Przegląd Geograficzny
2018, 90, 1, s. 7–33
https://doi.org/10.7163/PrzG.2018.1.1

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polska Akademia Nauk

https://www.igipz.pan.pl/przeglad-geograficzny.html

Mechanizmy i uwarunkowania rozwoju progów morfologicznych Gór Stołowych

Mechanisms and controls of escarpment evolution in Poland's Stołowe Mountains

Filip Duszyński

Uniwersytet Wrocławski
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego
pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław
filip.duszynski@uwr.edu.pl

Zarys treści. W artykule omówiono dotychczasowe poglądy na temat mechanizmów i uwarunkowań rozwoju progów morfologicznych Gór Stołowych. Zagadnienie to stanowiło przedmiot zainteresowania badaczy od ponad stu lat. Do niedawna powszechnie przyjmowano koncepcję katastrofalnego rozpadu ścian skalnych poprzez destabilizację przykrawędziowych partii piaskowcowych płaskowyżów. W najnowszych pracach wykazano empiryczne świadectwa powolnego niszczenia na drodze dezintegracji *in situ*. Procesowi temu przypisuje się obecnie kluczową rolę. Osuwiska w środkowych partiach progów, wędrówka bloków, czy erozja liniowa mają znaczenie lokalne. Pomimo dużego postępu w badaniach ciągle nieznany jest kontekst czasowy procesów odpowiedzialnych za cofanie się progów Gór Stołowych.

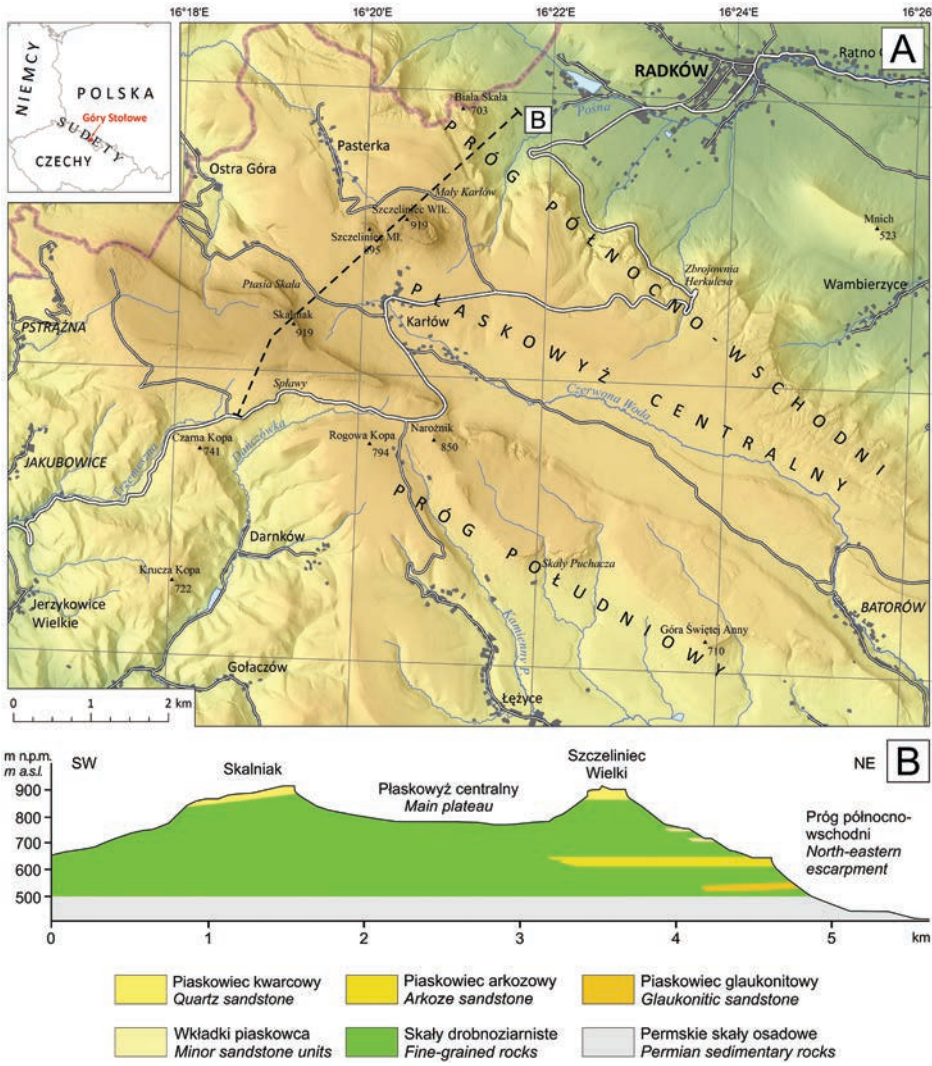
Słowa kluczowe: Góry Stołowe, progi morfologiczne, procesy rzeźbotwórcze, historia badań.

Wstęp

Góry Stołowe są masywem górskim w Sudetach Środkowych zbudowanym w głównej mierze z górnokredowych skał osadowych (Jerzykiewicz, 1968; Wojewoda, 1997) (ryc. 1). Niemal poziome zaleganie naprzemianległych warstw piaskowców i skał drobnoziarnistych umożliwiło rozwinięcie się na tym obszarze rzeźby płytowej. W morfologii jedynego tego typu pasma górskiego w Polsce dominują izolowane stoliwa położone na różnych piętrach wysokościowych. Najwyższy Szczeliniec Wielki (919 m n.p.m.), wraz z płaskowyżami Skalniaka (915 m n.p.m.) i Narożnika (851 m n.p.m.), górują nad rozległym płaskowyżem centralnym (700–750 m n.p.m.), który wznosi się nawet na 300 m ponad otaczające tereny (ryc. 1). Wszystkie te wzniesienia ograniczone są progami morfologicznymi – ich cofanie uważano przez dekady za główny mechanizm ewolucji rzeźby (np. Dumanowski, 1961; Pulinowa, 1989; Migoń, 2008). Pomimo ogólnej

http://rcin.org.pl

zgody co do podstawowej roli recesji stoków w morfogenezie Gór Stołowych, po dziś dzień dyskusji podlega fundamentalny problem: jaka jest natura i wzajemne relacje mechanizmów odpowiedzialnych za ten proces?



Ryc. 1. A – mapa lokalizacyjna Gór Stołowych z nazwami topograficznymi pojawiającymi się w tekście, B – uproszczony przekrój geologiczny przez Góry Stołowe
A – Locality map for the Stołowe Mountains, with topographical names used in the text, B – simplified geological cross-section of the Stołowe Mountains
Opracowanie własne / *Author's own elaboration.*

http://rcin.org.pl

Przez niemal cały XX wiek wyrażano w tym kontekście przekonanie o nadrzędnej roli ruchów masowych (np. Łoziński, 1909; Czeppe, 1952). Pochodzenie rozległych blokowisk łączono z obrywami i osiadaniem, a jako główny czynnik sprawczy wskazywano destabilizację ścian skalnych przez wypływy wód podziemnych (np. Dumanowski, 1961; Pulinowa, 1989). Model ten zyskał powszechną akceptację i stał się najczęściej przedstawianym poglądem także w nowszych opracowaniach (np. Migoń, 2008; Migoń i inni, 2011). Dopiero w ostatnich latach uwagę poświęcono niedostrzeganym wcześniej elementom rzeźby. Dzięki dostępności wysokorozdzielczego numerycznego modelu terenu zidentyfikowano rozległe kompleksy osuwiskowe w środkowych i dolnych partiach progów (np. Migoń i inni, 2013; Migoń i Kasprzak, 2016). Szczególne zainteresowanie wzbudziły także duże bloki piaskowca położone nawet 1 km od ścian skalnych (Duszyński i inni, 2015; Duszyński i Migoń, 2015). Badania zmierzające do rozwiązania problemu ich genezy zaowocowały hipotezą niekatastrofalnego rozpadu przykrawędziowych partii stoliw.

Celem artykułu jest omówienie dotychczasowych poglądów na temat mechanizmów recesji stoków w Górach Stołowych. Z uwagi na fakt, że w ostatnich latach powstało dużo prac poświęconych temu zagadnieniu, dokonanie syntetycznego podsumowania jest uzasadnione. Ze względu na kluczową rolę uwarunkowań litologiczno-strukturalnych dla formy progu, kwestii tej poświęcono osobny rozdział. W końcowych częściach pracy omówiono poglądy na temat roli klimatu w rozwoju rzeźby progów, a także najważniejsze wyzwania badawcze na kolejne lata.

Forma progów i jej litologiczno-strukturalne uwarunkowania

Charakterystyczną cechą krawędzi morfologicznych Gór Stołowych jest ich dwudzielność w profilu pionowym. Najwyższy segment stoku stanowi zwykle wysoka, nawet na kilkadziesiąt metrów, ściana skalna, łącząca się ostrym załomem ze znajdującym się niżej wklęsłym odcinkiem progu (fot. 1, ryc. 2A). Taki układ rzeźby od początku identyfikowano jako efekt zróżnicowania litologicznego pomiędzy masywnymi piaskowcami, a podatnymi na procesy niszczące skałami drobnoziarnistymi występującymi poniżej (Dumanowski, 1961; fot. 2, ryc. 1). Wszystkie skaliste odcinki progów tworzone są w Górach Stołowych przez piaskowce „ciosowe", nazywane tak z uwagi na obecność regularnego ciosu o orientacji 40° i 130°. Wydziela on prostopadłościenne bryły, których wielkość może wahać się od mniej niż 1 m do ponad 10 m. Ze względu na położenie w profilu litostratygraficznym, wyróżnia się trzy główne poziomy tych skał (ryc. 1B). Górne piaskowce ciosowe to arenity kwarcowe, które budują stoliwa Szczelińca Wielkiego i Małego, Skalniaka i Narożnika. Środkowe piaskowce ciosowe, będące piaskowcami arkozowymi, odsłaniają się w najwyższej partii progu północno-wschodniego. Z kolei dolne piaskowce ciosowe to cechujący się mniejszą odpornością piaskowiec glaukonitowy,

