

DOI 10.2478/v10116-012-0010-7

WIZUALIZACJA WYMIERNYCH I PLASTYCZNYCH CECH RZEŻBY NA PODSTAWIE NUMERYCZNEGO MODELU TERENU DLA WIELKOPOLSKIEGO PARKU NARODOWEGO

BEATA MEDYŃSKA-GULIJ, MARCIN LIS*, ŁUKASZ WIELEBSKI

Zakład Kartografii i Geomatyki, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań, Poland

Abstract: The article presents a procedural algorithm used for developing time accessibility maps generated by means of a GIS application with a module for network analysis, constituting visualizations for decision-making purposes of emergency and rescue services. The research stages are presented on the example of the road network in Rokietnica Municipality near the city of Poznań, Poland. As a result of the cartographic visualization process, isochrone maps and assessment charts were developed.

Keywords: time accessibility, network data model, isochrone maps, network analysis

WPROWADZENIE

Rzeźba terenu jest jednym z najważniejszych elementów środowiska geograficznego, decydującym o jego charakterze. Wpływa ona na procesy zachodzące w różnych sferach środowiska współcześnie, ale jest zarazem ważnym zapisem dziejów Ziemi. O przebiegu ostatniego zlodowacenia i jego skutkach informuje rzeźba młodoglacjalna. Studiowanie rozmieszczenia, rozmiarów i zasięgu charakterystycznych dla niej form umożliwia mapa geomorfologiczna, prześledzenie zaś relacji wysokościowych zachodzących pomiędzy nimi – klasyczna mapa topograficzna z rysunkiem poziomicowym. Odczyt zapisu informacji o rzeźbie na mapie topograficznej napotyka często wiele problemów związanych z percepcją. Nowoczesne metody prezentacji rzeźby terenu opierają się na technikach trójwymiarowości (3D) i pseudotrójwymiarowości (tzw. 2,5D), które umożliwiają zapis informacji o rzeźbie w formie bardziej przystępnej dla odbiorcy. Cechują się one niższym poziomem abstrakcyjności, ponieważ nawiązują do naturalnego sposobu postrzegania przestrzeni przez człowieka. Rozwój oprogramowania GIS sprawia, że tego rodzaju wizualizacje rzeźby terenu stają się coraz częstsze.

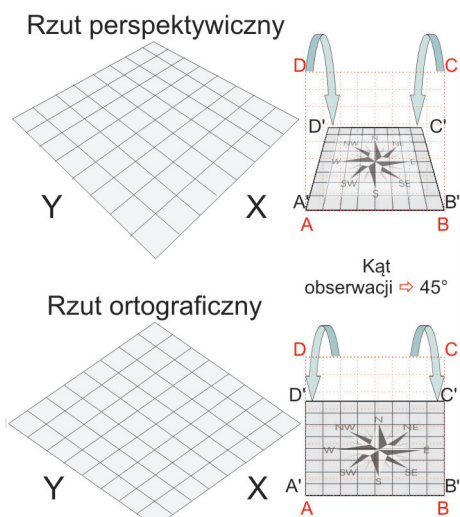
*Absolwent kierunku geografia, specjalizacja geoinformacja na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, autor pracy magisterskiej poświęconej geowizualizacji rzeźby młodoglacjalnej.

Możliwości, jakich dostarczają aplikacje GIS w zakresie geowizualizacji, są bardzo duże. Jednak o skuteczności stosowania tych narzędzi i jakości efektu końcowego decyduje przede wszystkim dobór odpowiednich parametrów wizualizacji. Dobór ten jest uzależniony w szczególności od ludzkich zdolności percepcyjnych i im musi być podporządkowany. O przyjętych wartościach parametrów decyduje także cel wizualizacji i charakter prezentowanej za jej pomocą rzeźby terenu. Przekaz graficzny powinien być tak skonstruowany, aby model terenu naśladował w określonym, możliwie jak największym, ale jednocześnie uwzględniającym ograniczone możliwości percepcyjne człowieka stopniu swój naturalny pierwowzór, czyli rzeczywisty fragment reliefu. Drogę do tego przekazu wyznaczają wyobrażenia odbiorcy, który w swojej świadomości przechowuje obraz świata utworzony w oparciu o doznane za pomocą zmysłu wzroku doświadczenie, które decyduje o jego sposobie postrzegania przestrzeni.

Istotnym zbiorem danych w prezentacji rzeźby terenu jest Numeryczny Model Terenu (NMT). Największe zastosowanie NMT uwidacznia się w naukach o Ziemi, gdyż rzeźba terenu stanowi podstawową cechę krajobrazu (Tomczyk, Ewertowski 2009). Numeryczny Model Terenu stanowi kluczowe ogniwo w geomatyce i kartografii numerycznej – umożliwia zapis cech wymiernych i plastycznych rzeźby. Istnieją różne struktury zapisu NMT, a każda z nich ma zalety i wady. Gdy NMT przyjmuje postać regularnej siatki kwadratów, których nominalna wartość jest definiowana przez użytkownika, wówczas struktura taka nosi nazwę GRID. W przypadku gdy NMT stanowi reprezentację nieregularnej

sieci trójkątów, strukturę tę określa skrót TIN (ang. Triangulated Irregular Network). Istnieją jeszcze dwa modele reprezentujące NMT – punktowy i hybrydowy. Ten ostatni stanowi jedno z najlepszych rozwiązań przy generowaniu modeli, gdyż łączy cechy regularnej siatki oraz danych wektorowych (Szypuła 2010). W prezentacji rzeźby terenu za pomocą NMT najczęściej stosuje się widok perspektywiczny. Widok perspektywiczny jest terminem ogólnym, jednakże ten rodzaj przedstawiania map, obrazowań, itp. najbardziej przypomina naturalny sposób postrzegania środowiska przez człowieka (Häberling i in. 2008).

Porównanie rzutu perspektywicznego z rzutem ortograficznym przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 1. Rzut ortograficzny i perspektywiczny – porównanie

Fig. 1. Orthographic and perspective view – comparison

Zastosowanie technologii geoinformacyjnej w kartografii sprawiło, że w coraz większej liczbie opracowań zaczyna dominować wykorzystanie widoku perspektywicznego. Wizualizacje tego rodzaju są tworzone na podstawie NMT, na które nakłada się dodatkowe informacje w postaci warstw rastrowych oraz danych wektorowych i obiektów 3D (Häberling i in. 2008). Prezentacja danych kartograficznych w postaci różnego rodzaju blokdiagramów, rzutów perspektywicznych staje się coraz bardziej popularna. Umożliwia lepsze zrozumienie relacji przestrzennych zwykłemu użytkownikowi. Poprawia jego percepcję przestrzeni, która staje się bardziej naturalna (Pegg 2009).

