

Ściany szczelinowe jako technologia wykonania zabezpieczenia przeciwośuwiskowego w rejonie fliszu karpackiego – wyzwania projektowe i realizacyjne



tekst:
mgr inż. **DANIEL DYMEK**, mgr inż. **TOMASZ SKÓRA**,
mgr inż. **MATEUSZ CHŁUDZIŃSKI**, Keller Polska Sp. z o.o.



W ostatnich latach w Polsce realizuje się szereg dużych projektów drogowych (np. S1, S7, S19) i kolejowych (np. LK104) we fliszu karpackim na południu Polski. Flisz karpacki to ośrodek bardzo złożony pod względem geologicznym i hydrogeologicznym. Cechuje go duża zmienność uwarstwienia i parametrów wytrzymałościowych oraz odkształcalnościowych, przy dużej niepewności odnośnie do występowania oraz poziomów wód gruntowych.

Rejon karpacki jest przy tym najbardziej zagrożony pod względem występowania ruchów masowych – na tym niewielkim powierzchniowo terenie kraju występuje ponad 90% wszystkich osuwisk w Polsce. W tych trudnych warunkach brzegowych należy zapewnić bezpieczeństwo projektowanych konstrukcji inżynierskich oraz szeroko pojętego otoczenia prowadzonych inwestycji (budynków, infrastruktury, upraw, drzewostanu). Zabezpieczenia przeciwośuwiskowe są tutaj kluczowe.

Analiza rejonów osuwiskowych, poszukiwanie rozwiązań i dobór konstrukcji zabezpieczających to jedno z ciekawszych zadań dla inżynierów geotechników [1]. Odpowiedzialne i szczegółowe podejście do tej problematyki otwiera wiele możliwości kształtowania optymalnych rozwiązań geotechnicznych, poczynwszy od typowego gwoździowania skarp i zboczy, kotwienia czynnego różnego rodzaju elementów żelbetowych, przez palisady wspornikowe lub kotwione, a skończywszy na konstrukcjach masywnych. Również dobór i wykorzystanie konkretnych technologii geotechnicznych do realizacji projektowanego rozwiązania jest zadaniem, które wymaga odpowiedniego doświadczenia i szczegółowej analizy. W niniejszym artykule przedstawiono masywne zabezpieczenie przeciwośuwiskowe zrealizowane w technologii ścian

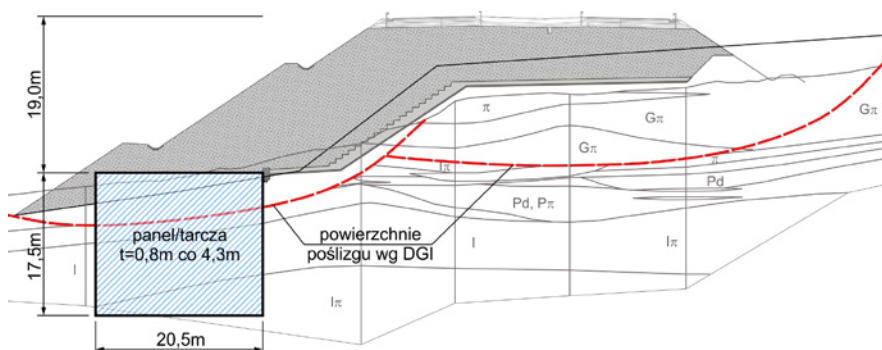
szczelinowych przy użyciu chwytaka mechanicznego.

