

**Piotr Migoń\***

**KONWERCENCJA FORM I PROCESY RZEŻBOTWÓRCZE  
W PŁYTOWYCH OBSZARACH PIASKOWCOWYCH  
W RÓŻNYCH STREFACH MORFOKLIMATYCZNYCH**

**Landform convergence and geomorphic processes in sandstone  
tablelands in different morphoclimatic zones**

**Abstract.** Sandstone tablelands across the world show remarkable similarity of relief, from regional landform associations to small-scale features due to selective weathering. Strong structural control exerted by high rock mass strength explains the ubiquitous occurrence of cliffs and escarpments and dictates the geomorphic evolution through long-term scarp retreat. In terms of processes, there may be differences in nature and rates between different climatic zones, but this does not affect overall direction of landform evolution through time.

**Key words:** Sandstone geomorphology, tableland, landform convergence

**Słowa kluczowe:** rzeźba piaskowcowa, rzeźba płytowa, konwergencja form

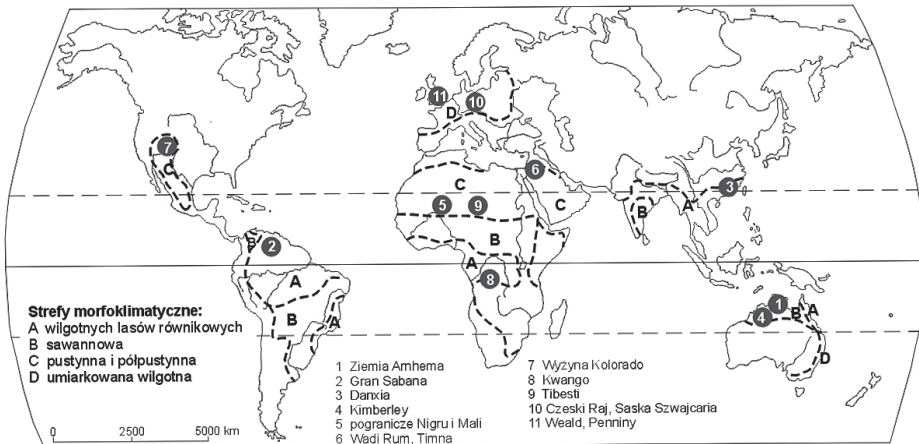
**WSTĘP**

Jednym z zadań geomorfologii jako nauki jest klasyfikacja form rzeźby terenu. Wbrew pozorom, wypracowanie satysfakcjonującego schematu klasyfikacyjnego jest niezwykle trudne, nie tylko dlatego, że formy rzeźby różnią się wielkością i występują w złożonych układach hierarchicznych, ale również, a może przede wszystkim dlatego, że ich istnienie odzwierciedla oddziaływania różnych czynników zewnętrznych i wewnętrznych. Ta świadomość legła u podstaw wyodrębnienia się dwóch znaczących kierunków w geomorfologii: strukturalnej i klimatycznej. W ramach każdego z nich formy rzeźby były klasyfikowane inaczej. W geomorfologii strukturalnej akcentowane były bezpośrednie uwarunkowania wynikające z budowy geologicznej, a wśród wyróżnianych ty-

---

\* Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, e-mail: migon@geogr.uni.wroc.pl

pów rzeźby strukturalnej istotne miejsce zajmowała zawsze rzeźba płytowa (Demek, Zeman 1979). Równocześnie zauważono, że powstająca w obszarach platformowych rzeźba płytowa nabiera szczególnych cech wówczas, gdy w skład struktury płytowej wchodzi masywne piaskowce kwarcowe, tworzące grube ławice o dużej rozciągłości. Wówczas wyróżnia się ona obecnością progów strukturalnych, urwisk skalnych, skalnych amfiteatrów, głębokich kanionów i licznych form ostańcowych, często o fantazyjnych kształtach (np. Young, Young 1992, *Sandstone Landscapes* 2007). Piaskowcowe płaskowyże o powyższych cechach rzeźby zostały opisane z różnych regionów świata, od równikowych i podrównikowych wyżyn Afryki i Australii przez pustynie Sahary i Blisiego Wschodu po obszary subpolarne (ryc. 1).



