

Dokumentowanie osuwisk i błędy w procesie inwestycyjnym na wybranych przykładach – czy stroma skarpa to osuwisko?

Jarosław Kos¹, Antoni Wójcik¹



J. Kos



A. Wójcik

Documenting landslides and errors in the investment process on based selected examples – is a steep slope a landslide? Prz. Geol., 74: 241–250; doi: 10.7306/2026.19

Redaktor prowadzący: Paweł Łukaszewski

Abstract. Documenting landslides in the investment process has undergone significant changes in recent years, and implementing durable and effective structural protection measures is becoming standard procedure on many construction sites. Landslide protection should be preceded by appropriate geological and engineering surveys, which are relatively advanced in most projects. The presented example of incomplete ground investigation at the design stage of a road shows the serious consequences of an incorrect assessment of geodynamic processes. Recently, especially within linear investments, landslides have been documented in areas where

they do not occur. This article presents anonymous locations of investment areas where documented landslides are not there. Steep slopes or spring cones are treated as landslides, through which linear investments pass. Such forms are documented as slip surfaces, leading to a significant cost increase resulting from the needed structural protection. Wide application of inclinometer measurements is a positive trend, especially important in landslide areas. It is crucial to report measurement errors and properly interpret the obtained results, along with an assessment of the landslide relief and the observed zones documented in boreholes. Individual inclinometer measurements should be compared with those from neighboring inclinometers, and appropriate decisions regarding landslide stabilization structures should be made based on displacement trends. However, it is important to locate inclinometers primarily on landslides and in areas exposed to geodynamic processes.

Keywords: mass movements, landslide, monitoring, inclinometer, Flysch Carpathians

Dokumentowanie osuwisk przed i w trakcie prowadzenia procesu inwestycyjnego niesie ze sobą liczne problemy związane z właściwą oceną procesów geodynamicznych. Wieloletnie doświadczenia skłaniają do wskazania problemów związanych z identyfikacją, jak również dokumentowaniem geozagrożeń (Kos, 2019; Kos, Wójcik, 2021). W ostatnich latach obserwowaliśmy, na dużą skalę, brak poprawnego dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (DGI) osuwisk, szczególnie w obrębie inwestycji liniowych czy też obiektów kubaturowych (Wysokiński, 2011; Wójcik, 2015; Wójcik i in., 2017; Wójcik, Kos, 2017). Takie sytuacje nadal występują, niemniej ich skala jest znacznie mniejsza, co wynika np. z wymogów inwestorów, aby na etapie wstępnym korzystać z bazy danych *Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej* (SOP), jak również większej świadomości wśród geologów i projektantów w zakresie potrzeby dokumentowania geozagrożeń (Wytyczne, 2018).

W ostatnim czasie, szczególnie w obrębie inwestycji liniowych, obserwuje się odmienny trend – dokumentowanie osuwisk na terenach, gdzie one nie występują. Osuwisko to forma geologiczna i podczas prac dokumentacyjnych należy określać wszystkie jej podstawowe elementy, począwszy od skarpy głównej, koluwium i czoła osuwiska, jako kluczowe składniki jego rzeźby. Jednak bardzo często strome skarpy czy też leje źródłiskowe cieków są traktowane jako obszary osuwiskowe. Dokumentowane są powierzchnie poślizgu nieistniejących osuwisk, co prowadzi do znacznego wzrostu kosztów inwestycji wynikających z konieczności wykonywania zabezpieczeń konstrukcyjnych.

Ze względu na potrzebę monitorowania osuwisk instalowane są inklinometry, co powoli staje się standardem na

obszarach osuwiskowych. Niestety bardzo często urządzenia te są instalowane poza obszarami osuwisk, a następnie uzyskiwane wyniki pomiarów są interpretowane jako przemieszczenia wglębne. Przy czym wartości te mieszczą się w granicach błędów pomiarowych, o których bardzo często wykonawcy nie wspominają w raportach/sprawozdaniach.

Przedstawione przykłady są anonimowe ze względu na zobrazowanie problemów, a nie wykazywanie błędów, ponieważ chcemy wskazać na potrzebę analizy ryzyka uruchomienia/powstania procesów geodynamicznych i zwracania uwagi przez wykonawców, a przede wszystkim inwestorów, na aspekty odpowiedniego dokumentowania geozagrożeń.

BRAK ROZPOZNANIA GEOZAGROŻEŃ

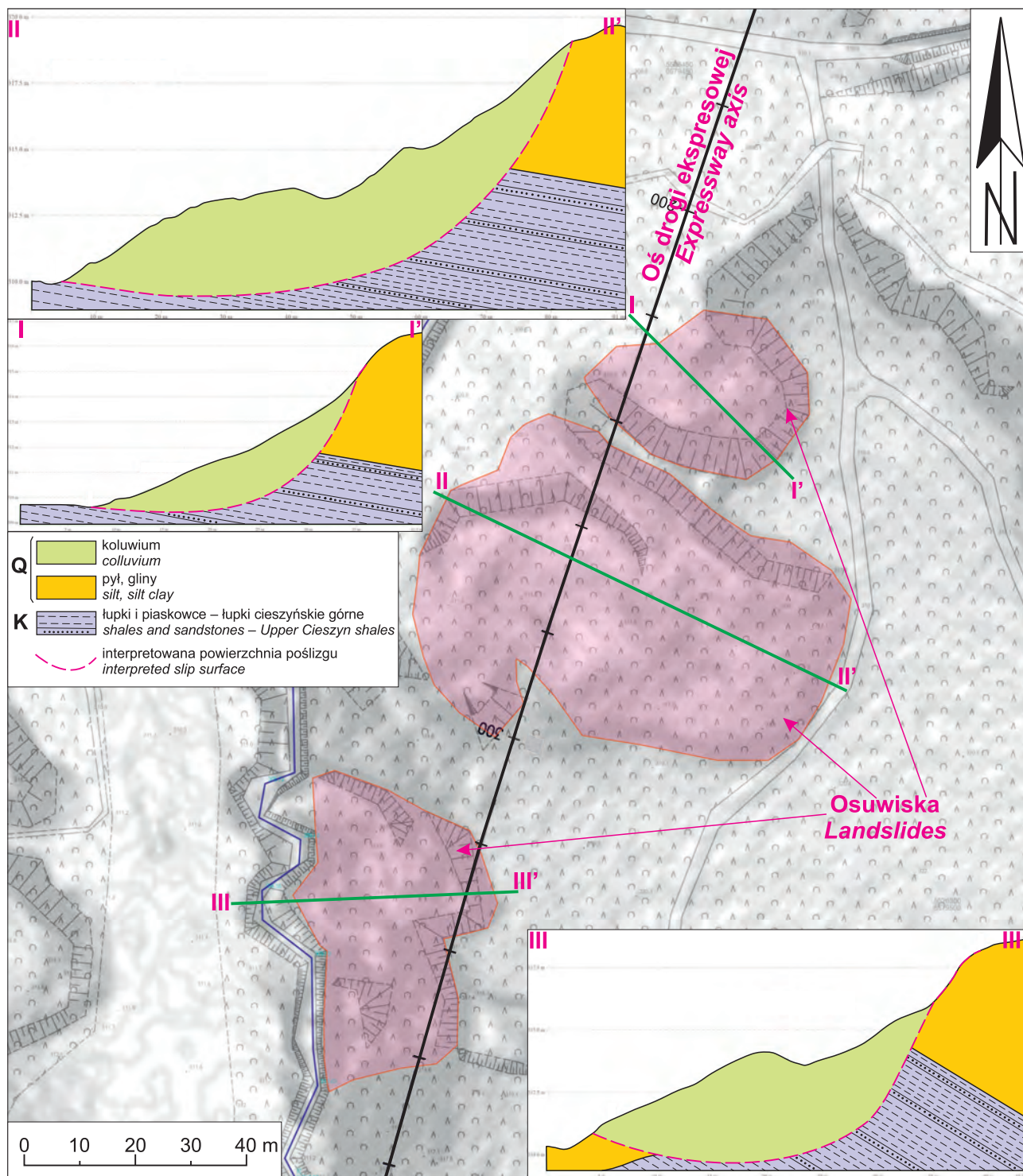
Jednym z przykładów braku rozpoznania osuwisk jest droga ekspresowa w południowej części Polski. Ze względu na brak zgód właścicieli gruntów na etapie projektowym nie zostały wykonane wiercenia, natomiast przeprowadzono kartowanie geologiczno-inżynierskie, które nie wykazało występowania geozagrożeń, a warunki w podłożu zostały określone jako proste, lokalnie złożone wg Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Rozporządzenie, 2012). Teren inwestycji przebiega przez Karpaty, w rejonie zbudowanym z utworów płaszczowiny śląskiej składającej się z warstw cieszyńskich mocno zafałdowanych. Pod względem litologicznym są to utwory o dużej zmienności, dosyć silnie zaburzone

