

## Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie osuwisk w aspekcie głębokości występowania powierzchni poślizgu

Jarosław Kos<sup>1</sup>, Antoni Wójcik<sup>1</sup>



J. Kos



A. Wójcik

**Geological and engineering documentation of landslides in terms of the depth of slip surface.** Prz. Geol., 70: 627–635.

*A b s t r a c t.* When conducting geological and engineering research, the most common statement is information that the landslide is shallow and should not pose a threat to the designed objects. In the case of large, structural landslides, this approach may lead, with the wrong determination of the deepest slip surface, to the occurrence of a construction disaster as a result of improper execution of the protection structure. The article presents specific locations of landslides with deep displacements in inclinometric columns exemplified by landslides monitored as part of the SOPO project in Tarnawa Górna, Slotowa and Międzybrodzie Bialskie – Łazki. The documented slip surfaces are found at depths of 19–42 m. Such deep displacements indicate that large, landslides reach significant thicknesses and such data should be presented

*in a geological and engineering documentation. It is proposed to modify the regulation on the execution of the geological and engineering documentation by adding a point regarding the documentation of landslides. If such an area exists, special requirements must be met when conducting geological surveys.*

**Keywords:** mass movements, landslide, landslide design procedure, monitoring of landslides, Fylsch Carpathians

Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie osuwisk wynika z występowania w podłożu warunków skomplikowanych, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych (Rozporządzenie, 2012).

Podczas prowadzenia badań geologiczno-inżynierskich niejednokrotnie zakłada się *a priori*, że powierzchnia poślizgu osuwiska znajduje się tuż poniżej powierzchni terenu. Takie sytuacje mają miejsce zazwyczaj podczas stwierdzania występowania osuwisk o niewielkich rozmiarach. W przypadku osuwisk dużych, strukturalnych takie podejście jest pobieżnym potraktowaniem tematu i może doprowadzić, przy błędnym określeniu najgłębszej powierzchni poślizgu, do powstania katastrofy budowlanej w wyniku niewłaściwego wykonania konstrukcji zabezpieczającej. Wiele inwestycji, dla których nie wykonano odpowiedniego rozpoznania geologicznego, zabezpieczano kolejny raz, ponieważ pierwotne zabezpieczenia okazywały się nieskuteczne (Wójcik, Kos, 2017). Wynikało to z faktu zbyt płytkiego udokumentowania powierzchni poślizgu, co skutkowało zaprojektowaniem nie wystarczająco głębokiej konstrukcji oporowej.

W artykule zostaną zobrazowane konkretne lokalizacje osuwisk ze stwierdzanymi przemieszczeniami wgłębnymi w kolumnach inklinometrycznych na przykładowych osuwiskach monitorowanych w ramach projektu SOPO (System Osłony Przeciwoświsowej). Przedstawione zostaną także tzw. dobre praktyki podczas prowadzenia badań geologiczno-inżynierskich na osuwiskach, wraz z propozycją modyfikacji rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej (Rozporządzenie, 2016).

### POWIERZCHNIE POŚLIZGU DOKUMENTOWANE W PROJEKCIE SOPO

W ramach projektu SOPO został założony system monitoringu powierzchniowego oraz wgłębnego na 60 wytypowanych osuwiskach (Grabowski i in., 2008). Przed instalacją systemu do pomiarów monitoringowych na konkretnym osuwisku opracowuje się projekt robót geologicznych (PRG), w którym optymalizuje się sposoby prowadzenia monitoringu i jego rodzajów. Następnie PRG jest zatwierdzany w odpowiednim organie administracji geologicznej. W kolejnym kroku wykonuje się pomiary geodezyjne mające na celu instalację reperów stanowiących punkty monitoringu powierzchniowego. Przeprowadzone kartowanie geologiczno-inżynierskie pozwala ocenić ryzyka uaktywnienia osuwiska i w punktach najbardziej zagrożonych instalowany jest ww. system.

System monitoringu wgłębnego opiera się na otworach wiertniczych, w których są instalowane kolumny inklinometryczne do badań przemieszczeń wgłębnych podłoża oraz piezometryczne do określenia zakresu wahań zwierciadła wody podziemnej. Podczas wykonywania wierceń są identyfikowane powierzchnie zlustrowań w rdzeniu, których aktywność w późniejszym okresie jest weryfikowana poprzez pomiary inklinometryczne. Na monitorowanych osuwiskach są także wykonywane badania geofizyczne. Dobrą praktyką jest prowadzenie ciągów geofizycznych wzdłuż osi podłużnej i poprzecznej osuwiska. Najczęściej wykorzystuje się metodę tomografii elektrooporowej.

Z uzyskiwanych rdzeni są pobierane próbki do badań laboratoryjnych. Należy je pozyskiwać ze stref osłabienia, gdzie zostały zidentyfikowane powierzchnie zlustrowań. Nawiercone utwory skaliste powinny być szczegółowo opisywane poprzez określenie rodzaju skały, stopnia spękania i zwietrzenia, rodzaju spękań i stopnia ich wypełnienia

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; jkos@pgi.gov.pl; awojcik@pgi.gov.pl

oraz obecności przewarstwień (Pinińska, 2003, 2004, 2007). Opis i klasyfikację nawierconych gruntów i skał należy prowadzić na podstawie norm PN-EN 1997-1 i PN-EN 1997-2 Eurokod 7 wraz z załącznikami.

Wynikami przeprowadzonych badań i pomiarów jest dokumentacja końcowa opracowywana najczęściej jako inna dokumentacja geologiczna lub dokumentacja geologiczno-inżynierska, co wynika z przepisów prawa geologicznego i górniczego (Obwieszczenie, 2022). Zamieszczane są w niej wyniki przeprowadzonych pomiarów z pierwszych serii pomiarowych. Po kolejnych pomiarach wykonuje się raporty z prowadzonych prac monitoringowych.