**Ryc. 1.** Rozmieszczenie wymienionych w tekście obszarów piaskowcowych na tle głównych stref morfoklimatycznych (zasięgi stref wg Tricart, Cailleux 1972)

**Fig. 1.** World distribution of sandstone tablelands mentioned in the paper in relation to major morphoclimatic zones (extent after Tricart, Cailleux 1972)

Podjęcie klasyfikacyjne w nurcie geomorfologii klimatycznej było odmienne, a jego istotą było wyznaczanie stref morfoklimatycznych, w których działają pewne charakterystyczne zespoły procesów (Tricart, Cailleux 1972). O geomorfologicznej odrębności poszczególnych stref miały stanowić procesy dla nich endemiczne lub szczególne natężenie niektórych procesów, notowane w skali całorocznej lub sezonowej. W takim ujęciu płytowe obszary piaskowcowe nie stanowią szczególnego typu rzeźby, a z punktu widzenia jej ewolucji miały mieć więcej wspólnego z obszarami sąsiednimi, odmiennymi pod względem strukturalnym, ale położonymi w tej samej strefie klimatycznej, niż z podobnymi geologicznie strukturami w innych strefach klimatycznych. Dzisiaj wydaje się nie ulegać wątpliwości, że szczególnie rys płytowych obszarów pias-

kowcowych wynika z uwarunkowań strukturalnych, nie sposób jednak zaprzeczyć, że w różnych środowiskach rozwój rzeźby może przebiegać nieco odmiennie. Celem tego artykułu jest dokonanie krótkiego przeglądu procesów rzeźbotwórczych kształtujących płaskowyże piaskowcowe w różnych strefach morfoklimatycznych i dyskusja problemu konwergencji form rzeźby.

### STREFA WILGOTNYCH KLIMATÓW RÓWNIKOWYCH I ZWROTNIKOWYCH

Płytowe obszary piaskowcowe w strefie wilgotnych i sezonowo wilgotnych klimatów równikowych i zwrotnikowych są mniej znane, niż ich odpowiedniki ze strefy suchej, niemniej występują w Afryce, Azji, Australii i Ameryce Południowej, nierzadko tworząc spektakularne zespoły form rzeźby. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują rozwinięte w proterozoicznych piaskowcach „skalne miasta” w północnej Australii, na płaskowyżu Kimberley i na Ziemi Arnhem (Jennings 1983, Young 1986), góry stołowe w piaskowcach kwarcytowych Gran Sabana w Wenezueli (Briceno, Schubert 1990, Doerr 1999) oraz liczne zespoły form ostańcowych na mezozoicznych piaskowcach środowiska kontynentalnego w południowo-wschodnich Chinach (Peng 2000, 2007). Te ostatnie cechują się na tyle wyrazistą i unikatową rzeźbą, że w morfograficznej regionalizacji Chin są traktowane szczególnie i określane jako typ rzeźby „Danxia”, od nazwy obszaru w północnej części prowincji Guangdong.

Przegląd przykładów rzeźby piaskowcowej w strefie tropikalnej prowadzi do wniosku, że trudno wyróżnić jeden, szczególny dla niej typ geomorfologiczny (Young, Young 1992). Stoki piaskowcowe występują w różnych postaciach, od pionowych urwisk kilkusetmetrowej wysokości podlegających długotrwałemu cofaniu, jak na płaskowyżu Gran Sabana, do zaokrąglonych form wypukłych, typowych dla parku narodowego Purnululu (Bungle Bungle) w Australii i krajobrazów Danxia w Chinach (fot. 1). W ewolucji stoków pionowych ważną rolę odgrywają obrywy, dokumentowane rumowiskami bloków u podnóża ścian skalnych, inne jednak – jak stoki kopuł w Purnululu – podlegają głównie dezintegracji granularnej (Young 1986). W niektórych obszarach piaskowcowe płaskowyże są zwarte i nie rozczłonkowane, w innych natomiast nastąpiła ich daleko posunięta fragmentacja wskutek rozwoju kanionów rzecznych i głębokich rozpadlin założonych na spękaniach.