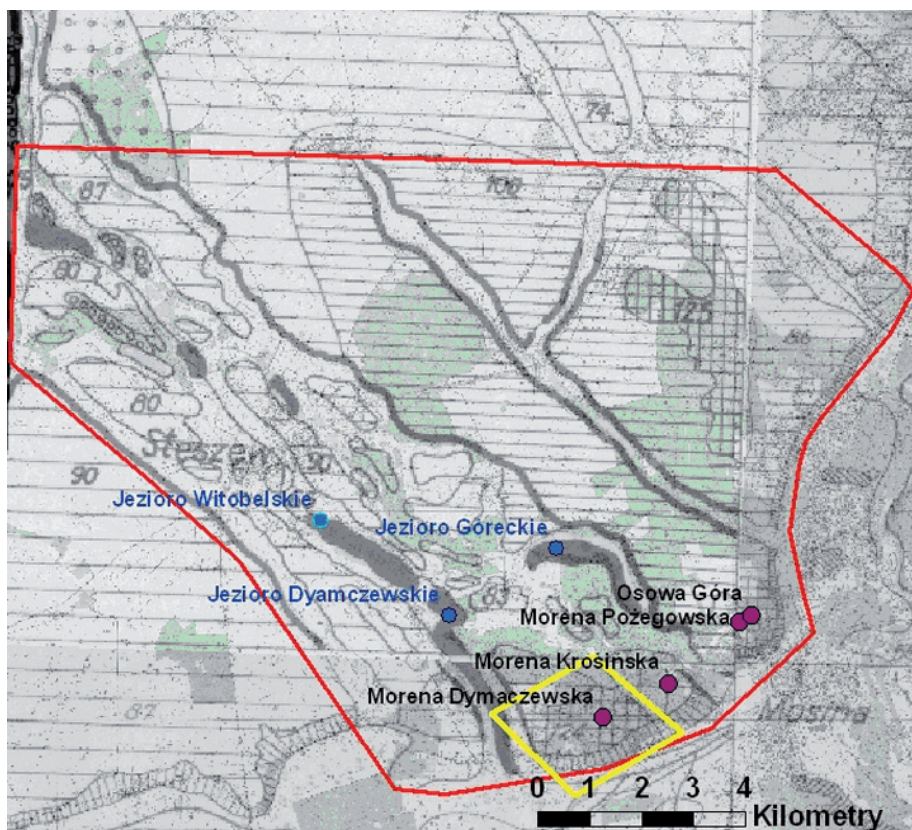
OBSZAR BADAŃ

Obszarem badań był Wielkopolski Park Narodowy (WPN), który leży na terenie odznaczającym się typową rzeźbą młodoglacjalną. W porównaniu do innych obszarów w Wielkopolsce charakteryzuje się on dość znacznymi różnicami wysokości (deniwelacje terenu przekraczają 60 m). Najniższy punkt położony jest 57,5 m n.p.m., natomiast najwyższy znajduje się 132 m n.p.m. (Osowa Góra). Ukształtowanie parku jest ściśle związane z działalnością plejstocenijskiego lądolodu skandynawskiego, który na terytorium WPN dotarł kilka razy. Zasadniczy wpływ na rzeźbę parku miało ostatnie zlodowacenie bałtyckie (70–10 tys. lat temu). Największy obszar zajmuje wysoczyzna morenowa falista bądź płaska, wznosząca się na wysokość 80–95 m n.p.m. Na terenie WPN występują dość zróżnicowane formy – wśród nich odznaczają się rynny polodowcowe, w których znajdują się liczne jeziora oraz wały moreny czołowej.

Obszar testowy, na podstawie którego dobierano odpowiednie parametry geowizualizacji, w głównej mierze obejmował Morenę Dymaczewską będącą fragmentem większej formy – Wału Pożegowskiego. Obszar całej geowizualizacji zawierał większość form charakterystycznych dla obszarów młodoglacjalnych objętych ochroną, jak również tereny przylegające do Wielkopolskiego Parku Narodowego, na których znajdują się formy będące kontynuacją rzeźby wchodzącej w skład tego obszaru ochrony przyrody (ryc. 2).

CEL PRACY

Celem niniejszych badań było zaproponowanie parametrów geowizualizacji form terenu na podstawie Numerycznego Modelu Terenu w aspekcie wymierności i plastyczności. Pod pojęciem plastyczności rzeźby kryją się te właściwości przekazu graficznego, które pozwalają na dostrzeżenie zróżnicowania wysokościowego terenu i wydzielenie poszczególnych form rzeźby. Są to: wyrazistość konturów, kształtów; wypukłość, bryłowatość, czyli środki wyrazu pozwalające



Ryc. 2. Obszar całej geowizualizacji i fragment stanowiący obszar testowy na tle mapy geomorfologicznej i topograficznej

Fig. 2. Whole research area and test area on the background of geomorphologic map and topographic map

na oddanie na płaszczyźnie trójwymiarowych właściwości rzeźby terenu. Z kolei przez wymierność należy rozumieć możliwość wymierzenia konkretnych cech rzeźby terenu, takich jak np.: nachylenie stoku, wysokość, rozciągłość czy objętość danej formy.

METODYKA

Poprawne dokonanie charakterystyki rzeźby młodoglacjalnej i wyznaczenie parametrów do geowizualizacji, uwzględniających odpowiednie elementy ukształtowania terenu, wymagało wykorzystania informacji zawartej na mapach geomorfologicznych, popartej literaturą oraz NMT. Mapy topograficzne

i ortofotomapy ze względu na brak cieniowania rzeźby oraz duże zalesienie terenu powodowały trudność w interpretacji form młodoglacjalnych. Zadrzewienie obszaru badań utrudniało także terenowe rozpoznanie rzeźby.

W niniejszych rozważaniach zaproponowano schemat tworzenia geowizualizacji młodoglacjalnych form rzeźby na podstawie NMT, który został empirycznie sprawdzony dla wybranego obszaru Wielkopolskiego Parku Narodowego. Przy tworzeniu, jak i analizie NMT opierano się na kartograficznych metodach badań (Kurczyński i in. 2007). Wizualizacje wykonano w programach *ArcScene 9.3.* oraz *Surfer 9.0.*

ETAPY BADAŃ

Poszczególne etapy badań wynikają z zaproponowanego schematu, który może mieć charakter uniwersalny przy opracowywaniu NMT rzeźby terenu obszarów młodoglacjalnych w różnych aspektach, na podstawie map topograficznych.

Pierwszą czynnością było zbieranie materiałów źródłowych, będących podstawą do utworzenia NMT. Dane do stworzenia modelu rzeźby terenu pozyskano z map topograficznych w skali 1 : 10 000, które stanowią doskonały materiał źródłowy (Kaczmarek, Medyńska-Gulij 2007).

W dalszej kolejności przygotowano zebrane materiały do uzyskania z nich potrzebnych informacji o terenie. Przeprowadzono: georeferencję, transformację układów współrzędnych do układu opracowania (PUWG 1992) i wektoryzację poziomą, punktów wysokościowych oraz linii nieciągłości (dokonano tego przy użyciu programu *ArcMap 9.3.*). Liniom nieciągłości nie przypisano atrybutu wysokości. Pierwszym krokiem digitalizacji było wyznaczenie reprezentatywnej granicy obszaru budowy NMT. Nie skupiano się ściśle na granicach terenu Wielkopolskiego Parku Narodowego. Podstawą wyznaczenia poligonu symbolizującego obszar tworzenia NMT była rzeźba przedstawiona na mapie geomorfologicznej. Trzecim etapem stało się generowanie numerycznego modelu terenu oparte na pozyskanych danych. NMT został wygenerowany na podstawie zwektoryzowanych poziomów oraz danych punktowych w programie *ArcMap*. Do realizacji NMT wybrana została struktura TIN ze względu na lepsze odwzorowanie rzeźby terenu. Pozwoliło to zachować rzeczywiste wartości punktów wysokościowych. Zastosowanie struktury GRID ze względów technicznych konieczne było w aplikacji *Surfer*, w której utworzono blokdiagram. Zanim wygenerowany NMT mógł zostać użyty do celów geowizualizacji, musiał zostać sprawdzony w celu wyeliminowania błędów, jakie pojawiły się przy wprowadzaniu danych. W ocenie wiarygodności utworzonego NMT pomocna była mapa geomorfologiczna. Ostatni etap badań obejmował geowizualizację obszaru w aspekcie wymierności i prezentacji plastyczności rzeźby. Przy

wizualizacji terenu wykorzystano analizę graficzną, która zawiera budowę blokdiagramów. Założenia geometrii rzutów perspektywicznych stanowiły metodę wykonywaną na etapie plastyczności (Medyńska-Gulij 2010).

Wynikiem badań były blokdiagramy oraz wizualizacje w formie rzutów perspektywicznych wybranych fragmentów obszaru badań, prezentujące współczynniki odpowiadające za najlepszą percepcję omawianego terenu. Efekt końcowy stanowiła geowizualizacja obszaru młodogłacjalnej rzeźby WPN.

Celem opracowania optymalnych sposobów przedstawiania ukształtowania terenu w pierwszej kolejności dokonano zestawienia parametrów mających zasadniczy wpływ na percepcję modelu przez obserwatora. Do parametrów, które wpływają na efekt plastyczności rzeźby, oprócz wspomnianego sposobu prezentacji w postaci rzutu perspektywicznego, należą:

- 1) przewyższenie terenu (skali wysokościowej),
- 2) skala barw,
- 3) kąt obserwacji,
- 4) kierunek oświetlenia,
- 5) kąt oświetlenia (kąt padania promieni słonecznych),
- 6) kontrast,
- 7) kontury (poziomice),
- 8) dodatkowe warstwy informacyjne drapowane na powierzchni modelu rzeźby (warstwy dwuwymiarowe, np. ortofotomapa, mapa topograficzna lub geomorfologiczna i obiekty trójwymiarowe, np. drzewa).

