

Zastosowanie numerycznego modelu terenu w geomorfologii strukturalnej na przykładach z obszaru Sudetów

Agnieszka Placek*

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław

Wprowadzenie

Numeryczny model terenu (NMT) znajduje w ostatnich latach bardzo szerokie zastosowanie w geomorfologii oraz naukach pokrewnych, tj. hydrologii, biogeografii, geologii oraz naukach rolniczych (Hergarten, Neugebauer 1999, Willson, Gallant 2000, Pike 2000, Zhou i in. 2008). W geomorfologii strukturalnej znaczna część prac poświęcona jest studiom morfotektonicznym (np. Johansson i in. 1999, Jordan 2003, Ganas i in. 2005, Székely i in. 2005, Badura, Przybylski 2005, Grohmann i in. 2007), rzadziej ocenie podlegają zależności między wytrzymałością skał a cechami morfometrycznymi rzeźby (Clayton, Shamon 1998, Kühni, Pfiffner 2001, Mills 2003, Püspöki i in. 2005). Celem niniejszej pracy jest wskazanie wybranych zastosowań map pochodnych obliczonych na podstawie NMT o rozdzielczości rastra 50 m, wpisujących się w oba wskazane kierunki badawcze geomorfologii strukturalnej, na przykładach z Sudetów wraz z Przedgórzem (ryc. 1).

Przykłady zastosowania map pochodnych z NMT

Mapy ekspozycji, cieniowanego reliefu i lineamentów

Ekspozycja stoków na danym obszarze odzwierciedla kierunkowość oddziaływania czynników kształtujących rzeźbę terenu. W Sudetach, obok rozproszonych powierzchni cząstkowych reprezentujących stoki o zróżnicowanych kierunkach ekspozycji,

obecne są także wyraźne, liniowe strefy stoków o zbliżonych kierunkach wystawy. Strefy te wykazują odmienne kierunki w poszczególnych częściach masywu sudeckiego. Na podstawie dominujących kierunków ekspozycji Sudety można podzielić na sześć odrębnych regionów. Pomocne w detekcji liniowych stref o jednolitej ekspozycji oraz delimitacji granic poszczególnych regionów są sporządzone na bazie NMT mapy topolineamentów – prostoliniowych elementów rzeźby widocznych często na znacznej rozciągłości. Rycina 2 przedstawia mapy ekspozycji i topolineamentów dla dwóch wybranych regionów Sudetów.

W regionie środkowo-zachodnim dominuje ekspozycja N i NE. Wyraźne drugorzędne maksimum stanowią stoki eksponowane na S i SW. Takie kierunki ekspozycji są zgodne przede wszystkim z dyslokacjami tektonicznymi rozciągającymi się równoleżnikowo oraz w kierunku WNW-ESE, które zaznaczają się na północnej krawędzi i we wnętrzu Gór Izerskich, na północnym skłonie Karkonoszy oraz w obrębie Ještidsko-Kozakovskiego grzbietu. Strefa stoków południowych większości tych pasm górskich jest szersza niż stoków północnych i wykazuje silniejszą fragmentację. Na południe od głównego grzbietu Karkonoszy równoleżnikowo przebiega także wąska strefa grzbietów zbudowanych ze skał zmetamorfizowanych kontaktowo, podkreślających przebieg obrzeża intruzji granitoidowej.

Region wschodni (odpowiadający masywowi Nizkiego Jesenika) cechuje wyraźne pochylenie całego obszaru na E-SE. Liniowa strefa stoków o takiej ekspozycji występuje wzdłuż uskoku oddzielających Sudety od Bramy Morawskiej. Niewielkie drugo-

* e-mail: agawitek@poczta.onet.pl

rzędne maksimum częstości wykazuje zachodni kierunek ekspozycji stoków, co jest związane z obecnością południkowo rozciągających się grzbietów nawiązujących do kierunków fałdów struktury śląsko-morawskiej strefy kulmu, wyraźnych także na mapie lineamentów.

