



Ryc. 1. Wynik testu bariery odłamkowej RXI-500 w warunkach upadku pionowego z 32 m

## Konstrukcje chroniące przed sływami gruzowymi i spadającymi odłamkami skalnymi – **testowanie, wymiarowanie, instalacja, użytkowanie**



■ mgr inż. Mirosław Mrozik, mgr inż. Piotr Baraniak, GeobruGG AG, Partner w Polsce

W artykule przedstawiono najciekawszą część oferty firmy GeobruGG AG, która od początku swojej działalności prowadzi intensywne badania i wdraża rozwiązania mające na celu ochronę ludzi i ich otoczenie przed zagrożeniami naturalnymi w postaci spadających odłamków skalnych, lawin gruzowych i śnieżnych oraz osuwisk. Początek prac nad tymi technologiami datuje się na 1951 r., kiedy została zainstalowana pierwsza bariera niedopuszczająca do powstawania lawin śnieżnych.

### Wprowadzenie

Wszystkie zabezpieczenia oferowane przez firmę GeobruGG AG oparte są na technologii stali, a ściślej siatek stalowych o bardzo wysokich wytrzymałościach (również dynamicznych). Unikatowym podejściem do kwestii bezpieczeństwa jest testowanie produktów w skali 1:1, mające na celu dokładne poznanie specyfiki badanych zjawisk, doskonalenie oraz zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa proponowanych rozwiązań. Wszystkie testy badawcze wykonywane są zgodnie

z rygorystycznymi wytycznymi Szwajcarskiego Federalnego Biura ds. Środowiska (BAFU) oraz wytycznymi Europejskiej Organizacji do spraw Aprobacji Technicznych (EOTA).

GeobruGG AG jako firma o globalnym zasięgu działa w ponad 40 krajach, w tym od 2005 r. także w Polsce. Zakres proponowanych rozwiązań obejmuje:

- stabilizację skarp (systemy TECCO® i SPIDER®)
- ochronę przed spadającymi odłamkami skalnymi (bariery RXI oraz GBE)



- ochronę przed spływami gruzowymi (bariery przeciwrumiskowe UX, VX)
- ochronę przed lawinami śnieżnymi.

Ze względu na specyfikę polskiego rynku, a dokładniej rzecz biorąc olbrzymie nakłady na infrastrukturę komunikacyjną, główny kierunek działania firmy w Polsce to stabilizacja skarp przy wykorzystaniu systemów TECCO® oraz SPIDER® w połączeniu z technologią gwoździowania. Obie technologie były już wielokrotnie prezentowane w czasie licznych konferencji oraz w prasie branżowej, dzięki czemu środowisko naukowo-inżynierskie mogło je poznać i w pełni zaakceptować. W związku z powyższym w niniejszym artykule pragniemy skupić się na rozwiązaniach, których zastosowanie do ochrony ciągów komunikacyjnych może pomóc szybko i efektywnie rozwiązać problemy związane z płytkimi osuwiskami (spływami powierzchniowymi na skarpach i zboczach), spływami gruzowymi (lawinami błota i kamieni) oraz powstawaniem obrywów skalnych.

Wymienione zjawiska związane są z gwałtownym przepływem wód w gruncie, spowodowanym topnieniem śniegu, opadami deszczu, erozją, przemarzaniem, sufozją oraz innymi zjawiskami, np. gwałtownymi dobowymi zmianami temperatury. Są to dynamiczne zjawiska naturalne, często bardzo gwałtowne, mogące wielokrotnie w ciągu roku stanowić zagrożenie dla ludzi oraz infrastruktury. Występują one oczywiście w znakomitej większości na terenach górskich, czego Alpy są znakomitym przykładem. Firma Geobrugg AG, posiadając takie „naturalne pole doświadczalne”, oferuje w dziedzinie ochrony przed tego typu zjawiskami systemy elastycznych barier stalowych, których głównym elementem są siatki stalowe o specyficznej konstrukcji, wykonane ze stali o wytrzymałości na rozciąganie minimum 1770 MPa, uzyskujące dzięki temu wysoką wytrzymałość na obciążenia zarówno statyczne, jak i dynamiczne. Poniżej postaramy się przybliżyć ideę stosowania tych technologii oraz opisać ich konstrukcję.

