest algorytm AGREE.

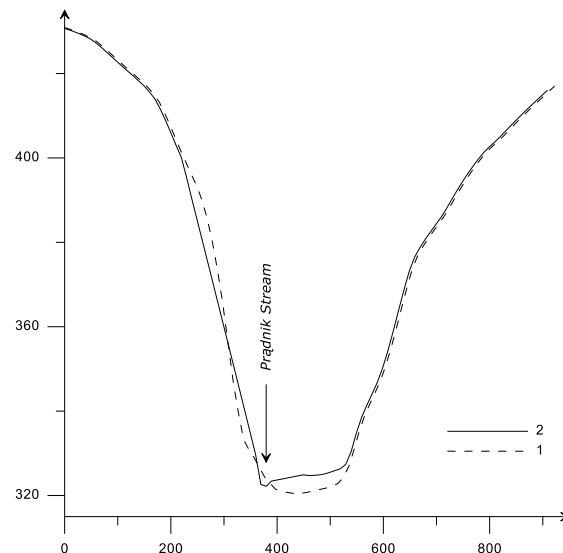


Fig. 10. Zestawienie profili potoku Prądnik (ok. 650 m na N od wylotu dol. Sąspowskiej) sporządzonych dla surowego NMT (1) oraz NMT „wypalonego” z zastosowaniem algorytmu AGREE (2), strzałka przedstawia rzeczywiste położenie koryta potoku

Funkcja wymaga posiadania surowego NMT (lub NMT po użyciu funkcji *Level DEM*) oraz liniowej klasy cieków powierzchniowych (Fig. 11).

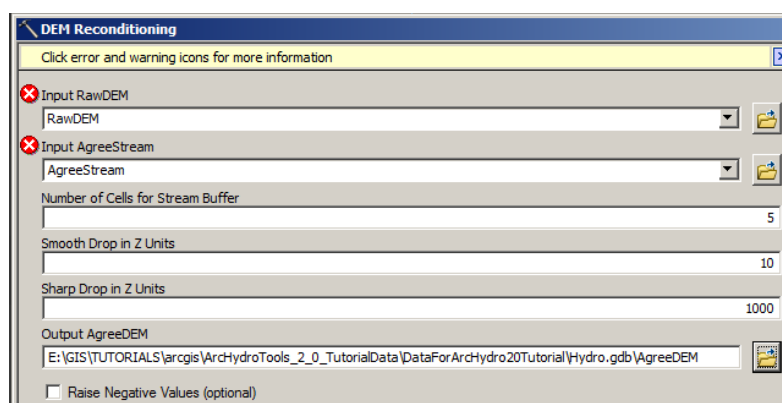


Fig. 11. Okno dialogowe *DEM Reconditioning*

- 3.1. Jako plik źródłowy NMT, w polu *Input RawDEM*, zamiast `elev_cm`, wybierz `LevelDEM`
- 3.2. Jako wektorowy zbiór cieków powierzchniowych, w polu *Input AgreeStream* wybierz klasę `NHDFlowline`.
- 3.3. Pozostałe zmienne pozostaw z wartościami domyślnymi.
- 3.4. Usuń zaznaczenie opcji „*Raise Negative Values*” i kliknij przycisk *OK*.
- 3.5. Dodaj otrzymany grid na scenę. Porównaj go z danymi źródłowymi np. `LevelDEM`.

4. Przypisanie potokom nachylenia (*Assign Stream Slope*)

Narzędzie to umożliwia przypisanie względnego nachylenia cieków powierzchniowych do wejściowej klasy, która będzie użyta przez funkcję *Burn Stream*

Slope w celu wypalenia nachyleń w NMT. Klasa cieków musi zawierać pola `FROM_NODE` i `TO_NODE`, które mogą być wypełniane przy użyciu narzędzia *Generate From/To Node for Lines* z zestawu narzędzi *Attribute Tools*.

- 4.1. Kliknij polecenie *Attribute Tools > Generate From/To Node for Lines* i wybierz jako klasę wejściową `NHDFlowline` (Fig. 12), po czym naciśnij przycisk *OK*.

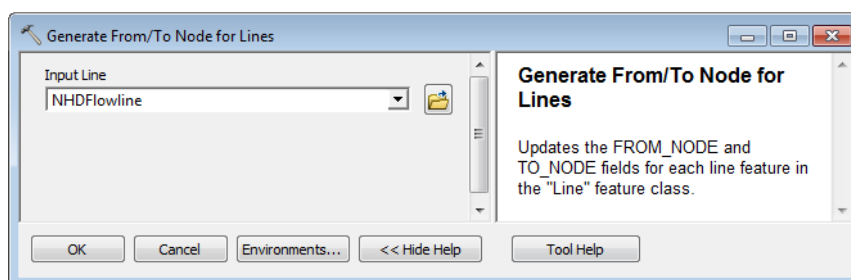


Fig. 12. Okno dialogowe *Generate From/To Node for Lines*

Narzędzie wypełniło pola `From_Node` i `To_Node` w tabeli atrybutów klasy `NHDFlowline` (Fig. 13).

FCODE	SHAPE_LEN	ENABLED	Shape_Length	FROM_NODE *	TO_NODE *
46003	0.046141	T	4944.709467	1	2
46003	0.044625	T	4509.518122	3	2
46003	0.008707	T	952.129968	4	5
46003	0.020109	T	2141.938739	6	7
46003	0.018375	T	1880.273971	8	9

Fig. 13. Tabela atrybutowa klasy `NHDFlowline` z utworzonymi wartościami atrybutów `From_Node` i `To_Node`

- 4.2. Wybierz *Terrain Preprocessing > DEM manipulation > Assign Stream Slope*.
- 4.3. Wybierz klasę liniową cieków powierzchniowych (*Input Stream*), do której zostaną przypisane wysokości: `NHDFlowline` (Fig. 14) .

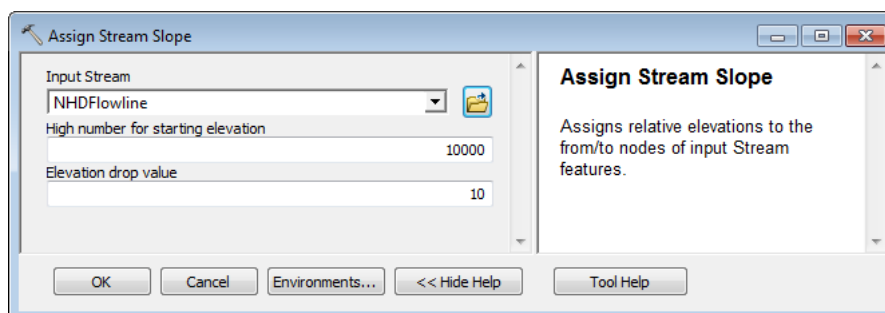
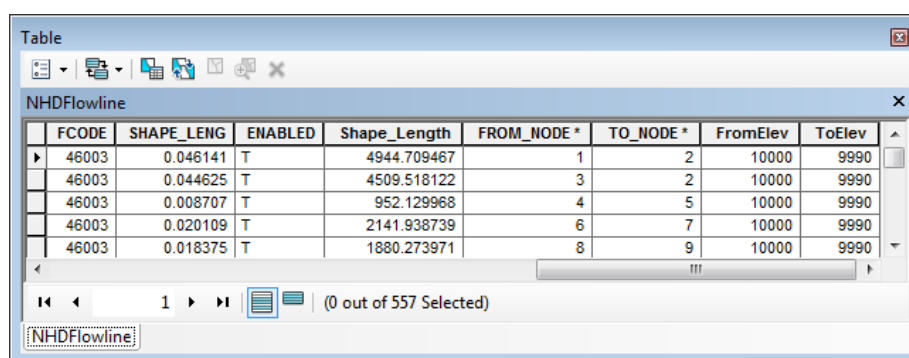


Fig. 14. Okno dialogowe *Assign Stream Slope*

Parametr „*High number for starting elevation*” to dowolna liczba, która będzie używana jako najwyższa wysokość. Wysokości wzdłuż obiektów liniowych będą stopniowo zmniejszane o wartość parametru „*elevation drop value*”.

- 4.4. Pozostaw domyślne wartości: maksymalnej początkowej wysokości (*High number for starting elevation*), która zostanie przypisana do początkowego węzła potoków (najwyżej położone fragmenty potoków) oraz kroku spadku wysokości pomiędzy dwoma węzłami (*elevation drop value*) (Fig. 14).
- 4.5. Uruchom narzędzie klikając OK.

Funkcja wypełniła pola `FromElev` i `ToElev` nowymi danymi (Fig. 15).



	FCODE	SHAPE_LENGTH	ENABLED	Shape_Length	FROM_NODE *	TO_NODE *	FromElev	ToElev
▶	46003	0.046141	T	4944.709467	1	2	10000	9990
	46003	0.044625	T	4509.518122	3	2	10000	9990
	46003	0.008707	T	952.129968	4	5	10000	9990
	46003	0.020109	T	2141.938739	6	7	10000	9990
	46003	0.018375	T	1880.273971	8	9	10000	9990

Fig. 15. Tabela atrybutowa klasy NHDFlowline ze zmodyfikowanymi wartościami atrybutów `From_Node` i `To_Node`

5. Wypalenie nachyleń potoków (*Burn Stream Slope*)

Narzędzie to pozwala na wypalenie w NMT nachyleń umożliwiających przepływ wody zgodny z kierunkiem nachylenia strumieni. Wejściowa klasa cieków powierzchniowych musi zawierać pola `FromElev` i `ToElev`.

- 5.1. Wybierz *Terrain Preprocessing > Burn Stream Slope*.
- 5.2. Wybierz grid NMT, na którym chcesz wymusić nachylenie strumieni (Input DEM - AgreeDEM) oraz jako dane wejściowe klasy obiektów cieków powierzchniowych z wyznaczonymi wartościami spadków cieków `FromElev` i `ToElev` (NHDFlowline) (Fig. 16). Następnie kliknij przycisk OK.