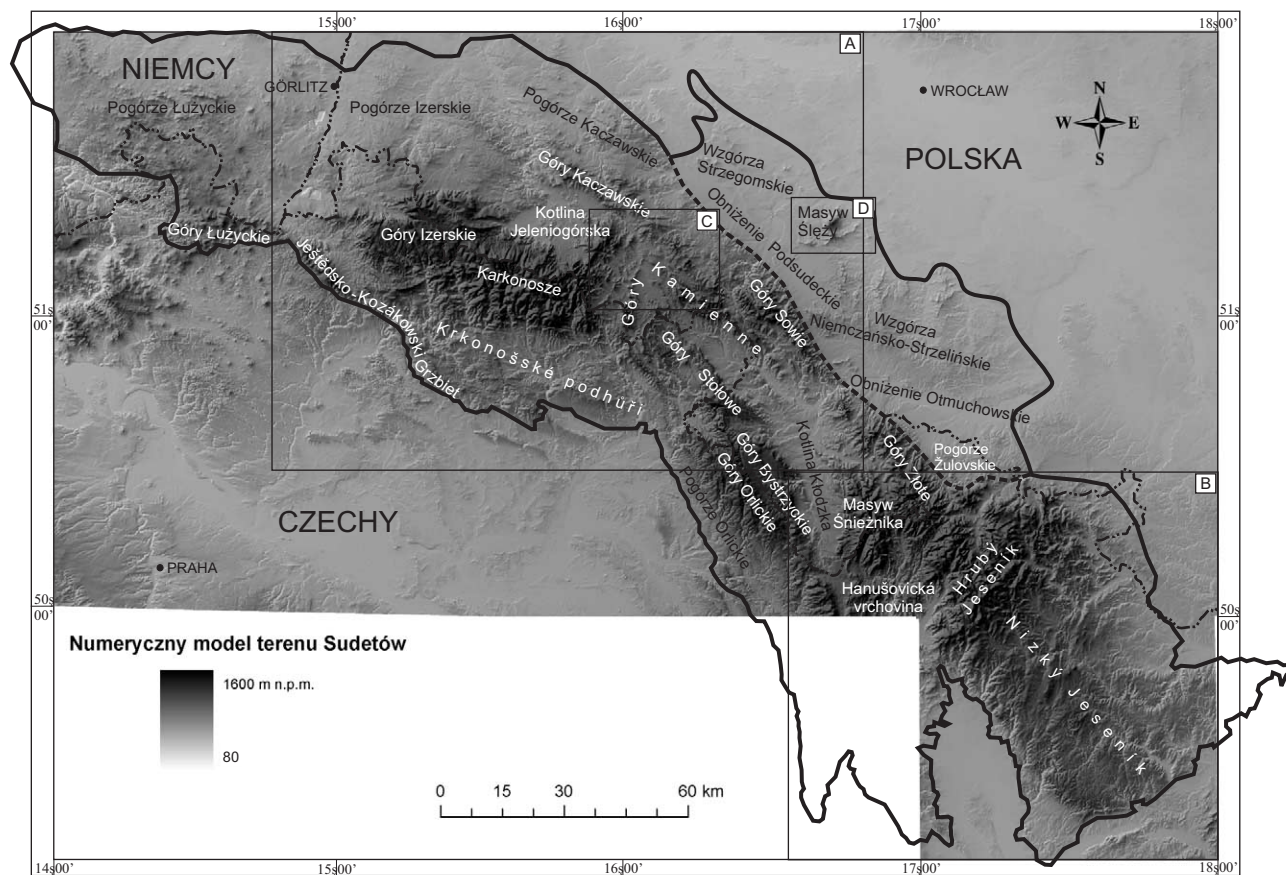
Również w pozostałych częściach Sudetów przebieg liniowych stref stoków o zbliżonej ekspozycji warunkowany jest głównie czynnikami endogenicznymi, tj. przebiegiem dyslokacji tektonicznych, kierunkami fałdów i foliacji czy przebiegiem osi dawnych zbiorników sedimentacyjnych. Asymetria stref o przeciwnej ekspozycji wskazuje przeważnie na pochylenie tektoniczne bloków podłoża. Pierwotny, geologicznie uwarunkowany rozkład ekspozycji ulega stopniowej modyfikacji pod wpływem rozcinania erozyjnego obszaru, które silniej zaznacza się od tej strony, w którą pochylony jest blok tektoniczny.