### Obrywy skalne – zjawisko oraz sposoby przeciwdziałania

Spadające odłamki skalne – obrywy są wynikiem gwałtownego oderwania się lub odpadania mas skalnych o bardzo zróżnicowanej wielkości. Z reguły pojawiają się na zboczach o dużej powierzchni, masywach górskich, ale mogą być także wynikiem działalności człowieka, np. zagrażać ciągom komunikacyjnym po podcięciu skarp skalnych. W naturze zaobserwowano, że prędkość spadających odłamków waha się w granicach 10–20 m/s, nie przekraczając 25 m/s.

Istnieje wiele metod ochrony przed powstawaniem obrywów lub przed obrywami, które już powstały. Są to m.in. galerie betonowe, nasypy, kurtyny skalne, zbrojenie zboczy, konstrukcje oporowe oraz oczywiście stabilizacja biologiczna. Wszystkie one wymagają jednak albo dużej ingerencji w otoczenie (duża ilość prac ziemnych), albo pociągają za sobą znaczne koszty wynikające z powierzchni, na jakiej muszą zostać zaaplikowane. Znakomitym rozwiązaniem w takiej sytuacji są konstrukcje instalowane w bezpośrednim sąsiedztwie ochranianego obiektu, wychwytyjące spadający materiał. Tego typu konstrukcje nazywane są barierami chroniącymi przed spadającymi odłamkami skalnymi, bądź w skrócie barierami odłamkowymi.

Są to konstrukcje, których przykładowy kształt oraz działanie przedstawiono na rycinie 2. W największym uproszczeniu składają się z:

- słupów nadających kształt barierze (choć możliwe jest instalowanie barier pozbawionych słupów, np. w wąskich żlebach)

- systemu lin pomocniczych oraz odciągowych (istnieją konstrukcje bez lin odciągowych, stosowane w kopalniach odkrywkowych)
- odpowiednich siatek stalowych (pierścieniowych lub romboidalnych)
- elementów bezpieczeństwa (pierścienie bezpieczeństwa lub elementy typu *U-brake*)
- elastycznego kotwienia (kotwy linowe, lub gwoździe z głowicami *FLEX HEAD*).

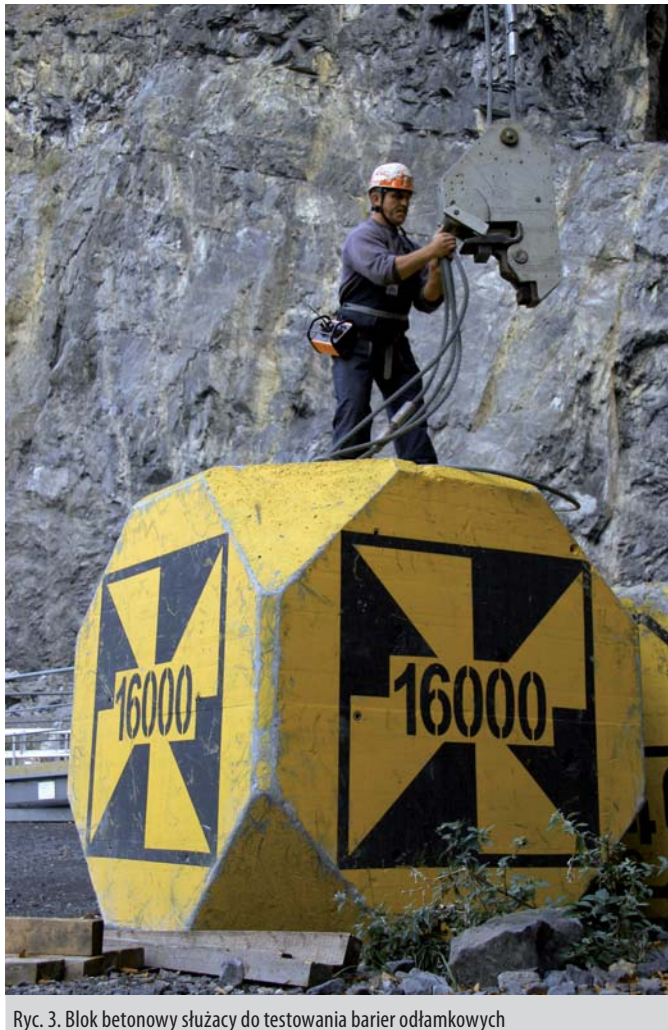


Ryc. 2. Bariera odłamkowa w trakcie uderzenia. Znakomicie widoczna praca wszystkich elementów oraz „elastyczność” konstrukcji

Wszystkie elementy połączone są w sposób zapewniający odpowiednią wytrzymałość konstrukcji, przy czym zawsze jest ona weryfikowana w trakcie serii testów w skali 1:1, w warunkach upadku pionowego. Aktualnie na świecie istnieją dwa dokumenty normalizujące kwestie testowania oraz certyfikacji tego typu konstrukcji i są to odpowiednio:

