

Stabilizacja osuwisk – optymalizacja rozwiązań czy maksymalizacja kosztów – studium przypadku

Landslides stabilization – optimise solutions or maximize costs – case study

Tomasz Bardel*

„Geogrunť PPUP sp. z o.o., ul. Zagumnie 49a, 33-100 Tarnów, Polska

Article history:

Received 22 October 2018

Received in revised form

4 December 2018

Accepted 4 December 2018

Available online 5 December 2018

Streszczenie

Stabilizacja osuwiska jest zazwyczaj bardzo kosztowa, dlatego optymalne projektowanie zabezpieczeń zboczy powinno opierać się na dokładnym rozpoznaniu geologicznym. Opisany przykład niewielkiego osunięcia drogi w Karpatach przedstawia proces dokumentowania, modelowania stateczności i rozwiązania projektowe stabilizacji osuwiska. Zasadnicze znaczenie przy projektowaniu zabezpieczeń stanowiły informacje dotyczące wglębnego zasięgu osuwiska. Uwzględniając dodatkowe dane, uzyskane już na etapie zabezpieczania osuwiska, osunięte zbocze poddano ponownej analizie stateczności. Wyniki modelowania wskazują na odmienny zasięg i głębokość powierzchni poślizgu niż przyjęte do projektowania, co miało zasadniczy wpływ na koszty stabilizacji osuwiska.

Słowa kluczowe: powierzchnia poślizgu, zabezpieczenie osuwiska, modelowanie stateczności, koszty stabilizacji osuwisk, osunięcie skarpy

Wstęp

Na terenach południowej Polski istotnym problemem są osuwiska, które powodują uszkodzenia zabudowy i infrastruktury. Obszarem szczególnie narażonym na ruchy masowe są Karpaty, a przyczyną wysokich strat materialnych jest lokalizacja budownictwa i infrastruktury komunikacyjnej na obszarach występowania ruchów masowych [1]. Uaktywnienie osuwisk następuje zwykle w okresach długotrwałych opadów, dlatego uszkodzenia, bądź zniszczenia infrastruktury mogą wystąpić po kilku lub nawet kilkudziesięciu latach od zakończenia budowy. W roku 2010, w okresie długotrwałych opadów, w samym tylko województwie małopolskim straty materialne spowodowane osuwiskami oszacowano na blisko 12 mld zł [2]. Dla mieszkańców terenów dotkniętych osuwiskami szczególnie uciążliwy jest brak możliwości dojazdu do posesji wskutek uszkodzenia lub zniszczenia dróg. W opracowanych w latach 1968-1970 „Katalogach osuwisk” z zarejestrowanych ~8500 osuwisk na obszarze Karpat fliszowych około 2970 spośród nich zagrażało obiektom budowlanym, z czego 36% stanowiły osuwiska zagrażające infrastrukturze drogowej [3]. Straty wyrządzone przez osuwiska w latach 2000–2001 wyniosły 173 mln zł w tym 86 mln zł (czyli blisko 50%) w infrastrukturze drogowej i mostowej [4]. W charakterystyce wybranych osuwisk z terenu

południowej Polski dokonanej w 2010 r. przez Kaczmarczyka, Tchórzewską, Woźniaka [5] około 25% opisywanych osuwisk znajdowało się na terenach związanych z infrastrukturą drogową, powodując relatywnie największe szkody (35,1% wszystkich szkód spowodowanych przez analizowane osuwiska). Koszty stabilizacji osuwisk są bardzo wysokie – przykładowo w roku 2016 Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji przeznaczyło na ten cel ponad 35 mln zł. Średni koszt zabezpieczenia pojedynczego osuwiska finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w latach 2011–2016 wyniósł 1,37 mln zł [6].

