



## KONGRESY, SYMPOZJA I KONFERENCJE

### Konferencja specjalistyczna „Osuwiska” – XVII seminarium szkoleniowe „Skutki – badania – praktyka” Moguncja, Niemcy, 29–31.05.2017

Grawitacyjne ruchy masowe należą do powszechnych, trudnych do powstrzymania i prognozowania zjawisk geologicznych, które mogą mieć katastrofalne skutki. Przekraczają one poszczególne działki, a w szczególnych przypadkach granice administracyjne i państwowe. Współcześnie problematyka osuwisk nie jest jedynie domeną geologii, ale wymaga również badań z zakresu innych nauk. Skuteczne prognozowanie, zarządzanie ryzykiem osuwiskowym oraz minimalizowanie szkód wywołanych przez ruchy masowe wiąże się z koniecznością szerokiej wymiany informacji i doświadczeń oraz ścisłej współpracy między naukowcami a inżynierami, której efektem jest podejmowanie interdyscyplinarnych badań oraz wdrażanie efektywnych rozwiązań w zakresie rekultywacji i stabilizacji terenów osuwiskowych. Takie właśnie fundamentalne założenia wyznaczają kierunki działalności Centrum Badań Osuwisk (niem. *Die Forschungsstelle Rutschungen e.V.* – FSR) w Niemczech. Corocznie (obecnie po raz 17.) organizuje ono, wspólnie z Uniwersytetem Jana Gutenberga oraz Centrum Kształcenia Ustawicznego w Moguncji, seminarium szkoleniowe „Osuwiska”. Głównym jego celem jest zaprezentowanie najnowszych wyników badań nad ruchami masowymi i stworzenie platformy, która połączy teorię z praktyką.

Odbывая się w Moguncji seminarium szkoleniowe ma z założenia charakter konferencji specjalistycznej i jest skierowane przede wszystkim do aktywnych zawodowo geologów inżynierskich, inżynierów budowlanych, hydrogeologów, geomorfologów, specjalistów regionalnego planowania przestrzennego, przedstawicieli służb geologicznych, specjalistów w zakresie systemów informacji geograficznej, pracowników kolei niemieckich itp. Konferencja „Osuwiska”, ze względu na jej oficjalny język – niemiecki, to okazja do spotkania przede wszystkim specjalistów z Niemiec, Austrii i Szwajcarii.

Towarzyszące konferencji warsztaty GIS dotyczyły: nowoczesnego oprogramowania w modelowaniu osuwisk oraz analizach GIS (w tym wykorzystania programów Q-GIS i SAGA-GIS), pracy z danymi LIDAR, przejścia od danych surowych (chmury punktów) do numerycznego modelu terenu oraz modelowania geologiczno-inżynierskiego osuwisk. Zwrócono uwagę na użyteczność otwartego oprogramowania w zarządzaniu danymi geograficznymi, tworzeniu map i wykonywaniu analiz przestrzennych dotyczących osuwisk. Programy Q-GIS i SAGA-GIS nie ustępują pod względem funkcjonalności komercyjnym odpowiednikom, a w wielu przypadkach wręcz je przewyższają. Obecnie w niektórych instytucjach naukowych i uczelniach w Niemczech (np. na Uniwersytecie Jana Gutenberga) odchodzi się – w celu zmniejszenia kosztów – od oprogramowania komercyjnego, a programiści niemieccy wspierają tworzenie wolnego oprogramowania (m.in. Q-GIS).

Sesja referatowa obejmowała tematyką szerokie spektrum zagadnień z zakresu ruchów masowych ziemi. Tradycyjnie składała się z następujących po sobie dwóch bloków

tematycznych, poświęconych aspektom naukowym i użytkowym, a zwłaszcza geoinżynierskim metodom zbrojenia gruntów. Szczególną uwagę, zdaniem autorów, zwróciły trzy referaty z pierwszego bloku tematycznego.

