

Osuwiska spływowe w Paśmie Bukowicy (Beskid Niski)

Anna Walicka¹



Flow-like landslides in the Bukowica Range (Beskid Niski Mountains). *Prz. Geol.*, 70: 651–660.

Abstract. The article deals with flow-like landslides observed in the Bukowica Range, Beskid Niski Mountains. The study area is located in the tectonized area – the Dukla Nappe thrust zone. Rocks in this region are highly fractured and disintegrated, which predisposes it to the development of landslides. The movement occurs as a combination of slide (mainly rotational) and flow (mainly debris flow). Landslide initiation takes place in the upper part of the slope, in the spring area, as a slide. Flow is mobilized within the landslide body as a result of high precipitation and intensive water infiltration. Flow-like landslides often “use” existing channel of the catchment to transport material downslope. To show differentiation of flow-like landslides, the author selected six forms observed in the Bukowica Range. The character of flow depends mainly on liquefaction and volume of transported material, as well as on land relief.

Keywords: flow, slide, complex landslides, Bukowica Range, flow-like landslides

W polskiej literaturze niewiele jest opracowań opisujących szczegółowo osuwiska spływowe, choć tematyka ta przewija się w różnego typu publikacjach. Pierwsze wzmianki można znaleźć w pracy Zuber i Blautha (1907) opisujących osuwisko w Duszatynie, szczegółowy opis tego osuwiska przedstawiają później Schramm (1925) i Kardaszewska (1968). W 1909 r. Łoziński zwrócił uwagę na spływowy charakter osuwisk w Tymowej w Brzeskim Powiecie. Sawicki (1917), opisując osuwiska powstałe w 1913 r. w Galicji Zachodniej, stwierdził odmienny charakter ruchu upłynionych osadów. Do podobnego wniosku doszedł Teisseyre (1934, 1936) w odniesieniu do osuwiska dolinnego w okolicach Żabiego (obecnie Wierchowiny, Ukraina). Współcześnie uwagę na to zagadnienie zwracają Wójcik i in. (2006), którzy opisują osuwisko na wschodnich stokach Maślanej Góry, w rejonie Szymbarku, gdzie jezór osuwiskowy, uformowany w wyniku spływania, osiąga długość niemal 2 km. Problematykę tę podejmuje także Margielewski (2004) oraz Kaczorowski (2017).

Tymczasem w literaturze zagranicznej szeroko opisuje się zjawisko osuwisk o charakterze spływu, zwracając uwagę na jego katastrofalne skutki (m.in. Zaruba, Mencl, 1982; Iverson i in., 1997; Rybnar, Stemberk, 2000; Jakob, Hungr, 2005; Chen, Cui, 2017). Osuwiska te, ze względu na szybkość zachodzącego procesu oraz na duży zasięg (jezory osuwiskowe osiągają długość do kilku kilometrów), powodują duże zniszczenia i mogą stanowić realne zagrożenie dla człowieka.

Dzięki rozwojowi i coraz szerzej stosowanym analizom wysokorozdzielczych, wysokościowych modeli powierzchni terenu możliwa jest szczegółowa obserwacja form osuwiskowych (m.in. Borkowski i in., 2011; Wojciechowski i in., 2012; Kamiński, 2015; Kaczorowski, 2017; Wódka, 2019, 2022; Wójcik i in., 2020). Charakter ruchów grawitacyjnych i ostateczny kształt osuwiska zależy od zespołu czynników (czynnych i biernych) współwystępujących na danym obszarze (Bober, 1984; Zabuski i in., 1999) i ma ścisły związek z budową geologiczną i rzeźbą terenu. Zależności te były już wielokrotnie podejmowane przez różnych autorów (m.in. Teisseyre, 1936; Bober, 1984; Wójcik, Zimnal, 1996; Wójcik, 1997; Zabuski i in., 1999; Margielewski, 2001; Sikora, 2018, 2022; Rycio, 2018; Wódka, 2019).

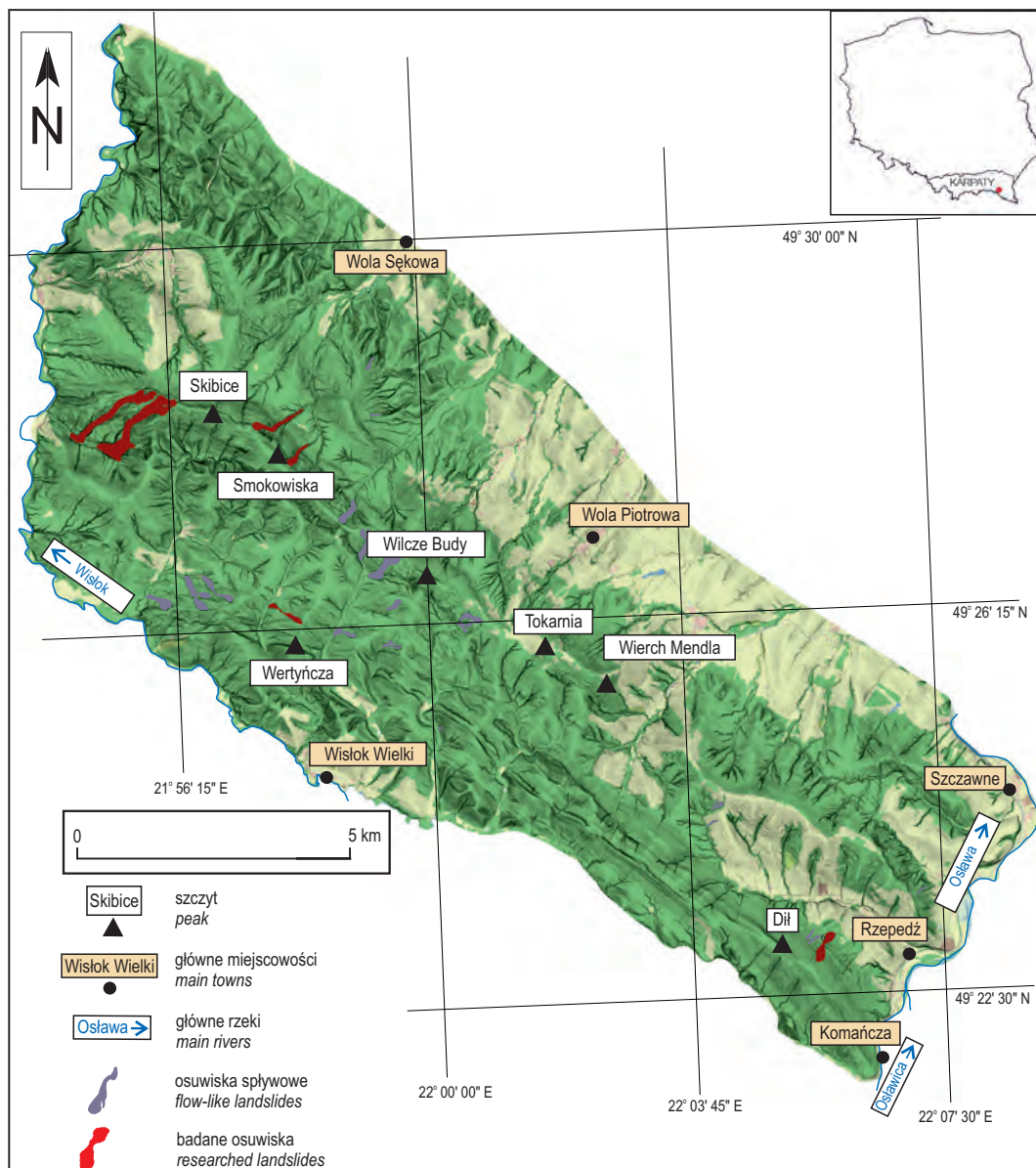
W publikacji przedstawiono przegląd osuwisk o charakterze spływu, zaobserwowanych w Paśmie Bukowicy, z uwzględnieniem ich najważniejszych cech oraz czynników determinujących ich rozwój. Na obszarze tym występowanie osuwisk jest powszechne, a z obserwacji wynika, że w przypadku kilkudziesięciu form ruch miał charakter spływowy. Na podstawie wykonanych analiz podjęto próbę klasyfikacji zaobserwowanych osuwisk.

