

## **Uwarunkowania rozwoju osuwisk w środkowej części Gór Kamiennych (Sudety)**

### **Conditioning of landslides development in central part of the Kamienne Mountains (Sudetes)**

**Marek Kasprzak, Andrzej Traczyk**

*Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław  
marek.kasprzak@uni.wroc.pl*

**Zarys treści:** W przedstawionej pracy podjęto próbę wyznaczenia stref o różnej podatności na ruchy osuwiskowe stoków metodą ekspercką. Badaniem objęto centralną część Gór Kamiennych (Sudety Środkowe), gdzie stoki są w znacznym stopniu przekształcone przez ruchy osuwiskowe. Do modelowania w programach SAGA GIS i MicroDEM wykorzystano cyfrowy model wysokości oraz parametry pierwotne i wtórne: nachylenie, energię rzeźby oraz współczynnik uwilgotnienia. Stosując algebrę rastrową (dodawanie warstw rastrowych), wyznaczono 4 klasy podatności, konfrontując je z sytuacją wysokościową, zasięgiem osadów koluwalnych i rzeczywistym rozmieszczeniem osuwisk inwentaryzowanych w terenie. Zastosowana procedura pokazała przydatność parametrów geomorfometrycznych w wyznaczaniu stref osuwiskowych. Uwypukliła także problem zależności rozmieszczenia form osuwiskowych od struktury podłoża.

**Słowa kluczowe:** ruchy masowe, osuwiska, geomorfometria, Góry Kamienne, Sudety

**Abstract:** In this paper is presented an attempt to determine landslide susceptibility of slopes. The investigation was done for central part of Kamienne Mts. (Central Sudetes), where slopes are strongly affected by mass movements. Authors used DEM and basic and derivate land-surface parameters (slope, relief, topographic wetness index) to modeling in SAGA GIS and MicroDEM software. Using raster map algebra four susceptibility classes were obtained. Results of modeling were compared with elevations and colluvial deposits areas derived from geological and geomorphological maps. Used method showed a helpfulness of these land-surface parameters for landslide predicting. It emphasized also a problem of bedrock structure influence on mass wasting distribution.

**Key words:** mass movements, landslides, geomorphometry, Kamienne Mountains, Sudetes

### **Wstęp**

Góry Kamienne położone są w obrębie niecki śródsudeckiej w Sudetach Środkowych, na południe od Wałbrzycha. Stanowią swoisty ewenement – Sudety w powszechnej opinii, ze względu na swoją budowę geologiczną, uznawane są za obszar, w którym formy osuwiskowe nie występują. Natomiast szczególne badania terenowe różnych autorów (Pulinowa, Mazur 1971, Grocholski 1972, Pulinowa 1972, Synowiec, Traczyk 2004, Synowiec 2005, Migoń

2010) wykazały, że na stokach Gór Kamiennych zbudowanych za skał wulkanicznych występują formy osuwiskowe tworzące się w wyniku zarówno ruchów translacyjnych, jak i rotacyjnych. Struktury powstałe w efekcie ruchów rotacyjnych potwierdzone zostały m.in. tomografią elektrooporową gruntu (Migoń i in. 2010). Do tej pory zidentyfikowano 24 formy związane z ruchami masowymi (Synowiec, Traczyk 2004, Migoń 2010). Są to zarówno głębokie osuwiska skalne, płytkie osuwiska zwietrzelinowe, jak i jezory spływów błotno-gruzowych.

Kartowanie terenowe wskazuje, że formy osuwiskowe są współcześnie nieaktywne, jednak ich wiek nie został do tej pory jednoznacznie rozstrzygnięty (Synowiec 2005, Migoń 2010). Czynnikiem sprzyjającym powstaniu form osuwiskowych w Górach Kamiennych jest występowanie w podłożu silnie spękanych skał wulkanicznych i osadowych (mułowce, ilowce).

Autorzy niniejszej pracy dokonali klasyfikacji geomorfometrycznej stoków Gór Kamiennych pod kątem ich predyspozycji do rozwoju ruchów masowych. Zasięg opracowania prezentuje rycina 1. Prace prowadzono w oparciu o cyfrowy model wysokościowy (DEM) w programie SAGA GIS. Rezultaty skonfrontowano ze „Szczegółową mapą geologiczną Sudetów w skali 1:25 000” (SzMGS), na której oznaczone są nisze osuwiskowe lub jedynie zasięgi osadów koluwalnych (rumosze skalne i ily zwietrzelinowe).

## Metody badań

Autorzy poddali analizie geomorfometrycznej środkowy fragment Gór Kamiennych (Pasma Lesistej i Góry Suche – obszar opracowania obejmował 77 km<sup>2</sup>). Polegała ona w pierwszym etapie na wyznaczeniu pierwotnych i wtórnych parametrów powierzchni terenu. W etapie kolejnym, w sposób automatyczny, na zasadzie złożenia warstw rastrowych, uzyskano informację na temat rozmieszczenia obszarów teoretycznie predysponowanych do występowania ruchów masowych. W badaniach posłużono się cyfrowym modelem wysokości, jaki wykonany został w Instytucie Geografii i Rozwoju Regionalnego na podstawie digitalizacji poziomic z map topograficznych w skali 1:25 000 (Migoń i in. 2009). Na potrzeby opracowania został on zweryfikowany pod kątem występowania błędów interpolacyjnych w obrębie den dolinnych i reinterpolowany do rozdzielczości 30×30 m.

Analizę prowadzono w programach SAGA GIS i MicroDEM, w których wyznaczono następujące parametry: (1) nachylenie stoków, (2) relief (energję rzeźby) dla otoczenia 250 m od każdej komórki rastrowej i (3) współczynnik uwilgotnienia (TWI – *Topographic*

*Wetness Index*). Uwagi dotyczące geomorfologicznego znaczenia tych parametrów przedstawili szerzej w swojej pracy Kasprzak i Traczyk (2010), można je także znaleźć w opracowaniach Hengla i Reutera (2008) czy Urbańskiego (2008).

Wybór parametrów użytych w analizie uzależniony był od faktu, że wiążą one w sobie główne uwarunkowania decydujące o rozwoju ruchów masowych. Pierwsze dwa z parametrów wyznaczają miejsca warunkowane topograficznie (czynnik grawitacyjny), przy czym energia rzeźby wprowadza informację o gradientach wysokościowych w skali lokalnej, określonej przez z góry zadane otoczenie. TWI wskazuje na obszary sprzyjające koncentracji wody, co może inicjować omawiane procesy. Podobne parametry, które w literaturze określane są jako „czynniki bierne” lub „czynniki pasywne”, stanowiły podstawę innych opracowań teoretycznych, dotyczących osuwiskowej podatności stoków (Gritzner i in. 2001, Pike i in. 2003, Mrozek i in. 2004, Kamiński 2007, Długosz 2009, Bovolenta, Federici 2010). Założono, że na terenach o dużych nachyleniach powierzchni i znacznych przewyższeniach oraz wysokim stopniu uwilgotnienia gruntu warunki rozwoju ruchów masowych są najkorzystniejsze. Budowa modelu w oparciu o tak podstawowe informacje ma swoje uzasadnienie. Jest to jedyny jednorodny zbiór danych przestrzennych obejmujący cały obszar badań. W procedurze obliczeniowej pominięto inne ważne czynniki środowiskowe, takie jak warunki topoklimatyczne i hydrogeologiczne, ze względu na brak wiarygodnych danych przestrzennych. Przykładowo w odniesieniu do czynników klimatycznych pomiary tego typu wykonywane były jedynie w Sokołowsku w pierwszej połowie XX w. na potrzeby tego uzdrowiska. Nie prowadzi się tutaj także pomiarów hydrologicznych ani innego monitoringu przyrody nieożywionej. Nie uwzględniono również pokrycia terenu z powodu jego małego zróżnicowania – stoki są w większości zalesione, brak informacji cyfrowych dotyczących składu gatunkowego obszarów leśnych. Problemów interpretacyjnych dostarcza też analiza SzMGS, na której w różny sposób i z różną dokładnością przedstawiane są utwory związane z procesami stokowymi (Traczyk 2009).

**Tabela 1.** Przedziały klasowe parametrów morfometrycznych użytych w analizie  
**Table 1.** Value ranges of land-surface parameters used in the analysis

Spadki		Relief (energja rzeźby)		TWI	
[°]	klasa	[m]	klasa	[-]	klasa
0–8	1	<50	1	7,27–11,65	1
8–16	2	50–100	2	11,65–16,03	2
16–24	3	100–150	3	16,03–20,41	3
24–32	4	150–300	4	20,41–24,79	4
>32	5	–	–	–	–

Parametry wejściowe otrzymane w wyniku przekształcenia DEM (spadki, relief, TWI) poddano reklasyfikacji w celu ich odpowiedniego rangowania (tab. 1). Przedziały i liczby klas ustalono arbitralnie, posługując się kryterium największego zróżnicowania przestrzennego (kontrastu), co ma związek z charakterem morfologicznym terenu. W przypadku bezwymiarowego parametru TWI wartości minimalne oznaczają obszary skrajnie suche, wartości maksymalne – skrajnie wilgotne. Powstałe w wyniku działania funkcji reklasyfikacyjnej warstwy wynikowe połączono za pomocą narzędzia algebry rastrowej w programie SAGA GIS, stosując operator sumowania. Uzyskano w ten sposób nową warstwę wynikową i jej wizualizację – mapę, przedstawiającą rozmieszczenie stoków o różnej podatności na wystąpienie ruchów masowych. Wynik traktować można jako mapę podatności stoków na wystąpienie ruchów osuwiskowych. Weryfikację otrzymanego rezultatu stanowi konfrontacja z mapą geologiczną. Pomijając wykazane wcześniej problemy związane z wykorzystaniem SzMGS, wskazuje ona miejsca, w których w niedawnej przeszłości geologicznej zachodziły ruchy masowe. Efektem tych procesów jest występowanie stref akumulacji grubofrakcyjnego materiału okruchowego. Wynik zestawiono także z różnymi piętrami wysokościowymi terenu, celem ukazania przestrzennego rozmieszczenia obszarów różnej podatności. Należy zaznaczyć, że wykorzystaną procedurę traktować trzeba wyłącznie jako model ekspercki oparty na wiedzy geomorfologicznej i nawiązujący do lokalnych warunków orograficznych.