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Geozagrożeń, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; jkos@pgi.gov.pl; awoj@pgi.gov.pl; ORCID ID: J. Kos – 0000-0002-8971-6237, A. Wójcik – 0000-0002-0602-5837

tektonicznie. Już wstępna analiza arkuszy Kęty i Bielsko-Biała Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000 (SMGP) wraz z objaśnieniami (Nescieruk, Wójcik, 2013, 2014, 2016a, 2016b) nie pozwalała określić warunków podłoża jako proste. W podłożu projektowanego śladu drogi występują głównie łupki cieszyńskie górne, składające się z wklądek piaskowców cienkoławicowych, oraz wapienie i łupki cieszyńskie. Łupki cieszyńskie górne to przeważnie stalowoczarne, ciemnostalowe i brudnopopielate łupki grubołupe, silnie wapniste, lokalnie z soczewkami piaskowców strzałkowych. Udział piaskowców w oma-

wianej serii wynosi do 10%, a miąższość ławic dochodzi maksymalnie do kilkunastu centymetrów.

Analiza numerycznych modeli terenu (NMT) i map do celów projektowych z okresu przed rozpoczęciem inwestycji wskazuje jednoznacznie na obecność trzech osuwisk, które przechodziły przez oś projektowanej drogi ekspresowej (ryc. 1). Na modelach z 2011 r. zostały zaznaczone linie przekrojowe obrazujące rzeźbę zidentyfikowanych osuwisk, które pozwoliły na określenie potencjalnych głębokości powierzchni poślizgu oraz ich stosunku do wychodni skał podłoża. Na podstawie przeprowadzonych



Ryc. 1. Osuwiska przed rozpoczęciem budowy na mapie topograficznej i NMT z 2011 r.
 Fig. 1. Landslides before construction began on a topographic map and NMT from 2011



Ryc. 2. Uszkodzony nasyp drogowy. Fot. J. Kos
Fig. 2. Damaged road embankment. Photo by J. Kos

analiz i opracowanych przekrojów (ryc. 1) należy podkreślić, że nie były to duże formy osuwiskowe, a prawdopodobne powierzchnie poślizgu, które schodziły poniżej dna cieku. Były to osuwiska typu obsekwentnego i subsekwentnego. Brak obserwacji i pomiarów dokumentowanych w czasie budowy nie pozwala na bardziej szczegółowe dane.

Podczas wykonywania robót ziemnych skarpy główne zostały wykorytowane, natomiast koluwia i czoła osuwisk nadsypano. Po wykonaniu nasypu drogowego w zachodniej części drogi na obszarze osuwisk w 2024 r. doszło do osunięcia nasypu drogowego. Początkowo nie wiązano go z procesami osuwiskowymi i skarpa drogowa została odbudowana, jednak po kolejnym uszkodzeniu skarpy wykonano szczegółowe badania podłoża gruntowego z przeprowadzeniem wierceń rdzeniowych oraz badań geofizycznych. Została sporządzona opinia dotycząca procesów osuwiskowych. Jako przyczynę awarii uznano uaktywnienie osuwiska zlokalizowanego w południowej części analizowanego terenu. Koluwia największego osuwiska w wyniku wykonania niwelacji terenu w części wschodniej zostało zebrane, natomiast w części zachodniej, w dalszym ciągu było aktywne, co uwidaczniało się spękaniem i osunięciem wykonanego korpusu drogowego (ryc. 2).

Na podstawie przeprowadzonych badań geologicznych został opracowany projekt naprawczy, polegający na wykonaniu kilku rzędów palisad z pali CFA (*Continuous Flight Auger*) o długości 8–10 m (ryc. 3). Powstały wątpliwości, ze względu na prowadzone symulacje obliczeń stateczności, czy osiągnęły one podłoże nienaruszone procesami osuwiskowymi. W ostateczności zdecydowano się na wykonanie dodatkowej palisady (w układzie koźłowym), której podstawa była osadzona w podłożu nienaruszonym przez procesy osuwiskowe.

Bardzo istotne znaczenie na rozpatrywanym odcinku inwestycji miały warunki wodne. Nowy ślad drogi był prowadzony częściowo po korycie cieku, który został przeniesiony w sąsiedztwo korpusu drogowego. Stagnująca w rowie woda, u podnóża skarpy, poprzez infiltrację mogła powodować uplastycznianie się warstw gruntów spoistych. W związku z tym zalecono przesunięcie cieku i częściowe uszczelnienie dna, aby ograniczyć dopływ wody do korpusu drogowego. Uregulowanie warunków wodnych jest jedną z ważniejszych kwestii podczas stabilizacji terenów osuwiskowych i znacząco wpływa na wielkość globalnego wskaźnika stateczności.

Pierwotna DGI nie wskazywała na występowanie geozagrożeń na rozpatrywanym odcinku. Warunki w podłożu

zostały określone jako proste, lokalnie złożone, co na obszarze Karpat praktycznie nie ma miejsca. Wynika to ze skomplikowanej tektoniki, podatnej litologii, jak również procesów osuwiskowych, które występują na rozpatrywanym odcinku drogi w obrębie płaszczowin karpackich. Na omawianym terenie stwierdzono skomplikowane warunki gruntowe, co nie zostało udokumentowane na etapie projektowym.