Doktor B. Wagner (Krajowy Urząd ds. Środowiska w Bawarii) przedstawił sposób opracowania map zagrożeń ruchami masowymi ziemi w bawarskich Alpach i Prealпах. Podstawą wyznaczania powierzchni zagrożonych są tam numeryczny model terenu oraz prowadzony od 1987 r. kataster geozagrożeń (niem. *Geofahren-Kataster*). Istotną część katastru stanowią dane odnoszące się do wszelkiego rodzaju procesów grawitacyjnych. W Bawarii mapy geozagrożeń opracowuje się w skali 1 : 25 000 (maksymalnie 1 : 10 000). Wizualizują one osuwiska, obrywy skalne, zapadliska oraz szczeliny rozpoczynające procesy osuwiskowe (niem. *Hanganbrüche*). W zależności od typu geozagrożenia stosuje się modele empiryczne (w przypadku głębokich osuwisk skalno-zwietrzelinowych) lub komputerowe modele analityczne (obrywy skalne, obrywy rumoszu, płytkie osuwiska). Zagrożenie obrywami przedstawiono na podstawie modelowania 3D z uwzględnieniem dwóch scenariuszy: gdy istnieje pokrywa leśna i gdy jej nie ma, a chodziło o ochronny wpływ lasów i zmienny stan ich połąci. Głębokie osuwiska skalno-zwietrzelinowe (miąższość koluwiów > 5 m) wyznaczono, bazując na wiedzy eksperckiej, przy czym wyróżniono osuwiska głębokie, które mogą się reaktywować, i obszary podatne na ich powstawanie. Poszczególne poligony (np. obrywy wyznaczone analitycznie i osuwiska potwierdzone na podstawie prac terenowych) mogą się na siebie nakładać. Mapy zagrożeń zawierają informację przestrzenną dotyczącą geozagrożeń i ich typologie, nie uwzględniają jednak intensywności i prawdopodobieństwa wystąpienia tych zjawisk (Poschinger, Wagner, 2017). Opracowane w technologii GIS mapy geozagrożeń oraz towarzyszące im dane (m.in. sprawozdania) są udostępnione przez przeglądarkę internetową w Atlasie Środowiska Bawarii (<http://www.umweltatlas.bayern.de>) i stanowią nieodzowny element prowadzenia polityki aktualnego oraz perspektywicznego planowania przestrzennego. Atlas jest opracowywany w Krajowym Urzędzie ds. Środowiska w Bawarii i zawiera szeroki zakres danych przestrzennych dotyczących środowiska (niem. *Geofach-Daten*) oraz łatwych w obsłudze map internetowych, które są udostępniane użytkownikom bezpłatnie. Dane są stale aktualizowane i podzielone na różne tematy, oprócz geozagrożeń udostępnia się także te, które dotyczą geologii stosowanej, gleb, gospodarki wodnej, podziału hydrograficznego, powierzchniowych wód płynących oraz obciążenia hałasem.

Przedstawiony przez prelegenta na przykładzie Bawarii rozwój regionalnej bazy danych osuwiskowych świadczy o praktycznym wykorzystaniu potencjału, jakie mają bazy danych w podstawowych i stosowanych badaniach

ruchów masowych. Punkt ciężkości jest skierowany nie tylko na tworzenie baz danych (wektoryzacja, magazynowanie, prezentowanie i zarządzanie), ale również na analizy GIS, które poprawiają zrozumienie mechanizmów osuwisk oraz wspomagają procesy wyznaczania lokalizacji inwestycji.

