

Ocena zagrożenia osuwaniem na podstawie analizy przyrostów rocznych olszy nepalskiej (Syczuan, Chiny)

Ireneusz Malik, Yongbo Tie, Małgorzata Wistuba, Jintao Jiang, Piotr Owczarek, Marzena Hapczyk

Abstrakt. W celu oceny aktywności osuwiskowej jednego ze stoków położonych w masywie Minya Kongka (prowincja Syczuan, środkowe Chiny) przeprowadzono karatowanie geomorfologiczne oraz pobrano wywierty z drzew porastających stok, a następnie wyznaczano epizody dekoncentryczności wzrostu dokumentujące osuwanie. Badania pozwoliły na określenie zagrożenia osuwiskowego dla inwestycji zlokalizowanych i planowanych do realizacji poniżej badanego stoku. Zidentyfikowano liczne wyrotowane bloki skalne z siecią współczesnych spękań wskazujących na osuwanie. Zmiany dekoncentryczności wzrostu olsz były bardzo częste i występowały praktycznie corocznie. Sugeruje to dużą aktywność osuwiskową badanego stoku. Szczególnie dużo drzew zarejestrowało osuwanie po opadach w 2005 roku, kiedy w obszarze badawczym wystąpiły na dużą skalę ruchy masowe. Jednak najsilniejszą reakcję drzew odnotowano po dużym trzęsieniu ziemi (magnituda 8), które wystąpiło w prowincji Syczuan w 2008 roku. Przeprowadzone badania wskazują, że powierzchnie położone poniżej badanego stoku nie są bezpiecznym miejscem dla inwestycji budowlanych.

Słowa kluczowe: osuwiska, dekoncentryczność wzrostu, szacowanie ryzyka osuwiskowego, prowincja Syczuan, Chiny

Abstract. Landslide risk assessment based on the analysis of Nepalese alder tree rings (Sichuan, China). In order to assess the landslide activity of one of the slopes situated in the Minya Kongka massif (Sichuan Province, China) we carried out geomorphological mapping and sampled cores from trees and then determined tree growth eccentricity episodes recording landsliding. In the study we were able to determine landslide risk for investments located or planned below the studied slope. Numerous rotated blocks with a network of fresh cracks indicating landslides were found. Changes of eccentric growth are very common among the alder and they occurred almost every year. This suggests high landslide activity of the studied slope. Especially high number of trees recorded landsliding after rains in 2005, when in the study area mass movements occurred on a large scale. The strongest reaction of trees was however recorded after a big earthquake (magnitude: 8) which occurred in Sichuan province in 2008. Conducted study indicates that the area located below the studied slope is not a safe place for building investments.

Keywords: landslides, eccentric growth, landslide risk assessment, Sichuan Province, China

Wstęp

W obszarach wysokogórskich, zlodowaconych w plejstocenie, w ciągu ostatnich 10 tysięcy lat lodowce górskie stopniowo zmniejszają swoje powierzchnie. Cofające się czoła jeziorów lodowcowych odsłaniają rozległe powierzchnie stromych skalnych zboczy dolin U-kształtnych, wzdłuż których zakumulowane są gliniaste osady moren. Po ustąpieniu lodowców powierzchnie te utraciły podparcie i stabilność, przez co stały się podatne na ruchy masowe, przede wszystkim osuwanie. Rozwija się ono nie tylko w obrębie podłoża skalnego, ale przede wszystkim na granicy skał litych i luźnych glin morenowych. W obszarze badań zjawisko to jest obecnie widoczne w strefie cofających się czoł lodowców. Natomiast w obszarach, w których lód wytopił się znacznie wcześniej występują liczne osuwiska, które mają jednak zatartą rzeźbę. Na stokach towarzyszą im szlaki sypływów gruzowych oraz szlaki transportu materiału w wyniku obrywania i odpadania. U podnóża takich stoków powstały liczne wioski i miasta, w tym Moxi, położone około 200 km na SW od Chengdu, stolicy prowincji Syczuan. Miasto jest obecnie rozbudowywane, obejmując coraz większe obszary doliny, a zabudowa wchodzi stopniowo także na stoki. Miasto stało się od niedawna bazą wypadową do wycieczek autokarowych w partie wysokogórskie. Powstają tu wielokondygnacyjne budynki stanowiące kontrast dla budowanych wcześniej niewielkich domów drewnianych. Szybki i chaotyczny rozwój zabudowy pociąga za sobą zagrożenie niszczeniem nowych budynków przez licznie występujące na obszarze Moxi osuwiska, sypływy gruzowe, częste odpadanie i obrywanie materiału skalnego (Dai 2002, Tie 2012). Przykładem mogą być liczne sypływy gruzowe które wystąpiły na terenie Moxi w 2005 roku i zniszczyły wiele budynków oraz kilka elektrowni wodnych (Fot. 1).