Mapa spadków

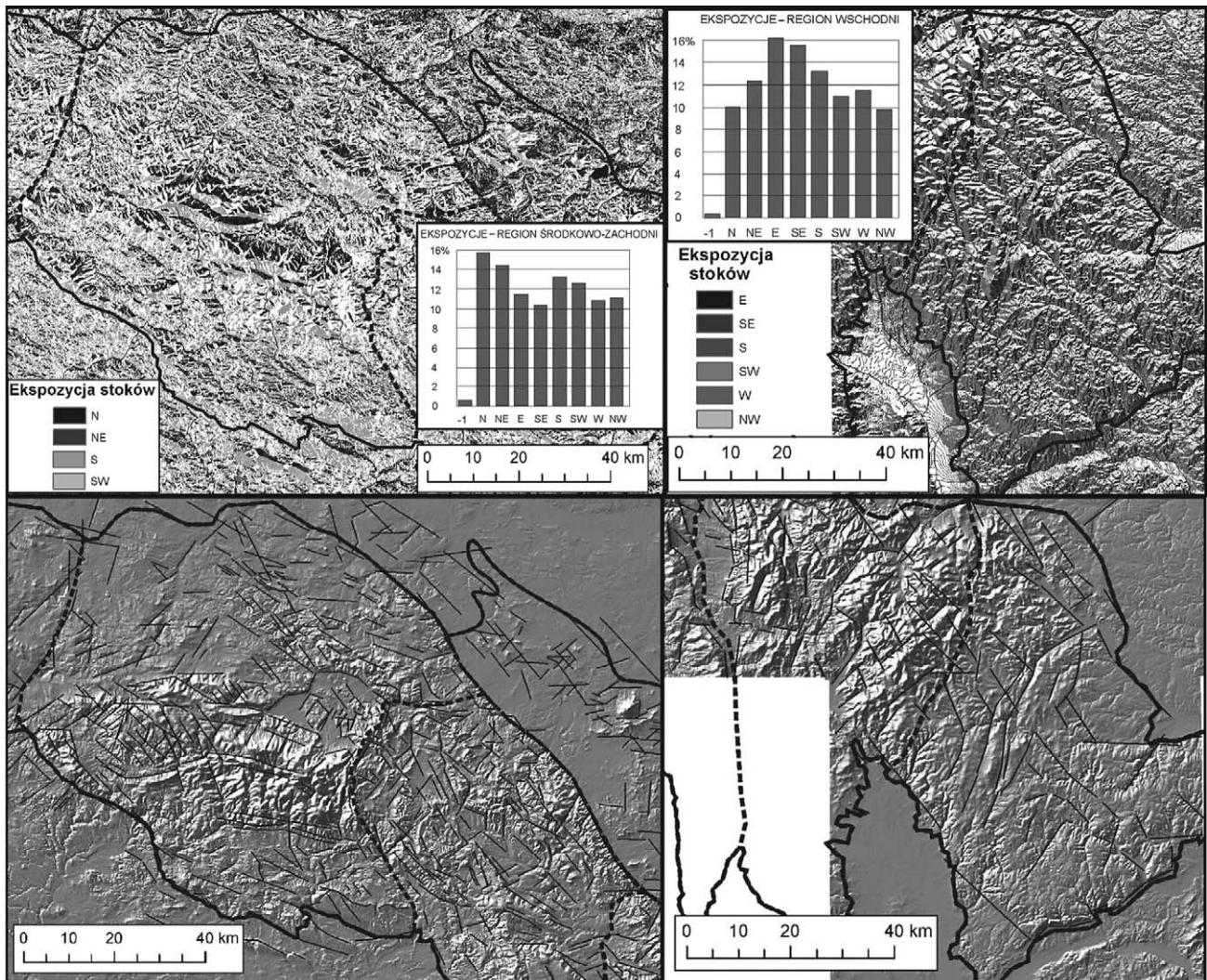
Nachylenie powierzchni określa aktualny stan równowagi pomiędzy oddziaływaniem sił endo- i egzogenicznych. Sudety są silnie zróżnicowane pod względem nachyleń, które przybierają wartości od 0 do 55,2°. Duże nachylenia na pewnych obszarach są uznawane za markery niedawnej aktywności tektonicznej i wzmożonej erozji, podczas gdy gdzie indziej