- ETAG 27 (*European Technical Approval Guideline*), wytyczne wydane w 2009 r. przez EOTA (*European Organization for Technical Approvals*), pozwalające na znakowanie konstrukcji znakiem CE
- *Guideline for the approval of rockfall protection kits*, wytyczne wydane przez BAFU (*Bundesamt für Umwelt – Szwajcarskie Federalne Biuro ds. Środowiska*), będące w użyciu od 2001 r. Obydwa dokumenty powstawały niezależnie, co skutkuje innymi wymaganiami dotyczącymi testowania konstrukcji, a tym samym wymaganiami dotyczącymi obsługi po wystąpieniu zdarzenia (koszty późniejszej obsługi). Nie wchodząc w szczegóły, można podsumować, że ETAG 27 jest dokumentem dużo mniej rygorystycznym, dopuszczającym testowanie barier także w innych warunkach niż kryterium upadku pionowego, dającym jednak możliwość certyfikacji na terenie Unii Europejskiej. Ponieważ wynikiem stosowania każdego z dokumentów są konstrukcje oferujące inne cechy użytkowe, firma Geobrugg AG oferuje dwie linie produktów certyfikowanych zgodnie z każdym z nich. Są to odpowiednio:
- bariery RXI (BAFU) – o nośności w zakresie 100–5000 kJ
- bariery GBE (EOTA) – o nośności w zakresie 250–5000 kJ.

Dla zobrazowania poziomu zaawansowania obydwu typów konstrukcji wystarczy wspomnieć, że test bariery na 5000 kJ polega na swobodnym upadku pionowym bloku betonowego o masie 16000 kg z wysokości 32 m. Wszystkie testy barier polegają na upadku z 32 m, co skutkuje prędkością w momencie uderzenia 90 km/h lub inaczej 25 m/s i jak wcześniej wspomniano, odpowiada zjawiskom spotykanym w naturze.



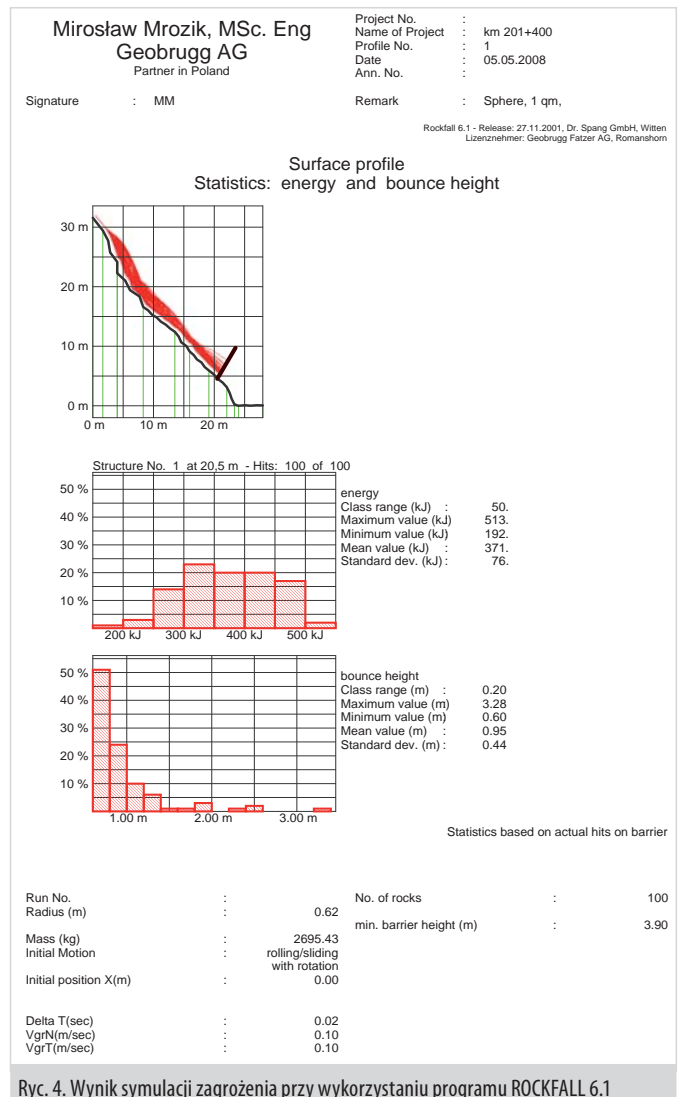
Ryc. 3. Blok betonowy służący do testowania barier odłamkowych

