

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Georóżnorodność z ArcGIS Pro

Różnorodność rzeźby terenu

Różnorodności cząstkowe, model morforóżnorodności RCM

Tomasz Bartuś

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
06.11.2025 13:08:00

Różnorodności cząstkowe kryteriów opisujących rzeźbę terenu

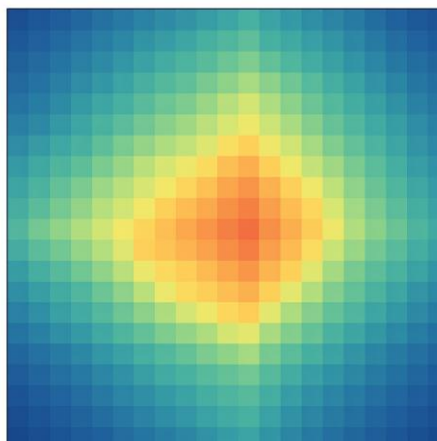
We wcześniejszych ćwiczeniach, podczas opisywania metodyki obliczeń zróżnicowania budowy geologicznej, przedstawiono procedurę analizy modelu *Aggregating Ratings* (AR) (Kot, 2006; Bartuś, 2020; Bartuś & Mastej, 2023). W nawiązaniu do definicji, georóżnorodność jest w nim definiowana jako suma zestandaryzowanych kryteriów cząstkowych (np. L_j , L_t , $SHDI$ i innych) (Sharples, 1993, 2002; Dixon, 1996; Eberhard i in., 1997; Prosser, 2002; Serrano & Ruiz-Flaño, 2007; Gray, 2013). W tej części ćwiczeń zostanie przedstawiona procedura **Raster Continuous Morphodiversity** (RCM) (Bartuś & Mastej, 2025) należąca do grupy metod AR ale różniącej się od dotychczas stosowanej tym, że wykorzystuje dane rastrowe w postaci zmiennych zregionalizowanych ciągłych oraz kryteria cząstkowe oparte o statystyczne miary zmienności.

Specyfika danych sprawia, że niektóre cechy krajobrazu przedstawiane w modelu rastrowym umożliwiają definiowanie bardzo efektywnych kryteriów analizy georóżnorodności. Szczególnie użyteczne są tu cechy opisujące rzeźbę terenu, takie jak hipsometria, ekspozycja, nachylenie czy krzywizny stoków. Dane takie zawierają pełną informację o terenie i nie wymagają żadnego przetwarzania. Cyfrowo opisują je morfometryczne podstawowe (np. *Slope*, *Aspect*, *Profile i Plan Curvature*) oraz wtórne (np. TPI) atrybuty topograficzne (Wieczorek & Żyszkowska, 2011; Urbański, 2012). Pod względem matematycznym są to różnego rodzaju zmienne zregionalizowane ciągłe¹. Naturalnym sposobem oceny ich przestrzennego zróżnicowania jest zastosowanie statystycznych miar zmienności².

W praktyce, raster opisujący wybraną cechę krajobrazu (np. NMT) dzielony jest za pomocą wybranej siatki analitycznej na n pól podstawowych. W każdym z nich zawarta jest zbliżona liczba pikseli analizowanego rastra (NMT) (Ryc. 1). Następnie, dla każdego pola obliczane są statystyczne miary zmienności wartości pikseli. Uzyskane wskaźniki obrazują przestrzenne zróżnicowanie analizowanej cechy krajobrazu.

¹ Zmienna zregionalizowana ciągła (*continuous regionalized variables*) – wielkość mierzalna, której wartości liczbowe zmieniają się w sposób ciągły w przestrzeni geograficznej; każdemu punktowi odpowiada jedna wartość opisująca daną cechę terenu, możliwą do interpolacji i analizy statystycznej.

² Statystyczne miary zmienności – wskaźniki statystyczne mające za zadanie opisywać zróżnicowanie (zmienność) wartości poszczególnych przypadków rozpatrywanej populacji. Do najczęściej stosowanych skalarnych miar zmienności należą: rozstęp (*Range*), wariancja (*Variance*), odchylenie standardowe (*Standard Deviation – SD*) i współczynnik zmienności (*Coefficient of Variation*).



Ryc. 1. Pole podstawowe przykładowej siatki analitycznej (21 × 21 pikseli) nałożonej na NMT i przedstawiającej wzgórze. Dla pola podstawowego, na podstawie zmienności pikseli obliczono statystyki: średnia arytmetyczna: 160,25; rozstęp: 254,0; wariancja: 2580,03; odchylenie standardowe populacyjne: 50,79; współczynnik zmienności: 0,32

Podczas analiz danych morfometrycznych należy zwrócić szczególną uwagę na skalarny bądź kątowy charakter analizowanych atrybutów topograficznych, co determinuje wykorzystanie odpowiednich parametrów statystycznych (Bartuś & Mastej, 2025). Jeśli atrybut jest **zmienną skalarną**³, stosuje się klasyczne skalarne miary zmienności, takie jak rozstęp, wariancja, odchylenie standardowe czy współczynnik zmienności (zob. PDF [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarnych ciągłych](#)). Natomiast w przypadku **zmiennych kątowych**⁴ należy posługiwać się odpowiednimi miarami cyrkularnymi, np. odchyleniem standardowym kątowym (zob. PDF [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych kątowych ciągłych](#)).

1. Model morforóżnorodności RCM

W Ćwiczeniu 5. [Cechy krajobrazu. Rzeźba terenu](#) przygotowaliśmy zbiory danych obrazujące zróżnicowanie rzeźby terenu – drugiego elementu krajobrazu podlegającego ewaluacji w ramach oceny georóżnorodności (1).

$$GD = RG + RM + R_{hydro} + R_{gleb} + R_{tklim} \quad (1)$$

gdzie:

GD – georóżnorodność (*GeoDiversity*) (całkowita),

RG – różnorodność budowy geologicznej,

RM – różnorodność rzeźby terenu (zob. 2),

R_{hydro} – różnorodność hydrograficzna,

R_{gleb} – różnorodność gleb,

R_{tklim} – różnorodność topoklimatów.

Rzeźba terenu została opisana za pomocą sześciu cech krajobrazu: zróżnicowania hipsometrii, ekspozycji i nachyleń stoków, krzywizn profilu i poziomic oraz lokalnej deniwelacji (Tab. 1).

³ Zmienna skalarna (*scalar variables*) – wielkość mierzalna, która przyjmuje wartości liczbowe nie posiadające charakteru kierunkowego ani cyklicznego (np. *profile curvature*, *plan curvature*, TPI).

⁴ Zmienna kątowa (angularna) (*variables*) – wielkość mierzalna, która przyjmuje wartości liczbowe posiadające charakter kierunkowy albo cykliczny (np. *Slope*, *Aspect*).

Tab. 1. Rzeźba terenu i opisujące ją cechy krajobrazu

Cel oceny	Element krajobrazu	Cecha krajobrazu
morforóżnorodność	rzeźba terenu	hipsometria
		ekspozycja stoków
		nachylenia stoków
		krzywizna profilu
		krzywizna poziomic
		lokalna deniwelacja

W nawiązaniu do modelu morforóżnorodności *RCM* (Bartuś & Mastej, 2025), te sześć cech krajobrazu, zostanie opisanych za pomocą kryteriów cząstkowych (Tab. 2).

Tab. 2. Element, cechy krajobrazu i kryteria oceny różnorodności rzeźby terenu OPN i jego okolic w modelu *RCM*

Cel oceny	Element krajobrazu	Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
morforóżnorodność	rzeźba terenu	hipsometria	Odchylenie standardowe wysokości	$RMAltitudeSD$ [m]
		ekspozycja stoków	Kątowe odchylenie standardowe ekspozycji stoków	$RMAAspectSDc$ [°]
		nachylenia stoków	Odchylenie standardowe nachyleń stoków	$RMSlopeSD$ [°]
		krzywizna profilu	Odchylenie standardowe krzywizny profilu	$RMCurvProfileSD$ [-]
		krzywizna poziomic	Odchylenie standardowe krzywizny poziomic	$RMCurvPlanSD$ [-]
		lokalna deniwelacja	Odchylenie standardowe TPI80	$RMTPISD$ [m]

Stosowany model morforóżnorodności *RCM* (2) nawiązują do modelu opracowanego przez Bartuś & Mastej (2025).

$$RM = SRMA_{altitudeSD} + SRMA_{aspectSDc} + SRMS_{slopeSD} + SRM_{curvProfileSD} + SRM_{curvPlanSD} + SRMTPI_{SD} \quad (2)$$

gdzie:

RM – model morforóżnorodności *RCM* (Bartuś & Mastej, 2025)

$SRMA_{altitudeSD}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania deniwelacji (*Altitude*),

$SRMA_{aspectSDc}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania ekspozycji stoków (*Aspect*),

$SRMS_{slopeSD}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania nachylenia stoków (*Slope*),

$SRM_{curvProfileSD}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania krzywizny profilu (*Profile curvature*),

$SRM_{curvPlanSD}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania krzywizny poziomic (*Plan curvature*),

$SRMTPI_{SD}$ – standaryzowana morforóżnorodność wynikająca ze zróżnicowania lokalnej deniwelacji (*TPI80*).

Ćwiczenie wymaga oprogramowania ArcGIS Pro.

