

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Podstawowe atrybuty topograficzne

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 6

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.

2021-10-26

Wprowadzenie

Analiza rzeźby terenu pozwala rozwiązywać problemy dotyczące wiele dziedzin życia. Większość z nich została pokrótce wymieniona w części wstępnej do analiz NMT. Sam NMT jest wykorzystywany do wizualizacji przestrzennej i ortorektyfikacji zdjęć lotniczych i satelitarnych. Analizy rzeźby terenu dokonywane są w oparciu o różne wskaźniki geomorfometryczne obliczane na podstawie posiadanego NMT. Wskaźniki te nazywane są atrybutami topograficznymi. Istnieją podstawowe i wtórne atrybuty topograficzne. **Podstawowe atrybuty topograficzne** (ang.: *primary topographic attributes*) są obliczane bezpośrednio na podstawie NMT. **Wtórne atrybuty topograficzne** (ang.: *secondary topographic attributes*) są obliczane z wykorzystaniem atrybutów pierwotnych (Urbański 2012).

Do najważniejszych podstawowych atrybutów topograficznych należą:

- nachylenie stoków,
- ekspozycja stoków,
- krzywizna planarna
- krzywizna wertykalna

W tym ćwiczeniu zapoznamy się z ideą poszczególnych atrybutów i postaramy się je wykorzystać.

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

1. Nachylenie stoków

Nachylenie stoków stanowi jeden z najważniejszych czynników morfometrycznych. Można go zdefiniować jako kąt zawarty pomiędzy powierzchnią terenu, a płaszczyzną poziomą, wyznaczany w kierunku największego spadku (Urbański 2012). Wielkość nachyleń stoków wpływa na rodzaj i dynamikę procesów morfotwórczych – denudacji i akumulacji. W zależności od natury zjawiska, warunkuje ona jakość i intensywność ruchów masowych i spłukiwania (Klimaszewski 1963). Nachylenie stoków wpływa na ilość promieniowania słonecznego docierającego do eksponowanej powierzchni. Południowe stoki o nachyleniach ok. 30° absorbują o 30% promieniowania więcej w stosunku do powierzchni horyzontalnej, a do podobnych stoków o ekspozycji północnej dociera zaledwie o 10% promieniowania mniej niż do powierzchni poziomych (Kicińska i in. 2001). Nachylenie stoków jest także istotnym czynnikiem wpływającym na wegetację roślin (Boliłowa & Znój 2003), reguluje sposób rolniczego użytkowania ziemi, zagospodarowania przestrzennego i warunkuje rozwój sieci komunikacyjnej.

Z praktycznego punktu widzenia, klasy nachyleń stoków są wykorzystywane w analizach przestrzennych stref zagrożeń ruchami masowymi (Traczyk 2000; Adams *i in.* 2003), do określenia skutków działania tych procesów (Wężyk 2012), w analizach spływu powierzchniowego, stopnia uwilgocenia gleby, pokrycia roślinnością, zmienności topoklimatycznej (Paszyński 1980; Kicińska *i in.* 2001), określenia jakości wegetacji (Bennie *i in.* 2006), definicji klasy gruntów (Witek 1973), różnorodności krajobrazowej (Wilson & Gallant 2000) i innych.

Nachylenie może być wyrażone w stopniach (ew. w radianach) lub w procentach (Fig. 1.1).

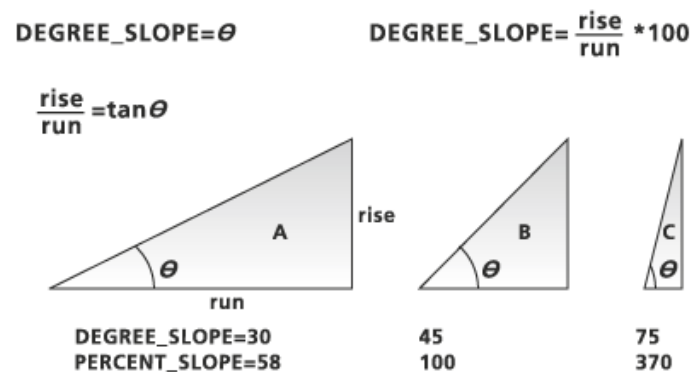


Fig. 1.1. Obliczanie nachylenia stoków (w stopniach i procentowe)

Wykonując ćwiczenie będziemy korzystać z danych NMT rejonu Rowu Krzeszowickiego wygenerowanych przez nas w ćwiczeniu 5-tym.

