

# Praktyczny poradnik do systemów siatek zabezpieczających przed sływami gruzowymi i sływami gruzowymi stokowymi – zastosowanie w studiach przypadków

tekst: **NADINE FEIGER**, Geobrugg AG, Szwajcaria, **CORINNA WENDELER**, Canton Appenzell Ausserrhoden, Department of Water, Szwajcaria

Sływy gruzowe i sływy gruzowe stokowe stanowią zagrożenie dla ludzi i infrastruktury. Istotnym elementem systemu ochrony, poza planowaniem przestrzennym (wykorzystaniem map zagrożeń w planach zagospodarowania przestrzeni) i środkami organizacyjnymi (systemy ostrzegania, plany awaryjne, plany ewakuacji), są odpowiednie zabezpieczenia techniczne. Oprócz innych zabezpieczeń typu sztywnego w 2008 i 2010 r. opracowano elastyczne siatki zabezpieczające przed sływami gruzowymi i sływami gruzowymi stokowymi. Takie elastyczne bariery składają się z powierzchni przechwytyjącej z siatki rozpiętej między poziomymi linami nośnymi wyposażonymi w urządzenia hamujące oraz słupków, stosowanych przy dużych rozpiętościach. Wiele tego typu konstrukcji zostało z powodzeniem zainstalowanych i już spełniło swoje zadanie podczas sływów gruzowych.

## Wprowadzenie

Sływy gruzowe (ang. *debris flow*, niem. *Murgänge*) są płynącymi mieszaninami cząstek stałych i wody w stromych korytach potokowych i charakteryzują się przepływem przypominającym uderzenie fali [1]. Sływy gruzowe stokowe (ang. *hillslope debris flows*, niem. *Hangmuren*) występują na otwartych stromych zboczach i mają mniejszą objętość<sup>1</sup> [2].

Elastyczne bariery przeciwrumowiskowe zostały po raz pierwszy przetestowane na małą skalę w Oregonie na kanale badawczym USGS (ang. *United States Geological Survey* – Służba Geologiczna Stanów Zjednoczonych) w 1998 r. przez Natale i innych [3]. Uwolniono ok. 10 m<sup>3</sup> materiału, który został przechwycony przez tzw. elastyczną barierę. Wstępne podejście projektowe zaproponowane przez WSL (ang. *Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research* – Szwajcarski Federalny Instytut Badawczy ds. Lasów, Śniegu i Krajobrazu) opublikował w 2001 r. Dieter Rickenmann w wewnętrznym raporcie [4].

<sup>1</sup> W niniejszym artykule stosuje się terminologię za źródłami szwajcarskimi [1, 12]. Sływy gruzowe zazwyczaj są inicjowane i płyną w korycie lub rynnice, natomiast sływy stokowe nie są uwarunkowane taką topografią (brak bocznego ograniczenia ścieżki przepływu, stosunkowo krótkie odległości przepływu). Z reguły sływy gruzowe stokowe nie występują też w tym samym miejscu kilka razy. W początkowej fazie sływy gruzowe stokowe można porównać do spontanicznych, płytkich osuwisk, a podczas płynięcia zachowują się podobnie do sływów gruzowych.

Podejście to opierało się na metodzie energetycznej, w której decydującym parametrem jest czas uderzenia materiału zatrzymanego przez barierę elastyczną, jak przy projektowaniu barier przed obrywami skalnymi. Wielkość ta jest jednak trudna do oszacowania i nie została jasno zdefiniowana w raporcie [4]. Wnioski [4] opierały się wyłącznie na modelu fizycznym i kwestią otwartą pozostawało, czy czas uderzenia sływu gruzowego obejmuje tylko pierwszy szczyt obciążenia liny, czy też całkowity czas wypełniania bariery. W przypadku sływu błotnego lub o dominującym udziale wody czas uderzenia może być dość długi, gdyż duża objętość materiału przechodzi przez barierę przed jej zatknięciem i zwiększa siły w linie. W takim przypadku siły obliczone tym podejściem są przeszacowane.

Początkowo wiedzę o barierach elastycznych z badań wielkoskalowych zdobywano przypadkowo, gdy sływy gruzowe lub zsuwy na otwartych stokach uderzały w bariery przeciw obrywom skalnym. W latach 2005–2008 przeprowadzono badania terenowe z użyciem bariery elastycznej w warunkach rzeczywistych w potoku Illgraben (Szwajcaria) [5]. Trzyletni projekt finansowany przez CTI (ang. *Commission of Technology and Innovation* – Komisja Technologii i Innowacji) obejmował dużą serię badań laboratoryjnych, dzięki którym zdobyto nową wiedzę na temat efektu zatykania wynikającego ze stosunku wielkości ziaren względem rozmiaru siatki pierścieniowej oraz otworu dennego względem wysokości przepływu [6]. Otwór denny to odległość między dolnymi linami nośnymi a korytem

rzeki umożliwiającą swobodny przepływ wody bez dużych ilości rumowiska i drewna. Wyniki te zostały ostatecznie wykorzystane w licznych projektach barier elastycznych w Szwajcarii, jak w Hasliberg [7] lub Hüpach [8].

W latach 2009–2012 zrealizowano kolejny projekt finansowany przez CTI, w ramach którego przeprowadzono serię wielkoskalowych badań spływu na otwartym zboczu w celu pomiaru nacisku uderzenia spływów błotnych, aby poszerzyć wiedzę na temat modelu uderzenia fali zaproponowanego w [5]. Wyniki tego projektu można znaleźć w [9, 10]. Alternatywne metody projektowania elastycznych barier przeciwrumowiskowych zostały opracowane później w [11].

Do tej pory firma Geobrugg AG zainstalowała na całym świecie ponad 600 elastycznych barier przeciwrumowiskowych i 400 barier przeciw spływom stokowym. Część z tych barier została już poddana działaniu zjawisk osuwiskowych.

Do 2020 r. projektanci i inżynierowie nie mieli dostępu do wytycznych dotyczących elastycznych barier przeciw spływom gruzowym i stokowym, które pomogłyby im zapoznać się z tego rodzaju konstrukcjami. Potrzebne jest zatem zebranie oraz standaryzacja zasad i modeli projektowania tych konstrukcji.

### Praktyczny poradnik

W grudniu 2020 r. w ramach projektu finansowanego przez FOEN (ang. *Swiss Federal Office for the Environment* – Szwajcarski Federalny Urząd Ochrony Środowiska) i FEDRO (ang. *Swiss Federal Roads Office* – Szwajcarski Federalny Urząd Drogowy) opublikowano praktyczny poradnik projektowania elastycznych siatek chroniących przed spływami gruzowymi i spływami gruzowymi stokowymi [12]. W dokumencie tym zespół ekspertów zebrał i podsumował wszystkie wcześniejsze podejścia projektowe. Dokument podzielono na część ogólną i techniczną. Dodatkowo zebrano i opisano projekty referencyjne oraz przedstawiono przykładowe obliczenia.

Podstawowe zasady podejścia projektowego opublikowane w WSL [5] są nadal uznawane za najbardziej praktyczne i dlatego na nim oparto przykład obliczeniowy w praktycznym przewodniku. Większość istniejących do tej pory barier elastycznych, szczególnie później oznakowanych CE, została zaprojektowana według tego wspólnego modelu, który opiera się na badaniach terenowych w skali rzeczywistej. Natomiast najważniejsze zagadnienia związane z użytecznością barier elastycznych, które pomagają ulepszyć ich długoterminowe utrzymanie, zebrano w [13, 14].

Większość siatek przeciw spływom gruzowym i spływom gruzowym stokowym jest już oznaczona znakiem CE, jednak oznaczenie obowiązuje tylko w przypadku konkretnych wymiarów bariery lub określonych wartości obciążenia. Jeśli wartości te nie odpowiadają warunkom danego potoku lub parametrom zbocza, to praktyczny przewodnik pomoże ekspertom w indywidualnym projektowaniu. Najważniejszymi parametrami wejściowymi dla wyznaczenia nacisku uderzenia spływu gruzowego są objętość, prędkość i wysokość przepływu, gęstość spływu, a także jego konsystencja (błotny lub gruzowy). Do oszacowania tych wartości niezbędne są badania terenowe i (lub) symulacje numeryczne lub obliczenia empiryczne zgodnie z [15]. Te same wartości są potrzebne do projektowania barier dla spływów gruzowych stokowych, ale uzyskanie danych jest w tym przypadku trudniejsze, gdyż na szwajcarskich mapach zagrożeń podawane są obecnie jedynie wartości wysokości oderwania

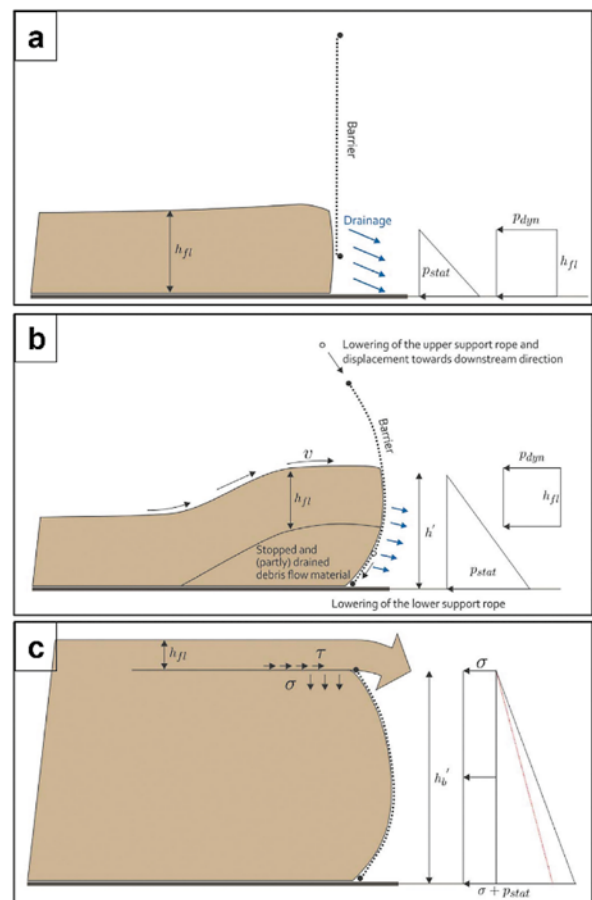
i akumulacji. W oszacowaniu parametrów dynamicznych mogą być pomocne symulacje numeryczne, np. RAMMS (ang. *rapid mass movement simulations*), opracowane przez WSL.

Aby określić najbardziej optymalne rozwiązanie dla potoku o określonych parametrach wejściowych, należy wziąć pod uwagę wszystkie trzy przypadki obciążenia: uderzenie fali, wypełnienie bariery i przełanie [5, 12]. Przypadki te przedstawiono na rycinie 1. Nacisk uderzenia (eq. 1) [5, 12] jest sumą ciśnień hydrodynamicznego i hydrostatycznego działających podczas uderzenia fali. Składnik hydrodynamiczny jest obliczany na podstawie współczynnika nacisku (ciśnienia) ( $c_d$ ), średniej prędkości ( $v$ ) i gęstości materiału ( $\rho$ ). Składowa hydrostatyczna zależy od wysokości przepływu ( $h_{fl}$ ), przyspieszenia ziemskiego ( $g$ ) i gęstości materiału ( $\rho$ ). Warunek przelewu jest obliczany na podstawie ciśnienia hydrostatycznego z wysokością rezydualną ( $h'_b$ ) i dodatkowego ciężaru przelewu ponad wysokością przepływu ( $h_{fl}$ ). Ponadto należy wyznaczyć objętość retencji ( $V_R$ ) bariery, aby określić potencjalną zdolność retencji i zdefiniować liczbę barier dla dużych objętości uwalniania. Objętość retencji oblicza się za pomocą następujących parametrów: wysokość rezydualna ( $h'_b$ ), średnia szerokość siatki ochronnej ( $b_m$ ), kąt między konstrukcją zabezpieczającą a korytem rzeki ( $\varepsilon$ ), kąt nachylenia koryta rzeki ( $\theta$ ) i kąt osadzania materiału ( $\theta'$ ) (eq. 3).

$$F_{surge} = c_d \cdot v^2 \cdot \rho + 0.5 \cdot h_{fl} \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

$$F_{overflow} = \rho \cdot g \cdot h'_b + h_{fl} \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

$$V_R = 0.5 \cdot (h'_b)^2 \cdot b_m \cdot \sin \varepsilon \cdot \left( \frac{\sin \varepsilon}{\tan \theta - \theta'} + \cos \varepsilon \right) \quad (3)$$



Ryc. 1: a – uderzenie fali z ciśnieniem hydrostatycznym i dynamicznym, b – proces wypełniania, c – stan przełania z ciężarem działającym dodatkowo do ciśnienia hydrostatycznego [12]

## Studium przypadku spływu gruzowego w Kalifornii

W poniższej części artykułu przedstawiono analizę przypadku z południowej Kalifornii, gdzie warunki zaistniałe po pożarze spowodowały potencjalne zagrożenie spływem gruzowym dla infrastruktury drogowej.

W 2020 r. pożar El Dorado z 5 września spalił ok. 90 km<sup>2</sup> lasu w części północnego zbocza gór San Bernadino. Na podstawie analizy zidentyfikowano umiarkowane zagrożenie spływem gruzowym w przypadku wystąpienia opadów deszczu o intensywności 24 mm/h (modelowanie spływu gruzowego wykonane przez USGS). Materiał gruzowy składał się z popiołu, drewna i głązów. Interesująca nas autostrada była chroniona przez rowy i zbiorniki retencyjne. Ponadto w dwóch różnych kanionach zainstalowano dwie elastyczne bariery przeciwrumowiskowe w celu zwiększenia bezpieczeństwa autostrady.

W dodatkowym etapie przeprowadzono szczegółowe wymiarowanie do projektu bariery z uwagi na wymóg, że w korycie rzeki nie można instalować żadnych słupków. Opierając się jedynie na geometrii kanionu, sprawdzałyby się standardowa bariera UX, produkowana przez Geobrugg AG. System barier UX obejmuje słupki przeznaczone do większych rozpiętości przęsła. Jednak konieczność uniknięcia jakichkolwiek słupków spowodowała, że zainstalowano ostatecznie barierę VX. Wybór tej bariery zwiększył ugięcie siatki, prowadząc do mniejszej wysokości rezydualnej, a tym samym mniejszej objętości retencyjnej.

Do zwymiarowania bariery przyjęto objętość materiału 5000 m<sup>3</sup>. Na podstawie wysokości systemu wynoszącej 5 m, wysokości rezydualnej 3,9 m i danej geometrii przekroju poprzecznego uzyskano całkowitą objętość retencji (eq. 3) wynoszącą ok. 3490 m<sup>3</sup>. Materiał przekraczający tę objętość przelałby się przez barierę. W tabeli 1 zebrano dane wykorzystane do wymiarowania.

Tab. 1. Dane do wymiarowania bariery przeciwrumowiskowej

Parametr	Jednostka	Symbol	Wartość
Gęstość	[kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	2200
Prędkość	[m/s]	$v$	5,5
Współczynnik nacisku	[-]	$c_d$	2,0
Wysokość przepływu	[m]	$h_{fl}$	0,8

Ponieważ warunek przelania został zdefiniowany na podstawie zdolności retencyjnej i objętości uwalnianej, można było przeanalizować wszystkie trzy przypadki obciążenia (ryc. 1). Wynikowa siła uderzenia została obliczona jako 145 kN/m<sup>2</sup> (eq. 1). Przypadek obciążenia dla stanu przelewu wykazał, że wynosi 94 kN/m<sup>2</sup> (eq. 2).

30 lipca 2021 r. w spalony obszar El Dorado uderzyła silna burza. Szacowane opady deszczu wynoszące 25 mm/h przekroczyły progi 15–24 mm/h wyznaczone w analizie modelu spływu gruzowego.

Ogółem w różnych kanionach wzdłuż skrzyżowania SR 38 wystąpiło kilka spływów gruzowych. Zainstalowane elastyczne bariery przeciwrumowiskowe zostały przepełnione, ale nie uległy zniszczeniu. Natomiast w jednym miejscu wystąpił efekt

cofki w zbiorniku retencyjnym. Ze względu na wzniesienie drogi i zatkany wlot pod drogą przelewający się materiał gruzowy został zatrzymany i wypełnił zbiornik, a następnie dotarł do bariery w górze kanionu. W przypadku drugiej bariery uderzenie miało mniejszą objętość, w związku z tym zatrzymała ona większość materiału i została tylko nieznacznie przelana. Na rycinie 2 zaprezentowano barierę wypełnioną popiołem, gruzem i drewnem oraz odpływ znajdujący się poniżej bariery. Bariery zostały potem oczyszczone przez koparkę, elementy pochłaniające energię wymieniono, a siatki i liny przeinstalowano na pierwotną wysokość.

Jeśli obliczona objętość retencji jest mniejsza niż objętość projektowa, należy spodziewać się przelania rumowiska przez barierę, jak było w tym przypadku. Zainstalowanie drugiej bariery w tym samym kanionie pomogłoby zatrzymać więcej materiału w górze i uniknąć tym samym wypełnienia zbiornika retencyjnego w pobliżu samej drogi.

Na początkowym etapie planowania tego projektu praktyczny przewodnik nie był jeszcze opublikowany i nie mógł wspomóc projektantów i inżynierów. Jednakże po przeprowadzeniu analizy wstecznej zdarzenia praktyczny przewodnik pomógł w dostosowaniu koncepcji bariery oraz instrukcji utrzymania. Pomógł również zrozumieć i zweryfikować wymiarowanie konstrukcji nośnej.



Ryc. 2. Wypełniona bariera przeciwrumowiskowa z odpływem poniżej

## Studium przypadku spływu gruzowego na zboczu wzgórze na Sycylii

1 października 2009 r. w północno-wschodniej części Sycylii wystąpiły ulewne deszcze. Według [16] doszło do wielu zsuwów oraz spływów gruzowych i błotnych. W miejscowościach Giampilieri i Scaletta Zanclea zdarzenie to pociągnęło za sobą ofiary śmiertelne, a 1652 osoby straciły domy z powodu zniszczeń.

Na podstawie analizy stateczności zbocza w [16] zaplanowano środki ograniczające ryzyko i zainstalowano elastyczną siatkę o wysokiej wytrzymałości z gwoździami gruntowymi. W rejonie występowania spływów gruzowych i spływów gruzowych stokowych zaplanowano bariery elastyczne. W celu ochrony drogi dojazdowej do wioski zainstalowano standardową barierę SL (bariera przeciw płytkim osuwiskom) Geobrugg AG o wysokości systemu 3,5 m i całkowitej długości 25 m.

W 2011 r. po wystąpieniu opadów deszczu spływ gruzowy stokowy uderzył w barierę SL i wypełnił ją materiałem o objętości ok. 50 m<sup>3</sup> (ryc. 3). Maksymalna wysokość zakumulowanego materiału wynosiła 2,5 m, a jego szerokość ok. 12 m, co odpowiada ok. połowie długości bariery.



Do oszacowania zakresu wartości nacisku uderzenia (eq. 4) wykorzystano obliczenia wsteczne. Gęstość i współczynnik ciśnienia można oszacować na podstawie obserwacji w terenie po wystąpieniu zdarzenia. Dla prędkości wybrano niższe i wyższe wartości w celu ustalenia maksymalnego i minimalnego ciśnienia uderzenia. Na podstawie danych do wymiarowania przedstawionych w tabeli 2 uzyskano dynamiczną siłę uderzenia wynoszącą 55–152 kN/m<sup>2</sup>.

$$F_{dyn} = c_d \cdot v^2 \cdot \rho \quad (4)$$

Tab. 2. Dane do wymiarowania bariery przeciwrumowiskowej

Parametr	Jednostka	Symbol	Wartość
Gęstość	[kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	1900
Prędkość maksymalna	[m/s]	$v$	10
Prędkość minimalna	[m/s]	$v$	6
Współczynnik nacisku	[-]	$c_d$	0,8



Ryc. 3. Częściowo wypełniona bariera przeciw płytkim osuwiskom / splywom gruzowym stokowym SL-150 (czerwony prostokąt) ze strefą początkową powyżej konstrukcji

### Wnioski

Doświadczenie, zrozumienie i liczba projektów związanych z elastycznymi barierami ochronnymi przed splywami gruzowymi i splywami gruzowymi stokowymi przez ostatnie 15 lat znacznie wzrosły. Aby kompleksowo przedstawić aktualny stan wiedzy na ten temat, opracowano praktyczny przewodnik.

Studium przypadku w południowej Kalifornii wykazało potencjalne zagrożenie splywem gruzu w następstwie opadów

REKLAMA



**FLEXIBLE SOLUTION  
FOR HEAVY LOADS**

## Debris Flow Hazard Mitigation



Your local Geobruigg specialist:  
[www.geobruigg.com/contacts](http://www.geobruigg.com/contacts)

**BRUGG**  
Geobruigg 

Safety is our nature





Ryc. 4. Wypełniona elastyczna bariera przeciwrumowiskowa

burzowych, które wystąpiły po pożarze. Na podstawie wyników modelowania spływu gruzowego zaprojektowano i zwiaryowano elastyczne konstrukcje zabezpieczające przed spływem gruzowym. Wydarzenia związane z burzą z 30 lipca 2021 r. potwierdziły potrzebę zastosowania takich konstrukcji. Sytuacja ta wykazała ponadto, że należy starannie analizować obliczenia objętości retencji względem objętości uwalnianej. Objętość uwolniona podczas zdarzenia była zbliżona do wielkości oszacowanej na podstawie modelowania przepływu rumowiska, która została wykorzystana do wymiarowania bariery przeciwrumowiskowej. Niemniej pojedyncza bariera o zadanej geometrii nie jest w stanie przechwycić 5000 m<sup>3</sup>. W tym przypadku zainstalowanie drugiej bariery znajdującej się wyżej mogłoby pomóc w przechwyceniu większej objętości materiału, zanim dotarłby on do autostrady.

Przypadek z Sycylii dotyczył intensywnych opadów deszczu w 2009 r. Po tym zdarzeniu zaplanowano i zainstalowano środki zapobiegawcze. Zrealizowana bariera została przetestowana bezpośrednio po wystąpieniu opadów deszczu i potwierdziła swoją skuteczność.

Oba przykłady udowadniają, że elastyczne bariery sprawdzają się zarówno w przypadku spływów gruzowych, jak i spływów gruzowych stokowych. Określenie parametrów projektowych i lokalizacji barier nie należy jednak do zadań łatwych. Praktyczny przewodnik wspiera projektantów i ułatwia procedury dla tak złożonych projektów, umożliwiając wybór najbardziej odpowiedniego rozwiązania dla określonej sytuacji zagrożenia.

\*

Autorzy składają podziękowania Szwajcarskiemu Federalnemu Urzędowi Drogowemu i Szwajcarskiemu Federalnemu Urzędowi Ochrony Środowiska, w szczególności Philippe'owi Arnoldowi, Evie Gertsch i Reto Baumannowi, za zainicjowanie praktycznego przewodnika po siatkach zabezpieczających przed spływami gruzowymi i spływami gruzowymi stokowymi. Autorzy dziękują również Catherine Berger, Matthiasowi Denkwowi, Christophowi Grafowi i Lisie Stieglitz za ich wysiłek oraz Szwajcarskiemu Federalnemu Instytutowi Badawczemu ds. Lasów, Śniegu i Krajobrazu za wsparcie.

## Literatura

- [1] Rickenmann D.: *Methoden zur quantitativen Beurteilung von Gerinneprozessen in Wildbächen*. Swiss Federal Research Institute WSL. Birmensdorf 2014.
- [2] *Protection against Mass Movement Hazards*. Federal Office for the Environment FOEN. Bern 2016.
- [3] Denatale J.S., Iverson R.M., Major J.J., LaHusen G.L.: *Experimental testing of flexible barriers for containment of debris flows*. Tec. report. US Geological Survey, 1999.
- [4] Rickenmann D.: *Estimation of debris flow impact on flexible wire rope barriers*. Int. tech. report. WSL. Birmensdorf 2001.
- [5] Wendeler C.: *Murgangrückhalt in Wildbächen – Grundlagen zu Planung und Berechnung von flexiblen Barrieren*. Doctoral dissertation, ETH Zürich, 2008.
- [6] Wendeler C., Volkwein A.: *Laboratory tests for the optimization of mesh size for flexible debris-flow barriers*. „Natural Hazards and Earth System Sciences” 2015, Vol. 15, pp. 2597–2604.
- [7] Wendeler C., Volkwein A., Roth A., Herzog B., Hählen N., Wenger M.: *Hazard prevention using flexible multi-level debris flow barriers. Protection against debris flows by installation of 13 flexible barriers in the Milibach River (Canton Berne, Switzerland)*. In: *Protection of populated territories from floods, debrisflow, mass movements, and avalanches*. 26 to 30 May 2008. Dornbirn, Vorarlberg, Austria. *Conference proceedings. Keynotes, River Basin Management, Torrents*. Vol. 1. Eds. M. Mikoš, J. Huebl, G. Koboltschnig, pp. 547–554.
- [8] Wendeler C., Brändle R., Nishimura N., Stieglitz L., Lauber G.: *Design and construction of a 20m high, flexible debris flow barrier in the Swiss alps*. In: *Proceedings, Interpraevent, 14th, Nara (Japan)*, 2014.
- [9] Bötticher A.: *Flexible Hangmurenbarrieren: Eine numerische Modellierung des Tragwerks, der Hangmure und der Fluid-Struktur-Interaktion*. Doctoral dissertation, TU München, 2013.
- [10] Bugnion L., Bartelt P., McArdell B., Wendeler C.: *Measurements of hillslope debris flow impact pressure on obstacles*. „Landslides” 2012, Vol. 9, pp. 179–187.
- [11] Canelli L., Ferrero A.M., Migliazza M., Segalini A.: *Debris flow risk mitigation by the means of rigid and flexible barriers – experimental tests and impact analysis*. „Natural Hazards and Earth System Sciences” 2012, Vol. 12, Issue 5, pp. 1693–1699.
- [12] Berger C., Denk M., Graf C., Stieglitz L., Wendeler C.: *Praxishilfe Murgang- und Hangmurenschutznetze*. WSL Berichte 102. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Birmensdorf 2020.
- [13] Feiger N.: *Analyse zur Gebrauchstauglichkeit von Murgangnetzen nach 10 Jahren Praxiserfahrung*. Masterarbeit zur Erlangung des Titels Master of Science (praca magisterska), ETH Zürich, 2019.
- [14] Wendeler C., Salzmann H., Feiger N.: *Flexible debris flow barriers and their serviceability proof*. In: *Proceedings of Second JTC1 Workshop on Triggering and Propagation of Rapid Flow-like Landslides*. Hong Kong 2018.
- [15] Rickenmann D.: *Empirical Relationships for Debris Flows*. „Natural Hazards” 1999, Vol. 19, pp. 47–77.
- [16] Maugeri M., Motta E.: *Slope Failure*. In: *Geotechnics and Earthquake Geotechnics. Towards Global Sustainability*. Ed. I. Susumu. Kyoto 2011, pp. 169–190.

