



Rzeźba osuwiskowa południowo-wschodniej części Gór Wałbrzyskich, Sudety Środkowe

Wioleta Kotwicka¹, Kacper Jancewicz¹, Piotr Migoń¹



W. Kotwicka



K. Jancewicz



P. Migoń

Landslide morphology of the south-eastern part of the Wałbrzyskie Mountains, Middle Sudetes. Prz. Geol., 67: 828–836; doi: 10.7306/2019.47

Abstract. The occurrence of landforms induced by large-scale mass movements has never been reported from the SE part of the Wałbrzyskie Mts., despite detailed geological field mapping carried out twice in the 20th century. This paper provides the first description of landslide-affected slopes in this area, recognized through the combination of LiDAR DEM interpretation and field work. Fifteen landslides have been identified, ranging in size from less than 1 ha to 10.44 ha. Morphological signatures suggest that they represent various types, including minor translational slides, larger rotational complexes and valley-confined flowslides. Closed depressions

typify several landslides. In a few instances the valley blocking by landslides can be inferred.

Keywords: landslides, geomorphometry, LiDAR, Sudetes

Udostępnienie cyfrowego modelu wysokościowego o dużej rozdzielczości, pochodzącego z lotniczego skaningu laserowego (LiDAR), stworzyło nowe możliwości identyfikacji form rzeźby terenu zarówno w zakresie rozpoznania pojedynczych form, jak i relacji przestrzennych między nimi. Zalety danych LiDAR ujawniają się szczególnie w obszarach górskich, na zalesionych stokach, dla których na dostępnych mapach topograficznych, w dużych skalach, był widoczny mocno zgeneralizowany obraz ukształtowania powierzchni. Dostępność danych LiDAR otworzyła nowe możliwości między innymi w badaniach osuwisk, ponieważ efektem wielkoskalowych ruchów masowych są specyficzne cechy rzeźby stoku, które można stwierdzić i udokumentować ilościowo, korzystając z wysokorozdzielczych modeli cyfrowych, nawet jeśli pierwotna forma uległa już znacznemu zatarciu. Przydatność modeli wykorzystujących dane LiDAR została wykazana w licznych publikacjach z różnych obszarów Polski (m.in. Borkowski i in., 2011; Wojciechowski i in., 2012; Wójcik i in., 2013; Łajczak i in., 2014; Migoń i in., 2014; Kaczorowski, 2017), a także z wielu innych części świata (np. Van den Eeckhaut i in., 2007; Jaboyedoff i in., 2012; Sutinen i in., 2014; Březny, Pánek, 2017).

W Sudetach, wcześniej traktowanych jako obszar mało przekształcony przez procesy osuwiskowe (Gilewska, 1991), w ostatnich latach dokonał się znaczący postęp w rozpoznaniu rzeczywistej skali występowania osuwisk. Dotyczy on zarówno obszarów, gdzie obecność osuwisk była znana, ale stopień ich udokumentowania był niedostateczny, jak i takich, dla których w literaturze brakowało wzmianek o formach osuwiskowych, a szczegółowe mapy geologiczne w skali 1 : 25 000 nie zawierały odpowiednich oznaczeń wskazujących na obecność osuwisk. Do obszarów pierwszej grupy należą przede wszystkim Góry Kamienne w Sudetach Środkowych, gdzie o występowaniu głęboko zakorze-

nionych osuwisk donosili już autorzy niemieckich szczegółowych map geologicznych z pierwszej połowy XX w. (Berg i in., 1910; Dathe i in., 1910; Berg, 1925; Dathe, Berg, 1926). Analiza numerycznego modelu powierzchni terenu, opartego na danych LiDAR, przeprowadzona dla wchodzącego w skład Gór Kamiennych pasma Gór Suchych oraz Masywu Dzikowca i Lesistej Wielkiej ujawniła, że faktyczna skala przekształcenia stoków przez ruchy masowe jest znacznie większa niż wskazywały na to dostępne materiały kartograficzne. Rzeczywisty zasięg przemodelowanych powierzchni stokowych jest przynajmniej trzykrotnie większy niż to wynika ze szczegółowych map geologicznych (Migoń i in., 2014). Dzięki danym cyfrowym było możliwe uściślenie informacji o występowaniu osuwisk w Górach Bystrzyckich (Różycka i in., 2015), a także zidentyfikowanie największego powierzchniowo kompleksu osuwiskowego w Sudetach – pod Toczkiem w północnej części tych gór (Migoń i in., 2016). Natomiast nieznanie wcześniej formy osuwiskowe zostały rozpoznane m.in. na obszarach rowu tektonicznego Wlenia i przełomu Kaczawy w Sudetach Zachodnich (Kowalski, Wojewoda, 2017; Kowalski i in., 2018), Gór Bardzkich (Jancewicz, Traczyk, 2017) i Gór Stołowych (Migoń, Kasprzak 2011; Duszyński i in., 2017). Kowalski (2018) zwrócił uwagę na konsekwencje nierozpoznania elementów rzeźby osuwiskowej podczas szczegółowego kartowania geologicznego, które skutkują niekiedy błędnymi interpretacjami budowy geologicznej.

Niniejszy artykuł wpisuje się w nurt badań nad osuwiskami sudeckimi prowadzonych z wykorzystaniem wysokorozdzielczego modelu LiDAR, w odniesieniu do południowo-wschodniej części Gór Wałbrzyskich w Sudetach Środkowych. Wstępna analiza rzeźby na podstawie danych LiDAR ujawniła występowanie form rzeźby o cechach typowych dla osuwisk, co zostało następnie potwierdzone w trakcie rekonesansu terenowego. Równocześnie analiza

¹ Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; wioleta.kotwicka@uwr.edu.pl

dostępnych materiałów kartograficznych ujawniła, że żadna z tych form nie została rozpoznana podczas szczegółowego kartowania geologicznego (Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925; Bossowski i in., 1994). Celem artykułu jest przedstawienie wstępnych wyników badań nad rozmieszczeniem, zasięgiem powierzchniowym i charakterystyką morfometryczną form osuwiskowych badanego obszaru, wskazanie prawdopodobnych mechanizmów przemieszczeń mas skalno-zwietrzelinowych, a także pokazanie ich w szerszym kontekście geograficznym na tle osuwisk z terenów sąsiednich.

