



Osuwisko nr 2. Kotwienie palisady (konstrukcja tesyńska)

Likwidacja problemów osuwiskowych w drogownictwie – skuteczność kompleksowych rozwiązań geotechnicznych, cz. 2

■ mgr inż. Jakub Sierant, TITAN POLSKA Sp. z o.o.

Próba polemiki ze spotykanym obecnie podejściem do rozwiązywania problemów osuwisk, zwłaszcza związanych z obiektami infrastrukturalnymi, oraz chęć przekonania, że pomimo wszelkich trudności dysponujemy zarówno wiedzą inżynierską, jak i skutecznymi narzędziami do racjonalnego stabilizowania osuwisk i zwalczania ich skutków, to główne zamierzenie niniejszego artykułu.

W poprzednim numerze „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego” przedstawiono charakterystykę pozytywnie zweryfikowanych narzędzi geotechnicznych wykorzystywanych w zakresie stabilizacji osuwisk i zwalczania ich skutków wraz ze wskazaniem ich przydatności do naprawy i rekonstrukcji infrastruktury drogowej. Omówiono takie technologie, jak gwoździowanie gruntu, bariery mikropalowe, konstrukcje tesyńskie, gwoździe drenujące stosowane do odwodnienia wgłębnego. W tej części artykułu szczegółowo opisano sposób ich praktycznego wykorzystania na przykładzie stabilizacji osuwisk przy drodze wojewódzkiej nr 941.

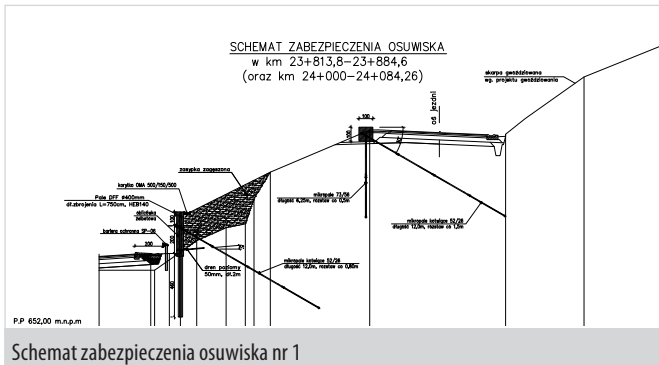
Osuwiska w ciągu DW nr 941 Wisła – Istebna

W trakcie prowadzenia prac modernizacyjnych drogi wojewódzkiej nr 941 Wisła – Istebna uaktywniły się procesy geodynamiczne w obrębie przyległych skarp. Procesy te miały różny charakter i intensywność, przy czym najbardziej nimi dotknięte w zakresie intensywności, głębokości i obszaru objętego przemieszczeniami są dwie skarpy o numeracji odpowiednio: skarpa osuwiskowa nr 1 i nr 2. Bezpieczne użytkowanie zmodernizowanej drogi wymagało zabezpieczenia najbardziej newralgicznych odcinków drogi, przylegających do awaryjnych skarp.

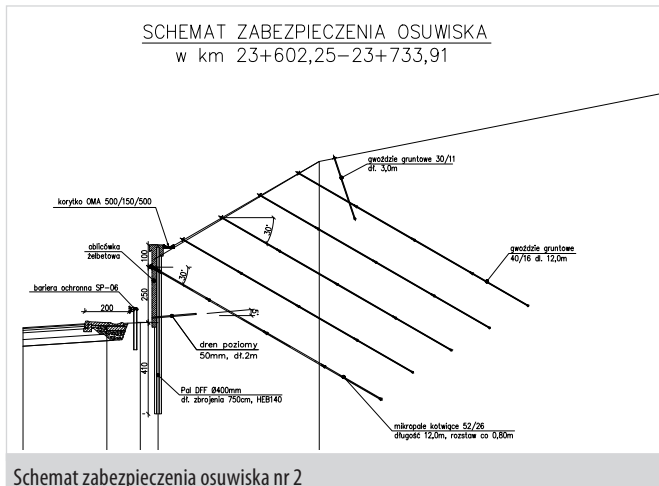
Na potrzeby obliczeń stateczności skarpy osuwiskowej dokonano analizy i syntezy warunków geologiczno-inżynierskich. Wykorzystano w tym celu informacje zawarte w *Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej* oraz dodatkowo przeprowadzono obserwacje terenu oraz obserwacje zaburzeń mikrotektonicznych. Z uwagi na fakt, iż w obliczeniach stateczności istotną rolę