POŁOŻENIE GEOGRAFICZNE I SYTUACJA GEOLOGICZNA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań obejmuje Pasma Bukowicy (ryc. 1) – najbardziej na wschód wysuniętą część Beskidu Niskiego i jednocześnie – graniczne pasmo Zewnętrznych Karpat Zachodnich (Starkel, 1972). Od zachodu i południa ogranicza je dolina Wisłoka (w południowo-wschodniej części dolina Jawornika), od wschodu zaś – przełom Oslawy (ryc. 1). Na północy przechodzi stopniowo w Pogórze Bukowskie. Pasma ma charakter szerokiego wału rozciągającego się z północnego zachodu na południowy wschód, nawiązującego przebiegiem i morfologią do budowy geologicznej regionu (ryc. 1). Dominuje tu typ rzeźby gór średnich i niskich. Główny grzbiet pasma w zachodniej części wyróżnia się stromymi szczytami o wyraźnej rzeźbie: m.in. Skibice (776 m n.p.m.) i Smokowiska (765 m n.p.m.). Grzbiet, we wschodniej części, ma charakter szerokich, spłaszczonych kopuł: m.in. szczyty Tokarnia (778 m n.p.m.) i Wierch Mendla (764 m n.p.m.). Południowa część pasma tworzy ostre ostańcowe grzbiety rozcięte izoklinalnymi obniżeniami (ryc. 1). Główne osie dolin rzecznych mają przebieg konsekwentny, obsekwentny i resekwentny. W zachodniej części obserwuje się częścię doliny subsekwentne.

Pod względem geologicznym obszar badań zlokalizowano w obrębie nasunięcia płaszczowiny dukielskiej na płaszczowinę śląską (Ślącza, 1964; Cieszkowski i in., 1990; Gierat-Nawrocka, Zuchiewicz, 1991; Malata, 2001), (ryc. 2). W wyniku procesów nasuwczych teren ten został silnie zdeformowany i złuskowany. Płaszczowina śląska ma tu charakter wąskich, często zredukowanych od północ-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Centrum Geoagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; aochm@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Położenie obszaru badań – Pasma Bukowicy (na podstawie NMT oraz mapy pokrycia terenu BDOO)
Fig. 1. Location of study area – Bukowica Range (based on NMT and map of terrain coverage from BDOO)

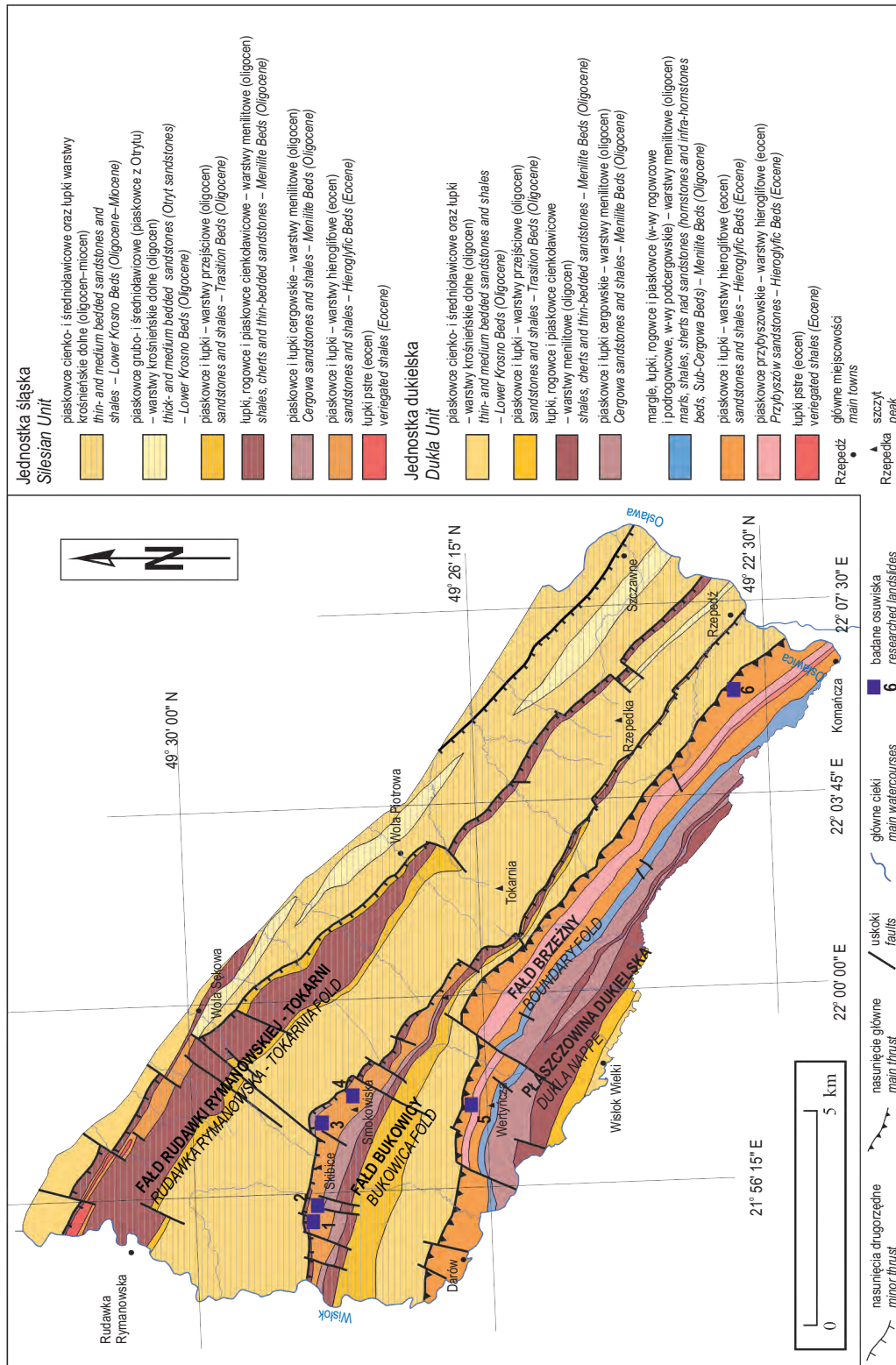
nego-wschodu fałdów nazywanych przez Świdzińskiego (1958) fałdami przeddukielskimi. Na badanym obszarze są to: fałd Rudawki Rymanowskiej-Tokarni zbudowany przede wszystkim z warstw krośnieńskich oraz fałd Bukowicy (ryc. 2). Stanowią one południowe obrzeżenie centralnego synklinorium karpackiego.

Antyklinalny fałd Bukowicy, obejmujący główny grzbiet Pasma Bukowicy, jest zbudowany z warstw hieroglifowych oraz z piaskowców cergowskich w części centralnej (Ślęczka, 1964; Cieszkowski i in., 1990; Malata, 2001), (ryc. 2). Miejscami obserwuje się ławice piaskowców z Mszanki. Na nich zalegają ciemne, bitumiczne łupki menilitowe z przewarstwieniami jasnych piaskowców, które przechodzą w warstwy krośnieńskie. W południowej części obszaru badań znajduje się fałd brzeżny nasunięcia płaszczowiny dukielskiej (ryc. 2) wykształcony w jądrowej części z warstw hieroglifowych z piaskowcami przybyszowskimi. Wyżej w profilu obserwuje się pełną sekwencję warstw menilitowych (Ślęczka, 1964; Cieszkowski i in., 1990; Malata, 2001).

Skomplikowana budowa geologiczna Pasma Bukowicy sprzyja rozwojowi ruchów masowych – największe zagęszczenie osuwisk obserwuje się w obrębie fałdu Bukowicy i fałdu brzeżnego nasunięcia dukielskiego. Występują tam liczne uskoki i przefałdowania, które skutkują występowaniem gęstej sieci spękań.