1. Uwagi ogólne do procedury analiz morforóżnorodności

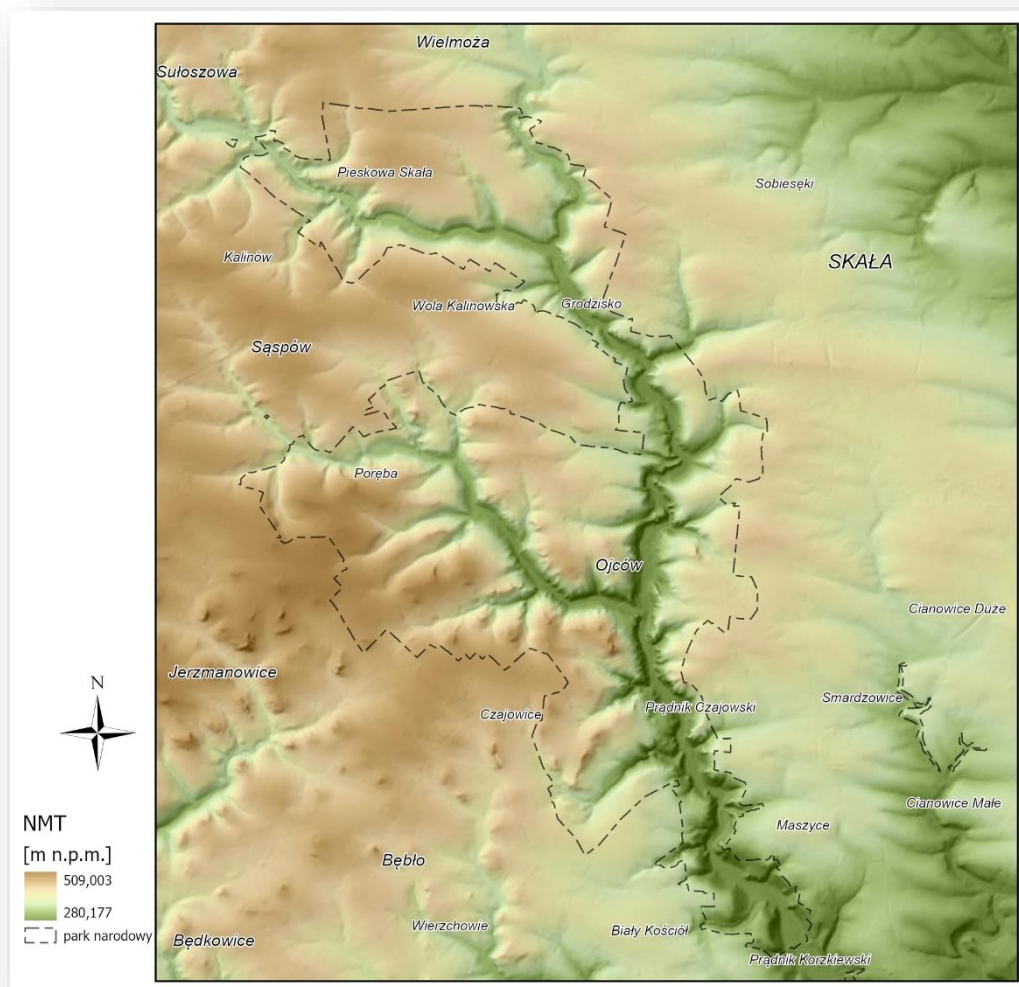
- W ramach analiz morforóżnorodności należy wyznaczyć kryteria morforóżnorodności wyszczególnione w Tab. 2.
- Różne kryteria cząstkowe będą wymagały zastosowania różnych procedur analitycznych. Każda z procedur została opisana w osobnym dokumencie PDF.

- Każdorazowo po wykonaniu niezbędnych analiz, wyniki obliczeń należy zamieścić w tabeli atrybutowej wybranej siatki analitycznej (u nas `grid_1000.shp`).
- Dla każdego badanego kryterium (**Tab. 2**) należy utworzyć osobną mapę z siatką analityczną i osobny układ prezentujący wyniki.
- Należy dokonać bonitacji punktowej analizowanych kryteriów. Podczas klasyfikacji bonitacyjnej należy konsekwentnie używać metody klasyfikacji równych przedziałów. Ocenę różnorodności cząstkowych sprowadzamy do pięciu stopni: 1 – różnorodności brak; 2 – różnorodność mała; 3 – różnorodność średnia; 4 – różnorodność duża; 5 – różnorodność bardzo duża. Kategorię „różnorodności brak” zawsze definiujemy jako jednorodność krajobrazową.
- Układy powinny zawierać warstwy referencyjne: nazwy miejscowości, granice OPN oraz warstwę, z której liczono kryterium cząstkowe albo cieniowany relief terenu.
- Nazwy map i układów zostaną podane w kolejnych podrozdziałach.
- Różnorodności cząstkowe poszczególnych elementów krajobrazu w kolejnym etapie analizy będą podlegały sumowaniu. W końcowym etapie badań posłużą do oceny georóżnorodności całkowitej.

Przejdźmy do obliczenia poszczególnych kryteriów cząstkowych.

2. Morforóżnorodność zróżnicowania wysokości

Źródłem danych do obliczenia morforóżnorodności wynikającej ze zróżnicowania wysokości n.p.m. będzie raster NMT z mapy 5.1. `Map_Morf_NMT` (**Ryc. 2**).



Ryc. 2. NMT OPN i jego okolic

Wysokość w analizowanym rejonie zmienia się w zakresie (280,117; 509,003). Jest więc realizowana za pomocą skalarnej zmiennej zregionalizowanej ciągłej. Zróżnicowanie wartości pikseli NMT w polach podstawowych siatki analitycznej może być więc badane za pomocą klasycznych skalarnych statystycznych miar zmienności np. odchylenia standardowego.

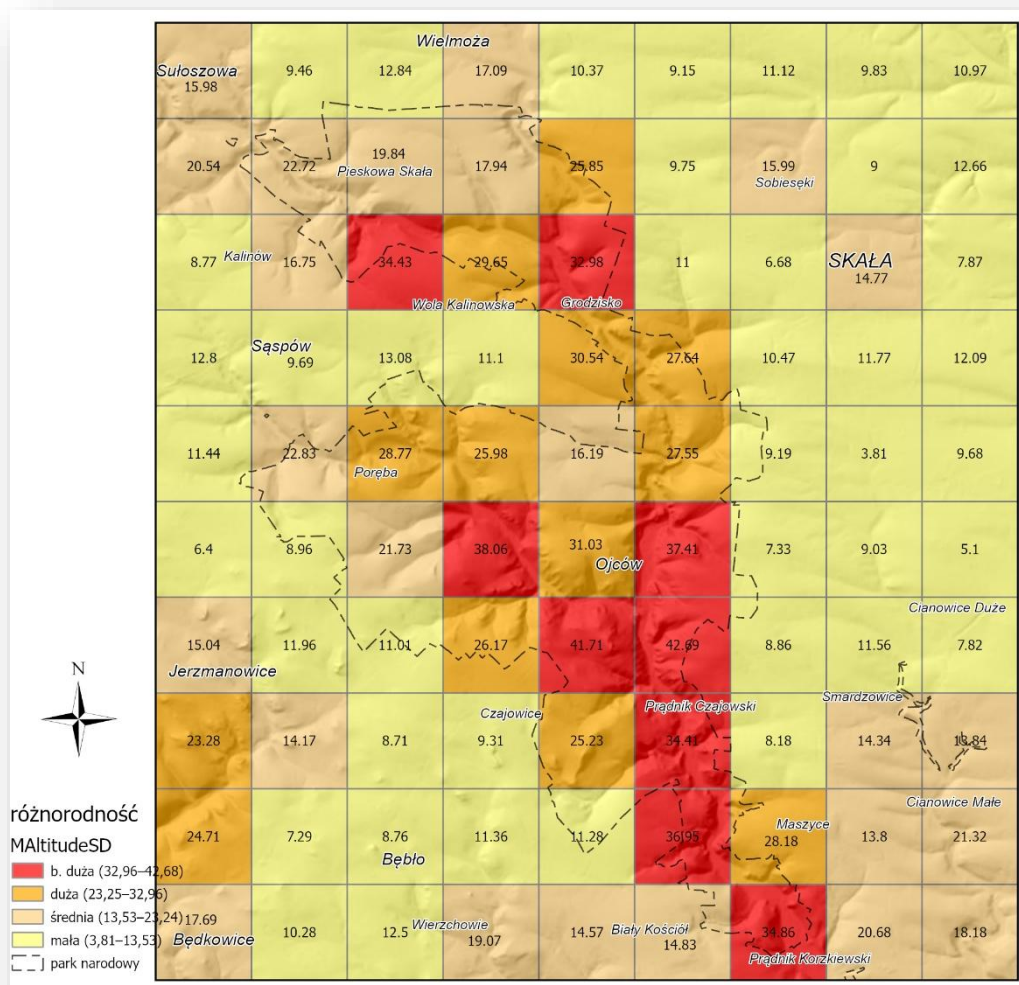
W ramach modelu morforóżnorodności (2), dla każdego oczka siatki analitycznej, obliczymy odchylenie standardowe wartości pikseli wysokości $RMAltitude_{SD}$ (Tab. 3).

Tab. 3. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie wysokości

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Hipsometria	Odchylenie standardowe wysokości	$RMAltitude_{SD}$ [m]

- 2.1. Zduplikuj mapę o nazwie 5.1. Map_Morf_NMT.
- 2.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.1. Map_RMAltitudeSD.