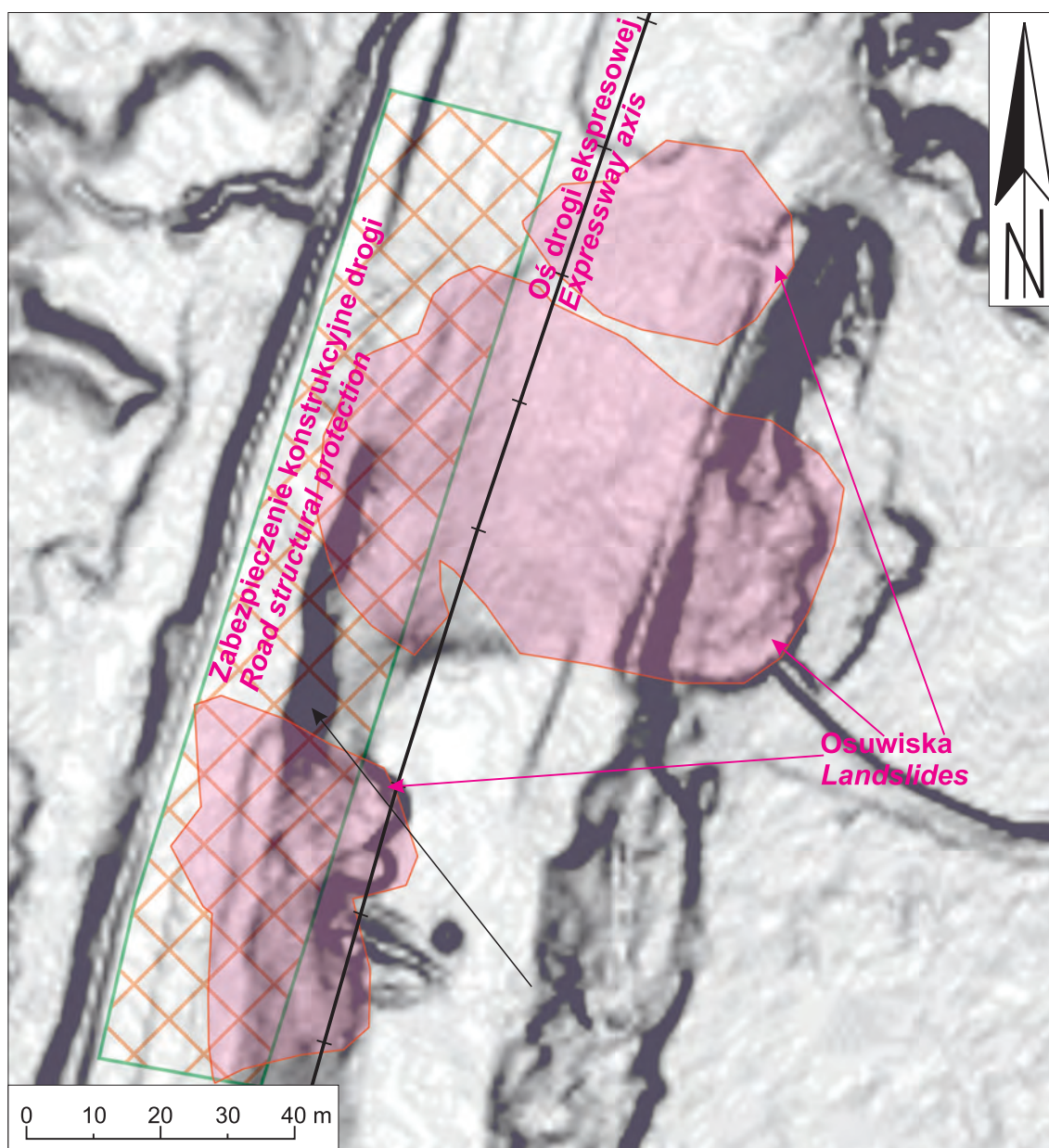
DOKUMENTOWANIE GEOZAGROZEŃ

Odmianą kwestią jest dokumentowanie obszarów występowania ruchów masowych na terenach, na których w rzeczywistości one nie występują. W przypadku gdy prowadzona jest budowa i zostały już przyjęte odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne, wykonywane są prace stabilizujące dla osuwisk, które w rzeczywistości są najczęściej zboczami (skarpiami) o różnym stopniu nachylenia. Dlatego ważne jest odpowiednie rozpoznanie geozagrożeń na etapie projektowym i przeciwdziałanie ich powstawaniu podczas prowadzenia prac ziemnych (Wódka i in., 2025).

W przypadku rozpoznania podłoża stromej zbocza na odcinku drogi ekspresowej w archiwalnej dokumentacji geologiczno-inżynierskiej dokumentatorzy nie mieli doświadczenia w wykonywaniu opracowań na terenach górotworów fałdowych. Dotyczy to obszaru, gdzie w podłożu występują warstwy menilitowe i krośnieńskie dolne na terenie płaszczowiny śląskiej, które są sfałdowane i pocięte uskokami (Ślaczka, 1968; Jankowski, Kopciowski, 2014). Ponadto teren ten należy do obszarów o niskiej osuwiskowości (Bober, 1984). Interpretacja podłoża gruntowo-skalnego nie odpowiadała rzeczywistym warunkom w Karpatach, a wynikała ze słabego pozyskiwania rdzeni. Na przekrojach geologicznych warstwy skalne powinny być znaczone pod rzeczywistymi upadami, podczas gdy w dokumentacji utwory podłoża zalegały poziomo. Taka interpretacja nie odpowiada rzeczywistości i dla projektanta jest myląca. Koluwia zalegała w dnie doliny, co jest nieprawdopodobne. Brak było w kartach otworów kątów zapadania warstw, a porównując zdjęcia z opisem, można było mieć wątpliwości co do litologii przewierczanych utworów. Przewiercając stromo nachylone warstwy, wiercenie wzdłuż miąższości pozornej może generować złudne wrażenie monotonnej litologii. Niemniej na podstawie udokumentowanej budowy geologicznej zostały zaproponowane przez projektanta odpowiednie rozwiązania polegające na zaprojektowaniu u podstawy skarpy stopy wiaduktu oraz uformowaniu skarpy bez wykonywania zabezpieczeń konstrukcyjnych.

W trakcie prowadzenia robót ziemnych (ryc. 4) zostały przeprowadzone kolejne badania podłoża, gdzie poniżej glin wyróżniono strefę *bardzo słabego masywu skalnego*, jako oddzielną warstwę geotechniczną, co w odsłonięciach okazało się podłożem skalnym warstw występujących poniżej i kontynuujących się w kierunku powierzchni (ryc. 5).

Na omawianej stromej skarpi osuwisko zaznaczono na podstawie przeprowadzonych badań geofizycznych, gdzie w interpretacji podłoża nie uwzględniono procesów tektonicznych (ryc. 6). Jest to bardzo nowatorskie podejście do badań terenów osuwiskowych, przy czym powinno być ono oparte o „twarde” udokumentowanie geologiczne. Na żadnym z odwierconych wierceń i uzyskanych rdzeni na tym terenie nie zostały zidentyfikowane powierzchnie zlustrowań, a interpretacja powierzchni poślizgu nie została skorelowana z otrzymanymi ww. danymi. Zarówno analiza archiwalnych NMT sprzed okresu budowy, jak



