

Zastosowanie klasyfikacji wytrzymałości mas skalnych w analizie rzeźby skałkowej

Artur Sobczyk*

Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, ul. Cybulskiego 32, 50-205 Wrocław

Wprowadzenie

Stworzona przez Selby'ego (1980) klasyfikacja wytrzymałości mas skalnych (WMS) została opracowana na potrzeby badań geomorfologicznych. Na jej podstawie można wyznaczyć m.in. zależność między kątem nachylenia stoku a ogólną wytrzymałością skały. W badaniach terenowych wykorzystywany jest młotek Schmidta, który znalazł liczne zastosowania w badaniach geomorfologicznych (por. Placek 2007). Urządzenie to wskazuje wartość odboju (R), która jest pochodną stopnia elastyczności powierzchni skalnej zależnej od twardości, a zatem i od stopnia zwietrzenia skały. Niestety wyniki uzyskiwane w terenie mogą być obarczone dużym błędem, a wpływają na to sposób oraz intensywność eksploatacji młotka, charakter powierzchni, na której dokonujemy pomiaru, roślinność, wody, spękania, stopień zwietrzenia oraz skład petrograficzny (McCarroll 1987). Dotychczasowe prace z zakresu klasyfikacji wytrzymałości mas skalnych zmierzały do określenia korelacji między nachyleniem stoku a wartością WMS (Selby 1980, Abrahams, Parsons 1987, Synowiec 1999). Autor pracy podjął próbę zastosowania klasyfikacji Selby'ego do szukania zależności pomiędzy wysokością formy skałkowej a wartościami parametrów WMS.