Trudno także jednoznacznie wskazać drobne formy rzeźby, specyficzne dla ciepłego i wilgotnego klimatu. Piaskowcowe ściany skalne w pd.-wsch. Chinach obfitują wprawdzie w żłobki i rynny, których obecność jest przypisywana erozyjnej działalności wody spływającej po powierzchni podczas intensywnych opadów (Peng 2000), to jednak podobne formy znane są także z pozostałych



**Fot. 1.** Urwiska skalne przechodzące wyżej w formy wypukłe w piaskowcowym obszarze Fangyan w pd.-wsch. Chinach (fot. P. Migoń)

**Photo 1.** Rock precipices grading into convex rock slopes in the sandstone area of Fangyan in south-east China (photo by P. Migoń)

stref morfoklimatycznych, a ich ewentualne odziedziczenie z okresu panowania innych warunków środowiskowych pozostaje w sferze hipotez (Williams, Robinson 1994, Wray 1997a). Przynajmniej część z tych form powstaje zresztą przy udziale rozpuszczania krzemionki, tak więc jednoznaczne wiązanie formy z mechanizmem powstawania nie jest uzasadnione (Wray 1997a).

Wydaje się, że najbardziej specyficznym rysem rzeźby obszarów piaskowcowych niskich szerokości geograficznych jest obecność form wskazujących na zaawansowany proces krasowy w skałach krzemionkowych. Wizualne podobieństwa między wapienną rzeźbą krasową, w szczególności krasem wieżowym, a niektórymi obszarami piaskowcowymi były zauważone wiele lat temu (Jennings 1983), to jednak kluczową rolę rozpuszczania, głównie w odniesieniu do cementu spajającego ziarna kwarcu, udokumentowano stosunkowo niedawno (Young 1986, Young, Young 1992, Wray 1997b). Usunięcie cementu obniża znacznie zwięzłość skały i czyni ją podatną na dalsze wietrzenie mechaniczne i erozję. Typowe formy krasowe są opisywane rzadziej. Jednym z takich obszarów jest krajobraz gór stołowych Gran Sabana, obfitujący w formy krasowe: zagłębienia bezodpływowe, studnie, głębokie żłobki szczelinowe, płytkie żłobki powierzchniowe i pola żeber (Doerr 1999). Formy krasowe w postaci paleouwałów i kanałów freatycznych zostały także opisane w obrębie piaskowcowych

ostańców Libii, Nigru i Mali w dzisiejszej strefie suchej, gdzie są interpretowane jako relikty krasu krzemionkowego z wcześniejszych, bardziej wilgotnych okresów (Busche, Erbe 1987, Sponholz 1989).

### ZWROTNIKOWA STREFA PUSTYŃ I PÓLPUSTYŃ

Pustynne i półpustynne tereny Sahary, Bliskiego Wschodu i Wyżyny Kolorado to obszary występowania szczególnie spektakularnych krajobrazów piaszkowcowych. Ich wyrazistość podkreśla ubóstwo lub wręcz brak roślinności i cienka, nieciągła pokrywa zwietrzelinowa, wynikająca z jednej strony z mniejszej efektywności pedogenezy, z drugiej zaś z epizodycznymi opadami o dużym natężeniu, powodującymi zmyw powierzchniowy i usuwanie produktów wietrzenia. Do konsekwencji tych uwarunkowań środowiskowych należy wyjątkowa czytelność związków budowy geologicznej z rzeźbą terenu, widoczna w różnych skalach przestrzennych, od pojedynczego stoku (Oberlander 1989) do dużych zespołów krajobrazowych (Schmidt 1994).

Szczególne wyrazistość rzeźby pustynnych obszarów piaszkowcowych była niejednokrotnie analizowana w konwencji geomorfologii klimatycznej (np. Ahnert 1960), a Tricart i Cailleux (1972) przedyskutowali trzy przykłady rzeźby płytowej w piaszkowcach z różnych stref klimatycznych (Sierra Leone, Mauretania, Francja) w celu wykazania celowości analizy rzeźby przez pryzmat klimatu i procesu. To ostatnie stanowisko zostało mocno skrytykowane przez R. i A. Young (1992), którzy podkreślili, że różnorodność form przypisywanych zróżnicowaniu czynnika klimatycznego wynika w rzeczywistości z odzwierciedlenia się czynnika litologiczno-strukturalnego, w tym wytrzymałościowego. Równocześnie nie sposób zaprzeczyć, że pozornie typowe formy rzeźby pustynnej, takie jak wysokie urwiska skalne, góry-świadki (fot. 2), bezwodne poszerzone szczeliny między skalnymi monolitami, łuki skalne, iglice i formy wietrzenia kawernowego występują także w innych strefach klimatycznych, w tym strefie wilgotnego klimatu umiarkowanego (Young, Young 1992).