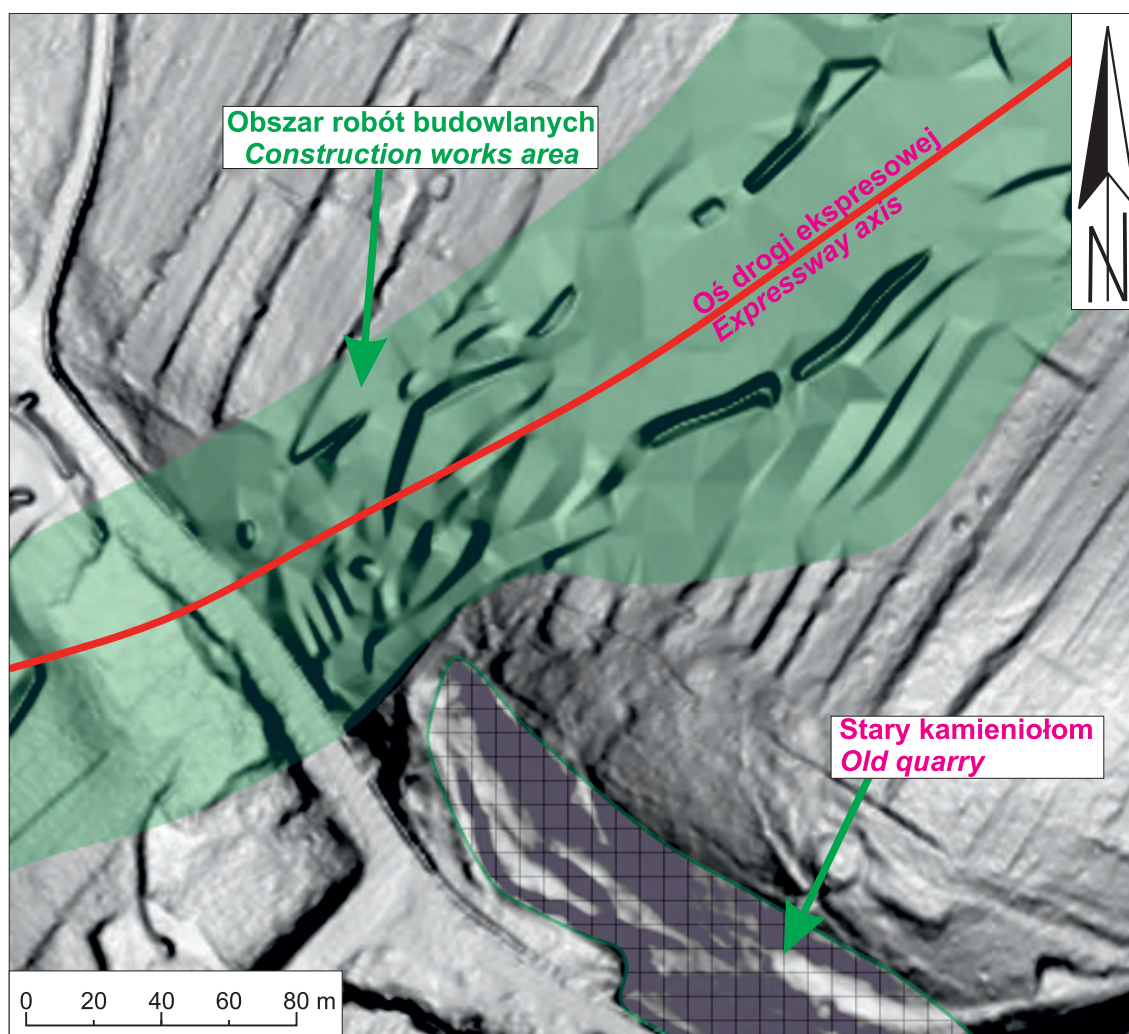
Ryc. 3. Osuwiska po wykonaniu robót ziemnych na NMT z 2024 r.
Fig. 3. Landslides after earthworks on the NMT from 2024

i przeprowadzone wizje terenowe nie wskazywały na występowanie osuwiska. W ścianach wkopów stwierdzono występowanie wychodni warstw menilitowych zapadających pod kątem 65–80° (ryc. 5). Brak było porównania wyników badań geofizycznych z wynikami wierceń oraz nawiązania do tych danych ze szczególnym uwzględnieniem roli procesów tektonicznych. Miało to znaczący wpływ na projektowaną inwestycję, a szczególnie stromą skarpe, która powinna zostać odpowiednio zabezpieczona.

Wyniki przedstawiane na przekrojach geologicznych opracowanych na podstawie danych geofizycznych były bardziej zbliżone do deformacji tektonicznych niż ruchów masowych. Co więcej zastrzeżenia budziła również interpretacja przedstawiona w strefach przypowierzchniowych, co było prawdopodobnie związane ze złym uzyskiem rdzenia i bezrefleksyjnym przeniesieniem tych danych na przekrój. Przewiercanie stromo zapadającej granicy łupków i spękanych piaskowców skutkuje uzyskaniem rumoszu, co może wpłynąć na błędną interpretację, w tym zapadania

warstw w przeciwną stronę do rzeczywistego kierunku. Podstawą w każdej dokumentacji geologicznej jest odpowiednie określenie kierunku i kąta upadu kolejnych warstw. Niestety na terenach gór fałdowych jest to często element niedopilnowany w zatwierdzanych dokumentacjach geologiczno-inżynierskich (Kos, Wójcik, 2021).

Istotną kwestią na tym odcinku inwestycji były warunki wodne. Wraz ze zmianą litologii pakietów fliszowych różna była też wodochłonność. Jest ona większa w obrębie utworów piaskowcowo-mułowcowych, a mniejsza w pakietach z przewagą łupków. Występujące przy powierzchni utwory zwierzelinowe poprzez wysoką zawartość frakcji piaszczysto-żwirowej charakteryzowały się podwyższoną wodoprzepuszczalnością. Na etapie opracowywania pierwotnej DGI zwierciadło wody na omawianym odcinku zostało udokumentowane jedynie w dolinie lokalnego cieku oraz stwierdzono nieznaczne sączenia wody w obrębie utworów spoiстых.



Ryc. 4. Obszar stromej skarpy podczas wykonaniu robót ziemnych na NMT z 2024 r.
Fig. 4. Area of a steep slope during earthworks on the 2024 NMT