Z kolei cechy wymierne rzeźby są możliwe do zaobserwowania dzięki takim parametrom i formom prezentacji, jak wykorzystane w niniejszych badaniach:

- 1) kąt nachylenia,
- 2) ekspozycja stoków,
- 3) blokdiagram,
- 4) profil terenu.

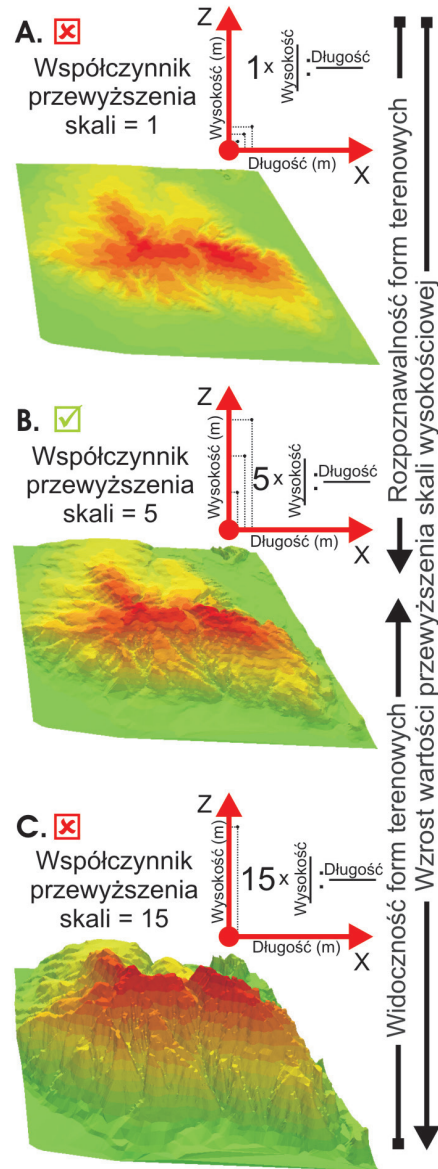
Każdy czynnik uwzględniony podczas wizualizacji był porównywany w kilku wariantach tak, aby możliwy był wybór najbardziej odpowiedniego. Dobór parametrów w głównej mierze opierał się na badaniach własnych, w mniejszym stopniu na literaturze. Piśmiennictwo dotyczące geowizualizacji oraz jej parametryzacji jest ciągle niewystarczające. Wiele geowizualizacji jest tworzonych na podstawie indywidualnych, często przypadkowych odczuć twórcy.

PLASTYKA WIZUALIZACJI RZEŻBY

Dokonując parametryzacji plastyczności rzeźby terenu, skupiono się na kilku istotnych elementach. Geowizualizacja została oparta na optymalnym ustawieniu: oświetlenia, przewyższenia, kontrastu, konturu warstwic, barw oraz odpowiednim doborze podkładów rastrowych i obiektów 3D.

Zasadniczą kwestią w prezentacji NMT obszarów mających urozmaiconą rzeźbę terenu jest nadanie odpowiedniego przewyższenia skali wysokościowej. Daje to możliwość wyodrębnienia pewnych obiektów nieodznaczających się na modelach rzeźby terenu, zachowujących normalną skalę wysokościową, dzięki czemu wizualizacja obszaru staje się bardziej wyrazista i przejrzysta. W niniejszych badaniach zestawiono model wykonany w normalnej skali (bez przewyższenia) z modelami o przewyższeniu pięciokrotnym i piętnastokrotnym (ryc. 3).

W przypadku modelu, w którym nie zastosowano przewyższenia skali wysokościowej, prezentowanym na rycinie 3A, trudno niewprawnemu obserwatorowi jest dostrzec zróżnicowanie terenu. Obszary o mniejszych deniwelacjach nie odznaczają się, a drobne formy nie są widoczne. Percepcja odbiorcy w takim przypadku jest słabsza. Zastosowanie przewyższenia pięciokrotnego (ryc. 3B) umożliwia lepsze przedstawienie plastyki rzeźby terenu. Uwidaczniają się drobniejsze formy. Z punktu widzenia prezentacji rzeźby młodoglacjalnej obszaru WPN przewyższenie pięciokrotne uznano za najbardziej optymalne rozwiązanie, które skutkuje dużo sprawniejszym odbiorem wizualizacji NMT przez obserwatora. Umożliwia to dostrzeżenie większej liczby charakterystycznych elementów terenu, a zarazem nie przekłamuje rzeźby w dużym stopniu. Przewyższenie przedstawione na ryc. 3C stanowi pewne wyolbrzymienie ukształtowania terenu. Większe formy przysłaniają znaczną część rzeźby, zaburzając percepcję wizualizacji. Tylko w nielicznych przypadkach tak duże przewyższenia znajdują zastosowanie i uzasadnienie.



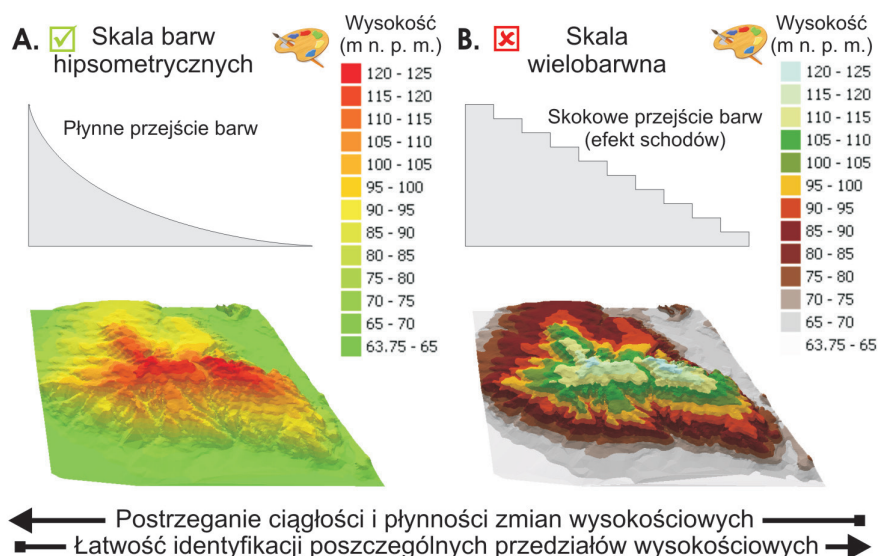
Ryc. 3. Dobór wartości przewyższenia terenu

Fig. 3. Selection of terrain clearance

Kluczowym elementem geowizualizacji jest użycie odpowiedniej skali barw. Głównym czynnikiem odpowiedzialnym za dobór kolorów jest percepcja człowieka. Badania wykazały, że duży wpływ na postrzeganie barw ma zastosowanie odpowiedniego kontrastu między nimi. Wydłużenie całej skali odcieni uzyskuje się, wykorzystując składową nasycenia, które przejawia się dodaniem koloru czarnego do barw podstawowych.

W celu przedstawienia pojedynczych wartości używa się różnej kolorystyki. Jednakże samo zastosowanie zróżnicowanych barw nie przedstawia zmian przestrzennych (Kraak, Ormeling 1998). Ważnym aspektem jest uzyskanie w palecie kolorów realizmu, tak aby odzwierciedlały rzeczywistość. Ma to zasadniczy wpływ na percepcję obserwatora (Keates 1998). Taką rolę może pełnić metoda hipsometryczna, opierająca się na nadaniu poszczególnym progom wysokościowym odpowiedniej barwy z różnymi jej odcieniami. Zmiana pomiędzy poszczególnymi kolorami powinna następować poprzez odcienie o zbliżonej intensywności, co pozytywnie wpływa na odbiór skali (Szaliszczew 2003). Przetestowano dwie skale barw – skalę barw hipsometrycznych i skalę wielobarwną (ryc. 4).