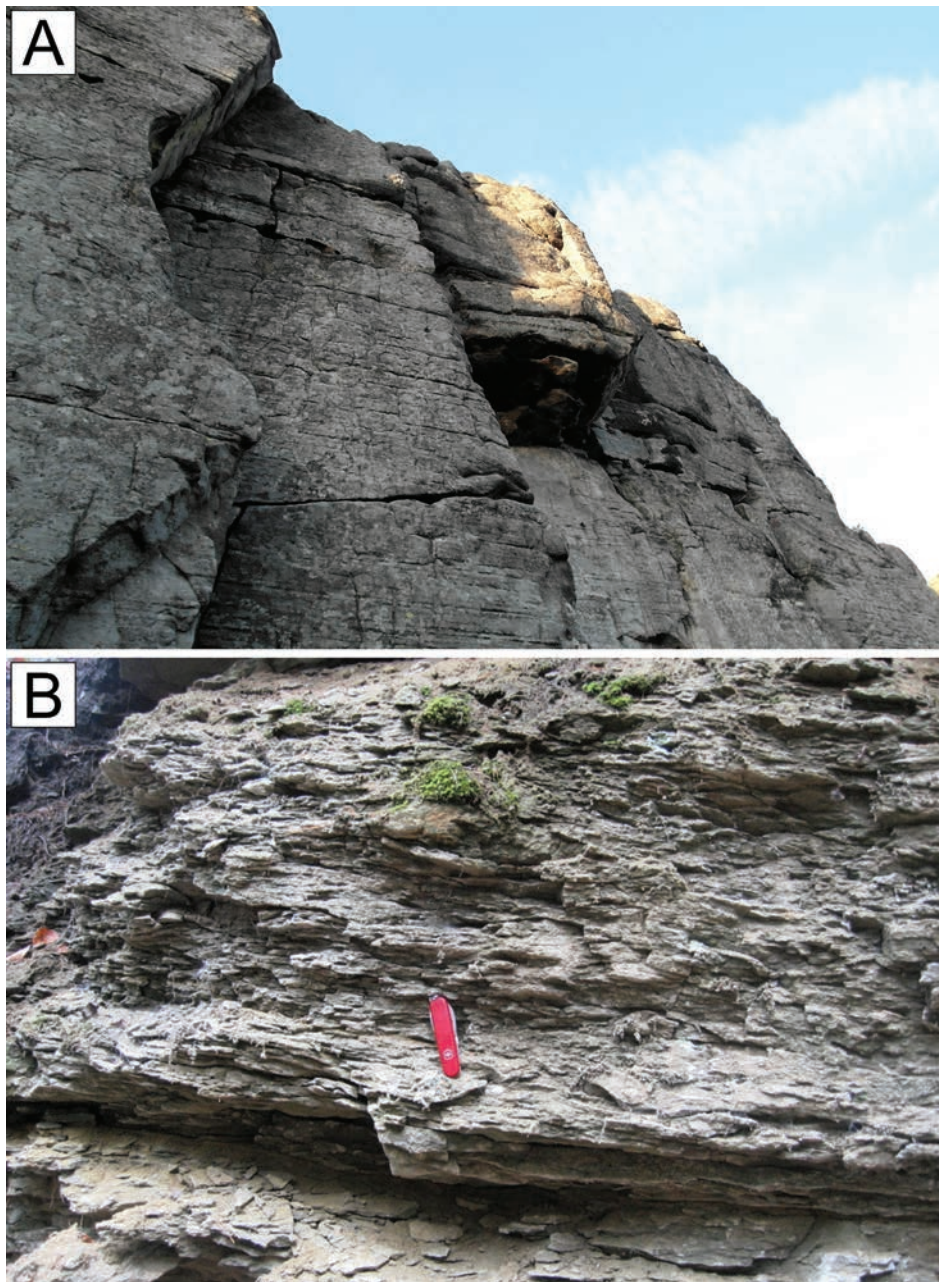
http://rcin.org.pl

który nie tworzy pionowych urwisk skalnych. Występujące pomiędzy warstwami piaskowca skały drobnoziarniste to przede wszystkich mułowce i iłowce wapniste (Wojewoda, 1997).

Fot. 1. Typowy dla Gór Stołowych dwudzielny profil stoku ze ścianą skalną w najwyższej partii i wklęsłym odcinkiem poniżej. Widok na południową krawędź Szczelińca Wielkiego (fot. F. Duszyński)
A typical bipartite slope profile of the Stołowe Mountains, with a rock face in the uppermost part and a concave slope section below. A view of the southern escarpment of Mt. Szczeliniec Wielki

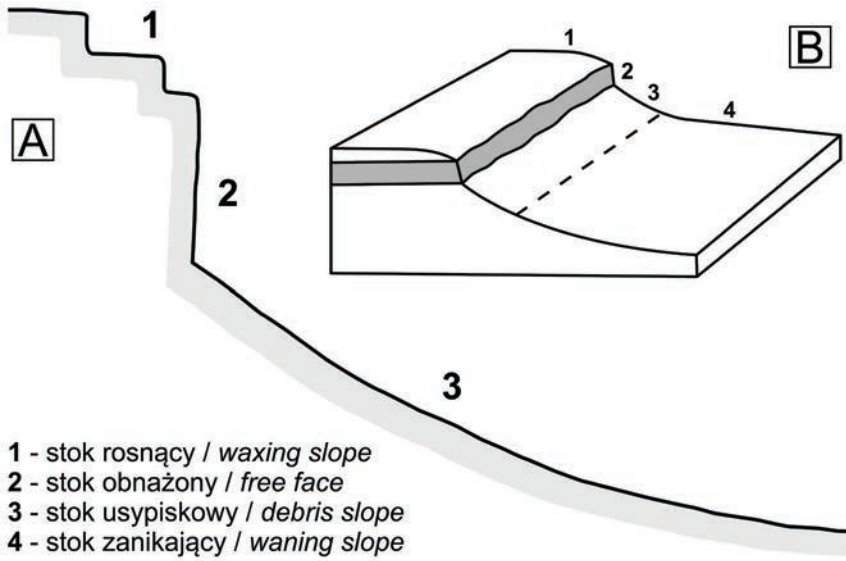
Morfologię progów Gór Stołowych rzadko rozpatrywano w sposób całościowy, częściej skupiając się na analizie rzeźby ścian skalnych. Niewykluczone, że miało to związek z powszechnym przekonaniem o kluczowej roli piaskowca dla obecności i formy progu. Pogląd ten najbardziej czytelnie wyrazili J. Rogaliński i G. Słowiok (1958, s. 482), stwierdzając (dziś wiemy, że nie w pełni słusznie), że „wszędzie krawędź ograniczająca poszczególne poziomy jest zbudowana w górnej części z piaskowca, któremu prawie wyłącznie zawdzięcza swe istnienie". O rzeźbie wklęsłego odcinka stoku wspominano przede wszystkim w nawiązaniu do niskiej odporności kompleksu mułowcowo-marglistego (Czeppe, 1952). Zwracano przy tym uwagę na bardzo szybki rozpad tych skał na drobny gruz wskutek działania procesów wietrzeniowych (Rogaliński i Słowiok, 1958; fot. 2B).

http://rcin.org.pl



Fot. 2. Zróżnicowanie skał budujących wzniesienia Gór Stołowych
A – masywny piaskowiec kwarcowy utrzymujący wysokie ściany skalne (fot. F. Duszyński), B – mało odporne skały drobnoziarniste tworzące wklęsły odcinek progu (fot. P. Migoń)
Diversity of rocks forming the massifs of the Stołowe Mountains
A – massive quartz sandstone building the high rock faces, B – weak, fine-grained rocks forming the concave slope sections

http://rcin.org.pl



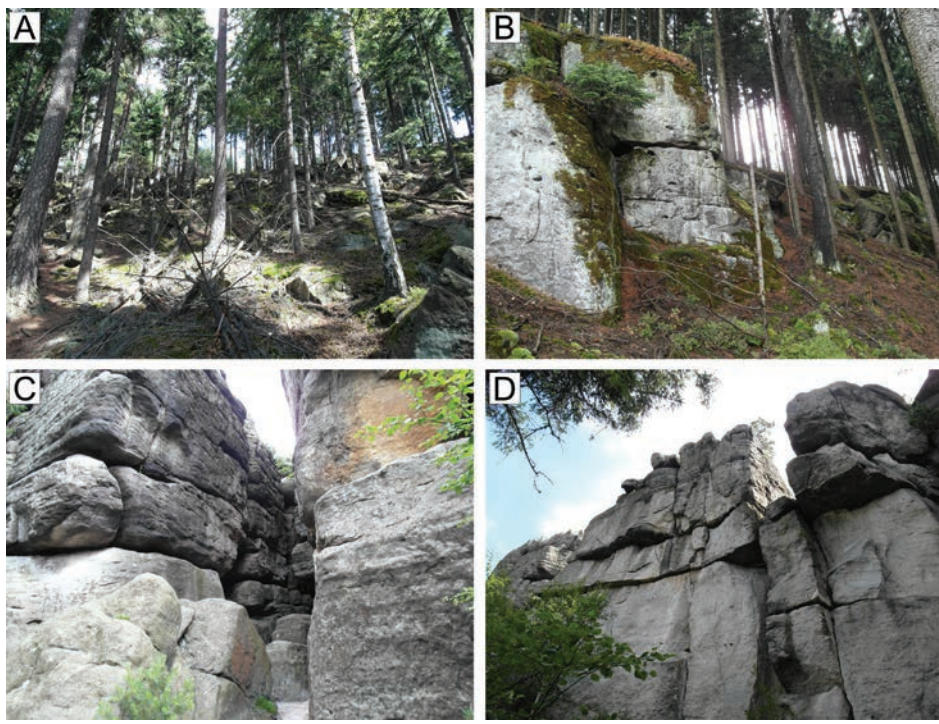
Ryc. 2. A – profil stołowogórskiego stoku według Dumanowskiego (1961), podzielony przez niego na trzy części nawiązujące do modelowego stoku Kinga (1953), B – modelowy stok Kinga (1953), którego podobieństwo zauważyli po raz pierwszy Rogaliński i Słowiok (1958)
A – the slope profile in the Stołowe Mountains after Dumanowski (1961), as divided by him into three sections related to the model slope profile from King (1953), B – the model slope profile from King (1953), the similarity first being noted by Rogaliński and Słowiok (1958)
Źródło: A – Dumanowski (1961), B – Rogaliński i Słowiok (1958); nieznacznie zmienione
Source: A – Dumanowski (1961), B – Rogaliński i Słowiok (1958); slightly modified.

Zróżnicowanie rzeźby górnej części progów analizowano w licznych opracowaniach, jednak tylko dwukrotnie podjęto próbę jej klasyfikacji. M. Pulinowa (1989) wyróżniła dwa typy ścian skalnych – monolityczne urwisko skalne z blokowiskiem u podnóża oraz rozczłonkowany próg strukturalny, składający się z silnie zwietrzałych iglic i baszt skalnych. Z kolei F. Duszyński i inni (2016) zwrócili uwagę, że górne krawędzie progów mogą tworzyć także odcinki ze sporadycznie pojawiającymi się ostrogami skalnymi, pomiędzy którymi rozciągają się chaotyczne piaskowcowe blokowiska. Zauważono ponadto, że fragmenty progów całkowicie pozbawione wychodni skalnych również nie należą do rzadkości (fot. 3).

W przedstawionych pracach urozmaiconą rzeźbę górnych odcinków progów tłumaczono ich różnowiekowością (Pulinowa, 1989) lub odmiennym stopniem dezintegracji (Duszyński i inni, 2016). Znacznie mniejszą uwagę poświęcano wpływowi czynnika strukturalnego. Zagadnienie to zgłębiał B. Dumanowski (1961), który jako pierwszy odnotował, że o rzeźbie urwisk skalnych decyduje w głównej mierze układ sieci spękań (fot. 3). Według niego strefy nieciągłości wyznaczają powierzchnie, wzdłuż których przez dłuższy czas utrzymuje się ściana skalna. B. Dumanowski (1967) zwrócił uwagę, że w rozwoju rzeźby urwisk skalnych dominuje ich podział na mniejsze bloki wzdłuż powierzchni ciosowych. Z uwagi na fakt,

http://rcin.org.pl

że odległość pomiędzy spękaniami jest niejednakowa, także tempo niszczenia jest różne, najsilniej oddziałując tam, gdzie gęstość spękań jest największa. W strefach tych tworzą się różnej szerokości szczeliny, wypełnione częściowo materiałem blokowym (Dumanowski, 1967). Także w kontekście niestabilności północno-wschodniej krawędzi Szczelińca Wielkiego badacz ten przypisywał fundamentalną rolę uwarunkowaniom strukturalnym. Zauważył on, że głębokie rozpadliny w tamtym rejonie, takie jak Piekiełko na Szczelińcu Wielkim, swoim przebiegiem naśladują spękania o orientacji 130° (fot. 4). Wynika z tego, że orientacja powierzchni ciosowych tworzy inicjalne warunki dla odchylania się pakietów piaskowca w kierunku stoku.