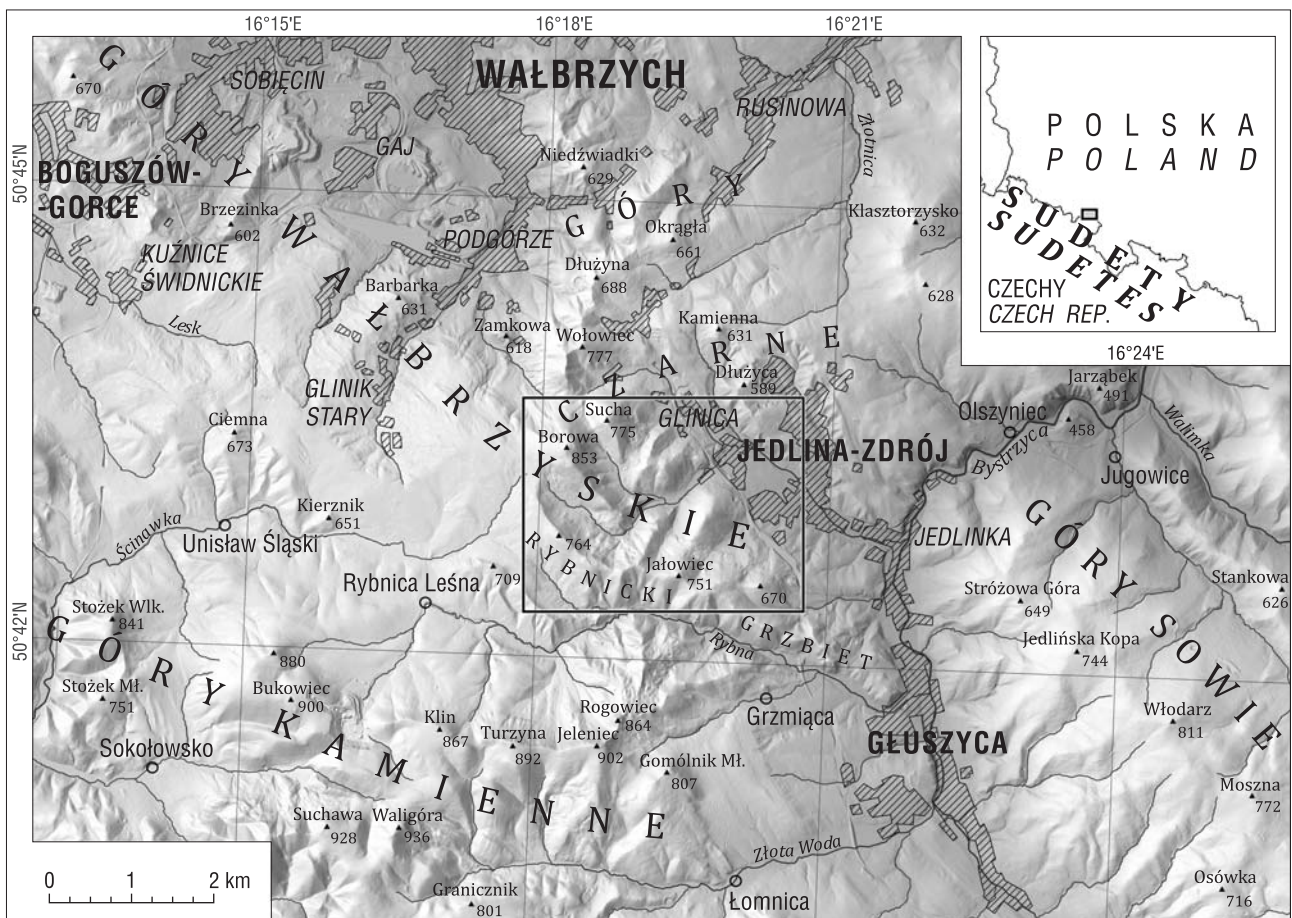
OBSZAR BADAŃ – POŁOŻENIE I RZEŻBA TERENU

Obszar, na którym występują osuwiska analizowane w niniejszym artykule, znajduje się w południowo-wschodnim rejonie pasma Gór Wałbrzyskich, na zachód od miejscowości Jedlina-Zdrój (ryc. 1). Zajmuje on powierzchnię ok. 9 km². Północno-zachodnia część terenu badań obejmuje południowy fragment pasma Gór Czarnych z najwyższym szczytem Gór Wałbrzyskich – Borową (853 m n.p.m.), a także niższą kulminacją Suchej (776 m). Z kolei jego południowa część obejmuje odcinek Rybnickiego Grzbietu z kulminacjami Jałowca (751 m) i Jałowca Małego (742 m) i najwyższą kulminacją (beziemienna) o wysokości 764 m n.p.m. W centralnej części obszaru występuje system dolin potoków, który odwadnia obszar w kierunku wschodnim (ryc. 1, 2).

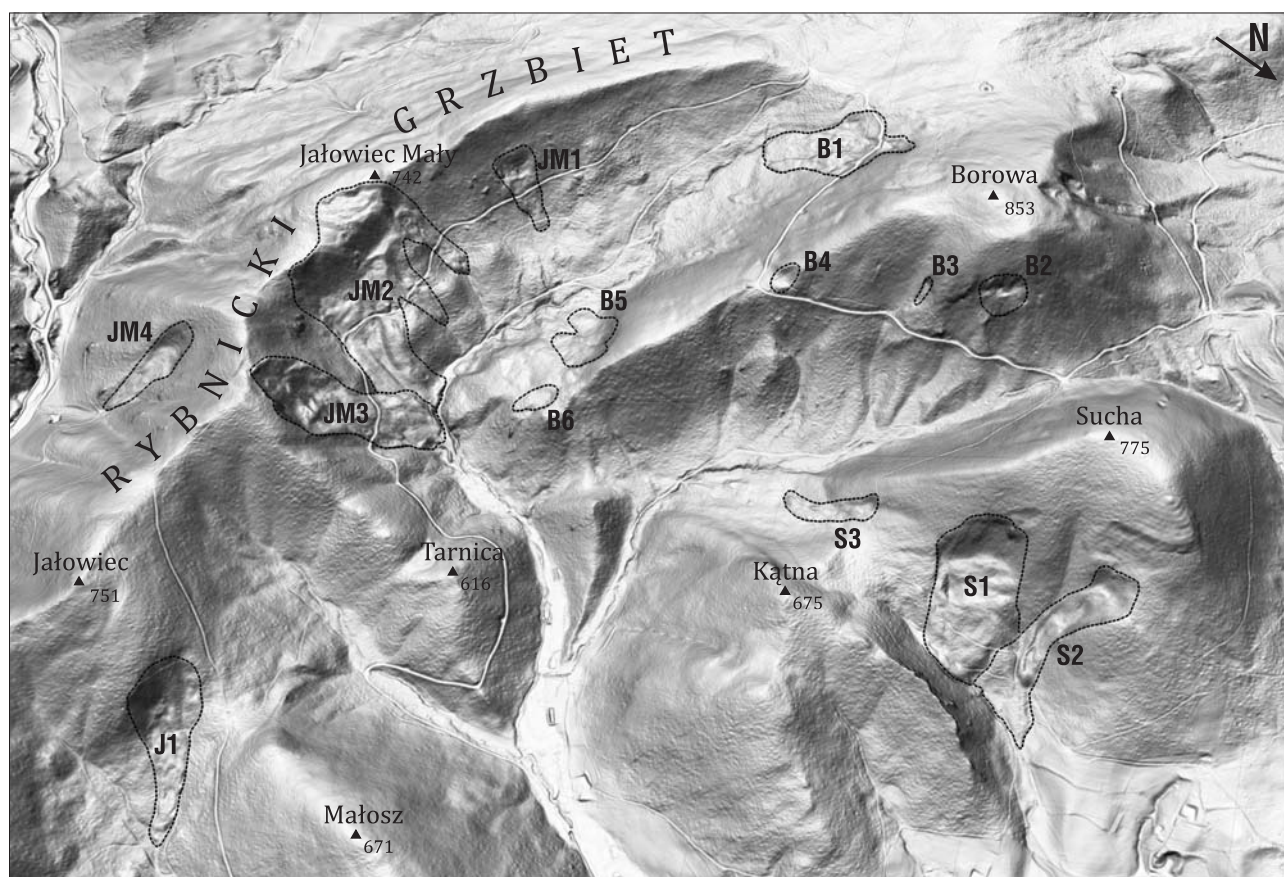
Mimo stosunkowo niewielkiej powierzchni, rejon ten odznacza się znacznym urozmaiceniem rzeźby terenu. Stoki wzniesień charakteryzują się dużymi nachyleniami, miejscami z przewagą klas nachylenia 30–35° i 35–40°, w szczególności na północnych i wschodnich stokach masywu Borowej, stoków Suchej oraz górnych partii północnych stoków zachodniej części Rybnickiego Grzbietu. Formy dolinne (w tym główna dolina oddzielająca od północy Rybnicki Grzbiet) mają głębokość do 100 m, niekiedy nawet 150 m. Pod względem ukształtowania terenu (nachylenia, energia rzeźby) badany obszar jest więc predysponowany do występowania osuwisk (Kasprzak, Traczyk, 2012).