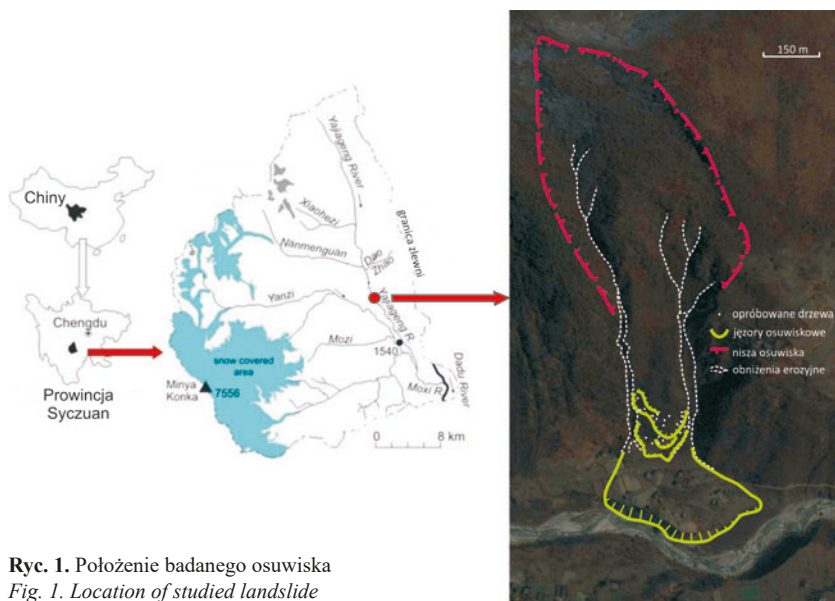


Fot. 1. Elektrownia wodna położona nieopodal Moxi zniszczona podczas sypływu gruzowego w 2005 roku
Photo 1. Hydroelectric power station located near the Moxi destroyed during the debris flow in 2005

W obawie przed dalszymi zniszczeniami władze lokalne próbują bardziej racjonalnie planować zabudowę konsultując lokalizację inwestycji między innymi z Syczuańską Służbą Geologiczną. Jedną z metod oceny zagrożenia wystąpieniem ruchów masowych jest przeprowadzenie badań dendrochronologicznych, dzięki którym można ocenić aktywność osuwiskową stoków. Istnieje także możliwość oszacowania częstotliwości występowania spływów gruzowych oraz epizodów obrywania i odpadania (np. Migoń i in. 2010, Stoffel 2010, Malik i Wistuba 2012, Šilhán i in. 2012, Bollschiweiler i in. 2011, Lopez Saez i in. 2011). Dzięki przeprowadzeniu badań w miejscu planowanej lub istniejącej inwestycji, istnieje możliwość oceny racjonalności posadowienia inwestycji lub oceny narażenia na zniszczenie istniejących już obiektów (Wistuba i in. 2013). W niniejszej pracy zaprezentowano dendrochronologiczną ocenę aktywności osuwiskowej jednego ze stoków położonego w masywie Minya Kongka, powyżej strefy planowanych inwestycji.

Material i metody

Obszar badań jest w szybkim tempie wynoszony tektonicznie (średnio 2 mm/rok), co przyczynia się do intensywnej erozji i występowania ruchów masowych na dużą skalę (Fielding 1996, Clark i in. 2004). Dodatkowo szybkie cofanie się lodowców w warunkach klimatu monsunowego powoduje duże przepływy w rzekach, co jeszcze bardziej wzmacnia erozję i powoduje podcinanie stoków. Efektem są głębokie doliny i strome stoki w otoczeniu Moxi.



Ryc. 1. Położenie badanego osuwiska
Fig. 1. Location of studied landslide

Badania prowadzono w strefie występowania klimatu średnio wilgotnego monsunowego. Cechują go wilgotne lata i zimne, suche zimy (Leber i Häusler 1995). Średnia roczna temperatura w Garze (40 km na północ od Moxi) wynosi 6,2°C, średnie roczne opady wynoszą 631 mm, przy czym zdecydowana większość występuje od czerwca do września. Ilość opadów zwiększa

się wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza. W górnych partiach masywu Minya Kongka (7556 m n.p.m.), gdzie leży badane osuwisko opady osiągają nawet 3000 mm/rok.

Badane osuwisko ma powierzchnię około 1,2 km² i jest położone na wysokości 1910-2530 m n.p.m. (Ryc. 1). W górnych partiach widoczna jest nisza, a w dolnych – wyraźny jeżor osuwiskowy (Fot. 2). Kartując badane osuwisko dokumentowano elementy rzeźby terenu wskazujące na ruch materiału stokowego.