POJĘCIA PODSTAWOWE

Splywanie jest jednym z podstawowych procesów ruchów masowych wydzielanych w ogólnie przyjętych opracowaniach (Varnes, 1978; Cruden, Varnes, 1996; Dikau i in., 1996). Definiuje się go jako deformację ciągłą materiału, powstałą w wyniku przekroczenia naprężeń ścinających w gruncie, która rozwija się wzdłuż powierzchni ścięcia. W przemieszczanym materiale następuje całkowita deformacja struktury wewnętrznej materiału poprzez jej rozrwanie i upłynnienie. Ruch mas koluwalnych zachodzi ze znaczną prędkością i przypomina ruch w cieczy lepkiej (Dikau i in., 1996). Czynnikiem indukującym rozwój spły-



Ryc. 2. Mapa geologiczna terenu badań (na podstawie: Ślączi, 1964; Cieszkowski i in., 1990; Wdowiarz i in., 1991; Malaty, 2001)
Fig. 2. Geological setting of the study area (after: Ślączi, 1964; Cieszkowski i in., 1990; Wdowiarz i in., 1991; Malata, 2001)

wów w warunkach subaeralnych są przede wszystkim intensywne lub długotrwałe opady deszczu powodujące zmiany ciśnienia hydrostatycznego w górotworze (m.in. Zaruba, Mencl, 1982; Iverson i in., 1997; Hungr i in., 2001; Chen, Cui, 2017). Na tego typu procesy podatne są utwory słabo związane, niewysortowane oraz silnie spękanе.

Obserwacje terenowe wskazują, że osuwiska spływowе mogą przybierać różne formy, w zależności od uwarunkowań geologicznych i rzeźby na danym terenie. Zwykle obserwuje się wyraźną strefę oderwania, strefę transportu i strefę akumulacji. Spływający materiał często wykorzy-

stuje istniejącą rzeźbę terenu jako kanał transportujący. Powstała forma nawiązuje wtedy kształtem do przebiegu tej doliny, tworząc wydłużony jezior lub typowy stożek akumulacyjny. Na powierzchni jezora często zaznaczają się charakterystyczne nabrzemia terenu w formie wygiętych w kierunku ruchu wałów. Jest to forma akumulacji spływającego materiału. Zwykle obserwuje się serię równoległych do siebie wałów w miejscu akumulacji materiału.

Powszechnie wykorzystywana klasyfikacja ruchów masowych Varnesa (1978) ze względu na kryterium udziału materiału gruboziarnistego oraz prędkości zachodzącego

ruchu wyróżnia 4 podstawowe typy spływów (*flow*): spływ gruzowy (*debris flow*), spływ ziemny (*earth flow*), spływ błotny (*mudflow*) oraz lawina gruzowa (*debris avalanche*). W literaturze można znaleźć bardziej szczegółowe klasyfikacje (m.in. Cruden, Varnes, 1996; Hungr i in., 2001, 2014) uwzględniające też inne czynniki, takie jak: nasycenie wodą, rodzaj materiału, szybkość ruchu oraz specyficzne warunki – m.in. ciśnienie porowe, upłynnienie materiału, obecność zdefiniowanego kanału transportującego i obszaru akumulacji.

METODYKA BADAŃ

Badania polegały na interpretacji numerycznego modelu terenu (NMT) oraz wizji terenowej. Do badań wykorzystano NMT o rozdzielczości 1×1 obliczony na podstawie danych ALS z projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju). Na podstawie szczegółowej analizy modelu na badanym obszarze wyróżniono około 30 osuwisk o charakterze spływowym (ryc. 1). Występują one przede wszystkim w obrębie fałdu Bukowicy i nasunięcia brzeżnego płaszczowiny dukielskiej. Są to zwykle niewielkie formy, jednak można też zaobserwować osuwiska o znacznej powierzchni.

Szczegółowej analizie poddano 6 osuwisk w Paśmie Bukowicy, głównie w zachodniej części obszaru – tylko jedno osuwisko znajduje się w jego wschodniej części (ryc. 1). Dla zobrazowania problemu wybrano najbardziej charakterystyczne przykłady ukazujące różnorodność form powstających w wyniku spływania. Pod uwagę brano m.in. powierzchnię osuwisk i ich kształt, długość jęzora osuwiskowego, występowanie charakterystycznych stref: oderwania, transportu i akumulacji oraz rzeźbę wewnątrz osuwiskową. Osuwiska nazwano w nawiązaniu do nazw geograficznych występujących w okolicy (tab. 1). Podczas kartowania geologicznego zwrócono uwagę na rzeźbę wewnętrzną, charakterystyczne cechy osuwisk oraz ich położenie geologiczne.

CHARAKTERYSTYKA BADANYCH OSUWISK

Skibice I

Na zachodnich stokach szczytu Skibice obserwuje się 2 bliźniacze osuwiska rozwinięte w sąsiednich dolinach, o zbliżonym, wydłużonym kształcie. Na potrzeby opracowania nazwano je Skibice I (zachodnie osuwisko) i Skibice II (wschodnie osuwisko).

Osuwisko Skibice I (ryc. 3) rozwinęło się w strefie źródłiskowej, w górnej części stoku, obejmując powierzchnię ponad 23 ha. Dwie półokrągłe skarpy główne stanowią strefę oderwania osuwiska, gdzie oprócz skarpy głównej rozwinęły się liczne skarpy wtórne. Poniżej skarpy głównej obserwuje się niewielkie progi akumulacyjne i zagłębienia bezodpływowe. Ze względu na duże nasycenie gruntu wodami wypływającymi z górotworu, zagłębienia często wypełnione są wodą i tworzą podmokłości oraz niewielkie jeziora osuwiskowe (ryc. 3). Obserwuje się również wysięki i źródła, które niżej przechodzą w płytkie ciek wodne. Środkową i dolną część osuwiska stanowi jęzor osuwiskowy o szerokości ok. 100 m i miąższości dochodzącej do 15 m wypełniający starą dolinę wciosową. Ograniczony jest on z obu stron dolinkami wciosowymi związanymi z rozcinaniem jęzora przez ciek wodne rozwinięte po ustabilizowaniu osuwiska. W dolnej części stoku materiał został zgromadzony w dnie głównej doliny w postaci wyraźnego czoła. Osuwisko osiąga długość ponad 1700 m, z czego ponad 1200 m stanowi jęzor osuwiskowy.

Skibice II

Osuwisko Skibice II (ryc. 3), o powierzchni ponad 36 ha, rozwinęło się w sąsiedniej dolinie, w leju źródłowym, niemal równoległe do osuwiska Skibice I. Charakter ruchu i kształt osuwiska jest podobny do sąsiadującej formy. We wschodniej części obserwuje się wysoką i stromą skarpe główną o wysokości dochodzącej do 16 m. W północnej czę-

Tab. 1. Podstawowe parametry omawianych osuwisk
Table 1. Basic parameters of the landslides

Parametr Parameter	Osuwisko Landslide name	Skibice I	Skibice II	Wachowa Jama	Smokowiska	Wertyńcza	Dil
	Długość / Landslide length [m]		1710	1537	967	520	678
Długość jęzora osuwiskowego Length of landslide's foot [m]		1267	922	810	384	193	295
Szerokość / Landslide width [m]		250	386	148	138	125	168
Wysokość skarpy głównej Main scarp height [m]		3	16	40	13	7	15
Wysokość [m n.p.m.] Elevation [m a.s.l.]	maks./max	706	744	767	731	654	627
	min./min	437	488	555	598	545	498
Powierzchnia /Area [ha]		23,5	36,4	7,43	4,1	4,1	7,43
Nachylenie / Tilt [°]		8	8	12	11	8	12
Szacowana miąższość w strefie zsuwu Estimated thickness in slide zone [m]		24	32	30	22	10	24
Szacowana miąższość w strefie spływu Estimated thickness in flow zone [m]		15	17	10	8	6	5