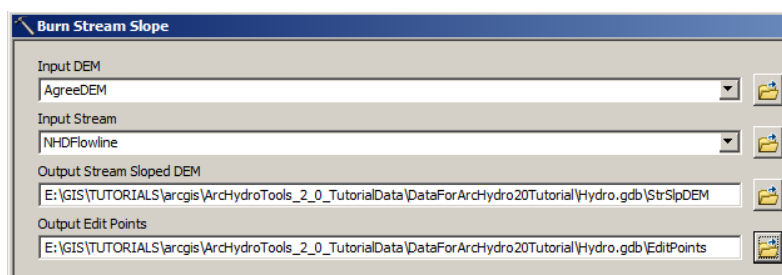


Fig. 16. Okno dialogowe *Burn Stream Slope*

Narzędzie wypala nachylenie strumieni i generuje wynikową klasę NMT „*Stream Sloped DEM*” (*StrSloDEM*). Wyjściowa klasa *EditPoints* jest klasą pośrednią stosowaną podczas wypalania.

6. Wstępne wypełnianie artefaktów zagłębień NMT (*Sink Prescreening*)

Interpolacja NMT często powoduje powstawanie różnego rodzaju błędów. Takimi błędami są często nieprawdziwe wgłębienia w NMT tworzące grupy pikseli, otoczone z każdej strony pikselami o wyższej wysokości. Aby NMT mógł być wykorzystywany do analiz hydrologicznych należy usunąć te artefakty z NMT. Funkcja ***Sink Prescreening*** jest wykorzystywana do redukcji liczby obniżzeń terenu, które z różnych powodów nie powinny być zakwalifikowane jako obszary bezodpływowe (*sinks*). Głównym zadaniem procedury jest ograniczenie liczby obszarów bezodpływowych poprzez zadeklarowanie, które z nich nie należy za nie uznać. Procedura ***Sink Evaluation***, która jest stosowana w następnej kolejności jest czasochłonna, dlatego tak ważne jest odpowiednie przygotowanie i ograniczenie zbiorów danych przez funkcję *Sink Prescreening*. Eliminacja jak największej liczby zagłębień terenu stanowiących różnego rodzaju artefakty we wczesnym etapie analiz spowoduje uproszczenie dalszych analiz i umożliwi lepszą interpretację jej wyników.

Zbiorem wejściowym dla funkcji *Sink Prescreening* jest surowy NMT (lub NMT po procesach wypalania cieków powierzchniowych i zbiorników wodnych). Działanie funkcji jest proste. Deklarowana jest pewna graniczna wartość powierzchni drenażu. Jeżeli wgłębienie posiada powierzchnię mniejszą od tej określonej wartości, zostanie wypełnione. W przeciwnym razie obszar zostanie pozostawiony bez zmian. Należy zauważyć, że funkcja ta działa inaczej niż funkcja ***Fill Sinks*** dostępna w zbiorze narzędzi *Spatial Analyst*, która pozwala użytkownikowi na zdefiniowanie obszarów bezodpływowych poprzez określenie ich głębokości.

Funkcja wykonuje kolejno:

1. bazując na NMT, oblicza *flow direction*,
2. identyfikuje obszary bezodpływowe,
3. identyfikuje obszary drenowane do obszaru bezodpływowego
4. porównuje powierzchnię drenowanych obszarów z zadeklarowaną wartością progową
5. wypełnia wszystkie obniżenia o powierzchni mniejszej od zadeklarowanej wartości progowej

Istnieje funkcja *Sink Selection*, która pozwala użytkownikowi na interaktywny wybór naturalnych obszarów bezodpływowych oraz zagłębień, które powinny zostać

wypełnione na podstawie bardzo szczegółowych kryteriów klasyfikacyjnych. Zaleca się podejście konserwatywne, polegające na takim wyznaczeniu wartości granicznej aby funkcja *Sink Prescreening* nie eliminowała żadnych rzeczywistych obszarów bezodpływowych. W razie wątpliwości należy zastosować mniejszą powierzchnię progu, a niezakwalifikowane artefakty przeznaczyć do dalszej eliminacji.

Rezultatem działania funkcji jest klasa `pre-fillDEM` oraz plik grid pokazujący gdzie są obszary bezodpływowe.

- 6.1. Dwukrotnie kliknij opcję *Terrain Preprocessing > DEM Manipulation > Sink Prescreening* (Fig. 17).
- 6.2. Wybierz jako dane wejściowe grid NMT (`StrSlpDEM`), który zamierzasz wstępnie przeskanować w celu wyeliminowania zagłębień terenu o powierzchni drenażu mniejszej niż określony próg.
- 6.3. Wprowadź wartość progową 1 000 000.
- 6.4. Określ nazwę klasy wyjściowej `PreFillDEM`.
- 6.5. Kliknij przycisk *OK*.

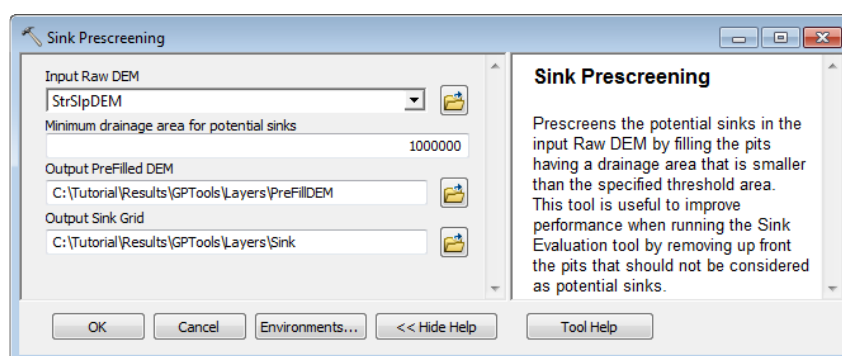


Fig. 17. Okno dialogowe *Sink Prescreening*

Narzędzie generuje dane wstępnie wypełnionego NMT, w którym wypełnione są wszystkie zagłębienia mające obszar drenażu mniejszy niż określony próg. Tworzy również klasę grid `Sink` zawierającą we wstępnie wypełnionym NMT wszystkie pozostałe obszary bezodpływowe.

7. Sink Evaluation

Funkcja *Sink Evaluation* pozwala na scharakteryzowanie obszarów bezodpływowych i zagłębień terenu stanowiących artefakty w celu dostarczenia większej liczby kryteriów wyboru, w celu ułatwienia decyzji, czy należy użyć zagłębienie pozostawić czy je usunąć. Funkcja bazuje na danych NMT (rekomendowane są dane po przeprowadzeniu procedury *Sink Prescreening*). Dla każdego obszaru bezodpływowego, obliczane są następujące atrybuty:

- DrainArea – obszar drenowania do danego obszaru bezodpływowego (w jednostkach mapy).
- BottomElev – wysokość dna obszaru bezodpływowego.
- FillElev – wysokość wypełnienia obszaru bezodpływowego (minimalna wysokość wzdłuż granic obszaru drenowania).
- FillDepth – głębokość do wypełnienia obszaru bezodpływowego (FillElev – BottomElev).
- FillArea – powierzchnia obszaru wypełnionego (w jednostkach mapy).
- FillVolume – objętość obszaru bezodpływowego

Funkcja tworzy dwie klasy: SinkPoly (*Sink Polygon*) i SinkDA (*Sink Drainage Area*).

- 7.1. Kliknij dwukrotnie opcję *Preprocessing Terrain > DEM Manipulation > Sink Evaluation* (Fig. 18).
- 7.2. Wybierz jako dane wejściowe NMT wstępnie wypełniony NMT utworzony przez narzędzie *Sink Prescreening* - PreFillDem.
- 7.3. Określ nazwę poligonowej klasy zagłębień terenu (*Sink Polygon*) - SinkPoly i wybierz nazwę klasy obszarów drenażu zagłębień (*Sink Drainage Area*) - SinkDA
- 7.4. Kliknij przycisk OK.

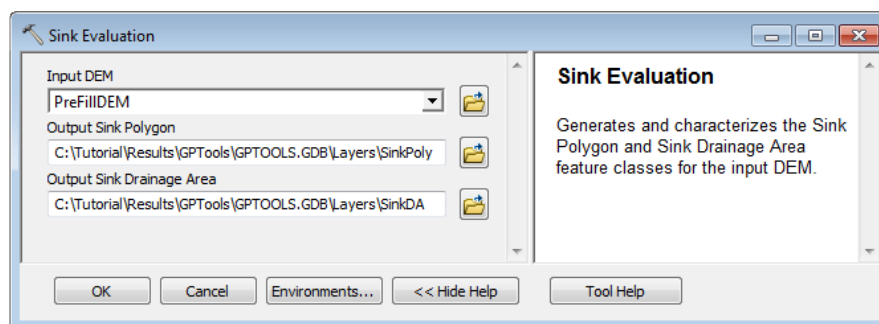


Fig. 18. Okno dialogowe *Sink Evaluation*

Narzędzie generuje klasy obiektów *Sink Polygon* i *Sink Drainage Area* oraz charakteryzuje poligony zagłębień przez obliczenie takich parametrów jak: DrainArea, BottomElev, FillElev, FillDepth, FillArea, FillVolume (zob. wyżej). Dzięki temu użytkownik może zdecydować, które obiekty powinny zostać zachowane w NMT.

8. Wybór zagłębień bezodpływowych (*Sink Selection*)

Narzędzie *Sink Selection* pozwala na wybór zagłębień na podstawie różnych kryteriów. Zagłębienia spełniające kryteria będą miały atrybut IsSink z wartością 1.

- 8.1. Otwórz tabelę atrybutową klasy SinkPoly i sprawdź wartości atrybutów.
- 8.2. Kliknij dwukrotnie *Terrain Preprocessing > DEM Manipulation > Sink Selection* (Fig. 19).