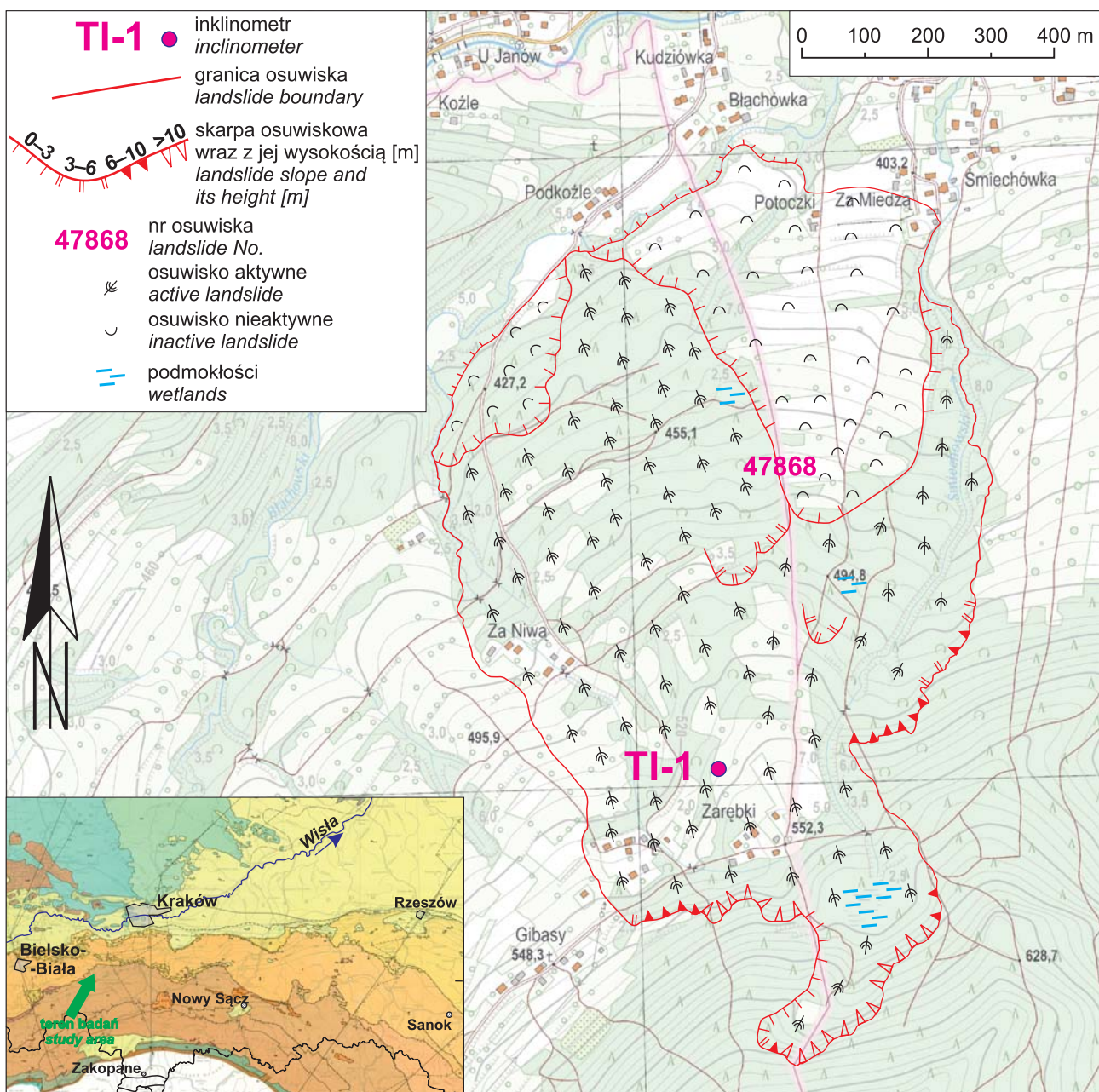
Przedstawiona metodyka prowadzenia badań jest wykorzystywana podczas monitorowania osuwisk w ramach projektu SOPO. Wieloletnie pomiary w sieci monitoringu powierzchniowego i wgłębego pozwalają na określenie wielkości i głębokości występujących przemieszczeń na

poszczególnych osuwiskach. Dla zobrazowania wielkości przemieszczeń przedstawiono kilka przykładowych osuwisk, gdzie zidentyfikowano głębokie powierzchnie poślizgu. Skupiono się na przemieszczeniach wgłębnych, które są dokumentowane podczas prowadzenia badań geologicznych i geologiczno-inżynierskich.

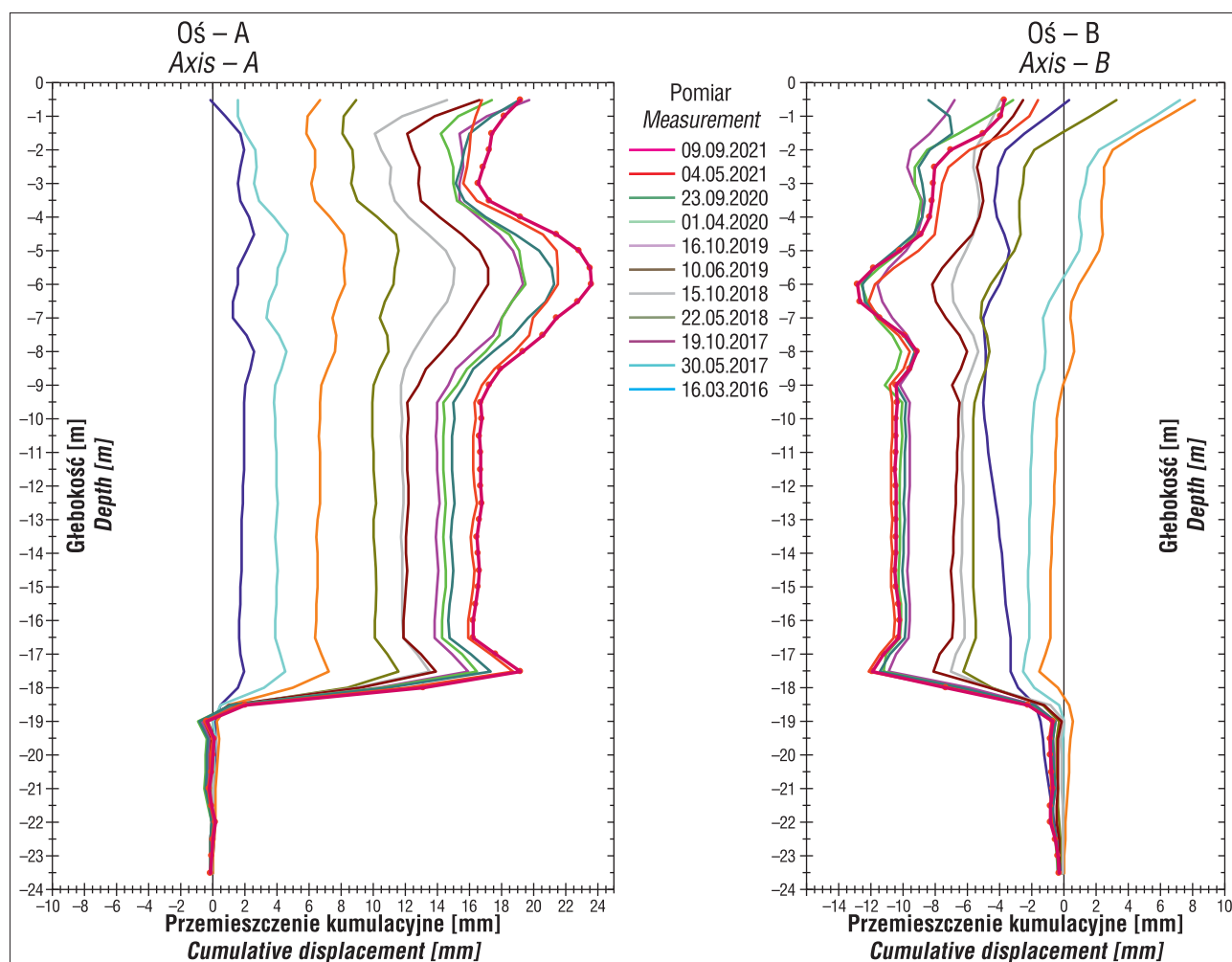
### OSUWISKO W TARNAWIE DOLNEJ

Osuwisko jest zlokalizowane na północnym stoku pasma wzgórz Żurawicy w Beskidzie Średnim (ryc. 1). Jest to stare strukturalne i głębokie osuwisko typu „drzemiącego”, uaktywniające się w częściach w sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych, które miały miejsce w latach 1997, 2001 (Nescieruk i in., 2014a).