Rozwiązanie [2] obejmowało zabezpieczenie nasypu drogowego w strefie osuwiskowej w postaci układu tarcz (paneli) wykonywanych w gruncie, umożliwiających znaczące ograniczenie przemieszczeń nasypu spowodowanych naporem mas ziemnych w rejonie osuwiska. Przewidziano tarcze o grubości 80 cm i długości w planie 18,5 oraz 20,5 m. Głębokość elementów (17,5 m) dobrano tak, aby zapewnić stabilne zakotwienie w gruncie, poniżej potencjalnych powierzchni poślizgu, określonych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Ich rozstaw osiowy wynosi 4,3 m. Tarcze zostały wykonane jako elementy niezbrojone w technologii ścian szczelinowych z wykorzystaniem mieszanki samozagęszczalnej o wymaganej wytrzymałości na

ściskanie $f_{ck, cube} = 20 \text{ MPa}$ ($f_{ck} = 16 \text{ MPa}$). Typowy przekrój przedstawiono na rysunku 1. Z uwagi na ciągłość i bardzo wysoką sztywność w płaszczyźnie poszczególnych tarcz, zrezygnowano z ich zbrojenia oraz ze stosowania elementów wieńczących w postaci oczepów żelbetowych.

Rozwiązania projektowe zostały poparte zaawansowaną analizą numeryczną metodą elementów skończonych (MES), przeprowadzoną w środowisku Plaxis 3D.

Obliczenia stateczności projektowanych nasypów wykonano przy wykorzystaniu charakterystycznych wartości parametrów gruntowych oraz obciążeń. W przyjętym podejściu obliczeniowym uznaje się, że nasyp lub wykop jest stateczny, jeżeli obliczony współczynnik stateczności osiąga wartość co najmniej $F \geq 1,25$, co odpowiada podejściu



Ryc. 1. Przekrój przez nasyp w strefie potencjalnego osuwiska

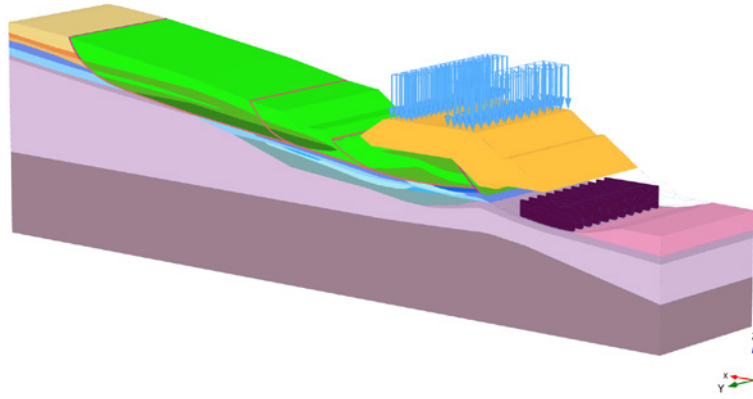
projektowemu DA3 (A2+M2+R3) zgodnie z wytycznymi Eurokodu 7.

W przypadku skarp zagrożonych ruchami masowymi, na potrzeby analizy konstrukcji zabezpieczających, w modelach obliczeniowych wprowadzono warstwy osłabione, symulujące potencjalne powierzchnie poślizgu. Parametry tych warstw dobrano w taki sposób, aby uzyskać współczynnik stateczności zbliżony do jedności, co odpowiada stanowi osuwiska czynnego lub wysokiego prawdopodobieństwu jego aktywacji. Następnie, przez wprowadzanie konstrukcji zabezpieczających, zwiększano globalny współczynnik stateczności analizowanego zbocza w obrębie nasypu drogowego do wartości $F > 1,40$. Do wymiarowania elementów zabezpieczających w stanie granicznym nośności (SGN) otrzymane siły wewnętrzne (naprężenia) przemnożono przez współczynnik obliczeniowy $\gamma_f = 1,35$.