Osuwisko nr 1



Schemat zabezpieczenia osuwiska nr 1



Schemat zabezpieczenia osuwiska nr 2

odgrywają właśnie osłabienia strukturalne – gęstość i wielkość spękań, ich orientacja przestrzenna, uławicenie, charakter i sposób wypełnienia szczelin, itp., do obliczeń zastosowano parametry zweryfikowane przy pomocy kryterium Hoeka – Browna. Do weryfikacji parametrów wykorzystano program RocLab. Na potrzeby obliczeń stateczności dokonano syntezy danych z *Dokumentacji* i na podstawie obserwacji wydzielono jedną warstwę geotechniczną w postaci podłoża fliżowego.

Pod względem warunków hydrogeologicznych utwory tworzące osuwisko są silnie zawilgocone, lokalnie sączeni przyjmują charakter wypływów źródłkowych. Podsumowując, ustalono, że warunki geotechniczne w aspekcie stateczności skarpy są złożone. Możliwe są dwa rodzaje zjawisk o charakterze ruchów masowych – osuwiska głębsze, z głębszą strefą poślizgu, oraz niestateczności przypowierzchniowe w formie zsuwów, spływań bądź oberwań i osypujących się zwietrzałych okruchów starszego podłoża. Wyniki wizji lokalnej wskazywały na uaktywnienie procesów obu typów. Wartości parametrów wykorzystane do obliczeń, przedstawiono poniżej.

Podłoże fliżowe (piaskowiec spękany, zwietrzały): $\gamma = 21,0$ kN/m³, $\phi = 18^\circ$, $c = 15$ kPa.

W celu określenia warunków stateczności omawianej skarpy drogowej oraz rodzaju i zakresu niezbędnych zabiegów wzmacniających przeprowadzono cyfrowe modelowanie stateczności. Model obliczeniowy stworzono na bazie przekroju poprzecznego. Obliczenia prowadzono w dwóch fazach: w pierwszym kroku obliczeniowym sprawdzono stateczność ogólną (wglębną) skarpy osuwiskowej w jej obecnym stanie. W kolejnym etapie modelowano zabezpieczenia poprawiające stateczność wglębną.

Modelowanie skarpy wykonano, wykorzystując program GEO4 MES. Program ten umożliwia obliczenie rozkładu naprężeń i odkształceń w ośrodku gruntowym i modelowanych konstrukcjach. W niniejszych obliczeniach wykorzystano sprężysto-plastyczny model Coulomba – Mohra. Modelowanie

przeprowadzono w typowym przekroju. Na tak przygotowanym modelu przeprowadzono swego rodzaju wsteczną analizę stateczności zbocza (tzw. *back analysis*), polegającą na redukcji parametrów wytrzymałościowych modelowanych warstw do momentu, w którym zbocze staje się niestateczne. W modelu taki stan objawia się bardzo dużymi wartościami przemieszczeń lub brakiem zbieżności w obliczeniach układu. W wyniku analizy wstecznej określono najbardziej prawdopodobny przebieg strefy poślizgu. Modelowanie wykazało ponadto, że skarpa drogowa charakteryzuje się wskaźnikiem stateczności $F_s = 1,11$. Jest to wartość bliska wartości odpowiadającej stanowi granicznemu i nieznaczne wahania wielkości parametrów mogą powodować sukcesywną progresję procesów geodynamicznych. Zasięg strefy aktywnej ustalony w drodze modelowania numerycznego dobrze pokrywał z zasięgiem przemieszczeń obserwowanych w terenie. Model obliczeniowy uznano za wierny i właściwie skalibrowany do prowadzenia dalszych obliczeń. Z uwagi na dalece niewystarczający zapas bezpieczeństwa oraz konieczność zapewnienia bezawaryjnego, bezpiecznego użytkowania gruntownie modernizowanej drogi, zaprojektowano zabezpieczenia geotechniczne. Biorąc pod uwagę przebieg drogi, która w dolnej części przylega do skarpy osuwiskowej, po czym wznosząc się, zakręca o 180°, biegnie ponad niszą osuwiskową i zbliża się znacznie do jej krawędzi, przewidziano zabezpieczenie podtrzymujące niezależnie górny odcinek drogi oraz konstrukcję zabezpieczającą fragment dolny drogi, u podstawy skarpy osuwiskowej. W drodze modelowania numerycznego ustalono, że podparcie dolne (ścianka oporowa) wyprowadzona będzie na bazie palisady z palami DFF, zakotwiona w jednym poziomie mikropalami kotwiącymi 52/26. Podparcie odcinka górnego zrealizowane zostanie przez palisadę mikropalową na bazie mikropali 73/56, wzmocnioną jednym poziomem mikropali kotwiących 52/26. Obie konstrukcje zamodelowano w kolejnej fazie obliczeniowej. Rozstawy osiowe pali DFF i mikropali oraz parametry zakotwień dopasowywano dla osiągnięcia optymalnego efektu. Obliczenia dla skarpy osuwiskowej z wprowadzonymi wzmocnieniami wykazały wygaszenie przemieszczeń w strefie pod jezdnią, jak również stref uplastycznień w niewralgicznym miejscu skarpy. Wskaźnik stateczności dla tak zabezpieczonego zbocza wyniósł $F_s = 1,5$, co jest wartością poprawną zarówno z formalnego punktu widzenia, jak również zgodną z obowiązującym poziomem wiedzy technicznej w kwestii stateczności długotrwałej.