Analiza danych archiwalnych wskazuje, że jest to osuwisko złożone, rozwinięte na kontakcie z kredowo-oligoceniowym podłożem. Jęzor osuwiska dochodzi bezpośrednio



Ryc. 1. Lokalizacja osuwiska w Tarnawie Górnej  
Fig. 1. Location of landslide in Tarnawa Górna



**Ryc. 2.** Skumulowane przemieszczenia wgłębne – Tarnawa Dolna TI-1 (wg Nescieruka i in., 2014a, zmienione)  
**Fig. 2.** Cumulated ground displacements – Tarnawa Dolna TI-1 (in Nescieruk et al., 2014a, modified)

do koryta potoku Tarnawka i jego dopływów. W powstających zagłębieniach terenu gromadzi się woda opadowa, tworząc okresowe oczka i podmokłości.

Na obszarze osuwiska zostały przeprowadzone badania geologiczne, w wykonanych otworach wiertniczych zamontowano 2 kolumny inklinometryczne (TI-1, TI-2) i 2 piezometryczne (TP-1, TP-2). Inklinometry, w nawiązaniu do sytuacji geologiczno-strukturalnej, zostały zainstalowane do głębokości 24,3 i 30,2 m. Wyniki przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych pozwoliły na określenie, że osuwisko ma kilka powierzchni poślizgu. Powierzchnie te są rozwinięte zarówno wewnątrz utworów koluwalnych, jak i na kontakcie rozlasowanych, zwietrzałych kompleksów występujących w postaci ilów i iłupków z nienaruszonym, kredowo-eoceńskim podłożem skalnym. W górnej części osuwiska zaobserwowano rysujące się szczeliny i obrywy gruntu (Nescieruk i in., 2014a).

Otwór TI-1 jest zlokalizowany w wyższej i zachodniej części osuwiska (ryc. 1). Obserwowane powierzchnie ścicia w rdzeniu wiertniczym znajdowały się na głębokościach 3,8; 6,5; 8,4; 14,8 i 19,1 m p.p.t. (Nescieruk i in., 2014a).

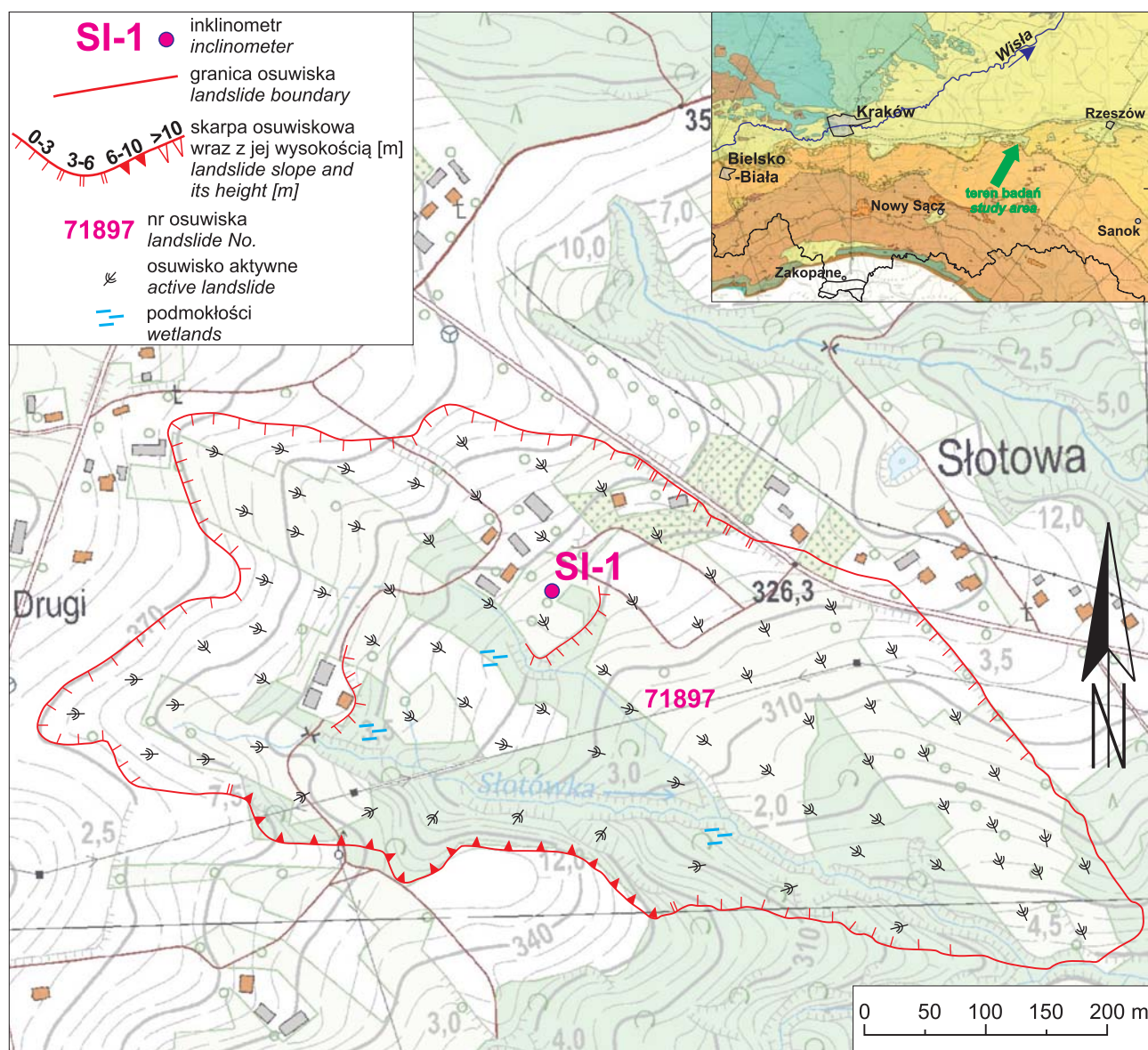
Pomiary monitoringu wgłębego są prowadzone na tym osuwisku od 2010 r. – w generalnym cyklu 2 pomiary w ciągu roku (ryc. 2). Analiza uzyskanych danych w początkowym okresie pomiarowym potwierdziła występowanie aktywnych powierzchni poślizgu na głębokości

19 m i w przedziale od 4 do 9 m p.p.t. Od początku prowadzonych prac monitoringowych dokumentowano stałe przemieszczenia, których wartości wynosiły do 10 mm w interwale pomiarowym. Maksymalna wartość przemieszczenia skumulowanego na przestrzeni 11 lat przekraczała 135 mm i występowała na głębokości ok. 6,5 m. W pomiarach była widoczna aktywność najgłębszej powierzchni poślizgu na 19 m p.p.t., przy jednoczesnej dynamice przemieszczeń płytkich (Nescieruk i in., 2014a).

Pomiary prowadzone po 2014 r. obrazują stały wzrost przemieszczenia, który w roku 2021 osiągnął skumulowaną wartość 23 mm wzdłuż osi AA i ok. 13 mm wzdłuż osi BB. Wyniki pomiarów inklinometrycznych wskazują na ciągłą aktywność powierzchni poślizgu w przedziale 4–9 m oraz 19 m p.p.t. (ryc. 2). Podczas prowadzenia pomiarów w 2022 r. w dalszym ciągu są rejestrowane przemieszczenia świadczące o aktywności osuwiska.

## OSUWISKO W SŁOTOWEJ

Jest ono zlokalizowane w miejscowości Słotowa, gminie Pilzno, powiecie dębickim, województwie podkarpackim, na wschodnich zboczach wzgórz o kulminacji 379,2 m n.p.m. (ryc. 3). Osuwisko należy do form starych, lecz uaktywniało się fragmentarycznie w latach 1997, 2001, 2004, a gdy było rejestrowane (2014 r.) zostało zaliczone do okresowo aktywnego (Nescieruk i in., 2014b).