## Charakterystyka obszaru badań

Góry Kamienne zawdzięczają wyrazistość rysów morfologicznych specyficznej budowie geologicznej. Góry te można utożsamiać ze strefą występowania w obrębie niecki śródsudeckiej wulkanitów dolnego permu (czerwonego spągowca). W sąsiedztwie wulkanitów zalegają różnorodne klastyczne skały osadowe górnego karbonu, permu oraz triasu i górnej kredy (Grocholski 1966, 1973). Skały górnokarbońskie formują odrębną jednostkę tektoniczną synklinorium śródsudeckiego określaną jako niecka wałbrzyńska. W nowszych opracowaniach geologicznych skały osadowe permu oraz triasu i kredy zaliczane są do trzech formacji: z Krajana, ze Słupca i Radkowa. Pierwszą z nich budują piaskowce, podrzędnie zlepieńce oraz iłowce i mułowce, które częściowo zawierają materiał tufogeniczny oraz konglomeraty węglanowe (Grocholski 1973, Bossowski i in. 1994). Na formację ze Słupca składają się głównie iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców drobnoziarnistych. Skały te pod względem wiekowym zaliczane są do dolnego czerwonego spągowca i stanowią serię przederyptywną podścielającą skały wulkaniczne.

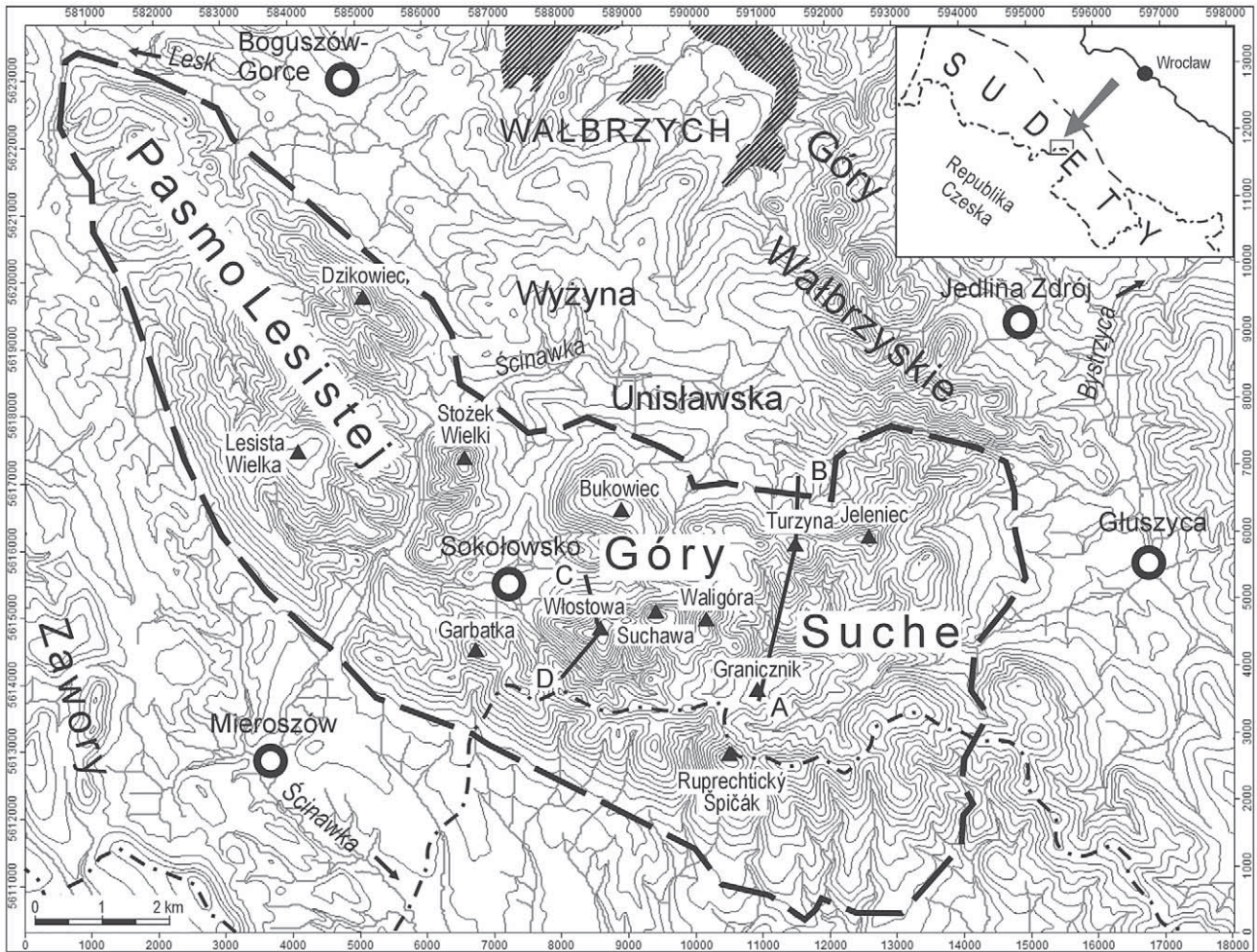
Młodsza (poeryptywna) serię w obrębie tej formacji budują natomiast szarogłazy i zlepieńce wulkanogeniczne, iłowce i mułowce, dolomity i zlepieńce porfirowate oraz szarogłazy dolomitowe. Formację z Radkowa tworzą najmłodsze wśród wymienionych serie skał litych niecki śródsudeckiej. Są to głównie mułowce i piaskowce górnokredowe.

Seria skał wulkanicznych czerwonego spągowca budujących Góry Kamienne ma złożoną strukturę. Szczegółowy podział i klasyfikację skał wulkanicznych Gór Kamiennych przedstawił Awdankiewicz (1999). Autor ten wyróżnia trzy główne kompleksy skał wulkanicznych, są to asocjacja Gór Kruczych (poza obszarem badań), Unisławia Śląskiego oraz Rybnicy Leśnej. Odrębną jednostką strukturalną stanowią w obrębie kompleksu wulkanicznego tufy riolitowe Gór Suchych (ryc. 2 – mapa schematyczna kompleksu wulkanicznego – asocjacje). Charakterystykę elementów składowych kompleksu wulkanicznego podano za Awdankiewiczem (1999) w tabeli 2.

Asocjacje wchodzące w skład kompleksu wulkanicznego Gór Kamiennych na obszarze badań nie tworzą jednolitej struktury geologicznej. W wielu miejscach między poszczególnymi formacjami i w ich obrębie występują wąskie pasma wychodni mułowców i iłowców czerwonego spągowca. W rejonie Stożka Wielkiego są to również brekcje mułowcowo-trachyandezytowe. Drobnoklastyczne skały czerwonego spągowca (głównie mułowce i iłowce) odsłaniają się także wzdłuż północnej granicy kompleksu wulkanicznego.

W obrębie asocjacji Unisławia Śląskiego największą powierzchnię zajmują trachyandezyty Stożka Wielkiego. Ciągną się one pasem o szerokości dochodzącej do 3 km od Starego Lesieńca po Sokołowsko (ryc. 2). Są to na ogół skały masywne osiągające miąższość od 200–300 m do 600 m. W stropowych partiach trachyandezyty zazębiają się z innymi skałami wulkanicznymi oraz skałami osadowymi formacji Słupca. Drugie miejsce pod względem zajmowanej powierzchni przypada riolitom Waligóry. Budują one najwyższe partie Gór Suchych położone na południe i wschód od Sokołowska. Skały te są masywne i cechują się znaczną wytrzymałością mechaniczną, są jednak przy tym gęsto spękane. Struktura tych skał jest zróżnicowana: w dolnych partiach dominują lawy o oddzielności płytowej, w górnej zaś są to odmiany pęcherzykowate z czytelnymi teksturami fluidalnymi związanymi z płynięciem lawy.

W obrębie asocjacji Rybnicy Leśnej wyróżniają się trachyandezyty Bukowca. Budują one wzniesienia osiągające maksymalnie 900 m położone w równoleżnikowym pasie przebiegającym na północ od Sokołowska. Skały te tworzą kilka zapadających w kierunku południowym pokryw przedzielonych utworami klastycznymi formacji Słupca. Miąższość tej serii dochodzi do 200 m. Trachyandezyty Bukow-



**Ryc. 1.** Obszar badań (oznaczony linią przerywaną); mapa wygenerowana na podstawie DEM – poziomicę co 25 m; AB, CD – przekroje przedstawione na rycinach 3 i 4

**Fig. 1.** Study area (dashed line); map based on DEM – contour lines 25 m; AB, CD – cross lines showed on Fig. 3 and 4

ca cechują się masywną budową i znaczną wytrzymałością mechaniczną. Podrzędnie występują wśród nich odmiany pęcherzykowane.