odzwierciedlają podwyższoną odporność skał (Migoń i in. 2007). Relacje pomiędzy występowaniem zrównanego reliefu a strukturą podłoża są bardziej złożone. Słabo nachylone powierzchnie, występujące przede wszystkim w brzeźnych partiach Sudetów oraz w obrębie kotlin śródgórskich, są podścielane zarówno przez skały o małej wytrzymałości, jak i te zaliczane do bardzo odpornych. Kluczowe znaczenie w rozwoju rzeźby o małej energii mają trzy czynniki: homogeniczność wytrzymałości podłoża, obecność poziomo zalegających powierzchni strukturalnych oraz amplituda wyźwignięcia tektonicznego (Placek i in. 2007).

Możliwość równoczesnej prezentacji różnorodnych warstw tematycznych na mapach pochodnych z NMT jest bardzo pomocna w ocenie, który z wymienionych czynników odgrywa rolę wiodącą na interesującym nas obszarze. Na rycinie 3 przedstawiono fragment Sudetów Środkowych uważanych za klasyczny obszar występowania rzeźby strukturalnej (Tułaczyk 1992, Synowiec, Migoń 2002). Na mapę nachyleń nałożona została mapa wytrzymałości skał sporządzona dla Sudetów na podstawie polowych pomiarów twardości za pomocą młotka Schmidta (Placek, Migoń 2007). Obszar ten zbudowany jest w przewadze ze skał osadowych o wieku od dolnego karbonu po górną kredę (Żelaźniewicz 2005). Wśród nich najwyższą wytrzymałością cechują się górnokre-



Ryc. 1. Numeryczny model terenu Sudetów. Ramki przedstawiają lokalizację obszarów prezentowanych na kolejnych rycinach: A i B – ryc. 2, C – ryc. 3, D – ryc. 4