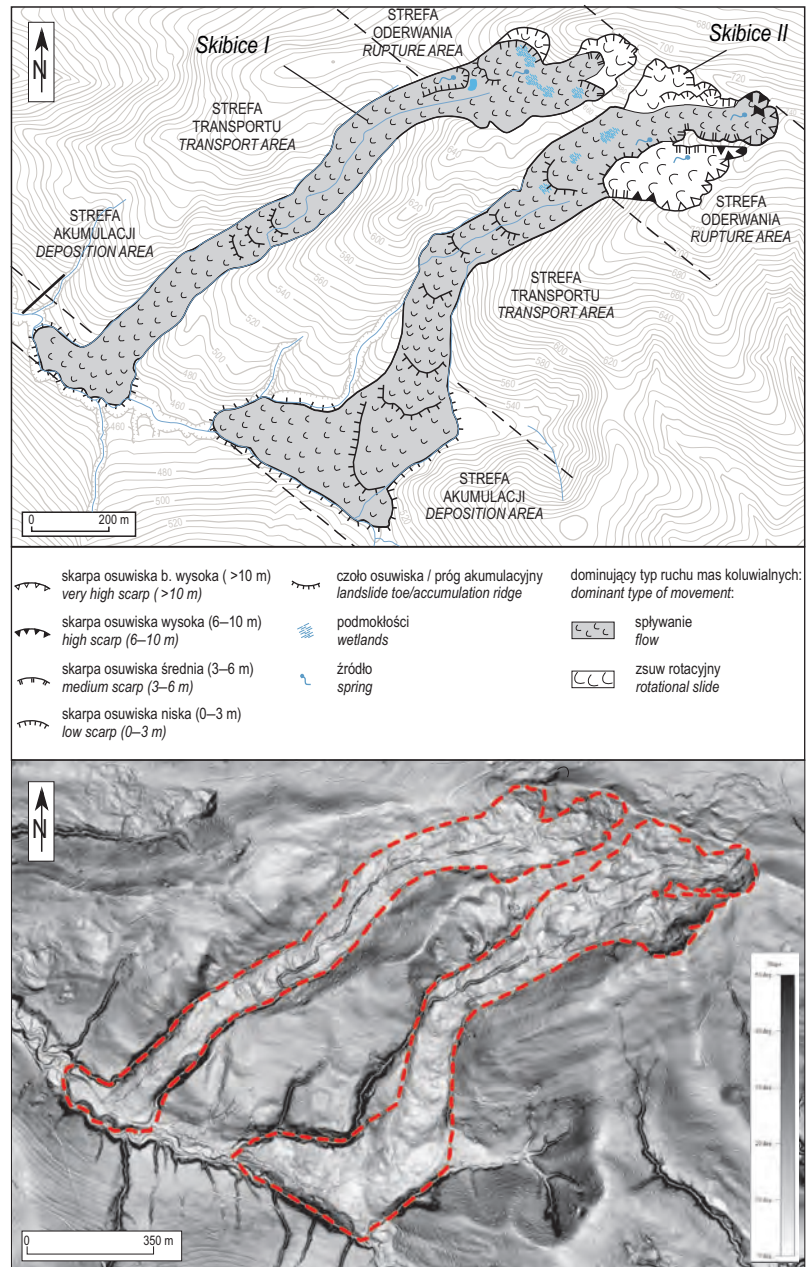
ści skarpa jest niższa (do 3 m wysokości), bardziej połoga i towarzyszą jej wtórne przemieszczenia. Poniżej skarpy miejscami obserwuje się rumosze skalne twardych piaskowców o spoiwie krzemionkowym. Na powierzchni osuwiska uformowały się wyraźne nabrzmienia oraz zagłębienia bezodpływowe, w których powstały podmokłości i niewielkie zbiorniki wodne. W związku z dużym zawodnieniem, w górnej części osuwiska występują liczne wysięki i źródła dające początek ciekom wcinającym się w koluwia (ryc. 3). W niższych partiach osuwiska bardzo wyraźnie zaznaczają się charakterystyczne, prostopadłe do kierunku przemieszczeń wały, a największe ich zagęszczenie obserwuje się w dolnej części opisywanej formy. Jęzoro osuwiskowe o szerokości dochodzącej do 126 m wypełnia dolinę wciosową potoku, dostosowując się do jej biegu. Strefa akumulacji jest bardziej rozbudowana w stosunku do sąsiadującego osuwiska. Przyjmuje formę szerokiego na około 500 m stożka zdeponowanego w dnie doliny. Długość osuwiska wynosi 1537 m, z czego 922 m stanowi wymieszany i upłynniony materiał jęzora osuwiskowego.

Oba opisane osuwiska rozwinęły się w obrębie silnie zaangażowanych tektonicznie eoceńskich łupków i piaskowców warstw hieroglifowych. Osuwiska w górnej części mają charakter subsekwentny, a w dolnej – obsekwentny do układu geologicznego, jednak ze względu na zaburzenia tektoniczne występujące na tym obszarze można je zaliczyć do osuwisk złożonych (ryc. 2, 3).

Wachowa Jama

Osuwisko znajduje się na północnym stoku głównego grzbietu Pasma Bukowicy. Strefa oderwania w postaci niszy o amfiteatralnym kształcie znajduje się tuż pod szczytową partią zbocza i nawiązuje do istniejącej wcześniej strefy źródłiskowej (ryc. 4). Skarpa główna osiąga wysokość ponad 40 m i nachylenie 41° . W górnej części koluwiów rzeźba wewnątrzsuwiskowa jest urozmaicona. Występuje tam dużo niewielkich nabrzmień i zagłębień, w których często obserwuje się podmokłości i wysięki. Główną część osuwiska stanowi jęzoro, który wypełnia dolinę wciosową cieku podobnie jak w przypadku osuwisk Skibice I i Skibice II. Charakteryzuje się wydłużonym kształtem wygiętym w środkowej części o niemal 90° . Dolna część jęzora jest mało urozmaicona. Osuwisko zwęża się stopniowo, tworząc charakterystyczne czoło wydłużone w kierunku ruchu mas koluwalnych. Jęzoro okalają ciekły, które łączą się przed czołem osuwiska. Osuwisko osiąga długość 1035 m, przy czym 800 m zajmuje jęzoro nasunięty na nienaruszone podłoże.

W strefie oderwania występuje cienko- i średnioławicowy flisz – piaskowce i łupki warstw hieroglifowych (ryc. 2). Osuwisko rozwinęło się w północnej, zredukowanej i pociętej uskoki części antyklinального fałdu Bukowicy. Dolina,



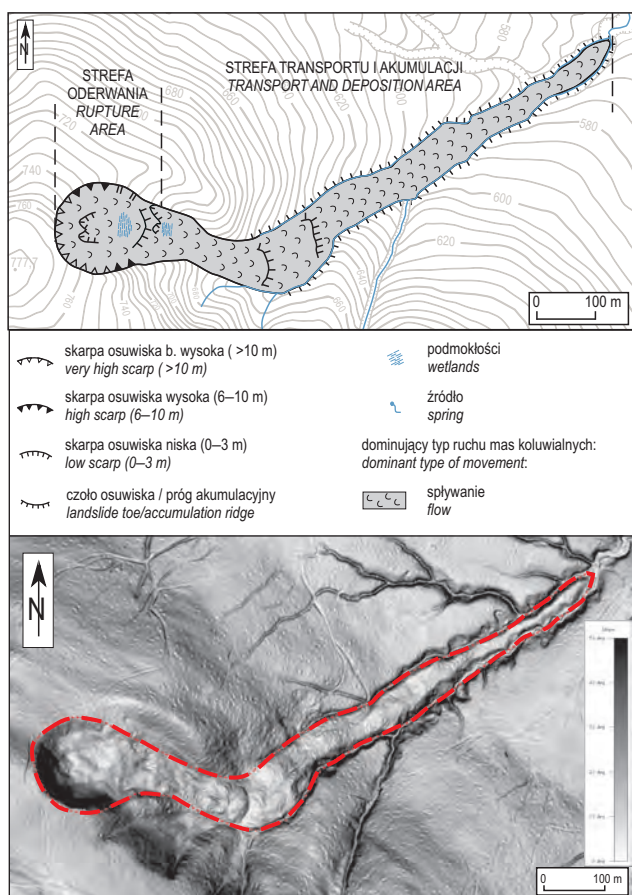
Ryc 3. Osuwisko Skibice I i Skibice II (szkic oraz numeryczny model terenu na podstawie danych z LIDAR)

Fig. 3. Skibice I i Skibice II landslides (sketch and numerical terrain model based on LIDAR data)

którą splywa materiał osuwiskowy, ma założenia tektoniczne – rozwinęła się wzdłuż uskoki (ryc. 2).