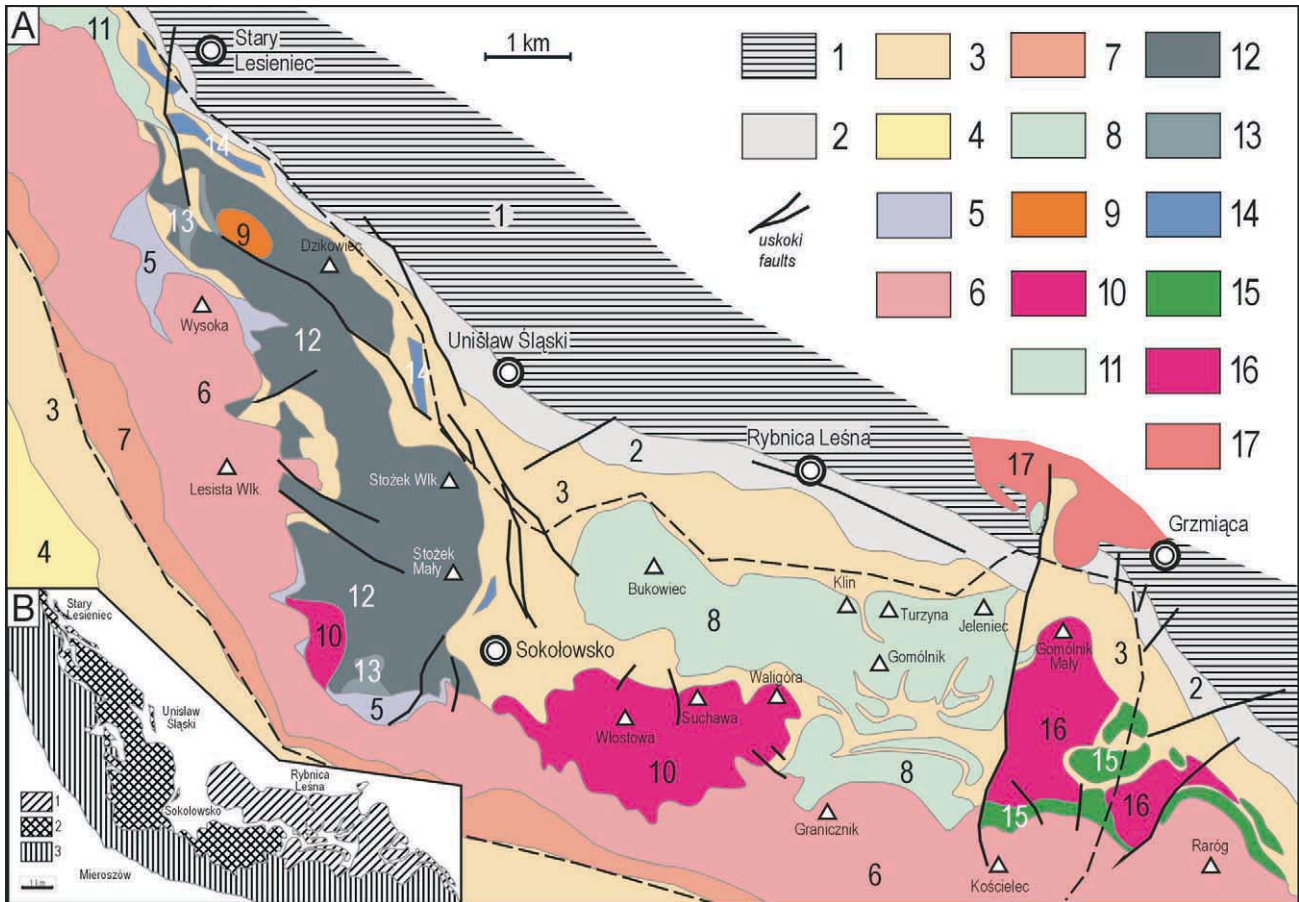
Najmłodsze ogniwo kompleksu wulkanicznego Gór Kamiennych stanowią tufy riolitowe Gór Suchych. Na obszarze badań ciągną się one w strefie o szerokości 1–4 (ryc. 2). W jego obrębie powstał południowy grzbiet Pasma Lesistej oraz grzbiet graniczny Gór Suchych. Na szczegółowej mapie geologicznej Sudetów (Grocholski 1973) skały te określane są jako tufy i tufity riolitowe oraz ignimbryty riolitowe (porfiry kwarcowe). Miąższość tego kompleksu do-

chodzi do 300 m. W jego spągowej partii dominują odmiany warstwowane i masywne niezlifyfikowane (niespieczone). Na nich zalegają 100-metrowej miąższości pakiety tufów masywnych spieczonych (ignimbrytów).

Góry Kamienne składają się z kilku pasm. Są to Góry Krucze, Czarny Las, Pasma Lesistej Wielkiej i Góry Suche. Ze względu na specyficzną budowę geologiczną (wulkanity permskie w sąsiedztwie skał osadowych) cechują się one stromymi stokami i znacznymi deniwelacjami przekraczającymi lokalnie 200 m, przy niewielkich wysokościach bezwzględnych,

**Tabela 2.** Podział wulkanitów permskich według Awdankiewicza (1999)  
**Table 2.** Permian volcanics classification by Awdankiewicz (1999)

Asocjacja	Typy skał wulkanicznych
Gór Kruczyc	Trachyandezyty bazaltowe Kamiennej Góry i riolity Gór Kruczyc
Unisławia Śląskiego	Głównie trachyandezyty i podrzędnie trachyandezyty bazaltowe oraz riolity rozdzielone na kilka mniejszych jednostek strukturalnych
Rybniicy Leśnej	Wyłącznie skały kwaśne (riolity) i obojętne (trachyandezyty)
Tufy riolitowe Gór Suchych	Tufy masywne, tufy masywne spieczone, tufy warstwowane



**Ryc. 2.** Budowa geologiczna środkowej części Gór Kamiennych według Awdankiewicza (1999, zmienione)

Objaśnienia A: 1 – starsze skały osadowe niecki śródsudeckiej (serie węglonośne), 2 – formacja z Krajanowa, 3 – formacja ze Słupca, 4 – formacja z Radkowa, 5 – tufy warstwowane, 6 – tufy masywne nie spieczone, 7 – tufy masywne spieczone, 8 – trachyandezyty Bukowca, 9 – riolity Dzikowca, 10 – riolity Ługowiny i Waligóry, 11 – trachyandezyty Grzęd, 12 – trachyandezyty Stożka Wielkiego, 13 – brekcje mułowcowo-trachyandezytowe Stożka Wielkiego, 14 – trachyandezyty Leszczyńca-Sokołowska, 15 – trachyandezyty Grzmiąca, 16 – riolity Łomnicy, 17 – riolity Rusinowa-Grzmiąca (asocjacja wulkanitów wschodniej części basenu wałbrzyskiego); B: asocjacje wulkaniczne: 1 – Unisławia Śląskiego, 2 – Rybnicy Leśnej, 3 – tufity riolitowe Gór Suchych. Linia przerywaną zaznaczono obszar badań

**Fig. 2.** Geological map of central part of the Kamiennie Mts. (Awdankiewicz 1990, modified)

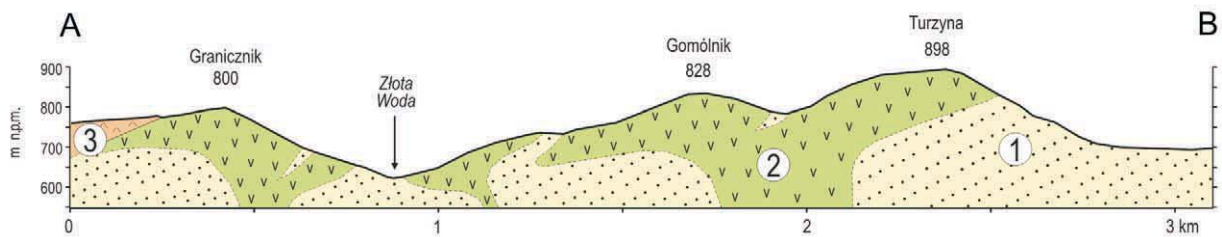
Legend: A: 1 – older rocks of intra-sudetic basin (coal series), 2 – Krajanów formation, 3 – Słupiec formation, 4 – Radków formation, 5 – interstratified tuff, 6 – unwelded massive tuffs, 7 – welded massive tuffs, 8 – Bukowiec trachyandesites, 9 – Dzikowiec rhyolites, 10 – Ługowina and Waligóra rhyolites, 11 – Grzędy trachyandesites, 12 – Stożek Wielki mudstone-trachyandesite breccia, 14 – Leszczyńiec-Sokołwsko trachyandesites, 15 – Grzmiąca trachyandesites, 16 – Łomnica rhyolites, 17 – Rusinowa-Grzmiąca rhyolites (volcanic association of easting part of Wałbrzych basin); B: volcanic association: 1 – Unisław Śląski, 2 – Rybnica Leśna, 3 – Suche Mts rhyolitic tuffs. Dashed line – area of investigation

dochodzących do 936 m n.p.m. (Waligóra). Stoki wykazują charakterystyczną asymetrię uzależnioną od układu warstw skalnych (ryc. 3). W północnej części Gór Kamiennych obejmującej pasmo Lesistej i Góry Suche stoki eksponowane w kierunku północnym są krótkie i strome, eksponowane na południe – długie i słabiej nachylone.