MATERIAŁY I METODY

W pracy wykorzystano Numeryczny Model Terenu (NMT) w postaci rastrowej, o rozdzielczości 1 × 1 m, na podstawie danych z 2011 r. z lotniczego skaningu laserowego. Model ten stanowi obecnie najbardziej szczegółowe źródło informacji o ukształtowaniu terenu polskiej części Sudetów. Jego średni błąd wysokości mieści się w zakresie 0,05–0,15 m, a błąd maksymalny nie przekracza 0,3 m (Weżyk, 2014). Jest on z powodzeniem stosowany w aktualnie prowadzonych badaniach nad rzeźbą obszarów osuwiskowych w rejonie Sudetów Środkowych, czego przykładem są, już zrealizowane, prace z obszaru Gór Kamiennych (m.in. Migoń i in., 2014, 2017b; Kasprzak i in., 2016; Janiewicz, Migoń, 2017; Osika i in., 2018). Na podstawie NMT wygenerowano jego pochodne – nachylenia i cieniowany relief, których wizualna analiza pozwoliła na wyznaczenie zasięgów obszarów przekształconych przez osu-



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań w Sudetach Środkowych. Czarny prostokąt wskazuje zasięg ryc. 3 i 4
Fig. 1. Location of the study area in the Middle Sudetes. Black rectangle indicates the extent of Fig. 3 and 4



Ryc. 2. Osuwiska wschodniej części Gór Wałbrzyskich na tle rzeźby terenu. Oznaczenia literowe zgodne z tabelą 1. Wizualizacja rzeźby opracowana na podstawie numerycznego modelu wysokości o rozdzielczości 1×1 m

Fig. 2. Landslides in the eastern part of the Wałbrzyskie Mountains. Letter codes consistent with Table 1. Relief visualization based on digital elevation model of resolution 1×1 m

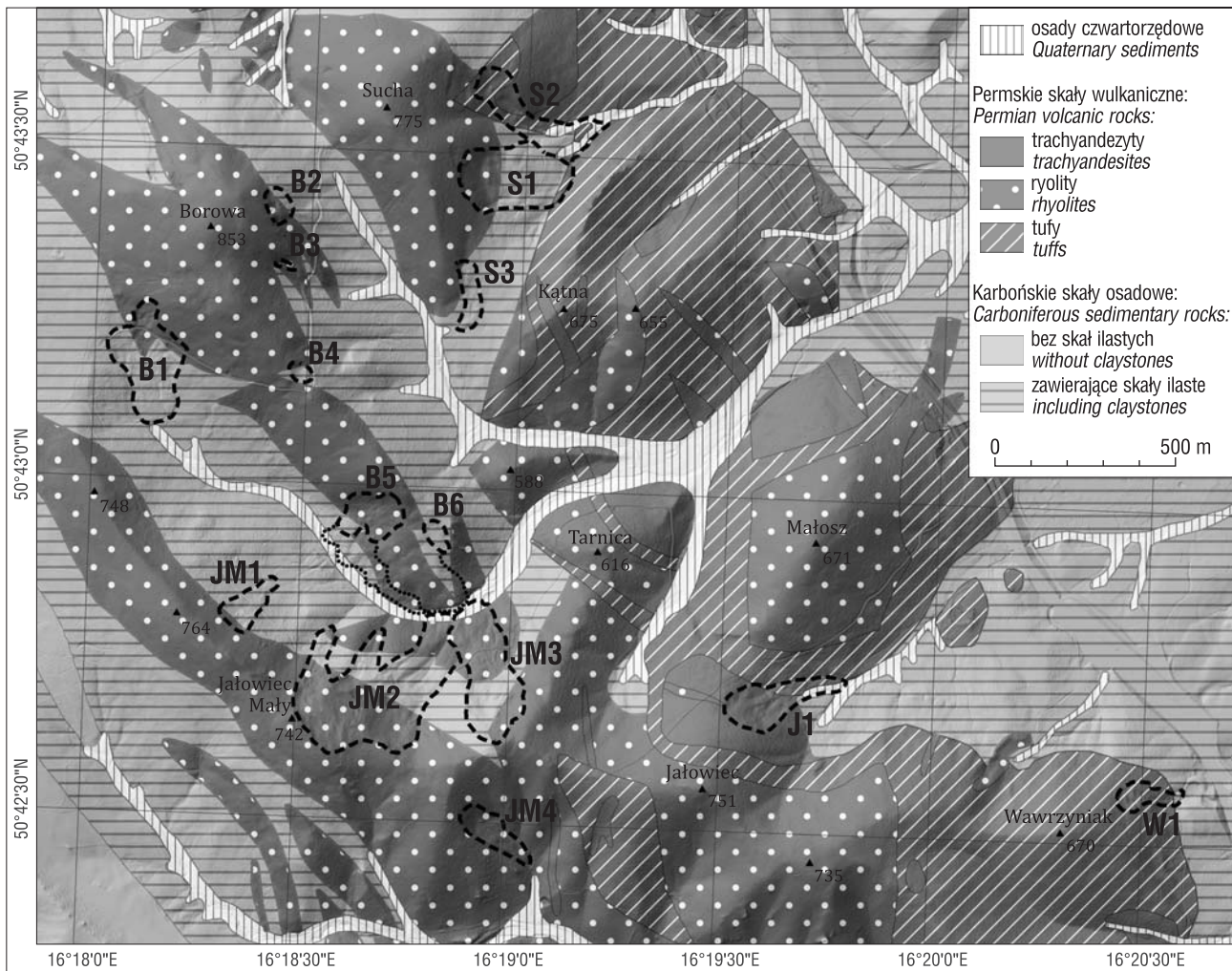
wiska (ryc. 2). Zasięgi te zostały zweryfikowane podczas prac terenowych realizowanych w latach 2016–2018. Dla tak wyznaczonych zasięgów obliczono także wskaźnik L/W (*length to width ratio*), ukazujący stosunek długości osuwiska do maksymalnej szerokości, będący prostą miarą, która umożliwi wstępne rozróżnienie osuwisk o różnych mechanizmach przemieszczania mas skalnych (Migoń i in., 2017b).

Podczas prac nad niniejszym artykułem zostały użyte materiały kartograficzne zarówno przedwojenne: *Geologische Karte von Preussen* w skali $1 : 25\,000$ – arkusze Waldenburg (Berg, 1925) i Charlottenbrunn (Dathe, Finckh, 1924), jak i bardziej współczesne: arkusze *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali $1 : 25\,000$* – arkusz Jedlina-Zdrój (Bossowski i in., 1994). Były one podstawą do opracowania map prezentujących rozmieszczenie osuwisk na tle zgeneralizowanej budowy geologicznej analizowanego obszaru. Prace obejmujące digitalizację danych, analizę morfometryczną oraz redakcję kartograficzną zostały wykonane z użyciem oprogramowania ArcGIS 10.6.1. Wnioskowanie o mechanizmach przemieszczeń jest oparte na cechach rzeźby w obrębie stoków przekształconych przez osuwiska, przy czym, zdając sobie sprawę z ograniczeń takiego wnioskowania, uwzględniono tylko trzy typy osuwisk: translacyjne, rotacyjne i spływowe (ang. *flowslides*) (por. Migoń, 2006; Margielewski, 2009).

ANALIZA MAP GEOLOGICZNYCH

Zarówno niemieckie materiały kartograficzne z lat 20., jak i polskie z lat 90. XX w. nie zawierają wydzielenia form

i osadów osuwiskowych na badanym terenie. W przypadku *Geologische Karte* obszar badań jest objęty dwoma arkuszami: część wschodnia arkuszem Charlottenbrunn (Dathe, Finckh, 1924), zaś część zachodnia i centralna arkuszem Waldenburg (Berg, 1925) (ryc. 3). Arkusz Charlottenbrunn (Jedlina Zdrój; Dathe, Finckh, 1924) obejmuje swym zasięgiem wschodnią część obszaru badań zbudowaną ze skał osadowych (głównie piaskowce, zlepieńce i łupki ilaste) wieku górnokarbońskiego oraz skał wulkanicznych wieku dolnopermskiego (wg oryginalnych opisów: głównie porfiry felzytowe i kwarcowe, melafiry i tufy), budujących wzniesienie Wawrzyniaka (670 m) i niższe partie stoków Małosza (671 m), oraz spoczywających na nich rzecznych osadów czwartorzędowych. Centralna i zachodnia część obszaru badań, która znajduje się w zasięgu arkusza Waldenburg (Wałbrzych; Berg, 1925), jest utworzona w skałach osadowych (piaskowce, zlepieńce) wieku górnokarbońskiego i wulkanitów dolnego permu (porfirów), budujących wzniesienia południowej części Gór Czarnych oraz kulminacje Rybnickiego Grzbietu. Skały podłoża są przykryte utworami wieku czwartorzędowego, głównie osadami rzeczными wypełniającymi dna dolin. Budowa geologiczna obszaru sprzyja występowaniu zróżnicowanych form rzeźby (Finckh, 1924). Strome stoki zbudowane w swej górnej części z masywnych skał wulkanicznych, mających w podłożu podatne skały osadowe, są predysponowane do występowania osuwisk, podobnie jak w sąsiednich Górach Suchych, gdzie autorzy przedwojennych opracowań geologicznych wskazywali na występowanie osuwisk (Dathe i in., 1910; Dathe, Berg, 1926).