- 8.3. Wybierz jako dane wejściowe *Input Deranged Polygon* klasę właściwości poligonów wygenerowaną przez narzędzie *Sink Evaluation* SinkPoly.
- 8.4. Określ jedno lub kilka kryteriów wyboru dla poligonów wejściowych. Obiekty spełniające kryteria otrzymają atrybut `IsSink = 1`, w następujących analizach będą tym samym uważane za prawdziwe zagłębienia terenu.
- 8.5. Należy wybrać, czy nadpisać istniejące rekordy, w których `IsSink` ma wartość 1.
- 8.6. Kliknij przycisk OK.

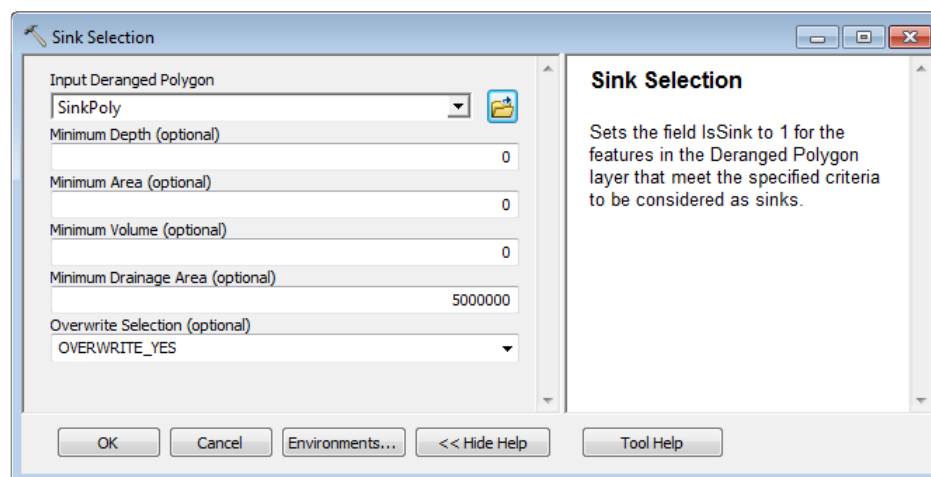


Fig. 19. Okno dialogowe *Sink Selection*

Narzędzie wypełnia pole `IsSink` wartością 1 dla poligonów spełniających określone kryteria (Fig. 20).

	Shape_Area	HydrolID	GridID *	DrainID	Is Sink	FillDepth	FillArea	FillVolume	BottomElev	FillElev	DrainArea
	42300	379	24	24	1	0.07	78300	4716	164.37	164.44	6653700
	900	380	25	25	0	0.04	2700	72	171.61	171.65	1339200
	900	381	26	26	0	4.45	24300	43137	200.95	205.4	2507400
	3600	382	27	27	1	0.15	46800	4347	185.69	185.84	5049900
	2700	383	28	28	0	0.05	4500	180	176.25	176.3	1188900

Fig. 20. Tabela atrybutowa klasy SinkPoly ze zmodyfikowanymi wartościami atrybutu `IsSink`

9. Wypełnianie zagłębień (*Fill Sinks*)

Funkcja *Fill Sinks* wypełnia w gridzie NMT obszary bezodpływowe i generuje klasę wyjściową `FillGrid`. Jeżeli komórka rastra jest dookoła otoczona komórkami o wyższej wysokości, woda zostaje w niej uwięziona co uniemożliwia przepływ. W celu pozbycia się tego problemu, funkcja *Fill Sinks* modyfikuje wysokość takich komórek.

Poprzez zadeklarowanie klasy poligonowych wektorowych obiektów *Deranged Polygon*, możliwe jest opcjonalne zdefiniowanie obszarów, które nie powinny być wypełnione. Możliwa jest także do zadeklarowania wartość progowa głębokości. W tym przypadku zostaną wypełnione wyłącznie wgłębienia nie przekraczające tej wartości.

Należy zaznaczyć, że funkcja działa wyłącznie na zadeklarowanej klasie *Deranged Polygon* lub na wszystkich obiektach (jeżeli ta klasa nie została zadeklarowana). Poligony mogą także posiadać ograniczenie poprzez deklarację atrybutu bycia obszarem bezodpływowym (*IsSink*) (tworzonym przez funkcję *Sink Selection*).

Funkcja jako zbiór wejściowy wymaga grida NMT, który może być surowym NMT lub NMT utworzonym w trakcie preprocesingu za pośrednictwem funkcji *Build Walls* lub *DEM Reconditioning* (*AgreeDEM*). Funkcja ta na swoim wyjściu tworzy grid pozbawiony wgłębień (o etykiecie *HydroDEM*).

Narzędzie będziemy uruchamiali dwukrotnie. Po raz pierwszy wypełnimy wszystkie zagłębienia i utworzymy grid o nazwie *FillAll*. Za drugim razem nie wypełnimy rzeczywistych zagłębień, zadeklarowanych poprzez funkcję *Sink Poly*, które mają zadeklarowaną wartość atrybutu *IsSink* = 1.

Pierwsze uruchomienie:

- 9.1. Uruchom *Terrain Preprocessing* > *DEM Manipulation* > *Fill Sinks* (Fig. 21).
- 9.2. Jako wejściowy NMT (*Input DEM*) wybierz *PreFillDEM*
- 9.3. Zmień nazwę zbioru wyjściowego (*Hydro DEM*) na *FillAll*.
- 9.4. Pozostaw pola *Fill Threshold* i *Input Deranged Polygon* puste.
- 9.5. Kliknij *OK*.

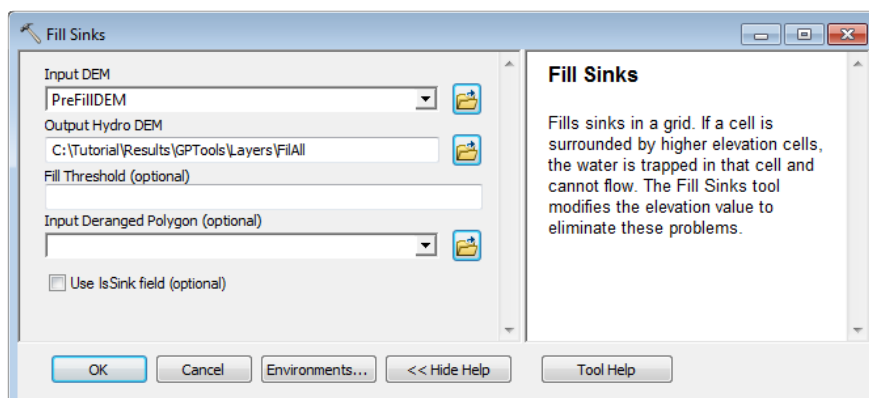


Fig. 21. Okno dialogowe Fill Sinks - wypełnienie wszystkich zagłębień NMT

Funkcja wypełni wszystkie zagłębienia wejściowego NMT.

Drugie uruchomienie:

- 9.6. Uruchom *Terrain Preprocessing* > *Fill Sinks* (Fig. 22).
- 9.7. Jako wejściowy NMT (*Input DEM*) wybierz *PreFillDEM*
- 9.8. Zmień nazwę zbioru wyjściowego (*Hydro DEM*) na *FilSink*.
- 9.9. Wybierz *SinkPoly* jako zbiór z zadeklarowanymi rzeczywistymi zagłębieniami bezodpływowymi oraz zaznacz opcję „*Use IsSink field*”
- 9.10. Kliknij *OK*.

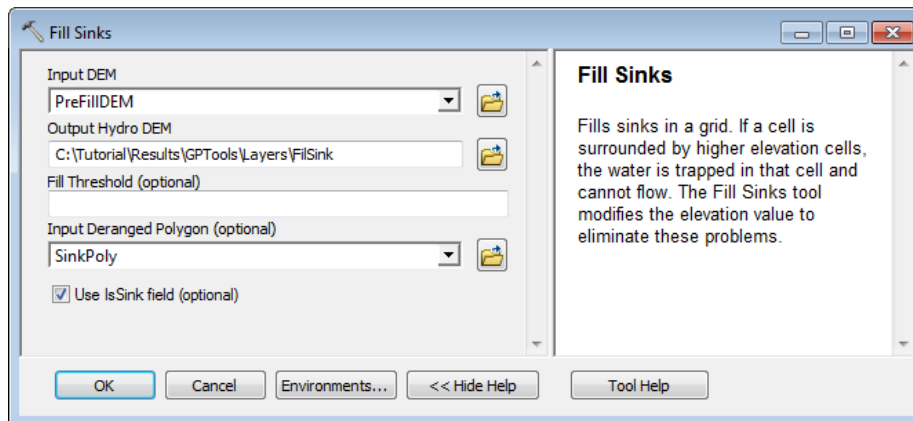


Fig. 22. Okno dialogowe Fill Sinks - wypełnienie wybranych zagłębień NMT

Narzędzie wypełnia wyłącznie zagłębienia posiadające wartość atrybutu *IsSink* różną od 1, tzn. nie wypełnia poligonów uznanych za rzeczywiste zagłębienia bezodpływowe.

10. Kierunki spływu (*Flow Direction*)

Narzędzie to, dla przygotowanego modelu hydrologicznego NMT (zmodyfikowanego poprzednio używanymi narzędziami), oblicza klasę grid kierunków przepływu.

- 10.1. Uruchom *Terrain Preprocessing* > *Flow Direction* (Fig. 23).
- 10.2. Jako hydrologiczny NMT (*Hydro DEM*) wybierz *FillAll*.
- 10.3. Zmień nazwę grida wynikowego kierunków przepływu na *FdrFilled*.
- 10.4. Oznacz opcję *Outer Wall Polygon* jako *Null*.
- 10.5. Kliknij przycisk *OK*.