Niemniej, przegląd literatury wskazuje, że obszary pustynne i półpustynne cechują się występowaniem form i procesów rzadko spotykanych w innych strefach, aczkolwiek na ogół dotyczą one mniejszej skali przestrzennej. Po pierwsze, podnóża skalnych urwisk piaszkowcowych są nierzadko pozbawione rumowiska, ewentualnie występuje ono w postaci szczątkowej (Schumm, Chorley 1966, Goudie i in. 2002). Za takie sytuacje odpowiedzialna jest inicjalna dezintegracja odpadających fragmentów skalnych przy uderzeniu, ale przede wszystkim wysoka wydajność wietrzenia fizycznego w pozycji podstokowej i duża efektywność odprowadzania materiału piaszczystego przez wiatr i sporadyczny spływ



**Fot. 2.** Stoliwa i góry-świadki w półpustynnym środowisku Wyżyny Kolorado (fot. P. Migoń)

**Photo 2.** Tableland morphology with outliers in the semi-desert environment of the Colorado Plateau (photo by P. Migoń)

powierzchniowy. W pd.-zach. Jordanii rumowiska są szybko przekształcane w podstokowe rampy depozycyjne, których długość może dochodzić do kilkuset metrów (Migoń i in. 2005).

Po drugie, ściany skalne są powszechnie pokryte czerwono-brązową skorupą werniszu, osiagającą znaczną grubość na powierzchni piaskowców o oryginalnie dużej zawartości żelaza. Pełni ona ważną funkcję ochronną, hamując dezintegrację granularną i umożliwiając powstanie spektakularnych form wietrzenia kawernowego, osiagających nawet do kilku metrów długości. Czasowe powstrzymanie wietrzenia ściany skalnej, przy równoczesnej kontynuacji tego procesu u podstawy, prowadzi do rozwoju nisz i okapów, osłabiających stabilność stoku. W dalszej kolejności skutkuje to obrywami i przewracaniem kolumn skalnych, które to procesy wydają się mieć kluczowe znaczenie w ewolucji rzeźby niektórych obszarów pustynnych, jak na przykład okolic Wadi Rum w Jordanii (Goudie i in. 2002, Migoń 2007) i Timna w Izraelu (Matmon i in. 2005).

Po trzecie, w obszarach półsuchych, takich jak Wyżyna Kolorado, znaczącym czynnikiem morfogenetycznym jest zespół procesów określanych jako erozja źródłiskowa w miejscach skoncentrowanego wypływu wód podziemnych (*groundwater sapping*). W efekcie powstają wielkie amfiteatry skalne, okapy i alkowy (Laity, Malin 1985; fot. 3), a progi strukturalne przybierają w planie zato-



**Fot. 3.** Cyrki źródłiskowe w parku narodowym Canyonlands, USA (fot. P. Migoń)

**Photo 3.** Sapping cirques in the Canyonlands National Park, USA (photo by P. Migoń)

kowy przebieg (Schmidt 1994). Proces erozji źródłiskowej nie jest jednak wyjątkowy dla tej strefy. Podobne formy zostały opisane na przykład na wyżynie Kwango w Kongo, a cofanie się progów płaskowyżu dokonuje się głównie za sprawą erozji źródłiskowej i towarzyszących jej osuwisk (Grzybowski 1981).

Po czwarte, wiele pustynnych obszarów ze skalną rzeźbą piaskowcową wykazuje wyraźne ślady korazyjnej działalności wiatru. Klasycznym obszarem występowania takiej rzeźby jest południowa Sahara na południe od masywu Tibesti, gdzie na przestrzeni dziesiątków kilometrów rozciągają się równoległe bruzdy wycięte w skalnym podłożu, o orientacji zgodnej z dominującym kierunkiem wiatru (Mainguet 1972). W przeszłości za typowe formy pustynnej rzeźby piaskowcowej uważano także ostańce w kształcie grzybów, jednak obecnie większe znaczenie przypisuje się zróżnicowanemu wietrzeniu i uwarunkowaniom litologicznym, natomiast rola wiatru polega głównie na usuwaniu materiału rozdrobnionego przez wietrzenie.