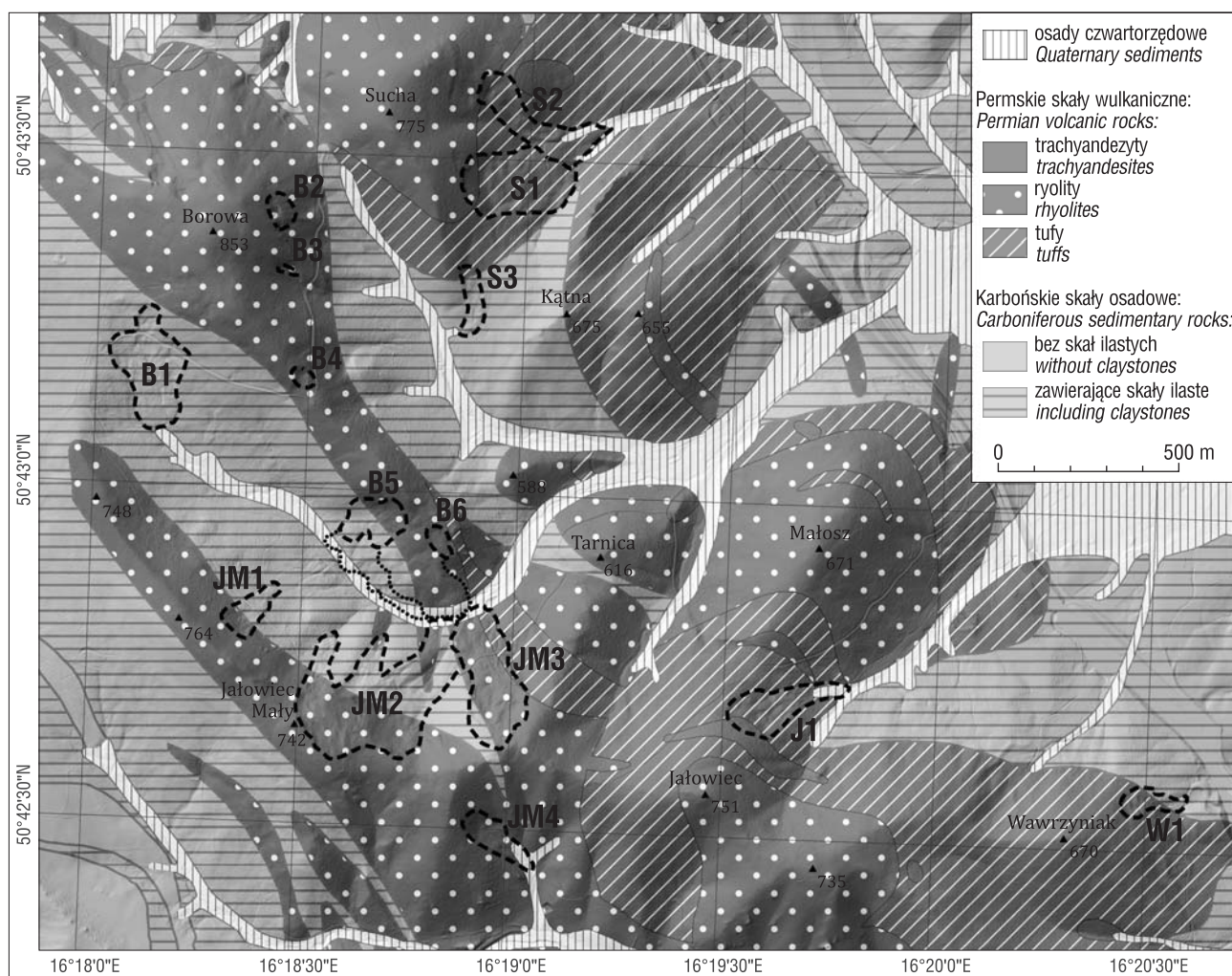
Ryc. 3. Rozmieszczenie osuwisk na tle przedwojennych kartograficznych materiałów geologicznych (Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925), uproszczonych przez autorów. Na oryginalnych mapach geologicznych osuwiska nie zostały naniesione w obszarze badań
Fig. 3. Location of landslides on the background of pre-World War II geological cartographic materials (Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925), simplified by the authors. Note that landslides have not been marked in the study area on the original geological maps

W 1994 r. opublikowano arkusz Jedlina Zdrój *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000* (Bossowski i in., 1994), który obejmuje cały analizowany obszar badań (ryc. 4). Według tego opracowania w podłożu występują skały wieku górnokarbońskiego: mułowce i ilowce pochodzenia morskiego oraz piaskowce i zlepniece, będące osadami rzecznyymi, deltowymi (Bossowski i in., 1995). Wulkanizm wieku permjskiego zaznaczył się na tym terenie wylewami ryolitów, które mają charakter intruzji pokładowych i zostały podzielone na ryolity z drobnymi fenokryształami kwarcu i skaleni (odpowiadające porfirom kwarcowym wg wydzieleni autorów niemieckich) oraz ryolity z dużymi fenokryształami kwarcu i skaleni. Ryolity z drobnymi kryształami kwarcu i skaleni budują szczytowe partie Borowej (853 m), Suchej (775 m), Jałowca Małego (742) i Małosza (671 m). Ryolity z dużymi fenokryształami kwarcu i skaleni budują kulminację Jałowca (751 m). Na nich zostały zdeponowane tufy ryolitowe przeławiczone seriami grubookruchowych brekcji piroklastycznych, które występują w pasie o szerokości do 1,5 km (o przebiegu południkowym) i budują szczyt Wawrzyniak (670 m) oraz Kątnej (675 m). Utwory wieku czwartorzędowego to głównie osady rzeczne – korytowe oraz żwiry, budujące terasy występujące w dolinie potoku bez nazwy we wschodniej części obszaru badań. Według autorów arkusza Jedlina Zdrój *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów* litologia

wydzielenia oznaczonego jako żwiry wyższych teras (terasów 4–12 m powyżej poziomu rzeki) jest trudna do oddzielenia od utworów deluwialnych, zatem wydzielenie to zostało wprowadzone jedynie na podstawie kryterium morfologicznego – spłaszczenia terenu (Bossowski i in., 1995).

ZASIĘG FORM OSUWISKOWYCH W ŚWIETLE CYFROWEGO MODELU TERENU I WYNIKÓW KARTOWANIA GEOMORFOLOGICZNEGO

Analiza modelu terenu, zweryfikowana w trakcie badań terenowych, umożliwiła identyfikację piętnastu osuwisk, z których sześć jest zlokalizowanych na stokach Borowej (853 m), cztery na stokach Jałowca Małego (742 m), trzy na stokach Suchej (775 m), jedno na stokach Jałowca (751 m) i jedno na stokach Wawrzyniak (670 m). W dalszej części artykułu osuwiska będą określane kodami literowo-cyfrowymi, zgodnie z oznaczeniami na rycinach 3 i 4. Osuwiska powstały na stokach o ekspozycji wschodniej (cztery osuwiska), północno-wschodniej (trzy), południowo-wschodniej (trzy), południowej (trzy), północnej (jedno) i południowo-zachodniej (jedno). Zgodnie z wydzieleniami zaproponowanymi przez autorów niemieckich map geologicznych (Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925) skarpy główne osuwisk są założone w utworach wulkanicznych:



Ryc. 4. Rozmieszczenie osuwisk na tle danych o budowie geologicznej, przedstawionych na *Szczegółowej Mapie Geologicznej Sudetów* (Bossowski i in., 1994). Na oryginalnych mapach geologicznych osuwiska nie zostały naniesione w obszarze badań

Fig. 4. Location of landslides on the background of data regarding the geological structure presented on the *Detailed Geological Map of the Sudetes* (Bossowski et al., 1994). Note that landslides have not been marked in the study area on the original geological maps

ryolitach (jedenaście osuwisk), tufach (dwa) i trachyandezytach (jedno). Natomiast skarpa główna jednego z osuwisk (B6) jest założona w ilastych skałach osadowych. Na mapie geologicznej Bossowski i in. (1994) nieco inaczej przedstawiono sytuację geologiczną. W przypadku czterech osuwisk (S1, S3, B1 i B6) obraz budowy geologicznej jest odmienny niż ten zawarty w starszych materiałach (Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925).