Ryc. 3. Lokalizacja osuwiska w Słotowej  
Fig. 3. Location of landslide in Słotowa

Na obszarze osuwiska zostały przeprowadzone badania geologiczne i w wykonanych otworach wiertniczych zamontowano 2 kolumny inklinometryczne (SI-1, SI-2) i 2 piezometryczne (SP-1, SP-2). Otwory z inklinometrami zostały odwiercone od 27,5 do 28,0 m. Wyniki przeprowadzonych prac pozwoliły na określenie, że osuwisko ma kilka powierzchni poślizgu. Powierzchnie te rozwinęły się zarówno wewnątrz utworów koluwalnych, jak i na kontakcie rozlasowanych, zwietrzałych kompleksów fliszowych, których silne zaangażowanie tektoniczne jest związane ze strefami nasunięć i złuskowań. W górnej części osuwiska, poniżej skarpy głównej, zaobserwowano rysujące się szczeliny oraz niewielkie obrywy i przemieszczenia gruntu (Nescieruk i in., 2014b).

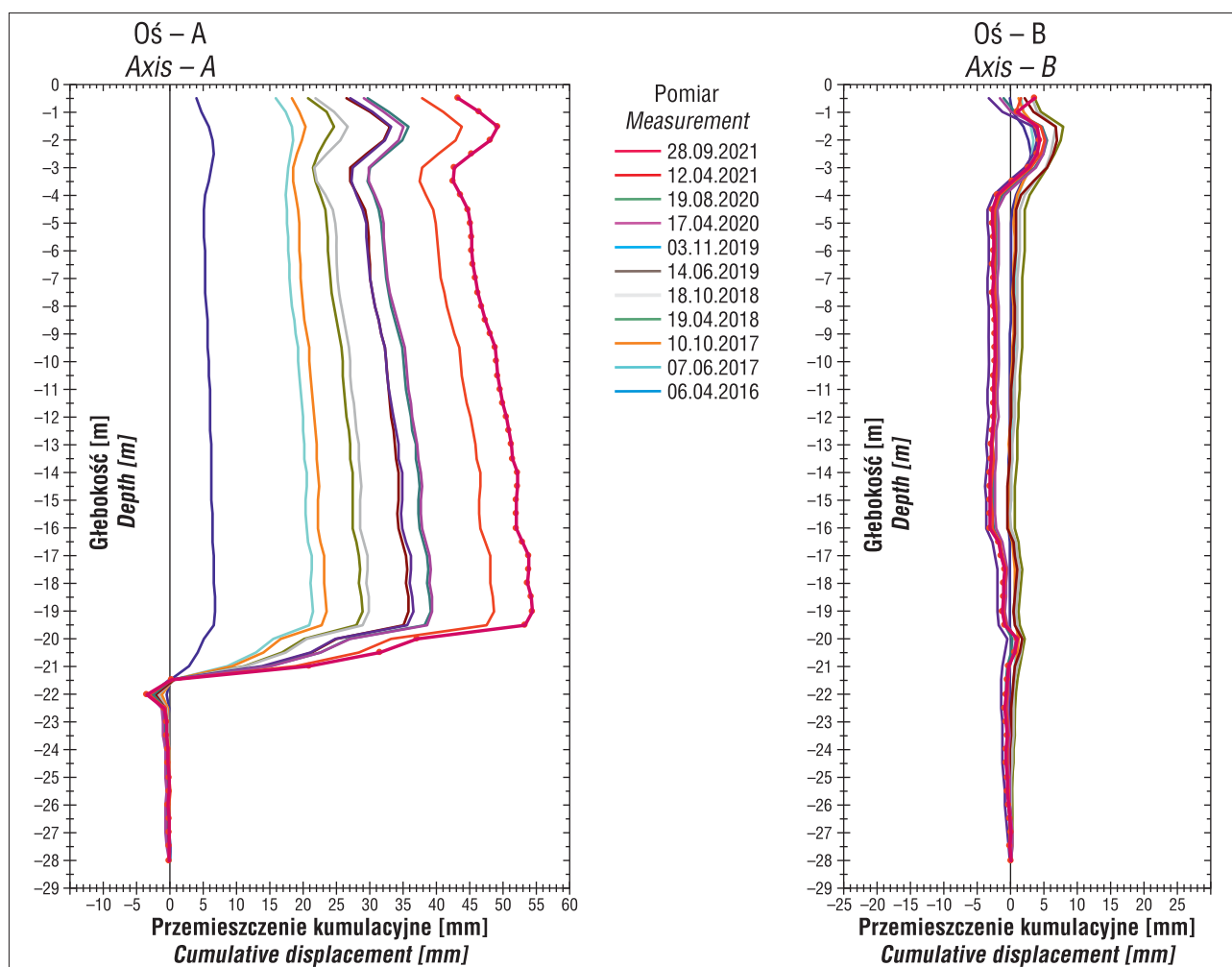
Pomiary monitoringu głębęnego są prowadzone na tym osuwisku od 2011 r. – w generalnym cyklu 2 pomiary w ciągu roku (ryc. 4). Analiza uzyskanych danych w początkowym okresie pomiarowym potwierdziła występowanie aktywnych powierzchni poślizgu na głębokości 5 m i 22 m p.p.t. Od początku prowadzonych prac monito-

ringowych dokumentowane były stałe przemieszczenia, których średnia prędkość zawierała się w przedziale 4,2–6,5 mm na rok. Maksymalna wartość przemieszczenia skumulowanego przekraczała 30 mm i występowała na głębokości ok. 22,0 m (Nescieruk i in., 2014b).

Pomiary prowadzone po 2014 r. wskazują na stały wzrost przemieszczenia, który w roku 2021 osiągnął skumulowaną wartość 54 mm wzdłuż osi AA i ok. 8 mm wzdłuż osi BB. Wyniki pomiarów inklinometrycznych obrazują ciągłą aktywność powierzchni poślizgu na 22 m poniżej powierzchni terenu (ryc. 4). W roku 2022 w dalszym ciągu są rejestrowane przemieszczenia świadczące o aktywności osuwiska.

#### OSUWISKO W MIĘDZYBRODZIU BIALSKIM – ŁAZKI

Jest ono zlokalizowane w Międzybrodzu Bialskim, przyosiółku Łazki, tuż nad jeziorem Międzybrodzkim (ryc. 5). Osuwisko było aktywne w przeszłości (Ziętara, 1968),



Ryc. 4. Skumulowane przemieszczenia w głębie – Słotowa SI-1 (wg Nescieruka i in., 2014b, zmienione)

Fig. 4. Cumulated ground displacements – Słotowa SI-1 (in Nescieruk et al., 2014b, modified)

a w późniejszym okresie do 2010 r. uważane było za nieaktywne (Nescieruk, Wójcik, 2014). Jego uaktywnienie nastąpiło w dniu 19 maja 2010 r., kiedy to intensywnymi ruchami została objęta prawie cała powierzchnia osuwiska (Wieczorek i in., 2010; Perski i in., 2019).

Osuwisko rozpoczyna się skarpią główną na wysokości 521 m n.p.m. o nachyleniu 35–40°, poniżej której znajduje się płytki (ok. 3 m) rów rozpadlinowy, ograniczony od zachodu niskim wałem. Od tego miejsca nastąpiło największe uaktywnienie w czerwcu 2010 r. Osuwisko schodzi w dół szeregiem aktywnych progów i skarpi, którym towarzyszyły szczeliny rozprzestrzenione na całą jego szerokość (Wieczorek i in., 2010).