Lokalizacja i przebieg stref poślizgu w obrębie omawianej skarpy osuwiskowej, jak również wartości wskaźnika stateczności wskazywały na istotne zagrożenie wystąpienia dalszych zjawisk przemieszczeń mas gruntowych o różnej skali i natężeniu, począwszy od typowo powierzchniowych zjawisk w rodzaju zsuwów i spływań, aż do poważnych osuwisk sięgających pod nawierzchnię górnego odcinka drogi. W związku z niską wartością wskaźnika stateczności ogólnej (wglębnej) oraz ówczesnym stanem technicznym skarpy zdecydowano konieczność wprowadzenia skutecznego zabezpieczenia przed skutkami dalszej utraty stateczności.

Zasadniczymi elementami rozwiązania projektowego są dwie konstrukcje podpierające na bazie palisad kotwionych, usytuowane w dolnej i górnej części istniejącego osuwiska. Służą one do zapewnienia długotrwałej stateczności ogólnej, a także do zminimalizowania wystąpienia ryzyka wystąpienia uszkodzeń nawierzchni związanych z procesami osuwiskowymi.

W górnej części skarpy wykonano palisadę (barierę) złożoną z samo wierzących mikropali iniekcyjnych CFG typu 73/56



Osuwisko nr 1. Górna bariera mikropalowa



Osuwisko nr 1. Widok górnej bariery mikropalowej

o typowej nośności obliczeniowej 580 kN. Dla podparcia palisady wykonano jeden rząd mikropali kotwiących. Mikropale kotwiące wykonano jako samo wierzące mikropale iniekcyjne CFG typu 52/26 o typowej nośności obliczeniowej 510 kN. Rozstaw mikropali kotwiących wynosi 1,5 m, kąt nachylenia od poziomu 30°, długość 12 m.

W dolnej części skarpy na wykonana została palisada złożona z pali DFF o średnicy 400 mm/310 mm w rozstawie co 0,4 m. Zbrojenie pali oparto na profilach HEB140. Na palach oparto ściankę oporową o wysokości od 0,5 m (skrajne sekcje) do 3 m, wykonaną z żelbetu. Dla podparcia palisady wykonano jeden rząd mikropali kotwiących. Mikropale kotwiące wykonane zostały jako samo wierzące mikropale iniekcyjne CFG typu 52/26 o typowej nośności obliczeniowej 510 kN. Rozstaw mikropali kotwiących wynosi 0,8 m, kąt nachylenia od poziomu 30°, długość 12 m, poziom zakotwienia 1 m od korony ściany.



Fot. 26. Osuwisko nr 2. Gwoździowanie górnej części niszy

Aby zapewnić ciągłość odwodnienia, wykonano drenaż w postaci drenów poziomych o średnicy 50 mm, nachyleniu 5° i długości 2 m w rozstawie co 4,8 m.