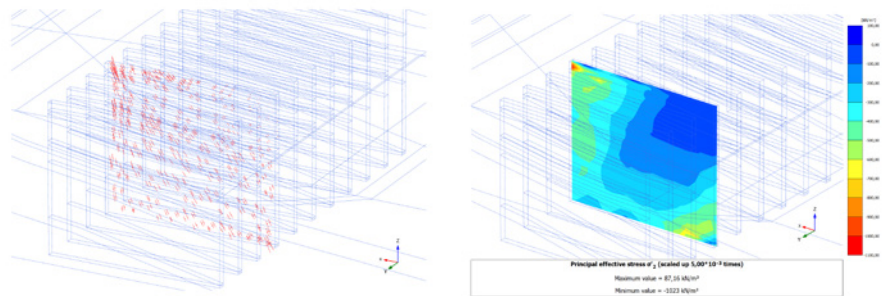
Tarcze zabezpieczające modelowano (ryc. 2) z wykorzystaniem konstytutywnego modelu materiałowego Concrete. Interakcję pomiędzy elementami konstrukcyjnymi a podłożem gruntowym odwzorowano za pomocą elementów kontaktowych typu Interface. Przyjęto obciążenie użytkowe od ruchu drogowego na poziomie 25 kN/m^2 .

W projektowanych tarczach zabezpieczających przeprowadzono szczegółową analizę rozkładu oraz wartości naprężeń. W żadnym z przypadków nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężeń rozciągających (f_{ctd}) ani ściskających (f_{cd}), co potwierdza prawidłowość przyjętych założeń projektowych oraz skuteczność zastosowanego modelu materiałowego. Na rycinie 3 przedstawiono trajektorie naprężeń głównych oraz ich wartości σ'_2 w reprezentatywnej tarczy ('-' oznacza ściskanie).

Realizacja elementów w technologii ścian szczelinowych wymaga odpowiedniego przygotowania placu budowy. Konieczne jest wykonanie platformy roboczej, zapewniającej bezpieczną realizację robót, murków prowadzących, gwarantujących geometrię i jakość wykonywanych elementów, oraz odpowiednie umiejscowienie i organizacja zaplecza budowy dla zapewnienia ciągłości technologicznej robót. Do sprawnego wykonania szczeliny chwytkiem mechanicznym w warunkach fliszu karpackiego niezbędne jest często dłutowanie materiału skalnego o wyższej wytrzymałości oraz częste wymiany zębów



Ryc. 2. Model obliczeniowy



Ryc. 3. Trajektorie naprężeń oraz ich wartości σ'_2 w reprezentatywnej tarczy ('-' oznacza ściskanie)



Ryc. 4. Zrealizowane tarcze (panele)

skrawających. W opisywanym przypadku w pięć tygodni zrealizowano ok. 8700 m^2 tarcz (paneli; ryc. 4) – właśnie dzięki odpowiedniemu przygotowaniu do zadania i wykonaniu robót zgodnie z metodą 5S oraz ścisłej współpracy z generalnym wykonawcą.

Realizacja zadań inżynierskich we fliszu karpackim wymaga kompleksowego podejścia zarówno na etapie projektowania, jak i wykonawstwa specjalistycznych robót geotechnicznych. Zmienność litologiczna oraz niejednorodność warunków gruntowo-wodnych sprawiają, że szczegółowe analizy numeryczne problemów osuwiskowych stały się standardem projektowym. Zazwyczaj w ramach wymagań kontraktowych konieczne jest również przeprowadzenie niezależnych obliczeń weryfikacyjnych

z zastosowaniem metod analitycznych, co pozwala na dodatkową kontrolę poprawności przyjętych założeń i zwiększa bezpieczeństwo projektowanych rozwiązań. Sama realizacja robót wymaga natomiast odpowiedniego przygotowania i niejako przewidywania potencjalnych trudności w trakcie prowadzenia prac. Bez tego trudno o sukces techniczny i finansowy.

Literatura

- [1] *Metody badań, monitorowania i stabilizacji osuwisk*. Red. nauk. S. Rybicki, M. Cała. Wydawnictwa AGH. Kraków 2023.
- [2] Projekt technologiczny, Keller Polska Sp. z o.o.

www.keller.com.pl



Czytaj więcej