W wizualizacji zastosowano klasyczną kompozycję barw hipsometrycznych, opartą na barwach ciepłych (odcienie czerwieni i żółci), którymi oznacza się obszary wyżej położone, oraz zimnych (odcienie zieleni), które służą prezentacji obszarów położonych niżej (ryc. 4A). W tej skali barw, powszechnie stosowanej w prezentacjach rzeźby terenu, wykorzystuje się swoiste właściwości percepcyjne oka ludzkiego, które obiekty prezentowane przy użyciu barw ciepłych



Ryc. 4. Dobór skali barwnej i przedziałów wysokościowych

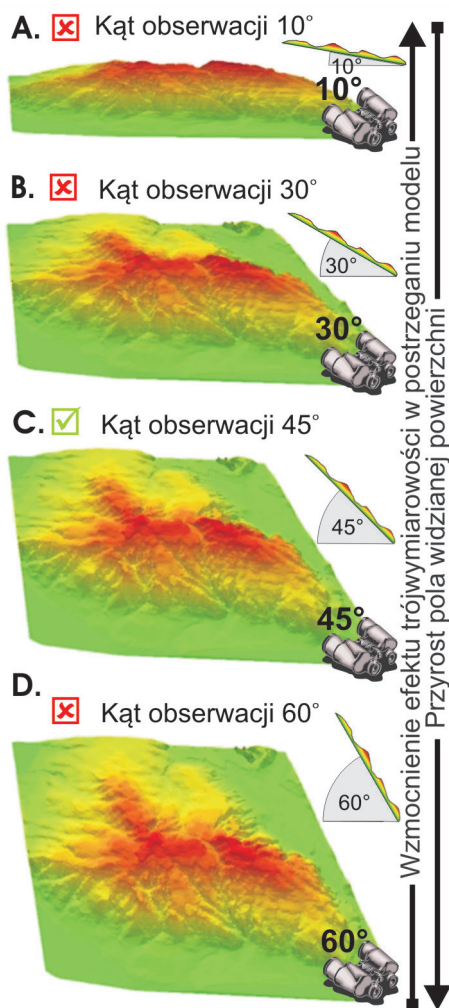
Fig. 4. Choice of colour scale and altitude intervals

postrzega jako te znajdujące się bliżej obserwatora, oznaczone barwami chłodnymi zaś jako te, które pozornie zdają się być od niego oddalone (Kraak, Ormeling 1998).

Dla porównania, na rycinie 4B zaprezentowano wizualizację przy użyciu skali wielobarwnej, w której przejście między kolorami jest ostre. Wywołuje to efekt schodów w prezentacji rzeźby terenu. Zastosowanie wyrazistych granic powoduje, że kontrast dla odbiorcy jest bardzo uderzający, wręcz nieprzyjemny (Szaliszczew 2003). W przypadku zastosowania typowych barw hipsometrycznych przejście pomiędzy kolorami jest łagodne, dzięki czemu ukształtowanie powierzchni Wału Pożegowskiego prezentuje się bardziej naturalnie, a wizualizacja jest miła w odbiorze. Istotne znaczenie ma dobór odpowiedniej skali wysokościowej do skali barwnej. Dla analizowanego przypadku za najbardziej optymalne uznano ustawienie 13–16 klas w zależności od prezentowanego obszaru – rzutowało to na zmianę kolorów i odcieni w interwale 5 m.

Zasadniczym aspektem każdej geowizualizacji jest ustawienie odpowiedniego kąta obserwacji, który wpływa na odbiór plastyczności rzeźby. Przebadano obserwację rzeźby z czterech różnych kątów (ryc. 5).

Ustawienie kamery w pozycji przedstawionej na ryc. 5A, o kącie obserwacji 10° , powoduje przysłonięcie całego obszaru przez obiekty znajdujące się na pierwszym planie. Tego typu ustawienia znajdują zastosowanie jedynie w prezentacji rzeźby dla alpinistów, gdzie istotnym elementem jest ukazanie pionowych zmian ukształtowania danej formy (Häberling i in. 2008). Kąt 30° (ryc. 5B) również wywołuje przysłanianie części form terenu. Zniekształcenia rzeźby przy prezentowanej pozycji kamery są znaczne i zaburzają jej odbiór. Zwiększenie kąta obserwacji do 60° (ryc. 5D) powoduje zmianę

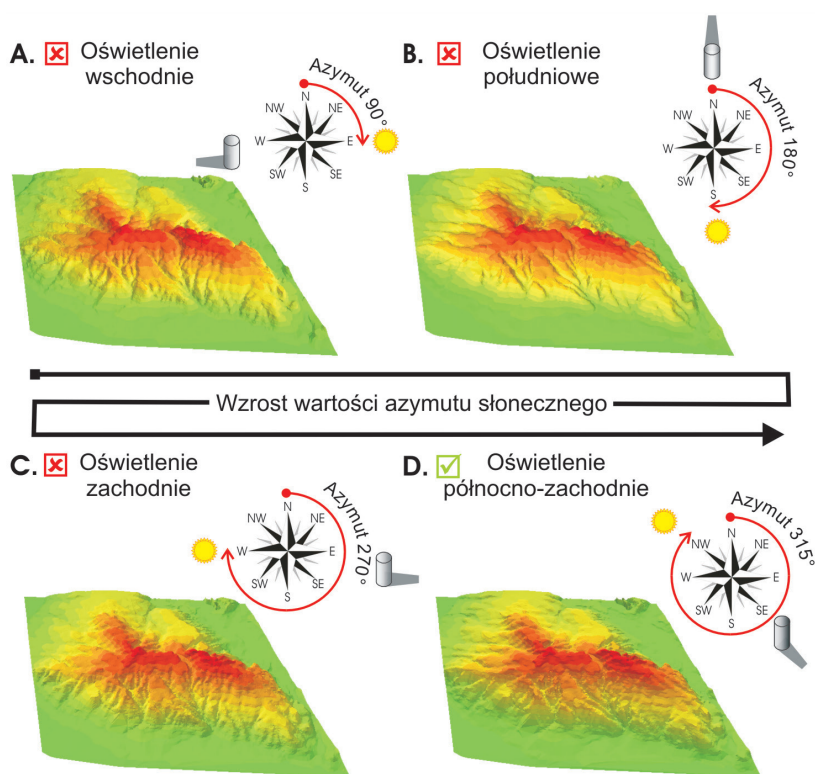


Ryc. 5. Dobór kąta obserwacji
Fig. 5. Choice of observation angle

postrzegania obrazu. Mapa 3D przekształca się w klasyczną mapę 2D. Najbardziej optymalnym kątem obserwacji jest kąt 45° (ryc. 5C). Stanowi pewien kompromis pomiędzy możliwością przeglądu całego modelu a zachowaniem perspektywy, która umożliwia obserwację rzeźby w 3D (Häberling i in. 2008).

Na postrzeganie NMT wpływa również ustawienie oświetlenia. Dobranie odpowiedniego kierunku, z którego pada światło, pozwala osiągnąć efekt trójwymiarowej rzeźby. Zbilansowane oświetlenie oddziałuje na percepcję człowieka. Źle dobrany kierunek światła sprawia, że model staje się płaski, zanika efekt 3D. Wiele osób mniej doświadczonych w tworzeniu geowizualizacji marginalizuje ten czynnik, mimo że ma on bardzo duży wpływ na postrzeganie i odbiór modelu. Na rycinie 6 przedstawiono kilka wariantów oświetlenia rzeźby terenu.

Lokalizacja źródła światła na południu przyczynia się do powstania efektu inwersji rzeźby (ryc. 6B). Obszary nizinne są widziane jako wzniesienia, natomiast wzniesienia jako doliny. Jednakże jest to pozycja naturalna dla obszarów położonych na półkuli N (Kraak, Ormeling 1998). Najlepiej umiejscowić źródło światła z boku, lekko z przodu. Daje to optymalne oświetlenie rzeźby terenu.



Ryc. 6. Wybór kierunku oświetlenia

Fig. 6. Choice of direction of solar (solar azimuth)

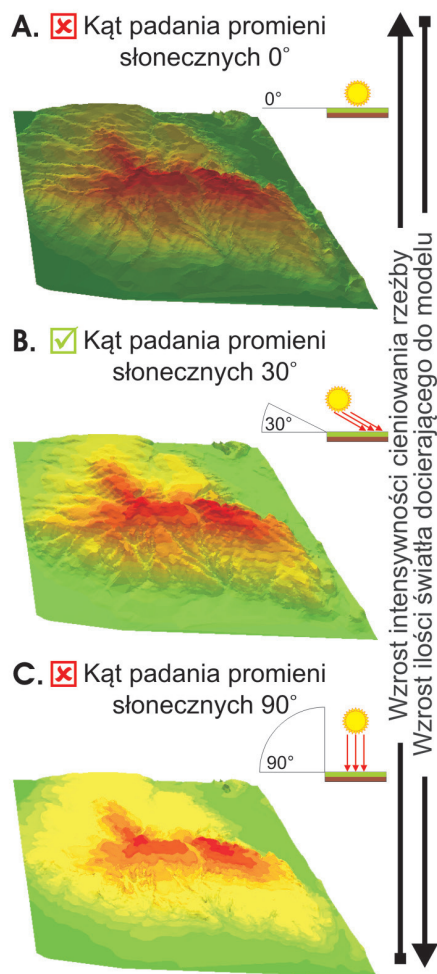
Zasadniczo stosuje się NW kierunek padania promieni słonecznych (ryc. 6D). Pozwala to idealnie przedstawić formy terenu (Patterson 2000).