### Barierki odłamkowe – projektowanie, instalacja, użytkowanie

Wynikiem prowadzonych testów, nie tylko związanych z procesem certyfikacji, jest olbrzymia liczba danych, pozwalających zaprojektować barierę pod kątem zagrożenia występującego w określonych warunkach. Dane te to m.in.:

- siły występujące w całym układzie kotwienia bariery (dzięki czemu bardzo łatwo jest zaprojektować kotwienie, którego długość waha się w granicach 2–8 m)
- wysokość ochronna bariery pozostała po wystąpieniu uderzenia (dzięki czemu natychmiast można zweryfikować przydatność konstrukcji pod kątem wielokrotnych uderzeń)
- poziom obsługi po wystąpieniu uderzenia (parametr ten definiuje koszty obsługi oraz pozwala optymalizować szczegóły konstrukcyjne pod tym kątem).

Barierki tworzone na podstawie wcześniej wspomnianych dokumentów (BAFU i EOTA) oferowane są na pewnych poziomach maksymalnej energii uderzenia (dla barier RXI jest to odpowiednio: 100, 250, 500, 1000, 2000, 3000 oraz 5000 kJ) oraz o określonych wysokościach konstrukcji (od 2 do 9 m). Projektowanie tego typu konstrukcji tak naprawdę sprowadza się do doboru odpowiedniej bariery w zależności od poziomu zagrożenia, charakteryzowanego przez dwa podstawowe parametry: energię maksymalną oraz wysokość uderzenia odłamka w barierę (spadające odłamki skalne z reguły odbijają się od powierzchni zbocza). Oba parametry określane są przy pomocy symulacji komputerowych wykonywanych w programie ROCKFALL 6.1 niemieckiej firmy dr Spang. Oprogramowanie to przewiduje



Ryc. 4. Wynik symulacji zagrożenia przy wykorzystaniu programu ROCKFALL 6.1

statystyczny układ trajektorii spadającego odłamka na zadanym przekroju zbocza (na podstawie rzeczywistych danych), podając jako wynik histogram energii oraz wysokości uderzenia w barierę ustawioną w dowolnym punkcie na przekroju. Przykładowe wyniki symulacji przedstawiono na rycinie 4.

Etap instalacji tego typu konstrukcji jest również w dużym stopniu uzależniony od przeprowadzonych uprzednio symulacji, ponieważ w ich wyniku można tak określić miejsce posadowienia konstrukcji, aby było ono kompromisem pomiędzy dostępnością oraz jak najniższym poziomem zagrożenia. Oczywiście, tego typu sytuacja nie zawsze jest możliwa, należy jednak dążyć do takiego umiejscowienia bariery, by oprócz instalacji również jej późniejsza obsługa była jak najprostsza. W przypadku, gdy bariery muszą zostać zainstalowane w miejscu o małej dostępności, istnieje możliwość wyposażenia ich w czujniki uderzeń (Impact Sentinel), informujące drogą elektroniczną osobę wskazaną przez użytkownika o konieczności sprawdzenia konstrukcji.

Proces instalacji barierki odłamkowych podzielony jest na trzy etapy:

- przygotowanie terenu, ewentualna reprofiliacja skarpy, oczyszczenie, usunięcie roślinności
- zainstalowanie systemu kotwienia metodami wiertniczymi (gwoździe lub kotwy linowe)
- instalacja bariery odłamkowej.

Najbardziej praco- i czasochłonne są prace wiertnicze, w związku z czym najchętniej wykorzystywane są w tym





Ryc. 5. Pierścienie bezpieczeństwa, częściowo aktywowane w teście

przypadku technologii gwóźdź samowiercących. Instalacja właściwej części bariery jest czynnością zdecydowanie szybszą i prostszą. Na przykład, instalacja 30 m bariery typu GBE-500A (na 500 kJ), o wysokości 3 m zajmuje ok. godzinę.

Ostatnim elementem świadczącym o przydatności tego typu konstrukcji jest liczba koniecznych prac związanych z obsługą przez użytkownika końcowego (np. GDDKiA). Wszystkie elementy są odpowiednio zabezpieczone antykorozyjnie – ocynk oraz w przypadku siatek warstwa cynk/aluminium o nazwie GEOBRUGG SUPERCOATING® – zapewniają odpowiednią żywotność konstrukcji.