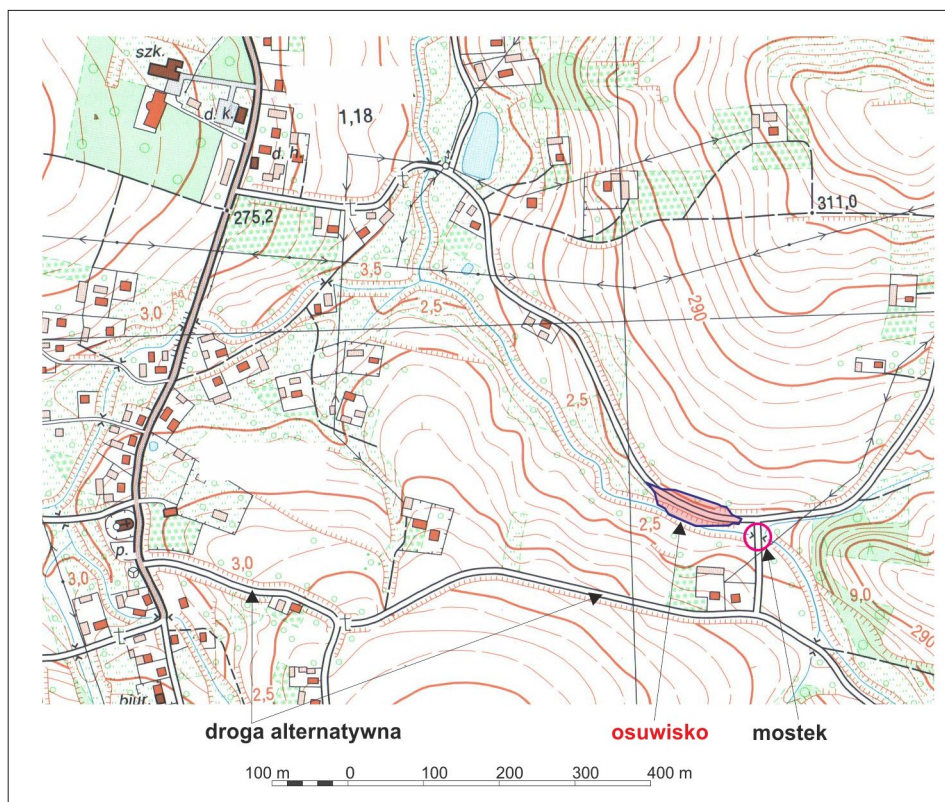
Opisany w niniejszym artykule przykład niewielkiego osuwiska uszkadzającego drogę gminną odnosi się do sposobu dokumentowania geologicznego, który miał zasadniczy wpływ na zaprojektowane zabezpieczenia osuwiska, a ponadto zwraca uwagę na szerszy problem dotyczący optymalizacji rozwiązań w odniesieniu do kosztów zabezpieczeń osuwisk.

Materiały i Metody

Lokalizacja osuwiska

Opisywane osuwisko uszkadzające drogę gminną położone jest na terenie Pogórza Ciężkowickiego [7], kilkanaście kilometrów na południowy-wschód od Tarnowa.

*Corresponding author: jatomak@interia.pl



Rysunek 1. Fragment mapy topograficznej z lokalizacją osuwiska uszkadzającego fragment drogi gminnej

Osuwisko wystąpiło w dolnej partii dość łagodnego zbocza o długości około 500 m (Rys.1). Zbocze to od południa ogranicza głębokowięty potok o wąskim korycie i głębokości do 0,5 m, który w czasie intensywnych opadów gwałtownie wzbiera, a poziom wody przekracza 2 m. Ciek wytworzył wąską dolinę po stronie południowej, zaś od strony analizowanego zbocza jest to typowy wysoki brzeg stromo schodzący do koryta. Droga gminna na tym odcinku przebiega w dolnej partii zbocza, około 6 m powyżej dna potoku. Odcinek drogi, na którym wystąpiło osuwisko, łączy się z drogą powiatową około 800 m na północny-zachód. Po wschodniej stronie osuwiska zlokalizowany jest mostek, przez który można dojechać do drogi powiatowej trasą alternatywną omijając fragment drogi gminnej uszkodzony osuwiskiem. Długość przejazdu drogą gminną uszkodzoną osuwiskiem i trasą alternatywną jest podobna. Na zboczu powyżej uszkodzonej drogi brak jest zabudowań, a zbocze użytkowane jest rolniczo.

Pod względem geologicznym teren omawiany znajduje się w Karpatach fliszowych. W korycie potoku widoczne są rozcięte nurtem czarne i pstre łupki, z których zbudowane jest całe zbocze, charakteryzujące się dość łagodnym i jednostajnym nachyleniem. Na łupkach i ich zwietrzelinach zalegają osady stokowe (utwory lessopodobne i deluwia).