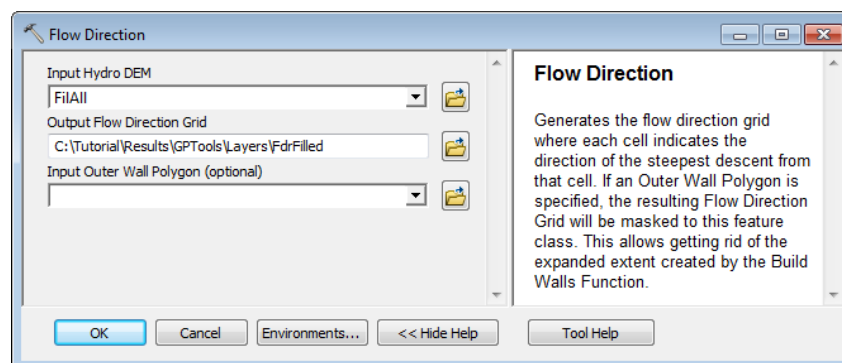


Fig. 23. Okno dialogowe Flow Direction

Narzędzie generuje klasę grid kierunków przepływu powiązaną z wejściowym, hydrologicznym NMT (Fig. 24).

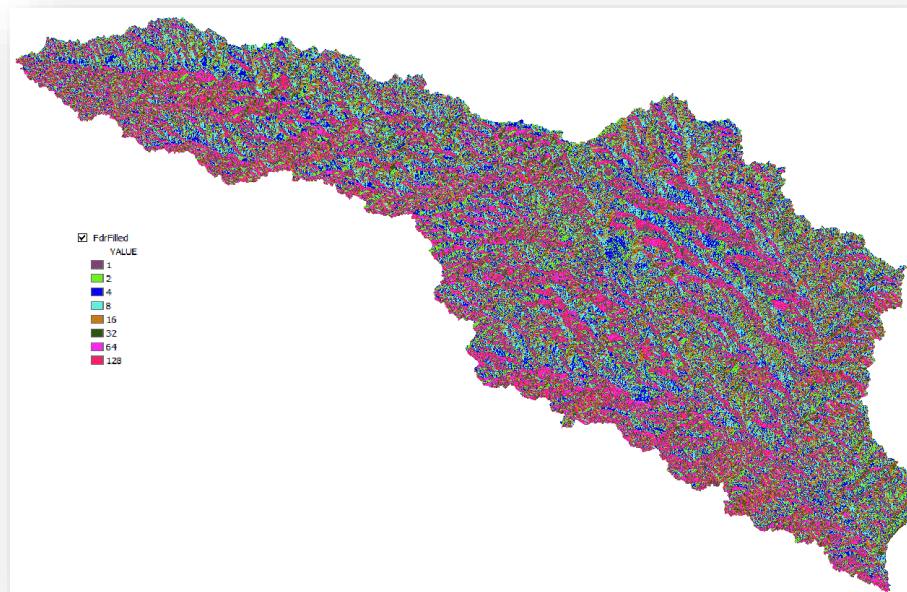


Fig. 24. Mapa kierunków spływu

Mapa przedstawia kierunki spływu powierzchniowego. ArcGIS wykorzystuje metodę D8 pojedynczego kierunku spływu, która pozwala na spływ wody z komórki rastra tylko do jednej z ośmiu komórek sąsiednich. Kierunki przepływu zostały zakodowane w formie liczb całkowitych: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 i 128. Konwencję zapisu tłumaczy Fig. 25.

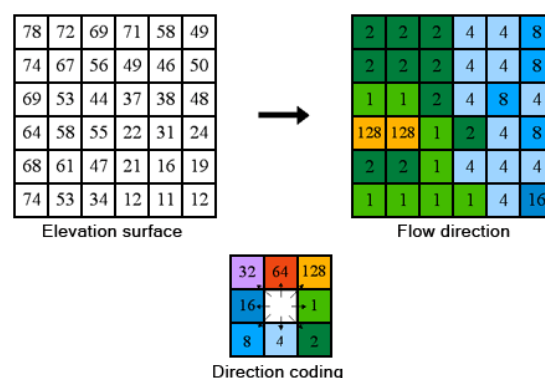


Fig. 25. Idea konwencji zapisu spływu za pomocą metody D8 - pojedynczego kierunku

11. Kierunki spływu z uwzględnieniem zagłębień bezodpływowych (Flow Direction with Sinks)

Flow Direction with Sinks generuje grid kierunków przepływu dla NMT z uwzględniającego istnienie zagłębień bezodpływowych. Narzędzie zapewnia, że woda z każdej komórki w danym obszarze drenażu zlewni zagłębienia bezodpływowego spływa w kierunku tej samej lokalizacji - jednego punktu.

- 11.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Flow Direction with Sinks* (Fig. 26).
- 11.2. Jako wejściowy NMT uwzględniający istnienie zagłębień bezodpływowych (*Hydro DEM*) wybierz klasę *FilSink*.
- 11.3. Wybierz klasę poligonów *SinkPoly* jako dane wejściowe zawierające informacje o poligonach zagłębień bezodpływowych. Tylko zagłębienia, w których atrybut *IsSink* został ustawiony na 1, będą uważane za rzeczywiste zagłębienia bezodpływowe.
- 11.4. Pozostaw opcjonalne pole *Outer Wall Polygon* puste.
- 11.5. Zmień nazwę wyjściowej klasy grid kierunków spływu na *FdrSink*.
- 11.6. Kliknij przycisk *OK*.

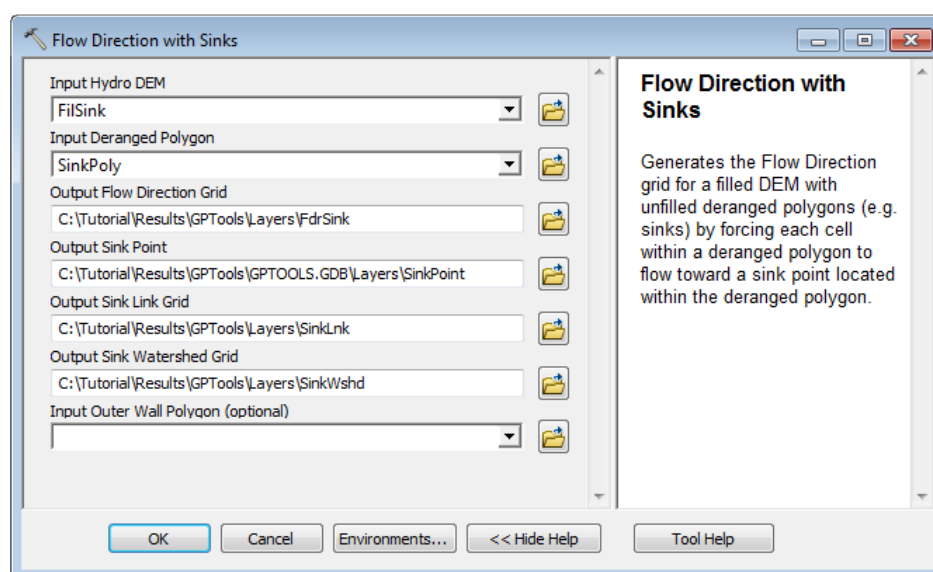


Fig. 26. Okno dialogowe *Flow Direction with Sinks*

Narzędzie generuje wyjściową siatkę kierunków spływu powierzchniowego oraz wyjściowe klasy: punktów zagłębień (*Sink Point*), siatkę połączeń (*Sink Link Grid*) oraz siatkę wiodącą (*Sink Watershed Grid*). Klasa obiektów punktów zagłębień przechowuje punkty, do których będą spływały wody z każdej komórki zagłębienia bezodpływowego. *Sink Link Grid* to grid, w której każde zagłębienie ma unikalny identyfikator. *Sink Watershed Grid* to grid reprezentujący obszary odwadniania każdego zagłębienia bezodpływowego. Dane te mogą zostać wykorzystane w dalszych analizach.

12. Akumulacja spływu (*Flow Accumulation*)

Narzędzie *Flow Accumulation* generuje grid akumulacji spływu powierzchniowego wynikającego z grida kierunków spływu. Każda komórka grida akumulacji gromadzi informację o liczbie komórek położonych powyżej tej komórki (Fig. 27).

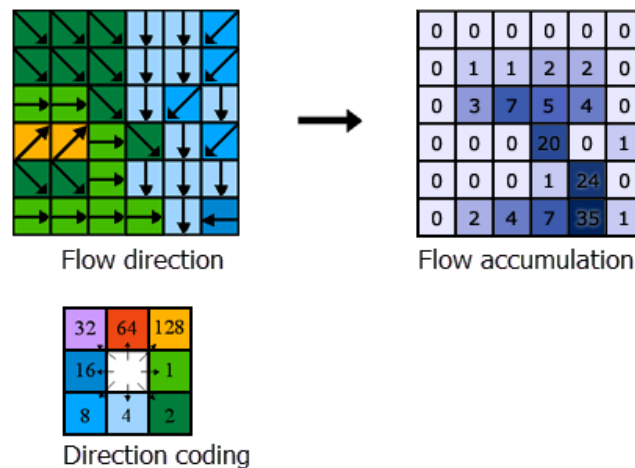


Fig. 27. Idea tworzenia klasy akumulacji spływu (*Flow Accumulation*)

- 12.1. Uruchom *Preprocessing Terrain > Flow Accumulation* (Fig. 28).
- 12.2. Jako grid kierunków przepływu (*Input Flow Grid*) wybierz klasę `FdrFilled`.
- 12.3. Kliknij przycisk *OK*.