W związku z tym prawdziwy koszt obsługi związany jest z wykonaniem prac naprawczych lub oczyszczających po wystąpieniu uderzenia. Wszystkie te zagadnienia są dokładnie opisane w instrukcji instalacji oraz obsługi, dołączanych każdorazowo do konkretnej, wybranej bariery. Wszystkie konstrukcje optymalizowane są w taki sposób, by liczbę prac naprawczych sprowadzić do minimum (w zakresie wytrzymałości konstrukcji, który jest gwarantowany i certyfikowany).

Szczególne uwagę należy w tym miejscu zwrócić na elementy bezpieczeństwa, które mają za zadanie rozpraszać (absorbować) część energii kinetycznej uderzenia oraz stanowić tzw. predefiniowane punkty uszkodzeń. Można powiedzieć, że są to „bezpieczniki” zapewniające, że ewentualne uszkodzenia są przewidywalne oraz ograniczone do minimum (ryc. 5).

Reasumując, bariery odłamkowe są szybką, skuteczną, weryfikowalną oraz bardzo ekonomiczną (znacznie ograniczającą nakład pracy oraz skalę zabezpieczenia) technologią ochrony przed zagrożeniami dynamicznymi w postaci spadających odłamków skalnych. Konstrukcje tego typu spotkać można na całym świecie, również w Polsce (ryc. 6). Od 2009 r. posiadają one znakowanie CE, co wyjaśnia kwestie dopuszczenia do stosowania na terenie naszego kraju.

### Spływy gruzowe – opis zjawiska oraz sposoby przeciwdziałania

Spływy gruzowe są zjawiskiem masowym, tworzącym się po wystąpieniu gwałtownych opadów deszczu, kiedy woda opadająca z błotem i drobnym materiałem gruzowym spływająca w górnej części stoku po powierzchni jest w stanie poruszyć i upłynąć grubszy materiał gruzowy. Płynące po stoku błoto



Ryc. 6. Bariera RXI-025 (na 250 kJ) zainstalowana przy drodze wojewódzkiej nr 971

ma o wiele większy ciężar właściwy od wody, dlatego też jest w stanie transportować płynące w nim niekiedy wielkie głazy. W wałach spływów gruzowych można zauważyć przemieszczone głazy o średnicy ponad 1,5 m! Dla powstania spływu gruzowego koniecznym warunkiem jest obfity i intensywny opad deszczu, o wysokości przekraczającej 50 mm (50 l/m<sup>2</sup>) oraz obecność drobnego materiału w żlebie i na stoku. Opady mogące uruchomić spływ gruzowy występują w Tatrach od jednego do trzech razy do roku, głównie w okresie letnim, i wiążą się z burzami lub przechodzeniem frontu atmosferycznego. Szczególnie silne opady, przekraczające 100 mm, zdarzają się o wiele rzadziej – raz na kilka lat (opis ze strony <http://www.cyf-kr.edu.pl/tpn/przyroda/geomorfologia2.html>).

Spływy gruzowe przyjmują różną formę, w zależności od transportowanego materiału. W przypadku, gdy jest to frakcja drobna, mówi się o spływie błotnym. Jeśli frakcja jest większa oraz widoczne są kamienie lub głazy, to mamy do czynienia z typowym spływem gruzowym. Zdarza się także, że materiałem transportowanym przez wodę są drzewa i gałęzie. Zazwyczaj jednak spływ gruzowy zawiera w sobie wszystkie z wyżej wymienionych elementów.

Zjawisko spływu gruzowego samo w sobie jest procesem dynamicznym i bardzo groźnym w skutkach. Materiał transportowany w korycie cieku wodnego porusza się zazwyczaj z prędkością nieprzekraczającą 5 m/s, a spływający materiał, ze względu na abrazyjny charakter zjawiska, zabiera ze sobą następne partie gruntu, drewna i kamieni. Spływy gruzowe są zjawiskami bardzo rozległymi, a ich objętość dochodzi niekiedy do kilku tysięcy metrów sześciennych. Dynamiczne oddziaływanie spływającej masy gruzu jest podstawowym czynnikiem powodującym uszkodzenia i będącym bezpośrednim zagrożeniem dla infrastruktury otaczającej koryto cieku wodnego. Dlatego też ważne jest zastosowanie takiego rozwiązania ochronnego, które będzie w stanie wytrzymać uderzenie fali spływającego spływu gruzowego. Drugim, czasami niedoszacowanym lub w ogóle niebranym pod uwagę czynnikiem destrukcyjnym jest oddziaływanie statyczne (parcie) spływu gruzowego na konstrukcję ochronną.

