

Analiza aktywności osuwisk oparta na różnicowych modelach terenu opracowanych na podstawie map topograficznych

Konrad Górka¹

Analysis of landslide activity based on differential elevation models generated from topographic maps. *Prz. Geol.*, 74: 209–218; doi: 10.7306/2026.16

Redaktor prowadząca: Maria Przyłucka

Abstract. Digital Elevation Models (DEM) obtained from aerial laser scanning data (ALS) are an important tool in the process of landslide identification. Comparing DEM from different times and compiling them into DEM of Difference (DoD) allows determining the degree of landslide activity, as well as estimating the approximate volume and directions of movement. The article describes the process of obtaining a DEM based on topographic maps, and presents its limitations using selected examples. When certain parameters are fulfilled, topographic maps can be a valuable source of digital information about terrain relief, particularly for time periods for which ALS data are unavailable.

Keywords: landslide, Topographic Map, Digital Elevation Model (DEM), DEM of Difference (DoD)

Numeryczne modele terenu (NMT) pozyskane na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego (ALS) stanowią istotne narzędzie w procesie identyfikacji osuwisk (Wojciechowski i in., 2015). Porównanie NMT wykonywanych w różnych latach i zestawienie ich w różnicowe modele terenu (RNMT) daje zarówno możliwość określenia stopnia aktywności osuwisk, jak i oszacowania przybliżonej kubatury i kierunków przemieszczeń koluwiów. Historia lotniczego skaningu laserowego w Polsce sięga lat 90. XX w. (Marzec, Pasternak, 2010), niemniej jednak do 2010 r. naloty wykonywano dla bardzo niewielkich obszarów (np. tereny miast). Pierwszy lotniczy skaningu laserowy, którym objęto znaczny obszar Polski (ok. 60%), został wykonany w ramach projektu *Informatyczny System Oslony Kraju* (ISOK), pomiędzy lipcem 2010 a końcem 2013 r. (Kurczyński, Bakuła, 2013), dlatego dane ALS sprzed lipca 2010 r., poza niewielkimi wyjątkami, są dostępne dla bardzo niewielu lokalizacji i w ograniczonym zakresie.

Występowanie ruchów masowych jest uwarunkowane wieloma czynnikami biernymi, spośród których do najistotniejszych należą budowa geologiczna czy rzeźba terenu. Bodźcem inicjującym zarówno powstawanie nowych osuwisk, jak i aktywację starszych form są najczęściej obfite i długotrwałe opady atmosferyczne lub intensywne roztopy pokrywy śnieżnej. Pomiędzy występowaniem anomalnych i gwałtownych zjawisk pogodowych a intensyfikacją ruchów masowych zaznacza się wyraźna zależność (Grabowski, Przybycin, 2010; Mrozek i in., 2012). Na terenie Polski nasilenie zjawisk osuwiskowych miało miejsce m.in. w latach: 1997, 2000, 2001, 2005 i 2010 (Marciniak i in., 2015). Tylko w 2010 r. na obszarze województwa małopolskiego i śląskiego aktywacji uległo co najmniej 1345 osuwisk (Grabowski, Przybycin, 2010).

Brak danych ALS sprzed 2010 r. stanowi istotną przeszkodę zarówno w analizach skali zjawiska, jak i przebiegu rozwoju ruchów masowych u schyłku XX i na początku XXI w. Jest to istotne, ponieważ różne stopnie aktywności osuwiska mogą się wiązać z odmiennymi ograniczeniami lub wymogami zawartymi w przepisach prawa miejscowego.

Największa baza danych o osuwiskach w Polsce – *System Oslony Przeciwośuwiskowej* (SOPO) – osuwiska powstałe lub uaktywnione w czasie ostatnich 50 lat ewidencjonuje jako okresowo aktywne, a które nie uległy aktywacji w tym okresie – jako nieaktywne (Wódka i in., 2025). Alternatywnymi źródłami pozyskiwania cyfrowych danych o rzeźbie terenu mogą być m.in. stereoskopowe zdjęcia lotnicze czy mapy topograficzne. W efekcie transformacji i analiz, którym można poddać mapy topograficzne w programach GIS, istnieje możliwość wygenerowania na podstawie zawartych na nich danych NMT. Do analizy ruchów masowych w ostatnich dziesięcioleciach szczególnie przydatne wydają się mapy topograficzne w skali 1 : 10 000 w układzie PL-1965, opracowane w latach 70. i 80. XX w.

W polskim piśmiennictwie wykorzystywanie map topograficznych do generowania NMT w celu pozyskiwania informacji o ruchach masowych nie było do tej pory powszechne. Takie próby podejmował Perski i in. (2014) dla osuwiska w Kłodnym. Na świecie NMT wygenerowane na podstawie map topograficznych były wykorzystywane do interpretacji ruchów masowych już od lat 90. XX w. (Carara i in., 1991; Guzzetti i in., 1999; Agliardi i in., 2001; Vanacker i in., 2003; Yesilnacar, Topal, 2005; Pradhan, Lee, 2010; Ozdemir, Altural, 2013; Qin i in., 2013; Dagdelenler i in., 2015).

Analizy ruchów masowych na podstawie RNMT pozyskanych z ALS lub stereoskopowych zdjęć lotniczych prowadzili m.in. Perski i in. (2011), Chowaniec i in. (2012), a przede wszystkim: Cebulski (2014, 2015, 2018, 2022, 2023), Wojciechowski i in. (2015), Wojciechowski, Wójcik (2015.), Karwacki (2015, 2016, 2019) oraz Wódka (2022).

Mapy topograficzne wykorzystywane do pozyskiwania NMT znacznie częściej były stosowane do analiz hydrologicznych (Gudowicz, 2008; Krocak, 2010; James i in., 2012; Wiejaczka i in., 2012; Wałek, 2013; Jaskulski, Szmidt, 2015) oraz obserwacji zmian zachodzących w środowisku naturalnym (Prokop, 2007; Bucala, 2012).

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; kgor@pgi.gov.pl; ORCID: 0000-0002-0137-873X

Celem niniejszego artykułu jest weryfikacja przydatności map topograficznych w skali 1 : 10 000, w układzie PL-1965, jako źródła pozyskiwania NMT do analizy ruchów masowych, przedstawienie metodyki tego procesu, oraz opis przejawów ruchów masowych dla trzech wybranych osuwisk z wykorzystaniem różnicowych modeli terenu uzyskanych na podstawie tych map i późniejszego skaningu ALS.

METODYKA

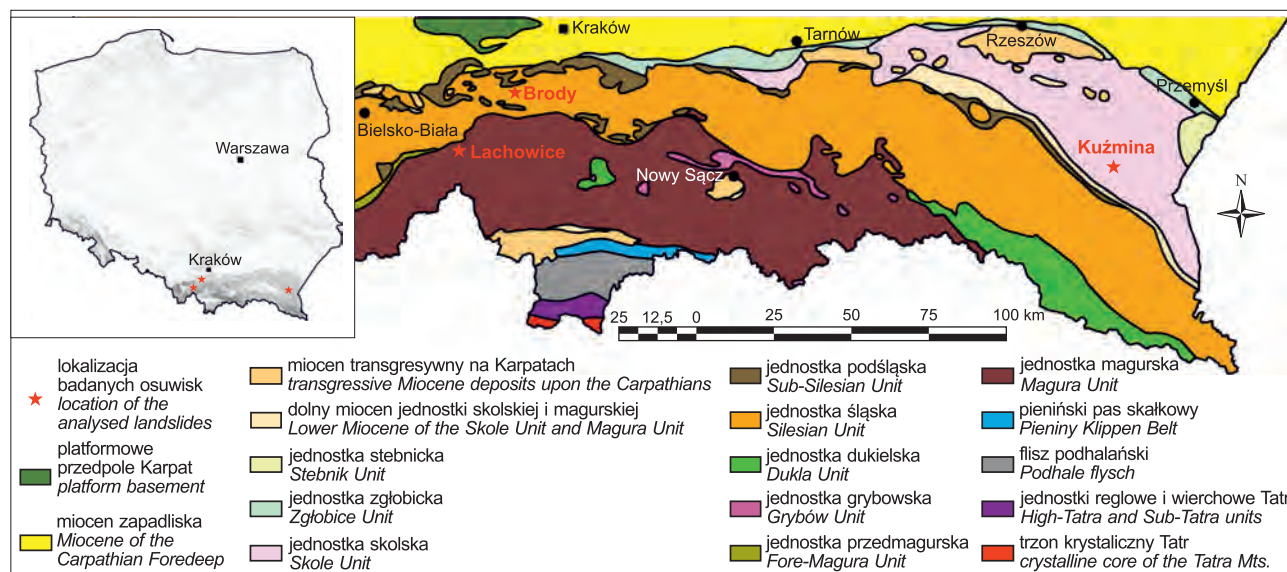
Opracowanie metodyczne w zakresie wykonania NMT z mapy topograficznej i jego zestawienia w RNMT podzielono na trzy zasadnicze etapy.