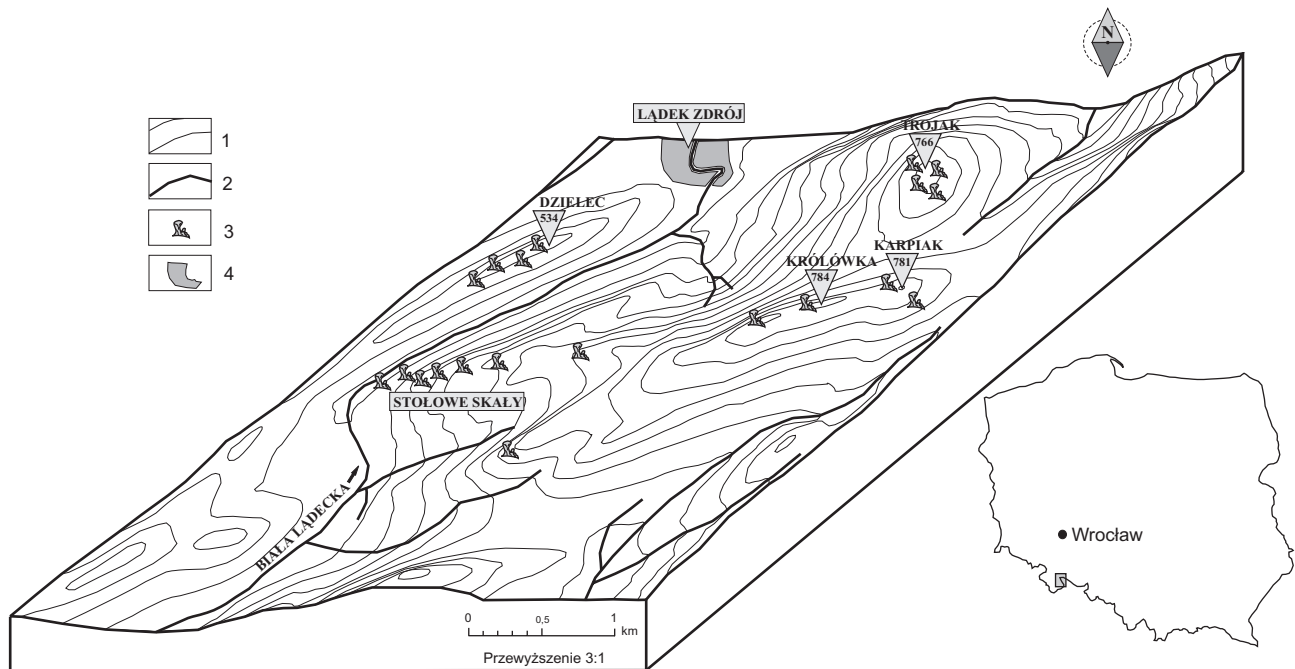
Obszar badań i metody pracy

Pracami terenowymi został objęty fragment środkowej części Gór Złotych w Sudetach Wschodnich o powierzchni 10 km² leżący w bliskim sąsiedztwie miasta Łądek-Zdrój (ryc. 1). Obszar ten obejmuje masy-

wy czterech wzniesień Dzielca (534 m), Królówki (784 m), Karpiaka (781) i Trojaka (766). Pod względem geologicznym jest on zbudowany głównie z wczesnopaleozoicznych gnejsów, wśród których dominują odmiany gierałtowska oraz śnieżnicka (Gierwielaniec 1971, Cymerman, Cwojdzinski 1988). W rzeźbie obszaru badań można wyróżnić charakterystyczne powierzchnie zrównań oraz liczne gnejsowe skałki występujące w różnej pozycji topograficznej (Sobczyk 2005). Ponadto na relief obszaru składają się peryglacialne pokrywy blokowe zalegające na stromo nachylonych stokach oraz niewielkie obniżenia dolinne. Zauważalna jest również charakterystyczna zależność rzeźby obszaru od czynników tektonicznych, co manifestuje się głównie w układzie rzek i wypływów źródeł mineralnych, które nawiązują do sieci uskoków (Gierwielaniec 1968). Również rozwój poziomów zrównań związany był najprawdopodobniej z aktywnością tektoniczną obszaru badań w przeszłości i jego blokowym wypiętrzaniem. Wpływy tektoniki kruchej są dobrze czytelne również w budowie samych skałek i układzie głównych spękań tnących ich powierzchnie.

Analizowane wychodnie skalne zostały podzielone według kryterium pozycji topograficznej (skałki szczytowe, stokowe, grzbietowe, wyrastające) oraz kształtu formy (por. Sobczyk 2005). Dalszy etap stanowiły prace terenowe związane z określaniem parametrów potrzebnych do wyznaczenia wartości wytrzymałości mas skalnych. Pod uwagę brane były wszystkie wyróżnione przez Selby'ego (1980) parametry oraz jeden nowy – wysokość skałki. W celu określenia twardości powierzchni skalnej w pracach terenowych został użyty młotek Schmidta typu N o zakresie pomiaru 10–70 N/mm. Pomiaru orientacji przestrzennej spękań oraz

* e-mail: artur.sobczyk@ing.uni.wroc.pl

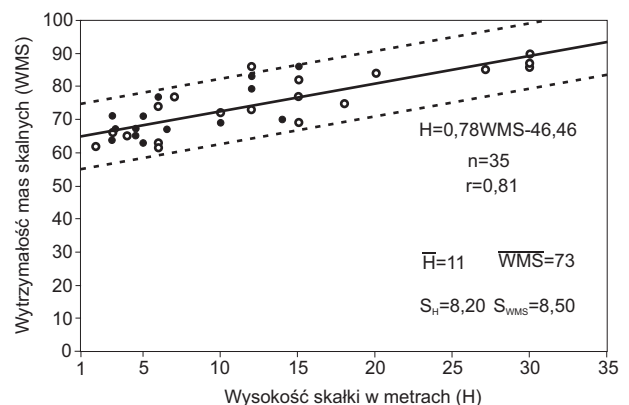


Ryc. 1. Blokdiagram obszaru badań w Górach Złoty (Sudety Wschodnie)
 1 – poziomice (co 25 m), 2 – rzeki, 3 – skałki, 4 – teren zabudowany