Pomimo że miejsca powstawania spływów gruzowych można w bardzo prosty sposób zaobserwować, to bardzo trudno jest zapobiec ich powstawaniu. Najpowszechniejszą metodą radzenia sobie z tego typu zjawiskami jest zmniejszenie prędkości przepływu cieku wodnego (zmniejszenie spadku hydraulicznego) oraz rozproszenie energii fali spływu gruzowego. Do tego celu stosuje się różnego typu konstrukcje, które spełniają wymagania odporności zarówno dynamicznej, jak i statycznej. Charakter



obciążeń, jakie działają na rozwiązania zabezpieczające, bardzo mocno ogranicza możliwości konstrukcyjne, co powoduje, że pod uwagę brane są jedynie dwa typy zabezpieczeń. Pierwszym są ciężkie, masywne, żelbetowe tamy lub bariery rumowiskowe, które ze względu na swoje gabaryty i skalę prac przygotowawczych oraz konstrukcyjnych są trudne w instalacji i utrzymaniu (ryc. 7). Drugim typem zabezpieczeń są lekkie bariery gruzowe, oparte o stalową siatkę pierścieniową. W porównaniu do ciężkich konstrukcji żelbetowych są one o wiele prostsze w projektowaniu, instalacji oraz obsłudze.



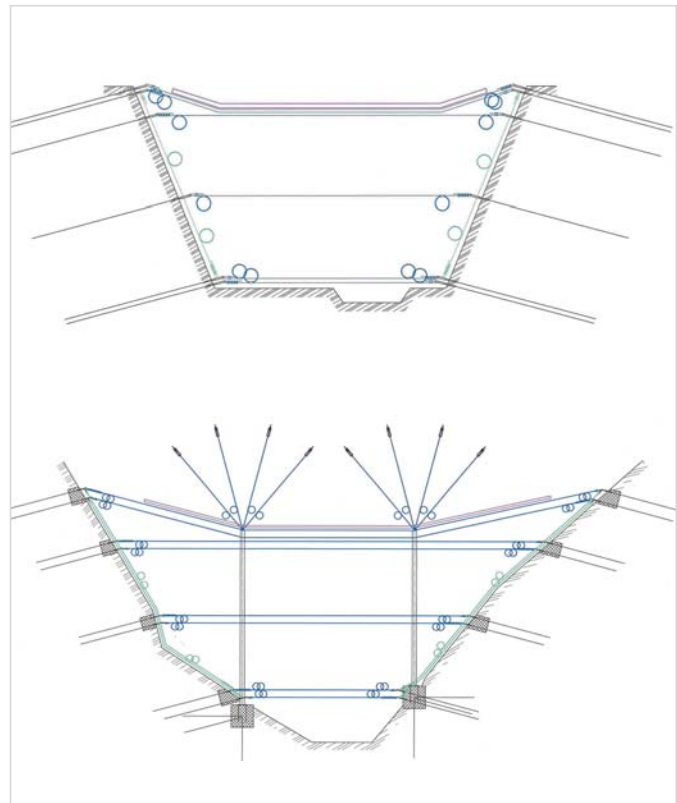
Ryc. 7. Widoczne uszkodzenia ciężkiej, żelbetowej bariery przeciwrumowiskowej

## Bariery gruzowe – projektowanie, instalacja oraz użytkowanie

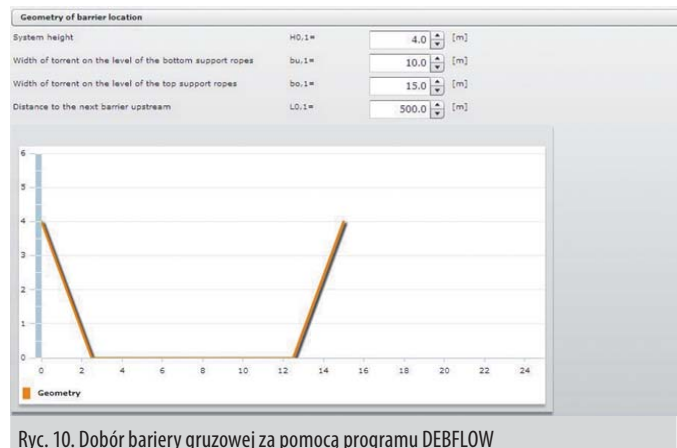
Firma Geobrugg AG od lat prowadzi obserwacje i badania dotyczące natury i zachowania się spływów gruzowych. Ponieważ są to zjawiska zachodzące w bardzo nietypowych warunkach, stworzono specjalne pola doświadczalne w celu ich obserwacji w skali rzeczywistej. Jeden z takich poligonów doświadczalnych znajduje się w naturalnym korycie rzeki Illbach w miejscowości Illgraben w Szwajcarii. Cyklicznie powtarzające się zjawiska spływów gruzowych pozwoliły na stworzenie i kalibrację modelu opisującego zachowanie się mieszaniny wody, błota, drewna i kamieni w korycie rzeczonym. To z kolei ułatwiło stworzenie koncepcji wymiarowania barier odłamkowych. Do modelowania numerycznego powyższych zjawisk używa się programu komputerowego FARO, za pomocą którego można uwzględnić i w precyzyjny sposób sprawdzić współpracę poszczególnych, systemowych elementów bariery. Natomiast autorski program firmy Geobrugg AG o nazwie DEBFLOW, po uwzględnieniu wszystkich parametrów wejściowych, pozwala na dobranie bariery gruzowej dopasowanej do lokalnych warunków oraz skali występujących problemów (ryc. 9 i 10).