1. Otwórz plik projektowy z ćwiczenia 5-go (Fig. 1.2).

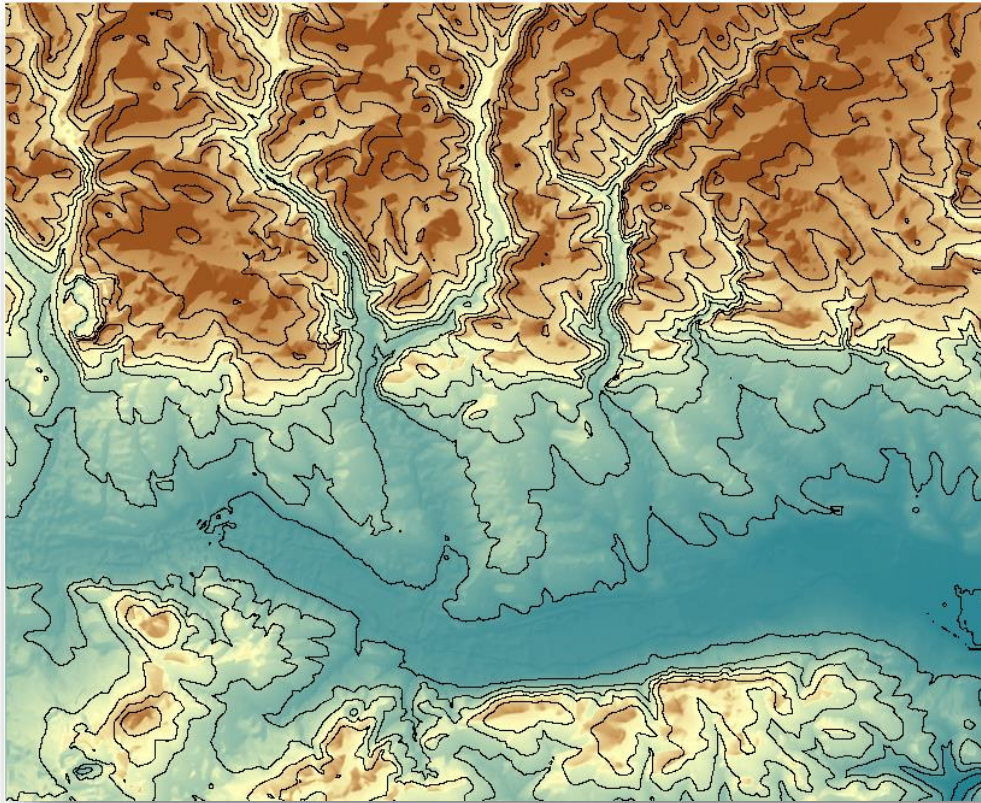


Fig. 1.2. NMT rejonu Rowu Krzeszowickiego z ćwiczenia 5-go

- 1.2. Z tabeli zawartości usuń widoczność izolinii.
- 1.3. Usuń wszystkie klasy z punktami (warstwy zdarzeń, podłączone pliki txt i inne). Na scenie mają pozostać tylko wyinterpolowane klasy: numerycznego modelu terenu (NMT_IDW), obszar badań (obszar_badań) oraz klasa izolinii (NMT_izolinie). Może też pozostać połączenie WSM do serwera GIS Geoportalu.
- 1.4. Z ArcToolbox uruchamiamy narzędzie *3D Analyst Tools > Raster Surface > Slope*.
- 1.5. W oknie dialogowym Nachylenie (*Slope*), w polu Raster wejściowy (*Input raster*) wybieramy klasę NMT NMT_IDW.
- 1.6. Rastrową klasę nachyleń stoków zapiszemy w tym samym folderze w którym zapisaliśmy NMT_IDW. Klasie wynikowej nadajemy nazwę *Slope*.
- 1.7. Jako rodzaj estymatora nachylenia pozostawiamy STOPNIE (*DEGREE*), po czym naciskamy przycisk *OK*.

W wyniku działania aplikacji otrzymujemy rastrową klasę nachyleń stoków *Slope* (Fig. 1.3).

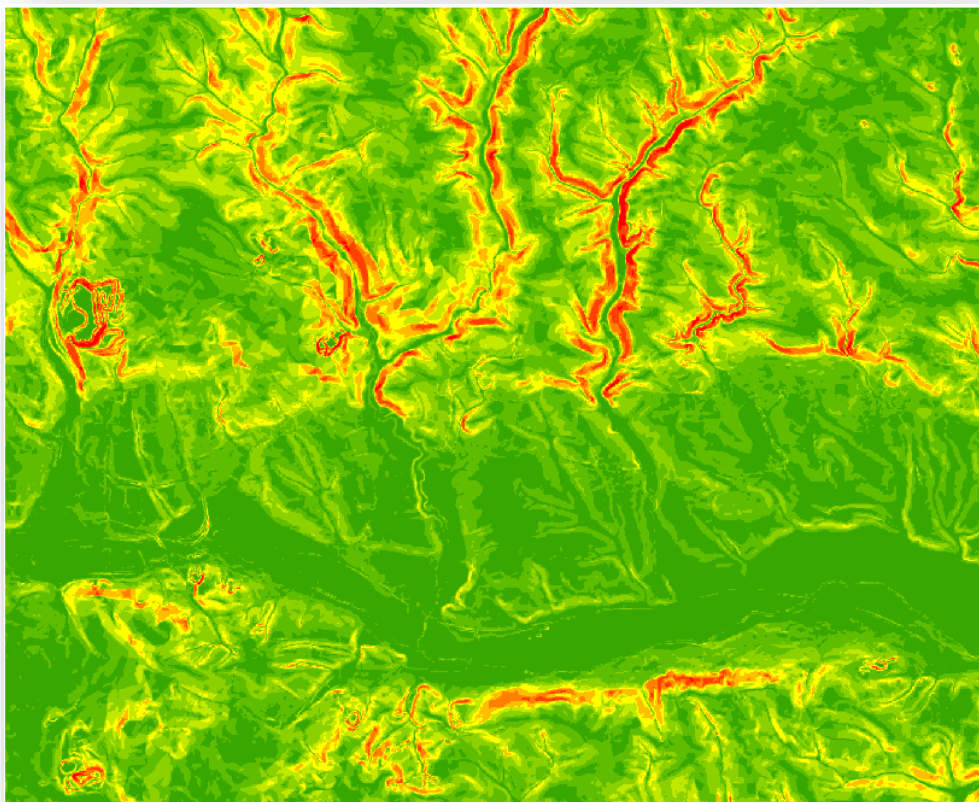


Fig. 1.3. Klasa nachyleń stoków slope

Przyjrzyjmy się otrzymanemu wynikowi. ArcGIS wygenerował nam klasę nachyleń stoków i sklasyfikował ją w 9-ciu kategoriach (Fig. 1.4).

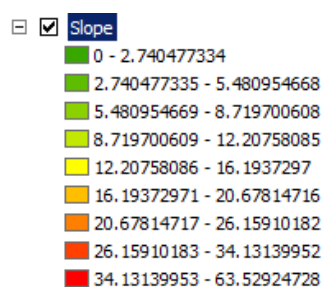


Fig. 1.4. Domyślne kategorie nachyleń stoków

Jak widać nachylenie zmienia się w zakresie od 0° (obszary płaskie) do 63,5° (obszary o bardzo dużym nastromieniu zboczy). Największe nastromienie zboczy obserwujemy wzdłuż krawędzi dolinek podkrakowskich (o biegu południkowym) oraz wzdłuż niektórych fragmentów Rowu Krzeszowickiego (zwłaszcza w obrębie południowego skrzydła).

Domyślna kategoryzacja zaproponowana przez program nam nie odpowiada. Zmieńmy ją na 7 kategorii o szerokości 10°.

1.8. W tabeli zawartości, z menu Właściwości klasy *Slope*, wybierz zakładkę Symbolizacja (*Symbolology*) i zmień kategoryzację nachyleń stoków na następującą:

- 0°-10°
- 10°-20°
- 20°-30°
- 30°-40°
- 40°-50°
- 50°-60°
- 60°-70°

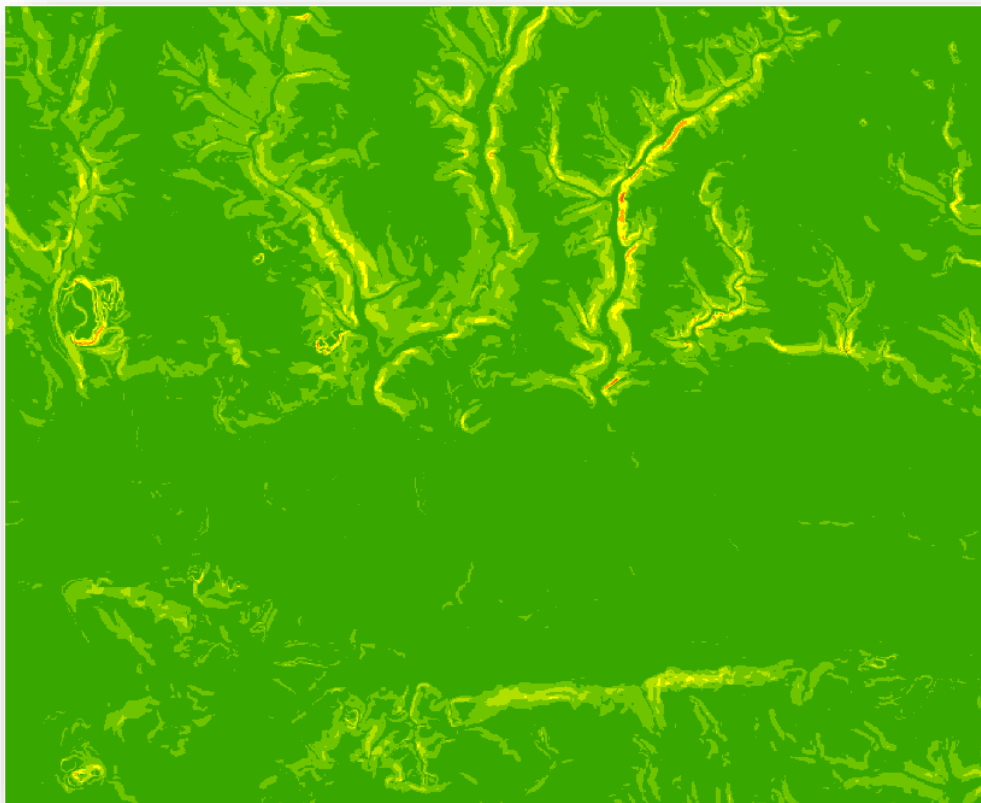


Fig. 1.5. Klasa nachyleń stoków *Slope* wg. kategoryzacji 10-stopniowej

Jak widać ([Fig. 1.5](#)), obserwowany obraz zmienił się. W rejonie Rowu Krzeszowickiego przeważają obszary płaskie i o niewielkim nachyleniu stoków.

1.9. Na koniec dokonajmy jeszcze kategoryzacji 3-stopniowej. Przyjmijmy, że za obszary płaskie (np. umożliwiające różnorodne inwestycje) przyjmujemy te, które są nachylone pod kątem 0-5°, za obszary o niewielkim nachyleniu stoków – 5-15°, a o dużym nachyleniu >15°.

W wyniku reklasyfikacji otrzymujemy nowy obraz nachyleń stoków (Fig. 1.6).

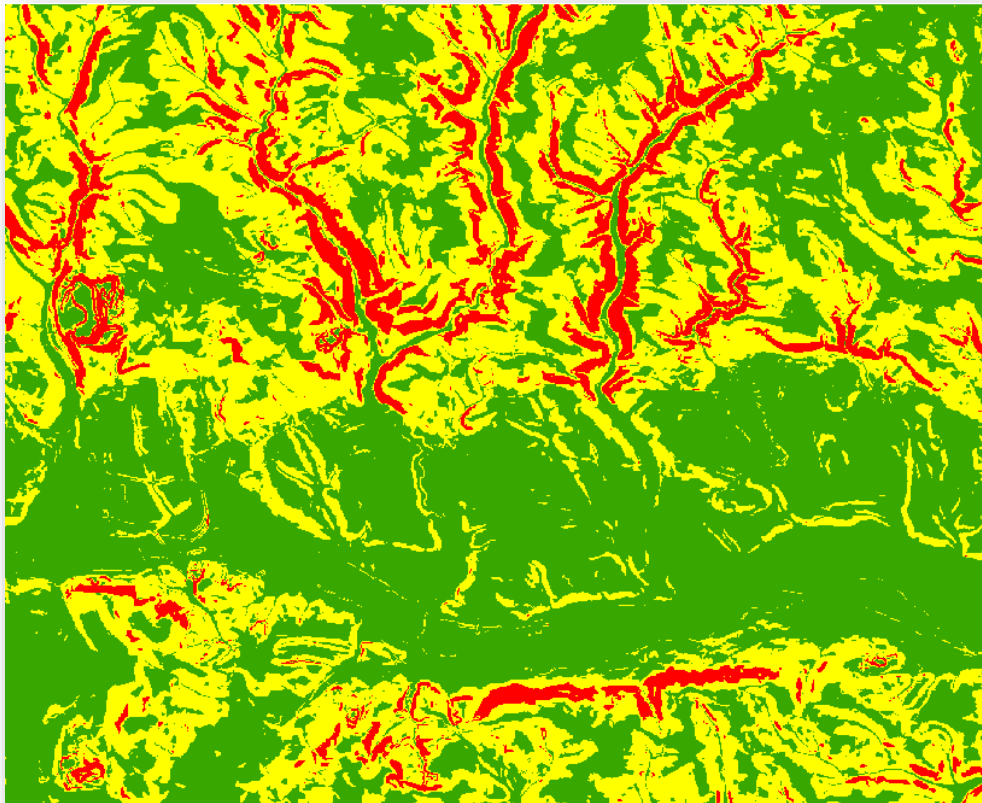


Fig. 1.6. Klasa nachyleń stoków *Slope*, zielone – obszary o nachyleniu 0-5°, żółte – 5-15°, czerwone – >15°

1.10. Wyłączmy widoczność klasy *Slope* w tabeli zawartości

2. Ekspozycja stoków

Jednym z ważniejszych, egzogenicznych czynników morfotwórczych, jest położenie stoku względem kierunku padania promieni słonecznych czyli tzw. ekspozycja solarna (ang. *aspect*, [Urbański 2012](#)). Obszary o monotonnej, poziomej morfologii są nasłonecznione w podobnym stopniu. Na obszarach o zróżnicowanej morfologii, ekspozycja zboczy wpływa na ilość energii słonecznej docierającej do powierzchni terenu i jest bezpośrednim powodem powstawania przestrzennej zmienności temperatury i wilgotności podłoża ([Paszyński 1980, 2004](#); [Paszyński i in. 1999](#); [Kicińska i in. 2001](#)). Ekspozycja stoków, obok zmienności litologicznej oraz nachylenia zboczy, w największym stopniu wpływa na procesy wietrzenia fizycznego skał oraz jakość i intensywność procesów rzeźbotwórczych ([Recha i in. 2001](#); [Burnett i in. 2008](#)). Do głównych efektów wietrzenia spowodowanego nasłonecznieniem zalicza się dezintegrację granularną, eksfoliację i dezintegrację blokową ([Klimaszewski 1963](#)). W rzeczywistości, w strefie umiarkowanej, wychodnie skalne są często pokryte zwietrzeliną skalną i roślinnością,

które zaburzają opisywane zjawiska i w znacznym stopniu spowalniają procesy wietrzeniowe. Efektywne wietrzenie wskutek nasłonecznienia, warunkują także: wysoki stopień nagrzania skał oraz wahania temperatury w trakcie ogrzewania i ochładzania.