### STREFA KLIMATU UMIARKOWANEGO WILGOTNEGO

Przykładem strefy umiarkowanej o wilgotnym klimacie, w której powszechnie występują obszary piaskowcowe, jest środkowa i zachodnia Europa. Znane są one przede wszystkim z Masywu Czeskiego, pogranicza Francji, Niemiec i Luksemburga oraz Wielkiej Brytanii i cechują się dużym zróżnicowaniem

morfolożycznym (Robinson, Williams 1994, *Sandstone Landscapes* 2007). W piaskowcach o niskiej wytrzymałości mechanicznej, zwykle arkozowych o węglanowym lub ilastym spoiwie rozwija się rzeźba falista i pagórkowata, ze sporadycznymi wychodniami skalnymi, ograniczonymi do zboczy dolinnych i pojedynczych, niskich skałek ostańcowych. Znacznie bardziej efektowna jest rzeźba w masywnych, gruboławicowych piaskowcach kwarcowych, obecna na przykład wzdłuż południowego podnóża Sudetów i lokalnie wewnątrz nich (fot. 4). Jej wyznacznikiem są długie progi zwieńczone urwiskami, ostańcowe stoliwa, głębokie kaniony, izolowane wieże i baszty, niekiedy tworzące rozległe labirynty skalne. Stopień rozczłonkowania płyt piaskowcowych jest różny i zależy od pozycji względem głównych linii odwodnienia i gęstości młodych linii uskoku. Dobrym przykładem są zajmujące położenie wododziałowe Góry Stołowe w Sudetach Środkowych, gdzie erozyjne rozczłonkowanie jest nieznaczne, podczas gdy w niedalekiej Broumovskiej vrchovinie i na obszarze Czeskiego Raju powstały rozległe „skalne miasta”, a pierwotne piaskowcowe stoliwa zachowały się w formie szczątkowej.

Wyróżnienie w obrębie obszarów piaskowcowych środkowej Europy elementów rzeźby wyjątkowych dla klimatu umiarkowanego wilgotnego jest problematyczne. Robinson i Williams (1994) kilkakrotnie podkreślają, że opisywane przez nich formy występują także w innych uwarunkowaniach środowiskowych,



**Fot. 4.** Znaczne rozczłonkowanie płyty piaskowców kredowych Czeskiego Raju w pobliżu miejscowości Hrubá Skála (fot. P. Migoń)

**Photo 4.** Considerable dissection of the Cretaceous sandstone tableland of the Bohemian Paradise, near the village of Hrubá Skála (photo by P. Migoń)



zwłaszcza w strefie suchej lub peryglacjalnej, a główną rolę w kształtowaniu obrazu geomorfologicznego odgrywają czynniki strukturalne i wytrzymałościowe. Podobnie Adamovič i in. (2006), wszechstronnie charakteryzując geomorfologię Czeskiego Raju nie zdecydowali się na wskazanie form, które miałyby być wskaźnikowe dla strefy umiarkowanej. Czynnikiem dodatkowo komplikującym poszukiwanie zależności między uwarunkowaniami środowiskowymi, procesem a formą są drastyczne zmiany środowiska w ciągu ostatnich kilku milionów lat, kiedy kształtowała się rzeźba denudacyjna omawianych obszarów. Rozwijała się ona w warunkach środowiska klimatu umiarkowanego ciepłego, być może nawet odmiany półsuchej w początkach pliocenu, peryglacjalnego o różnym stopniu surowości w plejstocenie, wreszcie w warunkach zbliżonych do współczesnych w interglacjalach. Przynajmniej część widocznych dzisiaj rumowisk skalnych i usypisk u podnóży urwisk jest świadectwem wydajnego wietrzenia fizycznego w klimacie zimnym, podobnie otwieranie spękań, rozwój głębokich rozpadlin i powolne osuwanie się wielkich pakietów piaskowców przypisywane jest warunkom peryglacjalnym i powtarzającemu się zamarzaniu i rozmarzaniu gruntu (Pulinowa 1989, Robinson, Williams 1994).