Fot. 3. Morfologiczne typy górnych krawędzi progów w Górach Stołowych
A – chaotyczne blokowisko bez wychodni skalnej, B – pojedyncze ostrogi skalne rozdzielone odcinkami z chaotycznie rozrzuconymi blokami, C – zdezintegrowane odcinki ścian skalnych, ze spękaniami ciosowymi poszerzonymi do postaci korytarzy, D – dobrze zachowane odcinki wysokich ścian skalnych
Morphological types of upper-slope sections in the Stołowe Mountains
A – chaotic blocky accumulation, with no rock face present, B – single rock spurs separated by sections with chaotic blocky accumulations, C – disintegrated sections of rock faces, with joints enlarged to form corridors, D – well-preserved sections of high rock faces
Źródło: Duszyński i inni (2016) / *Source: Duszyński et al. (2016).*

http://rcin.org.pl

Fot. 4. Najsłynniejsza rozpadlina Gór Stołowych – Piekiełko (fot. F. Duszyński)
The most famous cleft in the Stołowe Mountains – Piekiełko ('Little Hell')

O kluczowym znaczeniu cech systemu spękań przekonany był także G. Synowiec (1999). Z przeprowadzonych przez niego obserwacji wynika, że przebieg ścian skalnych jest kontrolowany przez układ nieciągłości o orientacji NW-SE i NE-SW, a lokalna gęstość sieci spękań, wraz z grubością ławic piaskowca, wywiera decydujący wpływ na wytrzymałość ośrodka skalnego. Wyraźna zależność pomiędzy wytrzymałością mechaniczną (ocenioną w sposób opisowy) a nachyleniem poszczególnych odcinków stoków pozwoliła G. Synowcowi (1999) na wyciągnięcie wniosku o utrzymywaniu się większości urwisk skalnych Gór Stołowych w stanie równowagi wytrzymałościowej.

Znaczenie czynnika odpornościowego podkreślano także w odniesieniu do rzeźby progów obramowujących Góry Stołowe. P. Migoń i M. Zwiernik (2006) wykazali, że zróżnicowana wysokość ścian skalnych progu północno-wschodniego jest związana nie tylko z różną grubością warstwy środkowego piaskowca ciosowego, ale przede wszystkim ze zmiennością jej wytrzymałości mechanicznej, której miarą jest wartość odboju mierzona młotkiem Schmidta (zob. Placek, 2006). W oparciu o uzyskane wyniki zaproponowano, że średnia wartość odboju, wynosząca 45, może stanowić wartość minimalną (graniczną) dla utrzymywania się wysokich urwisk skalnych. Podobnej prawidłowości nie zaobserwowano na progu południowym. Wydaje się, że kluczowa w tamtym rejonie jest gęstość i układ powierzchni nieciągłości (Remisz, 2007).

http://rcin.org.pl

Procesy odpowiedzialne za ewolucję progów

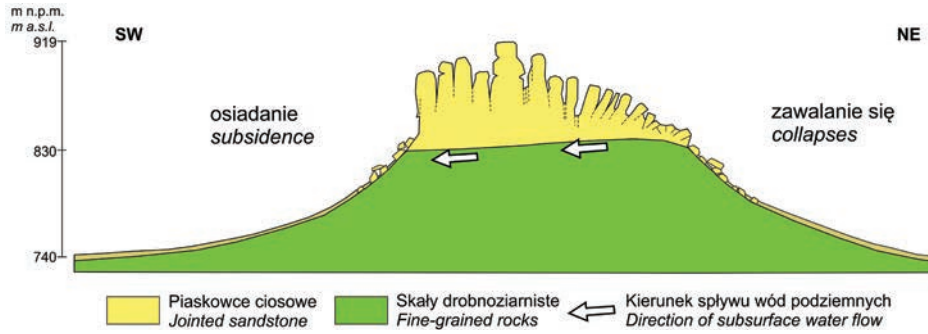
Ruchy masowe i grawitacyjne deformacje krawędzi

Pogląd o dominacji ruchów masowych w ewolucji stołowogórskich stoków jest najbardziej powszechny i funkcjonuje w literaturze już od początku XX wieku. Jako pierwszy wyraził go W. Łoziński (1909, s. 8), który odnotował, że „zwaliska brył, które pokrywają strome stoki poniżej pionowych ścian, powstały wskutek odrywania się i staczania w dół odłamów, oddzielających się pod działaniem zamrozu w pionowych szczelinach". W. Łoziński (1909) sugerował zatem obecność epizodycznych procesów katastrofalnych, które wiązał zarówno z czynnikiem klimatycznym, jak i obecnością pierwotnej sieci spękań w piaskowcu.

Na „atakowanie krawędzi" przez czynniki zewnętrzne i będące tego skutkiem ruchy masowe wskazywał w latach powojennych także Z. Czeppe (1952). Inaczej niż W. Łoziński (1909) nie przywiązywał on jednak większej wagi do wietrzenia mechanicznego. Według niego kluczowe jest zaleganie przepuszczalnych piaskowców na nieprzepuszczalnych skałach drobnoziarnistych. Taka budowa geologiczna ma sprzyjać podcinaniu ścian skalnych przez źródła warstwowe, a konsekwencją tego mają być deformacje grawitacyjne dwojakiego typu: pękanie i osiadanie. Przykładem pierwszego jest rozpadlina Piekiełko na Szczelińcu Wielkim, której zewnętrzna ściana jest wyraźnie odchylona w kierunku stoku (fot. 4). Drugi typ, wyróżniający się obecnością obniżonych w stosunku do krawędzi pakietów skalnych, ma być charakterystyczny dla rejonu Skał Puchacza na progu południowym.

Problem roli wód podziemnych w ewolucji progów badał B. Dumanowski (1961). Odnotował on, że wsiąkająca w głąb piaskowca woda opadowa poszerza pierwotne spękania ciosowe do postaci szczelin, którymi spływa w dół, aż do osiągnięcia poziomu nieprzepuszczalnego margla. Spływając po jego powierzchni systematycznie niszczy go, w efekcie czego pod piaskowcem tworzą się puste przestrzenie. Ich obecność ma odpowiadać za „rozsypywanie się" przykrawędziowych części stoliw. B. Dumanowski (1961) zauważył, że w zależności od tempa niszczenia margla, w rozpadzie krawędzi płaskowyżów mogą brać udział dwa typy procesów grawitacyjnych – osiadanie lub „walenie się" ścian skalnych. Pierwszy z nich autor ten wiązał z wolniejszym niszczeniem margla, jako przykład wskazując południowy próg Szczelińca Wielkiego. Zawalanie się krawędzi północnej Szczelińca Wielkiego przypisywał natomiast zjawisku, które określał jako „sufozja wsteczna" (ryc. 3). Oddzielające się w ten sposób pakiety piaskowca pozostają pochylone dopóty, dopóki są podtrzymywane przez inne bloki. Utrata podparcia ma powodować ich „staczanie się" po stoku.

http://rcin.org.pl



Ryc. 3. Mechanizm rozwoju południowej i północnej krawędzi Szczelińca Wielkiego według Dumanowskiego (1967)
The mechanism of evolution of the southern and northern escarpments of Mt. Szczeliniec Wielki, according to Dumanowski (1967)
Źródło: Migoń (2008); nieznacznie zmienione / *Source: Migoń (2008), slightly modified.*

W pracach B. Dumanowskiego (1961, 1967) nie zabrakło typowych dla geomorfologii lat 60. XX wieku odwołań do uniwersalnych teorii rozwoju rzeźby. Próba powiązania stołowogórskiego stoku z modelowym stokiem L. Kinga (1953) zaowocowała wyróżnieniem przez B. Dumanowskiego analogicznych jego części – stoku rosnącego, stoku obnażonego (ściany skalnej) i stoku usypiskowego (ryc. 2). Konsekwencją nazwania „usypiskowym" środkowego segmentu progu było jednoznaczne przypisanie kluczowej roli morfogenetycznej odpadaniu i obrywom. W ten sposób, pomimo braku empirycznych dowodów, pokrywy stokowe zostały uznane za materiał „dyluwialno-grawitacyjny" (Dumanowski, 1967). Ciekawostką jest, że poczynione przez B. Dumanowskiego (1961) obserwacje zdają się jednocześnie przeczyć usypiskowej genezie stoku. Badacz ten zauważył, że w górę progu wzrasta wielkość materiału blokowego – sytuacja taka jest przeciwieństwem charakterystycznego dla stoków usypiskowych sortowania ze względu na średnicę. Na ten konflikt logiczny nie zwrócił jednak uwagi ani sam autor, ani żaden z późniejszych badaczy Gór Stołowych.

Poglądy zbliżone do B. Dumanowskiego (1961, 1967) reprezentowali wcześniej J. Rogaliński i G. Słowiok (1958). Także oni wyróżnili w Górach Stołowych usypiskowy odcinek stoku, jednoznacznie sugerując genezę pokrywającego go materiału blokowego (ryc. 2). Rozpadu przykrawędziowych partii stoliw nie wiązali jednak z działalnością wód podziemnych. Ich zdaniem cofaniu się progów sprzyjają przede wszystkim duże różnice wysokości, które pozwalają na utrzymywanie się „świeżego" stoku usypiskowego.

W omówionych dotąd pracach odwoływano się wyłącznie do cech morfologii ścian skalnych i obecności rozległych pokryw blokowych, wnioskując na ich podstawie o powszechności i rodzajach ruchów masowych. Przy tak opisowym ujęciu mechanika tych procesów i uwarunkowania ich przestrzennego zróżnicowania pozostawały słabo rozpoznane. Choć w późniejszych pracach M. Pulinowej (1972,

http://rcin.org.pl

1989) zauważalne jest podobne podejście, badaczka ta istotnie rozwinęła sposób pojmowania roli wód podziemnych w powstawaniu deformacji grawitacyjnych. Ponadto poświęciła więcej uwagi strukturze ośrodka skalnego i jej znaczeniu dla powstawania osuwisk.