Ekspozycja stoków, w pewnym zakresie, może wpływać na sposób i intensywność zmian morfologii poprzez zjawisko zamrozu. Gdy skały są uszczelinione lub porowate, puste przestrzenie są wypełnione wodą (opadową, roztopową lub z kondensacji mgły), a temperatura oscyluje wokół 0°C, w wyniku zamarzania i zwiększenia objętości lodu o ok. 9%, dochodzi do wzrostu ciśnienia i niszczenia spistości skał. Głównym efektem tego zjawiska jest rozpad blokowy. Produktem wietrzenia fizycznego tego typu jest zwietrzelina blokowo-ziarnisto-pylasta o charakterze glin. Intensywność zjawiska jest silnie uzależniona od litologii skał (Klimaszewski 1963). W umiarkowanych szerokościach geograficznych, poza obszarami wysokogórkimi, zjawisko zamrozu zachodzi głównie w zimie i wiosną. W Polsce ze względu na dużą liczbę dni z przymrozkami (w roku 90-200), istnieją warunki klimatyczne sprzyjające rozwojowi wietrzenia zamrozowego. Podlegają mu pozbawione pokrywy zwietrzelinowej, nagie wychodnie skalne.

Ekspozycja stoków, poprzez przestrzenną zmienność temperatury wpływa także na intensywność parowania. Zjawisko to ma szczególne znaczenie na nagich wychodniach skał ilastych np. iłowców, mułowców, glin, lessów lub margli. Utwory te w stanie wilgotnym cechują się znaczną spistością. Po odparowaniu wody, rozpadają się na drobne okruchy lub tworzą na powierzchni wychodni charakterystyczne szczeliny dzielące powierzchnię na wieloboczne wklęsłe fragmenty. Powstające formy ułatwiają rozmywanie i modelowanie powierzchni (Klimaszewski 1963).

Na półkuli północnej, na północ od Zwrotnika Raka (23°27' N), Słońce zawsze świeci od południowej strony. Za ciepłą ekspozycję solarną, na półkuli północnej, w strefie umiarkowanej, uważana jest ekspozycja południowo-zachodnia. Skały są w ciągu dnia silnie nagrzewane, a w nocy, zwłaszcza w warunkach górskich, szybko ochładzane. Powoduje to, że w umiarkowanych szerokościach geograficznych, nagie wychodnie skał eksponowane w tym kierunku, w pewnym zakresie, poddawane są temu rodzajowi wietrzenia (Klimaszewski 1963).

Analiza kierunków nachylenia zboczy ma istotne znaczenie w modelowaniu hydrologicznym (określa on kierunek spływu wody po terenie). Ilość światła docierającego do powierzchni w istotny sposób wpływa także na wegetację roślin (Davis & Goetz 1990; Bennie *i in.* 2006) i zmienność siedliskową organizmów roślinnych i zwierzęcych (Stage 1976; Burnett *i in.* 1998).

Wartości ekspozycji są wyrażane azymutem (w stopniach) i zmieniają się w zakresie 0-359°.

- 2.1. Z ArcToolbox uruchamiamy narzędzie *3D Analyst Tools > Raster Surface > Aspect*.
- 2.2. W oknie dialogowym *Aspect*, jako klasę danych wejściowych, wybieramy *NMT_IDW*.
- 2.3. Klasę danych wyjściowych o nazwie *Aspect*, zapiszemy do tego samego podfolderu, w którym mamy zapisane klasy *NMT_IDW* i *Slope*.

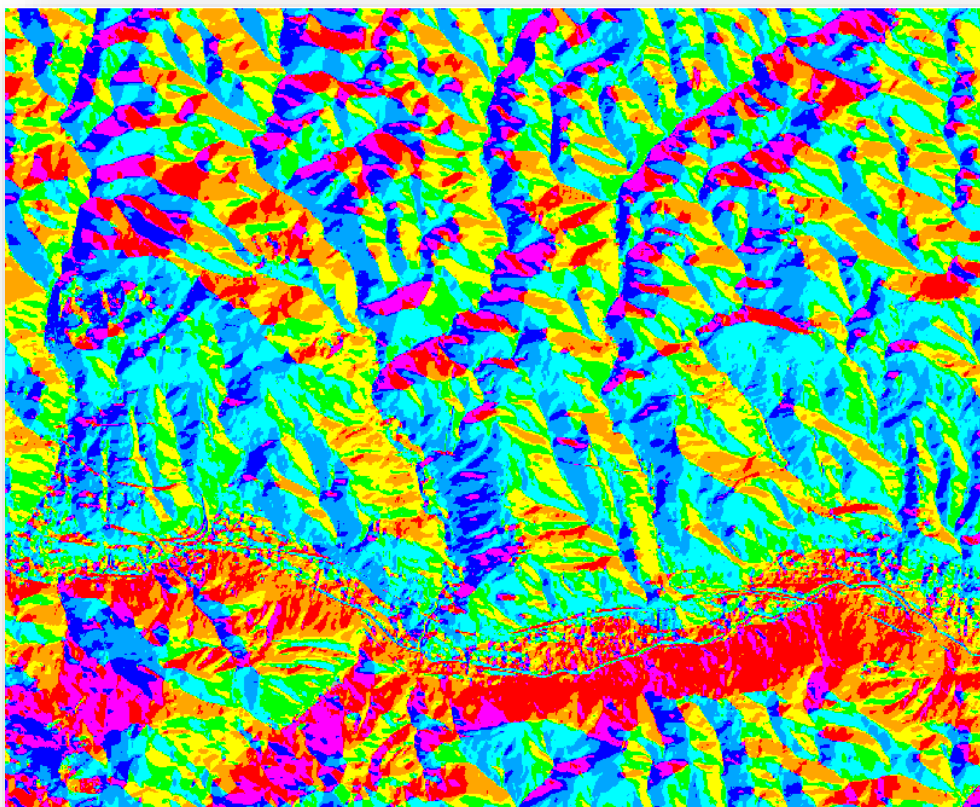


Fig. 2.1. Klasa ekspozycji stoków *Aspect*

Program utworzył mapę ekspozycji stoków *Aspect* (Fig. 2.1). Spójrzmy na tabelę zawartości. ArcGIS generując klasę skategoryzował ją w dziesięciu kategoriach: *Flat* (obszary płaskie), *North* (eksponowane na północ), *Northeast* (eksponowane na północny-wschód), *East* (eksponowane na wschód), *Southeast* (eksponowane na południowy-wschód), *South* (eksponowane na południe), *Southwest* (eksponowane na południowy-zachód), *West* (eksponowane na zachód), *Northwest* (eksponowane na północny-zachód) i *North* (eksponowane na północ) (Fig. 2.2).

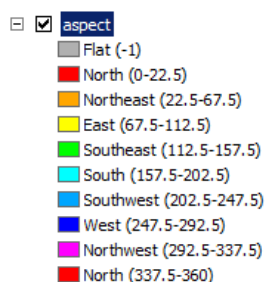


Fig. 2.2. Domyślne kategorie ekspozycji stoków

Innymi słowy poligony oznaczone na mapie odpowiednimi kolorami posiadają ekspozycję zgodną z diagramem Fig. 2.3.