Nieco odmienną kombinacją elementów zabezpieczających zastosowano przy osuwisku nr 2. Biorąc pod uwagę odmienny mechanizm zniszczenia, jak również konsekwentny upad warstw fliszowych na newralgicznym łuku drogi, sprzyjający rozwojowy obrywów i zsuwów strukturalnych, przewidziano dodatkowe zabezpieczenie odciażające konstrukcję zabezpieczającą fragment dolny drogi, u podstawy skarpy osuwiskowej. Dodatkowe zabezpieczenie w postaci gwoździowania obszaru ponad krawędzią ściany dolnej i górną krawędzią niszy osuwiskowej, scala i unieruchamia rozluźnione pakiety skalne nachylone w kierunku drogi i ściany oporowej. Eliminuje to ryzyko zjawisk dynamicznych oddziałujących na ścianę u podstawy osuwiska i zmniejsza wydatnie parcie dodatkowe na konstrukcję. Podparcie dolne (ścianka oporowa) wyprowadzona została na bazie palisady z pali DFF, zakotwione w jednym poziomie mikropalami kotwiącymi 52/26. Zabezpieczenie górnej strefy osuwiskowej zostało zrealizowane przez układ gwoździ gruntowych 40/16. Dodatkowo, dla wyeliminowania odkształceń i przemieszczeń w tej strefie, na gwoździach rozpięto stalową siatkę o wysokiej wytrzymałości, dociśniętą ściśle do gruntu przy pomocy płytek dociskowych i końcówek gwoździ. Dla zwiększenia ochrony przeciwerozynnej i poprawy estetyki pod siatką ułożono warstwę humusu i matę kokosową. Docelowo, zreprofilowana i zabezpieczona górna część niszy (ponad ścianą oporową) zyska wykończenie „zielone”. Obie konstrukcje zaprojektowano w drodze modelowania numerycznego. Rozstawy osiowe pali DFF i mikropali kotwiących oraz parametry gwoździ gruntowych dopasowywano dla osiągnięcia optymalnego efektu. Obliczenia dla skarpy osuwiskowej z wprowadzonymi wzmocnieniami wykazały wygaszenie przemieszczeń w strefie pod jezdnią, jak również stref uplastycznień w newralgicznym miejscu skarpy.

Wskaźnik stateczności dla tak zabezpieczonego zbocza wyniósł $F_s = 1,49$, co jest wartością poprawną zarówno z formalnego punktu widzenia, a także zgodną z obowiązującym poziomem wiedzy technicznej w kwestii stateczności długotrwałej. Uzyskanie w tym przypadku wartości wskaźnika odpowiadającego ściśle skali 1,50 okazało się nieuzasadnione ekonomicznie, gdyż uzyskanie dodatkowej wartości 0,01 (co dla poprawności technicznej nie ma właściwie znaczenia) wiązałoby się z koniecznością nieproporcjonalnego zwiększenia liczby zabezpieczeń wglębnych i co się z tym wiąże nieracjonalnego wzrostu kosztów.



Zimowy widok na zabezpieczone osuwisko nr 1

Podsumowanie i wnioski

Celem artykułu było ukazanie współczesnych możliwości projektowych i wykonawczych w zakresie stabilizacji osuwisk i zwalczania ich skutków. Przedstawiono charakterystykę zweryfikowanych pozytywnie narzędzi geotechnicznych wykorzystywanych do tego celu wraz ze wskazaniem ich przydatności do naprawy i rekonstrukcji infrastruktury drogowej. Jednocześnie starano się uwzględnić i rzetelnie przedstawić zakres stosowania i ograniczenia prezentowanych technik oraz ukazać możliwości, które stwarzają. Potencjał do łączenia ze sobą przedstawionych rozwiązań sprawia, że są one swoistym katalogiem rozwiązań inżynierskich, umożliwiającym stworzenie ekonomicznej, ale przede wszystkim skutecznej metody zabezpieczenia osuwiska.

Artykuł powstał na bazie doświadczeń w zakresie konsultingu i projektowania geotechnicznego oraz praktyki inżynierskiej wynikającej ze współpracy ze specjalistycznymi firmami z branży budownictwa inżynierskiego. Przedstawiono również przykład kompleksowego wykorzystania opisanych technik dla skutecznego rozwiązania problemu. Ujęcie tematu od strony praktycznej, z celowym ograniczeniem podstaw teoretyczno-naukowych, miało na celu przedstawienie możliwości projektowo-technicznych jako gotowego narzędzia, o potwierdzonej skuteczności. Tekst jest równocześnie zachętą do szerszego spojrzenia na kwestię zwalczania osuwisk i formułuje tezę, że przy całkowitym ujęciu wszystkich kosztów, łącznie ze społeczno-ekonomicznymi (koszty objazdów, zamknięcia dróg, straty lokalnej gospodarki, koszty prób napraw doraźnych i „eksperymentowania”), kompleksowe, docelowe rozwiązanie problemu osuwiska jest w efekcie końcowym zdecydowanie bardziej racjonalne i oszczędne, co w sytuacji finansowania inwestycji ze środków publicznych ma znaczenie pierwszorzędne.



Zimowy widok na zabezpieczone osuwisko nr 2