W pierwszej kolejności dokonano wizualnego porównania przebiegu poziomicy dla tego samego obszaru na mapach w skali 1 : 10 000 w układzie PL-1965 z lat 80. XX w. i PL-1992 w wersji BDOT10K z informacją o elementach rzeźby terenu będących pochodną numerycznego modelu rzeźby terenu z lat 20. XXI w. Analiza ta miała na celu identyfikację obszarów, w których z jednej strony układ poziomicy sugerował występowanie ruchów masowych, a z drugiej – ich przebieg znacznie się od siebie różnił (sugerując zmiany w rzeźbie terenu na przestrzeni lat). Analiza została ograniczona do obszaru polskich Karpat fliszowych (ryc. 1) i zidentyfikowanych w ramach projektu SOPO miejsc występowania aktywnych i okresowo aktywnych osuwisk. Łącznie przeanalizowano kilkadziesiąt wytypowanych lokalizacji, a poza różnicami w miejscu zaistnienia ruchów masowych, istotnym czynnikiem była również zgodność w przebiegu poziomicy na stoku poza osuwiskiem. Dodatkowo, aby uniknąć analizowania miejsc, w których rozbieżność w treści map wynika z różnic w metodach ich opracowania, pod rozwagę brane były głównie miejsca, gdzie o zaistnieniu ruchów masowych świadczył dodatkowo (poza przebiegiem poziomicy) czynnik, jak np. wyraźne przesunięcie koryta cieku. Co więcej, analizie poddano głównie obszary, co do których posiadano informacje o uaktywnieniu się osuwisk w okresie pomiędzy datami opracowania map w układzie PL-1965 a datą wykonania nalotu ALS, na podstawie którego wygenerowano poziomice do mapy BDOT10K w układzie PL-1992.

Na drugim etapie, przy użyciu aplikacji ArcMap z wybranego obszaru rastra mapy topograficznej w układzie PL-1965, dokonano wyodrębnienia kanału zawierającego warstwę z poziomcami. Po jego wstępnym oczyszczeniu eksportowano poziomice do formatu wektorowego. W dalszej części warstwę wektorową poddano korekcie i uzupełnieniu, a następnie poszczególnym poziomicom nadano atrybut wysokościowy. Kolejno, na podstawie rastra mapy topograficznej, uzupełniono również warstwy wektorowe zawierające informacje o skarpach, ciekach i punktach wysokościowych. Warstwy wektorowe były przygotowywane z pewnym buforem w stosunku do zasięgu osuwiska, tak aby wynikowy RNMT pozwalał na zweryfikowanie, czy zaistniałe zmiany wynikały z powstania lub uaktywnienia osuwiska, czy z zastosowanej metodyki lub błędów w opracowaniu mapy. Finalnie dokonano transformacji warstw wektorowych do numerycznego modelu terenu, a w celu jego weryfikacji oszacowano średni błąd, który wyliczono jako uśrednioną różnicę pomiędzy wysokością punktu na NMT z ALS a NMT opracowanym na podstawie mapy topograficznej. W powyższych obliczeniach brano pod uwagę jedynie punkty zlokalizowane na obszarach nieobjętych ruchami masowymi, a obliczone wartości błędów wyniosły: 1,48 m dla osuwiska w Lachowicach, 0,58 m dla osuwiska w Brodach i 0,8 m dla osuwiska w Kuźminie.

Ponieważ mapy w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-1965 były tworzone w układzie wysokościowym Kronsztad 60, a współczesne NMT są przedstawiane w układzie wysokościowym PL-EVRF2007-NH, konieczna była korekta wysokości wynikająca z różnic między tymi układami. W tym celu dokonano translacji parametru wysokości dla chmury punktów z lat 2021 i 2023, poprzez odjęcie wartości wynikającej z transformacji z układu PL-EVRF2007-NH do układu PL-KRON86-NH (17–18 cm) oraz dodanie współczynnika odpowiedniego dla konwersji z układu PL-KRON86-NH do układu Kronsztad 60 (3–4 cm). Podane wartości błędów dla poszczególnych osuwisk uwzględniają poprawkę wynikającą z transformacji pomiędzy tymi układami wysokościowymi.

Na ostatnim etapie w oprogramowaniu Global Mapper zestawiono NMT wygenerowany na podstawie mapy topograficznej z NMT, który był zastosowany do opracowania



Ryc. 1. Lokalizacja omawianych osuwisk na tle jednostek tektonicznych polskich Karpat i zapadliska przedkarpackiego (wg Oszczytko, 2006)
Fig. 1. Location of studied landslides on the map of tectonic units in the Polish Carpathians and their foredeep (based on Oszczytko, 2006)

mapy BDOT10K w układzie PL-1992 (wygenerowany z ALS), w jeden RNMT. W celu uniknięcia zobrazowania różnic, które mogą wynikać ze stopnia generalizacji czy różnych metod interpolacji przestrzeni między poziomiami na skali barw RNMT, zignorowano zmienne wartości od $-2,5$ do $2,5$ m (wynikające z gęstości cięcia poziomicowego), w taki sposób, aby uniknąć pominięcia istotnych, lecz dyskretnych zmian. Otrzymane modele różnicowe obejmują okres ok. 30–40 lat i prezentują przejawy ruchów masowych, jakie miały miejsce między początkiem lat 80. XX w. a początkiem lat 20. XXI w. Analizę przedstawiono dla trzech wyselekcjonowanych osuwisk z różnych obszarów południowej Polski (ryc. 1), reprezentujących odrębne

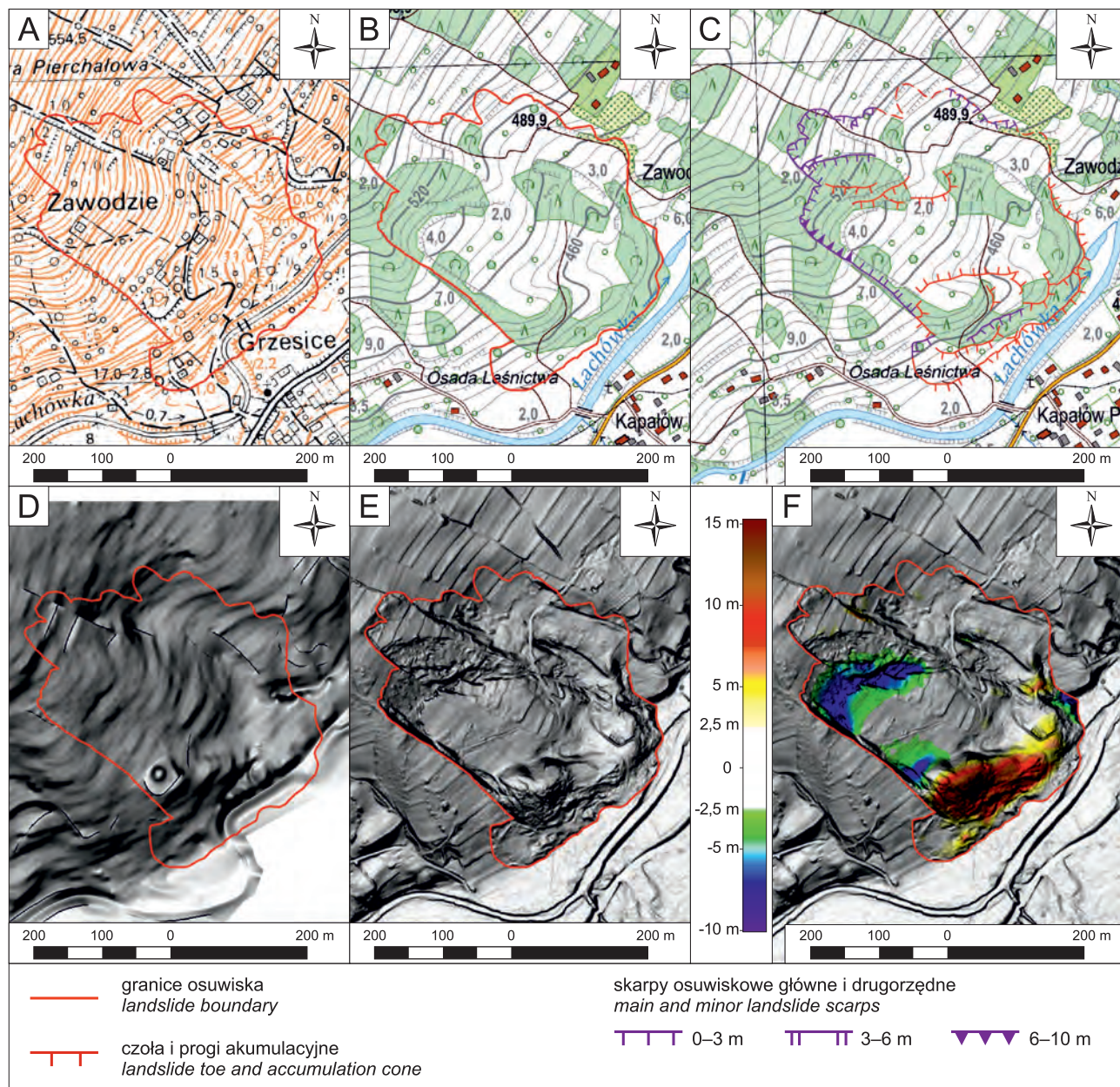
jednostki tektoniczne polskich Karpat fliszowych (płaszczyzny: magurska, śląska i skolska).