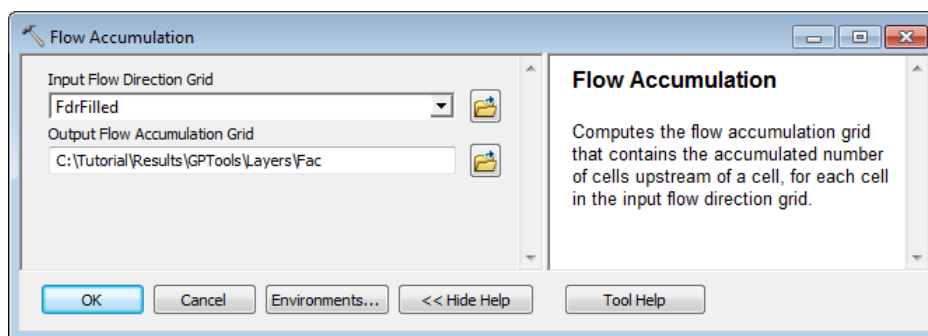


Fig. 28. Okno dialogowe *Flow Accumulation*

Narzędzie generuje grid akumulacji spływu ().

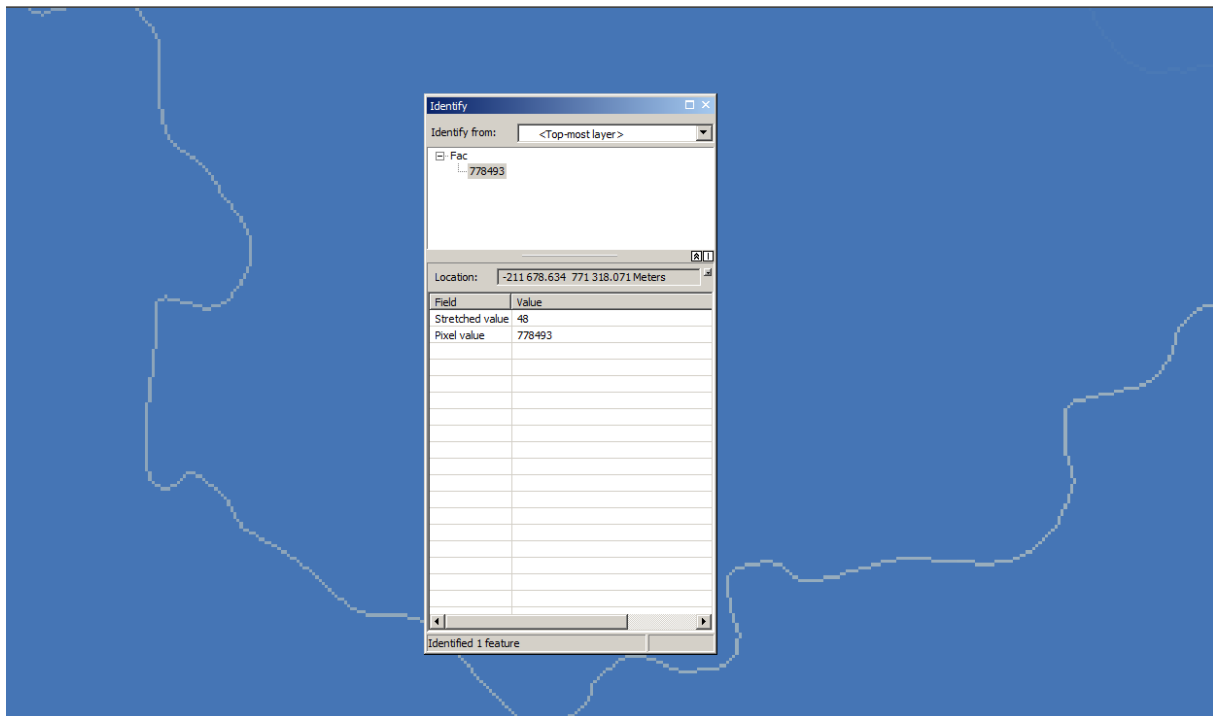


Fig. 29. Fragment grida klasy wynikowej *Flow Accumulation*. Okno *Identify* przedstawia informację o liczbie pikseli źródłowych dla przykładowego piksela

13. Definiowanie cieków powierzchniowych (*Stream Definition*)

Stream Definition, dla wejściowego grida akumulacji spływu i ustalonego progu długości generuje grid cieków powierzchniowych. Narzędzie wymaga określenia określonej długości wyrażonej w liczbie pikseli, od jakiej następuje ustrumienienie cieków. Zalecana wartość wynosi zazwyczaj około 1% maksymalnej wartości akumulacji spływu.

- 13.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Stream Definition* (Fig. 30).
- 13.2. Jako wejściowy grid akumulacji spływu wybierz *Fac*.
- 13.3. Określ próg ustrumienienia jako ok. 1% maksymalnej wartości grida akumulacji spływu (dla danych z ćwiczenia to ok. 40 000).
- 13.4. Kliknij przycisk *OK*.

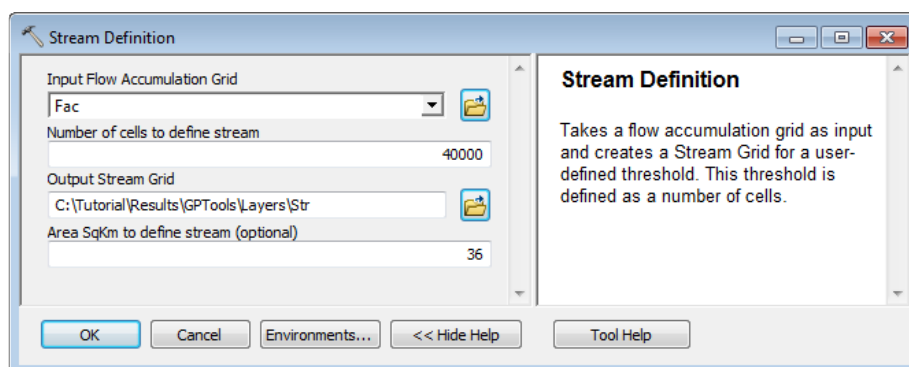


Fig. 30. Okno dialogowe *Stream Definition*

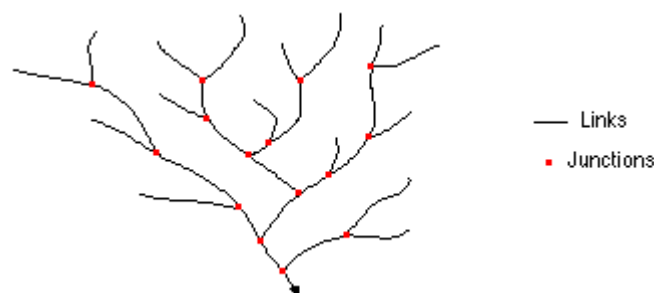
Narzędzie generuje grid cieków powierzchniowych (Fig. 31).



Fig. 31. Klasa grid cieków powierzchniowych wygenerowana za pomocą narzędzia *Stream Definition*

14. Segmentacja cieków powierzchniowych (*Stream Segmentation*)

Narzędzie *Stream Segmentation* dla danego grida strumieni oraz grida kierunków spływu generuje grid posegmentowanych cieków powierzchniowych. Segmentacja odbywa się poprzez przypisanie unikatowego identyfikatora każdemu segmentowi sieci rzecznej, czyli odcinkowi sieci cieków powierzchniowych znajdującemu się pomiędzy miejscami połączeń z odcinkami innych cieków. Wszystkie komórki znajdujące się w danym segmencie sieci cieków mają taką samą wartość, która jednoznacznie identyfikują segment.



- 14.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Stream Segmentation* (Fig. 32).
- 14.2. Określ dane wejściowe: grid cieków (*Input Stream Grid*) – Str oraz grid kierunków spływu (*Input Flow Direction Grid*) – FdrFilled.
- 14.3. Pozostaw puste pola wejściowe *Sink Watershed Grid* i *Sink Link Grid*.

Uwagi

- Jeśli nie chcesz tworzyć identyfikatorów strumieni (a tym samym później linii drenażu) wewnątrz zagłębień bezodpływowych, wprowadź *Sink Link Grid*.
- Jeśli nie chcesz tworzyć identyfikatorów strumieni w obszarach drenażu zagłębień bezodpływowych (zlewniach), wprowadź *Sink Watershed Grid*.

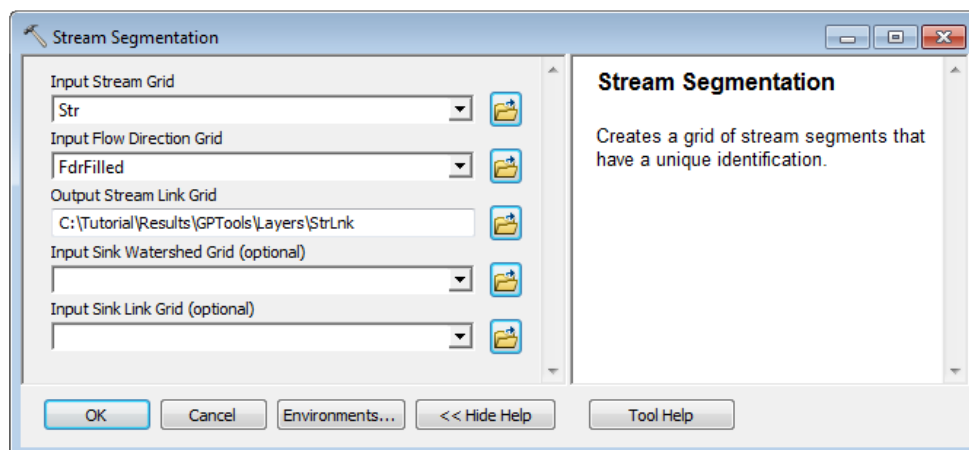


Fig. 32. Okno dialogowe *Stream Segmentation*

Narzędzie generuje grid identyfikatorów strumieni `StrLnk` (Fig. 33).