## DYSKUSJA

Obszary o rzeźbie płytowej, w których piaskowce stanowią ważne ogniwo morfotwórcze, cechują się wyjątkowym urozmaiceniem morfologicznym, widocznym w makro-, mezo- i mikroskali (Vítek 1979, Young, Young 1992, Robinson, Williams 1994, Adamovič i in. 2006). Równocześnie jednak zauważono, że występowanie wielu z tych form, niezależnie od ich wielkości, powtarza się w różnych strefach morfoklimatycznych. W odniesieniu do „klasycznego” obszaru piaskowcowego Saskiej Szwajcarii koło Drezna, na jego uderzające podobieństwo do skalnych miast znanych z pustyni północnej Afryki zwrócił uwagę A. Hettner już w 1903 r. (za Young, Young 1992). Wyjaśnienia tej różnorodności z jednej, a podobieństw z drugiej strony, były podejmowane w nawiązaniu do wszystkich trzech głównych grup czynników decydujących o rozwoju rzeźby: budowy geologicznej, warunków środowiskowych decydujących o intensywności procesu oraz długości morfogenezy i wieku rzeźby.

Przy poziomym lub zbliżonym do poziomego zaleganiu ławic skalnych istnieje naturalna strukturalna predyspozycja do rozwoju progów strukturalnych, występujących samodzielnie (kuest) lub tworzących morfologiczne ramy płaskowyżów – stoliw. Ich typowym elementem jest stromy segment stoku skalnego, całkowicie pozbawiony pokrywy zwietrzelinowej, a nawet przybierający postać urwiska o wysokości od kilku do ponad stu metrów. Nachylenie takiego segmentu jest funkcją całkowitej wytrzymałości masywu skalnego, o której

w znacznej mierze stanowią cechy systemu spękań (Selby 1980). Ogniwa piaskowcowe w strukturach płytowych są często masywne, gruboławicowe i mało spękane, stąd tendencja do tworzenia się urwisk, niezależnie od warunków środowiskowych i wieku rzeźby. Różnice w wysokości i nachyleniu progów strukturalnego są na ogół związane ze zróżnicowaniem wytrzymałości skały, co wykazano między innymi dla piaskowców parku narodowego Canyonlands na Wyżynie Kolorado (Nicholas, Dixon 1986), a w Sudetach dla progów ograniczających stoliwo Gór Stołowych (Migoń, Zwiernik 2006, Remisz 2007).

Sąsiedztwo elementów powierzchni o kontrastowo różnych nachyleniach – skalnego urwiska i łagodnie pochyłonej wierzchowiny powoduje, że procesy rzeźbotwórcze działają ze znacznie większą wydajnością w obrębie stoku skalnego. W szczególności dotyczy to wietrzenia i ruchów masowych, a konsekwencją jest długotrwała tendencja do cofania stoku. Tendencja ta jest zachowana niezależnie od charakteru procesu kształtującego ścianę skalną, który może być do pewnego stopnia uwarunkowany warunkami klimatycznymi, jak to przedstawiono wcześniej. Równocześnie zróżnicowanie gęstości spękań i warunków odwodnienia podziemnego może skutkować nierównomiernym cofaniem, postępującym rozczłonkowywaniem płyty i rozwojem gór-świadców. Dzięki silnej predyspozycji litologiczno-strukturalnej charakterystyczny zespół form związanych z rozwojem rzeźby płytowej tworzy się niezależnie od warunków środowiskowych i trwa w swoich głównych zarysach mimo upływu czasu.

Warunki środowiskowe i czynniki klimatyczne mają znaczenie drugorzędne i ujawniają się w odniesieniu do tempa procesów rzeźbotwórczych. Można przypuszczać, że cofanie progów podlegających oprócz obrywów i odpadania także wydajnej erozji źródłiskowej będzie przebiegało w szybszym tempie niż progów w obszarach skrajnie suchych, gdzie rola wody płynącej i podziemnej jest znikoma. Kontynuując ten tok rozumowania można sądzić, że w klimacie wilgotnym niszczenie płyty będzie najszybsze, a stoliwa najmniej trwałe. Niekoniecznie musi to być prawdą. Wcześniej przytoczone przykłady pokazują, że istotnego znaczenia nabiera proces krasowy, a wraz z rozwojem wtórnej porowatości maleje rola odwodnienia powierzchniowego i erozji. Rozwój piaskowcowych stoliw masywu Gran Sabana w Wenezueli wydaje się obecnie polegać głównie na krasowieniu ich wnętrza, rozwoju studni i systemów jaskiniowych, a nie intensywnym przekształcaniu stoków zewnętrznych. Trzeba jednak zauważyć, że dysponujemy skrajnie skąpyimi danymi o tempie cofania skalnych progów piaskowcowych w dłuższych jednostkach czasu (Young, Wray 2000), stąd wypowiedanie się o relacji pomiędzy tempem cofania stoku a warunkami klimatycznymi jest pozbawione solidnych podstaw.