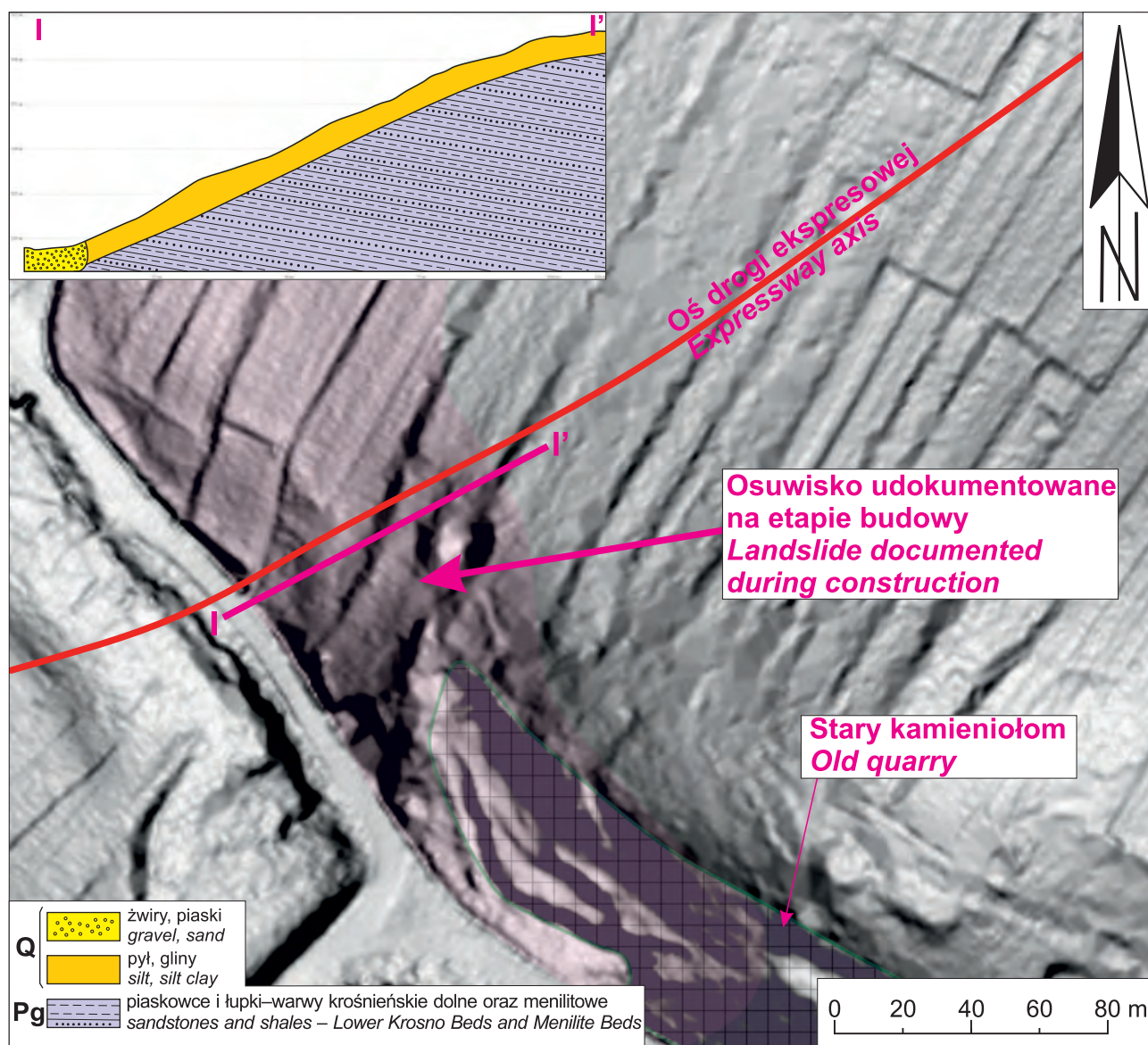


Ryc. 5. Podłoże skalne pod strefą glin (wychodne warstw menilitowych i krośnieńskich dolnych zapadających pod kątem 65–80°).
Fig. 5. Bedrock beneath the clay zone (Menilite and Lower Krosno layers dipping at an angle of 65–80°). Photo by J. Kos

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów w sieci monitoringu wód podziemnych na przestrzeni prawie dwóch lat podczas prowadzenia budowy stwierdzono występowanie

nie ciągłego poziomu wodonośnego o znacznych wahaniami zwierciadła wód podziemnych. Świadczyło to o dużej dynamice przepływu wód podziemnych, ale w ograniczonym zasięgu związanym z litologicznym zróżnicowaniem masywu. Czynnikiem ten miał istotny wpływ na projektowaną konstrukcję drogi, ponieważ pozostawienie sztucznych skarpy bez odpowiednich zabezpieczeń doprowadziłoby w przypadku występowania długotrwałych niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych do ich osunięcia. Przypadki takie obserwujemy na wielu budowach w Polsce, gdzie obliczenia stateczności są prowadzone dla zastanych warunków gruntowo-wodnych. Jednak podczas występowania niekorzystnych warunków pogodowych następuje obniżenie wartości globalnej stateczności zbocza, co doprowadza do powstawania przemieszczeń.

Przeprowadzone analizy nie potwierdziły występowania osuwiska, niemniej stwierdzone w badaniach uzupełniających zaburzenia tektoniczne masywu skalnego, zbudowanego ze stromo zalegających warstw menilitowych i krośnieńskich dolnych, oraz bardzo niekorzystne warunki wodne stwarzały zagrożenie uruchomienia procesów osuwiskowych w okresach niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych dla projektowanych podpór estakady i skarpy głębokich wykopów.



Ryc. 6. Osuwisko wg geologów wykonawcy na NMT z 2017 r.