Ważnym aspektem oświetlenia, prócz kierunku, jest kąt padania promieni słonecznych (ryc. 7). To właśnie ten czynnik wpływa na ilość światła docierającą do modelu oraz intensywność cieniowania rzeźby.

Zastosowanie kąta 90° , przy którym promienie padają prostopadłe do powierzchni terenu, bardzo rozjaśnia model, barwy hipsometryczne są przejaśkrawione, a plastyczność rzeźby jest mniej widoczna (ryc. 7C). Perspektywa ukształtowania terenu jest lepiej widoczna przy kącie 0° (ryc. 7A), jednak wówczas kolory są przyciemnione. Obszary nizinne oznaczone chłodnymi kolorami znikają z pierwszego planu. Z punktu obserwatora widoczne są tylko tereny najwyższej położone, reprezentowane przez cieplejsze barwy. Za optymalny uznano kąt 30° , którego zastosowanie zapewnia najlepsze doświetlenie modelu (ryc. 7B).

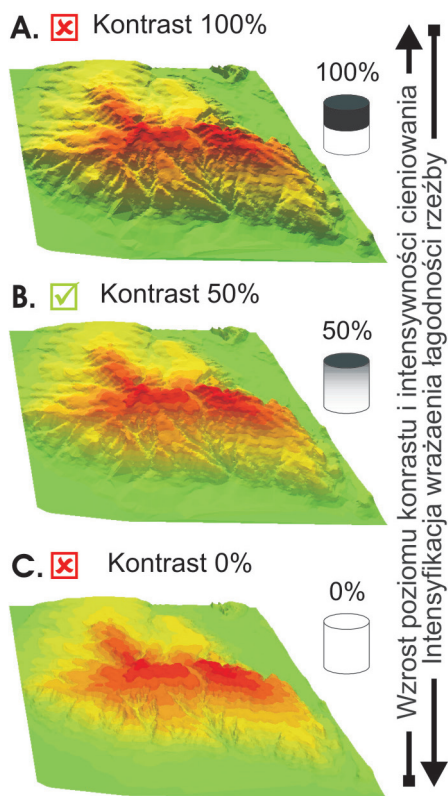
Na percepcję modelu wpływ ma również wartość stosowanego podczas geowizualizacji kontrastu decydującego o jakości i intensywności cieniowania NMT. Na rycinie 8 zastosowano trzy warianty kontrastu na testowym fragmencie modelu.

Ustawienie kontrastu na poziomie 100% powoduje wyraźne przyciemnienie geowizualizacji (ryc. 8A). W tym wariantcie eksponowane jest cieniowanie, które wchodzi na pierwszy plan, powodując efekt zaostrenia rzeźby terenu. Dobrze widoczne są drobne formy oraz każda zmiana ciągłości terenu. Na modelu z zastosowanym kontrastem 0%, widocznym na rycinie 8C, ukształtowanie terenu prezentuje się łagodnie, ale jednocześnie nienaturalnie, ponieważ cieniowanie zostało wyeliminowane. Kształt poszczególnych form wydaje się bardziej zaokrąglony. Kompromis stanowi zastosowanie kontrastu 50%, który



Ryc. 7. Dobór kąta padania promieni słonecznych

Fig. 7. Selection of angle of sunlight



Ryc. 8. Dobór wartości kontrastu
Fig. 8. Choice of contrast value

nie zaciemnia modelu, a jednocześnie podkreśla charakterystyczne elementy poprzez cieniowanie (ryc. 8B).

Chcąc poprawić wizualny odbiór NMT, wykorzystuje się nakładanie konturu poziomic na rzeźbę terenu (ryc. 9). Jednakże wymaga to również postępowania według określonych zasad, aby nie utracić efektu trójwymiarowości modelu. Kluczowym elementem jest dobranie odpowiedniego interwału poziomicy, który musi być dostosowany do barw użytych w modelu, żeby współgrał z nimi. Równocześnie warstwy nie mogą być zbyt zagęszczone (ryc. 9C), ponieważ powoduje to utratę perspektywy i pogłębienia rzeźby. Dodane linie przechodzą na pierwszy plan, utrudniając percepcję modelu, jak również niwelując efekt cieniowania. Zastosowanie właściwego cięcia poziomicowego (ryc. 9A, B) może poprawić czytelność oraz odbiór NMT przez obserwatora. Umożliwia to łatwiejszą identyfikację poszczególnych form oraz przybliżone określenie ich granic.

Nadanie odpowiednich barw, przewyższeń, oświetlenie nie jest ostatecznym etapem geowizualizacji. Percepcję NMT przez obserwatora zwiększa umieszczenie na nim dodatkowych danych. Standardową, najczęściej stosowaną procedurą jest nałożenie mapy na wykonany model terenu. Pozwala to zaprezentować klasyczną mapę 2D w rzucie perspektywicznym, a to oznacza lepszy i skuteczniejszy odbiór konwencjonalnych map topograficznych przez niedoświadczonych obserwatorów i stwarza możliwość prezentacji standardowych treści kartograficznych w nowoczesny sposób.

Zastosowanie samej mapy nie spełnia ważnego celu geowizualizacji (ryc. 10A), jakim jest uwydatnienie rzeźby terenu w obrazie pseudo3D (2.5D). Percepcja przestrzeni zanika. Obserwator odbiera wizualizację jak prezentację 2D. Odpowiednim rozwiązaniem jest zastosowanie przezroczystości na warstwie mapy topograficznej (ryc. 10C). Pozwala to wyeksponować barwy hipsometryczne, które umożliwiają ponowne uzyskanie perspektywy rzeźby terenu, jednocześnie prezentując elementy topografii zawarte na mapie. Jednak chcąc

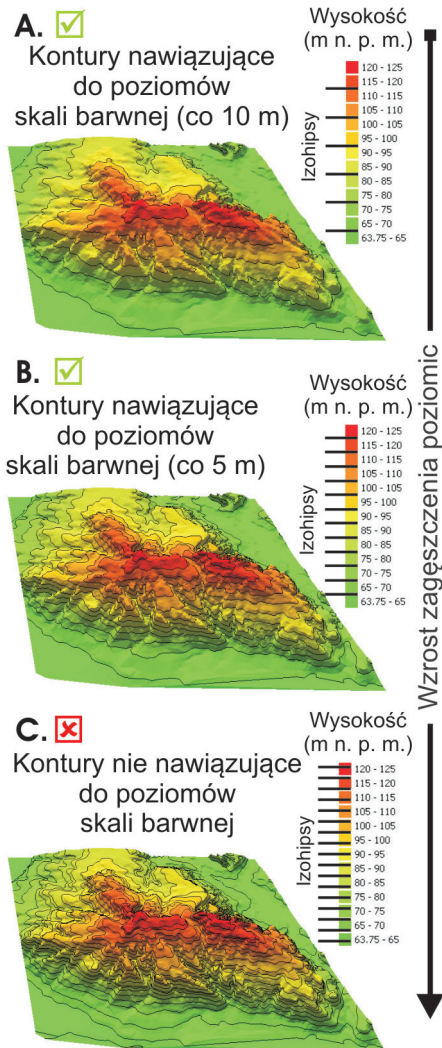
opierać się wyłącznie na mapie topograficznej, należy uwzględnić w wizualizacji oświetlenie (ryc. 10B). Wywoła to efekt cieniowania rzeźby oraz samej mapy, co pozwoli uzyskać złudzenie trójwymiarowości.

Kolejnym popularnym sposobem prezentacji rzeźby jest wykorzystanie zdjęć lotniczych bądź satelitarnych. Dają one możliwość wykonania realistycznych geowizualizacji obszarów. Percepcja odbiorców jest znacznie większa w porównaniu do wykorzystania klasycznych map. Wynika to z faktu, że obserwatorowi łatwiej jest identyfikować obiekty przedstawione w sposób bardziej naturalny niż za pomocą symboli. Na rycinie 10D przedstawiono formę wizualizacji terenu z zastosowaniem zdjęcia lotniczego monochromatycznego.