Należy podkreślić, że Projekt Geozagrozenia w Bawarii jest analogiczny do Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO), realizowanego w Polsce przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Projekt niemiecki nie obejmuje jednak całego kraju, ponieważ Republika Federalna Niemiec, w przeciwieństwie do większości krajów Unii Europejskiej, nie posiada ogólnokrajowej bazy danych. Wiąże się to z faktem, że każdy z 16 krajów związkowych ma odrębną służbę geologiczną, a komunikacja między nimi jest do tej pory niewystarczająca. Wskutek tego poszczególne niemieckie kraje związkowe dysponują odmiennymi mapami geologicznymi i mapami geozagrożeń z różnymi legendami, a także różnymi bazami danych w sensie ich struktury i zawartości merytorycznej. Kompleksowy projekt bazy ogólnokrajowej znajduje się dopiero w stadium początkowym. Obecnie niemiecka ogólnokrajowa baza jest na etapie aktualizacji i kompilacji baz danych regionalnych (Damm, Klose, 2014), a poszczególne służby geologiczne wspólnie stworzyły niedawno jednolitą metodykę opracowania map zagrożenia przestrzennego (niem. *Gefahrenhinwekarten*; AD-HOC-Arbeitsgruppe Geologie, 2016).

Nie ulega jednak wątpliwości, że prezentowany przez dr. Wagnera projekt geozagrozenia oraz baza danych osuwiskowych wyróżniają się na tle innych baz danych europejskich (w tym polskiej bazy SOPO). W przeciwieństwie do większości zawierają nie tylko dane dotyczące typu i wymiarów ruchów masowych, ale także wyniki modelowania 3D spływów, które mają charakter prognostyczny. Zawarte w przeglądarce mapowej informacje, będące efektem specjalistycznej wiedzy, mają charakter *stricte* pragmatyczny i są łatwe do odczytania przez laika, dzięki zastosowaniu jednolitej sygnatury symbolicznej dla geozagrożeń oraz prostej wizualizacji terenów zagrożonych. Taki sposób prezentacji można wiązać z orientacją na odbiorców, którymi są przede wszystkim decydenci<sup>1</sup>. W przyszłości planuje się, że ogólnokrajowa baza osuwisk w Niemczech będzie zawierać informacje umożliwiające redukcję ryzyka osuwiskowego, tj. dane dotyczące użytkowania terenu, dane klimatyczne, informacje na temat skutków i szkód wyrządzonych przez katastrofy osuwiskowe oraz koszty osuwisk. Osobliwością będzie jej zdolność do generowania danych statystycznych, w tym wartości indeksowych i progowych, szeregów czasowych, tabel oraz diagramów (Damm, Klose, 2014). Być może również w analogicznym kierunku powinna podążać rozbudowa polskiej bazy danych osuwiskowych?<sup>2</sup>

Niezwykle istotnym, ale rzadko poruszonym problemem badawczym jest wpływ korzeni roślin na stabilność stoków. Powszechnie uważa się, że zadrzewienia oddziałują na osuwiska stabilizująco i dodatkowo pełnią naturalne funkcje drenujące, natomiast rzadko podejmuje się badania ilościowe tych procesów. Próby uzupełnienia tej luki podjął się dr B. Keller (firma Keller + Lorenz AG). Prelegent zajął się zagadnieniem, które do tej pory w środowisku specjalistów prawdopodobnie nie było traktowane poważnie i dlatego zostało opracowane w niewielkim stopniu. Po raz pierwszy problem stabilizacji stoków przez korzenie roślin został opisany w drugiej połowie ub.w. w Górach Skalistych w Ameryce Północnej. W 1974 r. O'Loughlin analizował oddziaływanie na stabilność gruntu leśnego karczowań, które powstały wskutek pozyskiwania drewna w drzewostanach iglastych. W Europie Środkowej pionierem badań wpływu korzeni roślin na stabilność stoków był botanik Rickli (2001) ze szwajcarskiego Instytutu Badań Śniegu i Lawin (niem. *Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft* – WSL), który od połowy lat 90. ub.w. zajmował się relacjami między stratami wywołanymi przez orkany a płytkimi osuwiskami i opadami. Do tych właśnie badań nawiązał Keller, który badał procesy grawitacyjne w Lucernie (Keller, 2003, 2011), a obecnie – jako pierwszy w Szwajcarii – prowadzi własne badania naukowe związane z wpływem siły kohezji korzeni drzew na stabilność stoków<sup>3</sup>. Uzyskane wyniki zostały ocenione i zweryfikowane za pomocą metod elektronicznego przetwarzania danych (Keller, 2017).