Ogólną charakterystykę rzeźby Gór Kamiennych przedstawił Szczepankiewicz w pracy poświęconej morfologii Sudetów Wałbrzyskich (1954). Autor ten wyróżnił w obrębie wyższych partii Gór Suchych (m.in. na Dzikowcu, Lesistej, Bukowcu, w masywie Waligóry oraz na grzbiecie Rogowca) spłaszczenia denudacyjne (zrównania) poziomu rybnickiego (ok. 800 m). W środkowej części Gór Kamiennych (okolicie Sokołowska, masyw Waligóry) Szczepankiewicz (1954) dopatrywał się ponadto poziomu denudacyj-

nego sięgającego 900 m. Wszystkie poziomy określone zostały jako zrównania wieku pokredowego. W świetle najnowszych badań Sudetów (Migoń 2005, Żelaźniewicz 2005) rozważyć należy jednak strukturalne uwarunkowania wymienionych powierzchni morfologicznych. W takim ujęciu Szczepankiewicz (1954) wskazał jedynie, że większe obniżenia śródgórskie (np. Kotlina Sokołowska) powstały w obrębie wychodni skał osadowych (łupków i piaskowców).

Doliny na obszarze Gór Kamiennych są z reguły krótkie, o wciosowym lub płaskodennym profilu poprzecznym. Cechą charakterystyczną mniejszych dolin jest także brak stałych cieków. W odróżnieniu od pasm Sudetów zbudowanych ze skał krystalicznych, jest tu stosunkowo mało form skałkowych i najczęściej mają one postać ścian skalnych o nieregularnym

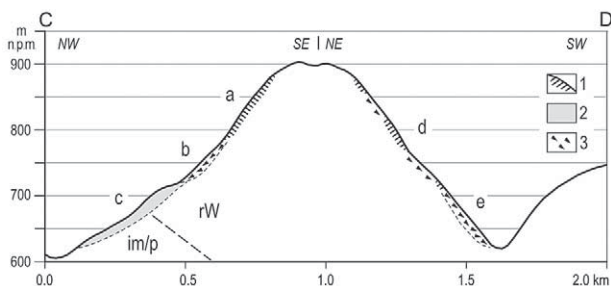


**Ryc. 3.** Przekrój geologiczny przez Góry Kamienne (lokalizacja linii przekroju na ryc. 1) według „Atlasu surowcowo-geologicznego” (1976, zmienione)

Objaśnienia: 1 – skały osadowe czerwonego spągowca (iłowce, mułowce i piaskowce), 2 – trachybazalty, 3 – tufy riolitowe.

**Fig. 3.** Geological section through the Kamienne Mts. (location of section showed in Fig. 1), from Atlas surowcowo-energetyczny (1976, modified)

Legend: 1 – Rotliegend sedimentary rocks (claystones, mudstones and sandstones), 2 – trachybasalts, 3 – rhyolitic tuffs



**Ryc. 4.** Przekrój geomorfologiczny przez Włostową (901 m n.p.m.). Lokalizacja przekroju na ryc. 1. Objasnienia: 1 – wychodne skalne, 2 – koluwia, 3 – pokrywa gruzowa, a – ściany skalne, b – stożki osypiskowe, c – jęzory osuwiskowe, d – skałki stokowe, e – stoki gruzowe, im/p – iłowce, mułowce i piaskowce czerwonego spągowca, rW – riolity Waligóry

**Fig. 4.** Geomorphological section through Włostowa Mt. (901 m n.p.m.) – location of section showed on fig. 1. Legend: 1 – rock outcrops, 2 – colluvium, 3 – debris cover, a – rocky walls, b – talus cone, c – landslide tongue, d – outlier, e – slopes with debris cover, im/p – claystone, mudstone and Rotliegend sandstone, rW – Waligóra rhyolites

kształcie i wysokościach do kilkunastu metrów. Poniżej skałek występują bezleśne powierzchnie stożków osypiskowych i pokryw gruzowych (Synowiec, Traczyk 2004). Na stokach niektórych wzniesień rozpoznano formy akumulacji koluwalnej (SzMGS), składające się ze stopni i jęzorów. Sytuacja taka jest typowa np. dla wzniesienia Włostowej (901 m n.p.m., ryc. 4).

## Osuwiska w Górach Kamiennych i modelowanie ruchów osuwiskowych – przegląd literatury

W pracach opisujących procesy stokowe na obszarze Sudetów dominują zagadnienia soliflukcji czy zjawisk erozyjnych (Migoń 2008). Wśród nielicznych starszych prac poświęconych osuwiskom znajdują się

publikacje dotyczące Gór Kamiennych. Opisywano w nich pojedyncze formy osuwiskowe w obrębie Grzmiącej i Lesistej Wielkiej (Pulinowa, Mazur 1971, Grocholski 1972), w tym rozpadliska zwane w literaturze krajoznawczej „szczelinami wiatrowymi” (Dudziak 1984). Obraz powszechnego występowania stoków osuwiskowych w tych górach dało dopiero szczegółowe kartowanie geomorfologiczne Synowca (2003a, b, 2005). Interpretacja tego autora wzbogaciła obraz kartograficzny znany ze „Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów” (ark. Mioszów – Grocholski 1973, Jedlina Zdrój – Bossowski i in. 1994), na której zaznaczono zasięg osuwisk i/lub strefy akumulacji koluwalnej (rumosze skalne i ily zwierzelinowe z plejstocenu, gliny deluwialne z rumoszem skalnym z holocenu). Mimo prób radiowęglowego datowania osadów wypełniających jeziora osuwiskowe wiek tych form nie został jednoznacznie określony (Synowiec 2005). Z badań tych wynika jedynie, że pochodzą one co najmniej z okresu starszego holocenu.

Bezpośrednią kontynuacją prac Synowca stały się badania Migonia (2010) oraz Migonia i in. (2010), prezentujące wyniki szczegółowego kartowania geomorfologicznego całego masywu Gór Kamiennych, a także tomografii elektrooporowej prowadzonej w profilach przez formy osuwiskowe. Zainteresowanie stokami Gór Suchych, wchodzących w skład Gór Kamiennych, znalazło także odzwierciedlenie w pomiarach dynamiki pokryw gruzowych w strefach przyszczytowych (Remisz i in. 2009). Syntezę dotyczącą rozpoznania ruchów masowych w całych Sudetach podali Parzoch i Migoń (2010). Ostateczna liczba form osuwiskowych i powierzchnia większości z nich nie została określona, podobnie jak statystyka ich ukształtowania. Największe z form osuwiskowych zajmują obszar 17,5 ha (osuwisko pod Lesistą), 12 ha (osuwisko pod Włostową), przy długości jęzorów osuwiskowych 200–400 m (Migoń 2010).

Jak dotąd dla stoków sudeckich nie prowadzono modelowania GIS wykorzystującego parametryzację geomorfometryczną w celu badania ich podatności na ruchy masowe. Wyjątkiem jest publikacja Traczy-

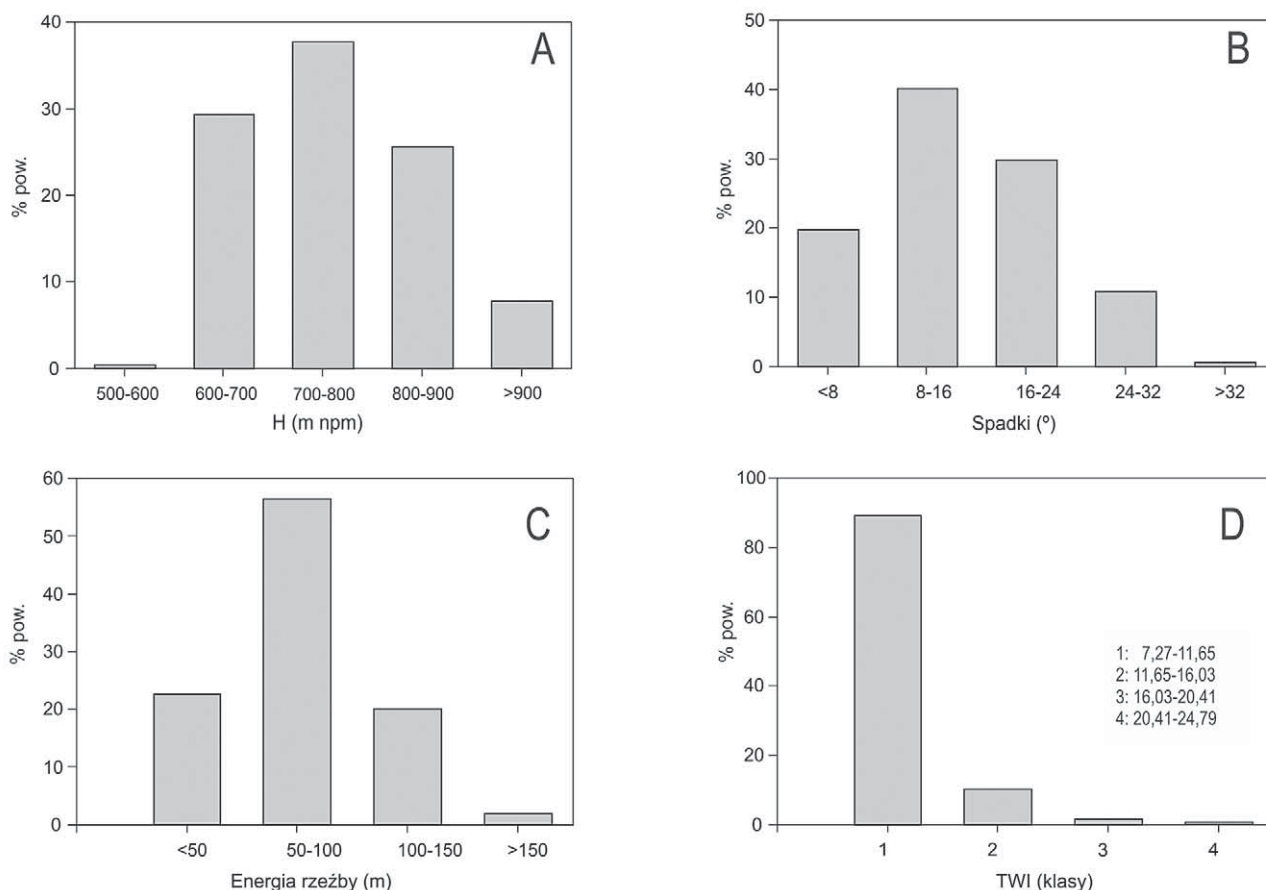
ka (2000) poświęcona modelowaniu procesów spelzwywania gruntu w Karkonoszach, czyli procesu sekularnego. Prace na temat modelowania procesów ekstremalnych, takich jak osuwiska czy spływy gruzowo-błotne, powstają jednak od wielu lat dla innych obszarów górskich na świecie (Crozier i in. 2005, Haubin i in. 2005). W większości z nich grupy branżowe pod uwagę parametrów są do siebie podobne. Należą do nich topografia terenu (parametry: spadek, ekspozycja, krzywizna stoków), cechy fizyczne gruntu, stosunki hydrologiczne i hydrogeologiczne, pole opadowe (Liener i in. 1996, Gritzner i in. 2001, Clerici i in. 2002, Chung, Fabbri 2005), a także pokrycie powierzchni i użytkowanie terenu (Mejía-Navarro, Garcia 1996). W podatności stoków na ruchy masowe podkreśla się rolę czynnika uwilgotnienia gruntu (Legates i in. 2010).