M. Pulinowa (1972, 1989, 1996, 2008) wielokrotnie podkreślała, że krążenie wód w szczelinach oraz mikroporach w obrębie płyty piaskowcowej osłabia stateczność masywu skalnego i prowadzi do inicjowania ruchów masowych w strefach krawędziowych. Tak rozumiana działalność wody ma prowadzić do usuwania ilastego spoiwa ze znajdujących się niżej mułowców, co z kolei powoduje uplastycznienie tej warstwy pod naciskiem sztywnej płyty piaskowcowej. Niepodlegające deformacjom plastycznym piaskowce dzielą się wzdłuż pierwotnych spękań ciosowych, a w dalszym etapie osiadają i ześlizgują się. M. Pulinowa (1972, 1989) upatrywała zatem inicjację procesów grawitacyjnych przede wszystkim w zmianie właściwości fizycznych skał kompleksu drobnoziarnistego, a w mniejszym stopniu w tworzeniu się „wewnętrznych próżni" na skutek usunięcia zwietrzeliny (Pulinowa, 1996), jak sugerował wcześniej B. Dumanowski (1961). Największą dynamikę rozpadu krawędzi badaczka przypisywała strefom wydajnego wypływu wód podziemnych – w szczególności lejom źródliskowym północno-wschodniego progu Gór Stołowych oraz północno-wschodniemu stokowi Szczelińca Wielkiego (Pulinowa, 1972, 1989, 1996). W strefach tych wskazywała na istnienie wielkich form grawitacyjnych, które nazywała „osuwiskami blokowymi" (ryc. 4). Ich obecność tłumaczyłaby lokalnie szybsze cofanie progu i związany z tym zatokowy charakter progu północno-wschodniego. Opisywała również przypadki dzielenia się ścian skalnych na pionowe płaty o charakterze odprężeniowym, a także rozwój „gzymsów skalnych" w obrębie subhoryzontalnych powierzchni nieciągłości.

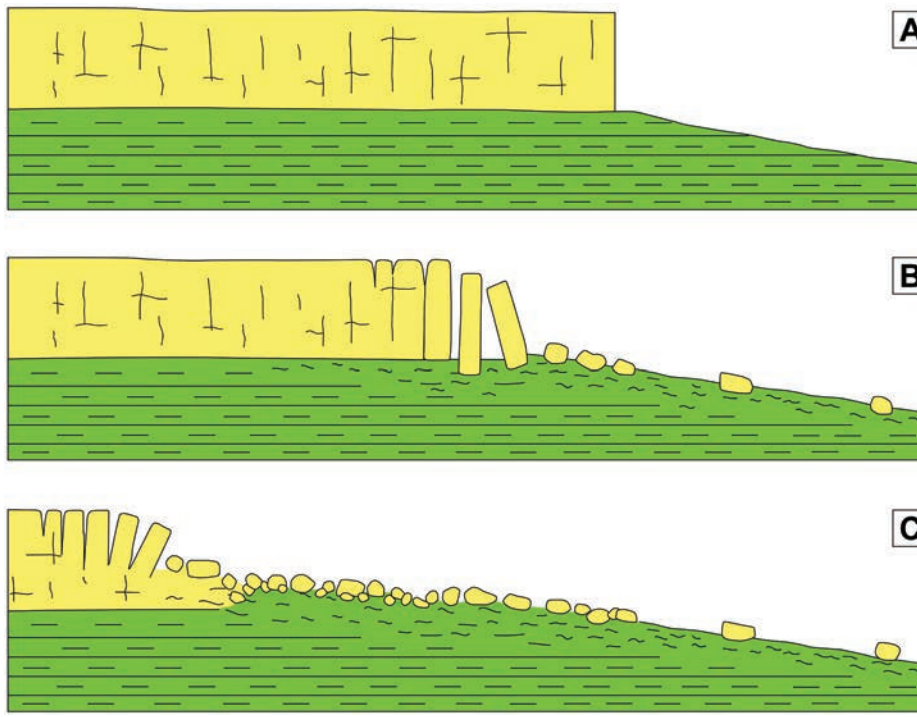
Poza ruchami masowymi w strefie kontaktu piaskowców i skał drobnoziarnistych M. Pulinowa (1989) wyróżniła także procesy grawitacyjne obejmujące wyłącznie piaskowce. Nazwała je „zsuwami strukturalnymi" i opisała jako osuwanie się pakietów piaskowca po nachylonych pod kątem 20–30° powierzchniach oddzielności pomiędzy ławicami. Osuwiska te mają być charakterystyczne wyłącznie dla piaskowców najwyższego poziomu morfologicznego. Jako przykładowe miejsca wskazała krawędzie Skalniaka, Szczelińca Wielkiego i Ptasiej Skały (ryc. 5).

W pewnym oderwaniu od omówionych dotąd procesów autorka pisała o blokowiskach w środkowych i dolnych partiach progów. Nazywała je pokrywami peryglacjalnymi, wiążąc ich pochodzenie z rozpadem ścian skalnych w warunkach silnego wietrzenia mechanicznego. Wskazywała ponadto na duże znaczenie soliflukcji w transporcie bloków.

Wyrażany przez M. Pulinową (1972, 1989) pogląd o powszechnym osiadaniu przykrawędziowych partii płyty piaskowcowej zaowocował podjęciem w latach 70. i 80. XX wieku badań geodezyjnych, mających na celu rejestrację współczesnych przemieszczeń grawitacyjnych (Cacoń i Košt'ák, 1976; Pašek i Pulinowa, 1976). Przeprowadzone dotychczas pomiary dostarczyły niejednoznacznych rezultatów,

http://rcin.org.pl

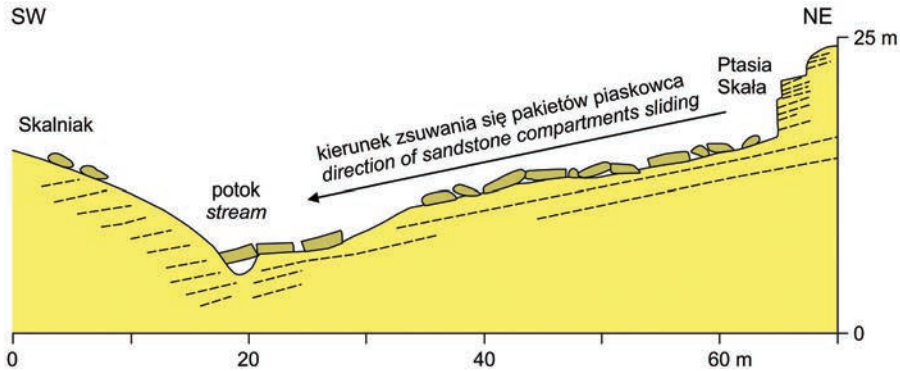
wskazujących głównie na ruchy o charakterze oscylacyjnym (Cacoń i inni, 2008). Największe zarejestrowane dotąd przemieszczenie horyzontalne w rejonie schroniska PTTK na Szczelińcu Wielkim wyniosło 18 mm (Pulinowa, 1975).



Ryc. 4. Etapy rozwoju północnej krawędzi Szczelińca Wielkiego przy udziale osiadania i wielkich osuwisk blokowych
Stages to the evolution of the northern escarpment of Mt. Szczeliniec Wielki, taking account of the presence of subsidence and huge block slides
Źródło: Pulinowa (1972); nieznacznie zmienione / *Source: Pulinowa (1972); slightly modified.*

Nowsze publikacje bazowały na wypracowanym wcześniej poglądzie o kluczowej roli niestabilności stoków. Na obecność przemieszczeń grawitacyjnych w postaci „zerw skalnych" i soliflukcji wskazywali H. Chmal i inni (1999), a całą gamę ruchów masowych wymieniał M. Zgorzelski (1995) – m.in.: odpadanie głazów i okruchów, obrywy płatów ścian i bloków, zsuwy, czy lawiny kamienne. W żadnym z tych opracowań nie przytoczono jednak obserwacyjnych dowodów opisywanych zjawisk. Geomorfologiczne świadectwa ruchów masowych przedstawiali w późniejszym okresie P. Migoń (2008, 2013) oraz P. Migoń i M. Kasprzak (2012, 2015, 2016). Wymieniali wśród nich rozwieranie się szczelin wzdłuż krawędzi płaskowyżów, przechylanie się pakietów piaskowca, obecność okapów i nisz na ścianach skalnych, występowanie jaskiń rozpadlinowych i rumowiskowych czy rozległe blokowiska u podnóża piaskowcowych urwisk.

http://rcin.org.pl



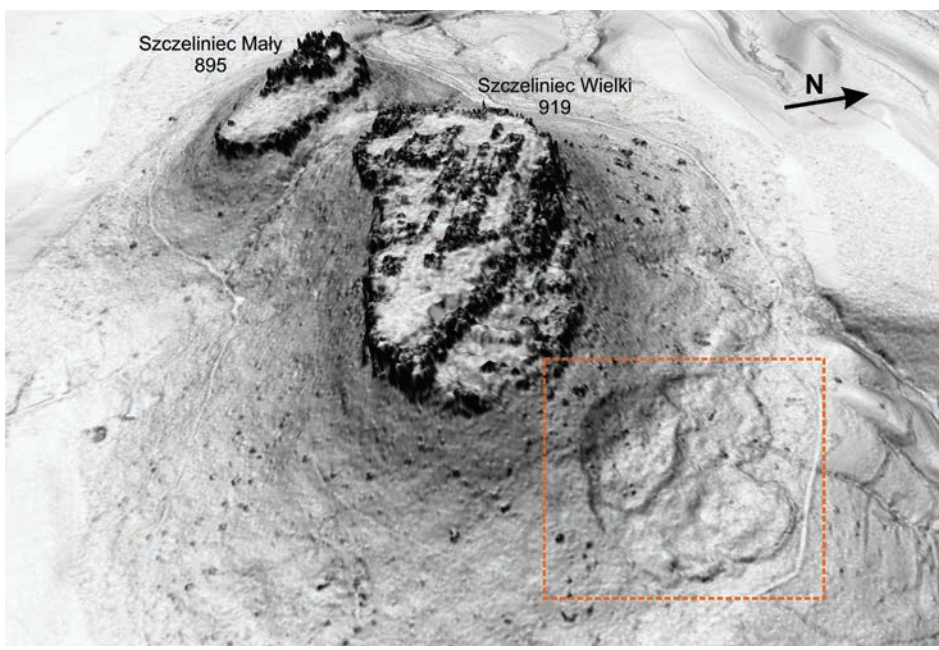
Ryc. 5. Schemat powstawania zsuwów strukturalnych w obrębie Ptasiej Skały według Pulinowej
A scheme presenting the development of 'structural slides' within the Ptasia Skała hill, after Pulinowa
Opracowanie własne na podstawie Pulinowa (1989) / *Author's own elaboration on the basis of Pulinowa (1989).*

Powstałe na przestrzeni ponad stu lat prace były zorientowane niemal wyłącznie na procesy grawitacyjne obejmujące poziom piaskowców. Zajmujące większą część stoków skały drobnoziarniste były w tym kontekście marginalizowane, choć ich degradacja stanowi równie ważny komponent równoległego cofania progów. Wśród przyczyn takiego podejścia należy upatrywać przede wszystkim fakt gęstego zalesienia środkowych i dolnych partii stoków, utrudniający dostrzeżenie i kartowanie obecnych tam form. Szczegółowej inwentaryzacji nie sprzyjają ponadto trudne do penetracji blokowiska. W efekcie, poza wzmianką P. Migonia i M. Szczepanik (2005) o obecności płytkich osuwisk zwietrzelinowych w środkowych i dolnych partiach północno-wschodniego progu Gór Stołowych, w literaturze możemy znaleźć wyłącznie informacje o obecności nabrzmień grawitacyjnych w obrębie północno-wschodniej krawędzi Szczelińca Wielkiego oraz o występowaniu spływów błotnych w pojedynczych lokalizacjach (Pulinowa, 1989). Znajomość morfologii wklęsłego odcinka progu do dziś pozostałaby na równie elementarnym poziomie, gdyby nie fakt udostępnienia cyfrowego modelu terenu o submetrowej rozdzielczości. Szczegółowe dane wysokościowe rzuciły nowe światło na procesy modelujące środkowe i dolne partie stoków.