Fig. 6. Landslide according to the contractor's geologists in the 2017 NMT

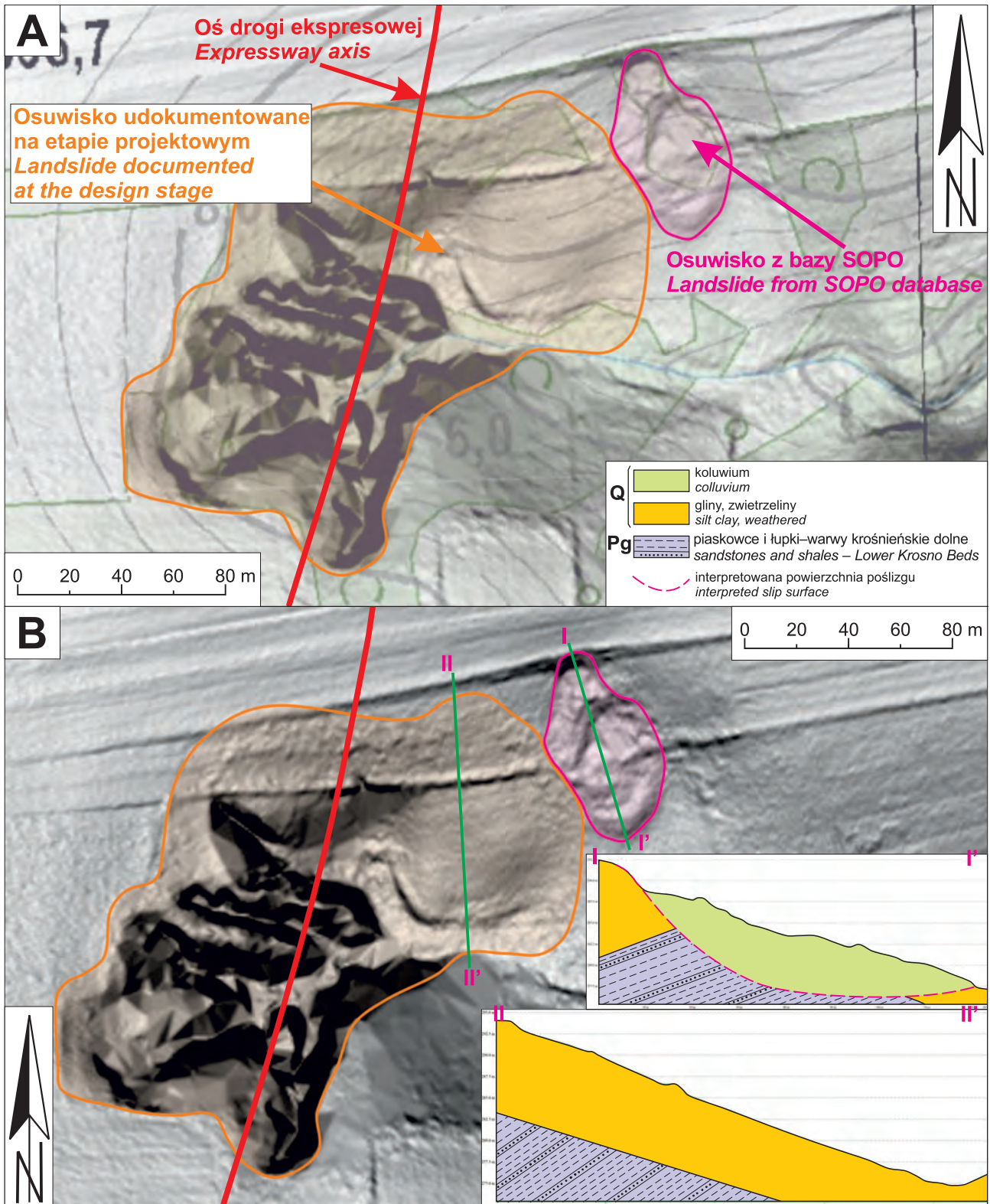
WYZNACZONE OSUWISKA W LEJACH ŹRÓDLISKOWYCH

Odrębnym zjawiskiem są osuwiska źle wyznaczone w lejach źródłiskowych i terenach nachylonych, co niesie ze sobą konsekwencje w postaci potrzeby wykonywania adekwatnych konstrukcji oporowych dla projektowanych obiektów i nasypów drogowych. Dla zobrazowanego przypadku (ryc. 7A) oś drogi ekspresowej jest prowadzona przez obszar źródłiskowy lokalnego cieku z licznymi dopływami. Na stromych skarpach są obserwowane procesy spelzywania, jednak cały teren został zaliczony do osuwiska na etapie projektowym. Na wschód od wyznaczonej formy znajduje się osuwisko określone w ramach systemu SOPO. Na przekrojach zobrazowano rzeźbę obydwu terenów. Przekrój I-I' (ryc. 7B) wskazuje na występowanie form osuwiskowych – skarpy głównej koluwium i czoła osuwiska. Odmienna sytuacja ma miejsce na przekroju II-II', gdzie są widoczne skarpy antropogeniczne związane z działalnością rolniczą na terenie badań.

Dotyczy to obszarów, gdzie w podłożu występują warstwy menilitowe oraz krośnieńskie dolne i górne na terenie płaszczowiny śląskiej (Malata, Zimnal, 2016a, b).

Podobna sytuacja ma miejsce w drugim przykładzie, gdzie droga jest prowadzona skośnie do leja źródłiskowego (ryc. 8A). W tym przypadku skarpa główna osuwiska została poprowadzona po granicach działek własnościowych, co nie ma związku z rzeźbą osuwiska. Przekrój prowadzony wzdłuż dna cieku wskazuje jednoznacznie na procesy wymywania drobnych frakcji podczas opadów atmosferycznych i częściową akumulację osadów na spłaszczeniu przy dolnej granicy działki w postaci deluwii (Gerlach, 1966; ryc. 8B). Pozostała część gruntu jest odprowadzana poprzez wody opadowe do lokalnego cieku. W tym przypadku mamy do czynienia z procesami erozyjnymi, a nie osuwiskowymi.

Przedstawione przypadki wskazują na potrzebę odpowiedniego dokumentowania geozagrożeń poprzez kartowanie geologiczno-inżynierskie wspierane nowoczesnymi metodami, które pozwalają na unikanie błędów dokumen-

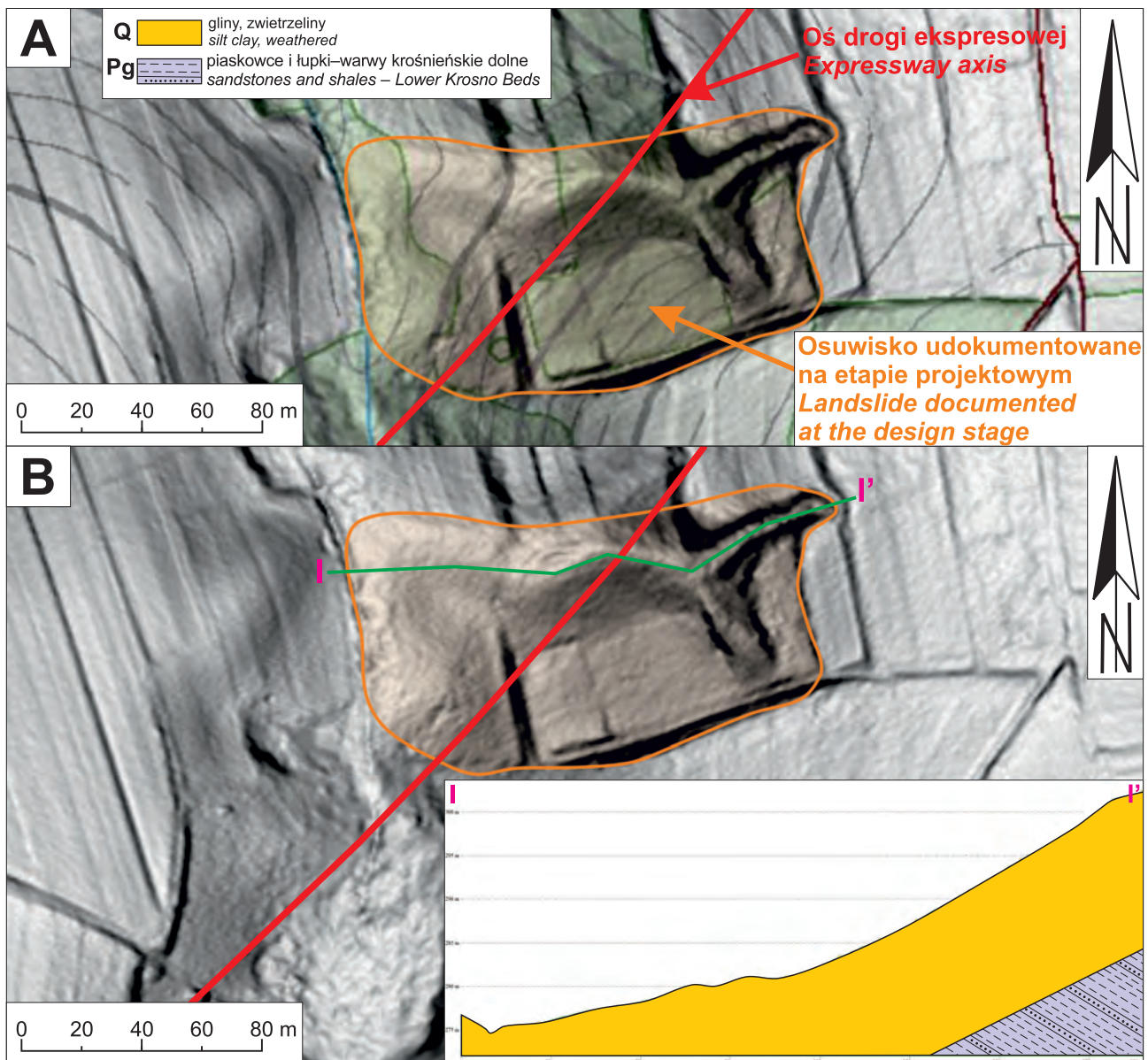


Ryc. 7. Osuwiska udokumentowane na etapie projektowym na NMT z 2024 r.
Fig. 7. Landslides documented at the design stage on the 2024 DTM

towania obszarów, które nie są osuwiskami. Pomocą są modele pozyskane w systemie LIDAR. Obrazy rzeźby terenu (NMT w postaci rastra) wygenerowane z danych ALS, przejawiające się różną szorstkością, teksturą oraz zmianami wysokości względnych i nachyleń. Analiza polegała na wizualnej interpretacji obrazów rzeźby terenu (NMT w postaci rastra). Oprócz widoku danych w projekcji kartograficznej wykorzystuje się wizualizacje trójwymiarowe

miarowe w postaci anaglifów i interaktywnych rzutów perspektywicznych. Takie dane pozwalają wyróżnić tereny osuwiskowe i obszary rozcięć erozyjnych.