Na obszarze osuwiska przeprowadzono badania geologiczne, a w wykonanych otworach wiertniczych zamontowano 5 kolumn inklinometrycznych i 3 piezometryczne. Otwory z inklinometrami zostały odwiercone zależności od ich lokalizacji od 25,8 m w dolnej części osuwiska do 45,0 m w części górnej. Wyniki przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych pozwoliły na określenie, że osuwisko jest rozwinięte w obrębie górnokredowych kompleksów piaskowcowo-lupkowych warstw godulskich. Jęzoro osuwiska schodzi poniżej poziomu zbiornika wody (Perski i in., 2019).

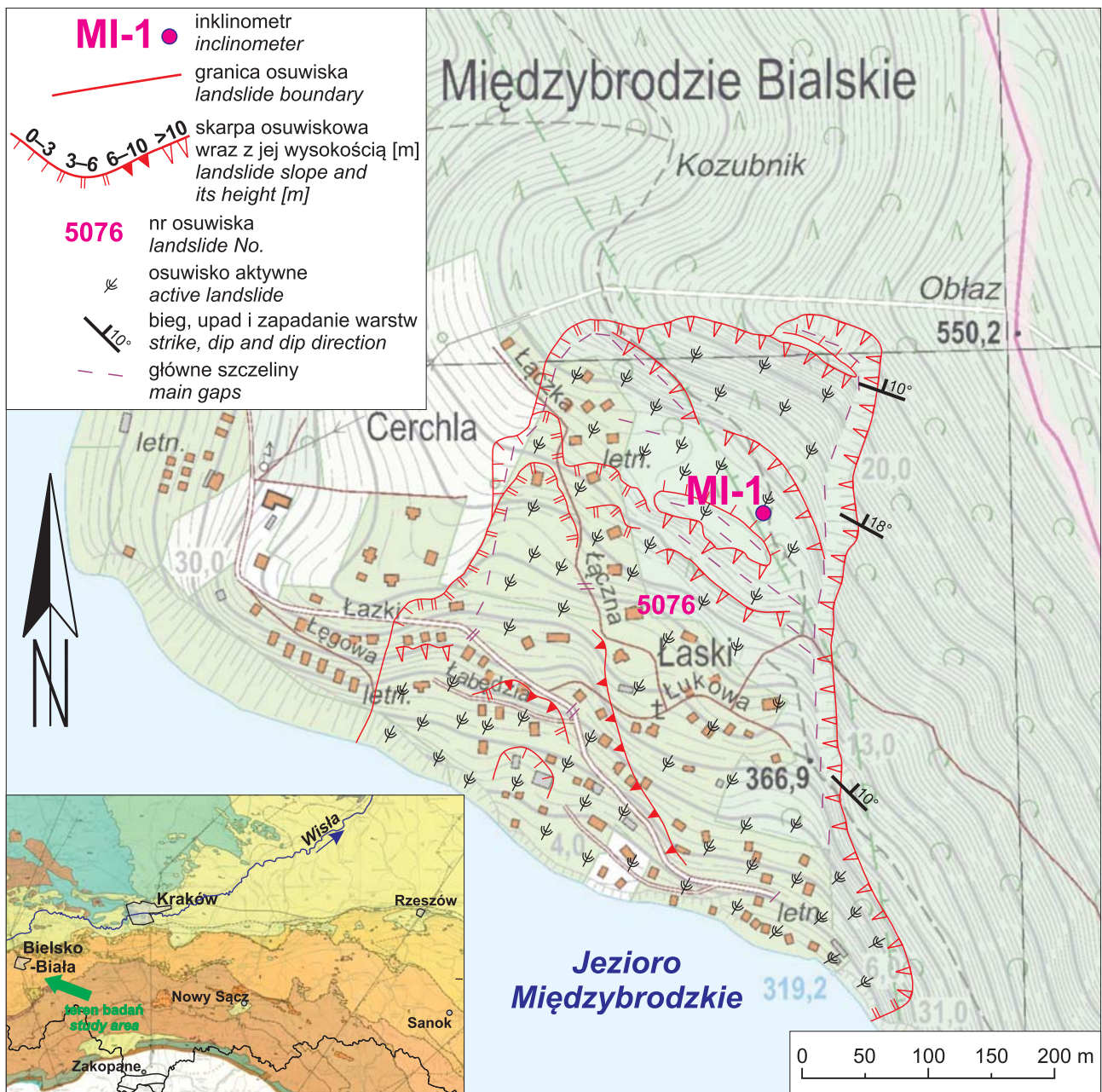
Obserwowane powierzchnie ścięcia w rdzeniu wiertniczym dla charakterystycznego inklinometru MI-1 (ryc. 6) zostały zidentyfikowane na głębokościach ok.: 18,5; 28,6

i 40,0 m (Nescieruk i in., 2013). Monitoring inklinometryczny jest prowadzony od 26 lipca 2011 r., kiedy został wykonany pomiar „zerowy”. Pomiary prowadzone są cyklicznie od 2011 r. do teraz – w generalnym cyklu 2 pomiary w ciągu roku (ryc. 6).

Wyniki pomiarów inklinometrycznych potwierdziły występowanie aktywnych powierzchni poślizgu na głębokościach 17,0–18,5 m oraz 40,0 m p.p.t. w inklinometrze MI-1. Po wykonaniu kilkunastu serii pomiarowych stwierdzono występowanie aktywnych stref przemieszczeń w przedziałach: 6,0; 17,0–18,5; 29,0–32,0 i 37,0–40,0 m p.p.t. (ryc. 6).

Od początku pomiarów zauważalny był stały wzrost przemieszczenia, który w 2022 r. osiągnął skumulowaną wartość 54 mm wzdłuż osi AA i ok. 52 mm wzdłuż osi BB. Wyniki pomiarów inklinometrycznych potwierdzają dalszą aktywność powierzchni poślizgu w granicach 26, 37 oraz 40 m p.p.t. Wartości pomierzone w 2022 r. wykazują stały wzrost przemieszczenia.

Przedstawione przykłady pomiarów inklinometrycznych na osuwiskach w Tarnawie Górnej, Słotowej i Międzybrodziu Białym – Łazkach wskazują jednoznacznie na występowanie przemieszczeń na znacznych głębokościach, które są rejestrowane od ponad 11 lat. Nie są to typowe przemieszczenia powierzchniowe, lecz mierzone na głębokościach rzędu 19–40 m p.p.t.