W Polsce narzędzia GIS stosowane są jeszcze w wielu przypadkach wyłącznie do inwentaryzacji osuwisk widocznych w terenie, na mapach, zdjęciach lotniczych, scenach LANDSAT czy IRS (Kamiński 2006, GISPartner 2008). Modelowanie stref osuwiskowych prowadzono przede wszystkim dla stoków karpaccich (np.: Mrozek i in. 2004, Kamiński 2007, Długosz 2009).

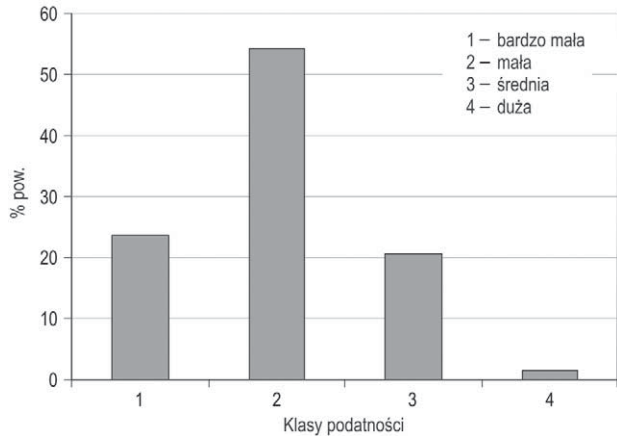
## Wyniki

Przed omówieniem wyników modelowania przedstawiona zostanie charakterystyka obszaru badań na podstawie wygenerowanych z DEM warstw parametrycznych (ryc. 5). W środkowej części Gór Kamiennych, obejmującej Pasma Lesistej i Góry Suche, udział większości pięter wysokościowych jest niemal równoliczny (ryc. 5A). Piętro wysokościowe 600–700 m n.p.m. obejmuje odpowiednio około 29% powierzchni całego obszaru, a piętra 700–800 i 800–900 m n.p.m. odpowiednio około 38 i 26%. Tereny powyżej 900 m n.p.m., obejmujące najwyższe wierzchołki Gór Suchych, zajmują natomiast około 8% powierzchni. W dalszej części rozdziału podział na piętra wysokościowe z cięciem 100 m został wykorzystany w celu uzyskania lepszego zróżnicowania przestrzennego wynikowego wskaźnika podatności stoków na występowanie ruchów osuwiskowych.

Badany obszar cechuje się znaczną energią rzeźby (ryc. 5C). Stoki w przedziałach energii rzeźby od 50 do 100 i od 100 do 150 m (w zadanym sąsiedztwie 250 m od każdego rastra) zajmują odpowiednio 56 i 20% powierzchni. Około 2% obejmują obszary o skrajnie wysokich wartościach energii (do 300 m). Analiza modelu DEM potwierdziła ogólne ustalenia Migonia i in. (2008) dotyczące dużego nachylenia stoków



**Ryc. 5.** Udział poszczególnych klas analizowanych parametrów w powierzchni obszaru badań  
**Fig. 5.** Classes of analysed parameters in study area

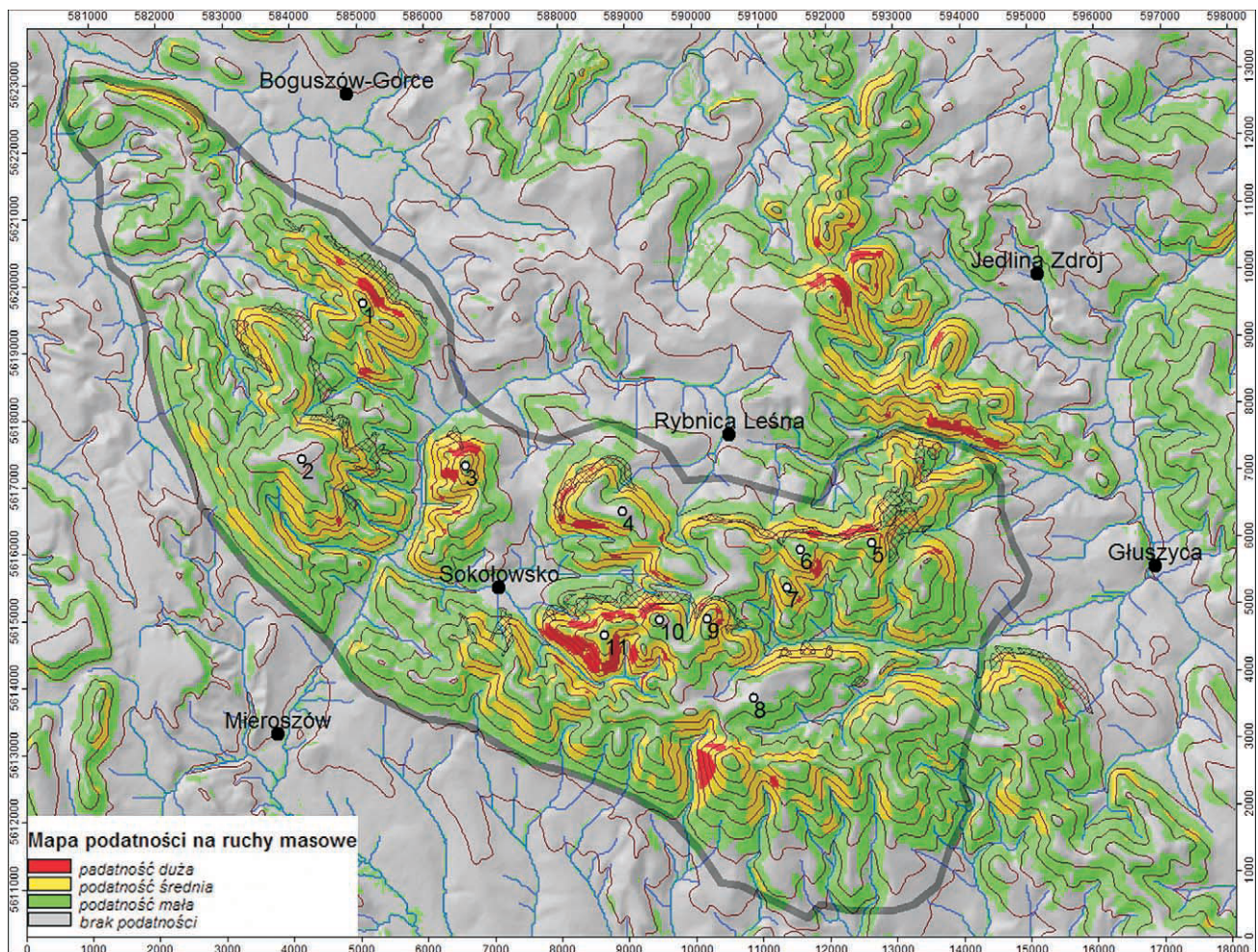


Ryc. 6. Udział klas podatności na ruchy osuwiskowe w powierzchni obszaru badań

Fig. 6. Classes of landslides susceptibility in study area

w środkowej części Gór Kamiennych w stosunku do sąsiednich terenów (ryc. 5B).