Smokowiska

Osuwisko znajduje się na północnym zboczu Pasma Bukowicy (ryc. 1), poniżej szczytu Smokowiska (Łuki Pańskie). Rozwinęło się w leju źródłowym, obsekwentnie do upadu warstw (ryc. 2, 5). Rozpoczyna się wyraźną, stromą, 13-metrową skarpią główną, pod nią obserwuje się jeszcze wyższą, sięgającą 16 m skarpię wtórną. Materiał koluwalny został osadzony w środkowej części osuwiska w postaci progu akumulacyjnego. Na powierzchni występuje duże zawodnienie w postaci podmokłości oraz licznych wysięków i źródeł oraz niewielkich cieków drenujących osuwisko.



Ryc 4. Osuwisko Wachowa Jama (szkic oraz numeryczny model terenu na podstawie danych z LIDAR)

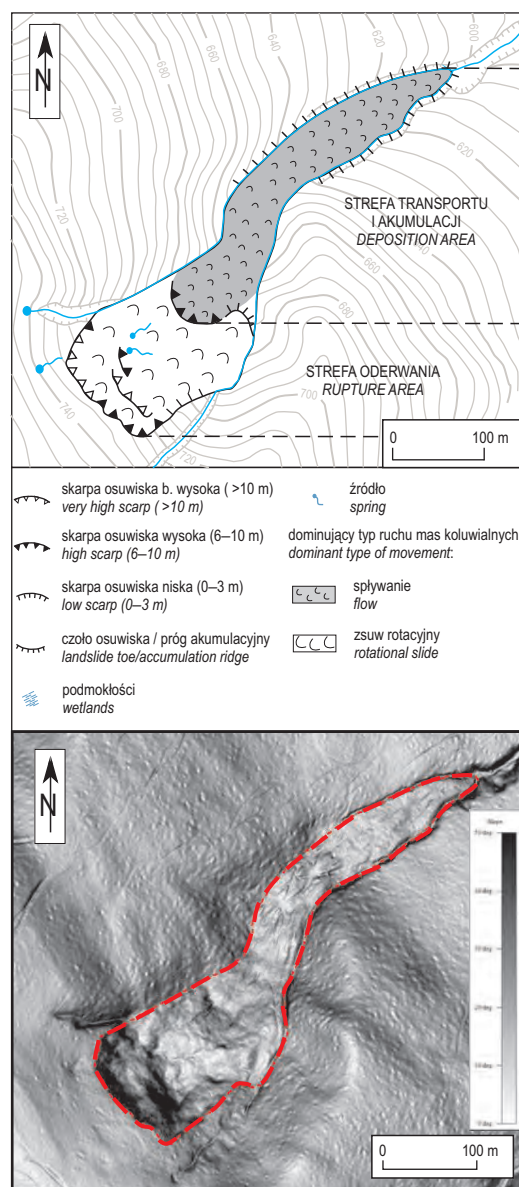
Fig. 4. Wachowa Jama landslide (sketch and numerical terrain model based on LIDAR data)

W środkowej części obserwuje się kolejną, wyraźną skarpe wtórną, poniżej której zmienia się charakter koluwiów (ryc. 5). Przybierają one formę wydłużonego jezora, wypełniającego dolinę wciosową. W tej części rzeźba wewnątrz-osuwiskowa jest rozmyta – obserwuje się tam delikatne nabrzmienia i płytkie, okresowe ciek. Jezor osiąga długość 384 m i zwęża się stopniowo na końcowym odcinku. Osuwisko okalają ciek oddzielające koluwia od nienaruszonego podłoża.

Do rozwoju osuwiska doszło podobnie jak w przypadku wyżej opisywanych form w obrębie warstw hieroglifowych – cienko- i średnioławicowych piaskowców i łupków jądrowej części antykliny Bukowicy (ryc. 2). W górnej części stoku występują zaburzenia związane z przebiegiem stref uskokowych oraz złuskowaniem północnego skrzydła antykliny (ryc. 2). Czoło osuwiska zatrzymuje się już na bardziej położej części stoku, w obrębie warstw krośnieńskich.

Wertyńcza

Osuwisko o prostoliniowym przebiegu rozwinęło się na zachodnim zboczu wzniesienia sąsiadującego ze szczytem Wertyńcza (ryc. 1). Ruch mas skalnych odbywa się na prostym stoku, w obrębie niewielkiego źródła, insekwentnie w stosunku do upadu warstw podłoża. Osuwisko jest stosunkowo płytkie i obejmuje głównie zwietrzelinę i przypowierzchniowe skały podłoża. W górnej części obserwuje się wydłużoną strefę oderwania (ryc. 6) w postaci wyraźnej



Ryc 5. Osuwisko Smokowiska (szkic oraz numeryczny model terenu na podstawie danych z LIDAR)

Fig. 5. Smokowiska landslide (sketch and numerical terrain model based on LIDAR data)

skarpy głównej i zdeponowanego poniżej pakietu skalnego. Poniżej, w obrębie koluwiów, rozwinęła się skarpe wtórną. Pod nią osuwisko przybiera charakter wąskiego, wydłużonego wału, ograniczonego z obu stron przez płytkie, okresowe ciek (ryc. 6). W dolnej części, w strefie akumulacji, jezor rozszerza się i przybiera kształt stożka. Na powierzchni zaznaczają się delikatne nabrzmienia w formie równoległych wałów. Ciek okalające osuwisko w dolnej części wcinają się głęboko w podłoża, erodując materiał koluwalny.

Osuwisko znajduje się w strefie nasunięcia jednostki dukielskiej na jednostkę śląską (ryc. 2), w obrębie kontaktu dwóch jednostek litostratygicznych: cienko- i średnioławicowych piaskowców i łupków warstw hieroglifowych i gruboławicowych piaskowców przybyszowskich.

Dił

Osuwisko rozwinęło się w południowo-wschodniej części Pasma Bukowicy, na północno-wschodnim, prostym stoku wzgórza Dił (ryc. 1). Inicjacja ruchu nastąpiła w stre-

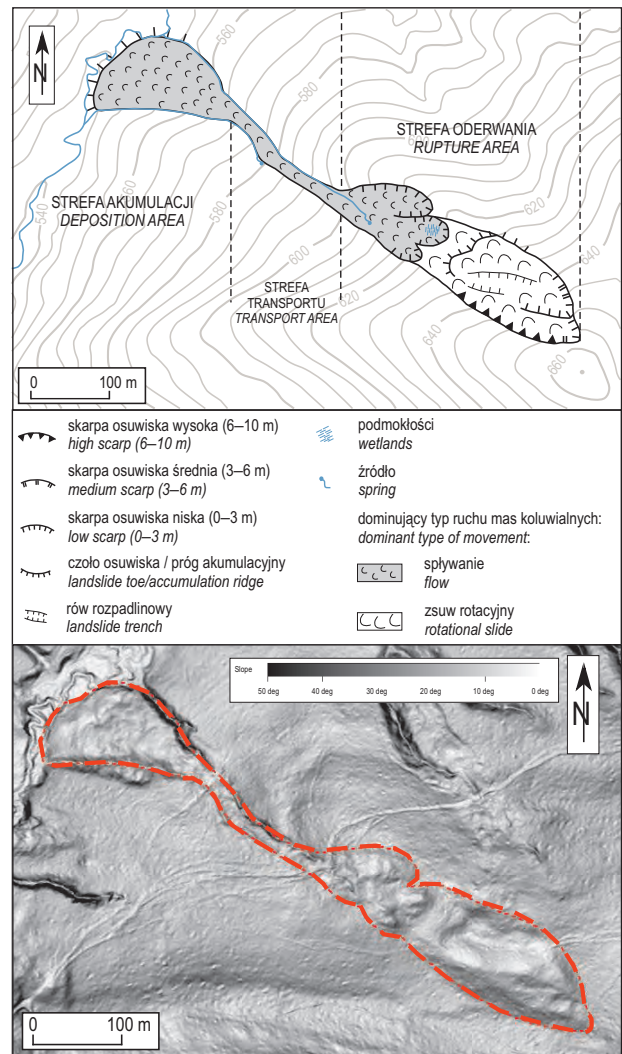
fie źródłkowej, obsekwentnie w stosunku do warstw podłoża (ryc. 2). W górnej części obserwuje się szeroką, amfiteatralną strefę oderwania (ryc. 7). Wysokość skarpy głównej miejscami przekracza 15 m. Poniżej obserwuje się wypłaszczenie terenu zakończone wyraźnym progiem. W górnej części osuwiska występują źródła i wysięki (ryc. 7), miejscami także rozległe podmokłości, a we wschodniej części obserwuje się niewielkie jezioro wewnątrzsuwiskowe (ryc. 7). W środkowej części następuje zwężenie osuwiska, a na powierzchni obserwuje się rumosze grubo-okruchowych piaskowców. Poniżej jezior osuwiska tworzy charakterystyczny wachlarzowaty stożek (ryc. 7). Na jego powierzchni zaznaczają się charakterystyczne wały nawiązujące do kierunku przemieszczania mas skalnych.