Osuwiska zajmują łącznie powierzchnię 37,6 ha, z czego jedno (JM2) – powyżej 10,0 ha, a sześć z nich (S3, B2, B3, B4, B6 i W1) – nie przekracza 1,0 ha. Kształt większości osuwisk jest wydłużony, co wyraża wartość wskaźnika L/W na poziomie 1,8 i wyższym dla dziewięciu z nich, a w przypadku osuwiska S3 osiągającym wysoką wartość 4,2. Osuwiska są zlokalizowane na wysokości od 512 do 796 m n.p.m., przy czym krawędzie skarp głównych poszczególnych osuwisk zajmują fragmenty stoków od 634 do 796 m n.p.m. Pod względem średniej wartości nachylenia wyróżniają się osuwiska B2 i B3, osiągając odpowiednio 37,3 i 33,0° w swoim obrębie. W przypadku większości osuwisk wartość średniego nachylenia powierzchni osuwiska waha się pomiędzy 20 a 30°, zaś osuwiska S3, B1 i B6 osiągają dość niskie wartości średniego nachylenia, kolejno: 19,0, 19,7 i 16,8° (tab. 1). Z uwagi na szczególnie złożoną rzeźbę osuwisk S1, B1, JM2 i JM3 (ryc. 5), co

może wskazywać na współwystępowanie różnych mechanizmów przemieszczeń lub wielofazowy rozwój, zostaną one opisane dokładniej w dalszej części tekstu. Podstawą opisów jest analiza ukształtowania terenu, a oznaczenia liczbowe użyte w tekście odnoszą się do charakterystycznych elementów rzeźby obszarów osuwiskowych ukazanych na rycinie 5.

Osuwisko S1 jest położone w północnej części obszaru badań i zajmuje część wschodniego stoku Suchoj, którego nachylenie przekracza 30°. Osuwisko obejmuje powierzchnię 4,7 ha, jego długość wynosi 317 m, przy proporcjonalnie niewielkiej szerokości 187 m ($L/W = 1,7$). Skarpa główna (ryc. 5 – 1) jest bardzo wyraźna i posiada amfiteatralny zarys. W górnych partiach jej nachylenie przekracza 45°, zaś w dolnych partiach skarpy zmniejsza się do 40°. Poniżej skarpy powstało spłaszczenie (ryc. 5 – 2), którego powierzchnia jest nieznacznie nachylona w górę stoku, co sugeruje, że jest to zrotowany pakiet skalny, który przemieścił się po zakrzywionej, wklęsłocylindrycznej powierzchni poślizgu. W południowej jego części znajduje się wyraźne zagłębienie bezodpływowe o wymiarach 27 m długości, 17 m szerokości i 1,8 m głębokości. W niższych partiach osuwisko schodzi do dna doliny, a materiał osuwiskowy w części dystalnej formuje podłużny wał (ryc. 5 – 3), który oparł się o przeciwległe zbocze doliny. Układ form

Tab. 1. Charakterystyka morfometryczna osuwisk
Table 1. Morphometric characteristics of landslides

| Lp. No. | Osuwisko Landslide | Ekspozycja skarpy głównej Head scarp aspect | Powierzchnia Area [ha] | Długość (L) Length [m] | Maksymalna szerokość Maximum width [m] | Wskaźnik L/W L/W ratio | Wysokość maksymalna w obrębie osuwiska Maximum altitude [m n.p.m.] | Wysokość minimalna w obrębie osuwiska Minimum altitude [m n.p.m.] | Różnica wysokości w obrębie osuwiska Altitude difference [m] | Średnie nachylenie w obrębie osuwiska Mean slope [°] |
|---------|--------------------|---|------------------------|------------------------|--|------------------------|--|---|--|--|
| 1 | S1 | E | 4,71 | 317 | 187 | 1,7 | 696 | 554 | 142 | 24,4 |
| 2 | S2 | SE | 3,23 | 414 | 137 | 3,0 | 679 | 533 | 146 | 22,6 |
| 3 | S3 | S | 0,90 | 208 | 49 | 4,2 | 652 | 586 | 66 | 19,0 |
| 4 | B1 | S | 4,29 | 342 | 222 | 1,5 | 775 | 670 | 105 | 19,7 |
| 5 | B2 | NE | 0,56 | 67 | 97 | 0,7 | 796 | 742 | 54 | 37,3 |
| 6 | B3 | E | 0,09 | 56 | 19 | 2,9 | 760 | 728 | 32 | 33,0 |
| 7 | B4 | SE | 0,26 | 71 | 48 | 1,5 | 754 | 723 | 31 | 23,4 |
| 8 | B5 | SW | 1,75 | 140 | 165 | 0,8 | 665 | 600 | 65 | 23,2 |
| 9 | B6 | S | 0,40 | 98 | 55 | 1,8 | 634 | 607 | 27 | 16,8 |
| 10 | JM1 | NE | 1,15 | 179 | 99 | 1,8 | 717 | 627 | 90 | 28,2 |
| 11 | JM2 | NE | 10,44 | 416 | 361 | 1,2 | 741 | 561 | 180 | 24,0 |
| 12 | JM3 | N | 4,91 | 400 | 160 | 2,5 | 734 | 548 | 186 | 27,1 |
| 13 | JM4 | SE | 1,39 | 236 | 86 | 2,7 | 693 | 574 | 119 | 28,4 |
| 14 | J1 | E | 2,58 | 345 | 152 | 2,3 | 673 | 551 | 122 | 24,8 |
| 15 | W1 | E | 0,95 | 182 | 74 | 2,5 | 589 | 512 | 77 | 23,7 |

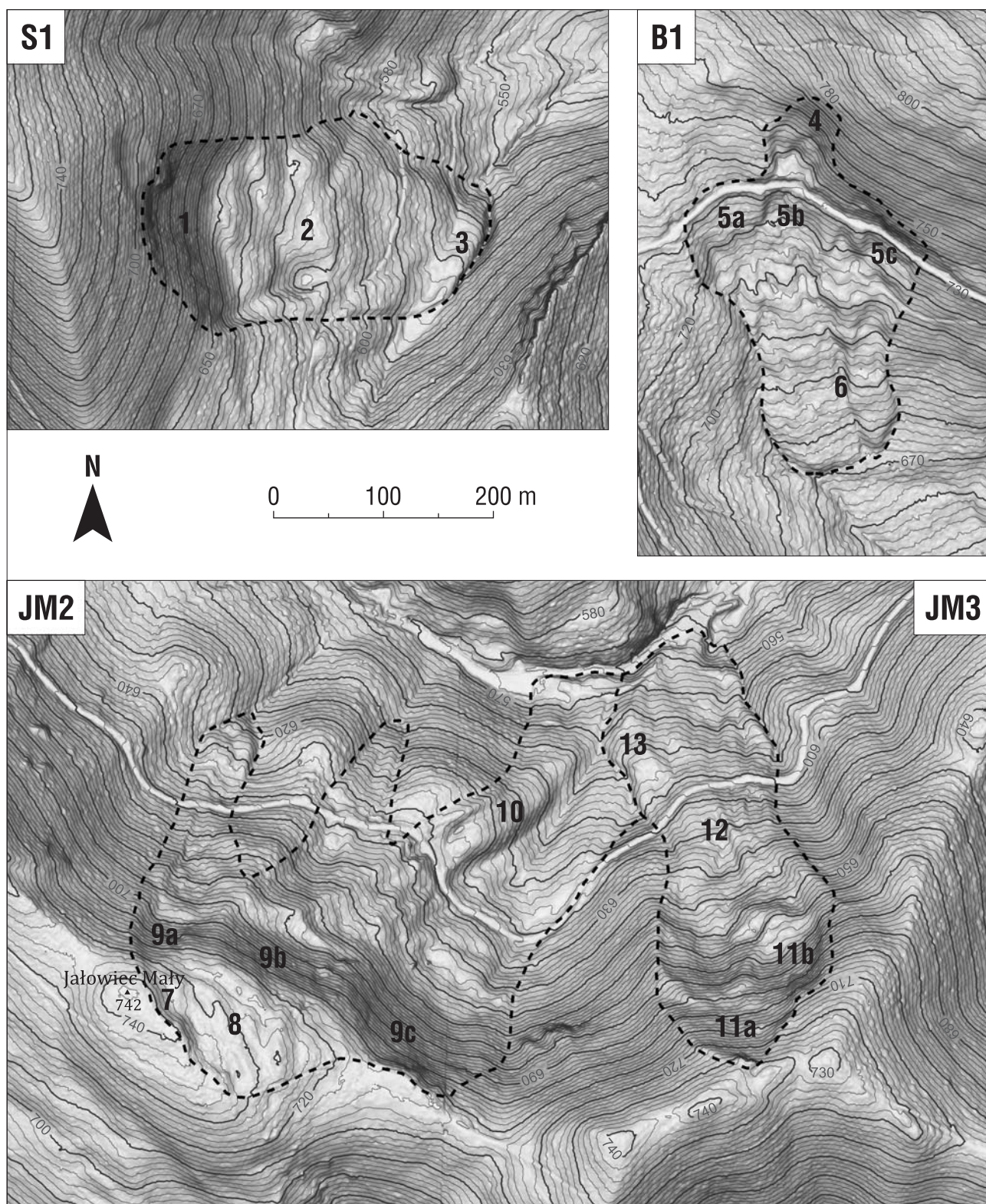
Pogrubioną czcionką zaznaczono maksymalne wartości poszczególnych parametrów morfometrycznych.
 The maximum values of morphometric parameters are bold-faced.