Metodyka badań przy dokumentowaniu osuwisk

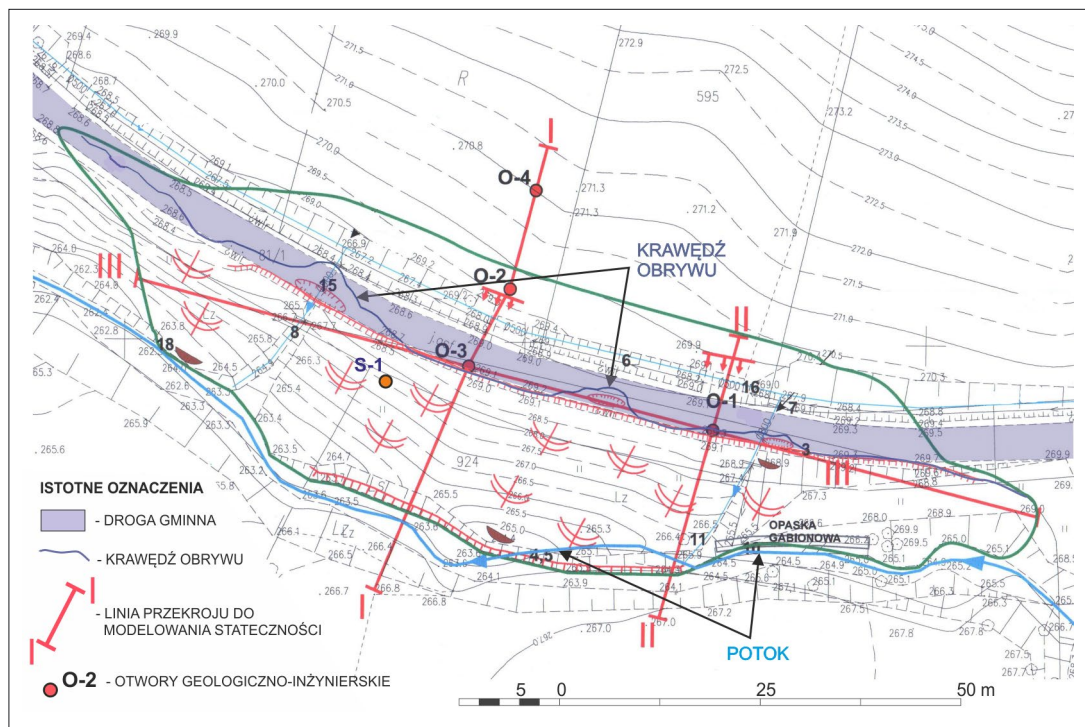
Dla oceny możliwości stabilizacji osuwisk wymagane jest wykonanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, która w przypadku finansowania ze środków publicznych podlega weryfikacji przez wojewódzkie zespoły nadzorujące realizację zadań w zakresie przeciwdziałania ruchom osuwiskowym oraz usuwania ich skutków, przy merytorycznym udziale przedstawiciela Oddziału Karpackiego Państwowego Instytutu Geologicznego. Wytyczne dotyczące zakresu oraz metodyki prowadzenia robót geologicznych na konkretnym osuwisku wynikają zasadniczo z ustaleń tzw. karty rejestracyjnej osuwiska opracowanej uprzednio na podstawie oględzin terenowych oraz materiałów kartograficznych. Wytyczne te zwykle wskazują na konieczność wykonywania wierceń metodą rdzeniowania [8]. Wiercenia rdzeniowe są stosunkowo drogie, ale pozwalają uzyskać wysokiej jakości próbki, na których mogą być wykonywane badania laboratoryjne, w szczególności dla określenia wytrzymałości na ścinanie służącej do analizy stateczności zbocza i ustalenia głębokiego zasięgu osuwiska (płaszczyzn poślizgu). Umieszczenie punktów wiercenia dla rozpoznania osuwiska powinno wynikać przede wszystkim z zasięgu osuwiska. W praktyce lokalizacja otworów w znacznym stopniu uzależniona jest od możliwości ustawienia na osuwisku ciężkiej wiertnicy umożliwiającej rdzeniowanie, co na osuniętych stokach o dużym nachyleniu bywa bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Na wstępnym etapie dokumentowania bardzo istotne jest określenie powierzchniowego zasięgu osuwiska na podstawie kartowania terenu i identyfikacji przejawów ruchów masowych (m.in. występowania obrywów, wysięków wód, zapadlisk, czy pęknięć gruntu).

W przypadku analizowanego osuwiska załączona do dokumentacji geologicznej mapa sytuacyjno-wysokościowa [9] dokładnie ilustruje przebieg obrywu, który uszkodził drogę (Rys.2). Rozpoznanie wglębne osuwiska wykonano czterema otworami geologiczno-inżynierskimi (O-1 do O-4), pełnordzeniowymi (rdzeniówka podwójna). Istotne było umiejscowienie otworów względem krawędzi obrywu – dwa z nich ułożono

odpowiadające łom i łożypkom (oznaczone jako warstwa III). W otworze O-3, wykonanym na drodze przy krawędzi obrywu, stwierdzono nasypy (włączone do warstwy Ib), zalegające na łupkach.

Z uzyskanych rdzeni wiertniczych wytypowano próbki do badań wytrzymałości na ścinanie (spójności i kąta tarcia wewnętrznego) w aparacie bezpośredniego ścinania albo w aparacie trójosiowego ściskania (Tab.1). Pomimo pobrania próbek rdzeni badania wytrzymałościowe wykonano na rozdrobionych próbkach w postaci pasty gruntowej, wyjaśniając taką metodykę znaczną zawartością fragmentów łupków w próbkach [9].



Rysunek 2. Mapa dokumentacyjna osuwiska

na drodze, a dwa pozostałe na zboczu powyżej drogi, jednakże wszystkie zlokalizowano na terenie ponad krawędzią obrywu, czyli poza zasadniczym obszarem który uległ obsunięciu. Jedyne otwory na obszarze osuwiska to otwór oznaczony S-1, który został odwiercony ręcznym świdrem okienkowym już na etapie zabezpieczania osuwiska.