Geologicznie osuwisko umiejscowione jest w obrębie nasunięcia jednostki dukielskiej na jednostkę śląską (ryc. 2). W górnej części osuwiska, w obrębie strefy oderwania, udokumentowano występowanie łupków zielonych i piaskowców cienko- i średnioławicowych warstw hieroglifowych jednostki dukielskiej.

WNIOSKI

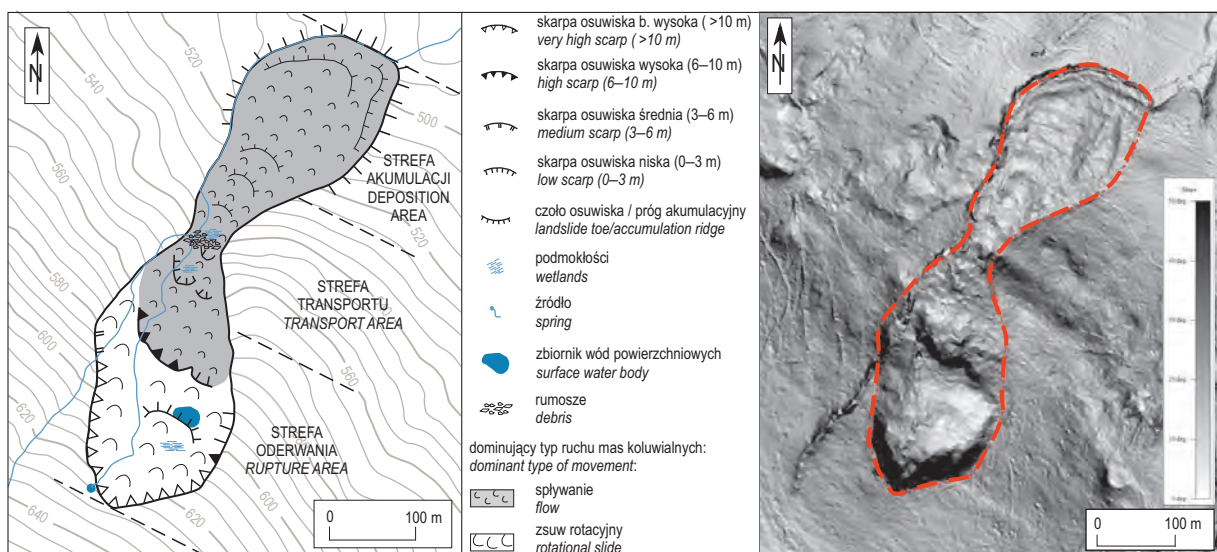
Obserwacja osuwisk w Paśmie Bukowicy wskazuje na wieloetapowość ich rozwoju. W pierwszej fazie ruchu miał miejsce zsuw (zwykle rotacyjny). Materiał zgromadzony w czole osuwiska w wyniku wzmoczonej infiltracji został nasycony wodą i w krytycznym momencie doszło do upłynięcia mas koluwalnych i rozwoju ruchu spływowego (ryc. 8). W wyniku tego procesu w materiale doszło do silnej deformacji struktury wewnętrznej.

Inicjacja osuwisk miała miejsce w górnej części stoku, w obrębie leja źródłowego. Wyraźna skarpa w górnej części i zaobserwowane pod nią wypłaszczenia terenu (Dił, Smokowiska) oraz wyraźne progi akumulacyjne (Skibice II, Wertyńcza) wskazują na zsuw typu rotacyjnego. We wszystkich analizowanych osuwiskach prawdopodobnie występowało duże zawodnienie w górnej części koluwiów, co obecnie przejawia się w postaci licznych podmokłości, wysięków, źródeł oraz jezior wewnątrzsuwiskowych.



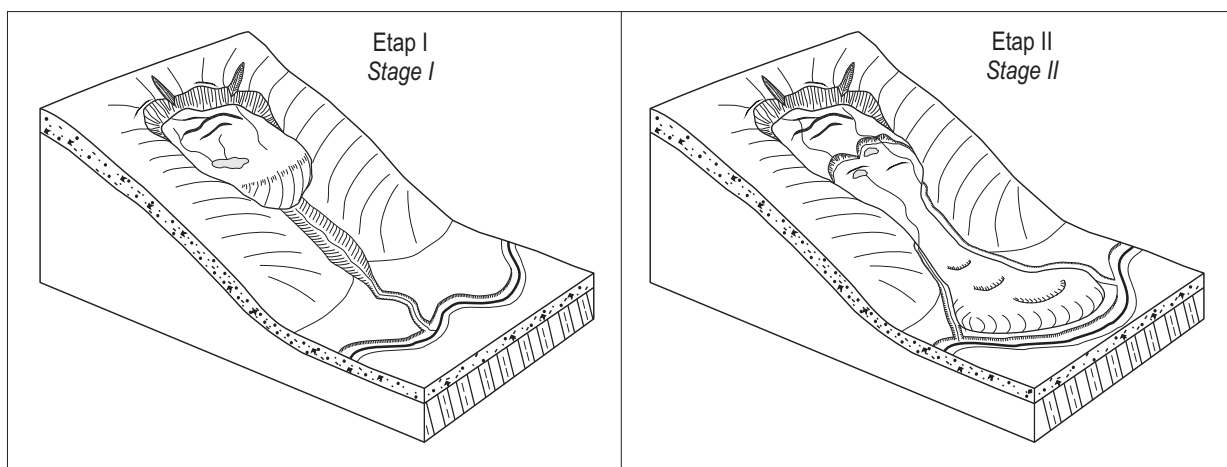
Ryc 6. Osuwisko Wertyńcza (szkic oraz numeryczny model terenu na podstawie danych z LIDAR)

Fig. 6. Wertyńcza landslide (sketch and numerical terrain model based on LIDAR data)



Ryc 7. Osuwisko Dił (szkic oraz numeryczny model terenu na podstawie danych z LIDAR)

Fig. 7. Dił landslide (sketch and numerical terrain model based on LIDAR data)



Ryc. 8. Schemat rozwoju osuwisk o charakterze spływu obserwowanych w Paśmie Bukowicy
Fig. 8. Evolution scheme of flow-like landslides observed in the Bukowica Range

Do uruchomienia ruchu spływowego doszło w obrębie koluwiów, gdzie materiał był rozluźniony i częściowo zdeformowany. Dodatkowo, duże nasycenie gruntu wodą zwiększyło prawdopodobieństwo odnowienia ruchów masowych. Obserwacje pokazują, że osuwiska o charakterze spływowym przybrały różne formy w zależności od rzeźby terenu. W każdym osuwisku zaznaczały się wyraźne rejon: oderwania, transportu i akumulacji, przy czym w strefie transportu często zachodziła również akumulacja.