## PODSUMOWANIE

Od czasów klasycznych prac W.M. Davisa (1899) geomorfolodzy rozpatrują ewolucję rzeźby w kategoriach struktury, procesu i czasu. W typowym ujęciu, wraz z upływem czasu zewnętrzny wygląd rzeźby ulega zmianie, a strome elementy (urwiska, kaniony, ostańce) zanikają. Proces jest zwykle rozpatrywany przez pryzmat uwarunkowań klimatycznych, a nacisk na ten składnik triady struktura – proces – czas stał się motorem rozwoju geomorfologii klimatycznej, w której są podkreślane różnice pomiędzy różnymi strefami morfoklimatycznymi. Płytowa rzeźba piaskowcowa jest przykładem, w którym czynniki czasu i klimatu odgrywają drugorzędą rolę, a dominujące znaczenie odgrywa predyspozycja litologiczno-strukturalna. Jest więc zatem także przykładem konwergencji form, które mogą różnić się tempem ewolucji, ale nie zewnętrznym wyglądem. Wydaje się, że obiecującym kierunkiem badawczym jest równoczesne rozpatrywanie czynnika strukturalnego i środowiskowego i wykazanie, w jakim stopniu różnice warunków zewnętrznych wpływają na intensywność poszczególnych procesów, trwałość formy i tempo cofania stoków. Zastosowanie izotopów kosmogenicznych w tym kontekście może być szczególnie obiecujące.

## Literatura

- Adamovič J., Mikuláš R., Cílek V., 2006. Sandstone districts of the Bohemian Paradise: Emergence of a romantic landscape. *Geolines* 21, 1–100.
- Ahnert F., 1960. The influence of Pleistocene climates upon the morphology of cuesta scarps on the Colorado Plateau. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.* 50, 139–156.
- Briceno H.O., Schubert C., 1990. Geomorphology of the Gran Sabana, Guyana Shield, southeastern Venezuela. *Geomorphology* 3, 125–141.
- Busche D., Erbe W., 1987. Silicate karst landforms of the southern Sahara, northeastern Niger and southern Libya. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.* 64, 55–72.
- Davis W.M., 1899. The geographical cycle. *Geogr. J.* 14, 481–504.
- Demek J., Zeman A., 1979. *Typy reliefu země*. Academia, Praha.
- Doerr S. J., 1999. Karst-like landforms and hydrology in quartzites of the Venezuelan Guyana shield: Pseudokarst or “real” karst? *Z. Geomorph. N.F.* 43, 1–17.
- Goudie A., Migoń P., Allison R.J., Rosser N., 2002. Sandstone geomorphology of the Al Quwayra area of south Jordan. *Z. Geomorph. N.F.* 46, 365–390.
- Grzybowski K., 1981. Cyrki źródłowe wschodniej części Wyżyny Kwango w Zairze. *Czas. Geogr.* 52, 167–192.
- Hettner A., 1903. Die Felsbildungen der sächsischen Schweiz. *Geogr. Z.* 9, 608–626.
- Jennings J.N., 1983. Sandstone karst or pseudo-karst? [w:] R.W. Young, G.N. Nanson (red.), *Australian Sandstone Landscapes*. Australian New Zealand Geomorphology Group, Wollongong, 21–30.
- Laity J., Malin M.C., 1985. Sapping processes and the development of theater-headed