Z takimi przypadkami błędów spotykamy się coraz częściej, dlatego na etapie odbierania dokumentacji geologicznej i projektowej zaleca się weryfikowanie wyznaczonych obszarów osuwiskowych.



Ryc. 8. Osuwisko udokumentowane na etapie projektowym na NMT z 2024 r.

Fig. 8. Landslide documented at the design stage on the 2024 DTM

MONITOROWANIE OSUWISK

Monitoring geozagrożeń jest bardzo ważnym elementem pozwalającym na ocenę ryzyka zagrożenia osuwiskowego, jak również na odpowiednio wczesne podjęcie działań naprawczych bez powstania szkód, szczególnie na etapie prowadzenia inwestycji. Niestety bardzo często obserwujemy lokowanie elementów pomiarowych poza obszarami osuwisk i jednocześnie interpretację nieznacznych przemieszczeń jako zagrożenie związane z procesami osuwiskowymi. Wynika to z braku podawania wartości błędów pomiarowych podczas każdej sesji pomiarowej, a uzyskiwane dane są traktowane jako wielkości przemieszczeń w obrębie osuwiska (Turner, Szuster, 1996; Nescieruk, Rączkowski, 2012; Zabuski, 2013; Nescieruk, 2017).

Prowadzone obecnie w Polsce na wielką skalę inwestycje infrastrukturalne wymuszają trasowanie dróg, linii kolejowych oraz sieci przesyłowych przez obszary osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi. Powoduje to potrzebę monitorowania procesów geodynamicznych przed rozpoczęciem inwestycji, a także w trakcie prowadzenia

robót ziemnych. Niestety bardzo często obserwujemy sytuację nadmiernego projektowania systemów monitoringowych w miejscach, gdzie procesy geodynamiczne nie zachodzą. Jednym z przykładów jest osuwisko skalne powstałe w wyniku zsuwu złożonego o przewadze rotacyjnego. Prostolinijne skarpy występujące w górnej części stoku mogą być skarpami strukturalnymi związanymi ze zróżnicowaną odpornością skał lub/i procesami tektonicznymi (ryc. 9). Skarpy te w niektórych miejscach są nadsypane w wyniku dawnych i obecnych prac rolniczych.

U podnóża osuwiska jest obecnie prowadzona inwestycja budowy torów kolejowych (ryc. 9). Na etapie projektowym w obrębie osuwiska zostały założone inklinometry, które pozwolą na określenie wielkości przemieszczeń wgłębnych, zaplanowano również wykonanie inklinometrów w obrębie przewidywanej palisady. Odmianą sytuacją są lokalizacje inklinometrów przed czołem osuwiska. Zostały one już częściowo zamontowane do głębokości 30 m i w rozstawie 25 m. Powstaje pytanie, jaki ma cel wykonanie 17 inklinometrów do tak dużej głębokości, które są zlokalizowane poza obszarem osuwiska? Inklinometry na



Ryc. 9. Lokalizacja inklinometrów w stosunku do osuwiska na NMT z 2024 r.
Fig. 9. Location of inclinometers in relation to the landslide on the 2024 DTM

południe i północ od czoła osuwiska są w odległości ponad 100 m od osuwiska o długości 200 m (ryc. 9). Na zachód od torów kolejowych jest płaskie dno. W przypadku ewentualnego uruchomienia osuwiska kolwina, mając na względzie zsuw rotacyjny, zsuną się na tory i drogę bez przemieszczeń wgłębnych, gdzie zainstalowano inklinometry. Jednocześnie podczas prowadzonych pomiarów inklinometrycznych w niektórych inklinometrach otrzymano wyniki wskazujące na przemieszczenia dochodzące do 30 m p.p.t., które były interpretowane jako uaktywnienie osuwiska. Szczegółowa analiza wykresów pozwoliła na jednoznaczne stwierdzenia, że mamy do czynienia z błędami pomiarowymi, które przy częstych pomiarach się kumulują. W przypadku prowadzenia ręcznych pomiarów z częstotliwością rzędu jednego tygodnia często mierzone są błędy pomiarowe, a nie rzeczywiste wartości przemieszczeń. Dlatego w sprawozdaniach/raportach z pomiarów inklinometrycz-

nych należy zamieszczać wartości błędów pomiarowych dla każdego inklinometru. Dysponując takimi danymi, geolog i projektant mogą wtedy racjonalnie określić dynamikę osuwiska, ocenić ryzyko jego uaktywnienia oraz zaprojektować adekwatną konstrukcję zabezpieczającą. W analizowanym przypadku lokalizacja inklinometrów i prowadzone pomiary nie są przydatne do oceny ryzyka aktywacji procesów osuwiskowych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dokumentowanie obszarów objętych występowaniem niekorzystnych zjawisk geologicznych w przeszłości było wielkim wyzwaniem i bardzo często prowadziło do powstawania nieprawidłowego modelu budowy geologicznej. Projekt SOPO trwający już ponad 20 lat przyczynia się do redukcji ryzyka inwestowania na terenach osuwiskowych. W przypadku potrzeby prowadzenia inwestycji na obszarach osuwisk mamy już przetestowane metody zabezpieczeń konstrukcyjnych w zależności od zastanych warunków geologiczno-inżynierskich.

Przedstawione przykłady nieodpowiedniego rozpoznania obszarów osuwisk na etapie projektowym są już rzadkością i mamy narzędzia, które pozwalają na redukcję ryzyka niedokumentowania geozagrożeń. Pierwotna DGI w pierwszym przykładzie nie wskazywała na występowanie geozagrożeń na rozpatrywanym odcinku. Warunki w podłożu zostały określone jako proste, lokalnie złożone, co na obszarze Karpat praktycznie nie występuje. Wynika to zarówno z regionalnych uwarunkowań, jak np. deformacje tektoniczne, jak i z lokalnych procesów geodynamicznych i warunków hydrogeologicznych, które występują na rozpatrywanym odcinku drogi. Poprzez odpowiednie kartowanie geologiczno-inżynierskie i analizy NMT w połączeniu z danymi z wierzeń istnieje moż-

liwość odpowiedniego odwzorowania podłoża sprzed rozpoczęcia inwestycji i podjęcia adekwatnych kroków w celu zabezpieczenia osuwisk. Wymaga to tylko właściwej interakcji pomiędzy inwestorem a wykonawcą.