Wykorzystując zdjęcia lotnicze, należy uwzględniać, podczas geowizualizacji oświetlenie. Odpowiednie ustawienie źródła światła daje możliwość uzyskania cienia (ryc. 10E). Cieniowanie pomaga rozpoznać elementy rzeźby terenu na ortofotomapie. W percepcji obserwatora efekt jest bliższy rzeczywistości. Pod względem wizualnym prezentuje się bardziej naturalnie niż w przypadku tego samego fragmentu bez zastosowania cieniowania (ryc. 10D).

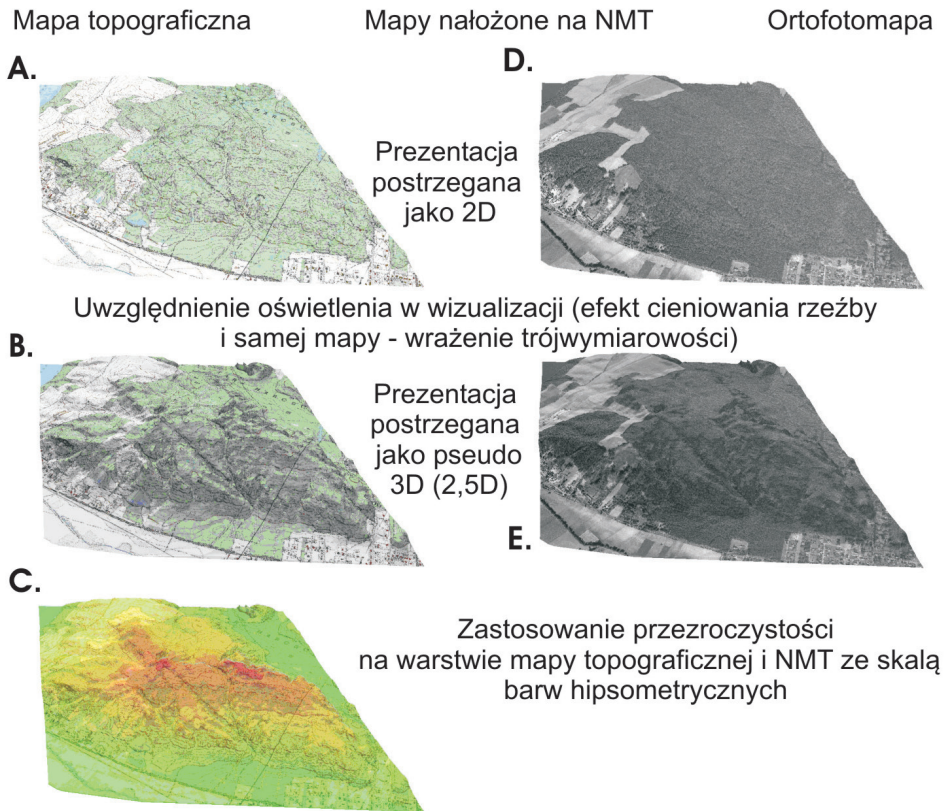
Nowoczesna kartografia daje możliwość wykorzystania podczas wizualizacji obiektów 3D. Są one poszerzeniem prezentacji terenu. Pozwalają na lepszy odbiór wizualny obszaru traktowanego jako wycinek rzeczywistości. Jednocześnie zaburzają percepcję poszczególnych elementów rzeźby (ryc. 11).

Istotnym elementem w przypadku symboliki 3D jest dobór wielkości danego obiektu. Wszystko jest uzależnione od przeznaczenia danej geowizualizacji. Zastosowanie dużej symboliki pozwala przenieść ją na pierwszy plan oraz skupić



Ryc. 9. Naniesienie konturów i dobór cięcia poziomicowego

Fig. 9. Addition of contours and selection of interval



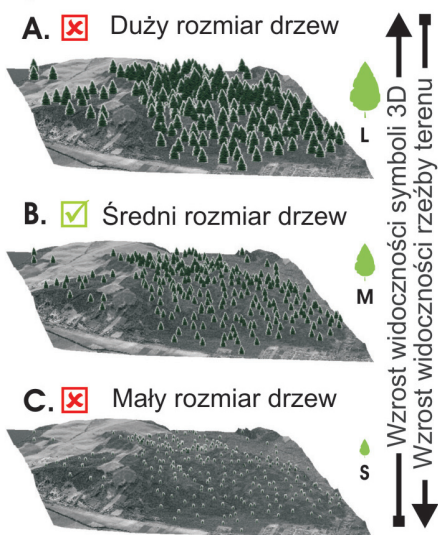
Ryc. 10. Dobór symboliki i rozmiaru obiektów 3D
 Fig. 10. Selection of 3D symbolism and size of 3D objects

na niej uwagę odbiorcy (ryc. 11A), lecz proporcje w stosunku do terenu nie są zachowane. Większość obiektów zasłania model rzeźby. W przypadku przedstawionym na rycinie 11C dopasowano obiekty wielkościowo do NMT. Dzięki temu ukształtowanie jest dobrze widocznie, jednak symbole drzew nie są rozpoznawalne. Kompromis zastosowano na rycinie 11B, gdzie wielkość obiektów 3D została dopasowana tak, aby ich kształt został zachowany, a jednocześnie w większym stopniu nie przysłaniały rzeźby terenu.

Ważnym elementem jest dopasowanie podkładu pod symbolikę 3D. Wybór elementu bazowego, gdy głównym założeniem jest sama geowizualizacja obszaru bez zwracania uwagi na charakterystyczne elementy, jest uzależniony w kwestii współgrania poszczególnych symboli z tłem. Na rycinie 12 przedstawiono różne warianty podkładów z tymi samymi obiektami 3D.

Najlepiej prezentują się rzuty, w których zastosowano podkłady odznaczające się jasnymi kolorami (ryc. 12A, B). Współgrają one z symboliką, eksponują