Przy wykorzystaniu wysokorozdzielczego modelu terenu P. Migoń i M. Kasprzak (2011, 2015), a także P. Migoń i inni (2013) opisali głęboko zakorzenione osuwisko rotacyjne na północno-wschodnim stoku Szczelińca Wielkiego (ryc. 6). Ponadto odnotowali obecność specyficznej rzeźby w rejonie Spławów na południowych stokach płaskowyżu Skalniaka oraz poniżej Białej Skały na północno-wschodnim progu Gór Stołowych (Migoń i Kasprzak, 2011, 2012). Układ naprzemiennych spłaszczeń i zestromień w środkowych i dolnych odcinkach stoków zinterpretowano jako efekt płytkich przemieszczeń warstwy zwietrzelinowej. Zasugerowano, że tego typu ruchy masowe mogą odgrywać istotną rolę we wtórnym transpor-

http://rcin.org.pl

cie allochtonicznych bloków piaskowca (Migoń i Kasprzak, 2012). Zagadnieniu temu poświęcono osobny artykuł (Duszyński i inni, 2017), w którym potwierdzono istnienie aż ośmiu stref osuwiskowych zakorzenionych w skałach kompleksu mułowcowo-marglistego. Należą do nich osuwiska rotacyjne pod Szczelińcem Wielkim i Szczelińcem Małym, płytkie osuwiska translacyjne pod Skalniakiem, Narożnikiem, Urwiskiem Batorowskim i poniżej Białej Skały, a także jeszcze jedno, o trudniejszej do określenia naturze, poniżej Zbrojowni Herkulesa na północno-wschodnim progu. Według autorów bardzo odległa pozycja pojedynczych bloków piaskowca, nawet 1 km od ścian skalnych, staje się wytłumaczalna w świetle ich pasywnego transportu w ramach płytkich przemieszczeń grawitacyjnych. Czoła tych form mogą następnie podlegać przemywaniu, w efekcie czego w morfologii strefy podstokowej pozostają chaotycznie rozmieszczone bloki. Należy przy tym podkreślić, że procesy osuwiskowe w Górach Stołowych występowały tylko w niektórych odcinkach progów, w związku z czym ich oddziaływanie na rzeźbę należy postrzegać jako lokalne (współcześnie aktywność osuwisk jest co najwyżej minimalna, a może nawet żadna).



Ryc. 6. Osuwisko pod Szczelińcem Wielkim widoczne na modelu 3D wygenerowanym na podstawie wysokorozdzielczych danych LiDAR
A landslide beneath Mt. Szczeliniec Wielki, visible in a 3D model generated on the basis of high resolution LiDAR data
Opracowanie własne / *Author's own elaboration.*

http://rcin.org.pl

Wędrówka bloków

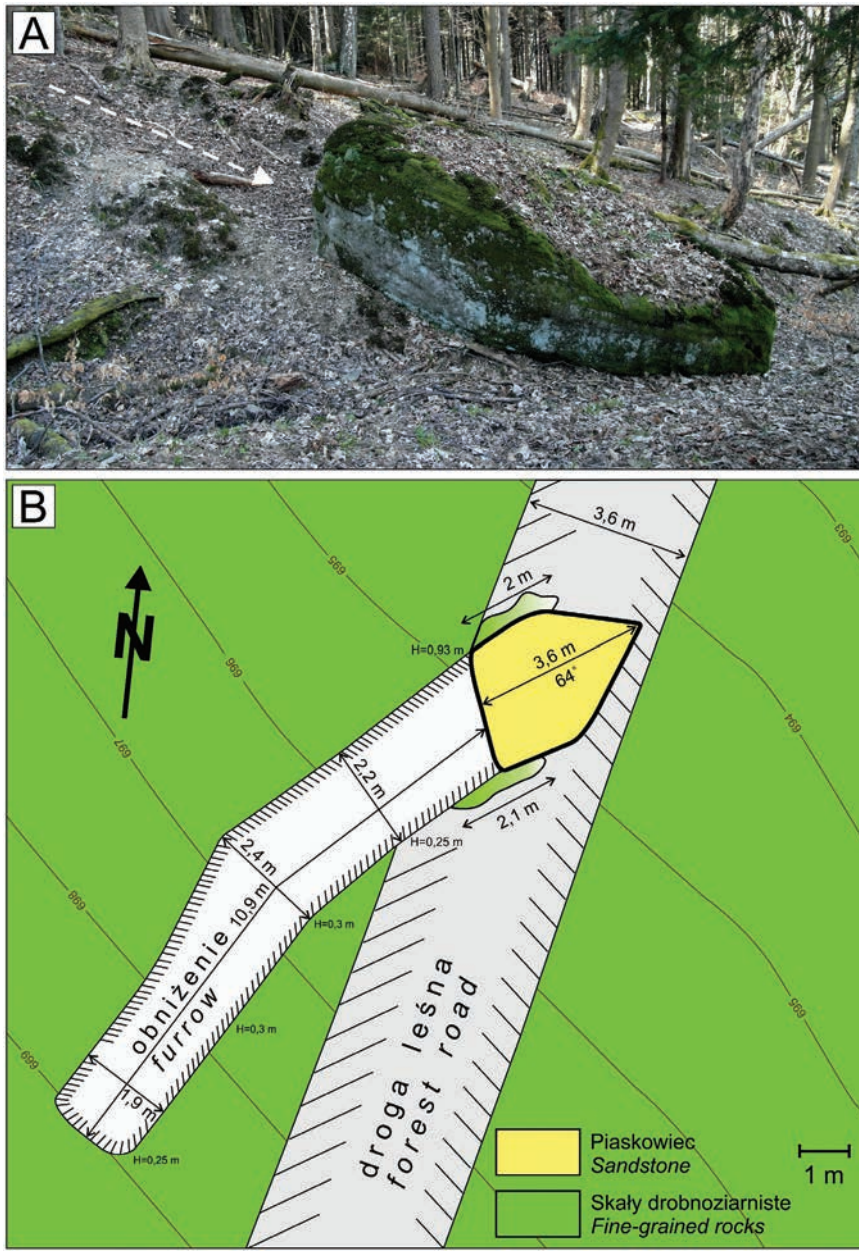
Współczesną pozycję niektórych bloków piaskowca próbowano tłumaczyć jako efekt ich powolnej wędrówki w dół stoku. Już J. Rogaliński i G. Słowiok (1958) odnotowali, że pod wpływem grawitacji bloki w Górach Stołowych mogą przemieszczać się wraz z materiałem drobnoziarnistym, w obrębie którego się znajdują. Podobnego zdania była M. Pulinowa (1989), która przedstawiła szczegółowy schemat wędrującego bloku na północnym przedpolu Szczelińca Wielkiego. Stwierdziła ona, że takich obiektów jest w Górach Stołowych więcej, ale nie udokumentowała lokalizacji żadnego z nich. O pojedynczym wędrującym bloku wypowiadał się także A. Jahn (1989). W jego opinii aktywne przemieszczanie się tego obiektu musiało mieć miejsce jeszcze w warunkach peryglacjalnych, a zachowany do dzisiaj wał z wyciśnięcia w frontalnej części bloku podlega wyłącznie degradacji. Z plejstocenem wędrówkę bloków łączyli również H. Chmal i inni (1999), zaliczając to zjawisko do najistotniejszych komponentów cofania się progów. Morfologiczne świadectwa wędrówki bloków w Górach Stołowych udokumentowali po raz pierwszy F. Duszyński i K. Parzóch (2016). Potwierdzili obecność siedmiu tego typu obiektów: w Małym Karłowie (ryc. 7), na stoku Rogowej Kopy oraz powyżej szosy Karłów – Ostra Góra. Według nich ruch bloków mógł być wywołany naturalnie lub poprzez działania człowieka i w sprzyjających warunkach odbywa się także współcześnie.

Nie można wykluczyć, że współczesna pozycja niektórych bloków skalnych związana jest z procesem powolnej wędrówki w warunkach klimatu zimnego, panującego w plejstocenie. Wszelkie świadectwa tego procesu zostały jednak zatarte przez holoceńską denudację.

Dezintegracja *in situ* i pozorna wędrówka bloków

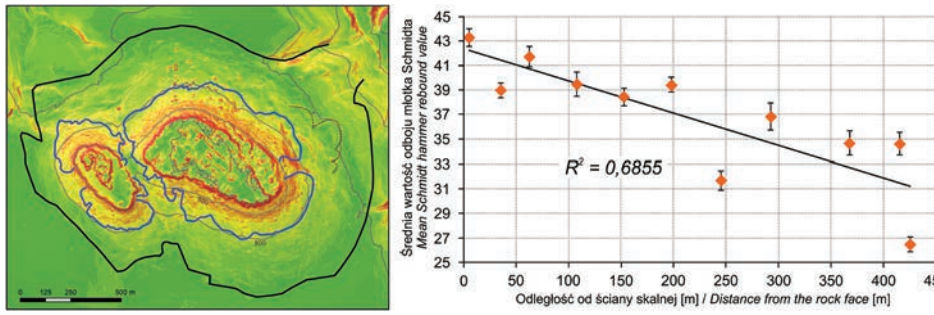
W omówionych dotąd pracach bloki skalne na stokach Gór Stołowych traktowano jako oczywisty efekt przemieszczeń grawitacyjnych. Całkowicie odmienne podejście zaprezentowali ostatnio F. Duszyński i P. Migoń (2015) oraz Duszyński i inni (2015). Zauważyli oni, że znaczna część bloków ma charakter kilkumetrowej długości płyt, których transport w dół stoku na drodze toczenia się lub powolnej wędrówki jest trudny do wytłumaczenia. Wątpliwości wzbudziła w szczególności powszechna obecność tego typu obiektów w niemal płaskich strefach podstokowych, nawet kilkaset metrów od ścian skalnych (fot. 5). Przeprowadzone symulacje komputerowe potwierdziły, że zjawiskiem odpadania nie można wytłumaczyć dotarcia bloków na tak znaczną odległość (ryc. 8A). Do podobnych wniosków prowadziły testy wytrzymałościowe. Wykazały one, że twardość bloków systematycznie obniża się w dół stoku (ryc. 8B), co wskazuje na dłuższy czas ekspozycji na procesy niszczące najdalej położonych obiektów. Epizodyczne obrywy lub lawiny kamienne – sugerowane przez wcześniejszych badaczy – nie skutkowałyby tak regularnym wzrostem wieku bloków.