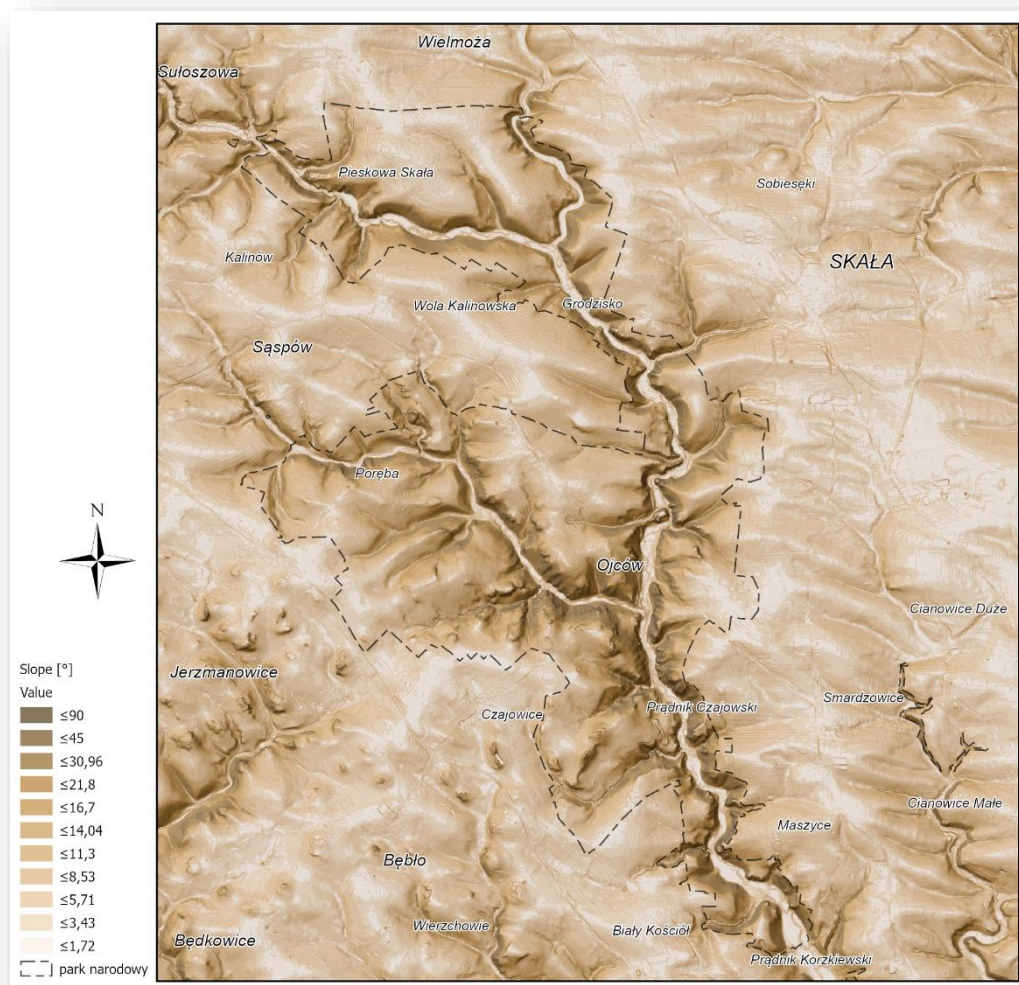
- 2.3. Na mapie 6.1. Map_RMAltitudeSD, korzystając z materiałów [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarnych ciągłych](#) oblicz kryterium cząstkowe *RMAltitudeSD* (Ryc. 3).
- 2.4. Zduplikuj układ 5.1. Layout_NMT.
- 2.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.1. Layout_RMAltitudeSD. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium *RMAltitudeSD*.



Ryc. 3. Morforóżnorodność na podstawie kryterium *MAltitudeSD*

3. Morforóżnorodność nachylenia stoków

Źródłem danych do obliczenia różnorodności rzeźby terenu wynikającej ze zróżnicowania nachylenia stoków będzie raster Slope z mapy 5.3. Map_Morf_Slope (Ryc. 4).



Ryc. 4. Nachylenia stoków w rejonie OPN i jego okolicach

Zatrzymajmy się na chwilę na zmienności cechy *slope*. Zauważ, że jej wartości w utworzonym rastrze zmieniają się w przedziale (0; 78,73°). Jest to zrozumiałe, bo nachylenia stoków mogą zmieniać się od poziomych po pionowe ściany. *Slope* jest więc zmienną zregionalizowaną ciągłą o typie kątowym, o wartościach zmieniających się w zakresie jednej ćwiartki kąta pełnego. Jej zmienność możemy więc analizować za pomocą kątowych estymatorów statystycznych, takich jak średnia arytmetyczna kątowa i odchylenie standardowe kątowe (SD_c).

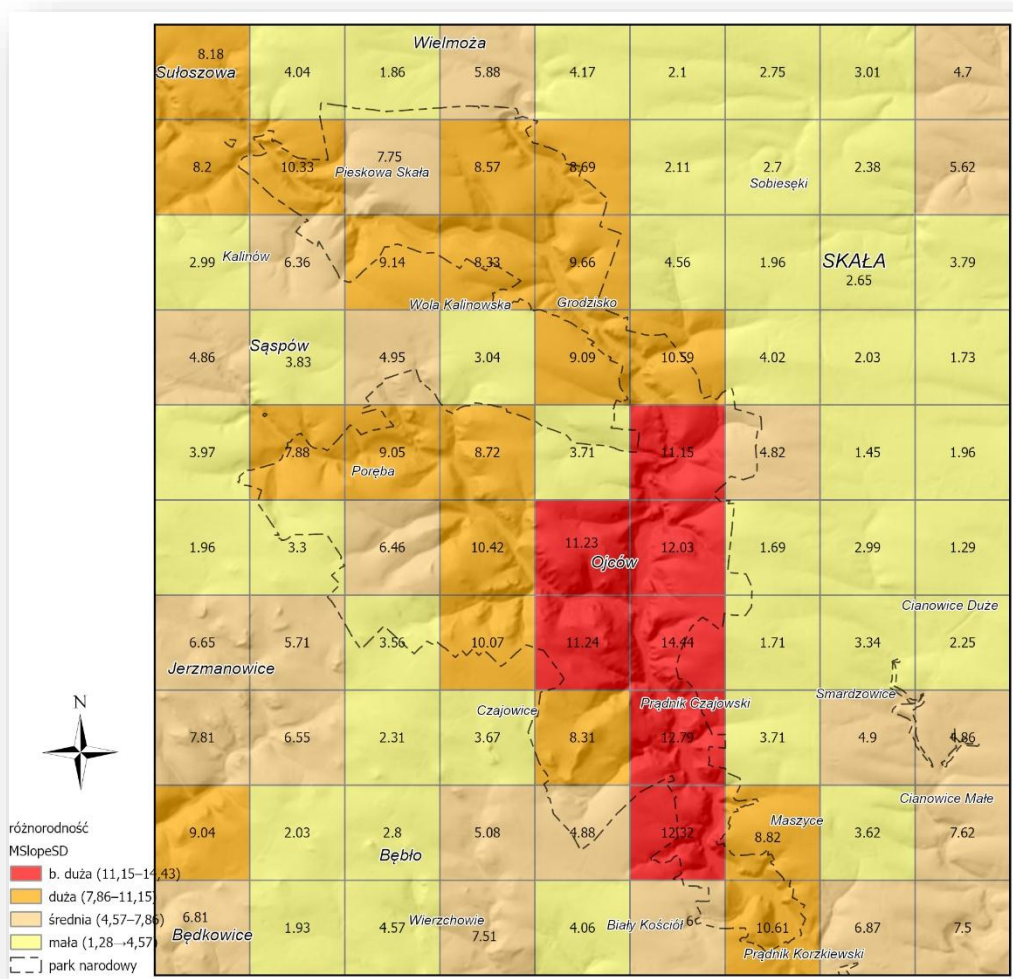
Jak raportują [Bartuś & Mastej \(2025\)](#), dla kryteriów kątowych, o niewielkiej zmienności kątów, nie zachodzących jednocześnie na ćwiartki I i IV kąta pełnego, można stosować odchylenia standardowe skalarne (SD). Względny błąd oceny zmienności cechy krajobrazu $\frac{(SD - SD_c)}{SD_c}$, nie wykracza wtedy ponad akceptowalny poziom 5%. Taką zmiennością odznaczał się parametr *Slope* i dla niego zastosowano miarę SD .

W ramach modelu morforóżnorodności (2), dla każdego oczka siatki analitycznej obliczymy odchylenie standardowe wartości pikseli nachyleń stoków $MSlopeSD$ (Tab. 4).