wskazuje, że ta część doliny została przegrodzona wałem koluwalnym, nastąpiło spiętrzenie cieku, zaś nowe koryto jest wycięte u podnóża przeciwległego zbocza na odcinku ok. 150 m. Zgodnie z treścią map geologicznych skarpa główna osuwiska powstała w skałach ryolitowych, zaś dolna część formy obejmuje ilaste skały osadowe (w przypadku *Geologische Karte*; Dathe, Finckh, 1924; Berg, 1925) lub tufy ryolitowe (wg *Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000*; Bossowski i in., 1994). Na podstawie rzeźby osuwiska można niemal jednoznacznie wskazać, że powstało ono w wyniku rotacyjnego przemieszczenia mas skalnych.

Osuwisko B1 znajduje się w skrajnie zachodniej części obszaru badań i powstało na południowych stokach Borowej o nachyleniu 30°. Forma osuwiskowa zajmuje powierzchnię ok. 4,3 ha, przy 342 m długości oraz 222 m maksymalnej szerokości ($L/W = 1,5$). Rzeźba tej formy jest bardziej skomplikowana niż w przypadku osuwiska S1. Najwyżej położone elementy formy (ryc. 5 – 4) cechują się znacznymi stromiznami form rzeźby (ponad 30°, lokalnie przekraczając 45°) i są związane ze skarpią główną mającą tu szerokość 67 m, co stanowi ok. 30% maksymalnej szerokości osuwiska, gdyż w niższych partiach forma osuwiskowa generalnie rozszerza się i wypłaszcza, z wyjątkiem wschodniej części, gdzie występuje linijska strefa wysokich nachyleń o długości ponad 100 m. Strefę tę przecina droga, co pozwala domniemywać, że jej geneza jest związana z przeprowadzeniem szlaku komunikacyjnego i wykonaniem podcięcia drogowego. Poniżej drogi występują trzy oddzielone od siebie wąskimi wałami wklęsłe formy o charakterze nisz (ryc. 5 – 5a–c). Poniżej nich znajduje się strefa spłaszczeń, w obrębie których występują dwa zagłębienia bezodpływowe ($10 \times 5 \times 0,5$ m). W niższej części formy, gdzie nachylenie terenu wynosi od 10 do 20°, rzeźba osuwiska ma falistą powierzchnię z licznymi nabrzmieniami (ryc. 5 – 6). Budowa geologiczna mogła odegrać szczególnie istotną rolę w przypadku formy B1. Ciężkie, masyw-

ne wulkanity, zalegające na podścielających je plastycznych skałach osadowych, doprowadziły do zapoczątkowania ruchu mas skalnych w dół stoku. Interpretacja zakładająca wpływ naprężeń litostatycznych na stabilność stoku zbudowanego ze skał osadowych leżących pod wulkanitami została po raz pierwszy zaproponowana przez Grocholskiego (1972), a następnie rozwinięta w pracach m.in. Kasprzaka i in. (2016) oraz Migonia i in. (2017a), gdzie wykorzystano wyniki badań geofizycznych. Ukształtowanie powierzchni osuwiska pozwala sądzić, że w tym przypadku mamy do czynienia z planarną powierzchnią poślizgu, charakterystyczną dla ruchów typu translacyjnego. Ruch ten, ciągły i oparty zapewne o kilka mniejszych płaskich powierzchni ściecia, jest czytelny w terenie dzięki beładnie rozmieszczonym pagórkom.

Osuwisko JM2 jest największym z omawianych i obejmuje powierzchnię 10,4 ha na północnym stoku Jałowca Małego. Jego maksymalna długość wynosi 416 m, a szerokość 361 m. Choć wartość wskaźnika $L/W = 1,2$ jest zbliżona do jedności, to osuwisko nie ma owalnego kształtu. Skarpa główna (ryc. 5 – 7) obejmuje szczytowe partie Jałowca Małego, rozcinając grzbiet, a zatem dawną linię wododziału, zmieniając jego przebieg. Poniżej skarpy znajduje się rozległe spłaszczenie (ryc. 5 – 8), mające charakter zrotowanego pakietu skalnego, w którym są zlokalizowane trzy zagłębienia bezodpływowe o wymiarach: $11 \times 26 \times 1$ m, $8 \times 15 \times 0,6$ m i $9 \times 21 \times 0,6$ m. W dalszej części znajduje się zestromienie o nachyleniu przekraczającym 45°, obejmujące pas o długości 50 m i szerokości 350 m. Na podstawie wklęsłości terenu w obrębie tego zestromienia oraz obecności niżej leżących spłaszczeń można wskazać trzy obszary, na których mogło dojść do wtórnych, rotacyjnych ruchów osuwiskowych (ryc. 5 – 9a–c). Najniższą część osuwiska JM2 stanowią trzy odrębne jęzory wypełniające dna dolin rozcinających północne stoki Jałowca Małego. Na szczególną uwagę zasługuje skrajnie wschodni jęzor, którego rzeźba jest złożona: jego centralną część stanowi



Ryc. 5. Szczegółowe przedstawienie rzeźby wybranych osuwisk w Górach Wałbrzyskich za pomocą poziomicy. Kody literowe osuwisk zgodne z ryciną 3 i 4, kolejne liczby wskazują na charakterystyczne elementy rzeźby osuwiskowej, scharakteryzowane w tekście
Fig. 5. Detailed presentation of morphology of selected landslides in the Wałbrzyskie Mountains using contour lines. Letter codes consistent with Fig. 3 and 4, numbers indicate characteristic relief features within landslide terrains described in the text

stosunkowo głębokie podłużne obniżenie, ograniczone rozległym podłużnym wałem (ryc. 5 – 10; 170 × 40 m) zlokalizowanym na lewym brzegu. Przemieszczenie mas skalno-zwietrzelinowych w tej części osuwiska sięgnęło dna doliny bezimiennego potoku opływającego masyw Jałowca Małego od północy. Dwa pozostałe jezory kończą się wy-

pukłymi czołami w obrębie stoku, poniżej są v-kształtne doliny fluwialne, co wskazuje na ruch mas skalno-zwietrzelinowych do już istniejących form wklęsłych. Wydzielenia wskazane w obydwu geologicznych materiałach kartograficznych (Berg, 1925; Bossowski i in., 1994) są zgodne w przypadku obszaru objętego omawianym ruchem osuwi-

skowym: jego najwyższa część, założona w grzbietowych partiach Jałowca Małego wykształciła się w ryolitach, środkowa obejmująca ilaste osadowe podłoże, zaś jego dolna część jest zlokalizowana ponownie w ryolitach. Przemieszczenia typu rotacyjnego w górnej części obszaru osuwiskowego, wywołane prawdopodobnie przez nacisk wulkanitów na warstwy osadowe, zostały zastąpione w części dolnej przez ruch spływowy dzięki większej ilości wody, która wypływa wzdłuż granicy litologicznej między spękanymi skałami wulkanicznymi wyżej i mniej przepuszczalnymi skałami osadowymi niżej. Ukierunkowanie przemieszczeń przez ukształtowanie terenu doprowadziło do powstania osuwiska w obecnym kształcie, z trójpalczastą częścią dolną. Przemieszczenia spływowe miały prawdopodobnie charakter ruchów wtórnych.