W przypadku osuwisk Skibice I i Skibice II niemal cały materiał zgromadzony pod skarpą został objęty ruchem spływowym (ryc. 3), o czym świadczą obserwowane na NMT charakterystyczne nabrzmienia powstałe w wyniku przemieszczania upłynnionego materiału. Spływający materiał w postaci mieszaniny glin i rumoszu skalnego wykształcił istniejącą dolinę, zmieniając jej charakter – z doliny V-kształtnej na bardziej łagodny, a miejscami całkowicie wypełniając koryto.

W osuwisku Wachowa Jama upłynnione masy skalne zmieniają kierunek ruchu zgodnie z przebiegiem doliny (ryc. 4). Strefa transportu o wydłużonym kształcie jest jednocześnie strefą akumulacji. Jęzoro osuwiska zwęża się stopniowo wraz ze zmniejszeniem ilości dostarczanego materiału, tworząc wydłużone czoło.

Do uruchomienia ruchu spływowego w osuwisku Smokowiska (ryc. 5) doszło w środkowej części pierwotnego zsuwu – fragment materiału koluwalnego zgromadzonego w czole uległ upłynnieniu. Górna część osuwiska zachowała swój pierwotny charakter. Materiał transportowany w wyniku ruchu spływowego wypełnił istniejącą dolinę wciosową, co zaznacza się w terenie w postaci charakterystycznego jęzora (ryc. 5). Granice boczne osuwisk są podkreślone przez ciekę, które oddzielają spływ od nienaruszonego podłoża.

Osuwiska rozwinięte na prostym stoku bądź w obrębie młodej doliny wciosowej (Wertyńcza, Dił) mają nieco inny charakter. W przypadku osuwiska Wertyńcza upłynniony materiał został przemieszczony wąskim (maksymalnie 18 m szerokości) kanałem na długości ponad 160 m (ryc. 6). Duże przemieszczenie może wiązać się z rodzajem materiału, który w przypadku osuwiska Wertyńcza składał się głównie z materiału zwietrzelinowego (gliny i materiał drobnookruchowy). W strefie transportu materiał koluwalny zachował się w niewielkim stopniu. Do akumulacji

upłynnionego materiału doszło w dolnej części osuwiska, w postaci wyraźnego stożka (ryc. 6).

Osuwisko Dił przybiera nieco inną formę (ryc. 7). Obserwowany w środkowej części próg akumulacyjny stanowi pozostałość po pierwotnym zsuwie. W wyniku ponownego uaktywnienia osuwiska doszło do wykształcenia skarpy wtórnej dającej początek ruchowi spływowemu, który objął dolną część istniejących koluwiów. Grubookruchowy materiał koluwalny został częściowo zatamowany w środkowej części osuwiska przez wychodne gruboławicowych piaskowców występujących w tym rejonie. Materiał drobnookruchowy, stanowiący główną masę koluwiów, został przetransportowany przez wąski kanał do strefy akumulacji, gdzie utworzył wyraźny stożek (ryc. 7).

Osuwiska na etapie zsuwu rotacyjnego rozwinęły się w podłożu piaskowcowo-lupkowym, które razem z materiałem zwietrzelinowym tworzy masę koluwiów. Podłoże opisywanych osuwisk stanowią przede wszystkim podatne na osuwanie warstwy hieroglifowe: cienko- i średnioławicowe piaskowce przewarstwiane łupkami ilastymi. Niewielki udział mają też piaskowce z Mszanki (osuwisko Wachowa Jama) oraz piaskowce przybyszowskie (osuwisko Wertyńcza). Utwory te budują jądro fałdu Bukowicy, który tworzy główny grzbiet badanego pasma. Dominującą rolę odgrywa tu strefa nasunięcia dukielskiego. W wyniku procesów tektonicznych skały podłoża zostały porożcinane licznymi poprzecznymi uskokami, dzielącymi je na bloki, co przyczynia się do silnego spękania i występowania złuzień śródwartwowych (Gierat-Nawrocka, Zuchiewicz, 1991). Podłoże jest w dużym stopniu zdeformowane, co ułatwia infiltrację wód powierzchniowych w głąb górotworu. Litologia i tektonika mają w tym przypadku duży wpływ na formowanie się osuwisk spływowych.

Trudno jest jednoznacznie zaklasyfikować opisywane osuwiska. Przede wszystkim są to osuwiska złożone (complex) – w każdym opisywanym przypadku osuwisko pierwotnie rozwinęło się w formie zsuwu, dopiero w późniejszym etapie doszło do upłynnienia materiału i ruchu spływowego. Omawiane osuwiska mają z reguły formę spływu gruzowo-błotnego ze względu na udział materiału grubookruchowego oraz glin pochodzących ze zwietrzliny.

Uruchamianie spływów w obrębie koluwiów istniejących osuwisk zostało szczegółowo opisane w pracy Iversona i in. (1997), który zwraca uwagę na procesy wewnętrzne

indukujące rozwój tego typu osuwisk. Zjawisko to zauważają też inni autorzy (m.in. Jakob, Hungr, 2005; Chen, Cui, 2017). Pojęcie *Complex Flow-like Landslide* (Panek i in., 2013) opisuje formy powstałe w wyniku spływów rozwinętych w obrębie istniejących już osuwisk. Pojęcie to dobrze oddaje charakter procesu obserwowanego w Paśmie Bukowicy i według autorki można je stosować w odniesieniu do takich form.

PODSUMOWANIE

Na obszarze Pasma Bukowicy występowanie osuwisk jest powszechne, a z obserwacji wynika, że wiele form w omawianym regionie przyjmuje charakter osuwisk spływowych. W celu zobrazowania problemu wybrano 6 osuwisk (tab. 1) i opisano ich charakterystyczne cechy, z uwzględnieniem czynników biernych, warunkujących sposób ich wykształcenia.

Pasma Bukowicy znajduje się w strefie nasunięcia dukielskiego. Występują tu liczne zafałdowania, złuskiwania oraz uskoki. W związku z tym górotwór jest silnie spękany i rozluźniony, a co za tym idzie wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów masowych. Inicjacja wszystkich opisywanych osuwisk miała miejsce w lejach źródłowych, w obrębie wychodni piaskowców i łupków warstw hieroglifowych. Skąły te ze względu na obecność łupków ilastych przewarstwiających piaskowce są podatne na osuwanie. Silne spękanie skał podłoża w warunkach dużej infiltracji wód opadowych i występowania stref wypływu wód na powierzchnię zwiększa prawdopodobieństwo formowania się spływów.

Opisane osuwiska charakteryzuje wieloetapowość rozwoju. W pierwszym etapie, w górnej części stoku, dochodzi do zsuwu rotacyjnego. Następnie w obrębie koluwiów rozwija się ruch spływowy. W rzeźbie wewnątrzsuwiskowej zachowują się formy charakterystyczne dla zsuwu (progi akumulacyjne, wypłaszczenia terenu, jeziora wewnątrzsuwiskowe) i spływu (wydłużony jęzor, charakterystyczne nabrzmienia w postaci prostopadłych do kierunku ruchu wałów), potwierdzając odmienny charakter obu ruchów.

Obserwacje pokazują, że na kształt i formę osuwisk mają wpływ przede wszystkim rodzaj i objętość transportowanego materiału, jego stopień upłynnienia oraz rzeźba terenu, w którym rozwinięły się opisywane formy. Często mimo podobnego mechanizmu powstawania, osuwiska znacząco różnią się od siebie.

W przypadku rozwoju ruchu spływowego w obrębie dojrzałej, głęboko wciętej doliny potoku, materiał koluwalny dopasowuje się do kształtu doliny i może zmieniać kierunek spływu, w zależności od jej przebiegu. Po dotarciu do dna doliny głównej koluwia zwykle gromadzą się w formie rozszerzonego u podstawy stożka. Osuwiska rozwijające się w istniejących dolinach, gdzie przemieszczany materiał ma mniejszą objętość, tworzą długie, zwężające się ku dołowi jęzory zakończone czołem o wydłużonym kształcie. Z kolei w przypadku osuwisk rozwiniętych na prostych stokach lub w obrębie młodej doliny, przyjmują kształt zbliżony do klepsydry – z amfiteatralną strefą oderwania i strefą akumulacji w formie stożka. W przypadku niektórych osuwisk, w strefie transportu obserwuje się wydłużony, wąski kanał, przez który przepływa upłynniony materiał koluwalny.