Tab. 4. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie nachyleń stoków

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Nachylenia stoków	Odchylenie standardowe nachyleń stoków	$RMSlopeSD$ [°]

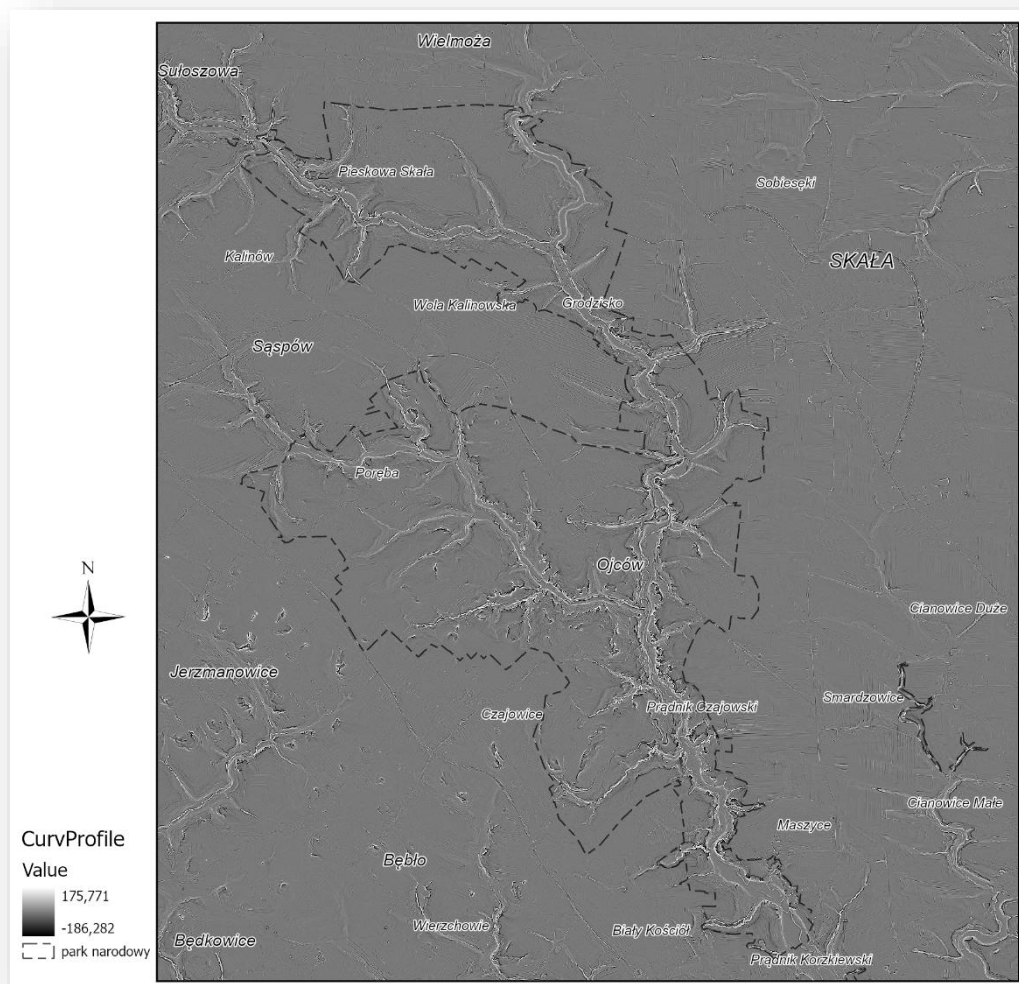
- 3.1. Zduplikuj mapę o nazwie 5.3. Map_Morf_Slope.
- 3.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.3. Map_RMSlopeSD.
- 3.3. Na mapie 6.3. Map_RMSlopeSD, korzystając z materiałów [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarych ciągłych](#) oblicz kryterium cząstkowe $RMSlopeSD$ (Ryc. 5).
- 3.4. Zduplikuj układ 5.3. Layout_Slope.
- 3.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.3. Layout_RMSlopeSD. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium $RMSlopeSD$.



Ryc. 5. Morforóżnorodność na podstawie kryterium $MSlopeSD$

4. Morforóżnorodność krzywizny profilu

Źródłem danych do obliczenia różnorodności rzeźby terenu wynikającej ze zróżnicowania krzywizny profilu będzie raster *CurvProfile* z mapy 5.4. *Map_Morf_Curvature* (Ryc. 6).



Ryc. 6. Krzywizna profilu w rejonie OPN i jego okolicach

Wartości krzywizny profilu mogą zmieniać się w zakresie $(-\infty; \infty)$ (Tab. 5). Jest więc to zmienna zregionalizowana ciągła skalarna. Jej zmienność możemy analizować za pomocą skalarnych estymatorów statystycznych, takich jak odchylenie standardowe.

Tab. 5. Interpretacja wartości krzywizn profilu

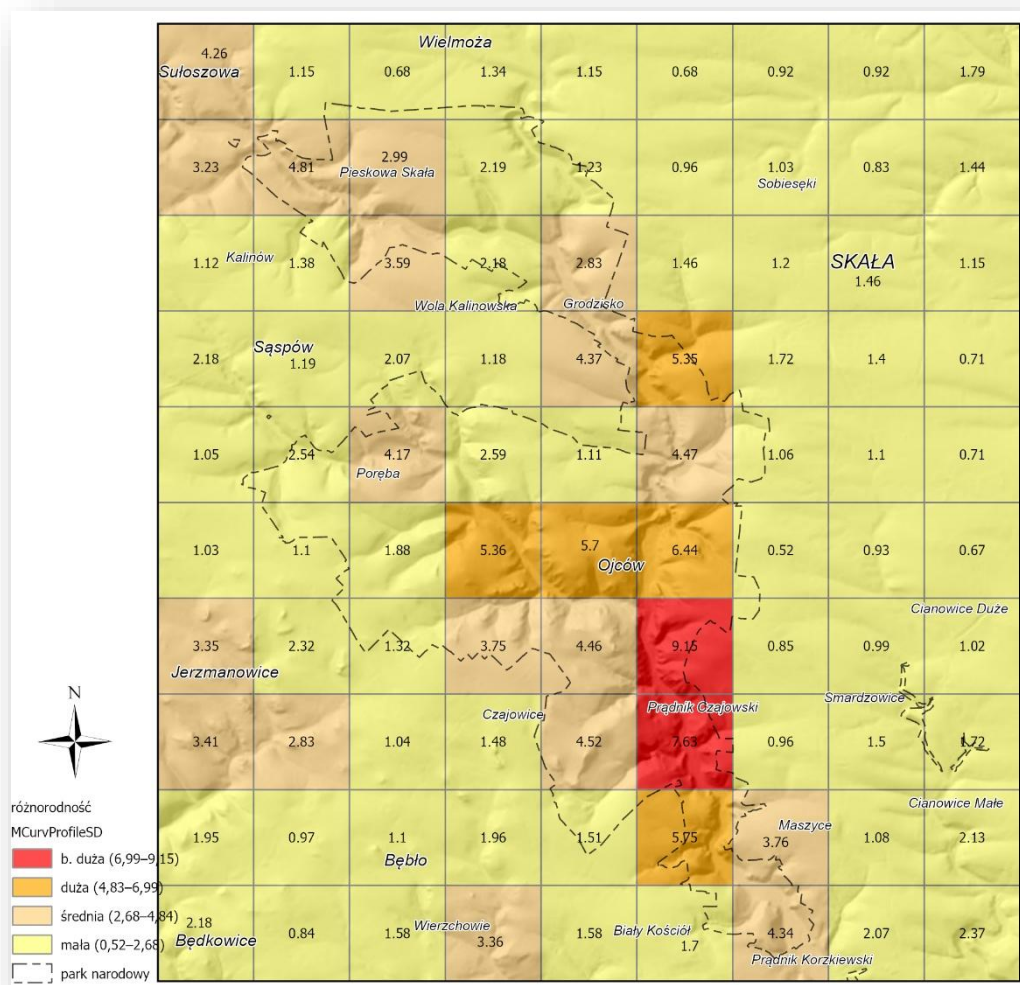
Mapa	Wartości	Interpretacja
krzywizna profilu	0	stoki proste w profilu
	ujemne	stoki wypukłe w profilu
	dodatnie	stoki wklęsłe w profilu

W ramach modelu morforóżnorodności (2), dla każdego oczka siatki analitycznej, musimy obliczyć odchylenie standardowe wartości pikseli krzywizny profilu *MCurvProfileSD* (Tab. 6).

Tab. 6. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie krzywizny profilu

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Krzywizna profilu	Odchylenie standardowe krzywizny profilu	<i>RMCurvProfileSD</i> [-]