Podkłady mapowe, jak również chmury punktów, pozyskano z serwisu www.geoportal.gov.pl

WYNIKI BADAŃ

Osuwisko w Lachowicach

Osuwisko jest położone w miejscowości Lachowice (gmina Stryszawa), w rejonie przysiółka Zawodzie (ryc. 2), w granicach Pasma Pewelsko-Krzeczowskiego w Beskidzie Makowskim (Solon i in., 2018) i oznaczone w bazie SOPO numerem 57 890 jako aktywne. Rozwinęło się na południo-



Ryc. 2. Obszar osuwiska w Lachowicach przedstawiony na różnych podkładach: **A** – mapa topograficzna w układzie PL-1965 z 1985 r.; **B** – mapa topograficzna BDOT10K w układzie PL-1992 z 2021 r.; **C** – szkic z rzeźbą osuwiska; **D** – NMT (cieniowanie nachylenia) opracowany na podstawie mapy topograficznej w układzie PL-1965 z 1985 r.; **E** – NMT (cieniowanie nachylenia) zastosowany w mapie BDOT10K (opracowany na podstawie danych ALS) w układzie PL-1992 z 2021 r.; **F** – RNMT osuwiska dla okresu 1985–2021

Fig. 2. Different visualizations of the Lachowice landslide area: **A** – topographic map, PL-1965 Coordinate System from 1985; **B** – topographic map BDOT10K, PL-1992 Coordinate System from 2021; **C** – landslide relief sketch; **D** – DTM (slope shader) generated from topographic map, PL-1965 Coordinate System from 1985; **E** – DTM (slope shader) used in the BDOT10K map (from ALS), PL-1992 Coordinate System from 2021; **F** – DoD of the landslide for the period 1985–2021

wo-wschodnim stoku Pierchałowej Góry (595,8 m n.p.m.). Nie jest znana data powstania osuwiska, ale na jego obecność wskazywano już w 1975 r. (Chowaniec i in., 1975). Jego uaktywnienie nastąpiło 27 lipca 2001 r., kiedy to w wyniku długotrwałych, intensywnych opadów deszczu doszło do osunięcia fragmentu stoku i nasunięcia koluwiów na taras rzeczny Lachówki, czego konsekwencją było częściowe zatamowanie przepływu rzeki w korycie (Oszczypko i in., 2002). Zostało wówczas zniszczonych lub uszkodzonych wiele budynków mieszkalnych. Kolejne epizody aktywacji osuwiska miały miejsce w latach 2002, 2009 i 2010 (Chowaniec i in., 2012). Osuwisko jest ciągle aktywne, a systemy monitoringu (inklinometry i punkty pomiaru geodezyjnego GPS) odnotowują nieznaczne przemieszczenia rzędu do kilku centymetrów w ciągu roku (Nescieruk i in., 2014, 2024).

Stok, na którym rozwinęło się osuwisko, jest zbudowany z warstw magurskich w facji glaukonitowej (Ryłko, Paul, 2014a), które tworzą tu szeroki, połogi element synklinalny, będący częścią płaszczowiny magurskiej, a samo osuwisko zostało założone na konsekwentnym – w stosunku do zapadających pod kątem 20° w kierunku SE utworach – stoku (Oszczypko i in., 2002). Warstwy magurskie są wykształcone jako piaskowce średnio- i gruboławicowe, przeławicane łupkami marglistymi. Stosunek piaskowców do łupków jest zmienny w profilu (Chowaniec i in., 2012). Niższe partie stoku są zbudowane z marglistych łupków podmagurskich, a miejscami margli przeławicanych drobnoziarnistymi piaskowcami (Ryłko, Paul, 2014a). Wspomniane wyżej litotypy są wieku eoceńskiego.

Osuwisko w Lachowicach (ryc. 2) zajmuje powierzchnię ok. 11,5 ha, ma długość 470 m, szerokość 320 m i zaznacza się w nim wyraźna dychotomia. Ulegało kilkukrotnemu odmładzaniu na początku XXI w. (głównie w części zachodniej i północno-zachodniej). Elementy rzeźby osuwiskowej są dobrze widoczne zarówno w terenie, jak i na NMT opracowanym na podstawie danych z ALS (ryc. 2E). W części północno-zachodniej osuwisko rozpoczyna się serią skarp o wysokości dochodzącej do 3 m (ryc. 2C), które są wynikiem propagacji osuwiska w górę stoku w trakcie kolejnych epizodów odmładzających. Obecnie osuwisko sięga wysokości 553 m n.p.m. Skarpy, które powstały podczas aktywacji osuwiska w latach 2002–2010 (Chowaniec i in., 2012), nie zaznaczają się na różnicowym modelu terenu przy pominięciu wartości od –2,5 do 2,5 m, bardzo wyraźnie zaznacza się jednak nisza, która utworzyła się w 2001 r., a jej głębokość miejscami sięga 10 m (ryc. 2F). Od południowego-zachodu osuwisko ogranicza wyraźna skarpa boczna o prostoliniowym przebiegu, która kontynuuje się na odcinku ok. 200 m i zanika dopiero w miejscu pojawienia się wyraźnego progu akumulacyjnego. Środkowa część odmłodzonego w 2001 r. fragmentu osuwiska ma charakter niemal niezaburzony, natomiast cały ten obszar jest obniżony o kilka metrów w stosunku do stoku poza osuwiskiem. W dolnej (południowej) części osuwiska powstał wyraźny wał akumulacyjny, który od strony zachodniej spiętrzył się na stoku do wysokości nawet 15 m, co bardzo dobrze obrazuje różnicowy model terenu (ryc. 2F), a w środkowej części wtargnął jezorem na taras rzeczny Lachówki (ryc. 2A, D), co w przeszłości doprowadziło do powstania jeziora zaporowego (ślady tego zbiornika są widoczne na mapie topograficznej w układzie PL-1992, ryc. 2B). W celu udrożnienia przepływu Lachówki koryto

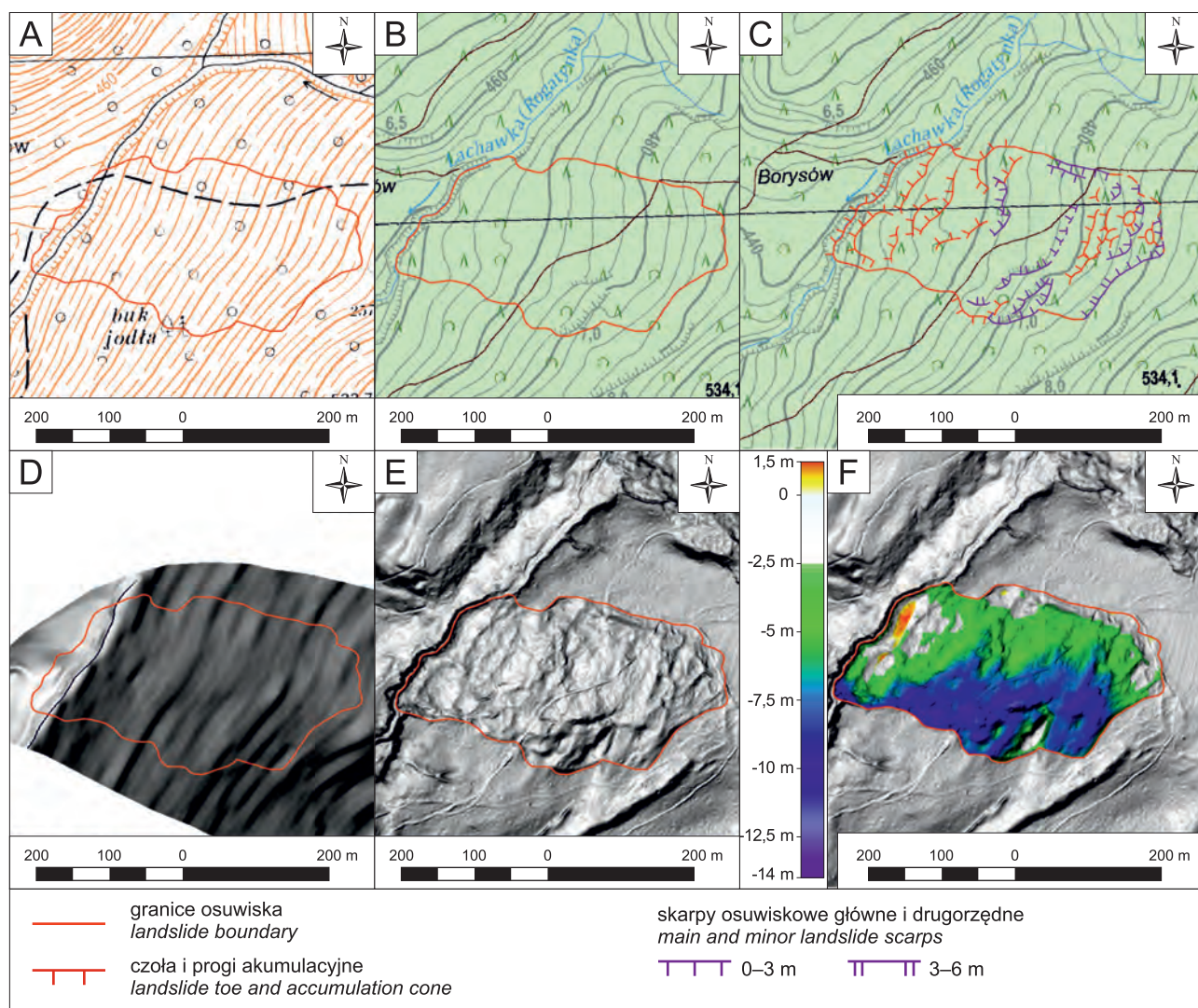
cieku zostało przesunięte w kierunku południowo-wschodnim, co można zaobserwować zarówno na mapach topograficznych, jak i numerycznych modelach terenu. Północno-wschodnia część osuwiska nie ulegała w XXI w. znacznemu uaktywnieniu, stąd jej rzeźba jest znacznie mniej wyraźna, a określenie zasięgu w terenie i na NMT jest silnie utrudnione. Górna część tej strefy osuwiska rozpoczyna się rachityczną skarpą, która przebiega na wysokości ok. 520 m n.p.m., a ze względu na rolnicze przekształcenie tego terenu jest ona niemal niewidoczna. Środkowa i dolna część wschodniej strefy osuwiska jest prawie całkowicie pozbawiona typowej rzeźby osuwiskowej, a od zachodniej, uaktywnionej części osuwiska rozdziela ją wyraźna, dochodząca do ok. 6 m dolinka wciosowa. Pomimo że wschodnia część osuwiska nie wykazuje śladów powierzchniowych przemieszczeń, to instrumenty pomiarowe odnotowały również w tej części niewielkie ruchy rzędu kilku centymetrów na rok (Nescieruk i in., 2014, 2024). Osuwisko w Lachowicach jest typowym zsuwem translacyjnym, a jego powierzchnia poślizgu udokumentowana w części wschodniej na głębokości 17 m (Nescieruk i in., 2014), w części zachodniej sięga prawdopodobnie głębiej (co najmniej do głębokości 20 m).