W środkowej części Gór Kamiennych dominują stoki o nachyleniach od 8° do 24°, zajmując około 70% obszaru. Znaczny jest także udział stoków bardzo stromych o nachyleniach powyżej 24° (ok. 11%). Teren badań cechuje się dominacją umiarkowanie i silnie nachylonych stoków o deniwelacjach przekraczających 100 m. Są to ponadto w przewadze stoki o krzywiźnie nie sprzyjającej koncentracji wilgoci w podłożu. Wskaźnik TWI dla analizowanego obszaru przyjmował wartości w zakresie od 7,27 do 24,79 (cecha niemianowana). Wartości minimalne TWI odpowiadają stokom bardzo suchym (klasa 1). Stoki tego typu zajmowały około 89% powierzchni całego obszaru (ryc. 5D). Powierzchnie wilgotne i bardzo wilgotne (wartości TWI od 16,3 do 24,7) odpowiadały w zasadzie wyłącznie dnem dolin i nisko położonym



Ryc. 7. Mapa wynikowa podatności stoków na wystąpienie ruchów osuwiskowych. Szrafą oznaczono zasięg osadów koluwalnych według „Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25 000” (arkusze Mieroszów i Jedlina Zdrój); kulminacje: 1 – Dzikowiec, 2 – Lesista Wielka, 3 – Stożek Wielki, 4 – Bukowiec, 5 – Rogowiec, 6 – Turzyna, 7 – Gomólnik, 8 – Granicznik, 9 – Waligóra, 10 – Suchawa, 11 – Włostowa

Fig. 7. Resultant map of landslides susceptibility. Hatched areas – colluvial deposits from geological map (Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów = Detailed Geologic Map of the Sudetes 1:25 000, sheets Mieroszów and Jedlina Zdrój); summits: 1 – Dzikowiec, 2 – Lesista Wielka, 3 – Stożek Wielki, 4 – Bukowiec, 5 – Rogowiec, 6 – Turzyna, 7 – Gomólnik, 8 – Granicznik, 9 – Waligóra, 10 – Suchawa, 11 – Włostowa



obniżeniom denudacyjnym. Zajmowały one ogółem około 1,4% powierzchni.

Zgodnie z dokonaną klasyfikacją tereny zagrożone rozwojem ruchów osuwiskowych w stopniu umiarkowanym i wysokim (klasy 3 i 4) zajmują w Paśmie Lesistej i Górach Suchych odpowiednio 15,8 (20,5%) i 1,3 (1,6%) km<sup>2</sup> (ryc. 6, 7). Obszary, które w świetle przeprowadzonej analizy wykazują bardzo małą wrażliwość na ruchy masowe (klasa 1), obejmowały natomiast około 24% powierzchni badań. Warto przy tym zaznaczyć, że dominująca była klasa nr 2 (54% powierzchni terenu badań), co oznacza, że stoki w środkowej części Gór Kamiennych są podatne na działanie ruchów osuwiskowych w stopniu umiarkowanym. Wartości maksymalne wyliczonego parametru wystąpiły w obrębie stref wysokościowych powyżej 700 m n.p.m. i na stokach przekraczających 16°.

Interesujące jest porównanie udziału poszczególnych klas podatności w zależności od wzniesienia n.p.m. (tab. 3), nachylenia stoków (tab. 4), energii rzeźby (tab. 5) oraz wskaźnika TWI (tab. 6). W pierwszym przypadku nie ma wyraźnego związku między podatnością stoków na działanie ruchów osuwiskowych a położeniem wysokościowym. We wszystkich piętrach hipsometrycznych dominująca jest 2 klasa podatności na procesy osuwiskowe. Podobną relację można zauważyć w odniesieniu do

wskaźnika uwilgotnienia podłoża (TWI). Zarówno dla stoków bardzo suchych, jak i bardzo wilgotnych dominująca jest 2 klasa podatności osuwiskowej. Można jednak przy tym zauważyć, że w przypadku stoków bardzo suchych i suchych istotny jest również udział 1 klasy podatności osuwiskowej, który wynosi odpowiednio 32 i 43%. Odwrotne relacje panują natomiast na obszarach skrajnie wilgotnych. Dla tego typu powierzchni znaczny jest bowiem udział 3 klasy podatności osuwiskowej (22–32%). Należy zaznaczyć, że powierzchnie te w zasadzie obejmowały dna większych dolin rzecznych, a więc obszary o najmniejszej energii rzeźby i najmniejszych nachyleniach.

Wraz ze wzrostem nachyleń i energii rzeźby zwiększała się podatność stoków na ruchy osuwiskowe. Dla stoków umiarkowanie nachylonych o deniwelacji nie przekraczającej 100 dominowała 2 klasa podatności. Dla stoków stromych i bardzo stromych, cechujących się ponadto znacznymi przewyższeniami, odpowiednio klasa 3 i 4. Stoki, które uznano w przyjętej klasyfikacji za niezagrożone ruchami masowymi, zajmowały 21,4% powierzchni badanego obszaru, stoki podatne na wystąpienie ruchów masowych w stopniu małym 56%, stoki podatne w stopniu średnim 21%. Stoki predysponowane do powstawania osuwisk w dużym stopniu obejmowały 1,6% powierzchni.

**Tabela 3.** Udział klas podatności na ruchy osuwiskowe stoków w odniesieniu do pięter wysokościowych

**Table 3.** Classes of landslide susceptibility of slopes in relation to height

Wysokość (m n.p.m.)	Podatność (%)			
	1	2	3	4
500–600	32,1	67,9	0,0	0,0
600–700	43,1	51,6	5,3	0,0
700–800	16,9	59,9	22,3	0,9
800–900	11,3	52,5	32,3	3,9
pow. 900	24,5	40,2	31,3	4,0

**Tabela 4.** Udział klas podatności na ruchy osuwiskowe stoków w odniesieniu do ich nachylenia

**Table 4.** Classes of landslide susceptibility of slopes in relation to inclination

Spadki (°)	Podatność (%)			
	1	2	3	4
0–8	86,0	13,8	0,3	0,0
8–16	17,1	82,3	0,6	0,0
16–24	0,0	62,9	37,1	0,0
24–32	0,0	0,0	87,6	12,3
>32	0,0	0,0	6,5	93,5

**Tabela 5.** Udział klas podatności na ruchy osuwiskowe stoków w odniesieniu do energii rzeźby

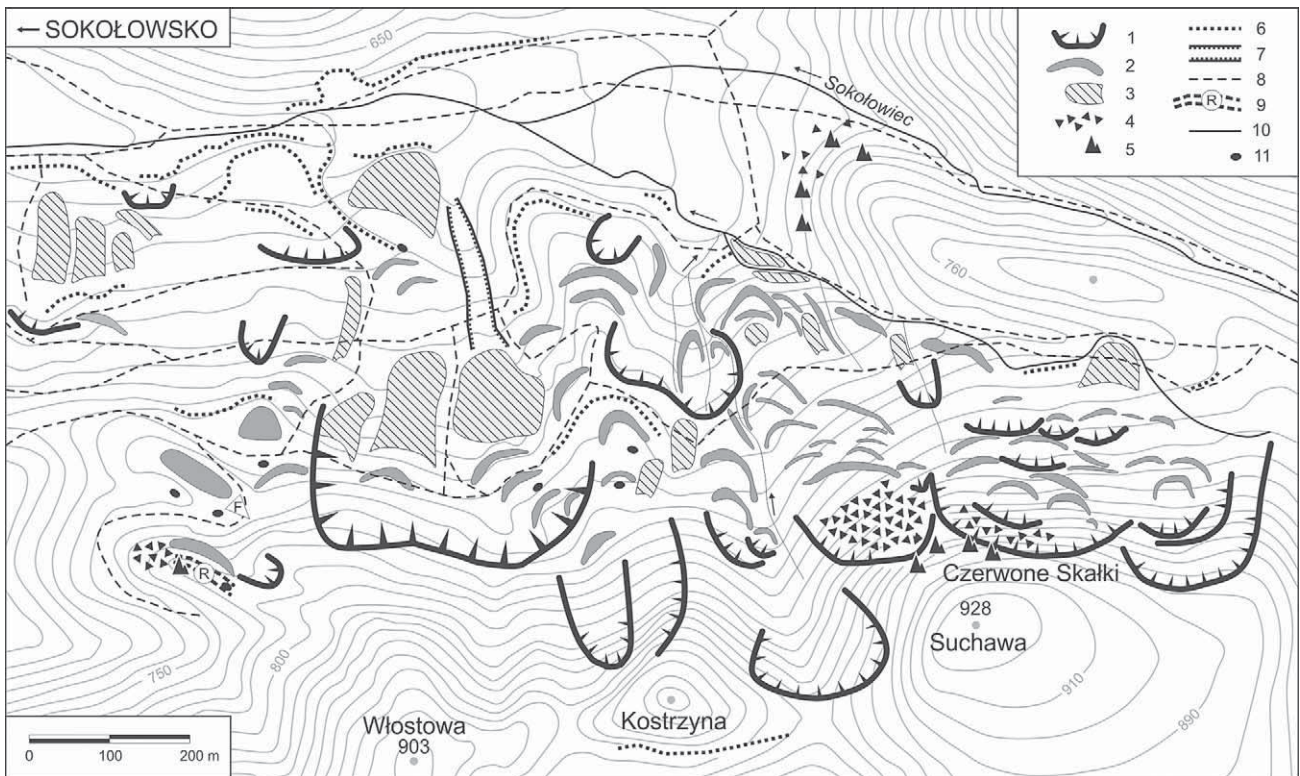
**Table 5.** Classes of landslide susceptibility of slopes in relation to relief

Energia rzeźby (m)	Podatność (%)			
	1	2	3	4
<50	93,0	7,0	0	0
50–100	5,2	91,4	3,5	0
100–150	0	5,8	93,2	0,9
150–300	0	0	9,1	90,9