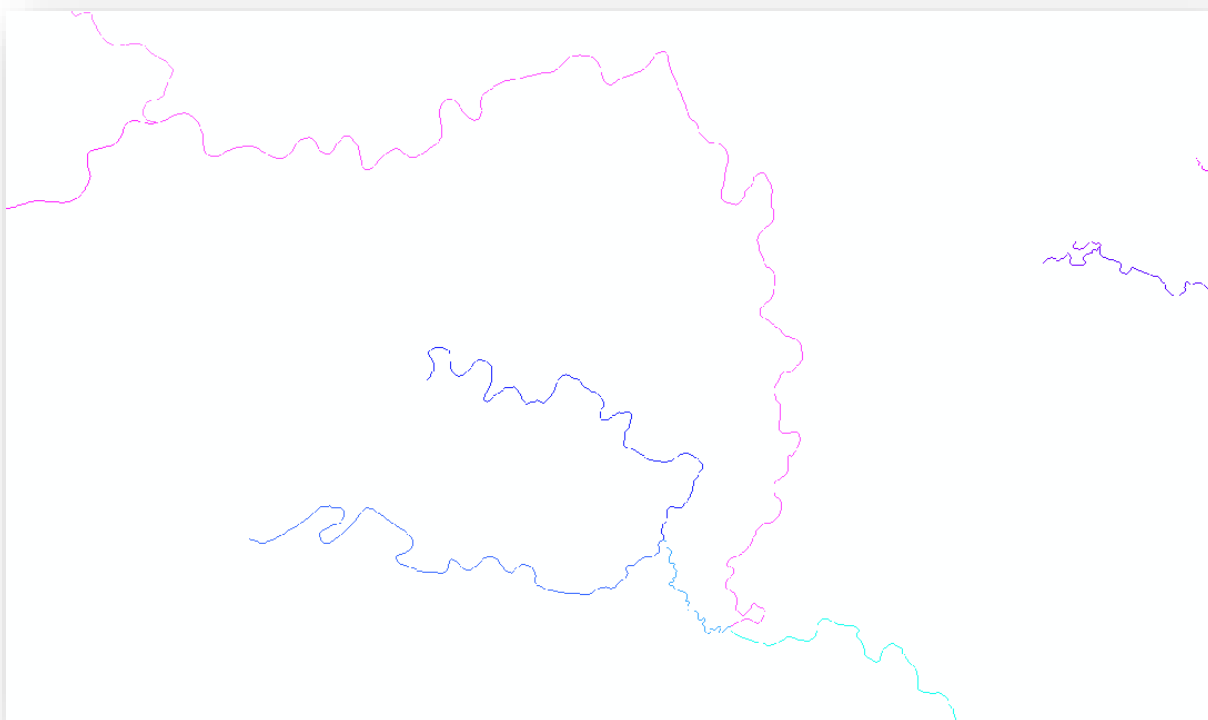


Fig. 33. Fragment klasy `StrLnk` z posegmentowanymi odcinkami sieci cieków powierzchniowych

15. Combine Stream Link and Sink Link

Narzędzie to generuje jeden łączny grid identyfikatorów, w którym łączone są identyfikatory cieków i obszarów bezodpływowych.

- 15.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Combine Stream Link and Sink Link*.
- 15.2. Podaj wejście gridy identyfikatorów strumieni (*Stream Link Grid*) i zagłębień bezodpływowych (*Sink Link Grid*).
- 15.3. Kliknij przycisk *OK*.

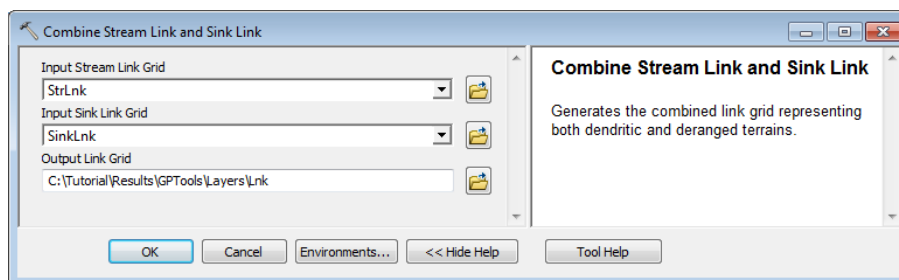


Fig. 34. Okno dialogowe *Combine Stream Link and Sink Link*

Narzędzie tworzy wyjściowy grid z identyfikatorami strumieni i zagłębień bezodpływowych.

16. Generowanie granic zlewni elementarnych (*Catchment Grid Delineation*)

Narzędzie *Catchment Grid Delineation*, na podstawie wejściowych gridów kierunków spływu powierzchniowego (*Flow Direction*) oraz identyfikatorów *StrLink*, generuje grid zlewni elementarnych.

- 16.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Catchment Grid Delineation* (Fig. 35).
- 16.2. Jako wejściowy grid kierunków spływu powierzchniowego (*Flow Direction*) wybierz klasę *FdrFilled*.
- 16.3. Jako wejściowy grid identyfikatorów wybierz *StrLink*.
- 16.4. Kliknij *OK*.

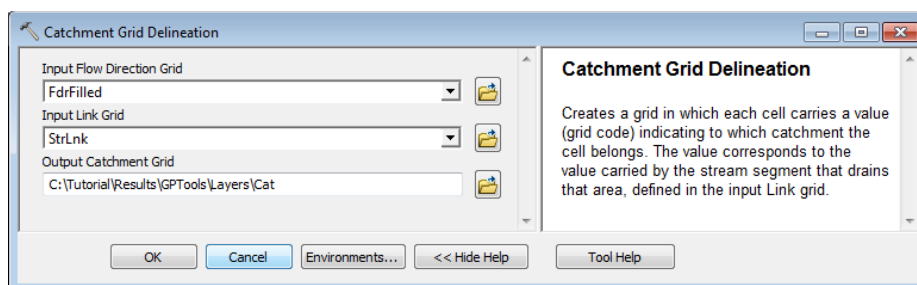


Fig. 35. Okno dialogowe *Catchment Grid Delineation*

Narzędzie generuje grid zlewni elementarnych (Fig. 36).

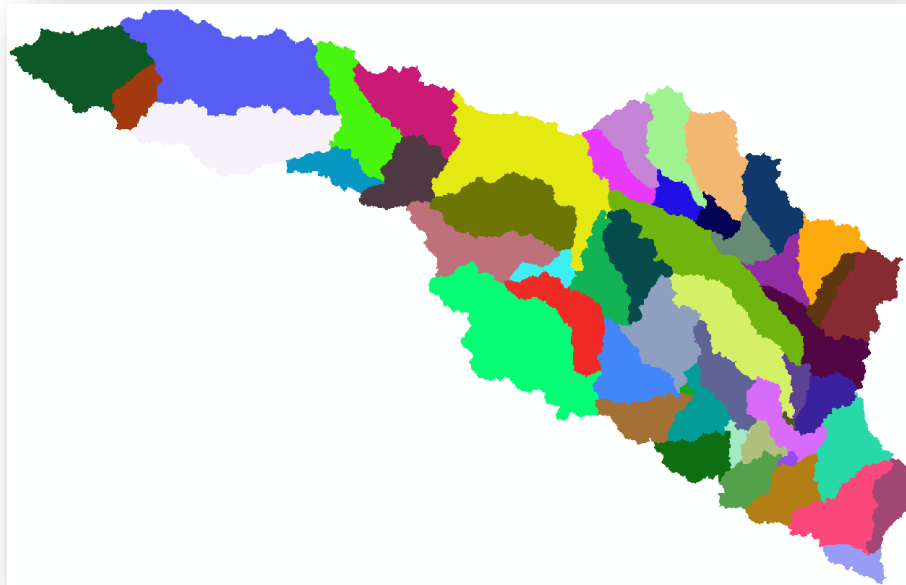


Fig. 36. Mapa zlewni elementarnych

17. Przetwarzanie poligonów zlewni (*Catchment Polygon Processing*)

Narzędzie to, na podstawie wygenerowanego grida zlewni, tworzy klasę obiektów poligonowych zlewni.

- 17.1. Uruchom *Terrain Preprocessing* > *Catchment Polygon Processing* (Fig. 37).
- 17.2. Określ nazwy grida z granicami zlewni oraz klasy wynikowej z poligonami zlewni.
- 17.3. Kliknij *OK*.

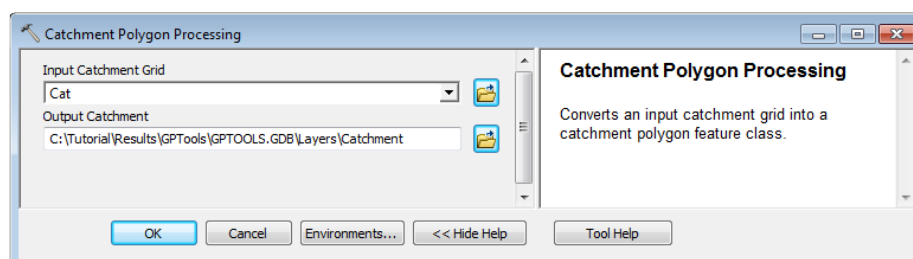


Fig. 37. Okno dialogowe *Catchment Polygon Processing*.

Narzędzie generuje klasę zlewni o geometrii poligonowej (Fig. 38, Fig. 39) i dodaje ją do mapy.



Fig. 38. Klasa obiektów poligonowych zlewni elementarnych

Table						
Catchment						
	OBJECTID *	Shape *	Shape_Length	Shape_Area	HydroID *	GridID *
	1	Polygon	78780	138075300	1274	1
	2	Polygon	120840	263818800	1275	2
	3	Polygon	36720	36160200	1276	3
	4	Polygon	79260	95192100	1277	4
	5	Polygon	105300	178023600	1278	5
	6	Polygon	73380	98660700	1279	6

Fig. 39. Tabela atrybutowa poligonowej klasy zlewni elementarnych

18. Przetwarzanie linii drenażu (*Drainage Line Processing*)

Narzędzie służy do utworzenia liniowej wektorowej klasy cieków powierzchniowych. Do jej utworzenia wykorzystywany jest grid kierunków przepływu (*Flow Direction Grid*) oraz grid identyfikatorów cieków powierzchniowych (*Stream Link Grid*).