Osuwisko JM3 sąsiaduje z osuwiskiem JM2 od wschodu i zajmuje powierzchnię 4,9 ha, ma 400 m długości i 160 m szerokości, osiągając wydłużony kształt ($L/W = 2,5$). Otaczające stoki o ekspozycji północno-zachodniej nie przekraczają 40° nachylenia. Osuwisko cechuje się największą różnicą wysokości (186 m), ma swój początek tuż poniżej linii wododziałowej na wysokości 734 m n.p.m. i schodzi do dna doliny bezimiennego potoku na wysokość 548 m n.p.m. Skarpa główna jest dość czytelna w terenie i składa się z dwóch segmentów o łukowatym zarysie. Większy, wyżej położony (ryc. 5 – 11a) jest mniej nachylony, jedynie lokalnie osiągając nachylenie powyżej 45° . Drugi segment jest mniejszy (ryc. 5 – 11b), ale na całej długości ma nachylenie przekraczające 45° . Niższą część osuwiska budują nieuporządkowane pakiety skalne, pomniejsze wały i nieregularne nabrzmienia (ryc. 5 – 12). Przemieszczenie materiału skalno-zwietrzelinowego w dół stoku doprowadziło do zablokowania doliny bezimiennego cieku na północ od masywu Jałowca Małego. Charakterystyczne jest nasunięcie pakietów skalnych JM3 na formę JM2 (ryc. 5 – 13), co umożliwia względne datowanie omawianej formy jako młodszej od JM2. Nieregularna rzeźba osuwiska pozwala sądzić, że ukształtowało się ono w wyniku ruchów typu translacyjnego, wymuszonych przez nacisk ciężkich skał wulkanicznych w obliczu podcinania stoku przez wody potoku biegnącego u jego stóp.

DYSKUSJA

Budowa geologiczna obszaru badań została dwukrotnie przedstawiona kartograficznie w skali 1 : 25 000, implikującej wysoki poziom szczegółowości, jednak na żadnym z tych opracowań nie odnotowano obecności osuwisk w południowo-wschodniej części Gór Wałbrzyskich. Niedoskonałość tych materiałów nie powinna jednak podlegać surowej krytyce, bowiem na brak poprawnego rozpoznania form osuwiskowych mogło nałożyć się kilka czynników. Zdaniem Kowalskiego (2018) metodologia sporządzania zdjęcia geologicznego mogła negatywnie wpływać na możliwości rozpoznawania sudeckich osuwisk. Przyczyniać się do tego mogło wykorzystanie mało precyzyjnych podkładów topograficznych, które uniemożliwiają rozpoznanie na mapie elementów rzeźby charakterystycznych dla stoków objętych osuwiskami, a trudnych do identyfikacji w terenie w znacznym stopniu pokrytym roślinnością. Migoń i in. (2014) zwrócili także uwagę na różne podejście do kartowania form i utworów powierzchniowych (niekiedy stosowano oznaczenia litologiczne, w innych przypadkach – genetyczne; wskazywano na zasięg powierzchniowy osuwisk lub nie), stosowanie różnych wydzieleni odpowiadających

obszarom objętym ruchami masowymi i różnice w wizualizacji kartograficznej. Zauważyli oni ponadto, że autorzy map geologicznych zarówno przedwojennych, jak i tych z lat 90. mierzyli się z trudniejszymi niż dzisiaj warunkami kartowania. Niemniej w sąsiednich Górach Kamiennych zarejestrowano obecność osuwisk zarówno na mapach niemieckich, jak i polskich (np. Berg, 1925; Bossowski i in., 1994), choć wskazane zasięgi form osuwiskowych po poddaniu weryfikacji okazały się być obarczone błędem, a liczba i zasięg osuwisk – niedoszacowane (Migoń i in., 2014, 2017b). Dostępność danych LiDAR pozwala jednak systematycznie wypełniać luki w rozpoznaniu wielkości przekształceń stoków sudeckich przez ruchy masowe typu osuwiskowego.

W sąsiednich Górach Kamiennych zlokalizowano łącznie blisko 50 osuwisk (Migoń i in., 2017b), których występowanie wiąże się z podobnymi jak w Górach Wałbrzyskich uwarunkowaniami geologicznymi i topograficznymi, które sprzyjają ruchom masowym typu osuwiskowego. Istotna w rozwoju osuwisk jest budowa geologiczna i podatność na odkształcenia skał osadowych (zwłaszcza drobnoziarnistych mułowców i ilowców) spoczywających pod warstwą sztywnych skał wulkanicznych (takich jak ryolity czy trachyandezyty). Czynniki litologiczne w zestawieniu z dużą energią rzeźby w wielu miejscach doprowadził do destabilizacji stoku i zapoczątkowania ruchu osuwiskowego. Nie jest więc zaskoczeniem, że w sąsiadujących z południowo-wschodnią częścią Gór Wałbrzyskich Górach Suchych występują formy analogiczne do tych opisanych w niniejszym artykule (Kacprzak i in., 2013; Duszyński i in., 2016; Kasprzak i in., 2016; Jancewicz, Migoń, 2017; Migoń i in. 2017a). Są wśród nich głęboko zakorzenione, rotacyjne przemieszczenia mas skalnych, niekiedy obejmujące niemal całe powierzchnie stokowe, przemieszczenia translacyjne wzdłuż stromo zapadających powierzchni spękań, a także osuwiska spływowe, rozwijające się w obrębie już istniejących form dolinnych. Te ostatnie mogą mieć charakter wtórnych przemieszczeń wynikających z destabilizacji stref czołowych zwartych osuwisk rotacyjnych – takie przypadki udokumentowano pod Lesistą Wielką i Kostrzyną, a w Górach Wałbrzyskich znakomitym przykładem jest kompleks osuwiskowy JM2 pod Jałowcem Małym. Warto przy tym odnotować, że przypadki osiągania przez jezory osuwiskowe den dolinnych i czasowego ich blokowania były w Górach Kamiennych nieliczne, natomiast wśród 15 osuwisk w Górach Wałbrzyskich aż cztery sięgnęły den dolin, wymuszając istotne zmiany w rzeźbie fluwialnej (zweźnienie doliny, podcinanie przeciwległego zbocza, zmiana położenia koryta).

PODSUMOWANIE

Rozpoznanie kilkunastu wcześniej nie rejestrowanych osuwisk w południowo-wschodniej części Gór Wałbrzyskich w sposób istotny poszerzyło istniejącą bazę danych o formach osuwiskowych w Sudetach, zwłaszcza że występują one na obszarze, na którym nie rejestrowano dotychczas wielkoskalowych ruchów masowych. Zróżnicowany charakter przemieszczeń, określony na podstawie analizy form rzeźby osuwiskowej, jest ze względu na różnorodność ruchów masowych podobny do ruchów masowych występujących w pobliskich Górach Kamiennych – pasmie górskim o bardzo zbliżonej budowie geologicznej, aczkolwiek wielkość osuwisk w Górach Wałbrzyskich jest generalnie mniejsza. Identyfikacja form osuwiskowych stwarza

obiecujące perspektywy dalszych badań, szczególnie danych bezwzględnych form w oparciu o osady osuwiskowych jezior zaporowych, których pozostałości występują na badanym obszarze. Wyniki wstępnych badań prowadzonych w Górach Wałbrzyskich wykazały po raz kolejny użyteczność wysokorozdzielczego modelu terenu zbudowanego na podstawie danych LiDAR, zarówno w zakresie identyfikacji form rzeźby na obszarach zalesionych, jak i ich ilościowej analizy, niezbędnej przy analizie porównawczej osuwisk prowadzonej na znacznych obszarach.

Badania zostały zrealizowane w ramach działalności statutowej Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego UW (nr projektu 1015/S/IGRR). Dane cyfrowe LiDAR wykorzystano zgodnie z licencją nr DIO.DFT.DSI.7211.1619.2015_PL_N wydaną w dn. 7 kwietnia 2015 r. przez Głównego Geodetę Kraju. Dziękujemy prof. dr hab. Antoniemu Wójcikowi i drugiemu, anonimowemu Recenzentowi za uwagi, które pozwoliły na udoskonalenie artykułu.