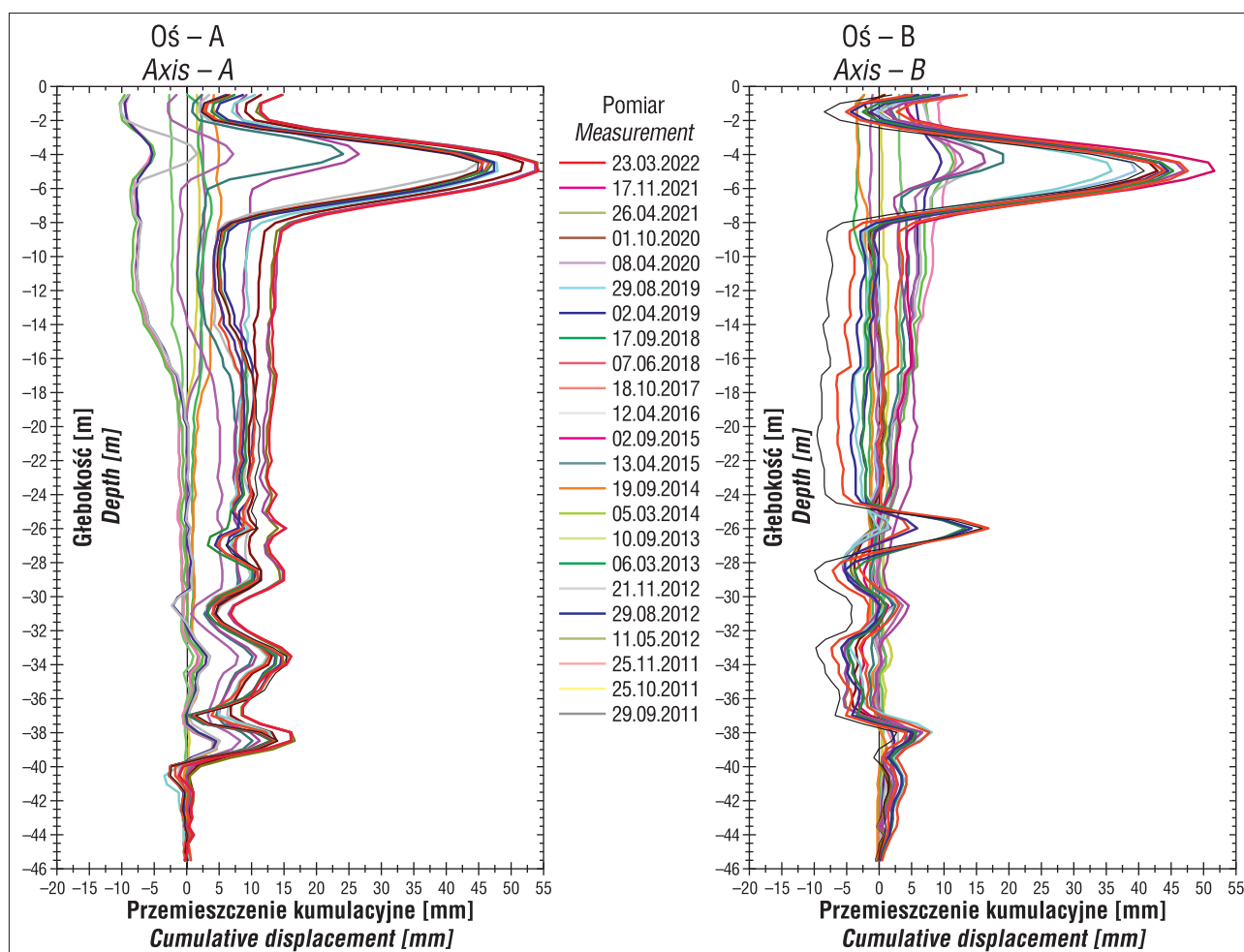


Ryc. 5. Lokalizacja osuwiska w Międzybrodziu Bialskim – przysiółek Łazki  
Fig. 5. Location of landslide in Międzybrodzie Bialskie – Łazki hamlet

#### DOBRE PRAKTYKI PRZY DOKUMENTOWANIU GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIM

Przedstawione przykłady udokumentowanych przemieszczeń oraz dane literaturowe potwierdzają występowanie głębokich powierzchni poślizgu na terenach osuwiskowych (Bober, 1984; Turner, Schuster, 1996; Bober i in., 1997; Margielewski, 2001; Wysokiński, 2011; Chowaniec, Wójcik, 2012; Nescieruk, Rączkowski, 2012; Zabuski, 2013; Wójcik i in., 2017; Kos, 2019; Wójcik, 2019). W związku z tym niezbędna jest szczegółowa analiza uwarunkowań środowiskowych podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego osuwiska. Sposób prowadzenia badań był już szeroko omawiany (Instrukcja GDDKiA, 1999; Frankowski i in., 2012; Wytyczne PKP, 2016; Wójcik, Kos, 2017; Kos, Wójcik, 2021), przy czym zwraca się uwagę na szczególne aspekty prowadzenia takich badań.

Podczas planowania badań geologiczno-inżynierskich na osuwiskach wykorzystuje się mapy osuwisk i terenów zagrożonych sporządzane w ramach projektu SOPO w skali 1 : 10 000. Należy mieć na uwadze, że stopień szczegółowości danych przedstawianych na mapach w tej skali jest znacznie mniejszy niż powinno to mieć miejsce w przypadku odwzorowań wielkoskalowych sporządzanych na potrzeby dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Co więcej, zarówno zasięg osuwiska wyznaczony na mapie, jak i sama karta osuwiska były zakładane najczęściej kilka-kilka lat temu, co rodzi pytanie o ich aktualność w kontekście licznych wydarzeń sprzyjających powstawaniu osuwisk (np. długotrwałe, obfite opady, cykle wiosennych roztopów, itp.), które miały miejsce od czasu zarejestrowania osuwiska w bazie. W związku z powyższym projekt robót geologicznych powinien uwzględnić przeprowadzenie w ramach dokumentacji kartowania geologiczno-inżynierskiego całego obszaru osuwiska. Prace kartograficzne



Ryc. 6. Skumulowane przemieszczenia w głębie – Łazki MI-1 (wg Nescieruka i in., 2013, zmienione)  
 Fig. 6. Cumulated ground displacements – Łazki MI-1 (in Nescieruk et al., 2013, modified)

powinny obejmować uszczegółowienie granic osuwiska, zwłaszcza w przypadku projektowanych inwestycji, jak również naniesienie na mapę geologiczno-inżynierską wszelkich form morfologicznych oraz elementów świadczących o przejawach ruchów masowych na badanym terenie, takich jak skarpy, obrywy, wybrzuszenia, spękania itp. W ramach obserwacji terenowych i wywiadów z mieszkańcami należy pozyskać wszelkie informacje mogące świadczyć o ewentualnych przejawach aktywności osuwiska od momentu jego rejestracji. Wszelkie inne elementy infrastruktury czy morfologii nie wynikające z występowania tu osuwiska (np. nasypy, antropogeniczne skarpy) powinny zostać również uwzględnione podczas kartowania, ponieważ mogą one wpływać zarówno pozytywnie, jak i negatywnie na rozwój przemieszczeń osuwiskowych. Szczegółowy zasięg osuwiska oraz informacje o jego aktywności mogą mieć decydujące znaczenie dla określenia stateczności terenu, a tym samym opłacalności inwestycji.

Należy weryfikować mapy SOPO pod względem aktualności danych. W wykonywanych dokumentacjach geologiczno-inżynierskich bardzo często przerysowywany jest zasięg osuwiska z mapy w skali 1 : 10 000 na mapę dokumentacyjną w skali 1 : 500. Taki proceder nie powinien mieć miejsca. Zasięg osuwiska wg bazy SOPO powinien być przedstawiony na etapie opracowania projektu robót geologicznych, natomiast na etapie wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej należy udokumentować

obszar osuwiska, a co za tym idzie należy wskazać jego zasięg po przeprowadzonych badaniach geologicznych.