Na badanym obszarze nie obserwuje się „samodzielnych” spływów (*flow*). Są to zwykle osuwiska złożone (*complex*), w których można wyróżnić kilka rodzajów ru-

chu, przy czym spływanie jest ruchem dominującym. Najlepiej opisującym omawiane zjawisko terminem jest zastosowane przez Panek i in. (2013) *Complex Flow-like Landslide*.

Autorka składa podziękowania Recenzentom za cenne uwagi i sugestie, szczególnie w zakresie stosowanej terminologii oraz historii badań osuwisk.

LITERATURA

- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową regionu. *Biul. Inst. Geol.*, 340:115–162.
- BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., JÓŻKÓW G., WÓJCİK A. 2011 – Landslides Mapping in Rożnów lake vicinity, Poland using airborne laser scanning data. *Acta Geodyn. Geomater.*, 8 (3): 325–333.
- CHEN XZ., CUI YF. 2017 – The formation of the Wulipo landslide and the resulting debris flow in Dujiangyan City, China. *J. Mount. Sci.*, 14 (6): 1100–1112.
- CIESZKOWSKI M., ŚLĄCZKA A., ZUCHIEWICZ W. 1990 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Jaśliśka (1056), Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. 1996 – Landslides types and processes. [W:] *Landslides: investigations and mitigation*. TRB Spec. Reports, 247: 36–75.
- DIKAU R., BRUNSDEN D., SCHROTT L., IBSEN M-L. 1996 – Landslide recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, New York.
- GIERAT-NAWROCKA G., ZUCHIWEICZ W. 1991 – Objasnienia do Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000 arkusz Jaśliśka (1057). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- HUNGR O., EVANS S.G., BOIS M.J., HUTCHINSON J.N. 2001 – A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. *Environ. Eng. Geosci.*, 7 (3): 221–238.
- HUNGR O., LEROUEIL S., PICARELLI L. 2014 – The Varnes Classification of Landslide Types, an Update. *Landslides*, 11, 167–194.
- IVERSON R., REID M., LAHUSEN R. 1997 – Debris-flow mobilization from landslides. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 25: 85–138.
- JAKOB M., HUNGR O. 2005 – Debris flow Hazards and Related Phenomena. Praxis Publishing LTD., Chichester, UK.
- KACZOROWSKI J. 2017 – Zapis 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 (1): 44–52.
- KAMINSKI M. 2015 – Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego i tomografii elektrooporowej w kompleksowych badaniach osuwisk – przykład z Pogorza Dynowskiego (Karpaty Zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 63 (7): 410–417.
- KARDASZEWSKA E. 1968 – Osuwisko w Duszatynie. *Annales UMCS Lublin*, sec. B, 23 (1): 1–27.
- ŁOZIŃSKI W. 1909 – O usuwaniu się gliny w Tymowej w brzeskim powiecie. *Spraw. Kom. Fizjograf. AU Kraków*, cz. III: 55–57.
- MALATA T. 2001 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000 arkusz Bukowsko (1058) (reambulacja). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje dla Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 49 (6): 515–524.
- MARGIELEWSKI W. 2004 – Typy przemieszczeń grawitacyjnych mas skalnych w obrębie form osuwiskowych polskich Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 52 (7): 603–614.
- PANEK T., SMOLKOVA V., HRADECKY J., BARON I., SILHAN K. 2013 – Holocene reactivations of catastrophic complex flow – like landslides in the Flysch Carpathians (Czech Republic/ Slovakia). *Quatern. Res.*, 80: 33–46.
- RYBNAR J., STEMBERK J. 2000 – Avalanche-like occurrences of slope deformations in the Czech Republic and coping with their consequences. *Landslide News*, 13: 28–33.
- RYCIO E. 2018 – Geologiczne uwarunkowania rozwoju osuwisk w rejonie Krynicy-Zdroju. *Prz. Geol.*, 66 (5): 294–302.
- SAWICKI L. 1917 – Osuwisko ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w r. 1913 w Galicji zachodniej. *Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. Akad. UM.*, ser. III, 16 A: 227–313.
- SCHRAMM W. 1925 – Zsuwiska stoków w Beskidzie: wielkie zsuwisko w lesie wsi Duszatyn Ziemi Sanockiej. *Kosmos*, 50: 1355–1374.
- SIKORA R. 2018 – Structural control on the initiation and development of the Biała Wiselka Landslide Complex (Silesian Beskid, Outer Carpathians, Southern Poland). *Geol., Geophys. Environ.*, 44 (1): 31–48.
- SIKORA R. 2022 – Geological and geomorphological conditions of landslide development in the Vistula source area in the Silesian Beskid (Outer Carpathians, southern Poland). *Geol. Quart.*, 66:19.

- STARKEL L. 1972 – Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej. *Probl. Zagosp. Ziemi Górskich*, 10: 75–150.
- ŚLĄCZKA A. 1964 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz 1057 – Bukowsko. Inst. Geol., Warszawa.
- ŚWIDZIŃSKI H. 1958 – Mapa geologiczna Karpat polskich. Część wschodnia. 1:200 000. Inst. Geol., Warszawa.
- TEISSEYRE H. 1934 – Osuwisko w Krasnoili. *Czas. Geog.*, 12 (2): 1–15.
- TEISSEYRE H. 1936 – Materiały do znajomości osuwisk w niektórych okolicach Karpat i Podkarpacia. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 12: 135–192.
- VARNES D.J. 1978 – Slope movement types and processes. *Landslide Analysis and Control, Special Report 176: Transportation Research board. National Academy of Sciences, Waszyngton*: 11–33.
- WDOWIARZ S., ZUBRZYCKI A., FRYSZTAK-WOLKOWSKA A. 1991 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Rymanów (1040). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WOJCIECHOWSKI T., BORKOWSKA A., PERSKI Z., WÓJCIK A. 2012 – Dane z lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 60: 95–102.
- WÓDKA M. 2019 – Związek morfologii wybranych osuwisk z budową geologiczną Karpat i zapadliska przedkarpackiego w świetle analiz numerycznego modelu terenu. *Prz. Geol.*, 67 (2): 115–122.
- WÓDKA M. 2022 – Conditions of landslide development during the last decade in the Rożnów Dam-Lake region (Southern Poland) based on Airborne Laser Scanning (ALS) data analysis. *Geol. Quart.*, 66:4.
- WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 1996 – Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórczem a Reczpołem (Karpaty, Pogórze Karpackie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 374: 77–91.
- WÓJCIK A. 1997 – Osuwiska w dorzeczu Koszarawy – strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 376: 5–42.
- WÓJCIK A., MROZEK T., GRANOSZEWSKI W. 2006 – Lithological conditioning of landslides and climatic changes examples from the Beskidy Mts., Western Carpathians, Poland. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 29: 197–209.
- WÓJCIK A., WOJCIECHOWSKI T., WÓDKA M., KACZOROWSKI J., KAMIENIARZ S., SIKORA R., KUŁAK M., KARWACKI K., WARMUŻ B., PERSKI Z. 2020 – Rozwój badań osuwisk w Państwowym Instytucie Geologicznym. *Prz. Geol.*, 68 (5): 356–363.
- ZABUSKI L., THIEL K., BOBER L. 1999 – Osuwiska we fliszu Karpat polskich – Geologia, modelowanie – obliczanie stateczności. Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk.
- ZARUBA Q., MENCL V. 1982 – *Landslides and Their Control: Development in Geotechnical Engineering*. Elsevier, Amsterdam.
- ZUBER R., BLAUTH J. 1907 – Katastrofa w Duszatynie. *Czasopismo Techniczne*, 25. Lwów: 218–221.

Praca wpłynęła do redakcji 05.07.2022 r.

Akceptowana do druku 12.08.2022 r.