Wyniki i Dyskusja

Analiza stateczności zbocza

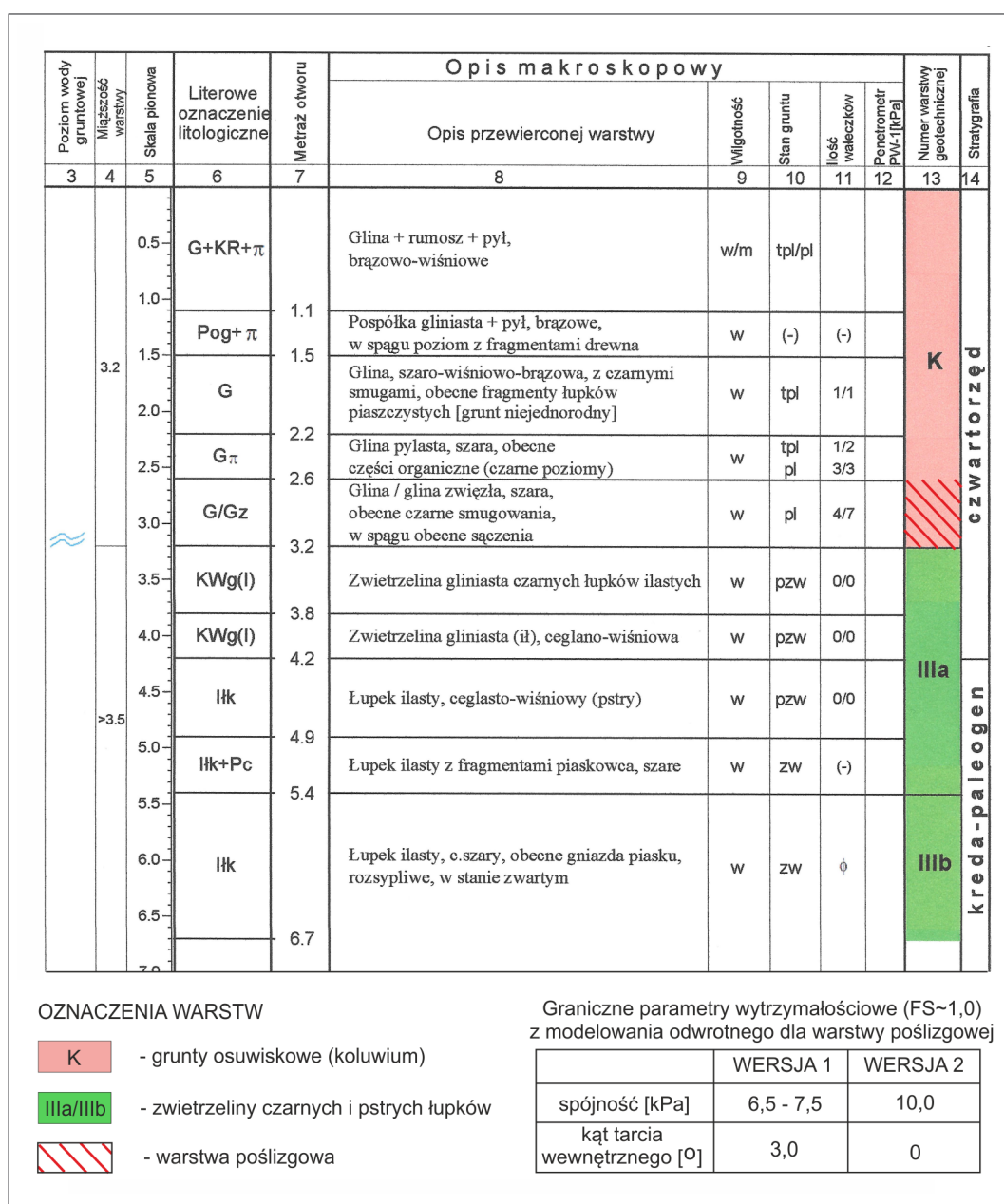
Analizę stateczności zbocza w dokumentacji geologicznej, która posłużyła do zaprojektowania stabilizacji osuwiska i odtworzenia drogi, oparto o przekrój I-I, biegnący od koryta potoku na zbocze powyżej drogi przez otwory O-3, O-2 i O-4 (Rys.2). Powierzchniowe grunty na zboczu to osady lessopodobne (pyły, gliny pylaste - oznaczone jako warstwa II), zalegające na czarnych lub pstrych łupkach i ich zwietrzelinach, litologicznie

Analizę stateczności zbocza wykonano według metod równowagi granicznej (metoda Bishopa oraz Janbu) wykorzystując kryterium zniszczenia Coulomba-Mohra, gdzie zasadniczymi parametrami do obliczeń są spójność (kohezja) i kąt tarcia wewnętrznego. W analizie określano wskaźnik stateczności FS, którego wartość równa 1 określa stan równowagi chwiejnej, wartość $FS < 1$ świadczy o braku stateczności, zaś $FS > 1$ wskazuje na zapas bezpieczeństwa [10].