Podczas opiniowania dokumentacji geologiczno-inżynierskich (DGI) dla osuwisk w wielu przypadkach zauważa się niechęć autorów opracowań do przeprowadzenia kartowania geologiczno-inżynierskiego. Pojawiają się zapisy, że kartowanie objęło tylko teren działki albo nie było możliwe do przeprowadzenia. W przypadku projektowania inwestycji na osuwisku kartowanie geologiczno-inżynierskie jego całej powierzchni i stref buforowych jest niezbędne. Ma ono na celu określenie dynamiki przemieszczeń i porównanie danych zebranych podczas wykonywania mapy SOPO z obecnie prowadzonymi pracami dokumentacyjnymi. Jeśli widoczne są uaktualnienia części osuwiska, będzie to stanowić podstawę do przeprowadzenia analizy ryzyka uruchomienia procesów osuwiskowych. To geolog dokumentujący obszar inwestycji powinien określić ryzyka geologiczne jakie są związane z projektowaną inwestycją. Powinien wskazać jednoznaczne informacje dla projektanta, który będzie opracowywał projekt budowlany. I takim podstawowym elementem analizy ryzyka jest kartowanie geologiczno-inżynierskie dla osuwiska i przeprowadzone roboty geologiczne.

W praktyce bardzo często spotyka się sformułowania, że to projektant ma ocenić zagrożenia geologiczne i podjąć decyzję o możliwości realizacji inwestycji. Bazuje on na danych geologicznych i jeśli będą one niepełne,

to popełnione błędy mogą się przyczynić do powstania w późniejszym okresie uszkodzeń obiektu. Inwestor powinien uzyskać przeprowadzaną przez geologa i projektanta analizę ryzyka geologicznego i projektowego, które pozwolą mu w ostateczności podjąć decyzję o możliwości realizacji inwestycji.

W związku z tym w nawiązaniu do Kosa i Wójcika (2021) postuluje się zmiany w prawie geologicznym dotyczące wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskich dla osuwisk. Podczas dokumentowania geologiczno-inżynierskiego dla różnych inwestycji należy zwrócić szczególną uwagę na obszary osuwiskowe i tereny zagrożone ruchami mas ziemi.

Propozycja rozszerzenia zakresu rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej (Rozporządzenie, 2016) dla dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby zabezpieczenia osuwiska, oprócz elementów wymienionych w § 19 ust. 1, powinna zawierać ponadto:

- szczegółowy opis rdzeni wiertniczych z identyfikowanymi powierzchniami ścięcia oraz strefami zlustrowań (podczas prowadzonego profilowania rdzenia należy określić pewne oraz przypuszczalne strefy zlustrowań, należy określić czy stwierdzone powierzchnie są zmineralizowane, co świadczy o aktywności tektonicznej na badanym obszarze itp.);

- ocenę stateczności osuwiska i terenu zagrożonego ruchami masowymi (początkowym elementem tej oceny jest kartowanie geologiczno-inżynierskie całego osuwiska i obszarów sąsiednich z oceną i skalą ewentualnych przemieszczeń, a także analiza uzyskanych danych z robót geologicznych);

- obliczenia stateczności (zaleca się przeprowadzenie obliczeń przynajmniej w jednym przekroju obliczeniowym zlokalizowanym w osi osuwiska, lub też wyjaśnienie dla małych osuwisk, że taka analiza nie jest konieczna. Aby takie obliczenia przeprowadzić należy wykonać przynajmniej wskaźnikowe badania wytrzymałości na ścinanie; Kiełbasiński i in., 2021);

- ocenę warunków wodnych na obszarze osuwiska i terenu zagrożonego ruchami masowymi wraz z określeniem wpływu wody na możliwość ich uaktywnienia (ocena powinna zawierać identyfikację kierunku przepływu wód podziemnych i powierzchniowych z oceną możliwości odprowadzenia wód poza strefę oddziaływania osuwiska, jak również analizę dostępnych wyników dynamiki opadów);

- wytyczne odnośnie lokalizacji projektowanego odwodnienia terenu z określeniem jego rodzaju i proponowanej głębokości usytuowania w przypadku drenażu wgłębnego;

- rodzaj i zakres proponowanego monitoringu osuwiska w trakcie prowadzenia robót budowlanych i po ich wykonaniu (monitoring powinien być uzależniony od skali przedsięwzięcia i wielkości szkód, jakie mogą powstać w przypadku uruchomienia osuwiska. Jego rodzaj należy proponować w opracowaniach geologicznych, aby projektant miał wytyczne geologiczne w zakresie skali i zakresu monitoringu);

- analiza ryzyka uruchomienia powierzchniowych ruchów masowych (jest to suma wcześniejszych informa-

cji, które pozwolą ocenić ryzyko uruchomienia powierzchniowych ruchów masowych po wykonaniu inwestycji na podstawie udokumentowanych danych geologicznych, porównawszy od kartowania geologiczno-inżynierskiego, przeprowadzeniu robót geologicznych i wykonaniu obliczeń stateczności. Powyższa analiza ryzyka powinna być podstawą dla inwestora, który będzie podejmował decyzję odnośnie wykonania projektowanego przedsięwzięcia).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Podczas prowadzenia badań geologicznych na terenach osuwiskowych istotną kwestią jest określenie zakresu projektowanych robót geologicznych. Najważniejszym zagadnieniem przy badaniu osuwisk jest rozpoznanie głębokości, przebiegu i kształtu powierzchni poślizgu. Wymaga to wykonania odpowiedniego rodzaju wierceń i uzyskania dobrej jakości rdzenia. Najczęściej na jednym osuwisku dokumentuje się kilka powierzchni poślizgu, które występują na różnych głębokościach, co wiąże się ze złożonym sposobem ruchu i ścinania. Przeważnie są to przebiegające głęboko powierzchnie poślizgu o kształcie cylindrycznym lub szuflowym. Przedstawione przykłady monitorowanych osuwisk wskazują na głębokie powierzchnie poślizgu, gdzie najczęściej występuje ich kilka o różnej wielkości przemieszczeń.

2. Właściwe określenie aktywnych i najgłębiej zalegających powierzchni poślizgu pozwala na skonstruowanie modelu obliczeniowego i dobranie optymalnej metody zabezpieczenia terenu osuwiskowego. Przebieg powierzchni poślizgu często nie jest determinowany głębokością zalegania podłoża skalnego pod utworami pokrywowymi. Rozpoznanie geologiczne powinno być uzależnione od wielkości badanego osuwiska oraz wpływu jego uruchomienia na potencjalne uszkodzenia/zniszczenia istniejących obiektów budowlanych oraz infrastruktury technicznej.

3. Należy weryfikować aktualność map SOPO. Zasięg osuwisk w dokumentacjach geologiczno-inżynierskich powinien odzwierciedlać obszary udokumentowane podczas prowadzonych badań. Błędem jest przerysowywanie zasięgu osuwiska z mapy w skali 1 : 10 000 na mapę dokumentacyjną w skali 1 : 500.

4. Właściwie wykonana dokumentacja geologiczno-inżynierska będzie podstawą dla projektanta do opracowania rozwiązań geotechnicznych w projekcie budowlanym. Inwestor powinien dysponować przeprowadzaną przez geologa i projektanta analizę ryzyka geologicznego i projektowego, które pozwolą mu w ostateczności podjąć decyzję o możliwości realizacji inwestycji.

5. W związku z tym należy zmodyfikować prawo geologiczne, aby nie dochodziło do sytuacji uszkodzeń obiektów budowlanych, które zostały zaprojektowane na podstawie niepewnych danych geologicznych. Postuluje się modyfikację rozporządzenia w sprawie wykonywania dokumentacji geologiczno-inżynierskich o dodanie punktu dotyczącego dokumentowania osuwisk. W przypadku występowania takiego obszaru należy spełnić wymogi specjalne stawiane dla obszarów osuwisk.