powierzchni skałek były prowadzone za pomocą kompasu geologicznego, natomiast pomiar szerokości spękań, ich odległości między sobą oraz długości – taśmą mierniczą. Na podstawie uzyskanych wyników wyliczono wartości WMS dla poszczególnych stanowisk oraz wyznaczono korelację obrazującą zależność między wartością WMS a wysokością poszczególnych skałek. Pomiary wykonano dla 35 stanowisk tworzących grupę reprezentatywną spośród wszystkich 56 form skałkowych. Wybrane wychodnie charakteryzują się brakiem roślinności, nieobecnością przejawów wietrzenia oraz brakiem śladów daleko posuniętej dezintegracji. Wychodnie skalne były dobierane pod względem wysokości w przedziale od 2 do 30 m, aby uzyskać możliwie najpełniejszy obraz zależności między WMS a wysokością. Pomiary terenowe zostały przeprowadzone w okresie wiosennym w celu zminimalizowania wpływu wegetacji roślinnej na uzyskiwane wartości odboju.

Wyniki

Na podstawie analizy wyników pomiarów terenowych została wyznaczona korelacja między wysokością poszczególnych skałek a wartościami parametru WMS (ryc. 2). Linia trendu opisuje zależność między porównywanymi cechami. Liniami przerywanymi wyznaczono zakres koperty równowagi wytrzymałościowej w rozumieniu Abrahama i Parsonsa (1987). W omawianym przypadku pozwala ona na wskazanie, czy skałki jako element reliefu pozostają w stanie równowagi wytrzymałościowej, czy też znajdują się w stanie nierównowagi. Uzyskano silną kore-



Ryc. 2. Zależność wytrzymałości mas skalnych (WMS) od wysokości skałki (H) według wyników badań przeprowadzonych w Górach Złoty; linie przerywane wyznaczają zakres koperty równowagi wytrzymałościowej; czarne punkty reprezentują skałki w pozycji szczytowej i wyrastającej, białe skałki w pozycji grzbietowej i stokowej

lację dodatnią pomiędzy parametrami wysokości skałki a wytrzymałością mas skalnych na poziomie $r=0,81$. Pozwala to na określenie wartości wytrzymałości mas skalnych na podstawie znanej wysokości skałki z błędem standardowym $S_{WMS}=8,50$. Dalsza analiza wyznaczonej koperty równowagi wytrzymałościowej skałek wskazuje, że wszystkie obiekty skalne znajdują się w stanie równowagi wytrzymałościowej. Punkt projekcyjny, który znalazł się poza zakresem koperty równowagi, odzwierciedla prawdopodobnie niedoskonałości płynące z metody.

Tabela 1. Wartości parametrów wytrzymałości mas skalnych (WMS) dla badanych skałek na obszarze Gór Złotych oraz wysokości skałek (H) w metrach