**Tabela 6.** Udział klas podatności na ruchy osuwiskowe stoków w odniesieniu do uwilgotnienia gruntu (TWI)

**Table 6.** Classes of landslide susceptibility of slopes in relation to topographic wetness index

TWI (–)	Podatność (%)			
	1	2	3	4
7,27–11,65	32,1	67,9	0,0	0,0
11,65–16,03	43,1	51,6	5,3	0,0
16,03–20,41	16,9	59,9	22,3	0,9
20,41–24,79	11,3	52,5	32,3	3,9



**Ryc. 8.** Przykład stoku osuwiskowego na wschód od Sokołowska (masyw Włostowej, Suchawy i Waligóra; 9–11 na ryc. 7)  
 Objasnienia: 1 – krawędzie nisz, 2 – grzbiety poprzeczne, 3 – strefy akumulacji związanej z ruchami masowymi, 4 – rumowiska skalne, 5 – skałki, 6 – krawędzie różnej genezy, 7 – rynnna erozyjna, 8 – drogi, 9 – rozpadlina skalna (rów grzbietowy), 10 – cieki, 11 – zagłębienia bezodpływowe suche i wypełnione wodą. F – miejsce wykonania fotografii (ryc. 9)  
**Fig. 8.** Example of landslide slope East of Sokołowska (massif of the Włostowa, Suchawa and Waligóra; 9–11 in Fig. 7)  
 Legend: 1 – headscarps and flanks, 2 – transverse ridges, 3 – toes, 4 – rock debris, 5 – tors, 6 – escarpments, 7 – gully, 8 – forest roads, 9 – gravity fissure, 10 – streams, 11 – closed slope hollows. F – photography in Fig. 9



**Ryc. 9.** Przemieszczony rotacyjnie blok skalny na północnym stoku Włostowej (fot. M. Kasprzak)  
**Fig. 9.** Displaced block in the mid-slope position, north side of the Włostowa (photo by M. Kasprzak)

Mapa wynikowa zawiera informację na temat rozmieszczenia osuwisk i zasięgu osadów koluwalnych według SzMGS (ryc. 7, przedstawione szrafurą). Ich rozmieszczenie pokrywa się częściowo z miejscami kontaktu riolitów z poddającymi się plastycznemu odkształceniu iłowcami i mułowcami. Obszary maksymalnych wartości otrzymanego wskaźnika podatności osuwiskowej występują głównie w miejscach faktycznego położenia form osuwiskowych, np. na stokach Bukowca, Garbatki, Włostowej, Kostrzyny czy Suchawy w okolicach Sokołowska, które były wcześniej przedmiotem szczegółowego

kartowania geomorfologicznego prowadzonego przez autorów (ryc. 8, 9).

## Dyskusja

Na obszarze Gór Kamiennych, mimo że zbudowane są one ze skał odpornych na niszczenie (Placek 2011), panują warunki stwarzające możliwości rozwoju ruchów masowych – znaczne nachylenie stoków, na co wskazuje się powszechnie w opracowaniach dotyczących osuwisk (Crozier i in. 2005, Haubin i in.

2005) oraz energia rzeźby. Te dwa spośród zastosowanych parametrów geomorfometrycznych odpowiadają w głównej mierze za trafne wyznaczenie stref degradacji stoków i ich podatności na ruchy osuwiskowe, zawarte w tej pracy. Przejawiało się to ścisłą relacją między nimi a obliczonym parametrem podatności, która polegała na pokrywaniu się wyznaczonych obszarów o najwyższej klasie podatności na wystąpienie osuwisk z faktycznym rozmieszczeniem form osuwiskowych w Górach Suchych i Paśmie Lesistej.

Konfrontacja mapy wynikowej (ryc. 7) z mapą geologiczną (SzMGS) wskazuje, że część stref, w których wystąpiły maksymalne podatności (klasa 4), pokrywa się z miejscami kontaktu skał wulkanicznych i podścielających je skał osadowych (iłowców, mułowców i piaskowców). W strefach tych na SzMGS oznaczone zostały: gliny deluwialne z rumoszem skalnym z okresu zlodowacenia środkowopolskiego bądź też gliny deluwialne z rumoszem skalnym (czwartorzęd nierozdzielony) i rumosze skalne (zlodowacenie północnopolskie).

Od tej reguły istnieją jednak odstępstwa. Widoczne są one zwłaszcza na wschodnich stokach masywu Lesistej Wielkiej i na grzbiecie ciągnącym się na północ od Rogowca (ryc. 7). Z przeprowadzonego modelowania GIS wynikałoby, że w miejscach tych dominuje 2 klasa podatności. Na mapach geologicznych (arkusze Mieroszów, Jedlina Zdrój) zaznaczono tam jednak pokrywy koluwalne genezy osuwiskowej. Rozbieżność ta może wynikać z faktu, że w modelowaniu nie zostały uwzględnione takie czynniki jak orientacja warstw skalnych czy też spękanie podłoża. Omawiane obszary niezgodności leżą w obrębie wychodni skalnych, które możemy utożsamiać ze strefami czół progów strukturalnych, które powstały w granicach wychodni wulkanitów. Ze względu na układ warstw skalnych są to zatem miejsca podatne na rozwój ruchów osuwiskowych w większym stopniu niż wynikałoby to z analizy czynników morfologicznych. Należy przy tym zauważyć, że w wierzchowinowej partii masywu Lesistej Wielkiej istnieją szczeliny dylatacyjne (tzw. „szczeliny wiatrowe”; Grocholski 1972, Synowiec 2005), które wskazują na działanie procesów bocznego rozszerzania się sztywnego masywu skalnego zbudowanego ze skał wulkanicznych, w którego podłożu zalegają podatne na odkształcenia plastyczne drobnoklastyczne i nasiąkliwe skały osadowe. Podobne formy szczelinowe występują na Rogowcu czy też na najwyższym grzbiecie Gór Suchych w rejonie Suchawy.

Na mapie wynikowej widać również, że obszary zalegania utworów koluwalnych mogą być odsunięte od stref najwyższej, 4 klasy podatności na ruchy osuwiskowe. Fakt ten można wiązać z tym, że strefy najwyższej podatności odpowiadają miejscom inicjacji osuwisk, czyli niszom osuwiskowym, a nie obszarom akumulacji koluwalnej ułożonej w strefie podstokowej. Ze względu na specyfikę rzeźby i budo-

wy geologicznej obszaru badań korespondują one jednak z najbardziej stromymi, skalistymi stokami.

Interesująca sytuacja panuje na stokach Włostowej (901 m n.p.m.), położonej w centralnej, najwyższej części Gór Suchych (ryc. 4). Na północnych zboczach tego wzniesienia istnieją dobrze rozpoznane formy akumulacji koluwalnej, składające się z kilku stopni i jęzorów schodzących aż do podnóża tego wzniesienia i wkraczających w obręb doliny rzecznej. Na przeciwnych, równie stromych i wysokich stokach Włostowej, eksponowanych w kierunku S-SSW, form osuwiskowych jednak nie ma, choć modelowanie wskazało w tych miejscach wartości maksymalne parametru podatności dla całego analizowanego obszaru. Wytlumaczenie tej niezgodności należy także wiązać z czynnikiem geologicznym. Południowy stok Włostowej w całości zbudowany jest ze skał wulkanicznych (riolity Waligóry). Ma on ponadto charakter stoku strukturalnego, którego powierzchnia nawiązuje do orientacji i pochylenia warstw skalnych. W takiej sytuacji prawdopodobnie nie powstawały tu głębokie spękania i szczeliny stokowe (dylatacyjne) inicjujące deformacje i ruch mas skalnych. Wobec sytuacji strukturalnej na omawianych stokach rozwinęły się jedynie stopnie skalne o wysokości 2–4 m oraz pokrywa z gruzu skalnego o miąższości dochodzącej lokalnie u podnóża Włostowej do 2–4 m (ryc. 4). Przypuszczalnie relacje tego typu zachodzą również w innych partiach Gór Kamiennych.

## Wnioski

1. Pierwsze w skali Sudetów modelowanie rozmieszczenia stoków podatnych na wystąpienie ruchów osuwiskowych pokazało przydatność pierwotnych i wtórnych parametrów geomorfometrycznych. Mimo zastosowania jedynie 3 parametrów, strefy o najwyższych klasach podatności na osuwiska pokrywają się z sytuacją rozpoznawaną w terenie oraz z obszarami akumulacji koluwalnej oznaczonymi na „Szczegółowej mapie geologicznej Sudetów”. Spośród zastosowanych parametrów geomorfometrycznych (reprezentujących czynniki pasywne), w największym stopniu skorelowane z podatnością stoków na ruchy osuwiskowe są nachylenia stoków oraz energia rzeźby. Mniej istotną rolę odgrywa parametr TWI, który określa stosunki wodne jedynie na podstawie akumulacji teoretycznego spływu po powierzchni stokowej. W celu rozpoznania faktycznego oddziaływania czynnika hydrologicznego i hydrogeologicznego niezbędne jest posiadanie informacji na temat pojemności wodnej ośrodków skalnych i rozmieszczenia wysięków/wypływów wód podziemnych.
2. Istnieje pozorna niezgodność przestrzenna między strefami największej podatności na ruchy osu-

wiskowe uzyskanymi metodą modelowania, a zasięgiem osuwisk, które na arkuszach „Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów” reprezentowane są często jedynie w formie pokryw koluwalnych. Strefy największej podatności odpowiadają niszom osuwiskowym, często nie znaczącym na mapach, a znajdującym się powyżej miejsc depozycji.