Autorzy serdecznie dziękują prof. Pawłowi Dobakowi za cenne uwagi i wskazówki, które wpłynęły na ostateczną wersję artykułu.



## LITERATURA

- BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną. *Biul. Inst. Geol.*, 340. Z badań geologicznych w Karpatach, 23: 115–153.
- BOBER L., THIEL K., ZABUSKI L. 1997 – Zjawiska osuwiskowe w Polskich Karpatach Fliszowych. *Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk*. Wydaw. IBW PAN, Gdańsk.
- CHOWANIEC J., WÓJCIK A. (red.) 2012 – *Osuwiska w województwie małopolskim – atlas, przewodnik*. Departament Środowiska, Rolnictwa i Geodezji Urzędu Marszałkowskiego, Zespół Geologii, Kraków.
- FRANKOWSKI Z., GODLEWSKI T., IRMIŃSKI W., ŁUKASIK S., MAJER E., NAŁĘCZ T., SOKOŁOWSKA M., WOŁKOWICZ W., CHADA K., CHOROMAŃSKI D., GAŁKOWSKI P., JAŚKIEWICZ K., JURYS L., KACZYŃSKI L., MADEJ M., MAJER K., PIETRZYKOWSKI P., SAMEL I., WSZĘDYRÓWNY-NAST M. 2012 – *Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb rekultywacji terenów zdegradowanych*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa; [http://geoportal.pgi.gov.pl/css/atlas\\_y\\_gi/images/publikacje/zasady\\_dokumentowania\\_warunkow\\_geoinz\\_Dla\\_potrzeb\\_rekultywacji\\_terenow\\_zdegradowanych.pdf](http://geoportal.pgi.gov.pl/css/atlas_y_gi/images/publikacje/zasady_dokumentowania_warunkow_geoinz_Dla_potrzeb_rekultywacji_terenow_zdegradowanych.pdf)
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A., ZIMNAL Z. 2008 – *Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- INSTRUKCJA obserwacji i badań osuwisk drogowych. GDDP, 1999.
- KIELBASIŃSKI K., DOBAK P., KACZMAREK Ł., KOWALCZYK S. 2021 – The Influences of Local Glacitectonic Disturbance on Overconsolidated Clays for Upland Slope Stability Conditions: A Case Study. *Appl. Sci.* 2021, 11, 10718. <https://doi.org/10.3390/app112210718>
- KOS J. 2019 – Stateczność stoków osuwiskowych na podstawie pomiarów inklinometrycznych oraz właściwości fizyczno-mechaniczne skał i gruntów na przykładzie osuwisk w Ochojnie i Starym Sączu. *Prz. Geol.*, 67 (5): 377–387.
- KOS J., WÓJCIK A. 2021 – Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie osuwisk na terenie fliszu karpackiego. *Prz. Geol.*, 69 (12): 825–834.
- MARGIELEWSKI W. 2001 – O strukturalnych uwarunkowaniach rozwoju głębokich osuwisk – implikacje dla Karpat fliszowych. *Prz. Geol.*, 49 (6): 515–524.
- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W. 2012 – Monitoring węglony osuwisk karpackich. [W:] *Geologia jedna?! II Polski Kongres Geologiczny*, Warszawa, 17–19 września 2012 r. Wyd. Geol. UW, PTG, Warszawa. Abstrakty: 63–67.
- NESCIERUK P., WÓJCIK A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WARMUZ B., DACKA J. 2013 – Dokumentacja geologiczna z prac monitoringowych wykonanych na osuwisku w m. Międzybrodzie Bialskie-Łazki. Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, Kraków; <https://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/Wyszukaj3>
- NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2014 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Bielsko-Biała (1012), wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WOJCIECHOWSKI T., WARMUZ B., MICHALSKI A., DACKA J. 2014a – Dokumentacja geologiczna z prac monitoringowych wykonanych na osuwisku w m. Tarnawa Dolna. Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, Kraków; <https://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/Wyszukaj3>
- NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WOJCIECHOWSKI T., WARMUZ B., MICHALSKI A., DACKA J. 2014b – Dokumentacja geologiczna z prac monitoringowych wykonanych na osuwisku w m. Słotowa. Państw. Inst. Geol., Oddział Karpacki, Kraków; <https://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO/Wyszukaj3>
- OBWIESZCZENIE Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 kwietnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo geologiczne i górnicze. *Dz.U.* z 2022 r. poz. 1072.
- PERSKI Z., NESCIERUK P., WOJCIECHOWSKI T. 2019 – Zagrożenia osuwiskowe dla sztucznych zbiorników wodnych w Karpatach. *Prz. Geol.*, 67 (5): 332–338.
- PINIŃSKA J. 2003 – Strukturalne uwarunkowania mechanizmów rozciągania i ścinania w skałach osadowych fliszu karpackiego. *Materiały II Sympozjum Mechaniki Zniszczenia Materiałów i Konstrukcji*, Augustów, 4–7 czerwca 2003. *Mat. konf.*, 311–314, Politechnika Białostocka.
- PINIŃSKA J. 2004 – Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część IV – Karpaty fliszowe. *Objaśnienia i interpretacja*. Wyd. Geol. UW.
- PINIŃSKA J. 2007 – Szczelinowatość masywów skalnych po 30 latach w świetle normy PN-EN ISO 14689-1 – badania geotechniczne, rozpoznanie i klasyfikacja skał. *Geologos*, 11: 43–57.
- PN-EN 1997-1 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. *Dz.U.* z 2016 r. poz. 2033.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. *Dz.U.* z 2012 r. poz. 463.
- TURNER A.K., SCHUSTER R.L. (red.) 1996 – *Landslides Investigation and Mitigation Special Report 247*. National Academy Press Washington, D.C.
- WÓJCIK A., KOS J., JURCZAK S. 2017 – Rozpoznanie i próby zabezpieczenia osuwiska w Kurowie (Pogórze Rożnowskie, Karpaty Zewnętrzne). *Prz. Geol.*, 65 (9): 576–585.
- WÓJCIK A., KOS J. 2017 – Osuwiska i zagrożenie budowli inżynierskich – sukcesy i porażki przy stabilizacji osuwisk w świetle wierceń i obserwacji inklinometrycznych na przykładzie Sadowia, Kąclowej i Kopca Kościuszki. XXXII Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji, 7–10 marca 2017 r. *Wisła*: 325–347.
- WÓJCIK A. (red.), KAMIENIARZ S., WÓDKA M., BIAJGO A., JANECZEK A., WALATEK M. 2019 – *Atlas Osuwisk Miasta Krakowa*. UM Kraków.
- WIECZOREK D., WÓJCIK A., NESCIERUK P. 2010 – Karta dokumentacyjna osuwiska (numer ewidencyjny 2417022-5076); <http://geoportal.pgi.gov.pl/portal/page/portal/SOPO> (dostęp 24 kwietnia 2022 r.).
- WYSOKIŃSKI L. 2011 – *Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń*. Wydaw. ITB, Warszawa.
- WYTYCZNE badań podłoża gruntowego dla potrzeb budowy i modernizacji infrastruktury kolejowej. PKP PLK S.A., Warszawa 2016.
- ZABUSKI L. 2013 – Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych. *Prz. Geol.*, 61 (4): 248–256.
- ZIĘTARA T. 1968 – Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. *Pr. Geogr. IG PAN*, 60: 1–116.

Praca wpłynęła do redakcji 13.06.2022 r.

Akceptowano do druku 5.08.2022 r.