Analizy stateczności zbocza przy zastosowaniu parametrów określonych w dokumentacji (nawet przy użyciu najniższych wyznaczonych wartości - zmieniając warstwę Ib na Ia), wskazują, że zbocze jest stabilne przy wskaźniku stateczności $FS > 1,9$. W rzeczywistości jednak zbocze uległo osunięciu, więc dane wejściowe przyjęte w analizie należy uznać za wadliwe. W dokumentacji geologicznej wskazano wglębny zasięg osuwiska w ośrodku łupków, występujących na głębokości kilku metrów, choć dla tego ośrodku wskaźnik stateczności przekracza 3.

Tabela 1. Zestawienie wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie dla warstw wydzielonych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej

Oznaczenie warstwy	Rodzaj gruntu	Spójność c [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]
Ia	Koluwium: pyły, ły i nasypy	15	5
Ib		27	10
IIa	Utwory lessopodobne: gliny pylaste i pyły	13	12,5
IIb		21	16
IIIa	Zwierzeliiny czarnych i pstrych łupków: ły i łożupki	51	8
IIIb		60	13



Rysunek 3. Profil ręcznie wykonanego otworu S-1 na terenie osuniętych między potokiem a drogą

Właściwe określenie położenia płaszczyzny poślizgu wymagało rozpoznania chociaż jednym otworem terenu między drogą a potokiem, gdzie ewidentnie wystąpił obryw skarpy. Wykonany przez autora na etapie stabilizacji osuwiska ręczny otwór S-1 pozwolił ustalić profil podłoża na osuniętej skarpie dla porównania go z profilem otworu dokumentacyjnego O-3 (Rys.3).

W profilu otworu O-3 do głębokości 3,1 m stwierdzono niejednorodne grunty nasypowe (warstwa Ib), dla których nie oznaczono parametrów wytrzymałościowych, natomiast pod nasypami zalegały małowilgotne iłolupki (warstwa IIIa i IIIb) w stanie półzwarłym lub zwartym, o wysokiej spójności (Tab.1). W profilu tym wyznaczenie płaszczyzny poślizgu w ilastym ośrodku gruntów rodzimych jest problematyczne. Otwór ręczny S-1 wykonano na skarpie, około 1,5 m poniżej otworu O-3. Przewierca on typowe grunty osuwiskowe (koluwium oznaczone jako warstwa K), wykształcone w przewodzie jako gliny wysoce podatne na zmianę stanu (uplastycznienie) wskutek wzrostu wilgotności. W otworze S-1 stwierdzono strefę poślizgową w przedziale głębokości 2,6–3,2 m w obrębie glin o zróżnicowanej barwie, z charakterystycznymi czarnymi smugami. Grunty w tej strefie charakteryzowały się niejednorodnością, choćby pod względem ilości wałeczkowań oraz obecnością poziomów sączeń na granicy z podłożem nieprzepuszczalnych iłów. Pomędzy otworami O-3 i S-1 występowała większa różnica poziomu zalegania stropu iłolupków niż pomiędzy otworami w wyższej partii zbocza (O-2 i O-4), co jest typowe dla podnóża zbocza, rozciętego przez górski potok.

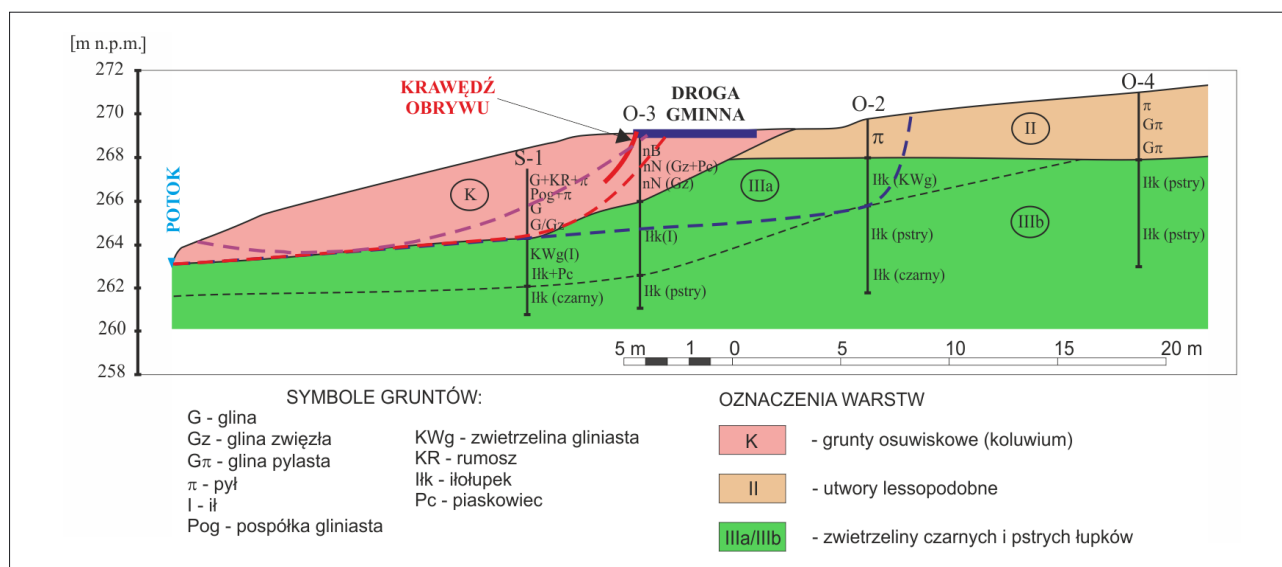
Uwzględnienie otworu S-1 na przekroju (Rys.4) pozwala określić ukształtowanie podłoża na skarpie między potokiem a drogą.