Osuwisko w Kuźminie

Osuwisko jest położone w lesie obok miejscowości Kuźmina (gmina Bircza), pomiędzy przysiółkami Rzeki i Borysów, na terenie Pogórza Przemyskiego (Solon i in., 2018). Data jego powstania lub uaktywnienia nie jest znana, ale porównanie map topograficznych (ryc. 3A, B), wskazuje na wyraźne przesunięcie koryta cieku na odcinku występowania osuwiska, co sugeruje jego powstanie lub uaktywnienie w latach 1981–2023. Osuwisko było również oznaczone na *Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski 1 : 50 000*, ark. Tyrawa Wołoska, dla opracowania której prace były prowadzone na początku lat 90. XX w. (Malata i in., 2016). W 2013 r. osuwisko zarejestrowano w bazie SOPO pod numerem 52 475 jako nieaktywne (Kos i in., 2013). Osuwisko objęło znaczną część stoku o ekspozycji północno-wschodniej, przesuując koryto Lachawki (Rogatki Lachowskiej, Rogatynki) na zachód i powodując przewężenie doliny cieku na długości ok. 230 m (ryc. 3E).

Osuwisko rozwinęło się w obrębie warstw hieroglifyowych wieku eoceńskiego, które tworzą tu element tektoniczny określany jako drugorzędnie sfałdowany fałd Wary-Chwaniowa, stanowiący część jednostki skolskiej (Malata, Rączkowski, 1996). Warstwy hieroglifyowe są wykształcone jako cienkoławicowy flisz, na który składają się drobnoziarniste, glaukonitowe piaskowce, przeławicane bezwapnistymi łupkami, które często nieznacznie dominują w profilu nad piaskowcami. W rejonie osuwiska warstwy zapadają pod kątem 20–24° w kierunku zachodnim, co czyni stok, na którym powstało osuwisko, w przybliżeniu konsekwentnym (Malata i in., 2016).

Osuwisko ma powierzchnię 7,4 ha, osiąga 390 m długości i 240 m szerokości (ryc. 3). W części południowo-wschodniej zaczyna się wyraźną skarpą główną o łukowatym przebiegu i wysokości do 5 m, która sięga do wysokości 503 m n.p.m., po czym w kierunku północnym przechodzi w szereg półkolistych, wąskopromiennych i słabo widocznych skarp (ryc. 3C). Teren znajdujący się bezpośrednio powyżej skarpy głównej jest nieznacznie obniżony, co



Ryc. 3. Obszar osuwiska w Kuźminie przedstawiony na różnych podkładach: **A** – mapa topograficzna w układzie PL-1965 z 1981 r.; **B** – mapa topograficzna BDOT10K w układzie PL-1992 z 2023 r.; **C** – szkic z rzeźbą osuwiska; **D** – NMT (cieniowanie nachylenia) opracowany na podstawie mapy w układzie PL-1965 z 1981 r.; **E** – NMT (cieniowanie nachylenia) zastosowany w mapie BDOT10K (opracowany na podstawie danych ALS) w układzie PL-1992 z 2023 r.; **F** – RNMT osuwiska dla okresu 1981–2023

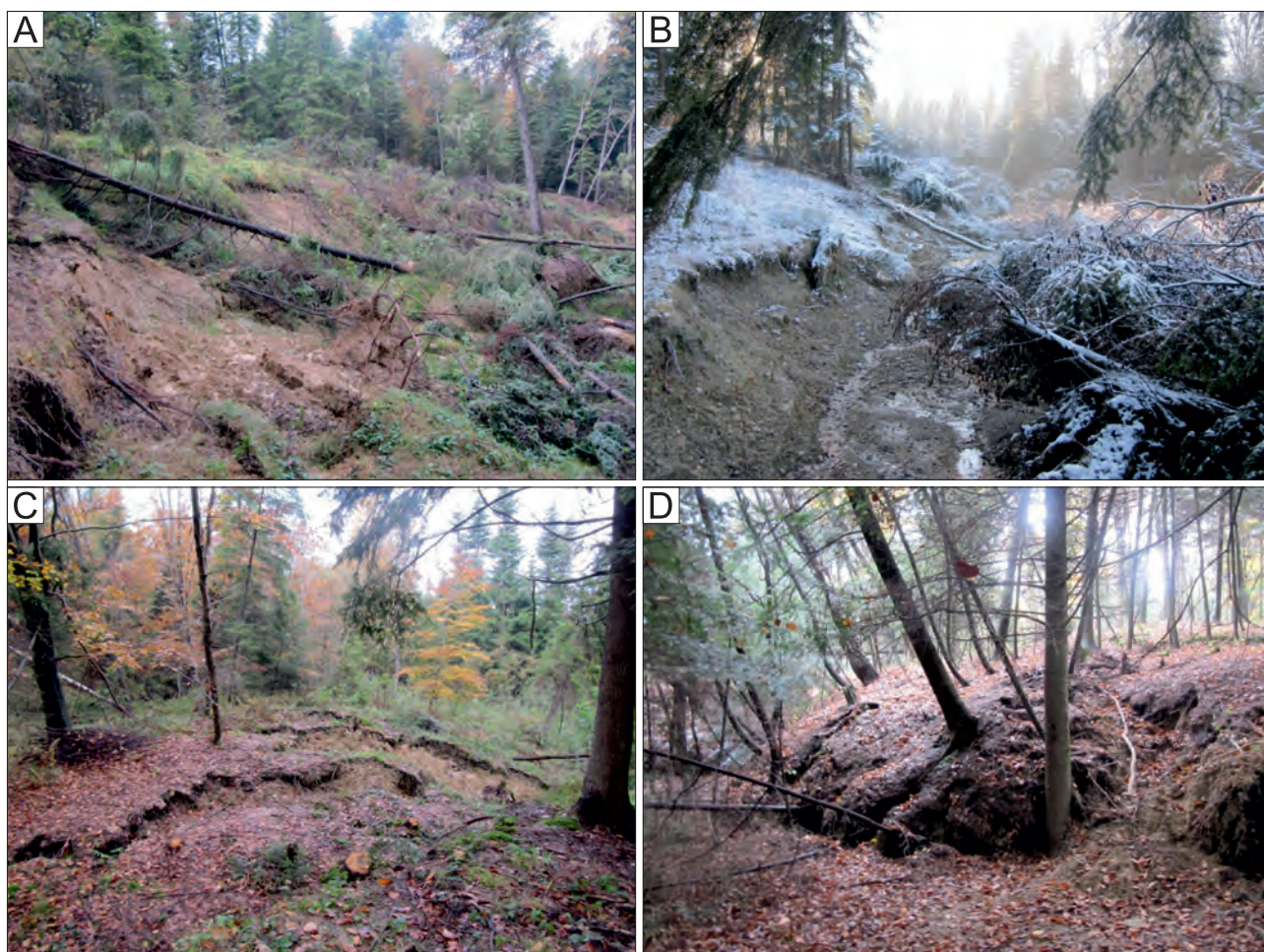
Fig. 3. Different visualizations of the Kuźmina landslide area: **A** – topographic map from 1981, PL-1965 Coordinate System; **B** – topographic map BDOT10K from 2023, PL-1992 Coordinate System; **C** – landslide relief sketch; **D** – DTM (slope shader) generated from the 1981 topographic map, PL-1965 Coordinate System; **E** – DTM (slope shader) used in the BDOT10K map (based on ALS data) from 2023, PL-1992 Coordinate System; **F** – DoD of the landslide for the period 1981–2023