Ryc. 8. Bariera gruzowa po zatrzymaniu spływu gruzowego



Ryc. 9. Schemat bariery gruzowej typu VX i UX



Ryc. 10. Dobór bariery gruzowej za pomocą programu DEBFLOW

W zależności od wyników obliczeń oraz na podstawie obserwacji terenowych pod kątem dostępności terenu i możliwości montażu, wybiera się barierę lub system kilku barier, najbardziej uzasadniony pod kątem technicznym oraz optymalny ekonomicznie. Niejednokrotnie właściwsze jest ustawienie w korycie rzeki kilku mniejszych barier zamiast jednej większej.

Bariery gruzowe firmy Geobrugg AG dzielą się na dwa podstawowe typy w zależności od ich konstrukcji (bariery UX posiadają pośrednie słupy nośne), a co za tym idzie różnią się nieco pod kątem zastosowania. Ponadto bariery typu UX ze względu na większą rozpiętość mogą zatrzymywać spływy gruzowe o dużo większej objętości. Obecnie na rynku dostępne są:

- bariery typu VX – bez słupów nośnych o rozpiętości do 12 m i wysokości 6 m
- bariery typu UX – ze słupami nośnymi o rozpiętości powyżej 12 m i wysokości do 6 m.

Elementy składowe barier gruzowych wymieniono poniżej w kolejności, w jakiej następuje ich docelowy montaż, co obrazuje także prostotę całego systemu, a tym samym szybkość instalacji. Bariery gruzowe składają się z:



- odpowiednio dobranego systemu kotwienia, gdzie stosowane są kotwy linowe firmy Geobruugg AG lub głowice *FLEXHEAD*® zakładane na typowe gwoździe gruntowe
- systemu lin głównych i odciągowych, które będą stanowiły konstrukcję nośną oraz nadawały kształt całej barierze (w przypadku barier typu UX instalowane są również słupy nośne)
- pierścieni bezpieczeństwa, które tak jak w barierach odłamkowych, będą absorbować i rozpraszać energię spływu gruzowego
- siatki pierścieniowej *ROCCO*®, której zadaniem jest zatrzymanie spływającego materiału. Rodzaj siatki i sposób jej połączenia z pozostałymi elementami bariery pozwala wychwycić transportowany materiał gruzowy, przejąć i rozłożyć równomiernie energię spływającego rumowiska
- stalowych kształtowników chroniących liny przed przecięciem. Montuje się je na wypadek, gdyby objętość spływu gruzowego była większa niż przewidywana, natomiast bariera zostałaby całkowicie wypełniona gruzem i część materiału zdołałaby przelać się powyżej jej górnej krawędzi.