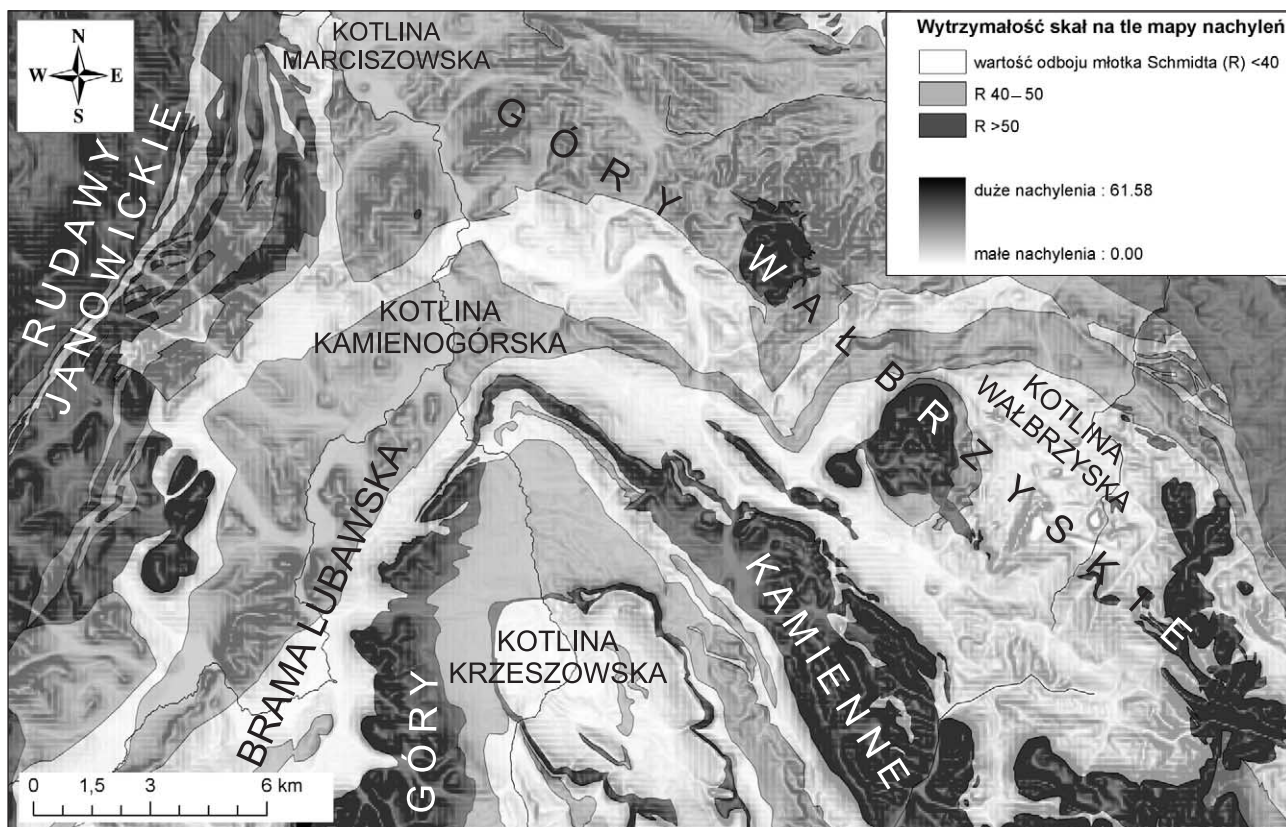
Ryc. 2. Mapy najczęściej występujących ekspozycji w regionie środkowo-zachodnim (A) i wschodnim (B) Sudetów oraz mapy topolineamentów zidentyfikowanych na mapie cieniowanego reliefu dla tych samych obszarów (C i D)

dowe piaskowce kwarcowe i mułowce krzemionkowe, których wschodnie widoczne są jako wąskie, kręte pasma w południowej części mapy. Towarzyszy im strefa zwiększonych nachyleń. Wyższą wytrzymałość, większą powierzchnię i największe gradienty nachyleń mają jednak kompleksy permo-karbońskich skał wulkanicznych budujące grzbiet Gór Kamiennych oraz najwyższe wzniesienia Gór Wałbrzyskich. W zachodniej części mapy wzrost nachyleń wiąże się z wychodniami skał metamorficznych i granitów budujących pasmo Rudaw Janowickich. Z kolei powierzchnie o małym nachyleniu wykształcone są przede wszystkim tam, gdzie w podłożu zalegają słabo odporne skały osadowe: piaskowce skaleniowe i margle górnej kredy oraz mułowce i arkozy permu podścielające Kotlinę Krzeszowską, Kamiennogórską i Bramę Lubawską. Największa zwarta powierzchnia o słabym nachyleniu występuje w osiowej części brachysynkliny Krzeszowa, co wskazuje na dużą rolę niewielkiego nachylenia warstw skalnych w jej genezie. Średnio odporne i stromiej zapadające zlepieńce karbonu i permu budują ciągi niewysokich

wzgórz o średnich nachyleniach stoków, jak również podścielają obniżenia i spłaszczenia.