Fig. 2.3. Diagram ekspozycji stoków (kolory zgodne z wydzieleniami mapy)

3. Krzywizna stoków

Krzywizna należy do grupy podstawowych atrybutów topograficznych i służy do opisu kształtu stoków (Urbański 2012). Współczesne oprogramowanie umożliwia wyznaczenie krzywizny planarnej (poziomic, ang.: *plan curvature*), wertykalnej (profilu, ang.: *profile curvature*) oraz krzywizny sumarycznej.

Krzywizna planarna opisuje kształt poziomic na powierzchni poziomej. Pozwala na wyodrębnienie fragmentów zboczy posiadających tendencję do konwergencji (zbieżność spływu powierzchniowego) oraz obszarów powodujących jego dywergencję (rozbieżność) (Fig. 3.1).

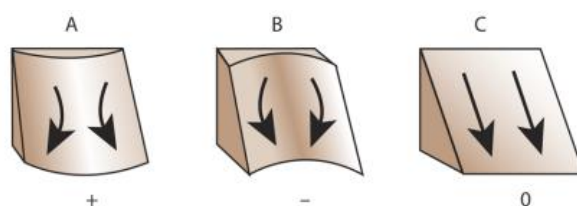


Fig. 3.1. Idea atrybutu topograficznego krzywizny planarnej. Wskaźnik przyjmuje wartości dodatnie w miejscach o tendencji do dywergencji i ujemne w miejscach o tendencji do konwergencji. Wartości krzywizny planarnej równe „0” cechują obszary bez wyraźnej krzywizny

Atrybut przyjmuje wartości ujemne dla dolin, natomiast dodatnie dla grzbietów (Fig. 3.2).

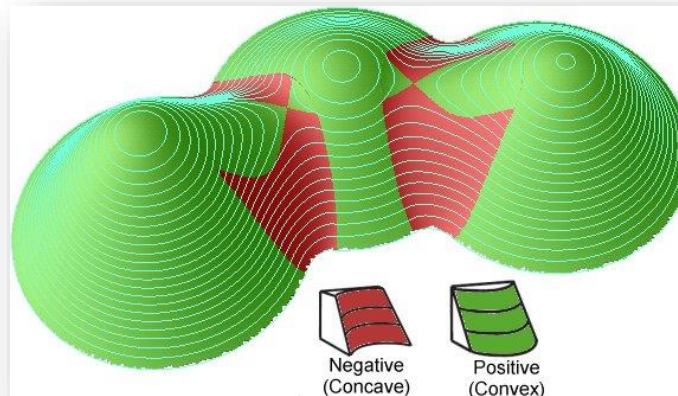


Fig. 3.2. Przykład obliczenia wartości atrybutu krzywizny planarnej

Krzywizna profilu opisuje zmianę nachylenia wzdłuż linii spływu i pozwala na określenie kształtu stoku (Fig. 3.3).

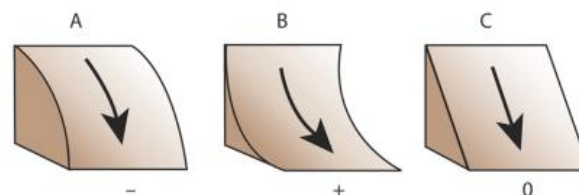


Fig. 3.3. Idea atrybutu topograficznego krzywizny profilu. Wskaźnik przyjmuje wartości ujemne dla stoków wypukłych, dodatnie – dla stoków wklęsłych i równe „0” dla stoków bez wyraźnej krzywizny

Atrybut przyjmuje wartości dodatnie dla stoków wklęsłych oraz ujemne dla stoków wypukłych (Fig. 3.4). Wartości zbliżone do zera charakteryzują obszary płaskie bądź o stałym nachyleniu.

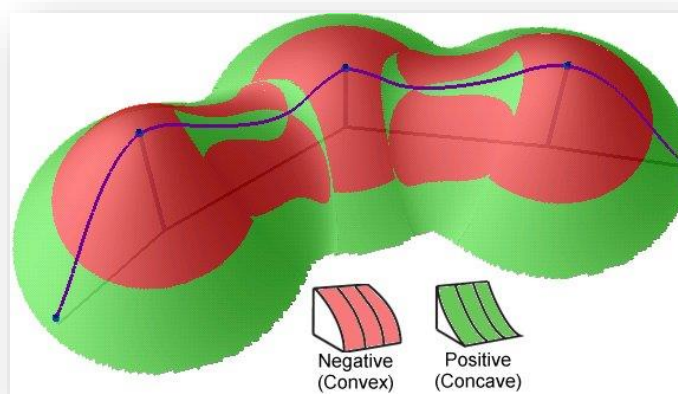


Fig. 3.4. Przykład obliczenia wartości atrybutu krzywizny profilu

Krzywizna sumaryczna (in. całkowita, generalna) nie opisuje zakrzywienia linii (poziomic bądź profilu) lecz wyznacza zakrzywienie płaszczyzny topograficznej (Fig. 3.5).

Tak jak poprzednio, atrybut może przyjmować wartość ujemne (dla obszarów wklęsłych) bądź dodatnie (dla obszarów wypukłych).

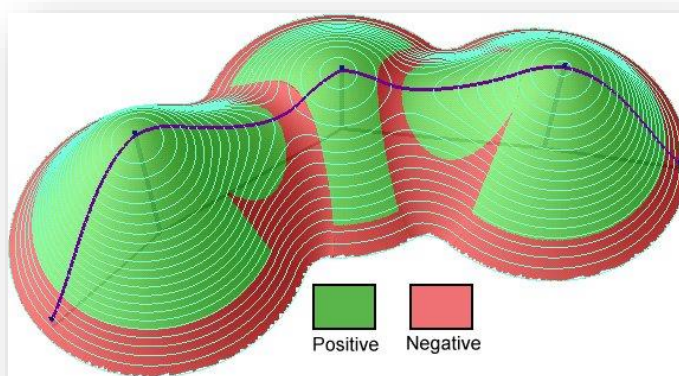


Fig. 3.5. Przykład obliczenia wartości atrybutu krzywizny sumarycznej

Krzywizna profilu wpływa na przyspieszenie bądź spowolnienie spływu, a zatem wpływa na erozję i sedymentację. Krzywizna planarna wpływa na zbieżność i rozbieżność spływu. Analiza atrybutów krzywizny planarnej i wertykalnej umożliwia dokładniejsze zrozumienie charakteru spływu powierzchniowego.