- 18.1. Uruchom narzędzie *Terrain Preprocessing > Drainage Line Processing* (Fig. 40).
- 18.2. Jako klasę wejściową identyfikatorów cieków powierzchniowych (*Stream Link Grid*) wybierz *StrLnk*.
- 18.3. Jako wejściowy grid kierunków przepływu wybierz *FdrFilled*.
- 18.4. Zmień nazwę klasy wyjściowej na *DrainageLine*.
- 18.5. Kliknij przycisk *OK*.

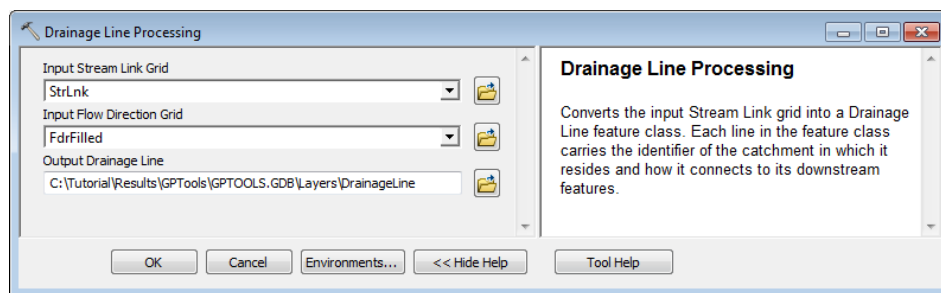


Fig. 40. Okno dialogowe *Drainage Line Processing*

Narzędzie generuje liniową klasę cieków powierzchniowych (Fig. 41, Fig. 42) i dodaje ją do mapy.

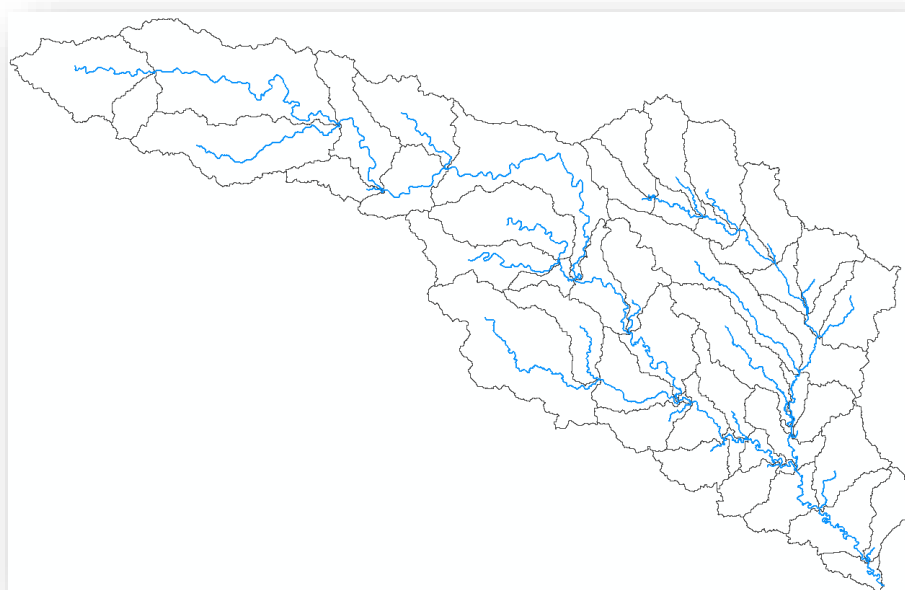


Fig. 41. Mapa sieci cieków powierzchniowych wygenerowanej na podstawie NMT nałożona na klasę zlewni elementarnych

OBJECTID *	Shape *	arcid	from_node	to_node	Shape_Length	HydroID *	GridID *	NextDownID *
1	Polyline	1	3	2	340.918831	1325	3	1327
2	Polyline	2	1	2	16035.42856	1326	1	1327
3	Polyline	3	2	5	44230.331137	1327	2	1330
4	Polyline	4	6	5	26980.161236	1328	5	1330
5	Polyline	5	4	7	14677.96644	1329	6	1343
6	Polyline	6	5	11	17504.987002	1330	4	1333

(0 out of 51 Selected)

Fig. 42. Tabela atrybutowa wygenerowanej klasy cieków powierzchniowych *DrainageLine*

19. Przetwarzanie zlewni sprzężonych (*Adjoint Catchment Processing*)

Narzędzie *Adjoint Catchment Processing*, na podstawie wektorowych klas obiektów wejściowych: zlewni oraz sieci cieków powierzchniowych, generuje poligonową klasę zlewni sprzężonych¹.

19.1. Uruchom narzędzie *Terrain Preprocessing > Adjoint Catchment Processing* (Fig. 43).

19.2. Kliknij przycisk OK.

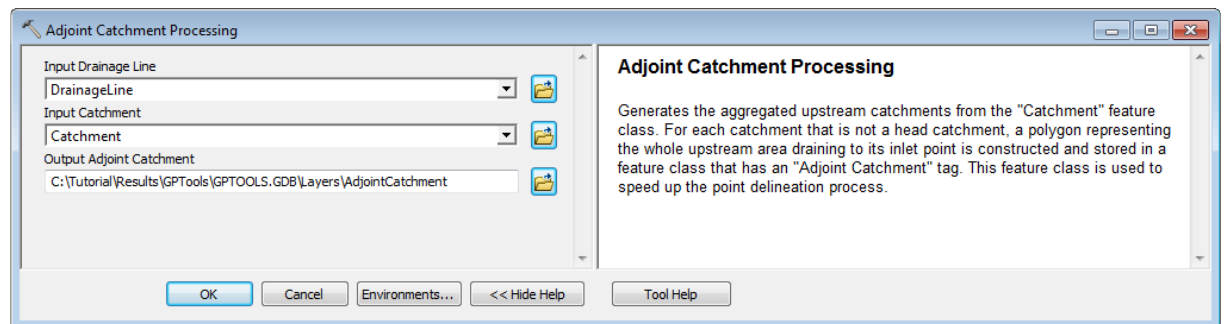


Fig. 43. Okno dialogowe *Adjoint Catchment Processing*

Narzędzie generuje poligonową klasę wyjściową zlewni sprzężonych (Fig. 44) i dodaje ją do mapy.

¹ Zlewnia sprzężona – obszar, z którego woda spływa do danej zlewni.

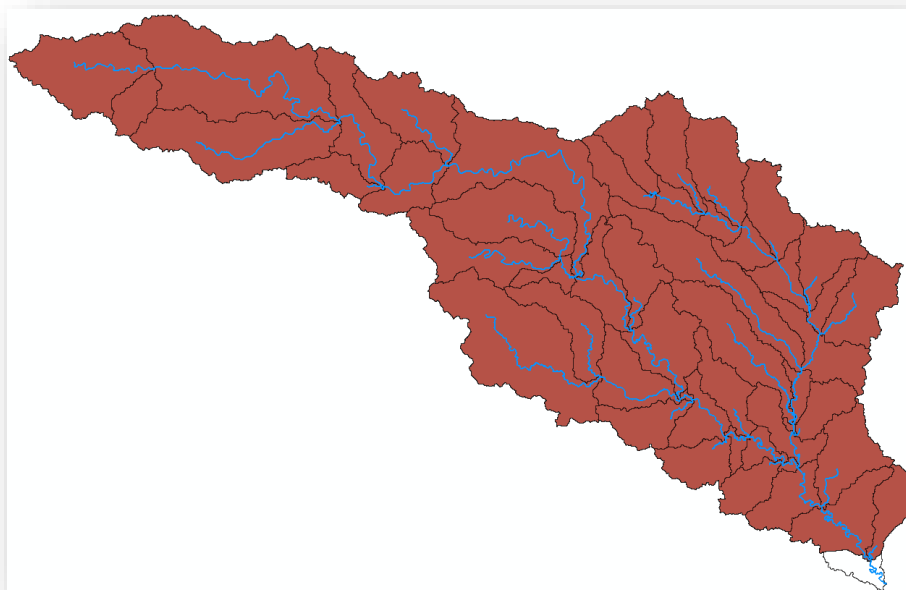


Fig. 44. Mapa zlewni sprężonych z nałożonymi klasami zlewni elementarnych oraz sieci cieków powierzchniowych

Pole `DrainID` przechowuje `HydroID` powiązanych zlewni (Fig. 45).

Table							
AdjointCatchment							
	OBJECTID *	Shape *	Shape_Length	Shape_Area	HydroID	DrainID	GridID
	1	Polygon	87540	174235500	1376	1275	2
	2	Polygon	175560	616077900	1377	1277	4
	3	Polygon	210300	751035600	1378	1281	8
	4	Polygon	60120	92359800	1379	1287	14
	5	Polygon	84660	183294000	1380	1288	15
	6	Polygon	105780	288476100	1381	1290	17

Fig. 45. Tabela atrybutowa klasy `Catchment` z widocznymi wartościami atrybutu `DrainID` definiującego zlewnie sprężone

Narzędzie tworzy także w klasie `Catchment` i wypełnia pole `NextDownID`. Pole to zawiera `HydroID` następnej, niżej położonej zlewni (Fig. 46).