Lokalizacja	Trojak	Królówka i Karpiak	Stołowe Skały										Dzielec
Numer stanowiska	1 4 4 3 3 6 6 7 5 9 11 11 11 10 12	14 18 23 24 26 25	42 42 41 40 36 37 35 29 31 27	55 51 44 53									
Wytrzymałość niezwietrzałej skały	20 20 18 18 20 20 18 20 20 20 20 20 20 20	18 18 18 18 18 18	20 18 18 18 20 18 20 18 20 20	18 20 18 20									
Stopień zwietrzenia	9 10 9 9 9 10 10 7 10 10 10 10 10 9	9 9 7 9 9 7	9 9 9 9 10 9 9 9 7 9	10 10 9 10									
Odległość między spękaniami	15 28 21 15 15 30 21 15 21 30 30 28 28 28	15 15 21 21 21 21	28 21 21 28 28 15 15 21 15 28	21 15 21 15									
Orientacja spękań	9 14 9 9 9 14 14 14 14 14 14 14 14 9	9 9 5 5 9 5	9 9 9 9 14 9 9 9 9 9 9 9 9	14 9 9 14									
Szerokość spękań	4 2 4 4 2 2 5 2 4 2 2 5 4 2	4 2 2 4 4 4	4 2 5 2 2 2 2 2 5 2 2 2 2	4 4 4 5									
Ciągłość i wypełnienie spękań	5 5 4 4 4 4 1 1 4 1 4 5 4 4 1	4 5 5 4 5 5	6 4 5 1 4 4 1 4 4 1 1 4 4	4 4 4 5									
Odpływ wody	5 6 6 6 6 6 6 6 5 6 6 6 6 5	6 6 6 6 6 6	6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	6 6 6 6									
Razem	67 85 71 67 65 86 77 62 79 83 86 90 87 86 74	65 64 64 67 72 66	82 69 73 73 84 63 62 69 63 77	77 70 71 75									
Wysokość skałki w metrach	6,5 27 3 4,5 4,5 15 15 6 12 12 30 30 30 12 6	4 3 3 3,2 10 3	15 15 6 12 20 6 4 10 5 7	6 14 5 18									

Wnioski

Uzyskane wyniki (tab. 1) potwierdzają pogląd, że skałki reprezentują bardzo stabilny element rzeźby (por. Sobczyk 2006b), którego rozwój i formowanie są uzależnione m.in. od parametrów wytrzymałościowych mas skalnych. Nie zostało stwierdzone wyraźne obniżenie bądź podwyższenie wartości WMS wynikające z położenia skałki w terenie i jej ekspozycji. Wyznaczona koperta równowagi wytrzymałościowej dla wychodni skalnych wskazuje, że zmiany rzeźby skałkowej w Górach Złotych są uwarunkowane ich budową, natomiast czynniki zewnętrzne (m.in. erozyjne podcinanie podstawy skałek) nie odgrywają znaczącej roli morfoloficznej w rozwoju rzeźby skałkowej. Stwierdzenie to pozostaje w zgodności z obserwacjami dotyczącymi głównych cech rzeźby okolic Łądka-Zdroju, która nie wykazuje obecności współczesnych znaczących aktywnych procesów geomorfologicznych wpływających na rzeźbę skałek. Obecnie wszelkie zmiany zachodzą na małą skalę i wiążą się głównie z erozją wsteczną rzek oraz wietrzeniem powierzchni skałek. Współcześnie największą rolę morfoloficzną odgrywają procesy związane z przekształceniami antropogenicznymi okolicznych stoków oraz dolin rzecznych (Latocha 2003, Sobczyk 2004). Kształt form skałkowych jest w głównej mierze uwarunkowany cechami ich budowy, a w szczególności odległością między spękaniami oraz ich orientacją. Podczas gdy wartości uzyskiwane przy użyciu młotka Schmidta dają niemal zawsze odczyty powyżej 55, pierwszorzędne znaczenie mają wartości parametrów określających spękania. Stanowią one kluczowy czynnik decydujący o ostatecznej sumarycznej wartości parametru wytrzymałości mas skalnych (WMS). Uzyskane wartości parametrów WMS dla gnejsów obszaru badań reprezentują dwie klasy wartości: WMS= 51–70 (wytrzymałość wysoka) oraz WMS=71–90 (wytrzymałość bardzo wysoka). Cechy rozmieszczenia skałek w poszczególnych masywach wskazują, że ich osie podłużne i poprzeczne nawiązują biegiem do istniejących układów spękań. Oznacza to, że czynnik geologiczny mógł mieć podstawowe znaczenie dla powstawania skałek, kontrolując lokalizację stref wietrzenia (Sobczyk 2006a). Podobne zależności zostały stwierdzone dla skałek wykształconych w innych typach litologii (Jahn 1962, Twidale 1976, Gerard 1982). W rozwoju rzeźby skałkowej obszaru gnejsowego Gór Złotych kluczową rolę odegrał układ spękań pionowych w skale. Ze względu na niemal jednorodną budowę geologiczną obszaru badań rolą spękań tnących masyw skalny i uwarunkowane nimi krążenie wód wpłynęły bezpośrednio na sposób wykształcenia morfologii skałkowej. Stwierdzona silna dodatnia korelacja między wysokością skałek a wytrzymałością budującego je materiału pozwala przypuszczać, że dalsze analizy geomorfologiczne