Na Fig. 3.6 kolumny przedstawiają rodzaje krzywizny planarnej, a wiersze – rodzaje krzywizny profilu. W kolumnach, od lewej do prawej, atrybut krzywizny planarnej przyjmuje wartości: dodatnie, ujemne i równe „0”. W wierszach, atrybut krzywizny profilu, z góry do dołu przyjmuje wartości: ujemne, dodatnie i „0”.

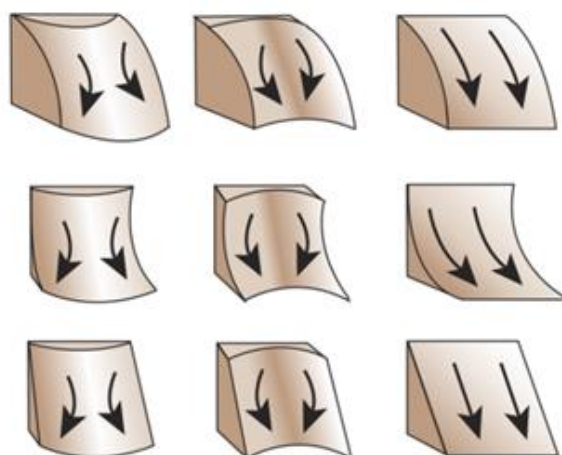


Fig. 3.6. Kombinacje krzywizn planarnej i profilu. Opis w tekście powyżej

- 3.1. Z ArcToolbox uruchamiamy narzędzie *3D Analyst Tools > Raster Surface > Curvature*.
- 3.2. W oknie dialogowym *Curvature*, jako klasę danych wejściowych, wybieramy NMT_IDW (Fig. 3.7).

- 3.3. Narzędzie umożliwia generowanie trzech klasy wyjściowych: krzywizny sumarycznej, planarnej i wertykalnej. Wszystkie klasy wynikowe (*curvature*, *curv_profile* i *curv_plan*), zapiszemy do tego samego podfolderu, w którym mamy już zapisane klasy *NMT_IDW*, *Slope* i *Aspect*.

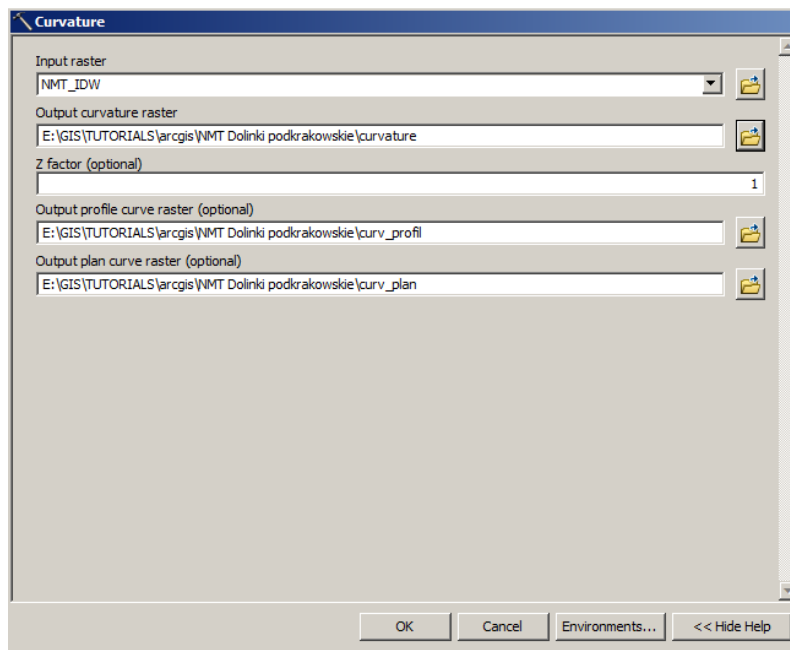


Fig. 3.7. Okno dialogowe **Curvature**

4. Wyszukiwanie miejsc o zadanych warunkach morfologicznych.

Podstawowe atrybuty topograficzne są powszechnie wykorzystywane do wyszukiwania miejsc spełniających określone kryteria, np. jeśli projektujemy budowę ośrodka narciarskiego, będzie nam najprawdopodobniej zależało na ekspozycji terenu w kierunku północnym (śnieg na tak eksponowanych stokach będzie utrzymywał się wiosną najdłużej) oraz takich, które posiadają duże nastromienie zboczy. Jeśli zaś będziemy projektowali budowę pola golfowego będzie nam najprawdopodobniej zależało na terenach płaskich, przez które przepływają niewielkie ciekły wodne.

Wyobraźmy sobie, że projekt, który opracowujemy wymaga terenów o nachyleniu 15-20°, eksponowanych na południe. Postarajmy się utworzyć mapę obszarów spełniających te dwa kryteria.

Na początek zajmiemy się utworzeniem mapy obszarów spełniających kryterium nachylenia stoków.

- 4.1. W Toolbox odnajdź narzędzie Reklasyfikacja (*Reclassify*).
- 4.2. Jako klasę wejściową geoprzetwarzania wprowadźmy utworzoną wcześniej rastrową klasę nachyleń stoków *slope*.

- 4.3. W polu *Reclassification* zadeklarujemy teraz warunki rekasyfikacji spełniające nasze wymagania. Kliknijmy na przycisk *Classify...*, wybierzmy rodzaj klasyfikacji – manualną, liczbę kategorii określmy na 3 i dla utworzonych klas zadeklarujemy podział zmienności nachyleń stoków na: 0-15; 15-20 i 20-63,529... (Fig. 4.1).

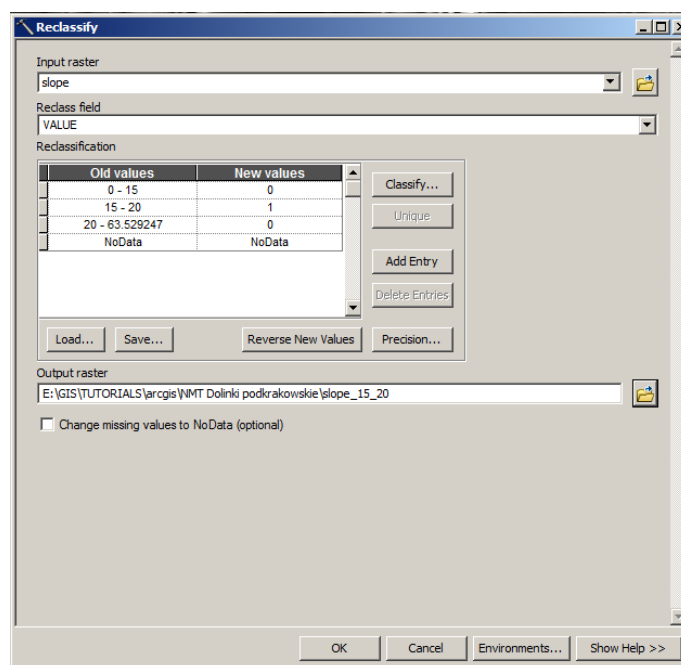


Fig. 4.1. Okno dialogowe narzędzia *Reclassify* z kryteriami rekasyfikacji nachylenia stoków

- 4.4. Dla utworzonych kategorii przypiszmy nowe wartości pikseli, kolejno: 0, 1 i 0.
- 4.5. Klasę wynikową geoprzetwarzania nazwijmy `slope_15_20`.
- 4.6. Po wypełnieniu wszystkich pól, naciśnij przycisk *OK*.