może być efektem odprężenia stoku po zejściu osuwiska i stanowić stadium inicjalne formowania się nowej niszy i propagacji osuwiska w górę stoku. Północną granicę osuwiska stanowi podwójna skarpa boczna o wysokości do 3 m, która w niższej (zachodniej) części osuwiska jest obciążona pagórem akumulacyjnym o wysokości ok. 1 m (słabo zaznaczonym na RNMT), wypchniętym na niezaburzony stok. Południowo-wschodnią część osuwiska tworzy kilka skarp o układzie progowym. Dolna część osuwiska jest zdominowana przez liczne nabrzmienia terenu, progi i pagóry akumulacyjne. Niemal cały obszar osuwiska na RNMT (ryc. 3F) jest zobrazowany jako strefa obniżenia, z maksymalnymi wartościami rzędu 14 m. Strefa akumulacji zaznacza się w zasadzie jedynie w zachodniej części osuwiska, w formie poprzecznej listwy o wysokości ok. 1 m, odpowiadającej swojej lokalizacją odcinkowi przewężonej doliny rzecznej. Osuwisko w znacznej mierze jest typowym zsuwem translacyjnym, a tylko w niewielkiej części

na południowym wschodzie nabiera cech charakterystycznych dla ruchu rotacyjnego. Jego miąższość może sięgać ok. 20 m.

Osuwisko w Brodach

Osuwisko jest zlokalizowane w miejscowości Brody, w gminie Kalwaria Zebrzydowska, na południe od przysiółka Solca za Lasem, w obrębie mezoregionu Pogórze Wielickie (Solon i in., 2018). Powstało w 2010 r., prawdopodobnie w okresie intensywnych i długotrwałych opadów majowych, co zostało odnotowane przez Kosa i in. (2011a, b) w bazie SOPO (nr 20 263). Rozwinęło się na stoku o ekspozycji północnej, pomiędzy dwoma niewielkimi dolinkami wcosowymi. Objęło swym zasięgiem niemal cały stok (bez partii przyszczytowej), a jezór osuwiskowy zsunął się na taras rzeczny, przesuując koryto dopływu Solczanki w kierunku północnym. W trakcie powstania osuwiska



Ryc. 4. Osuwisko w Brodach (Kos i in., 2011b): **A** – skarpa główna; **B** – rynnowy spływ w części wschodniej; **C** – pagór akumulacyjny z poprzecznymi szczelinami; **D** – jezioro osuwiskowe nasunięty na stok

Fig. 4. Landslide in Brody (Kos et al., 2011b): **A** – main scarp; **B** – a flow in the eastern part; **C** – accumulative cone with transverse cracks; **D** – landslide tip

zniszczeniu uległa znaczna część drzewostanu pokrywającego ten teren (ryc. 4).

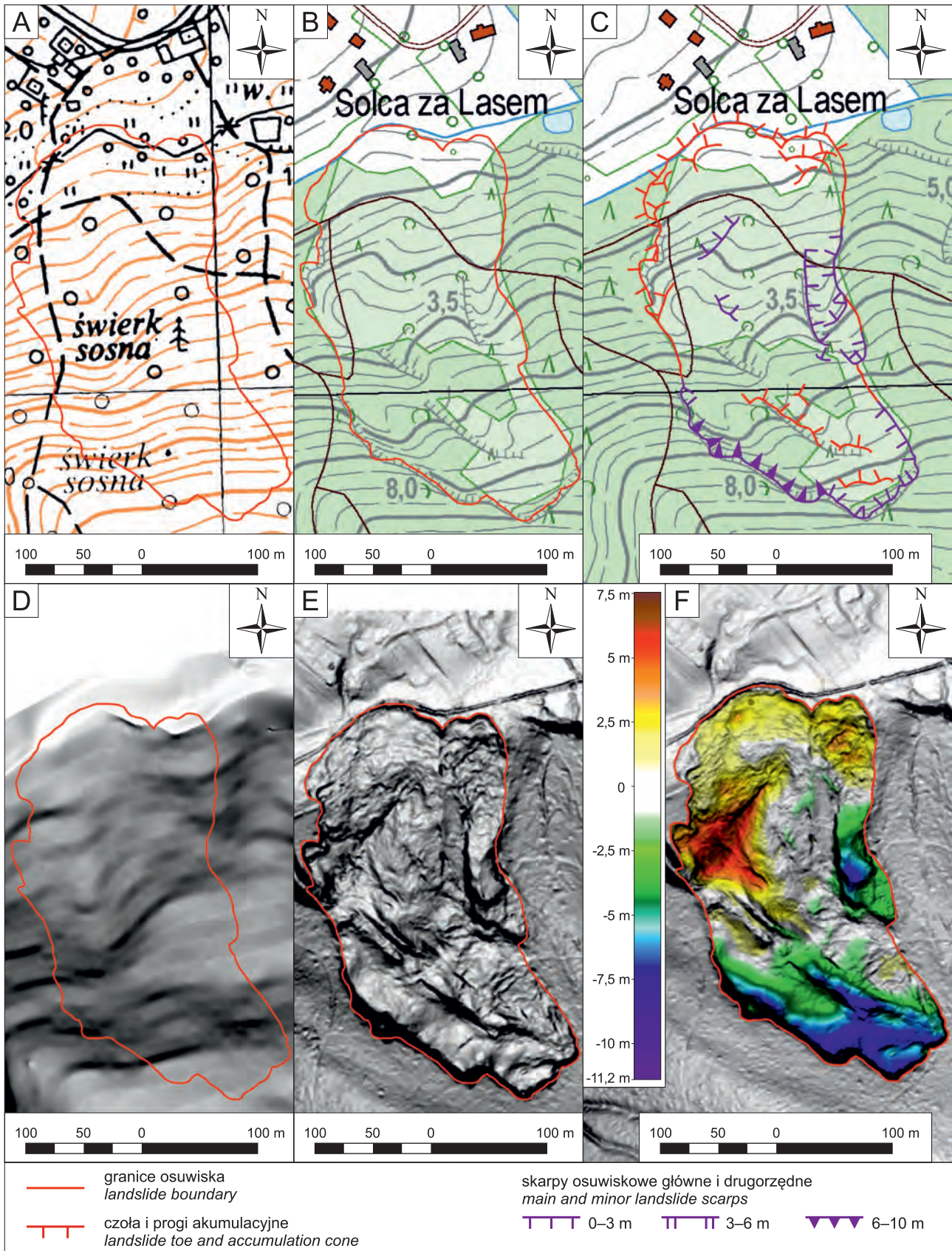
Osuwisko rozwinęło się w górnokredowych (mastrycht) utworach jednostki śląskiej, wykształconych jako warstwy istebniańskie dolne, które budują tu szerokopromienną synklinę Wysokiej–Zebrzydowic–Brodów (Ryłko, Paul, 2013, 2014b). Tworzą je średnioziarniste piaskowce gruboławicowe, gdzieniegdzie z soczewkami zlepieńców, przeławicane ilasto-piaszczystymi łupkami. Piaskowce wyraźnie dominują w profilu nad łupkami. W materiale koluwalnym przeważają gliny zwietrzelinowe, a w rejonie osuwiska nie ma dobrych wychodni do obserwacji parametrów zapadania, ale stok, na którym rozwinęło się osuwisko w przybliżeniu jest konsekwentny w stosunku do warstw podłoża.