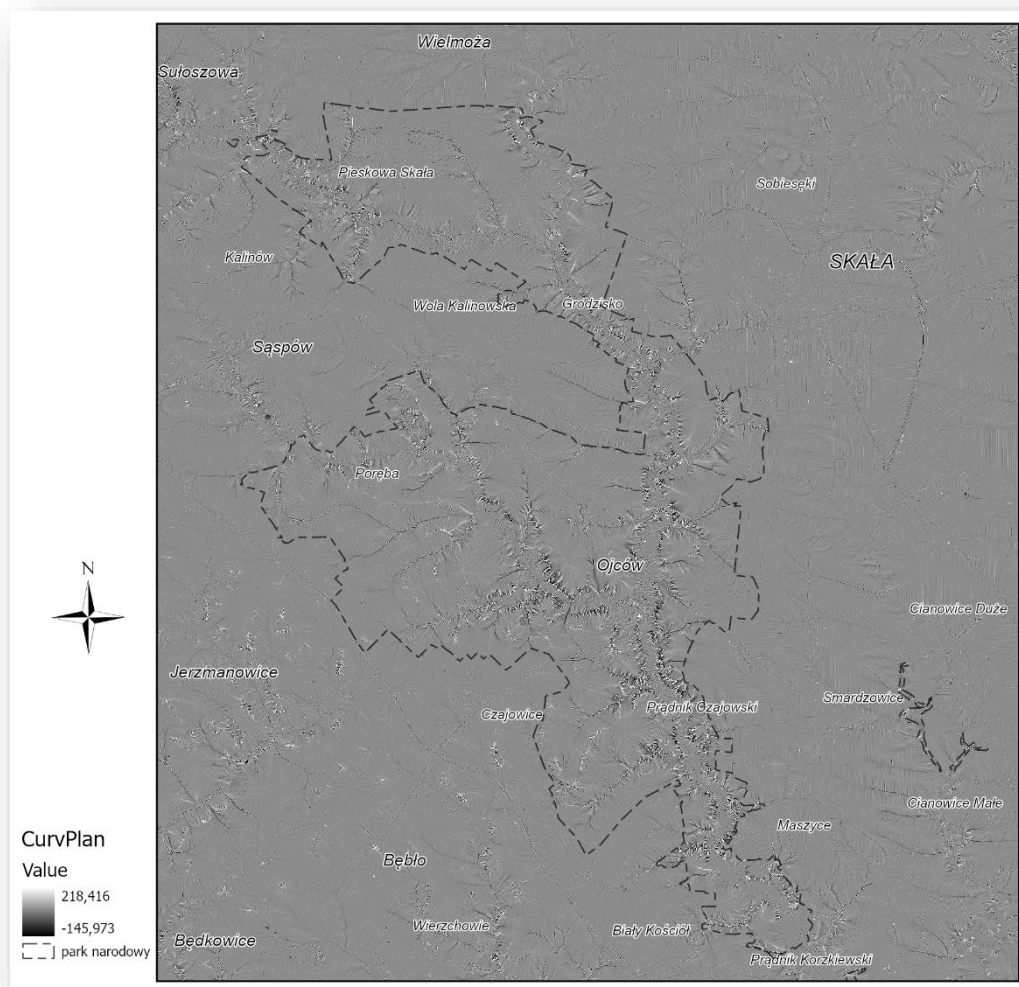
- 4.1. Zduplikuj mapę o nazwie 5.4. *Map_Morf_Curvature*.
- 4.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.4. *Map_RMCurvProfileSD*.
- 4.3. Na mapie 6.4. *Map_RMCurvProfileSD*, korzystając z materiałów **Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarnych ciągłych** oblicz kryterium cząstkowe *RMCurvProfileSD* (Ryc. 7).
- 4.4. Zduplikuj układ 5.4. *Layout_Curvature*.
- 4.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.4. *Layout_RMCurvProfileSD*. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium *RMCurvProfileSD*.



Ryc. 7. Morforóżnorodność na podstawie kryterium MCurvProfileSD

5. Morforóżnorodność krzywizny poziomic

Źródłem danych do obliczenia różnorodności rzeźby terenu na podstawie zróżnicowania krzywizny poziomic będzie raster CurvPlan z mapy 5.4. Map_Morf_Curvature (Ryc. 8).



Ryc. 8. Krzywizna poziomic w rejonie OPN i jego okolicach

Wartości krzywizny poziomic, podobnie jak krzywizny profilu, mogą zmieniać się w zakresie $(-\infty; \infty)$. Jest więc to także zmienna zregionalizowana ciągła skalarna. Jej zmienność możemy zatem analizować za pomocą skalarnych estymatorów statystycznych, takich jak odchylenie standardowe.

Tab. 7. Interpretacja wartości krzywizn poziomic

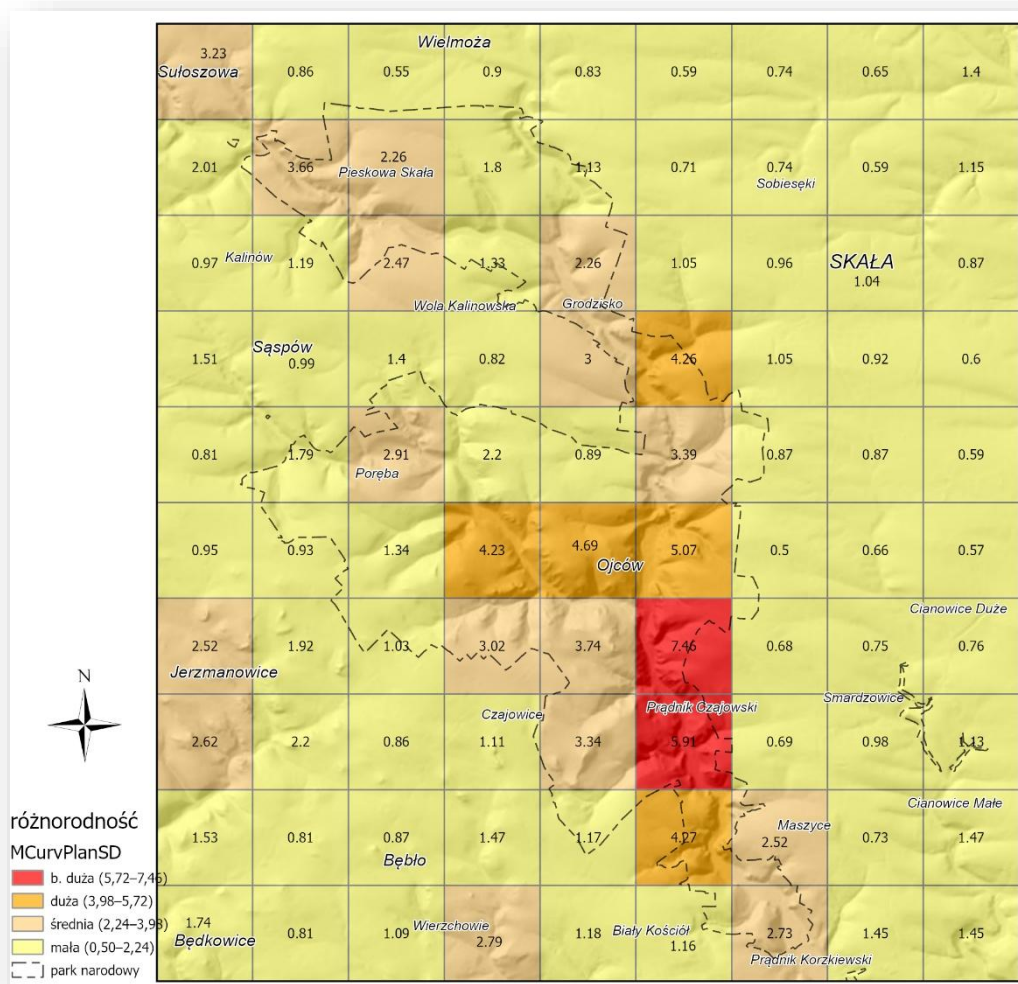
Mapa	Wartości	Interpretacja
krzywizna poziomic	0	stoki proste w planie
	ujemne	stoki mające tendencję do konwergencji spływu powierzchniowego (np. doliny)
	dodatnie	stoki mające tendencję do dywergencji spływu powierzchniowego (np. grzbiety)

W ramach modelu morforóżnorodności (2), dla każdego oczka siatki analitycznej, obliczymy odchylenie standardowe wartości pikseli krzywizny poziomic $RM_{CurvPlansD}$ (Tab. 8).

Tab. 8. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie krzywizny poziomic

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Krzywizna poziomic	Odchylenie standardowe krzywizny poziomic	$RM_{CurvPlanSD}$ [-]