W wyniku rekasyfikacji zostanie utworzona nowa rastrowa binarna klasa, która będzie zawierała dwie kategorie: „0” – oznaczającą obszary nie spełniające naszego kryterium oraz „1” – obszary o nachyleniu stoków 15–20°.

- 4.7. Zmieńmy stylizację nowej klasy na czarno/bezbarwną. Obszary bezbarwne (*NoColor*) nie spełniają kryterium, czarne – spełniają (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. Mapa obszarów spełniających kryterium nachylenia stoków 15–20°

Mapy już mapę pierwszego kryterium. Teraz zajmijmy się drugim kryterium, czyli ekspozycją stoków.

- 4.8. W Toolbox ponownie odnajdź narzędzie Reklasyfikacja (*Reclassify*).
- 4.9. Jako klasę wejściową geoprzetwarzania, tym razem wprowadźmy rastrową klasę ekspozycji stoków *aspect*.

Obszary eksponowane na południe to te, których ekspozycja wynosi 135–225° (Fig. 2.3).

- 4.10. W polu *Reclassification* zadeklarujemy teraz warunki reklasyfikacji spełniające nasze wymagania. Kliknijmy na przycisk *Classify...*, wybierzmy rodzaj klasyfikacji – manualną, liczbę kategorii określmy na 3 i dla utworzonych klas zadeklarujemy podział zmienności nachyleń stoków na: 0–135; 135–225 i 225–63,529... (Fig. 4.3).

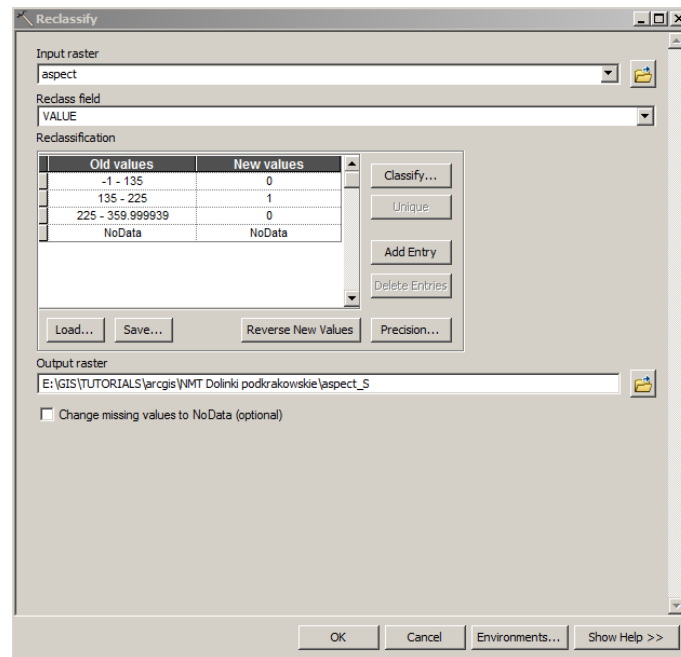


Fig. 4.3. Okno dialogowe narzędzia *Reclassify* z kryteriami rekasyfikacji ekspozycji stoków

- 4.11. Dla utworzonych kategorii przypiszmy nowe wartości pikseli, kolejno: 0, 1 i 0.
- 4.12. Klasę wynikową geoprzetwarzania nazwijmy `aspect_S`.
- 4.13. Po wypełnieniu wszystkich pól, naciśnij przycisk **OK**.

W wyniku rekasyfikacji zostanie utworzona nowa rastrowa binarna klasa, która będzie zawierała dwie kategorie: „0” – oznaczającą obszary nie spełniające naszego kryterium oraz „1” – obszary o ekspozycji stoków 135–225°.

- 4.14. Zmieńmy stylizację nowej klasy na czarno/bezbarwną. Obszary bezbarwne (*NoColor*) nie spełniają kryterium, czarne – spełniają (Fig. 4.4).

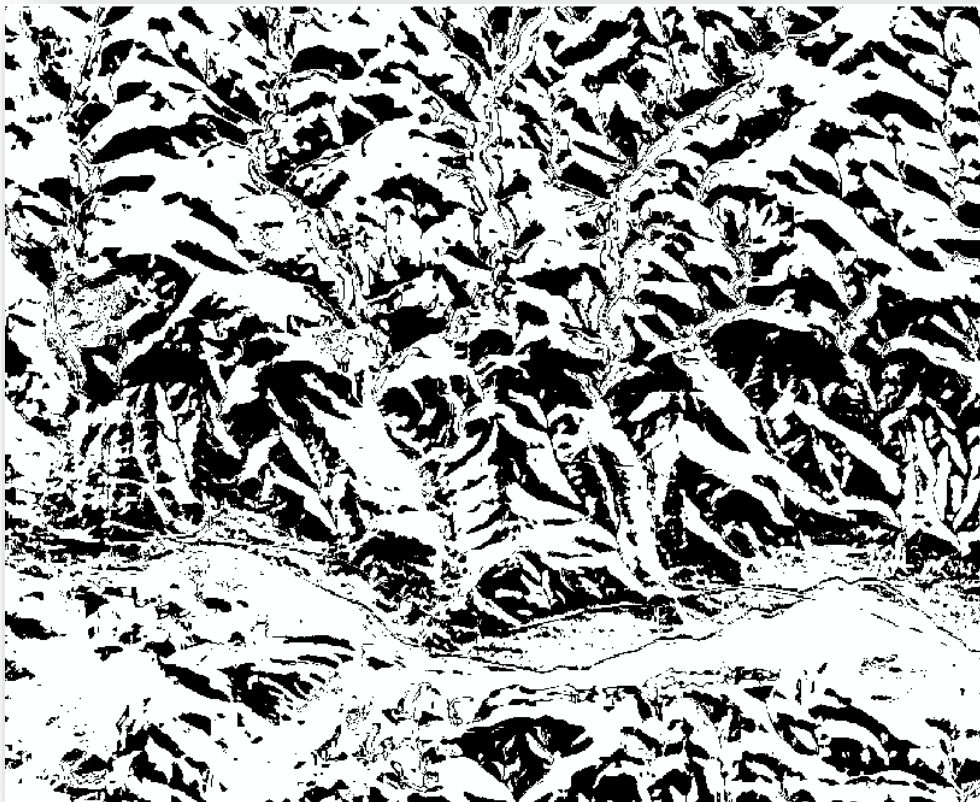


Fig. 4.4. Mapa obszarów spełniających kryterium ekspozycji stoków 135–225°

W ostatnim kroku musimy określić, które obszary spełniają oba nasze kryteria. Wykorzystamy do tego narzędzie algebry map bazujące na binarnej algebrze Boole’a i funkcji iloczynu logicznego (Tab. 4.1).