- valley networks on the Colorado Plateau. *Geol. Soc. Am. Bull.* 96, 203–217.
- Mainguet M., 1972. *Les Modèles des grès*. Inst. Géographique National, Paris.
- Matmon A., Shaked Y., Porat N., Enzel Y., Finkel R., Lifton N., Boaretto E., Agnon A., 2005. Landscape development in an hyperarid sandstone environment along the margins of the Dead Sea fault: Implications from dated rock falls. *Earth Planet. Sci. Lett.* 240, 803–817.
- Migoń P., 2007. Rozwój urwisk skalnych w środowisku pustynnym południowej Jordanii, [w:] E. Smolska, D. Giriat (red.), *Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady*. UW, Warszawa, 313–323.
- Migoń P., Zwiernik M., 2006. Strukturalne uwarunkowania rzeźby północno-wschodniego progu Gór Stołowych. *Przegl. Geogr.* 78, 319–338.
- Migoń P., Goudie A., Allison R.J., Rosser N., 2005. The origin and evolution of footslope ramps in the sandstone desert environment of south-west Jordan. *Journ. Arid Env.* 60, 303–320.
- Nicholas R.M., Dixon J.C., 1986. Sandstone scarp form and retreat in the Land of Standing Rocks, Canyonlands National Park, Utah. *Z. Geomorph. N.F.* 30, 167–187.
- Oberlander T., 1989. Origin of segmented cliffs in massive sandstones of southeastern Utah, [w:] D.O. Doehring (red.), *Geomorphology in Arid Regions*. George Allen and Unwin, London, 79–114.
- Peng H., 2000. *Danxia Geomorphology of China and Its Progress in Research Work*, Zhongshan.
- Peng H. (red.), 2007. *The Red Stone Park of China. Danxiashan*. Geological Publishing House, Beijing.
- Pulinowa M.Z., 1989. *Rzeźba Gór Stołowych*. Wyd. UŚ, Katowice, 1008.
- Remisz J., 2007. Strukturalne uwarunkowania rzeźby południowego progu Gór Stołowych. *Przyroda Sudetów* 10, 253–268.
- Robinson D.A., Williams R.B.G., 1994. Sandstone weathering and landforms in Britain and Europe, [w:] D.A. Robinson, R.B.G. Williams (red.), *Rock Weathering and Landform Evolution*. Wiley, Chichester, 371–391.
- Sandstone Landscapes*, H. Härtel, V. Cílek, T. Herben, A. Jackson, R. Williams (red.) 2007, Academia, Praha.
- Schmidt K.-H., 1994. The groundplan of cuesta scarps in dry regions as controlled by lithology and structure, [w:] D.A. Robinson, R.B.G. Williams. (red.), *Rock Weathering and Landform Evolution*. Wiley, Chichester, 355–368.
- Schumm S.A., Chorley R.J., 1966. Talus weathering and scarp recession in the Colorado plateaus. *Z. Geomorph. N.F.* 10, 11–36.
- Selby M.J., 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand. *Z. Geomorph. N.F.* 24, 31–51.
- Sponholz B., 1989. Karsterscheinungen in nichtkarbonatischen Gesteinen der östlichen Republik Niger. *Würzburger Geogr. Arb.* 75.
- Tricart J., Cailleux A., 1972. *Introduction to Climatic Geomorphology*. Longman, London.
- Vítek J., 1979. Pseudokrasové tvary v kvádrových pískovcích severovýchodních Čech. *Rozpr. ČSAV, ř. MPV* 89(4), 1–55.
- Williams R.B.G., Robinson D.A., 1994. Weathering flutes on siliceous rocks in Britain and Europe, [w:] D.A. Robinson, R.B.G. Williams (red.), *Rock Weathering and Landform Evolution*. Wiley, Chichester, 413–432.

- 
- Wray R. A. L., 1997a. A global review of solutional weathering forms on quartz sandstone. *Earth Sci. Rev.* 42, 137–160.
- Wray R. A. L., 1997b. Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? *Cave and Karst Science* 24/2, 81–86.
- Young R.W., 1986. Tower Karst in sandstone: Bungle Bungle massif, northwestern Australia. *Z. Geomorph. N.F.* 30, 189–202.
- Young R., Young A., 1992. *Sandstone Landforms*. Springer, Berlin.
- Young R.W., Wray R.A.L., 2000. Contribution to the theory of scarpland development from observations in central Queensland, Australia. *J. Geol.* 108, 705–719.