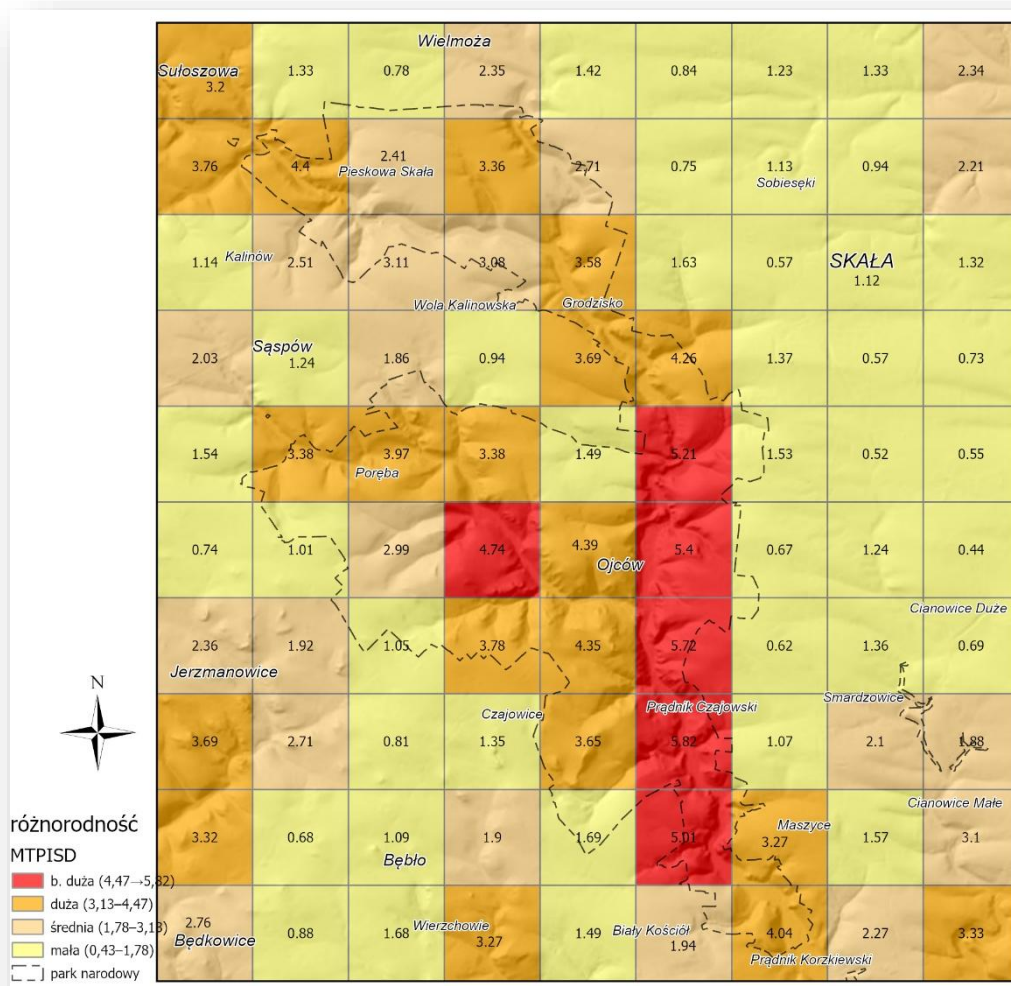
- 5.1. Ponownie zduplikuj mapę o nazwie 5.4. Map_Morf_Curvature.
- 5.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.5. Map_RMCurvPlanSD.
- 5.3. Na mapie 6.5. Map_RMCurvPlanSD, korzystając z materiałów [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarnych ciągłych](#) oblicz kryterium cząstkowe $RM_{CurvPlanSD}$ (Ryc. 9).
- 5.4. Zduplikuj układ 5.4. Layout_Curvature.
- 5.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.5. Layout_RMCurvPlanSD. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium $RM_{CurvPlanSD}$.

Ryc. 9. Morforóżnorodność na podstawie kryterium $M_{CurvPlanSD}$

Tab. 9. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie lokalnej deniwelacji

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Lokalna deniwelacja	Odchylenie standardowe indeksu TPI80	RMTPISD [m]

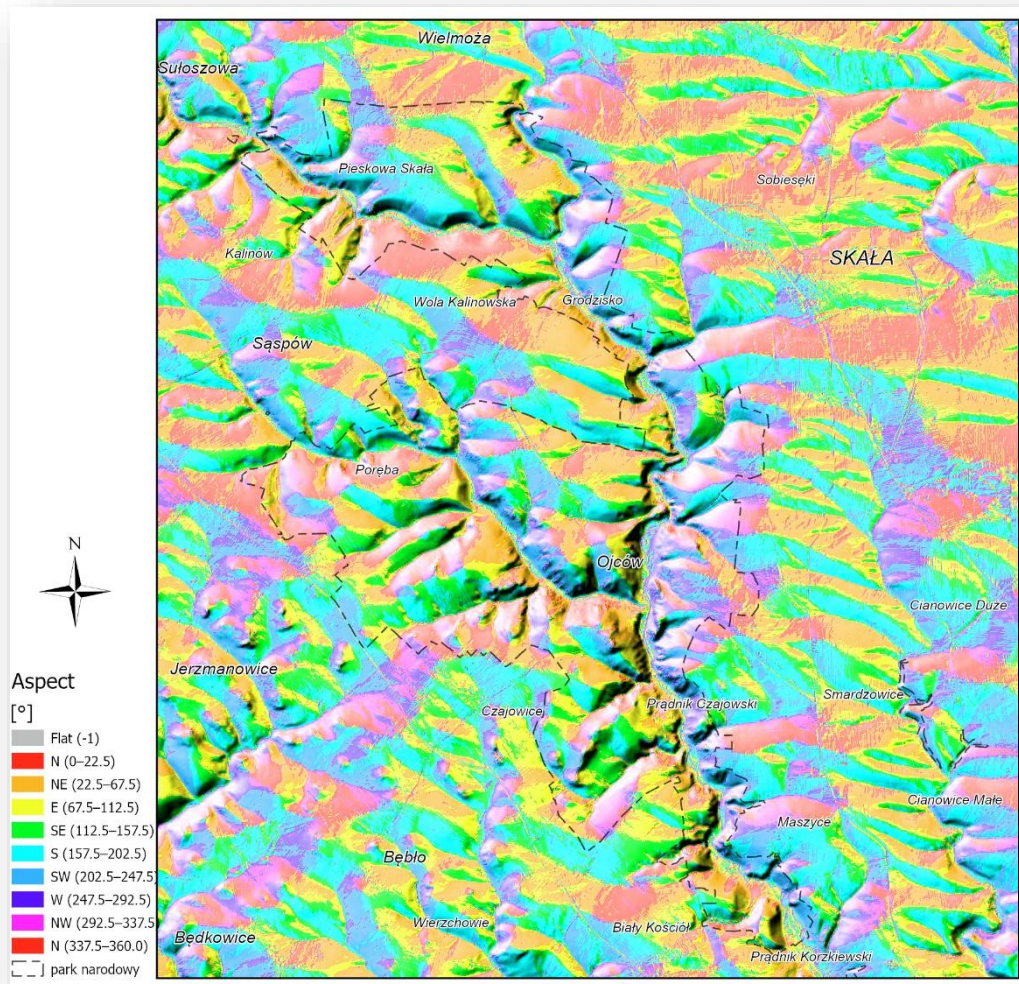
- 6.1. Zduplikuj mapę o nazwie 5.5. Map_Morf_TPI.
- 6.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.6. Map_RMTPISD.
- 6.3. Na mapie 6.6. Map_RMTPISD, korzystając z materiałów [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych skalarnych ciągłych](#) oblicz kryterium cząstkowe RMTPISD (Ryc. 11).
- 6.4. Zduplikuj układ 5.5. Layout_TPI.
- 6.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.6. Layout_RMTPISD. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium RMTPISD.



Ryc. 11. Morforóżnorodność na podstawie kryterium MTPISD

7. Morforóżnorodność ekspozycji stoków

Źródłem danych do obliczenia różnorodności rzeźby terenu wynikającej ze zróżnicowania ekspozycji stoków będzie raster *Aspect* z mapy 5.2. *Map_Morf_Aspect* (Ryc. 12).



Ryc. 12. Ekspozycja stoków w rejonie OPN i jego okolicach

Zauważ, że wartości cechy krajobrazu *Aspect* w utworzonym rastrze zmieniają się w przedziale (0; 360°). Jest więc to zmienna zregionalizowana ciągła o typie kątowym, o wartościach zmieniających się w całym zakresie kąta pełnego. Jej zróżnicowanie możemy w związku z tym analizować wyłącznie za pomocą kątowych estymatorów statystycznych, takich jak kierunek kątowy średni i odchylenie standardowe kątowe.

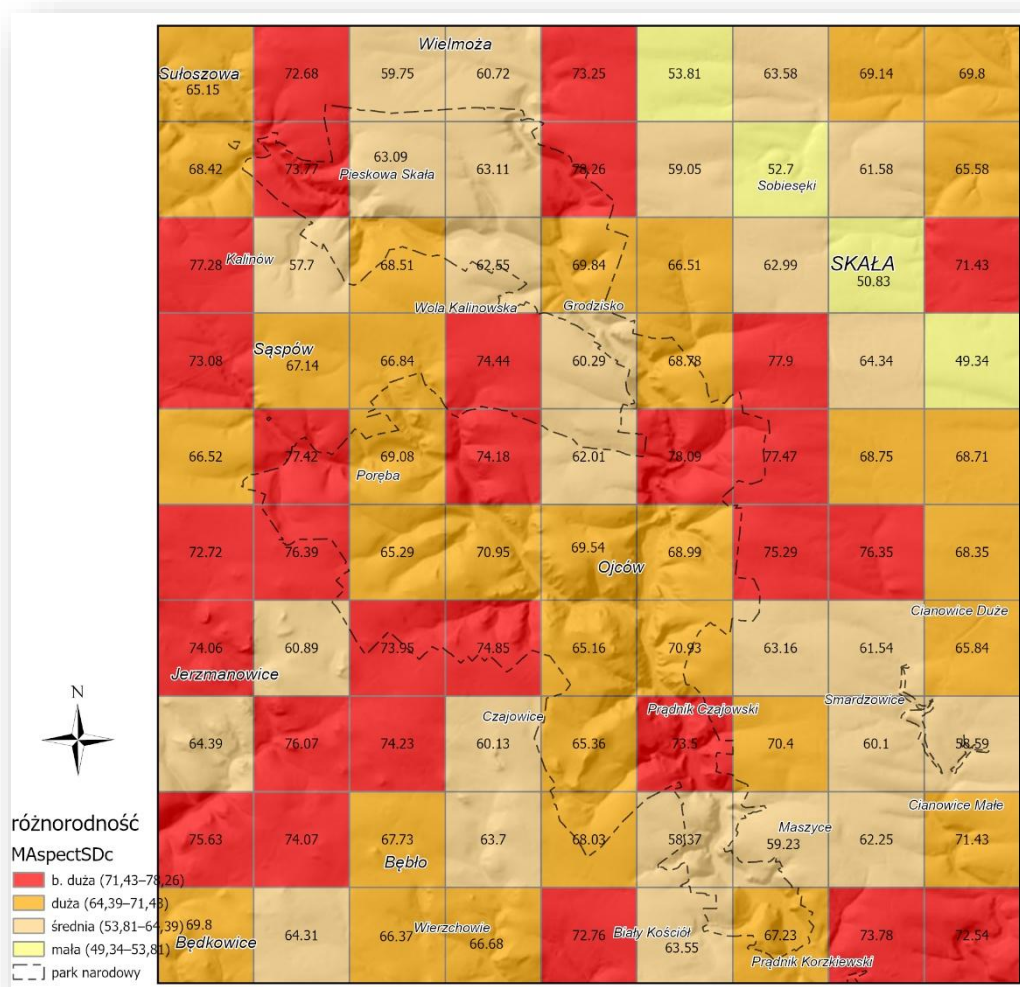
W obszarach płaskich i o niewielkich nachyleniach zboczy w rastrze *Aspect* możemy zauważyć wysokie zróżnicowanie pikseli ekspozycji stoków. W związku z płaskim charakterem takich miejsc możemy przyjąć, że ma ono charakter artefaktów i w takich miejscach powinno zostać wyzerowane (zmodyfikowane) (Bartuś & Mastej, 2025).