Odminną sytuacją, która jest obserwowana w coraz większym zakresie na etapie projektowym i wykonywania robót ziemnych, jest dokumentowanie osuwisk w miejscach, gdzie nie występują. Stroma skarpa nie jest osuwiskiem, jeśli nie ma form morfologicznych świadczących o przemieszczaniu materiału skalnego lub nieskonsolidowanego osadu wzdłuż powierzchni poślizgu. Innymi słowy, skarpa bez jęzora i na odwrót nie może być interpretowana jako osuwisko. Przedstawione przykłady dotyczą budowanych obecnie obiektów, dlatego tak ważne jest, aby nadzór inwestorski weryfikował przedkładane materiały dotyczące osuwisk i reagował w przypadkach pojawiania się wątpliwości związanych z procesami osuwiskowymi.

Bardzo często mamy do czynienia z dokumentowaniem górotworu skalnego, które jest oparte jedynie na lakonicznym opisie warstw typu: ił, piaskowiec. Wydzielane warstwy powinny być szczegółowo charakteryzowane, z określeniem stopnia zwietrzenia, spękań, stref zlustrowań. Dla każdego wydzielenia skalnego należy ocenić masyw skalny, w którego obrębie prowadzono wiercenia, np. wg klasyfikacji wg klasyfikacji Bieniawskiego (*Rock Mass Rating – RMR*) czy też jakości górotworu (*Geological Strength Index – GSI*) (Pinińska, 2004, 2007). Nagminną kwestią jest zaniżanie wielkości wytrzymałości na ściskanie R_c w obrębie skał, a podczas budowy przy odsłonięciu wykopu bardzo często okazuje się, że mamy do czynienia z trudno urabialną calizną masywu skalnego. Należy przy tym zaznaczyć, że każde wiercenie może być obciążone błędem, ze względu na jego małą średnicę i uszkodzenie materiału rdzeniowego. Masyw skalny realnie może zostać oceniony w sposób prawidłowy podczas jego odsłaniania, co ma miejsce przy drążeniu tuneli, czy też wykonywaniu głębokich wykopów, dlatego ważne jest etapowanie rozpoznania geologicznego. Wtedy też można w sposób prawidłowy ocenić jego parametry za pomocą wskaźników RMR, GSI, jak również pobrać odpowiedniej jakości próbki do badań wytrzymałościowych. Rozpoznanie na etapie projektowym bardzo często jest niewystarczające w skomplikowanych warunkach gruntowych i dlatego istotne jest prowadzenie nadzoru geologicznego na etapie wykonawstwa, a w przypadku stwierdzenia rozbieżności – uszczegółowienie budowy podłoża w kolejnym etapie rozpoznania geologicznego.

Na znaczną skalę obserwujemy prowadzenie pomiarów inklinometrycznych, co powinno mieć miejsce szczególnie na obszarach osuwiskowych. Ważne jest jednak, aby inklinometry były lokalizowane w miejscach, gdzie są możliwe przemieszczenia lub w obszarach narażonych na powstanie procesów geodynamicznych. Inklinometry to urządzenia, które służą do pomiaru przemieszczeń wglębnych, natomiast ich lokalizacja w znacznym zagęszczeniu i poza osuwiskiem z merytorycznego punktu widzenia jest nieuzasadniona. W raportach należy podawać wielkość błędu pomiarowego i zwrócić uwagę na częstotliwość pomiarów. W otworach, w których wartości przemieszczeń mieszczą się w granicach błędu pomiarowego, zaleca się zmniejszenie częstotliwości pomiarów, gdyż mierzone są kumulowane błędy, co może prowadzić do niewłaściwych wniosków. Inklinometry należy lokalizować w taki sposób, aby mogły być prowadzone w nich pomiary przed i podczas prowadzenia budowy na terenach osuwisk, a po jej zakończeniu będą służyć ocenie trwałości wykonanych zabezpieczeń konstrukcyjnych.

Autorzy bardzo serdecznie dziękują anonimowym Recenzentom za poświęcony czas i cenne uwagi dotyczące artykułu, które wpłynęły na jego ostateczną treść.

LITERATURA

BOBER L. 1984 – Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 340: 115–162.
GERLACH T. 1966 – Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajczarka (Beskid Wysoki). Prace Geograficzne IG PAN, 52: 1–124.

JANKOWSKI L., KOPCIOWSKI R. 2014 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Nowy Żmigród (1039). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

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. Przegląd Geologiczny, 67 (5): 377–387.

KOS J., WÓJCIK A. 2021 – Dokumentowanie geologiczno-inżynierskie osuwisk na terenie fliszu karpackiego. Przegląd Geologiczny, 69 (12): 825–834.

MALATA T., ZIMNAL Z. 2016a – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Strzyżów (1004). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

MALATA T., ZIMNAL Z. 2016b – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Strzyżów (1004). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

NESCIERUK P. 2017 – Błędy pomiarów inklinometrycznych. Ogólnopolskie Sympozjum Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce, 17–20.10.2017 r., Rzeszów. Zeszyt abstraktów: 92–93.

NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W. 2012 – Monitoring wglębny osuwisk karpackich. II Polski Kongres Geologiczny, 17–19 września 2012 r., Warszawa. Wyzd. Geol. UW, PTG. Abstrakty: 63–67.

NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2014 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Bielsko-Biała (1012). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2013 – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Bielsko-Biała (1012). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2016a – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Kęty (993). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

NESCIERUK P., WÓJCIK A. 2016b – Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Kęty (993). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa.

PINIŃSKA J. 2004 – Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał. Część IV, Karpaty fliszowe, Objaśnienia i interpretacja. Zakład Geomechaniki Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

PINIŃSKA J. 2007 – Szczeliniowość masywów skalnych po 30 latach w świetle normy PN-EN ISO 14689-1 – badania geotechniczne, rozpoznanie i klasyfikacja skał. Geologos, 11: 43–57.

ROZPORZĄDZENIE, 2012 – 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.

ŚLĄCZKA A. 1968 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000 (bez utworów czwartorzędowych). Region Karpat i Przedgórze, ark. Żmigród Nowy. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

TURNER A.K., SCHUSTER R.L. (red.) 1996 – Landslides Investigation and Mitigation Special Report 247. National Academy Press Washington, D.C.

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.

WÓJCIK A. 2015 – Błędy rozpoznania i zabezpieczenia – czyli jak nie należy wykonywać prac stabilizacyjnych. Materiały konferencyjne. Ogólnopolska Konferencja Osuwisko 19–22 maja 2015 r., Wieliczka: 82–83.

WÓJCIK A., KOS J., JURCZAK S. 2017 – Rozpoznanie i próby zabezpieczenia osuwiska w Kurowie (Pogórze Rożnowskie, Karpaty Zewnętrzne). Przegląd Geologiczny, 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 Kocpa Kościuszki. XXXII Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji, 7–10 marca 2017 r., Wisła: 325–347.

WYSOKIŃSKI L. 2011 – Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Wydawnictwo ITB, Warszawa.

WYTYCZNE, 2018 – Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie; Część 1. Praca zbiorowa PIG, AGH, PW; <https://www.pgi.gov.pl/dokumenty-pig-pib-all/projekty/rid-projekt/7248-wytyczne1-dokumentowanie/file.html>

ZABUSKI L. 2013 – Ocena procesów osuwiskowych na podstawie wyników pomiarów inklinometrycznych. Przegląd Geologiczny, 61 (4): 248–256.

Praca wpłynęła do redakcji 26.01.2026 r.
Akeptowano do druku 26.02.2026 r.