Osuwisko w Brodach (ryc. 5) zajmuje powierzchnię ok. 5 ha, ma 360 m długości i 170 m szerokości. Rozpoczyna się wyraźną skarpią główną w części południowo-zachodniej, która osiąga wysokość do 10 m. Ten fragment osuwiska nosi cechy zsuwu rotacyjnego, zwieńczonego przemieszczonym pakietem o niewielkim stopniu zaburzenia. Osuwisko w tym fragmencie bardzo dobrze zaznacza się na różnicowym modelu terenu (ryc. 5F). W pozostałej części osuwisko nabiera charakteru spływowego, z powierzchnią koluwium w silnym stopniu zdeformowaną i zaburzoną (ryc. 5E). W tej części elementy rzeźby osuwiskowej

cechują się znacznie mniejszą wysokością względną i rozmiarami. Największe przemieszczenia pionowe zaszczyły w rejonie skarpy głównej (ryc. 4A), która w tej strefie osiąga wysokość do 6 m oraz w części dolnego stoku, gdzie doszło do spiętrzenia wału akumulacyjnego z poprzecznymi szczelinami (ryc. 4C, 5F) o wysokości ok. 8 m. We wschodnim fragmencie spływ ulega rozdzieleniu na dwie części, a strefą stanowiącą barierę jest wyraźnie wypukłony grzbiet, który prawdopodobnie nie uległ osunięciu. Jezory dwóch spływów łączą się na tarasie rzeczny, przy czym jezoro wschodniego, mniejszego spływu w formie wąskiej rynny (ryc. 4B) zatrzymał się ok. 5 m przed korytem cieku, podczas gdy zasadnicza część osuwiska wtargnęła znacznie dalej w obręb tarasu, przesuując koryto cieku w kierunku północnym (ryc. 5F). Jezoro osuwiska w jego północno-zachodniej części zatrzymał się na stoku (ryc. 4D). Osuwisko w Brodach jest formą złożoną – *complex* (Varnes, 1978) i nosi cechy zarówno spływu, jak i zsuwu rotacyjnego, a jego miąższość prawdopodobnie sięga co najmniej 15 m.

DYSKUSJA

Dla powodzenia procesu generowania NMT z map topograficznych do celów analizy ruchów masowych najistotniejszym etapem jest przegląd materiałów źródłowych. Niestety poważne ograniczenia w zakresie tej metody są



Ryc. 5. Obszar osuwiska w Brodach przedstawiony na różnych podkładach: **A** – mapa topograficzna w układzie PL-1965 z 1985 r.; **B** – mapa topograficzna BDOT10K w układzie PL-1992 z 2023 r.; **C** – szkic z rzeźbą osuwiska; **D** – NMT (cieniowanie nachylenia) opracowany na podstawie mapy w układzie PL-1965 z 1985 r.; **E** – NMT (cieniowanie nachylenia) zastosowany w mapie BDOT10K (opracowany na podstawie danych ALS) w układzie PL-1992 z 2023 r.; **F** – RNMT osuwiska dla okresu 1985–2023

Fig. 5. Different visualizations of the Lachowice landslide area: **A** – topographic map from 1985, PL-1965 Coordinate System; **B** – topographic map BDOT10K from 2023, PL-1992 Coordinate System; **C** – landslide relief sketch; **D** – DTM (slope shder) generated from the 1985 topographic map, PL-1965 Coordinate System; **E** – DTM (slope shder) used in the BDOT10K map (based on ALS data) from 2023, PL-1992 Coordinate System; **F** – DoD of the landslide for the period 1985–2023

spowodowane zarówno jakością map topograficznych (głównie warstwy poziomicowej), jak i samą specyfiką ruchów osuwiskowych, a także podłoża geologicznego.

Podczas kwerendy licznych map topograficznych w skali 1 : 10 000 w układzie PL-1965 stwierdzono, że znaczna ich część nie spełni zakładanej roli w generowaniu NMT. Treść map w zakresie wysokości bezwzględnej w znacznym stopniu odbiegała od map wygenerowanych na bazie danych z ALS również poza osuwiskiem. W efekcie, opracowany różnicowy model terenu wykazywał znaczne rozbieżności w rzeźbie terenu (nawet kilka metrów) zarówno w granicach osuwiska, jak i poza nimi. Kolejnym elementem wpływającym na przydatność mapy w procesie generowania NMT jest stopień jej generalizacji. Na terenach zurbanizowanych warstwa zawierająca poziomice jest często wizualizowana kosztem informacji o zabudowie lub infrastrukturze drogowej, co rodzi pewne trudności w związku z wymogiem kompletności informacji w zakresie przebiegu poziomicy na całym analizowanym obszarze. Największe wątpliwości budzą jednak mapy topograficzne przedstawiające zalesione, oddalone od zabudowy tereny. Wydaje się, że na takich obszarach stopień generalizacji poziomicy był tak duży, że treść mapy w tym aspekcie nie zawsze jest wiarygodna. Znaczenie odgrywa także rzeźba terenu, jaką poddaje się analizie. Większą możliwość szczegółowego i realistycznego przedstawienia rzeźby terenu daje długi i szeroki stok niż strefa leja źródłowego, wąska dolina lub skarpa tarasu rzeczno-geologicznego. Ze względu na powyższe czynniki zasadne jest porównywanie fragmentów mapy, co do których informacja o zmianach rzeźby terenu wywołanych ruchami masowymi dotyczy (poza poziomcami) również przebiegu cieków czy np. dróg.

Ze względu na cięcie poziomice stosowane na mapach w układzie PL-1965 w skali 1 : 10 000 – co 2,5 m – mniejsze deformacje terenu mogą nie być na nich zobrazowane. Co za tym idzie, mapa topograficzna jako źródło informacji o ruchach masowych będzie przydatna tylko dla osuwisk, w których doszło do znacznych, co najmniej kilkumetrowych przemieszczeń w pionie i obejmujących znaczną powierzchnię terenu (co najmniej kilka hektarów). Z tego powodu metoda znajdzie lepsze zastosowanie dla głębokich zsuwów rotacyjnych niż płytkich zsuwów translacyjnych lub spływów.

Typ litologiczny w podłożu osuwiska również może decydować o przydatności mapy topograficznej do generowania NMT. Analiza przedstawionych w artykule przypadków sugeruje, że RNMT lepiej oddaje zmiany w rzeźbie obszaru, gdzie dominują gruboławicowe piaskowce (ryc. 2, 5), niż terenów o zbliżonym udziale łupków i piaskowców lub o przewadze ogniw łupkowych (ryc. 3).

W niektórych przypadkach z NMT wygenerowanego na podstawie mapy topograficznej można wnioskować, czy epizod osuwiskowy był związany z fazą aktywacji istniejącego wcześniej osuwiska, czy był tożsamy z jego powstaniem. W przypadku osuwiska w Brodach (ryc. 5D) i Kuźminie (ryc. 3D) wydaje się, że doszło do ich powstania. Z kolei, pomimo że Oszczytko i in. (2002) 2001 r. uznali za datę powstania zachodniej części osuwiska w Lachowicach, to na NMT wygenerowanym z mapy z 1985 r. (ryc. 2D) zaznacza się wyraźnie wklęsły fragment stoku, z dominującym w jego dolnej partii progiem morfologicznym, co może sugerować występowanie już wcześniej osuwiska w tej części stoku, na co zwracali uwagę Chowaniec i in. (1975).

Różnicowe modele terenu dla osuwisk w Lachowicach (ryc. 2F) i Brodach (ryc. 5F) bardzo wyraźnie eksponują zarówno strefę oderwania (niszę), jak i strefę depozycji. W przypadku osuwiska w Kuźminie RNMT (ryc. 3F) obrazuje niemal jedynie obniżenie terenu, na prawie całej powierzchni osuwiska. W przypadku zsuwu translacyjnego może to być efekt osunięcia całego zbocza do doliny, która została częściowo zasypana, a koryto cieku przesunięte w kierunku zachodnim. Na dalszym etapie materiał z doliny był wymywany, a naruszona osuwiskiem część stoku ulegała systematycznemu osuwaniu do doliny. Być może jest to również specyfika obrazu RNMT dla obszarów o znacznym udziale skał łupkowych, które stanowią litosomy mniej zwarte, mniej odporne na wietrzenie fizyczne i nie tworzą form wypukłych o wybitnym reliefie. Największe znaczenie odgrywa tu jednak zapewne stopień generalizacji obszarów dolinnych na mapach w układzie PL-1965, skutkujący niedoszacowaniem szerokości i głębokości dolin na NMT, a w rezultacie mniejszymi przyrostami na różnicowym modelu terenu. Sytuację taką potwierdza RNMT dla osuwiska w Brodach (ryc. 5F), gdzie jezioro osuwiskowe o wysokości do 3 m, nasunięty na stok, jest znacznie wyraźniej podkreślony niż ponad 4-metrowe jezioro, które spłynęło do dna doliny.