Stosując metodę analizy odwrotnej [11] dla pierwotnej morfologii zbocza przed osunięciem można ustalić graniczne parametry wytrzymałościowe, przy których zbocze utraci stateczność (FS~1,0). Analizę stateczności przeprowadzono przy

zastosowaniu dwóch programów, a jej wyniki przedstawiono na rysunku 4. Linia fioletowa przerywana ilustruje typową kołowo-walcową płaszczyznę poślizgu wygenerowaną w programie GeoSlope 1.1 (firmy Soft-Projekt), zaś czerwona przerywana linia to płaszczyzna poślizgu otrzymana w programie Slope/W (pakiet GeoStudio) z wykorzystaniem funkcji optymalizacji jej przebiegu (optimization). Płaszczyzna poślizgu z programu Slope/W lepiej oddaje przebieg osunięcia, niemniej jednak wiadać, że obie te płaszczyzny zapoczątkowują się w strefie wystąpienia rzeczywistych obrywów (Rys.4 i 5) i obejmują grunty nasypowe oraz gliny koluwialne na skarpie między drogą a potokiem. Płaszczyzna poślizgu przebiega początkowo stromo tworząc charakterystyczny zeskok, a następnie biegnie po granicy ze zwietrzelinami ilastych łupków, które uszczelniają podłoże, przez co zmniejszają wrażliwość głębszych utworów na nasycenie wodą [10].

Analiza przebiegu rzeczywistego obrywu wskazuje, że wskutek nasycenia gruntów gliniastych wodą przesączającą się przez wysoce przepuszczalne nasypy doszło do uplastycznienia gruntu i ześlizgu po stromo nachylonym podłożu łupkowym, na granicy utworów o odmiennych właściwościach (gлина/ił), przy podcięciu dolnej partii stoku przez silnie erodujący potok. Osunięcie gruntów na skarpie przy korycie potoku spowodowało utratę oparcia dla nadległych gruntów podłoża drogi i skutkowało odcinkowym zapadnięciem się konstrukcji drogi. Analizy stateczności zbocza wykonane przez autora ilustrują ten proces, przy wysokiej zbieżności pomiędzy wynikami modelowania a stanem rzeczywistym.

Wystąpienie głębszej płaszczyzny poślizgu w obrębie łupków na tym modelu (niebieska linia przerywana na rysunku 4) byłoby możliwe przy znaczącym obniżeniu i tak już zaniżonych wartości parametrów wytrzymałościowych oznaczonych na paście gruntowej. W takim jednak przypadku, uwzględniając jednostajne nachylenie zbocza zbudowanego z łupków, teore-



Rysunek 4. Przekrój przez osuwisko



Rysunek 5. Pęknięcia nawierzchni widoczne na drodze od strony skarpy potoku

tyczny zasięg i głębokość osuwiska poszerzałyby się wraz ze zwiększaniem zakresu modelu aż do wierzchowiny wzgórza, co jest bardzo mało prawdopodobne, dlatego wskazywanie w dokumentacji geologicznej głębszej (teoretycznej) płaszczyzny poślizgu w łupkach nie było w tym przypadku uzasadnione, a miało zasadniczy wpływ na zaprojektowane zabezpieczenia.

Stabilizacja osuwiska a optymalizacja kosztów

Dobór odpowiednich metod zabezpieczenia omawianego osuwiska oparto o wyniki badań i analiz zawartych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Szczególne znaczenie miało określenie wglębnego zasięgu osuwiska, które w największym stopniu wpłynęło na koszty stabilizacji. Zaprojektowano zabezpieczenia wzdłuż krawędzi drogi od strony potoku na długości ~135 m poprzez wykonanie palisady z ~110 pali betonowych o średnicy 0,6 m zbrojonych grubościennym profilem stalowym H (tzw. hebem). Palisadę z pali o długości do 10 m zagłębiono w łupkach. Góra pali została spięta oczepem żelbetowym, który dodatkowo przyparto do podłoża łupkowego systemem kilkunastu skosnie wywierconych kotew gruntowych o długości 13 m. Zabezpieczenia te skupiały się na przeciwdziałaniu wystąpienia głębokiej płaszczyzny poślizgu. Ponadto zaprojektowano odwodnienie zbocza, umocnienie dna i brzegów potoku

od strony obrywu, a także odpowiednie ukształtowanie nachylenia powierzchni skarpy i odtworzenie konstrukcji drogi.