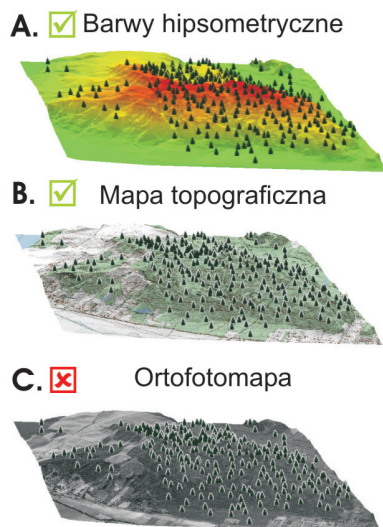
Symbolika i rozmiar obiektów 3D



Ryc. 11. Dobór symboliki i rozmiaru obiektów 3D

Fig. 11. Selection of 3D symbolism and size of 3D objects

Podkłady pod symbolikę 3D



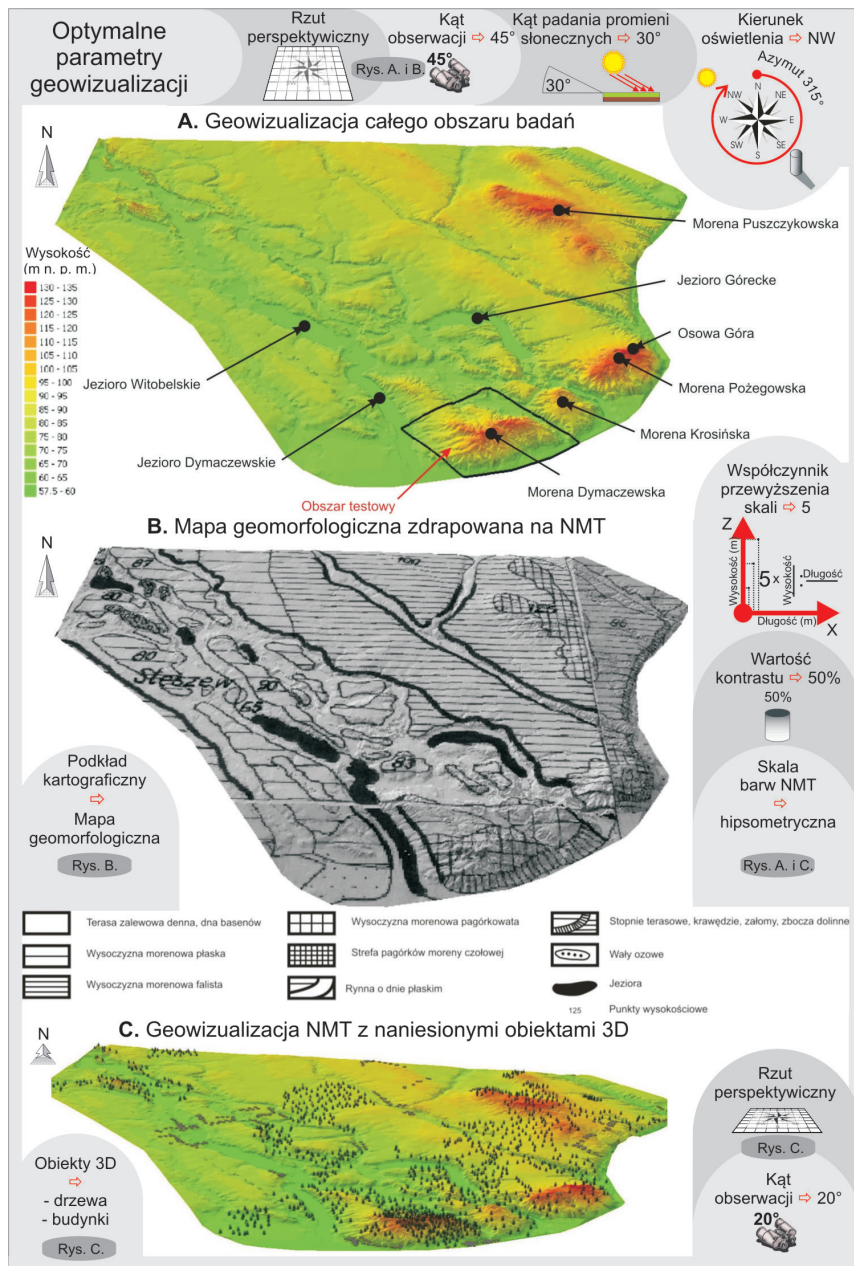
Ryc. 12. Dobór podkładu kartograficznego pod symbolikę 3D

Fig. 12. Selection of cartographic symbolism of the 3D mapping

ją, a jednocześnie nie schodzą na dalszy plan. Zastosowanie monochromatycznej ortofotomapy (ryc. 12C) z ciemniejszymi obiektami powoduje, że obraz staje się trudny do odczytania. Kolory łączą się. Percepcja rzeźby jest utrudniona. Istotnym aspektem wszystkich geowizualizacji zawierających symbolikę 3D jest zmniejszenie kąta obserwacji w celu jej wyeksponowania.

GEOWIZUALIZACJA CAŁEGO OBSZARU BADAŃ Z ZASTOSOWANIEM USTALONYCH WARTOŚCI PARAMETRÓW

Na rycinie 13A zaprezentowano geowizualizację modelu terenu całego obszaru badań według ustalonych zasad, z zaznaczonymi charakterystycznymi formami terenu oraz obszarem testowym, na którym przeprowadzano badania nad optymalnymi parametrami. Na rycinie 13B widoczny jest nałożony raster mapy geomorfologicznej na numeryczny model terenu, w którym użyto optymalnego kąta obserwacji (45°). W przypadku geowizualizacji NMT z wprowadzonymi obiektami 3D (budynki i lasy) zmniejszono kąt obserwacji do 20° . Jako podkład użyto barw hipsometrycznych (ryc. 13C).

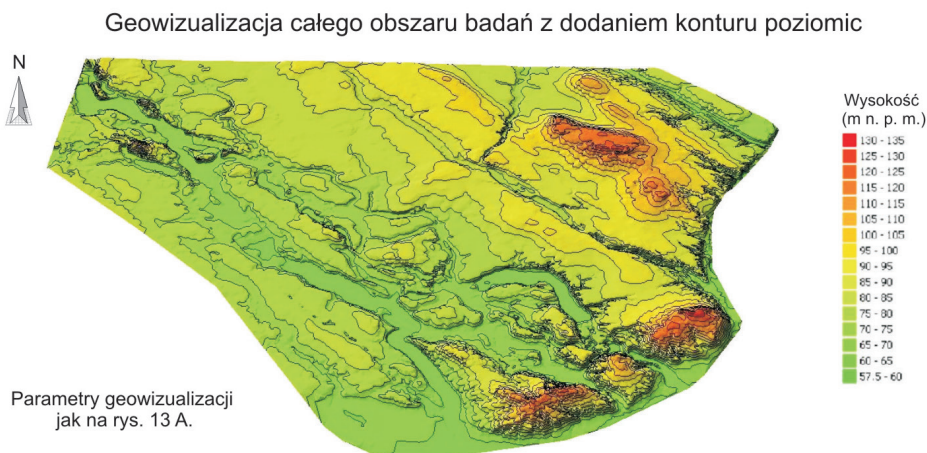


Ryc. 13. Geowizualizacja całego obszaru badań z zastosowaniem optymalnych parametrów:

- A) z zaznaczeniem form terenu i lokalizacji obszaru testowego,
B) z nałożeniem mapy geomorfologicznej na NMT, C) z symboliką 3D

Fig. 13. Geovisualization of the whole research area using optimal parameters:

- A) with an indication of the landforms and the location of test area,
B) with geomorphologic map placed (putted) on DTM, C) with 3D symbolism



Ryc. 14. Geowizualizacja całego obszaru badań z zastosowaniem optymalnych parametrów z naniesionym konturem warstwicy

Fig. 14. Geovisualization of the whole research area using optimal parameters with contours placed on DTM

Model zaprezentowany na rycinie 14 został utworzony na podstawie tych samych reguł geowizualizacji, co model na rycinie 13A, jednak dodano do niego kontury warstwicy w przedziale 5 m, który odpowiada hipsometrii. Umożliwia to sprawniejsze wyodrębnienie i klasyfikację form przez obserwatora.

WYMIERNOŚĆ WIZUALIZACJI RZEŻBY

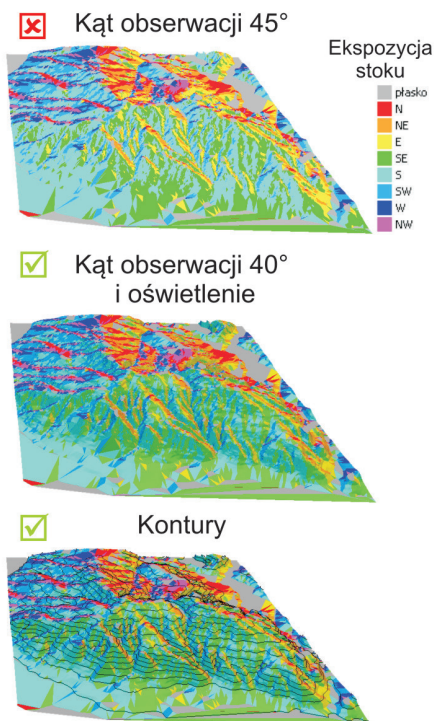
Ważnym aspektem geowizualizacji jest przedstawienie parametrów wymierności rzeźby. Współczynniki wykorzystane przy prezentacji plastyczności rzeźby zostały również użyte przy wizualizacji wymiernych aspektów terenu. W niniejszym artykule podjęto się przedstawienia w formie rzutów perspektywicznych i blokdiagramów cech terenu, które zazwyczaj stosowane są do różnych obliczeń w geomorfologii i hydrologii. Zastosowanie geowizualizacji do prezentacji: tego typu charakterystyk wymagało zachowania wymierności pod postacią odpowiednich skali barw, wartości, osi współrzędnych itp., jak również dopasowania parametrów wpływających na postrzeganie rzeźby w perspektywie 3D. Takie przedstawienie cech mierzalnych na modelu odznacza się lepszą percepcją, szczególnie w przypadku niedoświadczonych obserwatorów.

Podstawowym atrybutem związanym z cechami mierzalnymi rzeźby i dającym się pozyskać bezpośrednio z modelu terenu jest orientacja stoków, zwana

ekspozycją. Trudność geowizualizacji tego parametru polega na dużej gradacji barw reprezentujących poszczególne azymuty. Powoduje ona, że brak jest widocznej perspektywy (ryc. 15A). Celem osiągnięcia zamierzonego efektu, zmniejszono kąt obserwacji do 40° oraz dodano oświetlenie, które wywołało cieniowanie rzeźby (ryc. 15B). Percepcja reliefu pogłębiła się. Najlepszy rezultat osiągnięto, dodając kontur warstw (ryc. 15C).