3. Uzyskany model opiera się jedynie na parametrach geomorfometrycznych. Zastosowana metoda wydaje się prosta i łatwa w użyciu, jednak traktować ją trzeba tylko jako punkt wyjścia do określenia faktycznej podatności na osuwanie gruntu. Wyznaczone strefy największej podatności na procesy osuwiskowe mogą wskazywać miejsca szczegółowych badań w przyszłości.

Badania przeprowadzono w ramach projektu grantowego nr N N306 312636 „Holoceńska i współczesna dynamika stoków w Górach Kamiennych”.

## Literatura

- Atlas surowcowo-geologiczny wałbrzyskiego okręgu eksploatacji surowców skalnych, skala 1:25 000, 1976. Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Górnictwa Odkrywkowego POLTEGOR, Inst. Nauk Geologicznych UW, Wrocław.
- Awdankiewicz M., 1999. Volcanism in a late Variscan intramontane trough: Carboniferous and Permian volcanic centres of the Intra-Sudetic Basin, SW Poland. *Geologia Sudetica* 32: 13–47.
- Bossowski A., Cymerman Z., Grocholski A., Ihnatowicz A., 1994. Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25 000, arkusz Jedlina Zdrój. Wyd. Geol., Warszawa.
- Bovolenta R., Federici B., 2010. Automatic procedure for landslide hazard mapping through GRASS. FOSS4G 2010, Barcelona, Sep 6–9<sup>th</sup>. Online: [http://2010.foss4g.org/presentations\\_show.php?id=3705](http://2010.foss4g.org/presentations_show.php?id=3705) (data dostępu: 2012-01-05).
- Chung Ch.-Jo F., Fabbri A.G., 2005. Systematic Procedures of Landslide Hazard Mapping for Risk Assessment Using Spatial Prediction Models. W: T. Glade, M. Anderson, M.J. Crozier (red.), *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley and Sons: 139–174.
- Clerici A., Perego S., Tellini C., Vescovi P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48: 349–364.
- Crozier M.J., Glade T., 2005. *Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach*. W: T. Glade, M. Anderson, M.J. Crozier (red.), *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley and Sons: 1–40.
- Długosz M., 2009. Landslide susceptibility zoning in the Polish Flysch Carpathians. *Zeitschrift f. Geomorphologie, Suppl.-Bd, 53, Suppl. Iss. 2*: 49–56.
- Dudziak T., 1984. Szczeliny wiatrowe na Lesistej Wielkiej. *Karkonosze, Materiały Krajoznawcze* 1: 5–11.
- GISPartner, 2008. Uwaga, osuwisko! System osłony przeciwosuwiskowej. *Geodeta. Magazyn Geoinformacyjny* 4(155): 36–38.
- Gritzner M.L., Marcus W.A., Aspinall R., Custer S.G., 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology* 37: 149–165.
- Grocholski A., 1966. Z badań nad wulkanizmem górnokarbońskim w depresji śródsudeckiej. W: *Z geologii Ziemi Zachodnich*. Wyd. Geol., Warszawa: 227–243.
- Grocholski A., 1972. Ślady osuwisk na stokach Lesistej Wielkiej w Górach Kamiennych. *Polskie Towarzystwo Miłośników Nauk o Ziemi, Koło Górnicze w Gorcach, Biuletyn Informacyjny* 11: 9–14.
- Grocholski A., 1973. Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów 1:25 000, arkusz Mioszów. Wyd. Geol., Warszawa.
- Haubin W., Gangjun L., Weiya X., Gonghui W., 2005. GIS-based landslide hazard assessment: an overview. *Progress in Physical Geography* 29(4): 548–567.
- Hengl T., Reuter H.I. (red.), 2008. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Developments in Soil Science 33, Elsevier.
- Kamiński M., 2006. Analiza GIS osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 16: 279–287.
- Kamiński M., 2007. Mapa podatności osuwiskowej – studium z rejonu Jodłówki (Pogórze Dynowskie). *Przegląd Geologiczny* 55(9): 779–784.
- Kasprzak M., Traczyk A., 2010. Geomorfometria granitowej części Karkonoszy. *Landform Analysis* 13: 33–46.
- Legates D.R., Mahmood R., Levia D.F., DeLiberty T.L., Quiring S.M., Houser Ch., Nelson F.E., 2010. Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography. *Progress in Physical Geography* 35(1): 65–86.
- Liener S., Kienholtz H., Liniger M., Krummenacher B., 1996. SDLISP – A procedure to locate landslide prone areas. W: K. Senneset (red.), *Landslides*. Balkema, Rotterdam: 279–284.
- Mejía-Navarro M., Garcia L.A., 1996. Natural hazard and risk assessment using decision support systems, application: Glenwood Springs, Colorado. *Environmental & Engineering Geoscience* 2(3): 299–324.

- Migoń P., 2005. Rozwój rzeźby terenu. W: J. Fabiszewski (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*. PAN Oddz. Wrocław: 135–170.
- Migoń P., 2008. Współczesna ewolucja rzeźby Sudeatów i ich Przedgórze. W: L. Starkel, A. Kostrzewski, A. Kotarba, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. IGiGP UJ, Kraków: 135–163.
- Migoń P., 2010. Nowe dane do poznania rzeźby osuwiskowej Gór Kamiennych. *Przyroda Sudetów* 13: 215–224.
- Migoń P., Pánek T., Hradecký J., Malik I., Owczarek P., Šilhán K., Smolková, Remisz J., Kasprzak M., 2008. Ruchy masowe i współczesna morfodynamika stoków w Górach Suchych (Sudety Środkowe). W: A. Traczyk (red.), *Geomorfologia Sudetów. Stan badań i perspektywy, I Polsko-Czeskie Sudeckie Seminarium Geomorfologiczne, Sokołowsko, 16–17 X 2008*, Wrocław: 97–124.
- Migoń P., Pánek T., Malik I., Hradecký J., Owczarek P., Šilhán K., 2010. Complex landslide terrain in the Kamienne Mountains, Middle Sudetes, SW Poland. *Geomorphology* 124: 200–214.
- Migoń P., Placek A., Żyszkowska W., 2009. Steep slopes in the Sudetes and their morphotectonic interpretation. *Geological Quarterly* 53(2): 219–232.
- Mrozek T., Poli S., Sterlacchini S., Zabuski L., 2004. Landslide susceptibility assessment: a case study from Beskid Niski Mts., Carpathians, Poland. W: M. Graniczny, A. Piątkowska, P. Balabanis (red.), *Proceedings of the conference "Risks caused by the geodynamic phenomena in Europe"*, May 20–22, 2004, Wysowa, Poland, *Special Papers* 15: 13–18.
- Parzóch K., Migoń P., 2010. Zdarzenia ekstremalne w systemie stokowym – grawitacyjne ruchy masowe i erozja gleb. W: P. Migoń (red.), *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku*. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego UW. 10: 205–240.
- Pike R.J., Graymer R.W., Sobieszczyk S., 2003. A Simple GIS Model for Mapping Landslide Susceptibility. W: I.S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori, M. Hirano (red.), *Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives*. Terrapub, Tokyo: 185–197.
- Placek A., 2011. Rzeźba strukturalna Sudetów w świetle pomiarów wytrzymałości skał i analiz numerycznego modelu wysokości. *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 16*, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław.
- Pulinowa M.Z., 1972. Procesy osuwiskowe w środowisku sztucznym i naturalnym. *Dokumentacja Geograficzna IG PAN* 4.
- Pulinowa M.Z., Mazur R., 1971. Stare osuwisko we wsi Grzmiąca w Sudetach. *Wszechświat* 7–8: 200–202.
- Remisz J., Migoń P., Malik I., Owczarek P., 2009. Stoki usypiskowe w polskiej części Sudetów – rozmieszczenie i wiek. W: A. Kostrzewski, R. Paluszkiwicz (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, t. V. UAM, *Seria Geografia* 88: 447–465.
- Synowiec G., 2003a. Formy osuwiskowe w Górach Kamiennych. *Przegląd Geologiczny* 51: 59–65.
- Synowiec G., 2003b. Structural landslides in the Kamienne Góry Mts., Sudetes, SW Poland. W: J. Ybañ, J. Temberk, G. Agner (red.), *Landslides*. Swets & Zeitlinger, Lisse: 311–314.
- Synowiec G., 2005. Formy i procesy osuwiskowe w Górach Kamiennych. *Praca doktorska*. Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski.
- Synowiec G., Traczyk A., 2004. Z morfologii Gór Kruczych w Sudetach Środkowych. *Przyroda Sudetów* 7: 191–204.
- Szczepankiewicz S., 1952. Kaptaż Rybnicki – przykład młodych zmian hydrograficznych w Sudetach. *Czas. Geogr.* 21/22: 426–433.
- Szczepankiewicz S., 1954. Morfologia Sudetów Wałbrzyskich. *Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego* B65.
- Traczyk A., 2000. Modelowanie procesów spęływania gruntu w Karkonoszach. *Opera Corcontica* 37: 143–149.
- Traczyk A., 2009. Problemy klasyfikacji grubofrakcyjnych pokryw stokowych. W: A. Kostrzewski, R. Paluszkiwicz (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych* 5. UAM, *Ser. Geogr.* 88: 569–578.
- Urbański J., 2008. GIS w badaniach przyrodniczych. *Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego*, Gdańsk.
- Żelaźniewicz A., 2005. Przeszłość geologiczna. W: J. Fabiszewski (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*. PAN Oddz. Wrocław: 61–134.