Koszt zabezpieczenia tego niewielkiego osuwiska, uszkadzającego fragment drogi gminnej, którą w ciągu godziny przejeżdża średnio 25 samochodów, wyniósł ~1,5 mln zł, w tym koszt wykonania konstrukcji oporowej dla zabezpieczenia głębokiej płaszczyzny poślizgu w ośrodku łupków wyniósł prawie 1 mln zł.

Ograniczenie powierzchniowego i wglębnego zasięgu obrywu do obszaru, gdzie rzeczywiście występowały przejawy osunięcia (potwierdzone wynikami modelowania stateczności) pozwoliłoby na ograniczenie zakresu robót (regulacja potoku, odwodnienie, zabezpieczenia przeciwerozyjne, usunięcie gruntów koluwium i przebudowa konstrukcji drogi) i znaczną redukcję kosztów stabilizacji.

Drogę gminną uszkodzoną osuwiskiem charakteryzuje małe natężenie ruchu, a obryw nie zagraża innym obiektom budowlanym poza tą drogą, gdyż zbocze jest niezabudowane. Droga ta nie stanowi jedynej trasy dojazdu do gospodarstw, gdyż istnieje alternatywna droga gminna o podobnej długości dojazdu, która jest w dobrym stanie i przebiega poza terenem osuwiska. Uwzględniając te informacje i wykorzystując metodykę zaproponowaną przez Laskowicz, Mrozek, Zabuski [12] można określić czy stabilizowanie osuwiska jest opłacalne z ekonomicznego i uzasadnione ze społecznego punktu widzenia. Analiza ekonomiczna obejmuje porównanie nakładów potrzebnych na ustabilizowanie osuwiska (C) ze stratami spowodowanymi przez zsuw (B). Jeśli koszt zabezpieczenia osuwiska, tak jak w analizowanym przypadku, jest większy od potencjalnych strat ($C/B > 1$) to taki zakres stabilizacji nie ma ekonomicznego uzasadnienia (Tab.2). Nie występują tutaj również kryteria społeczne (zachowanie dóbr kultury, obiektów o wartości historycznej, czy jedynej drogi dojazdu albo znaczącego jego wydłużenia), które mogłyby mieć decydujące znaczenie przy podejmowaniu decyzji o stabilizacji osuwiska.

Analizując zaprojektowane zabezpieczenia należy podkreślić, że przy wystąpieniu głębokiej płaszczyzny poślizgu w łupkach na całym zboczu, wykonana w dolnej części stoku konstrukcja oporowa nie przeciwdziałałaby osunięciu, co można porównać do stabilności ogrodzenia ustawionego w poprzek stoku przed czołem schodzącej lawiny.

Podsumowanie

Ulokowanie jakiegokolwiek obiektu budowlanego na fliszowym zboczu w Karpatach wiąże się z ryzykiem osunięcia, które jest uzależnione od wielu czynników (nachylenia zbocza, budowy geologicznej, skali i intensywności erozji, niekorzystnych przekształceń antropogenicznych i in.). Żadne prace stabilizujące na osuwisku nie dają pełnej gwarancji, że zbocze po ich wykonaniu będzie stabilne. Optymalizacja rozwiązań przy stabilizacji osuwisk powinna polegać na analizie możliwości zachowania funk-

Tabela 2. Porównanie strat osuwiskowych i wartości gruntów na zboczu zagrożonym osuwiskiem (B) z kosztami stabilizacji osuwiska (C)

Określenie strat bezpośrednich wynikających z wystąpienia osuwiska			
Sposób użytkowania	powierzchnia [m ²]	Wartość standaryzowana [zł/m ²]	Poniesione straty [zł]
ciągi komunikacyjne	600	138,5	83 100
tereny upraw rolnych	2700	29	78 300
łącznie teren osuwiska	3300	-	161 400
Określenie wartości gruntów na zboczu powyżej osuwiska			
Sposób użytkowania	powierzchnia [m ²]	Cena gruntów rolnych* [zł/m ²]	Wartość gruntów [zł]
tereny upraw rolnych	100 000	2,4	240 000
Koszty stabilizacji: C = 1,5 mln zł			
Koszty strat oraz wartość gruntów zagrożonych: B = 0,4 mln zł			
C/B = 3,7			

* - cena m² gruntów rolnych na podstawie danych GUS z IV kwartału 2017 roku dla województwa podkarpackiego

cji obiektu, przy świadomości istnienia ryzyka geologicznego, a projektowane zabezpieczenia powinny uwzględniać skalę obiektu i zakres potencjalnego zagrożenia skutkiem zaniechania stabilizacji albo odnowienia lub poszerzenia osuwiska, przy uwzględnieniu alternatywnych wariantów. Należałoby gruntowanie rozważyć preferowane obecnie podejście zabezpieczania głębokich płaszczyzn poślizgu [13] w kontekście ekonomicznym i technicznym, w szczególności w odniesieniu do niewielkich i łatwo identyfikowanych prostymi metodami płytkich zsuwów, jak choćby w opisywanym przypadku.