http://rcin.org.pl



Ryc. 7. Wędrujący blok w obrębie nieistniejącej już wsi Mały Karłów
A – położenie bloku w wąwozie drogowym, B – ogólna sytuacja morfologiczna, z charakterystyczną rynną za blokiem
A ploughing block in the non-existent village of Mały Karłów
A – location of the block in the road gully, B – general morphological situation, with a characteristic furrow behind the block
Źródło: Duszyński i Parzóch (2016); zmienione / *Source: Duszyński and Parzóch (2016); modified.*

http://rcin.org.pl

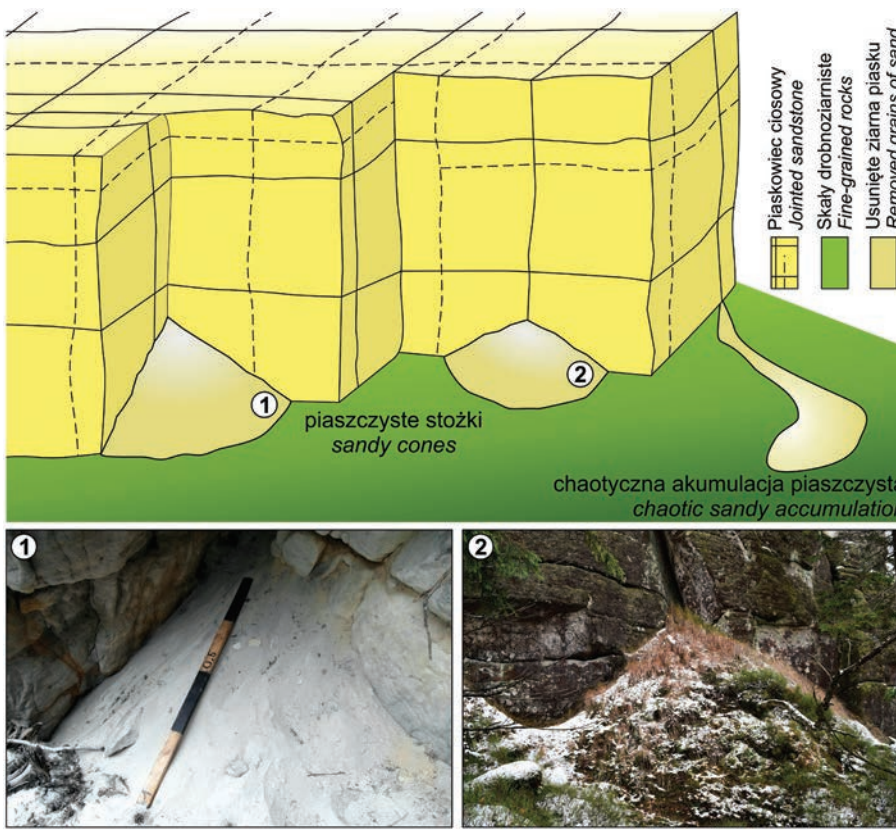


Ryc. 8. Najważniejsze wyniki badań Duszyńskiego i Migonia (2015)
A – rozbieżność pomiędzy symulowanym zasięgiem odpadania (niebieska linia) a rzeczywistą granicą występowania pokrywy blokowej Szczelińca Wielkiego i Małego (czarna linia), B – zależność pomiędzy wytrzymałością bloków piaskowca (testowaną przy użyciu młotka Schmidta) a ich odległością od ścian skalnych
The most important results of the study of Duszyński and Migoń (2015)
A – the discrepancy between the simulated rock fall run-out zone (blue line) and the actual limit of block cover of Mts. Szczeliniec Wielki and Szczeliniec Mały (black line), B – the relationship between the mechanical strength of sandstone blocks (tested using a Schmidt hammer) and their distance from the rock faces
Źródło: Duszyński i Migoń (2015); zmienione / *Source: Duszyński and Migoń (2015); modified.*

Fot. 5. Jeden z klasycznych bloków-płyt, położony w podstokowej strefie Narożnika, 400 m od ścian skalnych (fot. F. Duszyński)
One of the classic block-slabs, situated in the footslope zone of Mt. Narożnik, 400 m away from the rock faces

http://rcin.org.pl

Przedstawione wyniki F. Duszyński i P. Migoń (2015) uzupełnili o obserwacje z licznych odcinków ścian skalnych. Zauważyli, że ich rzeźbę cechuje zaawansowany stopień rozpadu na pakiety ograniczone spękaniami ciosowymi, a chaotyczne blokowiska nierzadko zastępują typowe urwiska skalne. U wylotu szczelin w ścianach skalnych zaobserwowano z kolei obecność piaszczystych stożków, często kilkumetrowej wysokości, świadczących o podpowierzchniowym wynoszeniu odspojonych ziaren mineralnych z wnętrza piaskowcowej płyty (Duszyński i inni, 2016; ryc. 9). Wykazano, że zgromadzony jest w ich obrębie niemal 1 tys. m^3 piasku. Na podstawie badań geofizycznych oszacowano, że jeszcze więcej usuniętego materiału pokrywa wklęsłe odcinki progów. Obliczono, że objętość allochtonicznych pokryw piaszczystych jest bardzo duża i wynosi w przybliżeniu 22 x 10^6 m^3. Wartość ta jest tylko o jeden rząd wielkości mniejsza niż całkowita kubatura płyty piaskowca stoliw Szczelińca Wielkiego i Małego, Skalniaka oraz Narożnika.



Ryc. 9. Piaszczyste akumulacje u podnóża ścian skalnych Gór Stołowych, powstałe na skutek mechanicznego usuwania produktów rozpadu płyty piaskowcowej
Sandy accumulations beneath the rock faces of the Stołowe Mountains, originating from mechanical removal of the products of sandstone disintegration
Źródło: Duszyński i inni (2016); zmienione / *Source: Duszyński et al. (2016); modified.*

http://rcin.org.pl

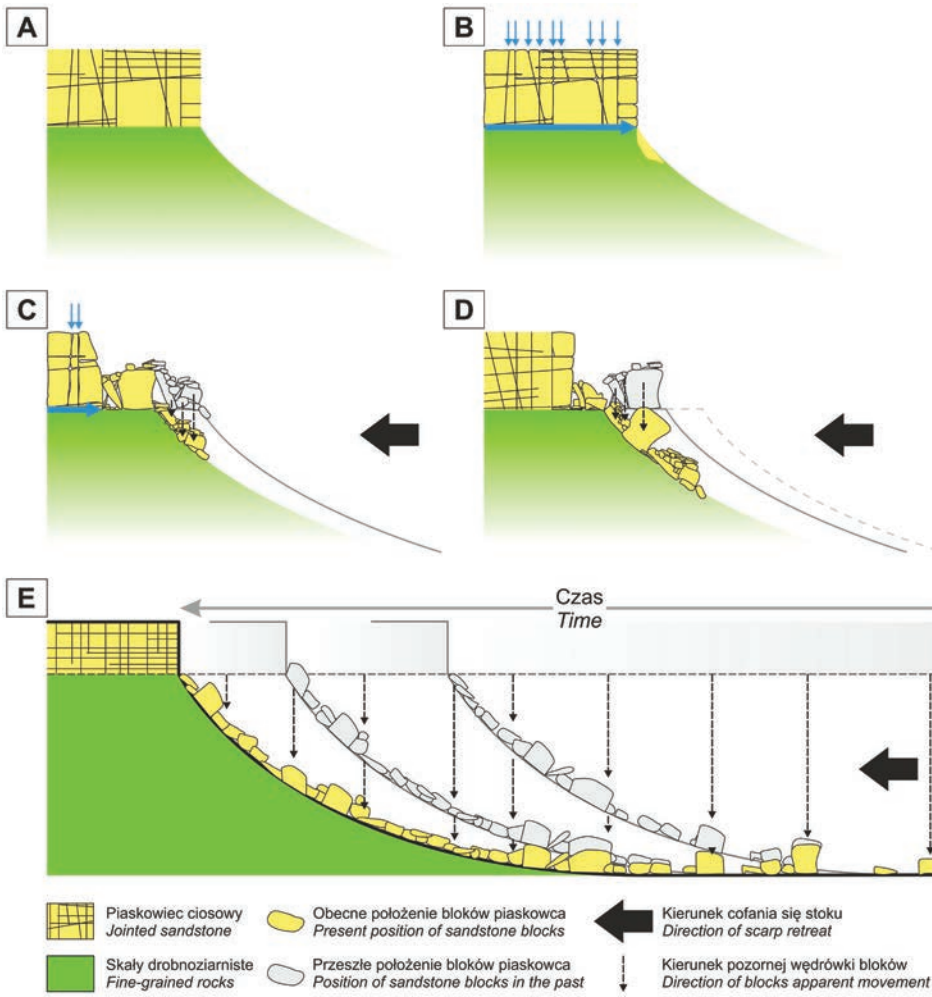
W konsekwencji F. Duszyński i P. Migoń (2015) zaproponowali alternatywną koncepcję ewolucji progów morfologicznych Gór Stołowych (ryc. 10). Model dezintegracji *in situ* zakłada niekatastrofalny rozpad przykrawędziowych partii płaskowyżów, bez większego udziału grawitacyjnych ruchów masowych. Jego istotą jest rozpad ścian skalnych wzdłuż preferencyjnie niszczonych powierzchni nieciągłości. Kluczową rolę odgrywa w tym względzie erozja i transport podpowierzchniowy, wyprowadzające na zewnątrz produkty rozpadu skały (Duszyński i inni, 2016). Przy takim przebiegu zjawiska pierwotnie zwarta ściana skalna staje się po czasie bezładnym blokowiskiem, a wielkość składających się na nie elementów skalnych nawiązuje wprost do pierwotnego rozstawu spękań ciosowych. Drugim komponentem modelu jest denudacyjne obniżanie odcinka stoku zbudowanego ze skał drobnoziarnistych. Związane z tym cofanie się stoku odpowiada za pozorną wędrówkę bloków, które zajmują coraz to niższą pozycję na stoku. Najdalej położone obiekty wyznaczają zatem najstarszy dający się odtworzyć zasięg piaskowcowych stoliw, a nie maksymalny zasięg odpadania.

Należy w tym miejscu podkreślić, że dezintegracja *in situ* nie jest traktowana przez F. Duszyńskiego i P. Migonia (2015) jako jedyna i wyłączna droga ewolucji progów morfologicznych. Epizodyczne ruchy masowe bez wątpienia również występują, ale ich rola w całokształcie morfogenezy Gór Stołowych wydaje się bardzo ograniczona.

Istnieją podstawy by twierdzić, że niekatastrofalny rozpad ścian skalnych brali pod uwagę również wcześniejsi badacze Gór Stołowych. Wskazuje na to m.in. wypowiedź Z. Czeppego (1952, s. 248), który stwierdził, że „w miejscach, gdzie nie następuje osiadanie czy obrywanie się skrajnej części płyty piaskowcowej, krawędź cofa się w pewien charakterystyczny sposób. Polega on na tym, że poszczególne partie skalne, znajdujące się pomiędzy szczelinami, są nierównomiernie niszczone". Autor ten zwrócił zatem uwagę na strukturalnie uwarunkowaną dezintegrację urwisk skalnych i wskazał ją jako alternatywę dla przemieszczeń grawitacyjnych. Podobne przemyślenia mieli J. Rogaliński i G. Słowiok (1958). Odnotowali oni, że obok „rumowisk przemieszczonych" w Górach Stołowych obecne są także „rumowiska *in situ*". O kluczowym elemencie koncepcji dezintegracji *in situ* – podpowierzchniowym usuwaniu ziaren piasku – wspominał z kolei B. Dumanowski (1961). Zauważył on, że poprzez szczeliny w ścianie skalnej ziarna piasku wyprowadzane są na niższy odcinek stoku. Na temat drugiego elementu modelu – pozornej wędrówki bloków wraz z denudacyjnym obniżaniem stoku – dość lakonicznie wypowiadała się tylko M. Pulinowa (1989) oraz H. Chmal i inni (1999). Zagadnienie to rozwinęli ostatnio K. Parzóch i P. Migoń (2015).