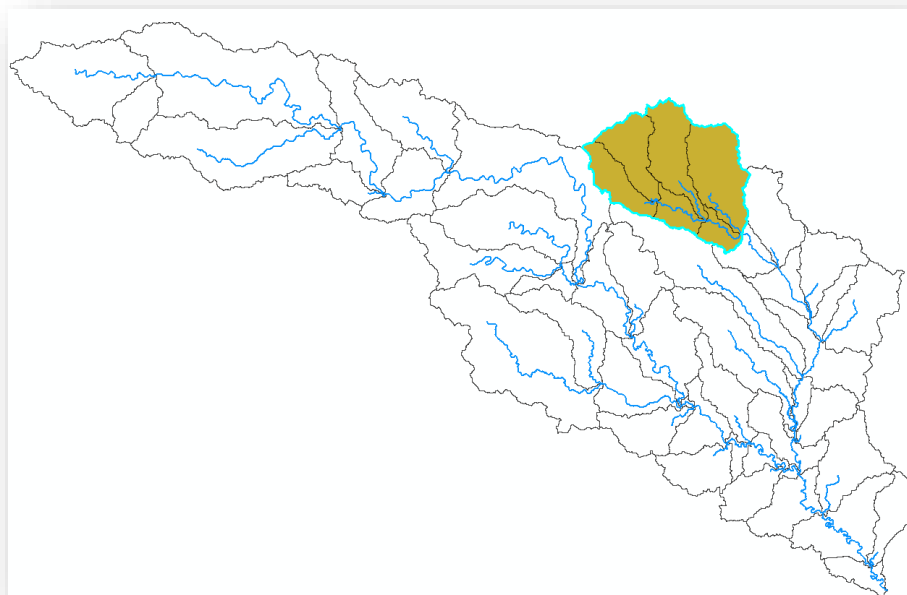


Fig. 46. Mapa zlewni sprężonej (DrainID=740) dla zlewni o HydroID=740

20. Przetwarzanie punktów drenażu (*Drainage Point Processing*)

Narzędzie *Drainage Point Processing*, na podstawie klas wejściowych zlewnii oraz grida akumulacji przepływu (*Flow Accumulation Grid*), generuje klasę punktów drenażu. Miejsca takie (*Drainage Point*) stanowią w każdej zlewni piksele o maksymalnej wartości przepływu.

- 20.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Drainage Point Processing* (Fig. 47).
- 20.2. Kliknij OK.

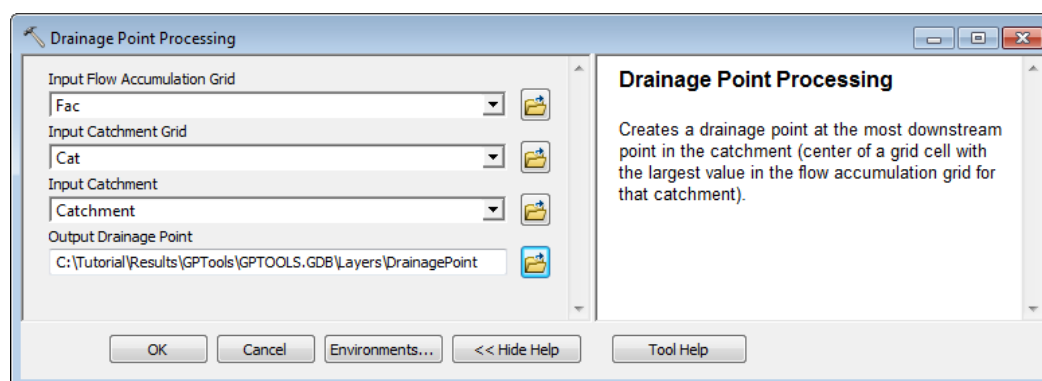


Fig. 47. Okno dialogowe *Drainage Point Processing*

Narzędzie generuje wyjściową klasę punktów drenażu (Fig. 48) i dodaje ją do mapy.

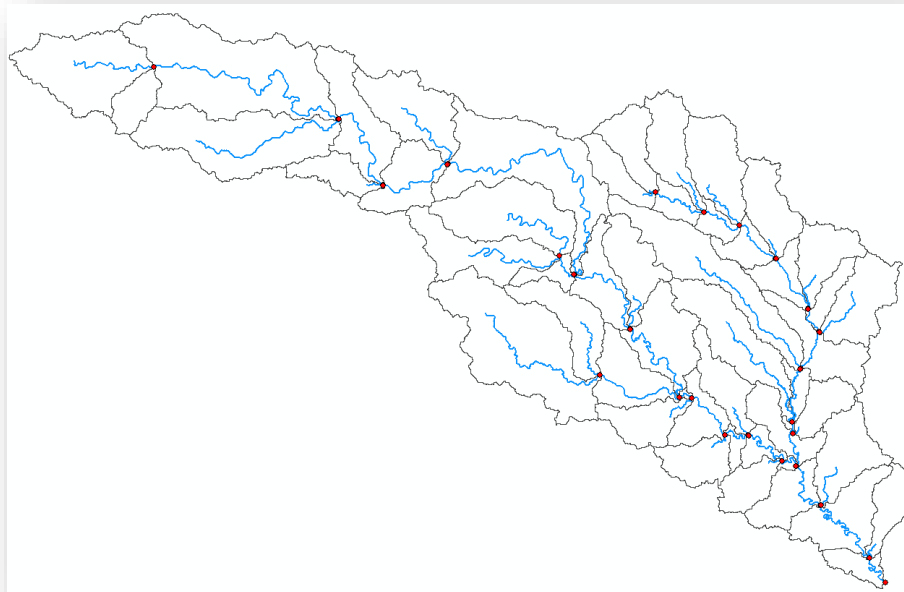


Fig. 48. Mapa punktów drenażu z nałożonymi klasami zlewni elementarnych oraz sieci cieków powierzchniowych

Pole `DrainID` przechowuje `HydroID` powiązanej zlewni (Fig. 49).

Table				
DrainagePoint				
OBJECTID *	Shape *	DrainID	GridID	HYDROID
1	Point	1274	1	1401
2	Point	1276	3	1402
3	Point	1275	2	1403
4	Point	1278	5	1404
5	Point	1279	6	1405
6	Point	1281	8	1406

Fig. 49. Tabela atrybutowa klasy punktów drenażu

21. Nachylenie (*Slope*)

Narzędzie *Slope*, na podstawie NMT, generuje grid nachylenia wyrażony w procentach lub stopniach. Narzędzie, z pliku `.prj` powiązanego z NMT odczytuje jednostkę `Z` i na tej podstawie oblicza nachylenie.

- 21.1. Uruchom *Terrain Preprocessing > Slope* (Fig. 50).
- 21.2. Wybierz klasę NMT oraz rodzaj wskaźnika (procent lub stopień).
- 21.3. Zachowaj domyślną nazwę dla klasy grida wyjściowego *Slope*.
- 21.4. Kliknij przycisk *OK*.

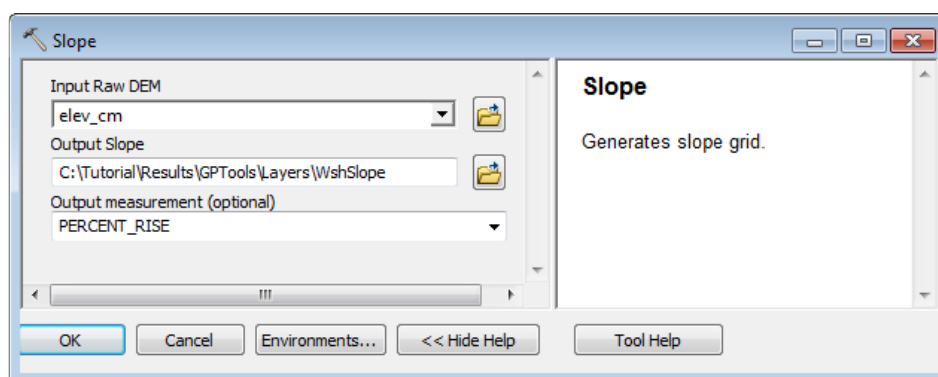


Fig. 50. Okno dialogowe *Slope*

Narzędzie dla wejściowej klasy NMT generuje grid nachylenia (Fig. 51).

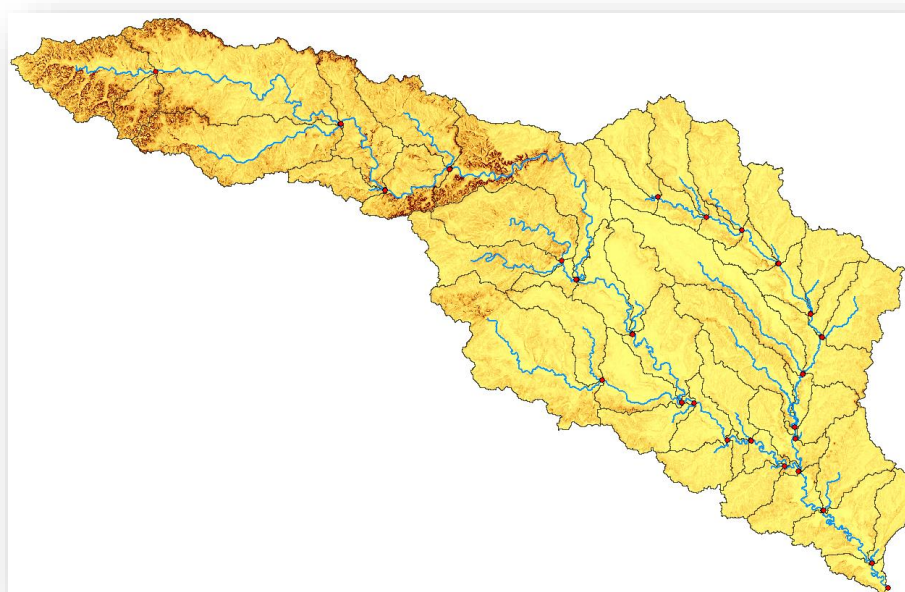


Fig. 51. Mapa nachyleń stoków (w procentach) z nałożonymi klasami sieci cieków powierzchniowych, zlewni elementarnych oraz punktów drenażu