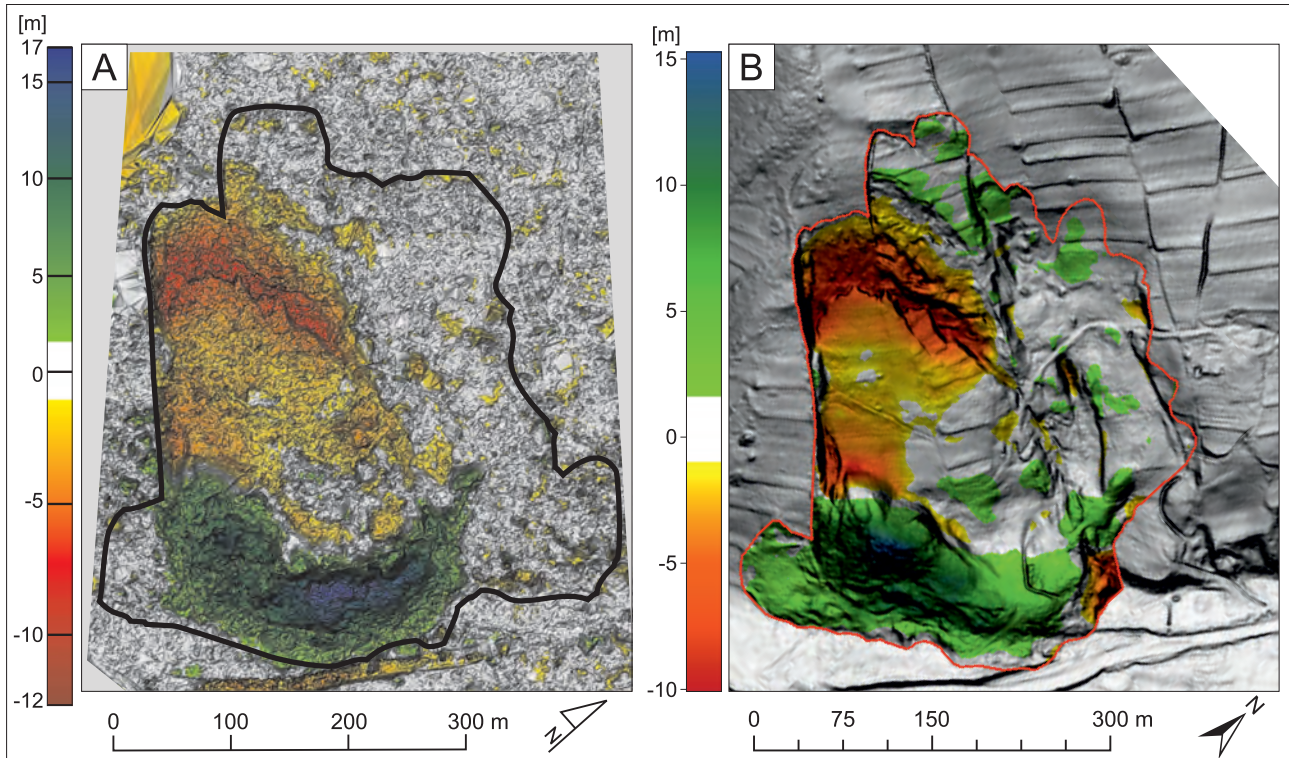
W celu weryfikacji metody pozyskiwania NMT z map topograficznych na przykładzie osuwiska w Lachowicach dokonano porównania różnicowego modelu terenu otrzymanego tą metodą z modelem różnicowym wygenerowanym na podstawie stereoskopowych zdjęć lotniczych, za pomocą analizy fotogrametrycznej (ryc. 6). Odwołano się tu do badań Karwackiego (2016), który opracował model różnicowy osuwiska w Lachowicach dla lat 1977–2003 (ryc. 6A). Zestawiono go z modelem różnicowym dla lat 1985–2021 (ryc. 6B), który dla lepszego porównania zwiualizowano skalą barw w przybliżeniu homogeniczną do tej, którą zastosowano w opracowaniu Karwackiego (2016).

Skala wysokości modelu różnicowego opartego na mapie topograficznej (ryc. 6B) jest pomniejszona o ok. 2 m zarówno dla wartości dodatnich, jak i ujemnych. W strefie czoła model wykonany na podstawie fotogrametrii obrazuje znacznie większą wysokość wału koluwalnego (zwłaszcza w części wschodniej), a centralna część modelu opartego na mapie topograficznej ukazuje mniej dyskretnych obniżzeń w zakresie do –2 m. Obydwa modele obejmują nieco inne okresy, można jednak stwierdzić, że analiza porównawcza modeli różnicowych uzyskanych na podstawie różnych danych źródłowych dała bardzo podobny obraz rozwoju osuwiska w Lachowicach.

WNIOSKI

Przy spełnieniu pewnych warunków mapy topograficzne mogą stanowić cenne źródło pozyskiwania danych do opracowania NMT, który stanowi bardzo dobre narzędzie w identyfikacji obszarów występowania powierzchniowych ruchów masowych. Wykorzystanie każdej mapy do tego celu powinno być jednak poprzedzone wnikliwą analizą zawartej na niej treści, typu i parametrów osuwiska, które ma być poddane analizie, jak również budowy geologicznej.

Mapy topograficzne w skali 1 : 10 000 w układzie PL-1965 pozwalają sięgnąć poza horyzont 2010 r., kiedy to doszło do ostatniej dużej katastrofy osuwiskowej, a dla okresu, który poprzedzał to wydarzenie, z reguły brak jest danych ALS. Perspektywa pozyskania danych o rzeźbie



Ryc. 6. Zestawienie RNMT osuwiska w Lachowicach dla różnych okresów, na podstawie różnych źródeł danych: **A** – model fotogrametryczny dla okresu 1977–2003 (Karwacki, 2016); **B** – model uzyskany na bazie mapy topograficznej z 1985 r. i danych ALS z 2021 r.

Fig. 6. Comparison of DoD of the Lachowice landslide for different time periods: **A** – photogrammetric DoD for the period 1977–2003 (Karwacki, 2016); **B** – model based on the topographic map from 1985 and ALS from 2021

terenu z 70. i 80. lat XX w. jest o tyle istotna, że w projekcie SOPO, który jest największą bazą osuwisk w Polsce, okres 50 lat jest czasem rozgraniczającym osuwiska okresowo aktywne od nieaktywnych, a kwalifikacja do jednej z tych grup może się wiązać z różnymi ograniczeniami i wymogami zawartymi w przepisach prawa miejscowego.

Numeryczne modele terenu opracowane na podstawie map topograficznych z ostatniego 50-lecia mogą przy spełnieniu pewnych uwarunkowań dawać podobny obraz, jak te opracowane z użyciem fotogrametrycznych modeli wysokościowych wykonanych na bazie stereoskopowych zdjęć lotniczych z podobnych lat.

Autor pragnie serdecznie podziękować dr. Sylwestrowi Kamieniarzowi i dr. Marcinowi Wódce za inspirację i nieocenioną pomoc w realizacji artykułu oraz anonimowym Recenzentom za cenne uwagi i wskazówki, które wpłynęły na ostateczny kształt publikacji.

LITERATURA

- AGLIARDI F., CROSTA G., ZANCI A. 2001 – A structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics. *Engineering Geology*, 59: 83–102.
- BUCAŁA A. 2012 – Współczesne zmiany środowiska przyrodniczego dolin potoków Jaszczce i Jamne w Gorcach. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 231.
- CARRARA A., CARDINALI M., DETTI R., GUZZETTI F., PASQUI V., REICHENBACH P. 1991 – GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16 (5): 427–445
- CEBULSKI J. 2014 – Zastosowanie naziemnego skanera laserowego (TLS) do oceny aktywności osuwisk, na przykładzie osuwiska Bodaki (Beskid Niski). *Landform Analysis*, 26: 105–113.
- CEBULSKI J. 2015 – Naziemny skanowanie laserowe jako narzędzie do określenia aktywności osuwiska. *Prace Studenckiego Koła Naukowego Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie*, 4: 12–20.

- CEBULSKI J. 2018 – Zastosowanie DoD do oceny ilości usuniętego materiału osuwiska przez potok. [W:] Bochenek W., Kijowska-Strugała M. (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Ocena funkcjonowania i kierunków zmian środowiska przyrodniczego Polski na podstawie badań stacjonarnych*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Stacja Badawcza IGiPZ PAN, Szymbark, 32: 83–88.
- CEBULSKI J. 2022 – Impact of river erosion on variances in colluvial movement and type for landslides in the Polish Outer Carpathians. *Catena*, 217, 106415.
- CEBULSKI J. 2023 – Quantitative changes in near-channel landslides caused by fluvial erosion in the light of high-resolution DEM. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 56–57: 31–50.
- CHOWANIEC J., KOLASA K., KOZIARA Z., NAWROCKA D., POPRAWA D., WITEK K., WYKOWSKI A. 1975 – Katalog osuwisk województwo krakowskie. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Oddział Karpacki, Kraków, nr inw. 3111, kat. R/184.
- CHOWANIEC J. (red.), WÓJCIK A. (red.), MROZEK T., RAČKOWSKI W., NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., MARCINIEC P., ZIMNAL Z., GRANOSZEWSKI W. 2012 – Osuwiska w województwie małopolskim. Atlas – przewodnik. Departament Środowiska, Rolnictwa i Geodezji Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego, Zespół Geologii, Kraków.
- DAGDELENLER G., NEFESLIOĞLU H. A., GOKCEOĞLU C. 2015 – Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: An application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75: 575–590.
- GRABOWSKI D., PRZYBYCIN A. 2010 – Działania resortu środowiska w zakresie systemu osłony przeciwosuwiskowej w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 58 (10): 941–938.
- GUDOWICZ J. 2008 – Metoda modelowania zasięgu wód wezbraniowych na równinie zalewowej na przykładzie doliny Parsęty. *Landform Analysis*, 8: 29–32.
- GUZZETTI F., CARRARA A., CARDINALI M., REICHENBACH P. 1999 – Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181–216.
- JAMES L.A., HODGSON M.E., GHOSHAL S., LATIOLAIS M.M. 2012 – Geomorphic change detection using historic maps and DEM