obszarów skałkowych prowadzone w oparciu o zaprezentowaną metodę rokują dobre perspektywy.

Literatura

- Abrahams A.D., Parsons A.J. 1987. Identification of strength equilibrium rock slope: further statistical considerations. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 12, 6: 631–635.
- Cymerman Z., Cwojdzński S. 1988. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Strachocin i Bielice. Wyd. Geol., Warszawa.
- Gerrard A.J.W. 1982. Granite structures and landforms. [W:] B.H. Adlam, C.R. Fenn, L. Morris (red.), *Papers in Earth Studies*. Geo Books, Norwich, s. 69–105.
- Gierwielanec J. 1968. Łądek Zdrój i jego wody mineralne. *Kwart. Geol.*, 12, 3: 681–693.
- Gierwielanec J. 1971. Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1:25 000. Ark. Łądek Zdrój. Wyd. Geol., Warszawa.
- Jahn A. 1962. Geneza skałek granitowych. *Czas. Geogr.*, 33: 19–44.
- Latocha A. 2003. Geomorfologiczno-sedymentologiczny zapis antropopresji w środowisku górskim Sudetów Wschodnich. [W:] J.M. Waga, K. Kocel (red.), *Człowiek w środowisku przyrodniczym – zapis działalności*. Sosnowiec, s. 113–118.
- McCarroll D. 1987. The Schmidt hammer in geomorphology: five sources of instrument error. *BGG Tech. Bull. Ser.*, 36: 16–27.
- Placek M. 2007. Rola zróżnicowania wytrzymałości skał w genezie rzeźby Masywu Ślęży (Przedgórze Sudeckie). *Przeł. Geol.*, 55, 10: 861–869.
- Selby M.J. 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeit. Geomorph. N.F.*, 24, 1: 31–51.
- Sobczyk A. 2004. Formy antropopresji na stokach środkowej części Gór Złotych (Sudety Wschodnie). [W:] R. Machowski, M. Rzętała (red.), *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, *Prace WNoZ UŚ*, 31: 102–110.
- Sobczyk A. 2005. Rzeźba skałkowa środkowej części Gór Złotych. *Przyroda Sudetów*, 8: 147–162.
- Sobczyk 2006a. Przeobrażenia hipergeniczne w gnejsach i ich znaczenie dla rozpoznania ewolucji morfologicznej środkowej części Gór Złotych. *Prace Naukowe Instytutu Górniczo Politechniki Wrocławskiej*, 116, Seria Konferencje, 47: 381–391.
- Sobczyk A. 2006b. Rzeźba skałkowa – poglądy na genezę skałek oraz stan badań w Polsce. *Przeł. Geograficzny*, 78, 3: 365–381.
- Synowiec G. 1999. Ocena wytrzymałości mas skalnych dla celów geomorfologicznych i jej zastosowanie dla stoków piaskowcowych Gór Stołowych. *Czasop. Geogr.*, 70, 3–4: 351–361.
- Synowiec G. 2002. Rzeźba strukturalna Gór Stołowych w świetle klasyfikacji wytrzymałości mas skalnych. *Acta Univ. Nic. Coper.*, Geografia, 32, 109: 215–223.
- Twidale C.R. 1976. *Fractures in the crust: joints*. [W:] *Analysis of landforms*. Wiley&Sons, Sydney, s. 42–79.