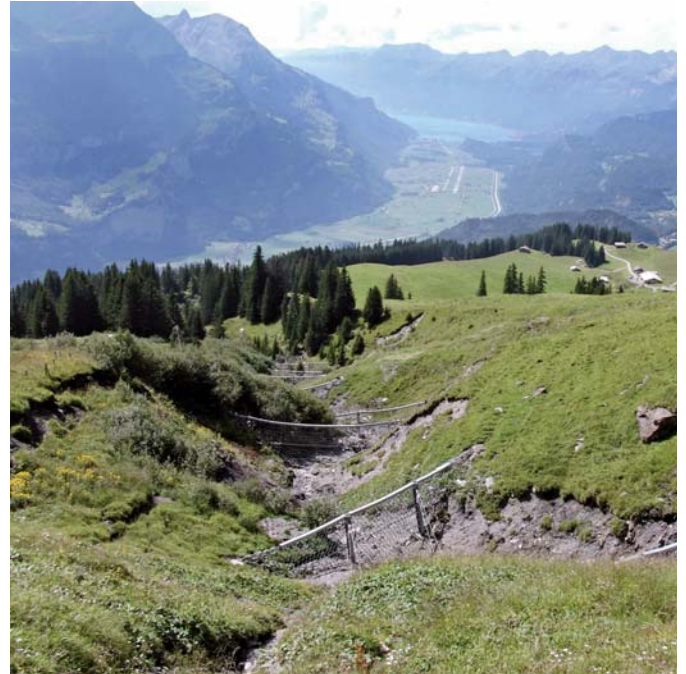
Przy instalowaniu barier gruzowych należy także zwrócić uwagę na ich dolną krawędź i w tym miejscu nie można zapomnieć o pozostawieniu pewnej otwartej przestrzeni, która umożliwi swobodny przepływ wody i transport mniejszych, niegroźnych partii materiału gruzowego.



Ryc. 11. Instalacja siatki pierścieniowej bariery gruzowej typu VX. Widoczny układ kotew, lin i pierścieni bezpieczeństwa

Jak widać, bariery gruzowe są nieskomplikowanymi konstrukcjami, składającymi się z kilku typowych elementów, których instalacja sprowadza się do połączenia ich w określony sposób. Podobnie ma się sprawa z ich obsługą i oczyszczaniem po wystąpieniu spływu gruzowego (ryc. 8). Jeżeli jest to bariera, której zadaniem jest zmniejszenie spadku hydraulicznego w korycie cieku wodnego, to po naturalnym lub celowym wypełnieniu materiałem gruzowym pozostawia się ją bez podejmowania dalszych kroków. Natomiast w każdym innym przypadku należy sprawdzić zakres powstałych uszkodzeń w barierze i podjąć odpowiednie działania. Najczęściej sprowadza się to do oczyszczenia bariery i wymiany pierścieni bezpieczeństwa oraz części siatki. Oczyszczenie bariery wykonuje się najczęściej przez otwarcie płachty siatki pierścieniowej w taki sposób, by większość materiału grawitacyjnie wysypała się z bariery. Materiał ten można usunąć bądź rozplantować.

Podsumowując, bariery gruzowe w porównaniu z tradycyjnymi tamami przeciwrumowiskowymi są rozwiązaniem zdecydowanie korzystniejszym pod kątem ekonomicznym. Związane jest to z ilością materiału użytego do ich wytworzenia, ale także skalą prac przygotowawczych. Należy również pamiętać o wyjątkowej prostocie zarówno w trakcie instalacji, jak i obsłudze barier gruzowych firmy Geobruugg AG.



Ryc. 12. Układ barier zainstalowanych w korycie potoku górskiego, w którym okresowo pojawiały się spływy gruzowe

### Podsumowanie

Wszystkie opisane technologie stanowią w pełni weryfikowalne oraz bardzo ekonomiczne metody ochrony przed zagrożeniami naturalnymi. Obecnie są jedynymi na świecie technologiami o określonej odporności dynamicznej, co w połączeniu z prostotą i szybkością instalacji czyni je w wielu przypadkach jedynym możliwym rozwiązaniem.

Firma Geobruugg AG wraz z materiałami dostarcza szczegółową dokumentację zawierającą omówienie wszystkich kwestii instalacyjnych oraz związanych z późniejszą obsługą (wymiana elementów po uderzeniu, oczyszczanie konstrukcji i inne).

### Literatura

1. Gerber W.: *Guidelines for the Approval of Rockfall Protection Kits*. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL) and the Swiss Federal Research Institute WSL. Berne 2001.
2. *ETAG 027 Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits*. Bruxelles 2008.
3. Rockfall 6.1 Software Manual.
4. Nicot F., Cambou B., Mazzoleni G.: *Design of Rockfall Restraining Nets from a Discrete Element Modelling*. "Rock Mechanics and Rock Engineering" 2001, Vol. 34, issue 2, pp. 99–118.
5. <http://www.cyf-kr.edu.pl/tpn/przyroda/geomorfologia2.html>
6. Wendeler C., Roth A., Denk M.: *Dimensioning Concept for Geobruugg UX/VX Flexible Debris Flow Barriers*, 2008.
7. DEBFLOW Software Manual.
8. Materiały techniczne firmy Geobruugg AG, [www.geobruugg.com](http://www.geobruugg.com)