Pomimo trafności tych spostrzeżeń wcześniejsi badacze nigdy nie połączyli ich w spójny model ewolucyjny, którym próbowaliby objaśnić mechanizm rozwoju progów. W efekcie do dzisiejszych czasów przetrwało wyłącznie ich przekonanie o nadrzędnej roli ruchów masowych. Warto w tym miejscu podkreślić, że w czasach historycznych odnotowano zaledwie jeden przypadek odpadania w Górach Stołowych i to na niewielką skalę – w 1921 r.

http://rcin.org.pl



Ryc. 10. Model dezintegracji *in situ* (szczegółowy opis w tekście)
In-situ disintegration model (as explained in detail in the test)
Źródło: Duszyński i Migoń (2015) / *Source: Duszyński and Migoń (2015).*

Działalność wód powierzchniowych

Na temat roli wód powierzchniowych w ewolucji progów wypowiadano się rzadko. M. Pulinowa (1989) odnotowała, że rozcinanie erozyjne jest drugim obok ruchów masowych mechanizmem rozwoju krawędzi Gór Stołowych, jednak nie przedstawiła szczegółowych świadectw tego procesu. Nieco więcej informacji na ten temat możemy znaleźć w nowej pracy P. Migonia i M. Kasprzaka (2016). Na podstawie obrazów z wysokorozdzielczego numerycznego modelu terenu wykazali oni obecność licznych form wąwozowych w obrębie północno-wschodniego

http://rcin.org.pl

progu Gór Stołowych. Ich zdaniem świadczą one o lokalnie dużym udziale erozji wodnej w degradacji przykrawędziowej partii płaskowyżu centralnego. Co ciekawe, w obrębie wklęsłego odcinka progu, formy dolinne nie kontynuują się – może to wskazywać na dominację śródpokrywowego przepływu wody w niższych częściach stoku (Migoń i Kasprzak, 2016).

Wzdłuż krawędzi najwyższego poziomu morfologicznego formy związane z erozyjnym rozcinaniem są praktycznie nieobecne. F. Duszyński i inni (2016) wyliczyli, że na 30 km długości progów Skalniaka, Narożnika i Urwiska Batorowskiego przypada zaledwie siedem form dolinnych wykorzystywanych przez niewielkie cieki.

Rola uwarunkowań klimatycznych w ewolucji progów

W pracach, które na dziesiątki lat ukształtowały sposób myślenia o mechanizmach rozwoju progów, silnie akcentowano znaczenie uwarunkowań klimatycznych. Zalegające na stołowogórskich stokach blokowiska uznawano za przejaw intensywnego wietrzenia mechanicznego w środowisku peryglacjalnym plejstocenu (Łoziński, 1909; Czeppe, 1952; Rogaliński i Słowiok, 1958; Dumanowski, 1961). Twierdzono, że przeważająca wówczas akumulacja blokowa została w warunkach współczesnych zastąpiona przez rozpad piaskowca na ziarna mineralne (Dumanowski, 1961). O „kopalnym" charakterze blokowisk ma według J. Rogalińskiego i G. Słowioka (1958) świadczyć ich pokrycie przez roślinność.

Z dzisiejszej perspektywy ówczesne rozważania, niepoparte precyzyjnymi datowaniami, mają znaczenie wyłącznie historyczne. Można przypuszczać, że swoje piętno odcisnął dominujący w tamtych latach paradygmat peryglacjalny, nakazujący wiązać pochodzenie blokowisk skalnych z wietrzeniem mechanicznym w klimacie zimnym. Pogląd ten w dość oczywisty sposób kolidował z formułowanymi w tych samych pracach tezami o nadrzędnej roli wód podziemnych w rozpadzie ścian skalnych. Nie podejmowano próby wyjaśnienia, w jaki sposób pogodzić intensywny drenaż podziemny ze środowiskiem peryglacjalnym, w którym przez większą część roku grunt (skała) pozostaje zamarznięty. Sprzeczność ta jest najbardziej widoczna w monografii M. Pulinowej (1989). Autorka z jednej bowiem strony stwierdza, że pokrywy blokowe „powstały (…) w warunkach klimatu peryglacjalnego" (s. 161), z drugiej zaś przekonuje, że peryglacjalną genezę blokowisk „należy traktować jako jedną z możliwych, ale nie jedyną", a „ważny (…) czas rozwoju blokowisk przypada na okresy wzmożonej aktywności wód podziemnych w klimacie wilgotnym" (s. 191). Takie warunki M. Pulinowa (1989) łączy z holocenem. Brak adekwatnych danych sprawia, że w najnowszych pracach nie podejmuje się prób łączenia różnych mechanizmów rozwoju progów z odmiennymi warunkami klimatycznymi.

http://rcin.org.pl

Wyzwania i perspektywy badań nad mechanizmami rozwoju progów

Pomimo dużego postępu, jaki dokonał się w ostatnich latach, ciągle nie poznaliśmy kontekstu czasowego rozwoju progów morfologicznych Gór Stołowych. W efekcie wszelkie dyskusje na temat warunków sprzyjających rozpadowi ścian skalnych i cofaniu się stoków mają charakter wysoce spekulatywny. Nie wiemy, w jakich okolicznościach dochodziło do odchylania się pakietów piaskowca na północnej krawędzi Szczelińca Wielkiego, ani kiedy powstawały osuwiska w środkowych i dolnych partiach progów. Dzisiejszy stan wiedzy nie pozwala nam także wskazać, czy miąższe pokrywy piaszczyste na stokach Gór Stołowych są zapisem nieprzerwanego usuwania produktów rozpadu skały czy też związane są z warunkami, w których dezintegracja piaskowca była szczególnie intensywna. Pomocne w ustaleniu chronologii wydarzeń mogą okazać się datowania kosmogeniczne. Nie prowadzono ich dotąd w Górach Stołowych, a zastosowanie tej metody daje perspektywę określenia czasu powstania rozpadlin w przykrawędziowych partiach stoliw czy ustalenia bezwzględnego wieku pokryw blokowych. Wiedząc, że położenie bloków skalnych może odpowiadać dawnemu zasięgowi piaskowcowych stoliw (Duszyński i Migoń, 2015), realna wydaje się wizja określenia tempa recesji stołowogórskich stoków.

Do fundamentalnych zadań należy wyjaśnienie mechanizmu odspajania ziaren kwarcu z piaskowca kwarcowego budującego stoliwa najwyższego poziomu morfologicznego Gór Stołowych. Wykazano wprawdzie, w jaki sposób dochodzi do ich wynoszenia poza płytę piaskowcową, ale nie opisano procesu, dzięki któremu włączane są one w transport podpowierzchniowy. Jest wysoce prawdopodobne, że odpowiada za to wietrzenie chemiczne, prowadzące do powolnego rozpuszczenia krzemionkowego spoiwa i uwalniania w ten sposób ziaren mineralnych. Proces ten znany jest w literaturze anglosaskiej jako „arenizacja" (np. Wray i Sauro, 2017). Dotychczasowe próby badania denudacji chemicznej w Górach Stołowych ograniczały się do ustalenia wielkości odprowadzonego z wodą węglanu wapnia (Pulinowa, 1989). Rozpuszczanie krzemionki może odgrywać niepomiernie większą rolę.

Uściślenia wymaga także kluczowy element koncepcji dezintegracji *in situ* (Duszyński i Migoń, 2015), jakim jest denudacyjne obniżanie wklęsłego odcinka progu zbudowanego ze skał mułowcowo-marglistych. Mechanizmy rozpadu i usuwania skał drobnoziarnistych nie były dotąd przedmiotem naukowych rozważań.

Podsumowanie

Z omówionych prac wypływa ogólne przekonanie o fundamentalnej roli cofania się progów w morfogenezie Gór Stołowych. Przyczyną takiego kierunku rozwoju rzeźby są specyficzne uwarunkowania litologiczno-strukturalne, wśród których najistotniejsze jest horyzontalne zaleganie regularnie spękanych piaskowców

http://rcin.org.pl

na nieprzepuszczalnych skałach drobnoziarnistych. Przez ponad sto lat wśród badaczy dominował pogląd, że za recesję stołowogórskich stoków odpowiadają grawitacyjne ruchy masowe. Wymieniano wśród nich m.in. odpadanie, obrywy czy osiadanie (np. Czeppe, 1952; Dumanowski, 1961; Pulinowa, 1989), a czas aktywności tych procesów tradycyjnie wiązano z plejstocenem. Z dzisiejszej perspektywy formułowane przez lata tezy były obarczone wpływem funkcjonujących w geomorfologii paradygmatów, brakowało zaś potwierdzenia empirycznymi danymi liczbowymi. Przeprowadzone w ostatnich latach badania rzuciły nowe światło na morfogenezę Gór Stołowych. Zaproponowano, że głównym mechanizmem ewolucyjnym jest niekatastrofalna dezintegracja ścian skalnych, która prowadzi do powstania chaotycznych blokowisk *in situ*, podlegających następnie pozornej wędrówce (Duszyński i Migoń, 2015; Duszyński i inni, 2016). Według takiego modelu lokalnie istotną rolę odgrywać mogą osuwiska (np. Migoń i Kasprzak, 2016; Duszyński i inni, 2017), natomiast wędrówka bloków (Duszyński i Parzóch, 2016) i erozyjne rozcinanie krawędzi (Migoń i Kasprzak, 2016) mają znaczenie marginalne. Pomimo istotnego postępu w poznaniu morfologii Gór Stołowych uzasadnione jest podjęcie dalszych prac, do których zalicza się przede wszystkim szczegółowe rozpoznanie zróżnicowania rzeźby i utworów pokrywowych, studia nad zjawiskiem arenizacji, czy datowania kosmogeniczne bloków skalnych.

Podziękowania

Dziękuję recenzentom za pomocne sugestie i komentarze. Serdeczne podziękowania składam także prof. P. Migoniowi za krytyczne i bardzo celne uwagi do pierwotnej wersji manuskryptu. Wdzięczny jestem mgr. K. Jancewiczowi za pomoc w redakcji kartograficznej. Przeprowadzenie studiów literaturowych możliwe było dzięki finansowemu wsparciu z projektu badawczego nr 2014/15/N/ST10/00828 Narodowego Centrum Nauki. W trakcie pracy nad artykułem otrzymywałem stypendium doktorskie w projekcie badawczym ETIUDA Narodowego Centrum Nauki (nr 2017/24/T/ST10/00101). Dane cyfrowe LiDAR wykorzystałem zgodnie z licencją nr DIO. DFT.DSI.7211.1619.2015_PL_N wydaną w dniu 7 kwietnia 2015 roku przez Głównego Geodetę Kraju dla Wydziału Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego.