Przedstawiony na seminarium referat Kellera dotyczył badań stosowanych w przypadku płytkich osuwisk gruzowych, spływów gruzowych oraz hiperskoncentrowanych spływów (niem. *hyperkonzentrierten Strömungen*) na stromych północnych stokach góry Sonnenberg w rejonie Lucerny na Wyżynie Szwajcarskiej. Impulsem sprawczym dla tych ruchów masowych były nawalne opady deszczu z 6–7 lipca 2002 r. Prelegent udowodnił, że w miejscach, gdzie występuje las w stanie nienaruszonym powstało niewiele ruchów masowych. Natomiast wzmożone procesy grawitacyjne obserwowano na obszarach sąsiednich, na których wcześniej wystąpiły wiatrołomy i wykroty spowodowane przejściem zimowych orkanów Vivian i Liebke (1990 r.) oraz Lothar (1999 r.). Tereny te pod względem ekologicznym do dziś nie wróciły do stanu pierwotnego, są to więc obecnie obszary bezleśne, w niewielkim stopniu porośnięte lasem albo pokryte młodym borem świerkowym. Keller (2017) udowodnił wpływ orkanów na obniżenie stabilności stoków. Na 28 obserwowanych ruchów masowych 3/4 powstało na obszarach, na których wystąpiły wiatrołomy. Zasięg i głębokość wpływu kohezji korzeni roślin (czyli wytrzymałości korzeni na zerwanie) na stabilność stoków zależy od rodzaju, gęstości i witalności szaty roślinnej. W przypadku młodej roślinności

<sup>1</sup> Dla porównania w polskiej aplikacji SOPO oprócz symbolizacji barwnej stosowanej dla określenia aktywności osuwisk występują również rozbudowane sygnatury, przedstawiające elementy rzeźby wewnątrzsuwiskowej i obiekty hydrologiczne. Są to informacje redundantne, z pewnością istotne dla specjalistów, natomiast o niewielkim zastosowaniu empirycznym, np. w planowaniu przestrzennym. Niewątpliwą zaletą polskiej bazy danych jest jednak to, że została udostępniona publicznie poprzez przeglądarkę internetową oraz zawiera dane referencyjne pokrywające powierzchnię całego kraju, przedstawione wg jednolitej metodologii.

<sup>2</sup> Inwentaryzacja SOPO oraz istniejące ogólnopolskie bazy danych oraz rejestry referencyjne (m.in. CBDG, CBDH, BDOT10k, HYDRO10k, CBDHis) umożliwiają już obecnie wieloaspektowe analizy i tworzenie nowych zbiorów i produktów.

<sup>3</sup> Siła kohezji korzeni drzew występuje wtedy, gdy system korzeniowy jest na tyle rozwinięty, że ulega zmianie pierwotna spójność gruntu.

właściwa wytrzymałość na zerwanie wykształca się dopiero po wielu latach. Interesujące jest, oparte na pomiarach grubości systemów korzeniowych, stwierdzenie, że świerki występujące na terenach zalesionych dopiero po 20 latach uzyskują wytrzymałość korzeni na zerwanie porównywalną z obszarami nienaruszonymi. Rezultaty badań zaprezentowano na licznych diagramach. Dodatkowo poziom bezpieczeństwa stoków oraz analizę ryzyka związaną z karczowaniem lasów na badanym obszarze obliczono za pomocą modelu stabilności LISA (ang. *Level I Stability Analysis*). Ocena stateczności zbocza jest wyrażona jako bezwymiarowy współczynnik stateczności ( $F$ ). Model LISA został opracowany w latach 90. ub.w. przez amerykańską służbę leśną i uwzględnia zmienność parametrów wpływających na wartość wyniku analizy (nachylenie stoku, miąższość kolumium, położenie zwierciadła wód gruntowych itp.). Współczynnik stateczności jest obliczany z zastosowaniem podejścia symulacyjnego Monte Carlo, w którym do każdego parametru jest przyporządkowany odpowiedni rozkład prawdopodobieństwa. W obliczeniach bierze się pod uwagę zarówno stabilizujący wpływ wytrzymałości korzeni na zerwanie (wyrażony jako kohezja korzeni), jak i biwalentny (dwojaki) wpływ ciężaru drzew. Ten ostatni parametr może oddziaływać dodatnio lub ujemnie na stabilność i jest kontrolowany przez nachylenie stoków. W modelu uwzględniono również miąższość nasyconych wodą skał sypkich, która w dużym stopniu zależy od opadów. Rezultaty analityczne uzyskane przez Kellera wskazują na dwukrotnie większe ryzyko powstania osuwisk na obszarach wiatrołomów w porównaniu z nienaruszonymi terenami leśnymi, co pokrywa się z obserwacjami terenowymi (Keller, 2017). Prelegent zwrócił uwagę na użyteczność modelu LISA i przeprowadzonych symulacji w ocenie stabilności stoków oraz wpływu zalesiania. Przedyskutował również użyteczność modelu LISA w opracowaniu map zagrożenia osuwiskowego. Model ten oblicza nie zwykle wymaganą do oceny zagrożenia intensywność, ale prawdopodobieństwo powstania osuwiska. Obliczony okres nawrotu ruchu masowego (niem. *Wiederkehr-Periode*) porównuje się z czasem użytkowania lasów (50 lub 100 lat) oraz rocznym prawdopodobieństwem wystąpienia silnych orkanów, które powodują duże zniszczenia w lasach. Tę ostatnią wartość szacuje Pflister (1999) – na podstawie badań statystycznych z ostatnich 500 lat – na  $9,80 \times 10^{-2}$ , czyli co ok. 15 lat pojawiają się silne orkany na Wyżynie Szwajcarskiej.

W ocenie Kellera kompleksowe badania dotyczące działania systemów korzeniowych roślin na stabilność stoków wymagają – ze względu na ich użytkowy charakter – dalszych, pogłębionych analiz. Ten ostatni postulat można znaleźć również w polskiej literaturze naukowej (Czarnecki, Goździk, 2007), od niedawna bowiem badania tego typu są prowadzone również w Polsce<sup>4</sup>.

Doktor A. Becker z niemieckiej służby meteorologicznej wygłosił wymagający i niezwykle istotny dla badań ruchów masowych referat dotyczący oszacowania ryzyka ekstremalnych opadów w Niemczech. Opady należą do ważnych czynników spustowych (ang. *triggering*), które inicjują ruchy masowe. Intensywne opady wykazują znaczną

zmienność czasowo-przestrzenną, co wymaga nie tylko optymalizowania zdolności prognozowania, ale również modyfikacji stosowanych metod. Ogólnie wyróżnia się długotrwałe, wielkoobszarowe, wydajne opady deszczu oraz niewielkie, lokalne, krótkotrwałe ulewy. Podczas gdy wielkoobszarowe opady deszczu są dokładnie rejestrowane za pomocą istniejących sieci meteorologicznych, do tej pory nie było dobrej metody na predykcję obszaru występowania i wydajności opadów konwekcyjnych. W celu usunięcia tego mankamentu niemiecka służba meteorologiczna rozwinęła system RADOLAN, który umożliwia kompletne ujęcie wszystkich opadów. System ten jest połączeniem pomiarów radarowych o wysokiej rozdzielczości czasowo-przestrzennej – 1 km<sup>2</sup> i 1 ha dla ostatnich 16 lat (od 1.01.2001 r.) – oraz danych punktowych ze stacji meteorologicznych. W efekcie umożliwia to dostarczenie informacji godzinnej na temat opadów dla każdego km<sup>2</sup> w Niemczech. Wyniki analiz są przedstawiane w czasie rzeczywistym na stronie internetowej <http://www.dwd.de> i znajdują zastosowanie w komunikatach ostrzegawczych niemieckiej służby meteorologicznej. Służba ta stworzyła również model KOSTRA, który umożliwia jednolitą analizę zmierzonych wartości intensywnych opadów we wszystkich stacjach meteorologicznych w Niemczech w latach 1951–2010.

Warto podkreślić, że zaprezentowane przez prelegenta modele znajdują zastosowanie w ochronie przeciwpowodziowej oraz mogą być wykorzystane w analizie scenariuszy rozwoju ruchów masowych i ocenie ryzyka osuwiskowego.

Ostatni dzień szkolenia obejmował sesję terenową, na której zaprezentowano dawne i obecnie stosowane geologiczno-inżynierskie metody zabezpieczania osuwisk w Dolinie Środkowego Renu. Doświadczenia niemieckich instytucji w tym zakresie mają długą tradycję. Już pod koniec XIX w. w trakcie budowy dwóch linii kolejowych położonych po obu stronach Renu stało się konieczne zabezpieczenie torów przed obrywami skalnymi za pomocą wysokich murów oporowych. W poważnym stopniu podniosło to cenę budowy linii kolejowej. W latach 1950–1990 – w okresie, gdy Bonn było stolicą Niemiec – znacznie zwiększył się ruch pociągów szybkojeźdzących na tej trasie, stale wzrasta również ich szybkość. Czynniki te powodują nasilenie się ryzyka kolizji z niespodziewanymi lawinami (obrywami) skalnymi. Na przestrzeni ostatnich lat wielokrotnie dochodziło do wykolejenia pociągów, dlatego Kolej Niemieckie (niem. *Deutsche Bahn AG*) zdecydowały się na zastosowanie metod stabilizacji zboczy. Po pierwszym wypadku – w 2001 r. w rejonie miejscowości St. Goar – postanowiono objąć stabilizacyjnym programem naprawczym cały odcinek środkowego Renu. Prace te są rozłożone na wiele lat i biorą w nich również udział współpracownicy FSR. Do kolejnego poważnego wypadku doszło latem 2005 r. na położonym po prawej stronie Renu odcinku kolejowym w rejonie Oberwesel, tuż przed wjazdem do tunelu (ryc. 1), gdzie wskutek wpływu rumoszu wykoleił się pociąg towarowy. Ekstremalne opady deszczu w czerwcu 2005 r. spowodowały wypłukanie glin lessowych i głazów ze stromych zboczy winnic, które

<sup>4</sup> Badania ilościowe dotyczące wpływu systemu korzeniowego na wytrzymałość na ścinanie gruntu prowadzili m.in. Zydróż i Borusiński (2013) na przykładzie sosny oraz Zydróż (2014) dla grabu.





**Ryc. 1.** Zabezpieczenie przed osuwiskami tunelu kolejowego DB w rejonie Oberwesel – w dolnej części widoczne ponad stuletnie mury oporowe z kamienia łamanego, w górnej nowoczesne elastyczne bariery przeciwrumowiskowe. Wszystkie fot. M. Lauterbach, czerwiec 2017 r.



**Ryc. 2.** Stabilizacja przed obrywami i sływami gruzowymi lewego zbocza doliny Środkowego Renu w miejscowości Bacharach – w dolnej części mur oporowy, w środkowej ochronna siatka pierścieniowa wykonana po uaktywnieniu osuwiska w 2016 r.



**Ryc. 3.** Szczegóły z ryc. 2 – zabezpieczenie potencjalnego sływu gruzowego w obrębie łupków dewońskich za pomocą barier ochronnych i siatek pierścieniowych firmy Geobrugg ze Szwajcarii

nie zostały zatrzymane przez bariery przeciwrumowiskowe, i doszło do zasypania torowiska. Pociąg towarowy utknął w sływie gruzowym. Na odcinku kolei po prawej stronie doliny Renu niezbędne było wówczas całkowite

zatrzymanie ruchu na 24 godziny. Ponieważ codziennie przejeżdżało tą trasą 200 pociągów towarowych, spowodowało to znaczne straty finansowe dla Kolei Niemieckich. Obecnie jest prowadzony monitoring zbroczy narażonych na obryw, w którym biorą udział współpracownicy FSR.

Wybudowane wzdłuż wąskiego dna doliny Renu drogi i linie kolejowe są – mimo wszystkich stosowanych środków stabilizujących – nadal zagrożone ruchami masowymi. Najnowsze wydarzenia miały miejsce w maju 2016 r. w rejonie miejscowości Bacharach (ryc. 2, 3), gdzie z powodu małego sływu gruzowego doszło do wykolejenia pociągu. W efekcie zostało rannych 10 pasażerów.

Reasumując, konferencja specjalistyczna „Osuwiska” w Moguncji stanowiła forum wymiany – zarówno informacji naukowych na temat bieżących projektów badawczych w różnych ośrodkach naukowych krajów niemieckojęzycznych, jak i doświadczeń praktyków – geologów inżynierskich i inżynierów budowlanych. Informowanie praktyków o nowych metodach i technikach, które mogą być zastosowane w konkretnych projektach, następuje przez świadczenie usług i transfer wiedzy z instytucji badawczych. Szerokie spektrum podejmowanych problemów oraz duża liczba specjalistów uczestniczących w seminarium wskazują nie tylko na interdyscyplinarny charakter prowadzonych w Niemczech badań ruchów osuwiskowych, ale także na różnorodne praktyczne możliwości współpracy między naukowcami a praktykami.

*Anna Malka, Jörg Grunert*

#### LITERATURA KOMENTOWANA

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE 2016 – Gefahrenhinweiskarten geogener Naturgefahren in Deutschland - ein Leitfaden der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD). Geol. Jb., A 164.
- CZARNECKI L., GOŹDZIK J. 2007 – Osuwiska w województwie łódzkim i ich szczególny charakter w wyrobisku KWB „Bełchatów”. Acta Univ. Lodz. Folia Geogr. Phys., 8: 165–183.
- DAMM B., KLOSE M. 2014 – Landslide database for the Federal Republic of Germany: a tool for analysis of mass movement processes and impacts. [W:] Sassa K., Canuti P., Yin Y. (red.), Landslide science for a safer geoenvironment. Vol. 2: Methods of Landslide Studies. Springer, Berlin: 787–792.
- KELLER B. 2003 – Durch den Wolkenbruch vom 6./7. Juni 2002 ausgelöste gravitative Prozesse am Sonnenberg bei Luzern : Ereignisse, Simulationen und Beurteilungen. Bull. Angew. Geol., 8/2: 5–23.
- KELLER B. 2012 – Facies of Molasse based on a section across across the central part of the Swiss Plateau. Swiss Bull. Angew. Geol., 17/2: 3–19.
- KELLER B. 2017 – Der Einfluß der Wurzelkohäsion auf die Standsicherheit steiler Kolluvium-Hänge am Beispiel der gravitativen Prozesse am Sonnenberg bei Luzern. [W:] Lauterbach M. (red), Fachtagung Rutschungen – 17. Weiterbildungsseminar der FSR Mainz, vom 29–31.05.2017: 18–24.
- O'LOUGHLIN C. 1974 – The effect of timber removal on the stability of forest soils. J. Hydrol., 13: 121–134.
- POSCHINGER A., WAGNER B. 2017 – Das Georisk-Projekt: Gefahrenhinweiskarten zu Massenbewegungen in Bayern. [W:] Lauterbach M. (red), Fachtagung Rutschungen – 17. Weiterbildungsseminar der FSR Mainz, vom 29–31.05.2017: 9–12.
- PFISTER C. 1999 – Wetternachhersage: 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Haupt. Verl. Bern.
- RICKLI C. 2001 – Vegetationsentwicklung und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluß der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Eidg. Forsch. Anstalt WSL, Bundesamt f. Umwelt, Wald u. Landschaft.
- ZYDRON T., BORUSIŃSKI D. 2013 – Wytrzymałość na ścinanie gruntu zbrojonego korzeniami roślin. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiecetus. 12/1: 147–156.
- ZYDRON T. 2014 – Wpływ korzeni grabu na wytrzymałość gruntu na ścinanie. Infrastr. Ekol. Ter. Wiej., 1/1: 21–33.