LITERATURA

- BERG G. 1925 – Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000. Blatt Waldenburg.
- BERG G., DATHE E., ZIMMERMANN E. 1910 – Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000. Blatt Friedland i. Schl.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓŹKÓW G., WÓJCIK A. 2011 – Landslides mapping in Roznow Lake vicinity, Poland, using Airborne Laser Scanning data. *Acta Geodyn. Geomat.*, 8 (3): 325–333.
- BOSSOWSKI A., CYMERMAN Z., GROCHOLSKI A., IHNATOWICZ A. 1994 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów 1 : 25 000, ark. Jedlina Zdrój. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BOSSOWSKI A., CYMERMAN Z., GROCHOLSKI A., IHNATOWICZ A. 1995 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów, ark. Jedlina Zdrój 1 : 25 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BŘEZNY M., PÁNEK T. 2017 – Deep-seated landslides affecting monoclinial flysch morphostructure: Evaluation of LiDAR-derived topography of the highest range of the Czech Carpathians. *Geomorph.*, 285: 44–57.
- DATHE E., BERG G. 1926 – Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern. Lieferung 145. Blatt Waldenburg i. Schl. Berlin (2. Aufl.).
- DATHE E., FINCKH L. 1924 – Geologische Karte von Preußen 1 : 25 000. Blatt Charlottenbrunn.
- DATHE E., ZIMMERMANN E., BERG G. 1910 – Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 145. Blatt Friedland i. Schl. Berlin.
- DUSZYŃSKI F., MIGOŃ P., RÓŻYCKA M. 2016 – Osuwisko pod Turzyną w Górach Suchych (Sudety Środkowe). *Przr. Sudetów*, 19: 143–166.
- 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. *Geomorph.*, 295: 84–101.
- FINCKH L. 1924 – Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Charlottenbrunn.
- GILEWSKA S. 1991 – Rzeźba. [W:] Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. PWN, Warszawa: 243–288.
- GROCHOLSKI A. 1972 – Ślady osuwisk na stokach Lesistej Wielkiej w Górach Kamiennych. *Polskie Towarzystwo Miłośników Nauk o Ziemi, Koło Górnicze w Górcach*, Biul. Inf., 11: 9–14.
- JABOYEDOFF M., OPPIKOFER T., ABELLÁN A., DERRON M.-H., LOYE A., METZGER R., PEDRAZZINI A. 2012 – Use of LIDAR in landslide investigations: a review. *Nat. Hazards*, 61: 5–28.
- JANCEWICZ K., MIGOŃ P. 2017 – Osuwiska w masywie Granicznika w Górach Kamiennych. *Przr. Sudetów*, 20: 239–254.
- JANCEWICZ K., TRACZYK A. 2017 – Mało znane formy ruchów masowych w dolinie Węglówki w Górach Bardzkich (Sudety Środkowe). *Przr. Sudetów*, 20: 289–314.
- KACPRZAK A., MIGOŃ P., MUSIEŁOK Ł. 2013 – Using soils as indicators of past slope instability in forested terrain, Kamienne Mts, SW Poland. *Geomorph.*, 194: 65–75.
- KACZOROWSKI J. 2017 – Zapis typu ruchu osuwiska w rzeźbie terenu i jego obraz na wysokorozdzielczych numerycznych modelach terenu (NMT) na przykładzie wybranych osuwisk ze wschodniej części Beskidu Niskiego (Karpaty zewnętrzne, Polska). *Prz. Geol.*, 65: 44–52.
- KASPRZAK M., DUSZYŃSKI F., JANCEWICZ K., MICHNIEWICZ A., RÓŻYCKA M., MIGOŃ P. 2016 – The Rogowiec Landslide Complex (Central Sudetes, SW Poland) – a case of a collapsed mountain. *Geol. Quart.*, 60: 695–713.
- KASPRZAK M., TRACZYK A. 2012 – Uwarunkowania rozwoju osuwisk w środkowej części Gór Kamiennych (Sudety). *Landf. Anal.*, 20: 65–77.
- KOWALSKI A. 2018 – Osuwiska jako przyczyna błędnych interpretacji budowy geologicznej – przykłady z Sudetów. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 474: 27–48.
- KOWALSKI A., WAJS J., KASZA D. 2018 – Monitoring of anthropogenic landslide activity with combined UAV and LiDAR-derived DEMs – a case study of the Czerwony Wąwóz landslide (SW Poland, Western Sudetes). *Acta Geodyn. Geomat.*, 15 (2): 117–129.
- KOWALSKI A., WOJEWODA J. 2017 – Nowo rozpoznane formy osuwiskowe w dolinie Kaczawy na Pogórzu Kaczawskim (Sudety Zachodnie). *Landf. Anal.*, 34: 15–27.
- ŁAJCZAK A., CZAJKA B., KACZKA R.J. 2014 – The new features of landslide relief discovered using LiDAR – case study from Babia Góra massif, Western Carpathian Mountains. *Quaest. Geogr.*, 33 (3): 77–88.
- MARGIELEWSKI W. 2009 – Problematyka osuwisk strukturalnych w Karpatach fliszowych w świetle zunifikowanych kryteriów klasyfikacji ruchów masowych – przegląd krytyczny. *Prz. Geol.*, 57: 905–917.
- MIGOŃ P. 2006 – *Geomorfologia*. PWN, Warszawa.
- MIGOŃ P., DUSZYŃSKI F., KASPRZAK M., RÓŻYCKA M. 2017a – Evolving slope instability zone at Mt. Turzyna (Sudetes, SW Poland) – An example of incipient deep-seated gravitational slope deformation. *Geomorph.*, 61: 135–148.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., KASPRZAK M. 2014 – Zasięg obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR. *Prz. Geol.*, 62: 463–471.
- MIGOŃ P., JANCEWICZ K., RÓŻYCKA M., DUSZYŃSKI F., KASPRZAK M. 2017b – Large-scale slope remodelling by landslides – geomorphic diversity and geological controls, Kamienne Mts., Central Europe. *Geomorph.*, 289: 134–151.
- MIGOŃ P., KASPRZAK M. 2011 – Morfologiczny zapis ruchów masowych na progach morfologicznych Gór Stołowych w świetle numerycznego modelu wysokości o dużej rozdzielczości. *Przr. Sudetów*, 14: 115–124.
- MIGOŃ P., RÓŻYCKA M., JANCEWICZ K. 2017 – Zespół osuwisk na Toczku (Góry Bystrzyckie) w świetle analizy geomorfometrycznej. *Przr. Sudetów*, 19: 167–188.
- OSIKA A., WISTUBA M., MALIK I. 2018 – Relief evolution of landslide slopes in the Kamienne Mts (Central Sudetes, Poland) – analysis of a high-resolution DEM from airborne LiDAR. *Contemp. Trends. Geosci.*, 7 (1): 1–20.
- RÓŻYCKA M., MICHNIEWICZ A., MIGOŃ P., KASPRZAK M. 2015 – Identification and morphometric properties of landslides in the Bystrzyckie Mountains (Sudetes, SW Poland) based on data derived from airborne LiDAR. [W:] Jasiewicz J., Zwoliński Z., Mitasova H., Hengl T. (red.), *Geomorphometry for Geosciences*. Adam Mickiewicz University in Poznań – Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry, Poznań: 247–250.
- SUTINEN R., HYVÖNEN E., KUKKONEN I. 2014 – LiDAR detection of paleolandslides in the vicinity of the Suasella postglacial fault, Finnish Lapland. *Intern. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, 27: 91–99.
- VAN DEN ECKHAUT M., POESEN J., VERSTRAETEN G., VANACKER V., NYSEN J., MOEYERSONS J., VAN BEEK L.P.H., VANDEKERCKHOVE L. 2007 – Use of LIDAR-derived images for mapping old landslides under forest. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 32: 754–769.
- WEŻYK P. (red.) 2014 – Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR, Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. GUGiK, Warszawa.
- WÓJCIK A., WEŻYK P., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., MACZUGA S. 2013 – Geologiczna i geomorfologiczna interpretacja danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) rejonu Kasprowego Wierchu (Tatry). *Prz. Geol.*, 61: 234–242.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKI A., PERSKI Z., WÓJCIK A. 2012 – Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty Zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 60: 95–102.

Praca wpłynęła do redakcji 15.04.2019 r.

Akceptowano do druku 29.07.2019 r.