W ramach modelu morforóżnorodności (2), dla każdego oczka siatki analitycznej, obliczymy cyrkularne (kątowe) i zmodyfikowane odchylenie standardowe wartości pikseli ekspozycji stoków $MA_{spectSDcm}$ (Tab. 10).

Tab. 10. Kryterium cząstkowe opisujące zróżnicowanie ekspozycji stoków

Cecha krajobrazu	Kryterium oceny	Symbol
Ekspozycja stoków	Kątowe odchylenie standardowe ekspozycji stoków	$RM_{AspectSDc}$ [°]

- 7.1. Zduplikuj mapę o nazwie 5.2. Map_Morf_Aspect.
- 7.2. Zduplikowanej mapie nadaj nazwę 6.2. Map_RMAspectSDcm.
- 7.3. Na mapie 6.2. Map_RMAspectSDc, korzystając z materiałów [Różnorodność zmiennych zregionalizowanych kątowych ciągłych](#) oblicz kryterium cząstkowe $RM_{AspectSDc}$ (Ryc. 13).
- 7.4. Zduplikuj układ 5.2. Layout_Aspect.
- 7.5. Zduplikowanemu układowi nadaj nazwę 6.2. Layout_RMAspectSDc. Będzie on prezentował wyniki analizy różnorodności rzeźby terenu na podstawie kryterium $RM_{AspectSDc}$.



Ryc. 13. Morforóżnorodność na podstawie kryterium MAspectSDc

8. Obliczenie morforóżnorodności

W poprzedniej części ćwiczenia obliczyliśmy zdefiniowane kryteria cząstkowe analizy różnorodności rzeźby terenu. Pora aby policzyć łączny efekt różnorodności od wszystkich kryteriów. Posłużymy się tutaj modelem RCM (Bartuś & Mastej, 2025).

- 8.1. Zduplikuj mapę 4.10. Map_SRG_M1.
- 8.2. Kopii nadaj nazwę 6.7. Map_SRM_RCM. Będzie ona prezentowała różnorodność rzeźby terenu w modelu RCM.

Mapa ma warstwę różnorodność z siatką analityczną grid_1000. To w niej będziemy sumować efekt wszystkich analizowanych kryteriów analizy morforóżnorodności.

- 8.3. Zduplikuj układ 4.10. Layout_SRG_M1.
- 8.4. Kopii nadaj nazwę 6.7. Layout_SRM_RCM. Będzie on prezentował morforóżnorodność w modelu RCM.

9. Standaryzacja kryteriów cząstkowych

Ze względu na wykorzystywanie różnych wskaźników ($Altitude_{SD}$, $Aspect_{SDc}$, $Slope_{SD}$, $CurvProfile_{SD}$, $CurvPlan_{SD}$, TPI_{SD}), aby nie faworyzować jednych kryteriów kosztem innych, dane należy poddać standaryzacji. Będziemy stosowali liniową standaryzację danych metodą *min-max* (3). W jej wyniku otrzymamy zbiory kryteriów cząstkowych, których wartości będą zawarte w tym samym przedziale $<0, 1>$.

$$x'_i = \frac{(x_i - x_{min})}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

gdzie:

x'_i – wartość cechy po standaryzacji,

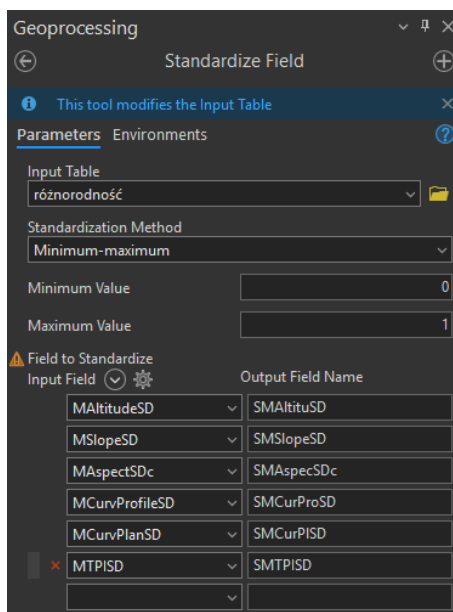
x_i – wartość cechy przed standaryzacją,

x_{min} , x_{max} – minimalna i maksymalna wartość cechy zbioru przed standaryzacją,

x'_{min} , x'_{max} – minimalna i maksymalna wartość cechy zbioru po standaryzacji (odpowiednio: 0, 1).

- 9.1. Korzystając z narzędzia *Standardize Field (Data Management Tools)* oblicz zestandaryzowane wartości kryteriów cząstkowych. Nazwy nowych zmiennejnych poprzedź literą „S” (Ryc. 14).

UWAGA! Nazwy atrybutów wynikowych (po standaryzacji) nie może przekraczać 10 znaków.



Ryc. 14. Standaryzacja wartości obliczonych kryteriów cząstkowych analizy morforóżnorodności metodą *min-max*

W wyniku działania narzędzia, do tabeli atrybutowej klasy `grid_1000.shp` zostały dodane wartości nowych atrybutów – po standaryzacji (Ryc. 15). Zwróć uwagę, że ich zmienności zawsze mieszczą się w przedziale $<0; 1>$.

MAltitudeSD	MSlopeSD	MCurvProfileSD	MCurvPlanSD	MTPISD	MAAspectSDc	SMAAltitudeSD	SMSlopeSD	SMAAspectSDc	SMCurvProfileSD	SMCurvPlanSD	SMTPISD
17,6856	6,8144	2,1786	1,74357	2,75804	69,7985	0,356977	0,420376	0,707394	0,191803	0,178434	0,431208
10,2762	1,92826	0,84086	0,811749	0,877914	64,3147	0,166405	0,048853	0,517743	0,036666	0,044452	0,082088
12,504	4,56872	1,57619	1,09352	1,67976	66,3704	0,223705	0,249624	0,588837	0,121942	0,084967	0,230983
19,0666	7,5114	3,3557	2,79322	3,27282	66,6763	0,392497	0,473374	0,599416	0,328311	0,329358	0,526798
14,5709	4,05567	1,58495	1,18451	1,48512	72,7646	0,276866	0,210613	0,809973	0,122958	0,09805	0,19484
14,8277	5,99687	1,69575	1,16219	1,93625	63,5505	0,283471	0,358215	0,491314	0,135807	0,094841	0,27861
34,8561	10,6072	4,3433	2,73297	4,03679	67,2266	0,798607	0,708766	0,618448	0,442842	0,320695	0,668659
20,681	6,86943	2,07326	1,45279	2,26889	73,7761	0,43402	0,424561	0,844954	0,179587	0,136624	0,340378
18,1762	7,49535	2,36684	1,44875	3,32648	72,5362	0,369596	0,472153	0,802074	0,213633	0,136044	0,536762
24,7108	9,04056	1,95273	1,53257	3,32448	75,629	0,537667	0,589645	0,909034	0,165609	0,148096	0,53639
7,29179	2,03259	0,967319	0,811643	0,684269	74,0651	0,089645	0,056786	0,854949	0,051332	0,044437	0,046131
8,75876	2,8049	1,099	0,870381	1,08814	67,7265	0,127376	0,11551	0,635736	0,066603	0,052883	0,121125

Ryc. 15. Fragment tabeli atrybutowej warstwy różnorodność. Ramką zaznaczono obliczone standaryzowane wartości kryteriów cząstkowych

W ostatnim etapie ćwiczenia dokonamy sumowania zestandaryzowanych wartości kryteriów cząstkowych.