Mapa krzywizny

Obok nachylenia, ważnym parametrem charakteryzującym profil stoku jest jego krzywizna. Duża wypukłość stoków jest tradycyjnie łączona z wysoką wytrzymałością mechaniczną budujących je skał. Przedmiotem dyskusji w literaturze był kształt stoków najwyższego wzniesienia na Przedgórzu Sudeckim – zbudowanej z gabra i granitu Ślęży. Wypukłość stoków zbudowanych z gabra i wklęsłość stoków granitowych miała być jednym z argumentów świadczących o większej wytrzymałości tej pierwszej skały (Szczepankiewicz 1958). Dumanowski (1967) twierdził, że stoki w ogólnym zarysie mają kształt lekko wklęsły, przy czym spadki w obrębie gabra są mniej wyrównane. Żurawek (2002), przeprowadzwszy większą ilość linii profilowych, stwierdził, że stoki wykształcone w gabrze mogą być nie mniej wklęsłe niż na wychodniach granitów.



Ryc. 3. Okolice Kamiennej Góry. Wytrzymałość skał i średnie nachylenie powierzchni

Mapa krzywizny (ryc. 4) jest narzędziem pozwalającym spojrzeć na to zagadnienie kompleksowo, określa bowiem stopień zakrzywienia w dowolnym miejscu stoku. Widać na niej, że wypukła strefa grzbietowa Ślęży przebiega w całości w obrębie gabra. Co ciekawe jednak, stoki po obu jej stronach, zarówno w gabrze, jak i w granicy, mają profil na znacznej powierzchni prosty. Wyraźniejsze odcinki silnie wypukło-wklęsłe występują na zachodnim skłonie masywu oraz w obrębie niewielkich garbów na jego północno zachodnim podnóżu, w obrębie granitów. Znacznie silniej wypukło-wklęsły profil ma natomiast amfibolitowy i serpentynitowy człon masy-

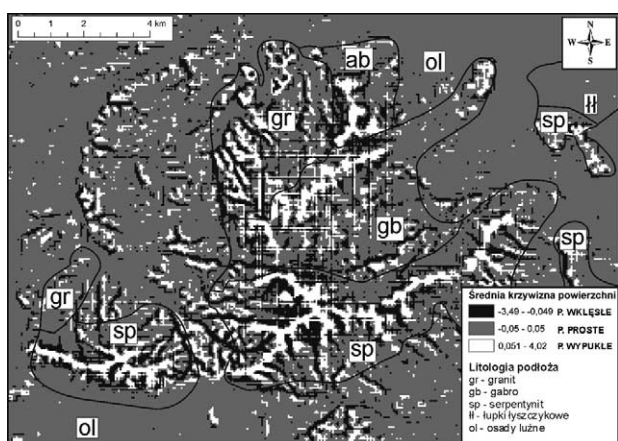
wu Ślęży. Badania twardości skałek zboczowych tego rejonu (Placek 2007) wykazały, że najwyższą twardość zmierzono w obrębie amfibolitów (58,7 punktów w skali młotka Schmidta), nieco niższą odnotowano dla granitów (55,3) i serpentynitów (53,1), najniższą zaś dla gabra (51,8), co koresponduje z wyrazistością kontrastów zakrzywień przedstawionych na rycinie 4.

Podsumowanie

Numeryczny model terenu i jego mapy pochodne są bardzo pożytecznym narzędziem badań w geomorfologii strukturalnej. Pozwalają one na czytelną wizualizację różnych warstw tematycznych, w tym danych o litologii i wytrzymałości skał, w połączeniu z wybranymi informacjami na temat rzeźby terenu. Umożliwiają także dokonywanie różnorodnych obliczeń. Podane powyżej przykłady ilustrują jedynie skromny fragment możliwości zastosowania NMT w analizie geomorfologicznej.

Literatura

Badura J., Przybylski B. 2005. Application of digital elevation models to geological and geomorphological studies. *Przegląd Geologiczny* 53, 10/2: 977–983.