Piśmiennictwo

Cacoń S., Košťák B., 1976, *Displacement registration of sandstone blocks in the Stolowe Gory Mountains, Poland,* Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 13, s. 117–122.

Cacoń S., Košťák B., Mąkolski K., 2008, *Współczesne ruchy masowe Szczelińca Wielkiego*, [w:] A. Witkowski, B. M. Pokryszko, W. Ciężkowski (red.), *Przyroda Parku Narodowego Gór Stołowych*, Wydawnictwo Parku Narodowego Gór Stołowych, s. 114–127.

http://rcin.org.pl

Chmal H., Potocki J., Traczyk A., Parzóch K., 1999, *Komentarz do mapy geomorfologicznej sporządzonej dla terytorium Parku Narodowego Gór Stołowych*, [w:] M. Zgorzelski (red.), *Góry Stołowe,* Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa, s. 44–49.

Czeppe Z., 1952, *Z morfologii Gór Stołowych,* Ochrona Przyrody, 20, s. 236–254.

Dumanowski B., 1961, *Zagadnienie rozwoju stoku na przykładzie Gór Stołowych,* Czasopismo Geograficzne, 32, s. 311–324.

Dumanowski B., 1967, *Zależność rozwoju stoku od budowy geologicznej,* Acta Universitatis Wratislaviensis, Studia Geograficzne, 61, 9, s. 1–134.

Duszyński F., Jancewicz K., Kasprzak M., Migoń P., 2017, *The role of landslides in downslope transport of caprock-derived boulders in sedimentary tablelands, Stołowe Mts, SW Poland,* Geomorphology, 295, s. 84–101.

Duszyński F., Migoń P., 2015, *Boulder aprons indicate long-term gradual and non-catastrophic evolution of cliffed escarpments, Stołowe Mts, Poland,* Geomorphology, 250, s. 63–77.

Duszyński F., Migoń P., Kasprzak M., 2016, *Underground erosion and sand removal from a sandstone tableland, Stołowe Mountains, SW Poland,* Catena, 147, s. 1–15.

Duszyński F., Migoń P., Strzelecki M.C., 2015, *The origin of sandstone boulder aprons along the escarpments of the Stołowe Mountains: Are they all rockfall-derived? A new insight into an old problem using the CONEFALL 1.0 software,* Bulletin of Geography. Physical Geography Series, 8, s. 19–32.

Duszyński F., Parzóch K., 2016, *Czy w Górach Stołowych wędrują bloki?*, Przyroda Sudetów, 19, s. 189–210.

Jahn A., 1989, *The soil creep on slopes in different altitudinal and ecological zones of Sudetes Mountains,* Geografiska Annaler A. Physical Geography, 71A, s. 161–170.

Jerzykiewicz T., 1968, *Sedymentacja górnych piaskowców ciosowych niecki* śródsudeckiej *(górna kreda),* Geologia Sudetica, 4, s. 409–462.

King L.C., 1953, *Canons of landscape evolution,* Geological Society of America Bulletin, 64, s. 721–752.

Łoziński W., 1909, *O mechanicznem wietrzeniu piaskowców w umiarkowanym klimacie*, Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności, Seria III, 9A, s. 1–16.

Migoń P., 2008, *Rzeźba i rozwój geomorfologiczny Gór Stołowych,* [w:] A. Witkowski, B.M. Pokryszko, W. Ciężkowski (red.), *Przyroda Parku Narodowego Gór Stołowych,* Wydawnictwo Parku Narodowego Gór Stołowych, s. 49–69.

Migoń P., Kasprzak M., 2011, *Morfologiczny zapis ruchów masowych na progach morfologicznych w Górach Stołowych w świetle numerycznego modelu wysokości o dużej rozdzielczości,* Przyroda Sudetów, 14, s. 115–124.

Migoń P., Kasprzak M., 2012, *Rzeźba północnego progu Gór Stołowych w rejonie Białej Skały,* Przyroda Sudetów, 15, s. 155–168.

Migoń P., Kasprzak M., 2015, *Analiza rzeźby stoliwa Szczelińca Wielkiego w Górach Stołowych na podstawie numerycznego modelu terenu z danych LiDAR*, Przegląd Geograficzny, 87, 1, s. 27–52.

http://rcin.org.pl

Migoń P., Kasprzak M., 2016, *Pathways of geomorphic evolution of sandstone escarpment in the Góry Stołowe tablelands (SW Poland) – Insights from LiDAR-based high-resolution DEM,* Geomorphology, 260, s. 51–63.

Migoń P., Kasprzak M., Traczyk A., 2013, *How high-resolution DEM based on airborne LiDAR helped to reinterpret landforms – examples from the Sudetes, SW Poland,* Landform Analysis, 22, s. 89–101.

Migoń P., Latocha A., Parzóch K., Kasprzak M., Owczarek P., Witek M., Pawlik Ł., 2011, *Współczesny system morfogenetyczny Gór Stołowych,* [w:] T. Chodak, C. Kabała, J. Kaszubkiewicz, P. Migoń, J. Wojewoda (red.), *Geoekologiczne warunki środowiska przyrodniczego Parku Narodowego Gór Stołowych,* WIND, Wrocław, s. 1–52.

Migoń P., Szczepanik M., 2005, *Amfiteatry skalne północno-wschodniego progu Gór Stołowych,* Szczeliniec, 9, s. 5–18.

Migoń P., Zwiernik M., 2006, *Strukturalne uwarunkowania rzeźby północno-wschodniego progu Gór Stołowych,* Przegląd Geograficzny, 78, 3, s. 319–338.

Parzóch K., Migoń P., 2015, *Deciphering the origin of allochthonous sandstone boulder trains within a mudstone escarpment, Stołowe Mountains, SW Poland*, Zeitschrift für Geomorphologie, 59, Suppl. 1, s. 103–122.

Pašek J., Pulinowa M. Z., 1976, *Block movements of Cretaceous sandstones in the Stolowe Gory Mts., Poland,* Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 13, s. 79–82.

Placek A., 2006, *Młotek Schmidta w badaniach geomorfologicznych – ewaluacja i przykłady zastosowania*, Czasopismo Geograficzne, 77, 3, s. 182–205.

Pulinowa M.Z., 1972, *Procesy osuwiskowe w środowisku sztucznym i naturalnym,* Dokumentacja Geograficzna, 4, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.

Pulinowa M.Z., 1975, *Badania deformacji piaskowców kredowych na obszarze Gór Stołowych,* Przegląd Geologiczny, 23, 6, s. 303–304.

Pulinowa M.Z., 1989, *Rzeźba Gór Stołowych*, Prace Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 1008.

Pulinowa M.Z., 1996, *Rzeźba Gór Stołowych jako efekt relacji: struktura geologiczna – woda,* Materiały Sympozjum Naukowego Środowisko Przyrodnicze Parku Narodowego Gór Stołowych, Kudowa Zdrój, 11–13 października 1996, s. 47–52.

Pulinowa M.Z., 2008, *Geomorfologia,* [w:] A. Witkowski, B. M. Pokryszko, W. Ciężkowski (red.) *Przyroda Parku Narodowego Gór Stołowych,* Wydawnictwo Parku Narodowego Gór Stołowych, s. 38–48.

Remisz J., 2007, *Strukturalne uwarunkowania rzeźby południowego progu Gór Stołowych*, Przyroda Sudetów, 10, s. 253–268.

Rogaliński J., Słowiok G., 1958, *Rzeźba Gór Stołowych w świetle teorii pedyplanacji,* Czasopismo Geograficzne, 29, 4, s. 473–494.

Synowiec G., 1999, *Ocena wytrzymałości mas skalnych dla celów geomorfologicznych i jej zastosowanie dla stoków piaskowcowych Gór Stołowych,* Czasopismo Geograficzne, 70, 3–4, s. 351–361.

http://rcin.org.pl

Wojewoda J., 1997, *Upper Cretaceous littoral-to-shelf succession in the Intrasudetic Basin and Nysa Trough, Sudety Mts.*, [w:] J. Wojewoda (red.), *Obszary źródłowe: zapis w osadach*, WIND, Wrocław, s. 81–96.

Wray R.A.L., Sauro F., 2017, *An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites*, Earh-Science Reviews, 171, s. 520–557.

Zgorzelski M., 1995, *Ukształtowanie terenu PNGS*, [w:] M. Zgorzelski (red.), *Góry Stołowe*, Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa, s. 21–43.

Summary

The Stołowe Mountains, situated in the Middle Sudetes, form Poland's only tableland, which is underlain by an alternating succession of sedimentary rocks, all of Permian and Late Cretaceous age. The morphology of the Stołowe Mountains is characterised by the presence of isolated mesas and plateaus. Nearly-level summits are bounded by precipitous escarpments up to 300 m tall. These are bipartite in profile, with stronger sandstones forming vertical cliffs and less-resistant marls and mudstones being truncated by concave slope sections.

There seems to be general agreement that long-term escarpment retreat is the dominant pathway by which this tableland evolved geomorphically. However, ideas on the processes contributing to the scarp recession vary. Since the early 20th century, the dominant concept has ascribed a major role to catastrophic mass movements. Łoziński (1909) for example pointed to rock falls, and linked their origin with intense mechanical weathering. For their part, both Czeppe (1952) and Dumanowski (1961, 1967) underlined the crucial importance of subsurface water flow at the point of contact between the permeable sandstones and impermeable fine-grained rocks. In their opinion, that phenomenon results in the undercutting and destabilisation of rock faces. Pulinowa (1972, 1989) was of a similar view and suggested that plastic deformations of underlying marls and mudstones caused subsidence and the toppling of marginal parts of the sandstone caprock. Although deep clefts are a prominent feature of Mt Szczeliniec Wielki, no significant movements have been recorded in recent decades (e.g. Cacoń, 2008).

Thus, from a present-day standpoint, the different outlooks mentioned above can be considered highly influenced by paradigms, while lacking in support where empirical data are concerned. In contrast, systematic study based on quantitative measurements has been engaged in recently by Duszyński and Migoń (2015) and Duszyński et al. (2016). They reveal that non-catastrophic disintegration of cliff lines appears to be a much more common phenomenon than rock failure. An alternative scenario assumes that the marginal parts of plateaus are separating along joints, due to underground erosion and removal of rock residuum. In this way, after a long period of time, a once-solid rock face becomes a mess

http://rcin.org.pl

of joint-bounded blocks. Transport downslope is then more apparent than real as progressively lower topographical positions are occupied, while the lower escarpment slope recedes. Landslides in the middle and lower parts of the slope (Duszyński et al., 2017), block ploughing (Pulinowa, 1989; Duszyński and Parzóch, 2016) and erosional incision (Migoń and Kasprzak, 2016) all do contribute to escarpment retreat, but their role is limited to single localities.

Although our knowledge regarding the evolution of the Stołowe Mountains has improved greatly, we still lack chronological data, and are hence unable to pinpoint the environmental conditions proving particularly favourable to escarpment recession. There is also a need to determine whether the arenisation process often described in the foreign literature (e.g. Wray and Sauro, 2017) is actually responsible for the slow detachment of sand grains from quartz sandstone.

[Wpłynęło: sierpień; poprawiono: grudzień 2017]

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl