

## Zasięg obszarów objętych osuwiskami w Górach Kamiennych (Sudety Środkowe) – porównanie map geologicznych i cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR

Piotr Migoń<sup>1</sup>, Kacper Jancewicz<sup>1</sup>, Marek Kasprzak<sup>1</sup>



P. Migoń



K. Jancewicz



M. Kasprzak

**The extent of landslide-affected areas in the Kamienne Mountains (Middle Sudetes) – a comparison of geological maps and a LiDAR based digital elevation model.** *Prz. Geol.*, 62: 463–471.

*A b s t r a c t.* The east-central part of the Kamienne Mountains in the Sudetes has long been known as an area where landslides occur in abundance. Their extent was shown on first detailed geological maps from the early 20<sup>th</sup> century and later on Polish geological maps published in the 1970 and 1990. The total landslide area mapped was about 100 ha. The availability of LiDAR data allowed to build digital elevation models of very high resolution and to attempt landslide mapping using diagnostic landform assemblages as guidelines. 30 separate landslides have been

mapped, including complex landslide areas involving overlapping landslide bodies of likely different origin. The total landslide area is at least 300 ha, while the largest complexes cover 40–50 ha. LiDAR-based models proved extremely useful in landslide mapping, especially in forested areas.

**Keywords:** landslides, digital elevation model, LiDAR, geological mapping, Sudetes

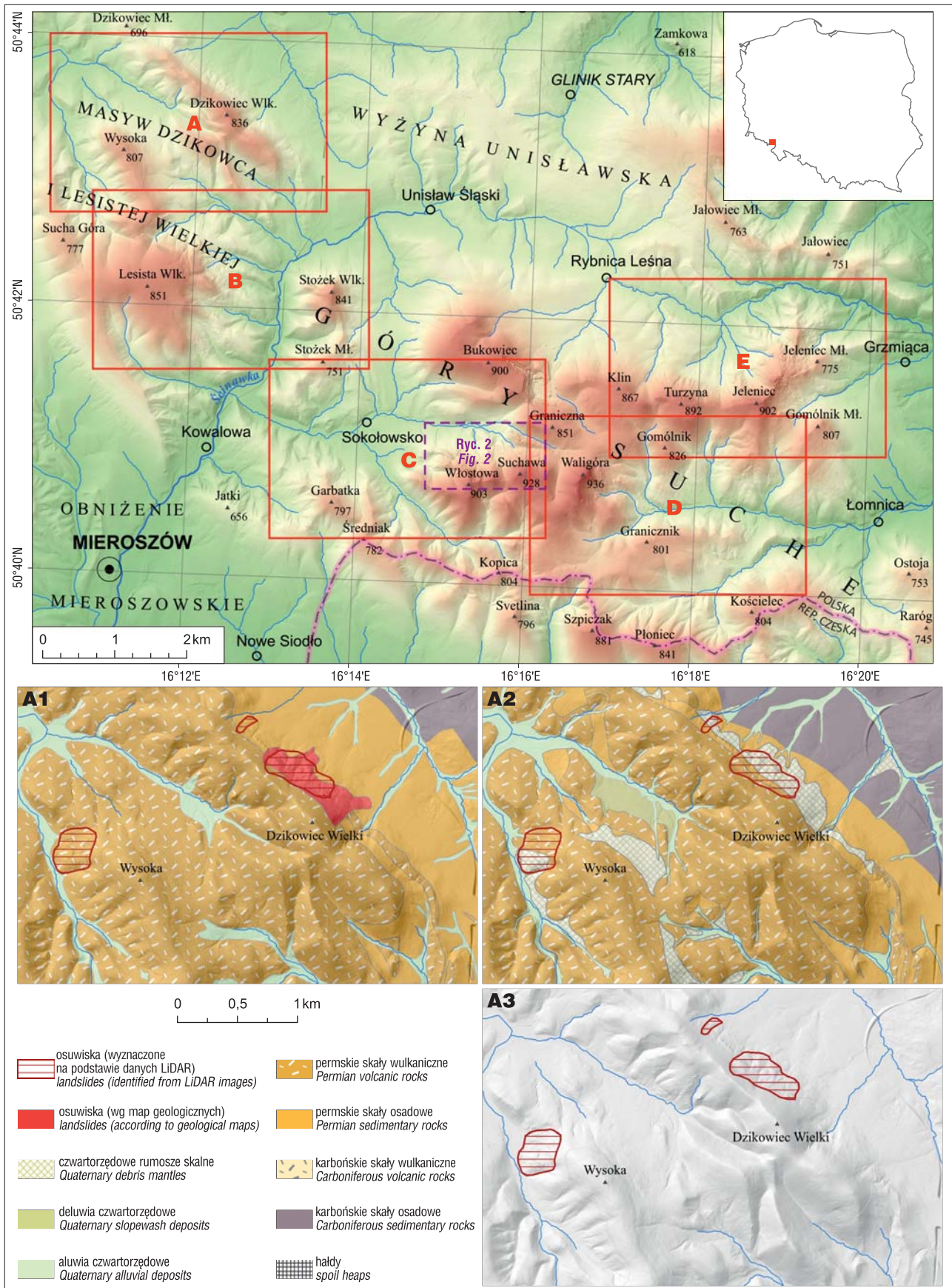
Sudety, w przeciwieństwie do Karpat fliszowych, są uważane za obszar, w którym wielkoskalowe ruchy osuwiskowe nie odgrywają istotnej roli jako czynnik rzeźbotwórczy czy zagrażający elementom infrastruktury. W starszych opracowaniach przeglądowych dotyczących rozwoju rzeźby terenu w Sudetach wzmianek o osuwiskach praktycznie brak (np. Walczak, 1972; Gilewska, 1991), w nowszych wskazywano raczej na ich lokalne znaczenie i sporadyczne uaktywnianie się w trakcie szczególnie wysokich opadów (np. Czerwiński & Żurawek, 1999; Migoń i in., 2002; Migoń, 2008). Duże osuwiska w czasach historycznych (np. skalne osuwisko ześlizgowe w Bardzie – Oberc, 1957; Migoń i in., 2002) czy współczesnych (osuwisko pod Średniakiem w Masywie Śnieżnika – Parzóch i in., 2012) są traktowane jako swoiste anomalie w systemie morfogenetycznym.

Na tym tle rysuje się odrębność Gór Kamiennych w Sudetach Środkowych, a ściślej – ich wschodniej części, obejmującej położone na południe od Wałbrzycha Pasma Lesistej (także opisywane jako Masyw Dzikowca i Lesistej Wielkiej) oraz Góry Suche (ryc. 1). Liczne kartograficzne oznaczenia terenów osuwiskowych pojawiły się już na pierwszych dokładnych mapach geologicznych tego regionu (Berg i in., 1910; Dathe i in., 1910; Berg, 1925; Dathe & Berg, 1926), a opinię o występowaniu osuwisk podtrzymali autorzy odpowiednich arkuszy SMGS (Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów) (Grocholski, 1971, 1973; Bossowski i in., 1994, 1995). Kilka ze wskazywanych osuwisk opisano nieco bliżej w literaturze, jednak opisy miały bardziej popularny niż ściśle naukowy charakter (Pulinowa & Mazur, 1971; Grocholski, 1972; Jońca, 1987). Pierwszy regionalny obraz występowania osuwisk w Górach Kamiennych przyniosła praca Synowca (2003), przy czym materiałem podstawowym były informacje zawarte na publikowanych i cytowanych wyżej arkuszach SMGS, częściowo tylko

uzupełnione wynikami terenowego kartowania geomorfologicznego. W ostatnich latach ukazało się kilka szczegółowych opracowań dotyczących wybranych terenów osuwiskowych (Migoń i in., 2010; Remisz & Bijak, 2012; Kasprzak i in., 2013; Migoń i in., 2014), zawierających także próby kartograficznego przedstawienia zasięgu osuwisk i zróżnicowania ich rzeźby. Postęp w rozpoznaniu faktycznego zasięgu stoków objętych osuwiskami był jednak hamowany brakiem odpowiednich danych o zróżnicowaniu morfologicznym i trudnościami towarzyszącymi kartowaniu terenowemu w warunkach gęstego pokrycia zbiorowiskami leśnymi.

Przełomowym momentem było udostępnienie w 2013 r. danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego o wysokiej rozdzielczości, które objęły cały obszar Gór Kamiennych. Analiza cyfrowych modeli wysokości terenu umożliwiła precyzyjne zlokalizowanie i wyznaczenie granic obszarów osuwiskowych, a przydatność danych wysokościowych LiDAR (Light Detection and Ranging) do badań tego typu była już kilkakrotnie podnoszona w literaturze zagranicznej (Van den Eeckhaut i in., 2007; Jaboyedoff i in., 2012) i polskiej (Borkowski i in., 2011; Wojciechowski i in., 2012). W niniejszym artykule zostaną zaprezentowane i porównane ze sobą obrazy ukazujące rozmieszczenie osuwisk we wschodniej części Gór Kamiennych, zawarte w trzech źródłach: niemieckich mapach geologicznych z początków XX w., polskich mapach geologicznych z drugiej połowy XX w. oraz wynikające z interpretacji cyfrowego modelu wysokości skonstruowanego z wysokorozdzielczych danych LiDAR. Celem artykułu jest zatem uaktualnienie stanu wiedzy o występowaniu form osuwiskowych w Górach Kamiennych (jednak bez wnikania w anatomię czy genezę poszczególnych osuwisk), ale także ukazanie na kolejnym przykładzie potencjału cyfrowych

<sup>1</sup> Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław; piotr.migon@uni.wroc.pl, kacper.jancewicz@uni.wroc.pl, marek.kasprzak@uni.wroc.pl.



**Ryc. 1.** Lokalizacja obszarów występowania osuwisk w środkowo-wschodniej części Gór Kamiennych (u góry) oraz zasięg osuwisk w północnej części Masywu Dzikowca i Lesistej Wielkiej (u dołu) wg Geologische Karte von Preussen (A1), Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów (A2) i na podstawie cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR (A3)

**Fig. 1.** Location of landslide-affected areas in the east-central part of the Kamiennie Mountains (top) and the extent of landslides in the northern part of the Dzikowiec and Lesista Wielka Massif (bottom), after Geologische Karte von Preussen (A1), Detailed Geological Map of the Sudetes (A2) and LiDAR DEM (A3)

**Tab. 1.** Porównanie zasięgów osuwisk na podstawie różnych materiałów źródłowych: niemieckich (Geologische Karte von Preussen – GKP) i polskich (Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów – SMGS) map geologicznych w skali 1 : 25 000 oraz interpretacji cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR, dla obszarów przedstawionych na rycinach 1 i 3–7

**Table 1.** Comparison of the extent of landslide terrains using different sources of information: German (Geologische Karte von Preussen – GKP) and Polish (Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów – SMGS) detailed geological maps at 1 : 25,000 scale versus interpretation of digital elevation models built from LiDAR data, for areas presented on Figs. 1 and 3–7

Materiał źródłowy Source	Powierzchnia osuwisk (ha) Area of landslide-affected terrains (ha)					Razem Total
	Masyw Dzikowca (obszar A) (area A)	Masyw Lesistej (obszar B) (area B)	Okolice Sokołowska (obszar C) (area C)	Masyw Granicznika (obszar D) (area D)	Masyw Rogowca (obszar E) (area E)	
GKP	20,12	13,07	20,78	13,17	9,33	76,47
SMGS	0	15,86	32,88	15,45	23,5	87,69
LiDAR DEM	23,41	76,82	83,91	42,53	80,41	307,08

modeli wysokości w rozpoznawaniu i interpretacji form rzeźby terenu, szczególnie w obszarach zalesionych.

### OBSZAR BADAŃ

Góry Kamienne są jednostką fizycznogeograficzną w Sudetach Środkowych, wyróżnianą ze względu na wyraźne wyodrębnienie się w rzeźbie terenu pasa skał wulkanicznych i subwulkanicznych wieku późnkarbońskiego i permskiego, ciągnącego się od okolic Lubawki na zachodzie po Nową Rudę na wschodzie. Skały te tworzą grzbiety i masywy osiągające 800–900 m n.p.m. i wysokość względną do 400 m. Ze znacznymi wysokościami względnymi korespondują znaczne nachylenia terenu, należące do największych w Sudetach (Migoń i in., 2009) i w wielu miejscach przekraczające 30° (Kasprzak & Traczyk, 2012). Góry Kamienne dzielą się na cztery jednostki niższego rzędu: od zachodu Góry Krucze, Czarny Las, Masyw Dzikowca i Lesistej Wielkiej oraz Góry Suche. Ten ostatni mikroregion jest wyraźnie dwudzielny. Część zachodnią, z najwyższą Waligórą (936 m), tworzy skomplikowany zespół grzbietów różnego rzędu, odosobnionych kopuł i masywów, rozdzielonych głębokimi dolinami. Część wschodnia to długi na około 20 km grzbiet graniczny, gdzie wysokości nie przekraczają 750 m n.p.m. Przedmiotem niniejszego opracowania jest tylko zachodnia część Gór Suchych oraz w całości Masyw Dzikowca i Lesistej Wielkiej.

W budowie geologicznej analizowanej części Gór Kamiennych dominują skały wulkaniczne i subwulkaniczne, tworzące kilka zespołów (asocjacji) wyróżnianych ze względu na czasowe następstwo zdarzeń oraz charakter aktywności wulkanicznej (Awdankiewicz, 1999). W Masywie Dzikowca i Lesistej Wielkiej występują głównie trachyandezyty w części północno-wschodniej i różne odmiany tufów riolitowych w części południowej i zachodniej. W Górach Suchych urozmaicenie budowy geologicznej jest większe. Graniczny grzbiet południowy tworzą tufy riolitowe, w części północnej duże powierzchnie zajmują wychodnie trachyandezytów, zarówno ekstruzywnych, jak i subwulkanicznych, pomiędzy nimi natomiast znajdują się kopuły riolitowe.

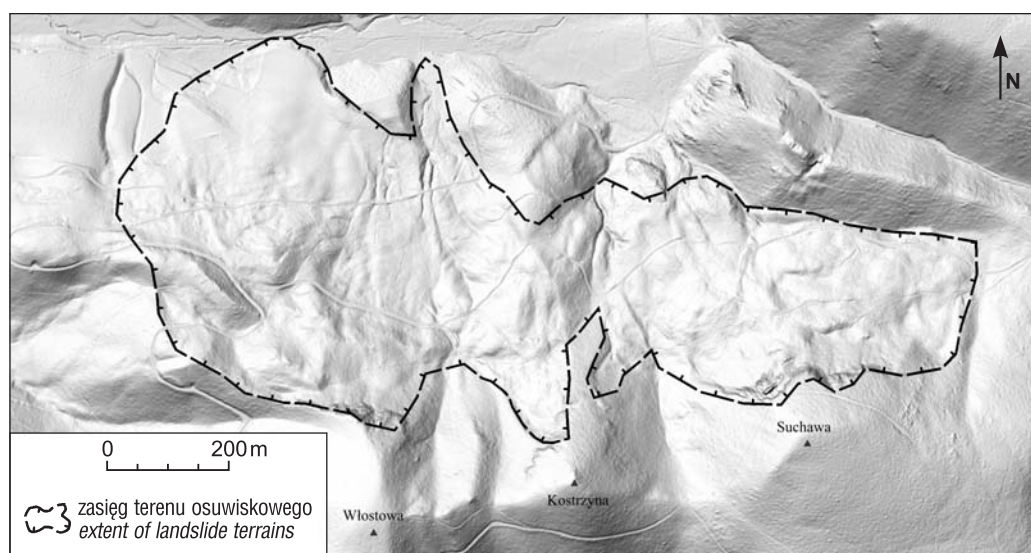
Pas występowania skał magmowych sąsiaduje z wychodniami skał osadowych wieku późnkarbońskiego (na północy) i permskiego (na południu). Są one dzielone na kilka formacji, odpowiadających cyklom sedimentacyjnym w śródgórskim zapadlisku kształtującej się niecki

śródsudeckiej (Bossowski i in., 1995). W formacjach osadowych są reprezentowane gruboziarniste zlepieńce z otoczkami, piaskowce, mułowce po ilowce i łupki ilaste. Duży udział mułowców i ilowców w formacjach z Krajnowa i Słupca, pozostających w bezpośrednim kontakcie ze skałami wulkanicznymi, ma kluczowe znaczenie dla rozwoju grawitacyjnych ruchów masowych typu osuwiskowego (Grocholski, 1972; Synowiec, 2003; Migoń i in., 2010).

### ŹRÓDŁA DANYCH I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano rastrowy numeryczny model terenu (NMT) o rozdzielczości 1 × 1 m zbudowany na podstawie danych [LiDAR] pochodzących z lotniczego skaningu laserowego powierzchni Ziemi (ALS – Airborne Laser Scanning), jaki prowadzony był w 2011 r. na potrzeby ogólnopolskiego programu ISOK (Informatyczny System osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami). Materiały cyfrowe zostały zakupione z zasobu Centralnego Oddziału Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie w postaci plików XYZ. Dane zawarte w plikach tworzą chmury punktów w sekcjach odzwierciedlających około 5,5 km<sup>2</sup> rzeczywistej powierzchni terenu. Pozyskano modele typu bare Earth, a więc uzyskane przez odfiltrowanie (usunięcie) punktów powstających podczas skaningu z odbić od obiektów stanowiących pokrycie terenu. Dane wysokościowe cechowały się dużą dokładnością pionową: według podanej dokumentacji próbkowanie laserem miało gęstość około 6–9 punktów na metr kwadratowy, średni błąd wysokościowy wynosił w zależności od sekcji około 0,05–0,15 m, a błąd maksymalny nie przekraczał 0,3 m (Raport dostawy..., 2011). Dodatkowo, podczas przetwarzania danych usunięto z wytworzonego NMT błędy, wynikające z niedoskonałości danych wejściowych (efekt złego odfiltrowania punktów w postaci pików na modelu rastrowym). Obróbkę danych cyfrowych prowadzono w programach Global Mapper i ArcGIS.

Wytworzony NMT stał się podstawą wizualizacji powierzchni terenu i wyróżnienia obszarów oraz form osuwiskowych metodą digitalizacji *on screen*. W tym celu przygotowano mapy cieniowanego reliefu o różnych parametrach oświetlenia, mapę poziomicową w cięciu co 5 m, wykorzystano także mapę spadków terenu. Zasięg powierzchni stokowych przekształconych przez osuwiska wyznaczono na podstawie kryteriów morfologicznych,



**Ryc. 2.** Wyznaczenie zasięgu stoków przekształconych przez procesy osuwiskowe na przykładzie grzbietu Włostowa–Kostrzyna–Suchawa. Jakkolwiek podstawowym materiałem służącym do delimitacji osuwiska był cyfrowy model wysokości, zasięg został zweryfikowany obserwacjami w terenie

**Fig. 2.** An example of delimitation of landslide extent in the Włostowa–Kostrzyna–Suchawa ridge. Although the LiDAR-derived DEM was the primary source to map the extent of landslide terrain, the boundaries were verified in the field

opisanych m.in. przez Dikau i in. (1996): obecności liniowych lub łukowych skarp w górnej części stoku, schodowego układu zwartych bloków, pagórkowatej, nieregularnej rzeźby w dolnej części stoków, wyraźnych zestromień stoku w części czołowej oraz szerokich powierzchni o urozmaiconej falistej rzeźbie w dnach dolin (ryc. 2). Istotną rolę diagnostyczną w wyznaczaniu granic odgrywał kontrast pomiędzy urozmaiconą rzeźbą związaną genetycznie z ruchami masowymi a wyrównanymi powierzchniami stokowymi w bezpośrednim sąsiedztwie. Wydzielenie poszczególnych obszarów odnoszono do obserwacji terenowych autorów, w części opublikowanych (Kacprzak i in., 2013; Migoń i in., 2014). Wyniki skonfrontowano ze zdigitalizowanym obrazem wydzielenia dotyczących form i osadów osuwiskowych na szczegółowych mapach geologicznych w skali 1 : 25 000, niemieckich (Berg i in., 1910; Berg, 1925 oraz polskich (Grocholski, 1971; Bossowski i in., 1994) (ryc. 1, 3, 4). Należy w tym miejscu zaznaczyć, że w realiach Gór Kamiennych można wykluczyć inną niż związaną z ruchami masowymi genezę nierównej powierzchni stoku. Prace kartograficzne zostały wykonane w oprogramowaniu ArcGIS. Wszystkie dane przygotowano w układzie współrzędnych Polska 1992 (EPSG 2180).

### KOLUWIA OSUWISKOWE W GÓRACH KAMIENNYCH PRZEDSTAWIONE NA NIEMIECKICH MATERIAŁACH KARTOGRAFICZNYCH

Arkusz Friedland

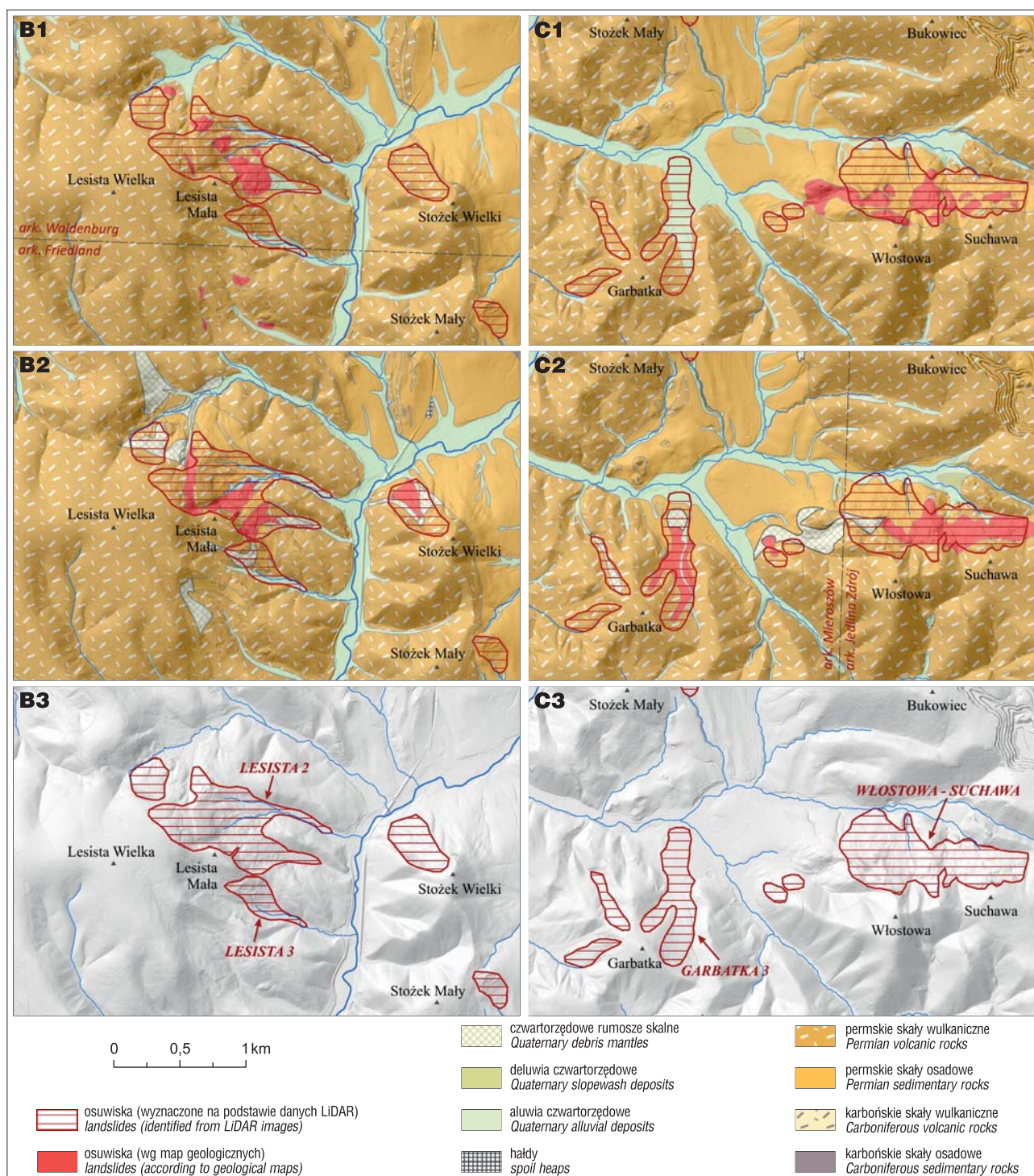
Arkusz Friedland (Mioszów) autorstwa G. Berga i in. został opublikowany w 1904 r., natomiast objaśnienia do niego ukazały się kilka lat później (Dathe i in., 1910). Obejmuje on południową część Masywu Dzikowca i Lesistej Wielkiej oraz niemal w całości Góry Suche, za wyjątkiem skrajnie północnych stoków Rogowca, przedstawionych na arkuszu Waldenburg (Wałbrzych). Koluwia osuwisko-

we zostały oznaczone jako *Absturzmassen* i rozdzielone na trzy rodzaje na podstawie litologii skał objętych przemieszczeniami (wg oryginalnych opisów: melafirów, porfirów ortoklazowych i porfirów kwarcowych).

Na stokach ograniczających od wschodu płaskowyż Lesistej Wielkiej w czterech miejscach zostały zaznaczone niewielkie płyty koluwalne, nie łączące się ze sobą i w różnym położeniu morfologicznym, od przygrzbietowego po przydolinne (ryc. 3 – B1). Największy z nich zajmuje powierzchnię 0,85 ha. Wszystkie mieszczą się w zasięgu występowania porfirów ortoklazowych. Autorzy arkusza nie zaznaczają nigdzie w pobliżu wychodni skał osadowych.

W Górach Suchych zasięg koluwiów jest większy. Największy, choć nieciągły pas ich występowania został oznaczony na północnych stokach grzbietu Suchawa–Kostrzyna–Włostowa, gdzie osiąga długość 1,6 km i szerokość do 420 m (ryc. 3 – C1). Koluwia zbudowane z porfirów ortoklazowych występują głównie w środkowej części stoku. Sygnatury koluwiów są nałożone na oznaczenia skał osadowych – łupków ilastych i drobnoławicowych piaskowców; wschodnie porfirów występują wyżej. W podobnej sytuacji morfologiczno-geologicznej został zaznaczony niewielki płat koluwiów u podnóży wschodnich stoków Waligóry. Dalej na wschód na powszechność osuwisk wskazano w masywie Granicznika, gdzie zaznaczono pięć większych i trzy mniejsze płyty po stronie północnej oraz jeden po stronie wschodniej (ryc. 4 – D1). Osunięte masy skalne są zbudowane z melafirów, ale w podłożu części z nich są już skały osadowe (łupki ilaste i piaskowce). Ostatnim obszarem występowania koluwiów jest melafirowy masyw Rogowca, a płyty o nieregularnym kształcie i wielkości do 2,4 ha zostały zaznaczone na północ od szczytu, na podłożu tworzonym głównie przez zlepieńce i piaskowce (ryc. 4 – E1).

Łącznie płyty koluwiów przedstawione na arkuszu Friedland zajmują powierzchnię 40 ha. Jakkolwiek jest ona



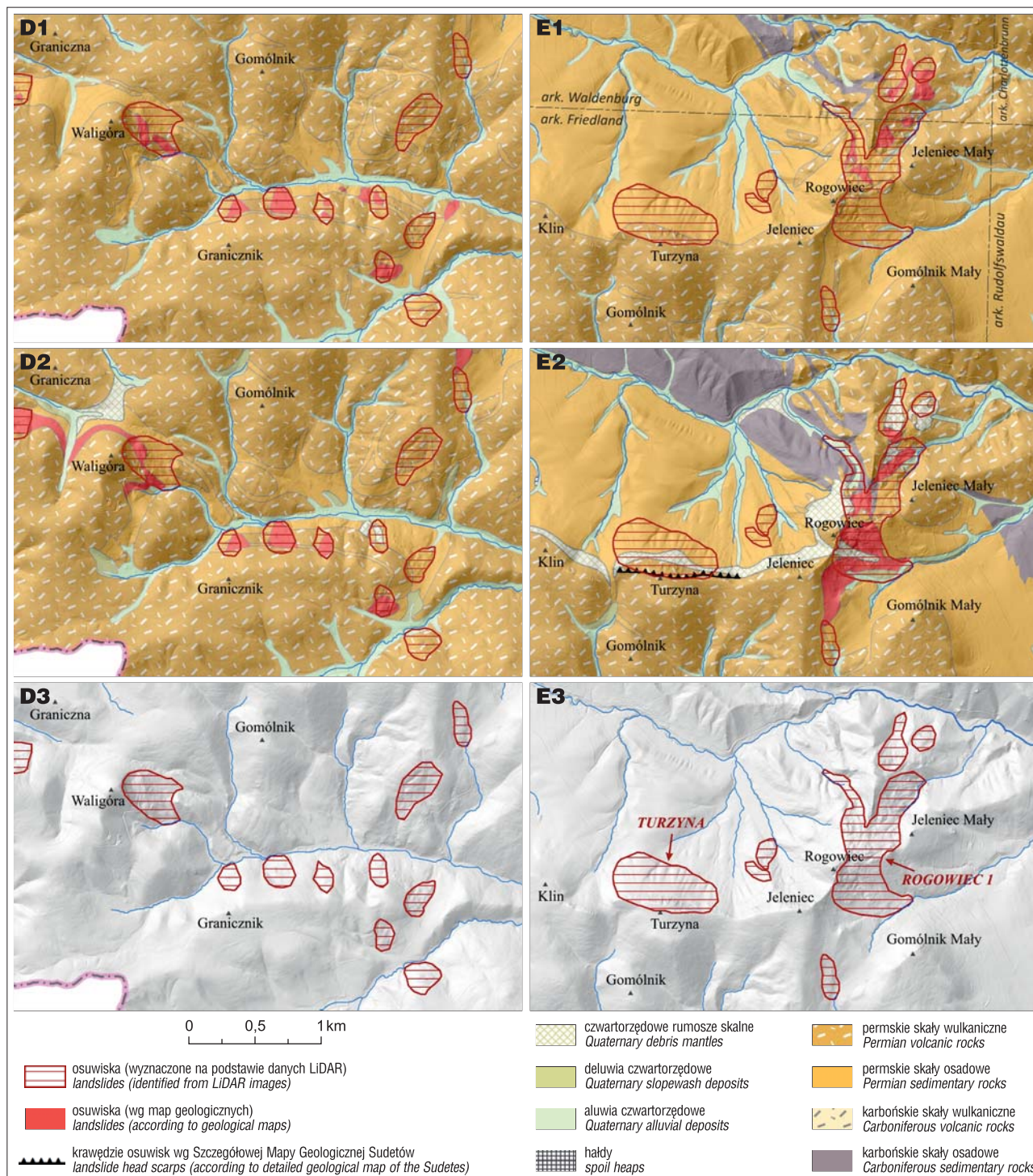
**Ryc. 3.** Zasięg osuwisk w południowej części Masywu Dzikowca i Lesistej Wielkiej (po lewej – B) oraz w okolicach Sokółsko (po prawej – C), wg Geologische Karte von Preussen (B1, C1), Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów (B2, C2) i na podstawie cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR (B3, C3)

**Fig. 3.** The extent of landslides in the southern part of the Dzikowiec and Lesista Wielka Massif (left – B) and in the vicinity of Sokółsko (right – C), after Geologische Karte von Preussen (B1, C1), Detailed Geological Map of the Sudetes (B2, C2) and LiDAR DEM (B3, C3)

raczej niewielka, to Dathe i in. (1910, s. 54) pisali, że utwory koluwalne mają bardzo duże znaczenie morfologiczne. Koluwia odróżniają się od typowych pokrywowych utworów stokowych odmienną genezą. Miały powstać wskutek nagłych, katastrofalnych ruchów masowych, które obejmowały nawet całe skaliste wzniesienia (*Rutschungen ganzer Felsklippen*). Dathe i in. (1910) wskazali także na większe nachylenia partii czołowych i bocznych płatów

koluwialnych w stosunku do przyległej powierzchni stokowej oraz poziomą lub nawet wstecznie pochyloną górną powierzchnię płata. Zauważają także obecność zagłębień bezodpływowych. Opis ten odpowiada typowemu zespołowi form związanych z osuwiskami rotacyjnymi.

Oprócz płatów koluwiów, którym jednoznacznie przypisano genezę osuwiskową, na uwagę zasługuje oznaczenie „bloków i gruzu porfirowego/melafirowego”, zastoso-



**Ryc. 4.** Zasięg osuwisk w masywie Granicznika (po lewej – D) oraz w masywie Jelenia Wielkiego i Rogowca (po prawej – E), wg Geologische Karte von Preussen (D1, E1), Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów (D2, E2) i na podstawie cyfrowego modelu wysokości z danych LiDAR (D3, E3)

**Fig. 4.** The extent of landslides in the Granicznik area (left – D) and in the massif of Jeleniec Wielki and Rogowiec (right – E), after Geologische Karte von Preussen (D1, E1), Detailed Geological Map of the Sudetes (D2, E2) and LiDAR DEM (D3, E3)

wane w odniesieniu do rozległej formy stożkowej na południe od Sokołowska, pod Garbatką oraz do leja źródłiskowego i doliny pod Kościelcem w grzbiecie granicznym (ryc. 1). Według opisu w obu przypadkach są to nagromadzenia "niezliczonych dużych bloków rozprzestrzeniających się w dół doliny" (Dathe i in., 1910, s. 45). Odnotować należy także opis pokryw blokowych poniżej Rogowca, gdzie pojedyncze bloki melafirów osiągają „wielkość domu” i tworzą chaotyczną strefę akumulacji w postaci

strumienia blokowego. Formy te nie zostały jednak zaznaczone na mapie, w związku z przyjętym założeniem oznaczania jedynie zwartych pakietów osuwiskowych.

#### Arkusz Waldenburg

Sposób oznaczenia terenów osuwiskowych na wydawnym w 1925 r. (II wyd.) arkuszu Waldenburg (Wałbrzych) (Berg, 1925) jest analogiczny do zastosowanego na arku-

szu Friedland. Płaty koluwiów osuwiskowych zaznaczono w trzech obszarach. Pierwszy znajduje się na wschodnich i północnych stokach Lesistej Małej, a koluwia występują w nieciągłym pasie o długości 0,8 km i szerokości do 240 m (ryc. 3 – B1). Sytuacja geologiczno-morfologiczna koluwiów nie jest jasna. Zostały one opisane jako „osunięte masy porfirów kwarcowych” i zalegają na melafirach i tufach melafirowych, ale ich granice nie nawiązują do ukształtowania terenu, a od południowego zachodu są ostro obcięte linią uskoku. Drugi obszar występowania koluwiów znajduje się u podnóża stoków Dzikowca. Jest to zwarty płat o długości 1 km, szerokości 150–350 m i powierzchni 20,1 ha, zalegający na podłożu ze skał osadowych (ryc. 1 – A1). Trzecim obszarem jest przełom Rybnej pomiędzy Górami Suchymi a Górami Wałbrzyskimi, gdzie płyty koluwiów zaznaczono na południowych zboczach doliny.

Z objaśnień (Dathe & Berg, 1926) wynika, że i w tym przypadku zaznaczano tylko zwarte pakiety osuniętych skał, które wyrastają z powierzchni stokowej na podobieństwo tarasów (*söllerartig*) lub wykuszy (*erkerartig*), miejscami tworząc powtarzające się zespoły form. Opis ten pasuje do osuwisk rotacyjnych, aczkolwiek takiej nazwy autorzy objaśnień nie używają. W odniesieniu do terenów osuwiskowych pod Dzikowcem podkreślono, że przemieszczenia skał wulkanicznych zostały ułatwione obecnością niestabilnych i zawadzionych skał ilastych leżących poniżej.

## OSUWISKA W GÓRACH KAMIENNYCH NA SZCZEGÓŁOWEJ MAPIE GEOLOGICZNEJ SUDETÓW

### ARKUSZ MIEROSZÓW

Wydany w 1971 r. arkusz Mieroszów nie pokrywa się zasięgiem z niemieckim arkuszem Friedland i obejmuje zachodnią część Gór Suchych oraz w całości Masyw Dzikowca i Lesistej Wielkiej. Tereny osuwiskowe zostały jednoznacznie obrysowane przy pomocy konwencjonalnego znaku „osuwisko” (Grocholski, 1971). Zastosowano także wydzielenie litologiczno-stratygraficzne „rumosze skalne”, wiekowo przypisane plejstocenowi (złodowaceniowi północnopolskiemu). Opis „W morfologii zaznaczają się jako lekkie nabrzmienia u podnóża stromo nachylonych stoków. Dodatkowym wskaźnikiem są źródła i wycieki wodne występujące wzdłuż dolnej, zatokowo powyginanej krawędzi” (Grocholski, 1973, s. 58) wskazuje, że w niektórych przypadkach mogą być to koluwia osuwiskowe. Zasady rządzące stosowaniem obu oznaczeń pozostają niezbyt jasne, niemniej sformułowanie „Osuwiska. Utwory te (...) nie różnią się od opisanych poprzednio [rumoszy skalnych]. Są jednak prawdopodobnie nieco młodsze i dzięki temu lepiej zaznaczone w morfologii terenu” sugeruje, że kryterium rozdzielenia były przypuszczenia co do różnego wieku.

Sygnaturę osuwiska zastosowano w kilku miejscach. Na wschodnich i północnych stokach Lesistej Małej wyznaczono trzy wydłużone zgodnie ze spadkiem terenu formy, z których jedna rozdawała się w dolnej części (ryc. 3 – B2). Taki obraz wskazywałby na osuwiska typu spływowego, a nie osunięte zwarte pakiety skalne opisywane przez Dathe i Berga (1926). Osuwiskom towarzyszą, w kierunku północnym i południowym, zachowując zbliżoną

wysokość bezwzględną występowania, szersze strefy rumoszy skalnych. Osuwiska zaznaczono także po raz pierwszy na północnych stokach Stożka Wielkiego i pod Włostową nad Sokołowskim, a także w dolinie pod Garbatką koło Sokołowska (ryc. 3 – C2), w odniesieniu do której Dathe i in. (1910) zwrócili uwagę na obecność wielkich bloków skalnych, jednak nie interpretowali w żaden sposób ich obecności.

Duży obszar osuwiskowy pod Dzikowcem, zidentyfikowany przez Berga (1925), nie został natomiast oznaczony sygnaturą osuwiska, a zakreślony jako „rumosze skalne”. W podobny sposób oznaczono w wielu miejscach dolne części zboczy dolinnych, m.in. wokół Wysokiej (808 m), na północ od Lesistej Wielkiej i u zachodnich podnóża Bukowca (898 m) w Górach Suchych. W żadnym z nich geolodzy niemieccy nie wskazywali na obecność form osuwiskowych.

### ARKUSZ JEDLIŃSKA ZDRÓJ

Autorzy arkusza Jedlińska Zdrój (Bossowski i in., 1994) zastosowali inne podejście kartograficzne. Jednym z wydzieleni litologiczno-stratygraficznych są przypisane wiekowo plejstocenowi „rumosze skalne i łył zwietrzeline”, które częściowo pokrywają się zasięgiem z pakietami osuwiskowymi wyznaczonymi na mapach niemieckich, natomiast wśród sygnatur są „osuwiska”, „krawędzie obrywów”, „rumosze skalne” i „gołoborza”. W wielu miejscach sygnatura osuwisk jest nałożona na wydzielenie „rumoszy skalnych” (na arkuszu Mieroszów oznaczenia te były rozdzielne), które jednak obejmują znacznie większe powierzchnie.

W sposób jednoznaczny tereny osuwiskowe zaznaczono na północnych stokach grzbietu Suchawa–Kostrzyna–Włostowa, przedłużając strefę ich występowania wąskim pasem po wschodnie stoki Waligóry (ryc. 3 – B2). Połączono w ten sposób osobno zaznaczane płyty koluwalne z arkusza Friedland. Oznaczono także cztery osuwiska w masywie Granicznika, kwalifikując pozostałe obiekty zaznaczone na mapie niemieckiej jako „rumosze skalne” (ryc. 4 – D2). Sygnaturę osuwiska wprowadzono także powszechnie w masywie Rogowca, nakładając ją na „rumosze skalne”, które jednak zajmują dużo większą powierzchnię (ryc. 4 – E2). Na stokach zachodnich osuwisk nie zaznaczono. Sygnaturą „krawędź obrywu” posłużono się w jednym przypadku, pod szczytem Turzyny, gdzie ma ona długość blisko 1 km. Zarówno powyżej, jak i poniżej krawędzi znajdują się wychodne trachybazaltów, przy czym dla tych drugich wprowadzono dodatkowy opis „osunięte en bloc”. Jako gołoborza oznaczono strumień blokowy pod Rogowcem, opisany (ale nie wykazany na mapie) przez Dathego i in. (1910).

## ZASIĘG FORM OSUWISKOWYCH W ŚWIETLE CYFROWEGO MODELU WYSOKOŚCI Z DANYCH LIDAR I WYNIKÓW KARTOWANIA GEOMORFOLOGICZNEGO

Wykorzystując cyfrowy model wysokości o dużej rozdzielczości zidentyfikowano i wyznaczono zasięgi 30 obszarów osuwiskowych, razem zajmujących ponad 300 ha (ryc. 1, 3, 4C). Większość z nich to obiekty niewielkie, o powierzchni od 1 do 5 ha, których jest łącznie 15. Na szczególnie uwagę zasługują obiekty powierzchniowo największe

sze, powyżej 20 ha. Należą do nich osuwiska Włostowa–Suchawa (50,6 ha), Lesista 2 (45,5 ha), Rogowiec 1 (40,5 ha), Turzyna (24,8 ha) i Garbatka 3 (21,5 ha). Nie należy ich jednak utożsamiać z pojedynczymi, jednorodnymi genetycznie osuwiskami. W rzeczywistości są to obszary osuwiskowe o złożonej rzeźbie, tworzone przez dwie lub więcej łączących się ze sobą form. Układ form rzeźby osuwiskowej wskazuje, że część tych obszarów jest tworzona przez głęboko zakorzenione osuwiska skalne w górnej części, przechodzące niżej w formy jezorowe wypełniające dna dolin. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku osuwiska Lesista 2 oraz Rogowiec 1. Na obecność w obu tych miejscach większej liczby form, trudnych do jednoznacznego rozdzielenia, wskazywały wyniki wcześniejszych prac terenowych (Synowiec, 2003; Migoń, 2010). Największy zespół form osuwiskowych znajduje się po północnej stronie grzbietu Włostowa–Kostrzyna–Suchawa, którego rzeźbę już wcześniej interpretowano jako efekt ruchów osuwiskowych różnego typu, zachodzących w różnym czasie (Migoń i in., 2010; Kacprzak i in., 2013).

Zróznicowanie morfologiczne wyznaczonych obszarów osuwiskowych wskazuje, że ruchy masowe miały różny charakter, co już sygnalizowano w literaturze (Synowiec, 2003; Migoń i in., 2010). Obecność wyraźnych skalistych skarp głównych i schodowo ułożonych bloków poniżej, niekiedy wstecznie pochyłonych, jest typowa dla głębokich osuwisk typu rotacyjnego. Tego typu rzeźba zajmuje dużą powierzchnię strefy osuwiskowej Włostowa–Kostrzyna–Suchawa, w jego najbardziej na wschód i zachód wysuniętych częściach oraz pod Turzyna. Transformacja zwartej osuwiska pakietowego w jedno lub więcej osuwisk spływowych (*flowslide*), przemieszczających się dnem istniejącej formy dolinnej, miała miejsce m.in. pod Lesistą (osuwiska Lesista 2 i 3), Waligórą i na północno-zachodnich stokach Rogowca (Rogowiec 1). Osuwisko Lesista 2 ma też wyraźną strefę propagacji w górę stoku, której zasięg wyznacza system otwartych rozpadlin znany jako Szczeliny Wiatrowe. Dominujący charakter spływowy miały wszystkie trzy osuwiska pod Garbatką. Większość osuwisk ma zapewne charakter złożony (*compound*), gdzie całkowite przemieszczenie jest wypadkową kilku mechanizmów, trudnych do wskazania bez szczegółowych badań terenowych. Podobnie złożony charakter ma także wiele osuwisk karpackich (Margielewski, 2006).

### ZASIĘGI OSUWISK – PORÓWNANIE I DYSKUSJA

Porównanie zasięgów osuwisk wyznaczonych na dwóch generacjach map geologicznych i na cyfrowym modelu wysokości pokazuje przede wszystkim, że stoki przekształcone przez ruchy masowe występują znacznie powszechniej niż sądzono (tab. 1). Całkowita powierzchnia osuwisk na mapach z początku XX w. wynosi 76,5 ha, na arkuszach SMGS – 87,7 ha, podczas gdy w rzeczywistości zajmują one przynajmniej 307 ha. Największe różnice, cztero- lub pięciokrotne, odnotowano w obszarach B (Masyw Lesistej Wielkiej) i E (masyw Rogowca). Różnice mają generalnie dwójaki charakter. Po pierwsze, powierzchnia niektórych obszarów osuwiskowych została wyraźnie niedoszacowana. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku największych zespołów rzeźby osuwiskowej: pod Lesistą Wielką i w pasie Włostowa–Kostrzyna–Suchawa, w mniejszym zakresie pod Rogowcem. Po drugie, kilkanaście osu-

wisk nie zostało w ogóle rozpoznanych wcześniej, lub – jak w przypadku osuwiska pod Turzyna – nie wyznaczono jego zasięgu, ograniczając się do zaznaczenia skarpy głównej. Jakkolwiek są to w większości formy niewielkie, to kilka z nich zajmuje powierzchnie powyżej 10 ha. Należy także zwrócić uwagę, że istnieją rozbieżności odwrotnej natury. Rzeźba ukazana przez cyfrowy model wysokości nie dawała podstaw do wyznaczenia niektórych osuwisk obecnych na mapach geologicznych. Taka sytuacja ma miejsce na północnych stokach Dzikowca, gdzie zasięg osuwiska według Geologische Karte jest blisko dwukrotnie większy, na północno-zachodnim ramieniu Włostowej, gdzie genezę osuwiskową przypisano grzbietowi strukturalnemu oraz na północ od Waligóry i na południowy wschód od szczytu Jeleńca Wielkiego, gdzie w świetle arkusza Jedlina Zdrój SMGS osuwiska mają większy zasięg niż wynika to z analizy modelu wysokości. Wyrównana rzeźba stoku nie wskazuje tam jednak na udział ruchów osuwiskowych i jest kształtowana raczej przez płytkie procesy stokowe.

Wyjaśnienie dość zasadniczych różnic między pochodzącymi z trzech źródeł obrazami kartograficznymi jest złożone i musi uwzględniać różne okoliczności. Przede wszystkim należy mieć na uwadze nieporównywalnie trudniejsze warunki kartowania w początkach XX wieku, ale także w jego drugiej połowie. Niedoskonałość podkładowych materiałów kartograficznych, które nie oddawały szczegółów morfologii stoku oraz gęste zalesienie na pewno nie ułatwiały ani rozpoznania wszystkich form osuwiskowych, ani precyzyjnego wyznaczenia ich zasięgów. Można jednak równocześnie domniemywać, że pierwszemu kartowaniu sprzyjał większy niż obecnie stopień wylesienia. W objaśnieniach do arkusza Waldenburg Berg i Dathe (1926) pisali o osuwisku pod Dzikowcem Wielkim, że przemieszczone bloki są bardzo dobrze widoczne z dużej odległości, m.in. z okolic stacji kolejowej w Kuźnicach Świdnickich, podczas gdy obecnie stoki te skrywa las, uniemożliwiając rozpoznanie szczegółów rzeźby. Po drugie, obraz kartograficzny na obu generacjach map jest pochodną przyjętych założeń podczas kartowania, w tym znaków graficznych. Geolodzy niemieccy zaznaczali wyłącznie zwarte osunięte pakiety, a tekst objaśnień dowodzi, że byli świadomi większego zasięgu stoków przekształconych przez ruchy masowe. Z kolei na arkuszu Jedlina Zdrój SMGS zaznaczane były strefy akumulacyjne, o czym świadczy nałożenie sygnatur osuwisk na wydzielenie „rumoszków skalnych”, a nie całe powierzchnie stokowe przekształcone przez osuwiska (czyli pomijano górne partie osuwisk, gdzie było odslaniane lite podłoże). Na arkuszu Mieroszów zastosowano niezależną sygnaturę ukazującą cały obszar osuwiska, jednak i tu powierzchnie osuwisk pozostały niedoszacowane. Należy także wspomnieć, że Grocholski (1973), opisując plejstoceńskie pokrywy gruzowe, dostrzegał ich możliwy związek z dawnymi ruchami masowymi, ale równocześnie w wielu miejscach wykazany zasięg rumoszków nie wykazuje żadnego związku z rzeźbą osuwiskową.

Analiza starszych obrazów kartograficznych w świetle współczesnej wiedzy o morfologicznym i genetycznym zróżnicowaniu osuwisk pozwala również na stwierdzenie, że stosunkowo najlepiej zostały wyznaczone zasięgi osuwisk blokowych typu rotacyjnego (już na mapach niemieckich), a w dalszej kolejności także stref czołowych tych



osuwisk, w tworzeniu których duży udział mają zdeformowane skały osadowe zalegające pod skałami pochodzenia wulkanicznego. Natomiast w niewielkim stopniu na mapach pojawiały się osuwiska spływowo, pozostawiające mało wyraźne strefy oderwania, a w dolnych partiach przyjmujące postać szerokich wypełnień den dolinnych. Praktycznie jedyną formą tego typu było osuwisko pod Garbatką, zaznaczone na arkuszu Mieroszów.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań są kolejnym przykładem potencjału cyfrowych modeli wysokości w rozpoznawaniu form rzeźby terenu. Mają one szczególne znaczenie w obszarach silnie zalesionych, gdzie identyfikacja większych zespołów form i wyznaczanie zasięgów powierzchni o różnej genezie są szczególnie trudne. Na szczegółowym przykładzie środkowo-wschodniej części Gór Kamiennych możliwe było wykazanie znacznie większego zasięgu powierzchni stokowych przekształconych przez osuwiska niż dotąd przyjmowano. Równocześnie należy mieć świadomość, że modele wysokości tworzone na podstawie danych LiDAR także nie są doskonałe (Wasklewicz i in., 2013). Ponieważ procesy powierzchniowe stopniowo zacierają rzeźbę starych osuwisk, nie można wykluczyć, że i w Górach Kamiennych występują takie przypadki. Dlatego obraz uzyskany z danych LiDAR nadal zapewne nie doszacowuje powierzchni zajmowanej przez osuwiska, ale jest mało prawdopodobne, aby przy tak dużej szczegółowości modelu to niedoszacowanie było znaczące.

Dotychczasowe sudeckie doświadczenia z geomorfologicznych analiz cyfrowych modeli wysokości tworzonych z danych LiDAR (Migoń i in., 2013), podczas których wykryto wiele nieznanymi wcześniej elementów rzeźby, w tym o potencjalnie istotnym znaczeniu paleogeograficznym, zachęca do systematycznej analizy takich modeli dla obszarów górskich, w których konwencjonalne metody kartowania często do tej pory zawodziły.

Badania osuwisk w Górach Kamiennych były prowadzone w ramach projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N306 312636, a następnie w ramach działalności statutowej (nr projektu 1015/S/IGRR). Dane LiDAR zostały pozyskane z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Dziękujemy także prof. Stanisławowi Ostaficzukowi i drugiemu, anonimowemu recenzentowi za uwagi, które pozwoliły na udoskonalenie pierwszej wersji artykułu.

## LITERATURA

AWDANKIEWICZ M. 1999 – Volcanism in a late Variscan intramontane trough: Carboniferous and Permian volcanic centres of the Intra-Sudetic Basin, SW Poland. *Geol. Sudetica*, 32: 13–47.  
 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., JÓŻKÓW 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. Arkusz Jedlina Zdrój. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 BOSSOWSKI A., CYMERMAN Z., GROCHOLSKI A. & IHNATOWICZ A. 1995 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1 : 25 000. Arkusz Jedlina Zdrój. PIG, Warszawa.  
 CZERWIŃSKI J. & ŻURAWEK R. 1999 – The geomorphological effects of heavy rainfalls and flooding in the Polish Sudetes in July 1997. *Studia Geom. Carp.-Balc.*, 33: 27–43.

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., ZIMMERMANN E. & BERG G. 1910 – Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 145. Blatt Friedland i. Schl. Berlin.  
 DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L. & IBSEN M.-L. (red.) 1996 – *Landslide Recognition*. Wiley, Chichester.  
 GILEWSKA S. 1991 – Rzeźba. [W:] L. Starkel (red.) *Geografia Polski*. Środowisko przyrodnicze, PWN, Warszawa: 243–288.  
 GROCHOLSKI A. 1971 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów. Arkusz Mieroszów 1 : 25 000. Wyd. Geol., Warszawa.  
 GROCHOLSKI A. 1972 – Ślady osuwisk na stokach Lesistej Wielkiej w Górach Kamiennych. *Polskie Towarzystwo Miłośników Nauk o Ziemi, Koło Górnicze w Gorcach, Biul. Inf.*, 11: 9–14.  
 GROCHOLSKI A. 1973 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów. Arkusz Mieroszów 1 : 25 000. Wyd. Geol., Warszawa.  
 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.  
 JONCA E. 1987 – Projektowany rezerwat przyrody nieożywionej Jeleń w Górach Suchych w Sudetach Środkowych. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 43(2): 61–68.  
 KACPRZAK A., MIGOŃ P. & MUSIELOK Ł. 2013 – Using soils as indicators of past slope instability in forested terrain, Kamienne Mts, SW Poland. *Geomorphology*, 194: 65–75.  
 KASPRZAK M. & TRACZYK A. 2012 – Uwarunkowania rozwoju osuwisk w środkowej części Gór Kamiennych (Sudety). *Landform Analysis*, 20: 65–77.  
 MARGIELEWSKI W. 2006 – Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 52: 603–614.  
 MIGOŃ P. 2008 – Współczesna ewolucja rzeźby Sudetów i ich Przedgórze. [W:] L. Starkel, A. Kotarba, A. Kostrzewski, K. Krzemień (red.) *Współczesne przemiany rzeźby Polski, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków*: 135–163.  
 MIGOŃ P., HRÁDEK M. & PARZÓCH K. 2002 – Extreme events in the Sudetes Mountains. Their long-term geomorphic impact and possible controlling factors. *Studia Geom. Carp.-Balc.*, 36: 29–49.  
 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., 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: 89–101.  
 MIGOŃ P., KACPRZAK A., MALIK I., KASPRZAK M., OWCZAREK P., WISTUBA M. & PÁNEK T. 2014 – Geomorphological, pedological and dendrochronological signatures of a relict landslide terrain, Mt Garbatka (Kamienne Mts), SW Poland. *Geomorphology*, 119: 213–231.  
 OBERC J. 1957 – Rejon Gór Bardzkich. Wyd. Geol., Warszawa.  
 PARZÓCH K., PAWLIK Ł., SOLARSKA A. & WITEK M. 2012 – Osuwisko na stokach Średniaka w Masywie Śnieżnika Kłodzkiego w 2011 roku. *Przr. Sudetów*, 15: 197–208.  
 PULINOWA M.Z. & MAZUR R. 1971 – Stare osuwisko we wsi Grzmiąca w Sudetach. *Wszczęświat*, 7–8: 200–202.  
 RAPORT dostawy ISOK – Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami, Część Nr 3, Etap Nr 03, 2011-09-12.  
 REMISZ J. & BIJAK S. 2012 – Dendrochronologiczny zapis aktywności stoków usypiskowych Suchawy i Kruczej Skały (Sudety Środkowe). *Przr. Sudetów*, 15: 209–218.  
 SYNOWIEC G. 2003 – Formy osuwiskowe w Górach Kamiennych. *Prz. Geol.*, 51: 59–65.  
 VAN DEN EECKHAUT M., POESEN J., VERSTRAETEN G., VANACKER V., NYSSSEN 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.  
 WALCZAK W. 1972 – Sudety i Przedgórze Sudeckie. [W:] M. Klimaszewski (red.) *Geomorfologia Polski*, t. 1, PWN, Warszawa: 167–231.  
 WASKLEWICZ T., STALEY D.M., REAVIS K. & OGUCHI T. 2013 – Digital Terrain Modeling. [W:] J. Shroder (red.) *Treatise on Geomorphology*, vol. 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology, Bishop, M.P. (Ed.), Academic Press, San Diego: 130–161.  
 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 13.01.2014 r.  
 Akceptowano do druku 9.07.2014 r