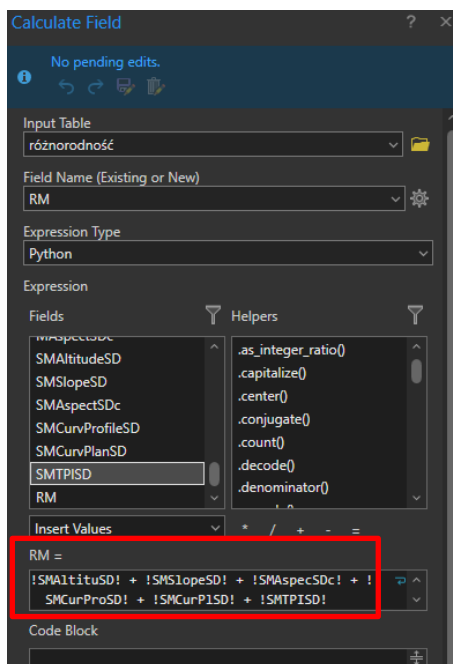
- 9.2. Do listy atrybutów wybranej siatki analitycznej dodaj nowy atrybut RM. Zmienna ma mieć typ Double (Ryc. 16).

różnorodność												
*Fields: różnorodność...7. Map_SRM_RCM)												
Current Layer: różnorodność (6.7. Map_SRM_RCM)												
	Visible	Read Only	Field Name	Alias	Data Type	Allow NULL	Highlight	Number Format	Default	Precision	Scale	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SGGeostLt	SGGeostLt	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SGGeostLj	SGGeostLj	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RG_M1	RG_M1	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RG_M2	RG_M2	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SRG_M1	SRG_M1	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SRG_M2	SRG_M2	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MAltitudSD	MAltitudeSD	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MSlopeSD	MSlopeSD	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MCurvProSD	MCurvProfileSD	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MCurvPlaSD	MCurvPlanSD	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MTPISD	MTPISD	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	MAAspectSDc	MAAspectSDc	Float	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	STAND1	SMAAltitudeSD	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SMSlopeSD	SMSlopeSD	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SMCurvPrSD	SMCurvProfileSD	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SMCurvPISD	SMCurvPlanSD	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SMTPISD	SMTPISD	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SMAAspectSDc	SMAAspectSDc	Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Numeric			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RM		Double	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Ryc. 16. Nowy atrybut RM (Różnorodność Morfologiczna) dodana do tabeli atrybutowej klasy grid_1000.shp

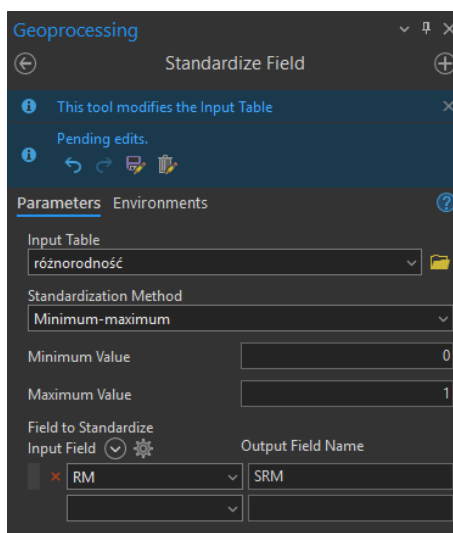
10. Różnorodność rzeźby terenu w model RCM

- 10.1. Korzystając z kalkulatora pól oblicz wartości różnorodności cząstkowej w modelu RCM (zob. 2). Sumowaniu poddaj zestandaryzowane wartości kryteriów cząstkowych $SMAltitudeSD + SMAAspectSDc + SMSlopeSD + SMCurvProfileSD + SMCurvPlanSD + SMTPISD$ (Ryc. 17).



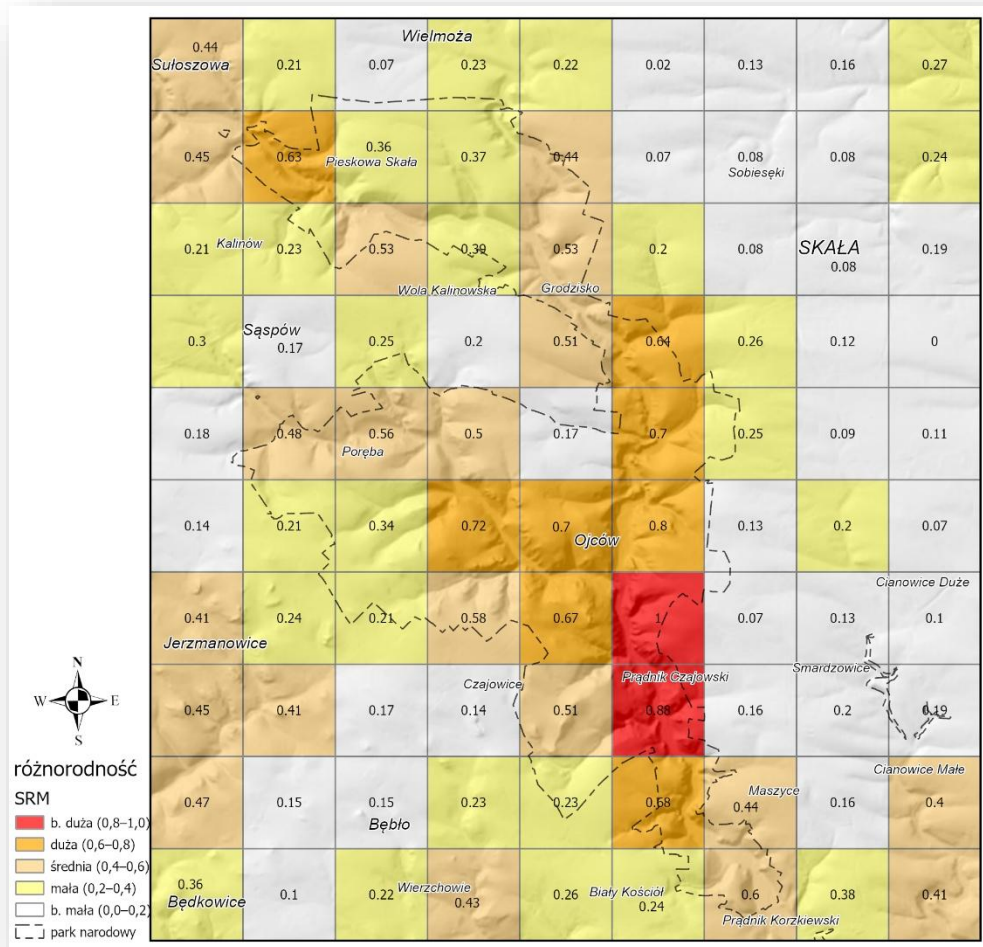
Ryc. 17. Formuła obliczeniowa morforóżnorodności w modelu RCM

- 10.2. Dokonaj standaryzacji oceny RM. Wartość zestandaryzowaną zapisz w atrybucie SRM (Ryc. 18).



Ryc. 18. Standaryzacja zbioru ocen morforóżnorodności RM metodą *min-max*

- 10.3. W oparciu o wartości atrybutu SRM dokonaj oceny różnorodności rzeźby terenu w modelu RCM (Ryc. 19).



Ryc. 19. Morforóżnorodność w modelu RCM

Tym samym ukończyliśmy drugą część analizy georóżnorodności rejonu OPN opartą o kryteria cząstkowe opisujące zmienność rzeźby terenu.

Bibliografia

- Bartuś, T. (2020). *Struktura i różnorodność abiotycznych komponentów krajobrazu w ocenie i delimitacji obszarów chronionych na przykładzie Ojcowskiego Parku Narodowego i jego otoczenia*. Wydawnictwa AGH.
<https://open.icm.edu.pl/bitstreams/0207012c-2c1f-410b-aa9f-b75bde9eaade/download>
- Bartuś, T., & Mastej, W. (2023). Morphodiversity as a Tool in Geoconservation: A Case Study in a Mountain Area (Pieniny Mts, Poland). *Sustainability*, 15(14), 11357.
<https://doi.org/10.3390/SU151411357>
- Bartuś, T., & Mastej, W. (2025). HOW to use continuous variables in geodiversity assessments – RASTER continuous morphodiversity model. *Environmental Modelling & Software*, 193(0), 106597. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106597>
- Dixon, G. (1996, czerwiec). Geoconservation - an international review and strategy for Tasmania. *Tasmania Parks & Wildlife Service Occasional Paper 35*.
- Eberhard, R., Australian Heritage Commission, & Australia. Environment Australia. (1997). *Pattern & process: towards a regional approach for national estate assessment of geodiversity: report of a workshop held at the Australian Heritage Commission on 26 July 1996 / Australian Heritage Commission* (R. Eberhard, A. H. Commission, & Australia. E. Australia, Red.). Environment Australia.
- Gray, M. (2013). *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature* (2nd Edition). Wiley-Blackwell.
- Kot, R. (2006). *Georóżnorodność – problem jej oceny i zastosowania w ochronie i kształtowaniu środowiska na przykładzie fordońskiego odcinka doliny dolnej Wisły i jej otoczenia*. Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika.
- Prosser, C. (2002). Terms of endearment. *Earth heritage*, 17, 13–14.
<https://www.earthheritage.org.uk/wp/wp-content/uploads/2018/03/EH17-2002.pdf>
- Serrano, E., & Ruiz-Flaño, P. (2007). Geodiversity. A theoretical and applied concept. *Geographica Helvetica* Jg, 62(3), 140–147.
- Sharples, C. (1993). *A methodology for the Identification of Significant Landforms and Geological Sites for Geoconservation Purposes*.
<https://doi.org/https://hdl.handle.net/102.100.100/23166026.v1>
- Sharples, C. (2002). *Concepts and principles of geoconservation*. Tasmanian Parks & Wildlife Service.

https://www.researchgate.net/publication/266021113_Concepts_and_principles_of_geoconservation

Urbański, J. (2012). *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego,.

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