Warto zwrócić uwagę, że w odniesieniu do dokumentowania i projektowania stabilizacji osuwisk drogowych finansowanych ze środków publicznych bardzo rozwinięte są administracyjne procedury opiniowania i uzgadniania kwestii geologicznych i projektowych na każdym etapie [14], zaś aspekt optymalizacji rozwiązań nie jest wystarczająco uwzględniany, a jednostronne ukierunkowanie na zabezpieczanie głębokich płaszczyzn poślizgu prowadzi niejednokrotnie do maksymalizacji kosztów niewspółmiernych do odniesionych korzyści.

W opisanym przypadku dane geologiczne uzyskane z wierceń i badań laboratoryjnych oraz identyfikacja przejawów osunięcia poparte wynikami modelowania stateczności zbocza wskazują na płytki ześlizg gruntów powierzchniowych po nachylonej powierzchni łupków, z czego wynika, że zabezpieczenie tego osuwiska byłoby możliwe bez wykonywania kosztownej konstrukcji oporowej przewidzianej dla ustabilizowania głębszej (teoretycznej) płaszczyzny poślizgu w łupkach.

Literatura

- Rybicki S, Rączkowski W, Wójcik A, *Zjawiska osuwiskowe w Karpatach zagrożeniem dla budownictwa komunikacyjnego*. Materiały konferencji naukowej – wyd. AGH Kraków. Krynica, 2004.
- Działania resortu środowiska w zakresie systemu osłony przeciwosuwiskowej w Polsce*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2010.
- Rączkowski W, *Zagrożenia osuwiskowe w polskich Karpatach*, referat w ramach konferencji „Geozagrożenia – zmniejszanie ryzyka, podnoszenie świadomości” – V Międzynarodowe Targi Geologiczne, Warszawa, 2007.
- Poprawa D, Rączkowski W, *Osuwiska Karpat*, Przegląd Geologiczny, 2003; 51:685-692.
- Kaczmarczyk R, Tchórzewska S, Woźniak H, *Charakterystyka wybranych osuwisk z terenu południowej Polski uaktywnionych po okresie intensywnych opadów w 2010 roku*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 2011; 446:65-74.
- Zapobieganie ruchom masowym ziemi* – Raport pokontrolny Departamentu Środowiska Najwyższej Izby Kontroli – P/16/048, 2016.
- Kondracki J, *Geografia regionalna Polski*, Wyd. nauk. PWN. Warszawa, 2012.
- Marciniak P, *Karta rejestracyjna osuwiska nr ...*, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków, 2012.
- Dokumentacja geologiczno-inżynierska: „Rozpoznanie warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb zabezpieczenia osuwiska nr... w miejscowości ...”, Kraków, 2012.

10. Dobak P, Gawriuczenkow I, Kaczmarek ŁK, Kielbasiński K, Wójcik E, *Zastosowanie numerycznych obliczeń stateczności zboczy dla oceny potencjalnych stref przemieszczeń zwietrzelin i koluwiów rozwiniętych na podłożu fliszowym*. Przegląd Geologiczny, 2016; 64:683-693.
11. Cała M, Betlej M, *Trójwymiarowa analiza stateczności zbocza w skomplikowanych warunkach geologicznych*, Górnictwo i Geoinżynieria, 2010; 34:141-148.
12. Laskowicz I, Mrozek T, Zabuski L, *Ryzyko osuwiskowe – implikacje dla zagospodarowania przestrzennego i stabilizowania indywidualnych obiektów (na przykładzie Koroniowa k. Bydgoszczy)*, referat w ramach ogólnopolskiej konferencji osuwiskowej „Osuwisko”, Wieliczka, 2015.
13. Wójcik A, Wojciechowski T, *Osuwiska jako jeden z ważniejszych elementów zagrożeń geologicznych w Polsce*, Przegląd Geologiczny, 2016; 64:701-709.
14. Marciniec P, Wójcik A, Wojciechowski T, Nescieruk P, *Wymagania dla dokumentacji geologiczno-inżynierskich na potrzeby zabezpieczenia osuwisk finansowanych ze środków publicznych*, referat w ramach ogólnopolskiego sympozjum: „Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce”, Rzeszów, 2017.

Abstract

The stabilization of landslide is usually very costly, which is why optimal slope reinforcement should be based on exact geological investigations. The described case of a small landslide on the road in the Carpathians presents the process of documenting, stability analysis and design solutions for slope reinforcement. Depth of slip surface was the most important information for slope reinforcement first-design. Collapsed slope was subjected to re-analysis of stability, taking into account additional data already obtained during slope reinforcement. Stability modeling results indicate a different range and depth of the slip surface than those use for design, which had a major impact on the costs of stabilization.

Key words: slip surface, slope reinforcement, stability modeling, costs of landslide stabilization, collapsed slope