Tab. 4.1. Tabela prawdy iloczynu logicznego AND

| a | b | $a \times b$ |
|---|---|--------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Tabelę Tab. 4.1 należy rozumieć tak, że interesują nas wyłącznie obszary spełniające oba kryteria ($a=1$ i $b=1$).

- 4.15. Wykonywanie operacji algebraicznych na mapach umożliwia narzędzie Kalkulatora rastrow (Raster Calculator). Wyszukajmy je za pomocą narzędzia Search.
- 4.16. Z listy dostępnych map rastrowych wybierzmy `slope_15_20`.

- 4.17. Wprowadźmy operator mnożenia „*”, a następnie dodajmy mapę drugiego kryterium (*aspect_S*). Jako klasę wynikową analizy wprowadźmy End. Zapiszmy ją wewnątrz naszego folderu z rastрами (Fig. 4.5).

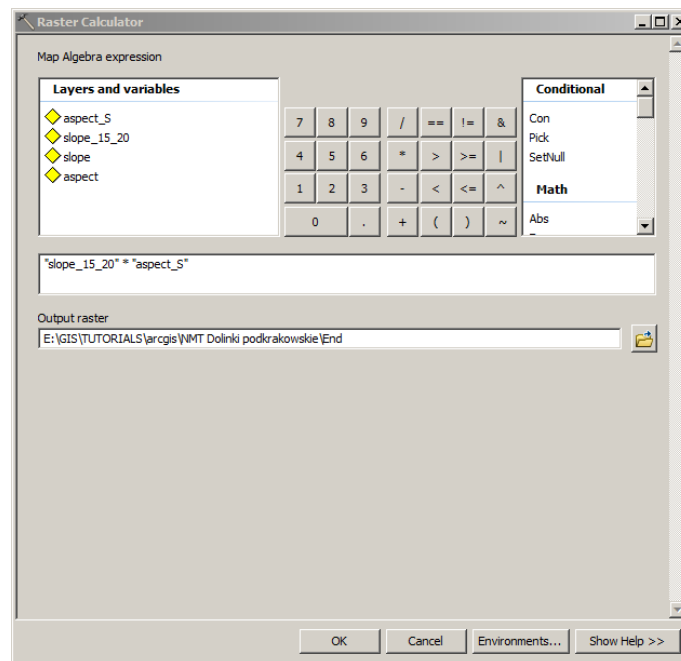


Fig. 4.5. Okno dialogowe narzędzia *Raster Calculator*

- 4.18. Po wypełnieniu wszystkich pól, naciśnijmy przycisk *OK*.
- 4.19. Zmieńmy stylizację kategorii mapy wynikowej end na: piksele „0” – przezroczyste; „1” – czerwone.
- 4.20. Wyświetlmy klasę wynikową na tle map *slope_15_20* i *aspect_S*.

W wyniku przeprowadzenia operacji mnożenia map. Każda wartość piksela pierwszego kryterium zostanie pomnożony przez odpowiadającą mu wartość piksela wyrażającego drugie kryterium. Mapa wynikowa End przedstawia wszystkie obszary spełniające oba kryteria, czyli obszary o nachyleniu stoków 15-20° i eksponowane w kierunku południowym (Fig. 4.6).

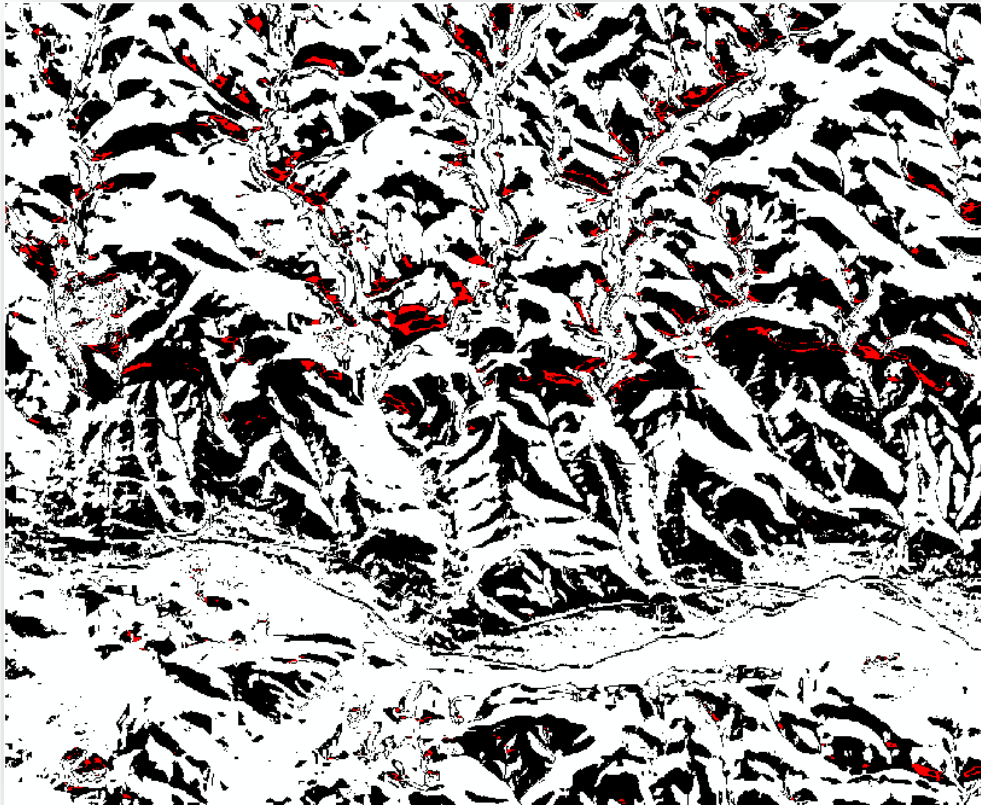


Fig. 4.6. Mapa obszarów spełniających oba kryteria analizy. Na czerwono zaznaczono obszary o nachyleniu stoków 15-20° i eksponowane w kierunku południowym; na czarno zaznaczono obszary spełniające jedno z dwóch analizowanych kryteriów; na białe – obszary nie spełniające żadnego z kryteriów

Bibliografia

Tchoukanski I., Raster Curvature, URL: http://www.et-st.com/et_surface/userguide/Raster/ETG_RasterCurvature.htm

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

Wieczorek, M., Żyszkowska, W. 2011. Geomorfometria – parametry morfometryczne w charakterystyce rzeźby terenu. Polski Przegląd Kartograficzny, 43(2), 130-144.