- differencing: The temporal dimension of geospatial analysis. *Geomorphology*, 137 (1): 181–198.
- JASKULSKI M., SZMIDT A. 2015 – Transformations in morphometry of valley bottom as a result of the creation of a reservoir illustrated with the example of Sulejów Lake. *Landform Analysis*, 27: 15–21.
- KARWACKI K. 2015 – Model czasowo-przestrzenny osuwiska na Zawodziu w Lachowicach. *Ogólnopolska konferencja O!suwisko*, 19–22 maja 2015 r., Wieliczka. Materiały konferencyjne: 36–37.
- KARWACKI K. 2016 – Zastosowanie modeli fotogrametrycznych w badaniach osuwiska w Lachowicach (Karpaty Zachodnie, Beskid Makowski). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 466: 115–122.
- KARWACKI K. 2019 – Zastosowanie bezzałogowego statku latającego (UAV) w monitoringu powierzchniowych ruchów masowych na przykładzie osuwiska w Kasince Małej (Beskid Wyspowy, Zewnętrzne Karpaty Zachodnie). *Przegląd Geologiczny*, 67 (5): 339–350.
- KOS J., BOROŃ K., GÓRKA K. 2011a – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gmina Kalwaria Zebrzydowska, pow. wadowicki, woj. małopolskie. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego*, Warszawa, nr inw. 5541/2012.
- KOS J., BOROŃ K., GÓRKA K. 2011b – Karta rejestracyjna osuwiska w miejscowości Zarzyce Wielkie (nr ewidencyjny 1218033-20263); <http://mapa.osuwiska.pgi.gov.pl>
- KOS J., BOROŃ K., GÓRKA K., BAŃ M., SOKALSKI J., KARDA B., WYDERSKI P. 2013 – Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000, gmina Bircza, pow. przemyski, woj. podkarpackie. *Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego*, Warszawa, nr inw. 1417/2015.
- KROCZAK R. 2010 – Geomorfologiczne i hydrologiczne skutki funkcjonowania dróg polnych na Pogórzu Ciężkowickim. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 225.
- KURCZYŃSKI Z., BAKUŁA K. 2013 – Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK. [W:] Kurczyński Z. (red.), *Geodezyjne technologie pomiarowe*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Warszawa: 59–68.
- MALATA T., GUCIK S., RĄCZKOWSKI W., SZYMAKOWSKA F. 2016 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Tyrawa Wołoska (1042). *Państwowy Instytut Geologiczny*, Warszawa.
- MALATA T., RĄCZKOWSKI W. 1996 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Tyrawa Wołoska (1042). *Państwowy Instytut Geologiczny*, Warszawa.
- MARCINIEC P., LASKOWICZ I., ZIMNAL Z., GRABOWSKI D., RĄCZKOWSKI W. 2015 – Problematyka osuwiskowa w działalności służby geologicznej i administracji publicznej. *Przegląd Geologiczny*, 63 (12/1): 1364–1372.
- MARZEC P., PASTERNAK C. 2010 – Naziemny i lotniczy skanowanie laserowe jako nowa technika pomiarowa. *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis*, 34: 39–47.
- MROZEK T., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A. 2012 – Zdarzenie osuwiskowe 2010 w świetle dotychczasowej rejestracji osuwisk. *II Polski Kongres Geologiczny*, 17–19 września 2012 r., Warszawa. *Materiały konferencyjne*: 61–62.
- NEŚCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI W., WARMUZ B., KOS J., CURYŁO J., KARWACKI K., DROŹDŹEWSKI M., ZAJĄC M., DACKA J. 2024 – Raport z prac monitoringowych przeprowadzonych w roku 2024 na osuwisku Lachowice. *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa; <https://mapa.osuwiska.pgi.gov.pl/sopo/>
- NEŚCIERUK P., WOJCIECHOWSKI W., RĄCZKOWSKI W., WARMUZ B. 2014 – Dokumentacja geologiczna z prac monitoringowych wykonanych na osuwisku w m. Lachowice. *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa; <https://mapa.osuwiska.pgi.gov.pl/sopo/>
- OSZCZYPKO N. 2006 – Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpacciego. *Przegląd Geologiczny*, 54 (5): 396–403.
- OSZCZYPKO N., GOŁONKA J., ZUCHIEWICZ W. 2002 – Osuwisko w Lachowicach (Beskid Zachodnie): skutki powodzi z 2001 r. *Przegląd Geologiczny*, 50 (10/1): 893–898.
- OZDEMIR A., ALTURAL T. 2013 – A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64: 180–197.
- PERSKI Z., BORKOWSKI A., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A. 2011 – Application of persistent scatterers interferometry for landslide monitoring in the vicinity of Rożnów Lake in Poland. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8 (3): 319–323.
- PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., BORKOWSKI A. 2014 – Monitoring of landslide dynamics with LIDAR, SAR interferometry and photogrammetry. Case study of Kłodne landslide (Southern Poland). *Proceedings of World Landslide Forum 3*, 2–6 June 2014, Beijing, 4 Discussion Session: 200–204.
- PRADHAN B., LEE S. 2010 – Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: Backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modelling & Software*, 25: 747–759.
- PROKOP P. 2007 – Degradacja środowiska przyrodniczego południowego skłonu Wyżyny Meghalaya, Indie. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 210.
- QIN C.-Z., BAO L.-L., ZHU A.-X., WANG R.-X., HU X.-M. 2013 – Uncertainty due to DEM error in landslide susceptibility mapping. *International Journal of Geographical Information Science*, 27: 1364–1380.
- RYŁKO W., PAUL Z. 2013 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Kalwaria Zebrzydowska (995). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa.
- RYŁKO W., PAUL Z. 2014a – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Lachowice (1013). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa.
- RYŁKO W., PAUL Z. 2014b – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Kalwaria Zebrzydowska (995). *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa.
- SOŁON J., BORZYSZKOWSKI J., BIDAŚK M., RICHLING A., BADORAK., BALON J., BRZEZIŃSKA-WÓJCIK T., CHABUDZIŃSKI Ł., DOBROWOLSKI R., GRZEGORCZYK I., JODŁOWSKI M., KISTOWSKI M., KOT R., KRAŹ P., LECHNIO J., MACIAS A., MAJCHROWSKA A., MALINOWSKA E., MIGOŃ P., MYGA-PIĄTEK U., NITAJ J., PAPIŃSKA E., RODZIK J., STRZYŻM., TERPIŁOWSKI S., ZIAJA W. 2018 – Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica*, 2 (91): 143–170.
- VANACKER V., VANDERSCHAEGHE M., GOVERS G., WILLEMS E., POESEN J., DECKERS J., DE BIEVRE B. 2003 – Linking hydrological, Infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds. *Geomorphology*, 52: 299–315.
- VARNES D.J. 1978 – Slope movements: type and processes. [W:] Schuster R. L., Krizek R. J. (red.), *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report, National Academy of Sciences, 176: 11–33.
- WAŁEK G. 2013 – Wykorzystanie programów Quantum GIS i SAGA GIS do budowy cyfrowego modelu wysokościowego zlewni Grajcarzka. *Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Socio-Oeconomica*, 14: 133–144.
- WIEJACZKA Ł., KROCZAK R., KIJOWSKA-STRUGAŁA M. 2012 – Methods for the assessment of changes in the bottom morphology of a mountain reservoir. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 46 (1): 41–50.
- WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., WÓJCIK A. 2015 – Wykorzystanie wysokościowych danych laserowych w badaniu osuwisk. *Ogólnopolska konferencja O!suwisko*, 19–22 maja 2015 r., Wieliczka. *Materiały konferencyjne*: 79–81.
- WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A. 2015 – Podatność i zagrożenia osuwiskowe na fragmencie wschodniego obrzeżenia Jeziora Rożnowskiego w świetle analiz różnicowych LIDAR. *Ogólnopolska konferencja O!suwisko*, 19–22 maja 2015 r., Wieliczka. *Materiały konferencyjne*: 81–82.
- 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. *Geological Quarterly*, 66 (1), 4; <http://dx.doi.org/10.7306/gq.1636>
- WÓDKA M., WOJCIECHOWSKI T., LASKOWICZ I., RUBINKIEWICZ J., ZIMNAL Z., GÓRKA K., MARCINIEC P., GRABOWSKI D., KAMIENIARZ S., KARWACKI K., KUŁAK M., SIKORA R. 2025 – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. *Wydanie II*. *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB*, Warszawa.
- YESILNACAR E., TOPAL T. 2005 – Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 75: 251–266.

Praca wpłynęła do redakcji 31.01.2026 r.
Akceptowano do druku 24.02.2026 r.