Ryc. 4. Średnia krzywizna powierzchni w Masywie Ślęży na tle wydzielen litologicznych

- Clayton K., Shamon N. 1998. A new approach to the relief of Great Britain II. A classification of rocks based on relative resistance to denudation. *Geomorphology*, 25: 155–171.
- Dumanowski B. 1967. Zależność rozwoju stoku od budowy geologicznej. *Acta Univ. Wratislaviensis*, 61, *Studia Geograficzne*, 9: 122.
- Ganas A., Pavlides S., Karastathis V. 2005. DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. *Geomorphology*, 65: 301–319.
- Grohmann C.H., Riccomini C., Alves F.M. 2007. SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil. *Computers & Geosciences*, 33, 1: 10–19.
- Hergarten S., Neugebauer H.J. (red.) 1999. *Process Modelling and Landform Evolution. Lecture Notes in Earth Sciences*, 78. Springer Verlag, 305.
- Johannsson M., Olvmo M., Söderström M. 1999. Application of digital elevation and geological data in studies of morphotectonics and relief – a case study of the sub-Cambrian peneplain on southwestern Sweden. *Zeitschrift für Geomorphology N. F.*, 43, 4: 505–520.
- Jordan G. 2003. Morphometric analysis and tectonic interpretation of digital terrain data: a case study. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 807–822.
- Kühni A., Pfiffner O.A. 2001. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250-m DEM. *Geomorphology*, 41: 285–307.
- Migoń P., Żyszkowska W., Placek A. 2007. Steep slopes in the Sudetes – tectonic and rock control at work. On recent geodynamics of the Sudeten and adjacent areas. Abstracts, 8th Czech–Polish workshop, 29–31.03, Kłodzko, s. 23–24.
- Mills H. 2003. Inferring erosional resistance of bedrock units in the east Tennessee mountains from digital elevation data. *Geomorphology*, 55, 1–4: 263–281.
- Pike R.J. 2000. Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 24, 1: 1–20.
- Placek A. 2007. Rola zróżnicowania wytrzymałości skał w genezie rzeźby Masywu Ślęży (Przedgórze Sudeckie). *Przegląd Geologiczny*, 55, 10: 861–869.
- Placek A., Migoń P. 2007. Rock-landform relationships in the Sudetes in the light of rock strength assessment using Schmidt hammer. [W:] A. Goudie, J. Kalvoda (red.), *Geomorphological Variations*. Prague, s. 287–311.
- Placek A., Migoń P., Żyszkowska W. 2007. Low-gradient surfaces in the Sudetes – insights from the digital elevation model. *Acta Universitatis Ostraviensis, Geographia – Geoecologia*, Ostrava, s. 94–110.
- Püspöki Z., Szabó S., Demeter G., Szalai K., McIntosh R.W., Vincze L., Németh G., Kovács I. 2005. The statistical relationship between unconfined compressive strengths and the frequency distributions of slope gradients – A case study in northern Hungary. *Geomorphology*, 71, 3–4: 424–436.
- Synowiec G., Migoń P. 2002. Rzeźba strukturalna Sudetów Środkowych. *Przyroda Sudetów Zachodnich, Zeszyt Specjalny*, s. 57–76.
- Szczepankiewicz S. 1958. Peryglacjalny rozwój stoków Masywu Ślęży. *Biul. Perygl.*, 6: 8–92.
- Székely B., Danišik M., Kuhlemann J., Frisch W. 2005. The real face of Corsica: evaluation of local slope histograms reveals hidden structural features. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 05861.
- Tułaczyk S. 1992. Cuesta landscape in the middle part of the Sudetes. *Geogr. Polonica*, 60: 137–150.
- Willson J.P., Gallant J.C. 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Wiley & Sons, New York, s. 479.
- Żelaźniewicz A. 2005. *Dzieje Ziemi. Przeszłość geologiczna*. [W:] J. Fabiszewski (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*. Wyd. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, s. 61–134.
- Zhou Q., Lees B.G., Tang G.A. (red.) 2008. *Advances in Digital Terrain Analysis. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, s. 465.
- Żurawek R. 2002. Geneza głównych rysów rzeźby Masywu Ślęży. *Przegląd Geograficzny*, 74, 1: 41–59.