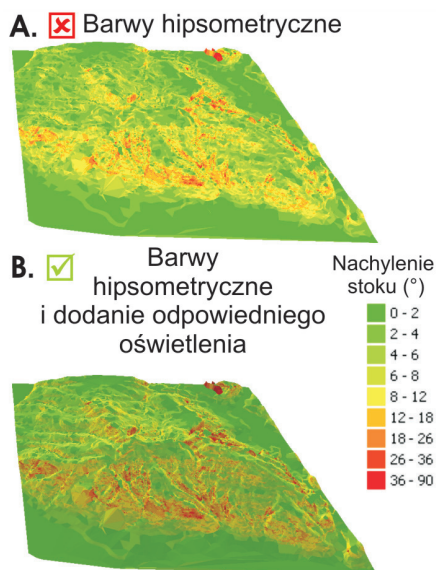
Parametr nachylenia terenu jest łatwiejszy do przedstawienia w formie geowizualizacji ze względu na standardową skalę barw, zbliżoną do hipsometrii (ryc. 16A). Przez to zarys rzeźby terenu jest już możliwy do zaobserwowania. Odcieniami zieleni zaznaczono obszary płaskie i stoki słabo nachylone, odcieniami żółci i czerwieni zaś stoki o większym spadku. Dobry efekt uzyskuje się dzięki dodaniu odpowiedniego oświetlenia (ryc. 16B). Cienie przyciemniają wizualizację, co ułatwia rozpoznanie poszczególnych form terenu.

Istotnym elementem obliczeń wykonywanych na NMT jest możliwość wykreślenia profili terenu. Przedstawianie ich na rzucie perspektywicznym (ryc. 17) w zasadniczy sposób wpływa na percepcję obserwatora. Jednak taka



Ryc. 15. Sposób geowizualizacji orientacji stoków

Fig. 15. Visualization of slope aspect

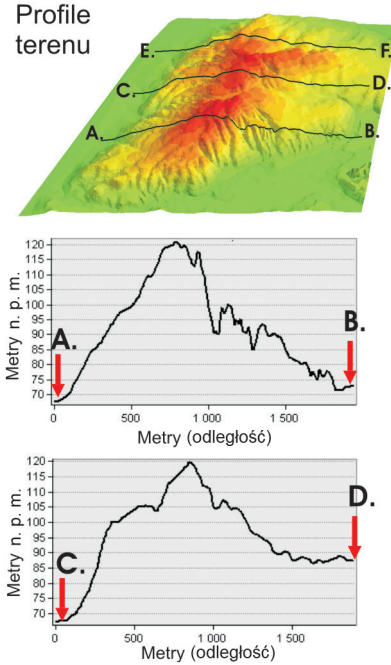


Ryc. 16. Wizualizacja nachylenia terenu z użyciem barw hipsometrycznych

Fig. 16. Visualization of slope steepness using hypsometric color scale

geowizualizacja musi być uzupełniona o wykresy, które charakteryzują się wymiernością, dzięki czemu zapewniają możliwość oceny rzeczywistych deniwelacji terenu.

Do wymiennych form wizualizacji można również zaliczyć przedstawianie rzeźby terenu jako blokdiagramów z podanymi osiami współrzędnych (ryc. 18). Blokdiagramy stosuje się do poglądowego pokazywania rozmieszczenia różnych zjawisk w płaszczyznach innych niż pozioma (Saliszczew 2003). Wprowadzenie osi współrzędnych umożliwia lepszą orientację modelu, pozwala na oszacowanie wysokości form oraz określenie ich położenia, co ma zasadniczy wpływ na postrzeganie wymierności przez obserwatora.



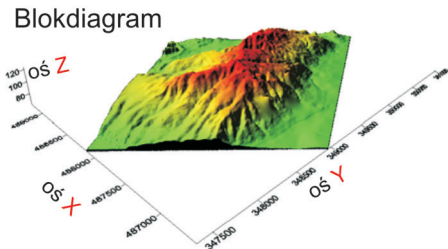
Ryc. 17. Profile terenu

Fig. 17. Terrain profiles

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują problem geowizualizacji i jej parametryzacji. W literaturze kartograficznej nie wprowadzono pełnych i konkretnie sprecyzowanych zasad projektowania map 3D. Natomiast coraz więcej odbiorców znajdują różne prezentacje kartograficzne wykonane w tej technice. Istnieje zatem potrzeba wypracowania jasnych zasad tworzenia takich wizualizacji.

Naturalnie wartości parametrów zaproponowanych w niniejszym artykule w przedstawieniu modeli ukształtowania terenu nie są wartościami ostatecznymi. Stanowią one pewną propozycję najbardziej efektywnej prezentacji rzeźby młodoglacjalnej. W przypadku wizualizacji obszarów o innej budowie morfologicznej nastąpi zmiana tylko niektórych parametrów. Większość wizualizacji wykonano w siatce



Ryc. 18. Blokdiagram z widocznymi osiami: X, Y, Z

Fig. 18. Block diagram with axes: X, Y, Z

nieregularnych trójkątów, ponieważ struktura TIN najlepiej oddaje charakter delikatnie zaznaczającej się w terenie rzeźby młodoglacjalnej. Utworzony model doskonale reagował na zmiany parametrów wizualizacji, co zaznacza się w jakości rycin. Dokładność modelu jest zadowalająca, biorąc pod uwagę fakt, że przy jego budowie była stosowana jedynie kartograficzna metoda pozyskiwania danych wysokościowych. Pewnych form nie udało się w pełni odwzorować, jednak nie wpłynęło to znacząco na sam proces wizualizacji.

Autorzy składają serdeczne podziękowania za udostępnienie danych pomocnych w budowie NMT panu dr. Lechowi Kaczmarkowi – pracownikowi Stacji Ekologicznej UAM w Jeziorach.

LITERATURA

- Ewertowski M., Tomczyk A., 2009: *Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie*. [W:] Zb. Zwoliński (red.), *GIS – platforma integracji geografii*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Häberling C., Bär H., Hurni L., 2008: *Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory*. Cartographia.
- Kraak M.J., Ormeling J.F., 1998: *Kartografia: wizualizacja danych przestrzennych*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Kurczyński Z., Gotlib D., Olszewski R., Kaczyński M.R., Buttowtt J., 2007: *Numeryczny model terenu – podstawy, budowa i wykorzystanie*. [W:] M. Kunz (red.), *System informacji geograficznej w praktyce (studium zastosowań)*. Wyd. UMK, Toruń.
- Medyńska-Gulij B., 2010: *Perspektywa na mapach – konfrontacja metod prezentacji rzeźby terenu z wizualizacjami 3D*. [W:] W. Żyszkowska, W. Spallek (red.), *Numerycznie modele w kartografii*. Wrocław.
- Patterson T., 2000: *Heinrich Berann's Panoramas and landscape visualisation techniques for the US National Park Service*, <<http://www.shadedrelief.com/berann/>> [dostęp: 19.06. 2011].
- Peeg D., 2009: *Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles*.
- Saliszczew A.K., 2003: *Kartografia ogólna*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Szypuła B., 2010: *Cyfrowe modele terenu jako główne źródło danych w geomorfometrii*. [W:] W. Żyszkowska, W. Spallek (red.), *Numerycznie modele w kartografii*. Wrocław.

VISUALIZATION OF MEASURABLE AND VISUAL RELIEF FEATURES ON THE BASIS OF A NUMERICAL LAND MODEL OF THE WIELKOPOLSKI NATIONAL PARK

Summary

The study highlights the issue of geovisualization and its parametrization in the context of how to present measurable and non-measurable geovisualization parameters of selected forms of early glacial relief. The authors used a perspective view with a viewing angle of 45° , NW light source with 30° angle of sunlight, on a non-uniform scale (five-to-one ratio). To reflect the differences in the elevation, typical hypsometric tints at 5-meter intervals were used. The model responded in an excellent way to changes in visualization parameters, which is manifested in the quality of drawings. The model's accuracy is satisfactory, considering the fact that it was built using the cartographic method for obtaining elevation data.