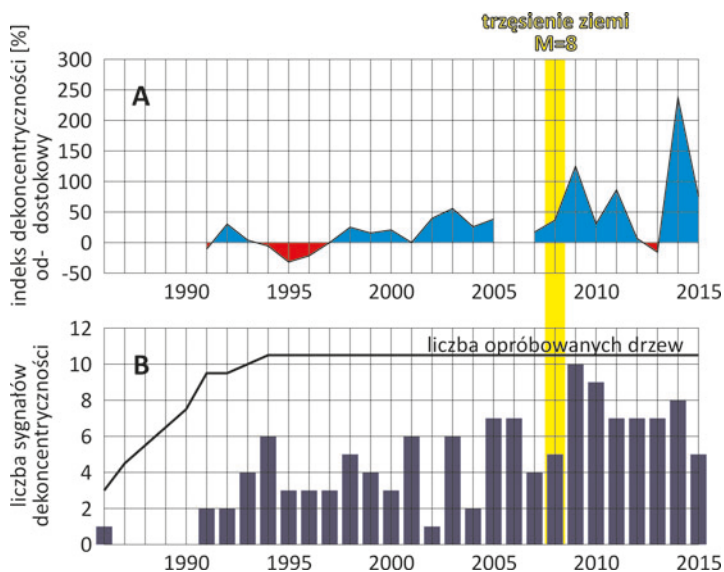


Fot. 2. Badane osuwisko wraz z budynkami położonymi u jego podnóża, czerwona przerywana linia wyznacza niszę osuwiskową, żółta linia wyznacza wybrzuszenie jeżora osuwiskowego
Photo 2. Studied landslide with buildings located at its foothills, red dotted line showing landslide niche, yellow dotted line showing landslide tongue



Fot. 3. Pobór prób z olsz nepalskich rosnących na badanym osuwisku oraz schemat dekoncentryczności przyrostów w pniu olszy pochylonym dostokowo przez osuwanie
Photo 3. Taking samples from Nepalese alders growing on the landslide slope under study and the scheme of eccentric tree rings in stem of alders tilted upslope by landsliding

Osuwisko jest w dolnej części porośnięte przez olsze nepalskie (*Alnus nepalensis*). Z 21 osobników pobrano świdrem Presslera po dwa rdzenie: po stronie od- i dostokowej pnia (Fot. 3). Pominięto osobniki zranione i chore. Mierzono także kąt pochylenia poszczególnych drzew, najczęściej zgodny z kierunkiem spadku stoku. Metodą wykresów szkieletowych korelowano ze sobą przyrosty po przeciwnych stronach pni. Do określenia aktywności osuwiskowej zastosowano metodę wyznaczania epizodów dekoncentrycznego wzrostu drzew. Olsze pochylone w wyniku osuwania wykształcają przyrosty szersze po przeciwnej stronie w stosunku do tej w którą się pochylają. Epizody osuwiskowe wyznaczano jako lata z gwałtownym nasileniem się dekoncentryczności wzrostu wynikającym z pochylania pni (datowanie metodą indeksu procentowego według Wistuby i in. 2013).



Ryc. 2. Wyniki analizy dekoncentryczność wzrostu olsz rosnących na badanym osuwisku, A - przebieg dekoncentryczności w pniu pojedynczej olszy, B - liczba sygnałów dekoncentryczności we wszystkich opróbowanych drzewach, żółtą linią oznaczono silne trzęsienie ziemi zwane „Wenchuan”, które wystąpiło w prowincji Syczuan 12 maja 2008 roku

Fig. 2. The results of analyses of eccentric growth of alders growing on studied landslide, A – eccentricity in a single alder stem, B – number of eccentricity events in all sampled trees, yellow line indicates the strong, so-called “Wenchuan earthquake” which occurred in Sichuan Province 12 May 2008

Wyniki

Zidentyfikowano 4 stanowiska z wyrotowanymi blokami osuwiskowymi. Położone one były w dolnych partach osuwiska. W dolnych częściach bloków widoczne są liczne szczeliny, a na ich powierzchniach rosną silnie pochylone dostokowo olsze. Średnie pochylenie wszystkich badanych drzew wyniosło 8° i wahało się od 2° do 15°. Ze względu na stosunkowo młody

wiek porastających stok drzew, historia osuwania zapisana w ich przyrostach rocznych sięga tylko 1990 roku. Analiza dekoncentryczności olsz wykazała, że praktycznie wszystkie drzewa zapisały liczne sygnały aktywności osuwiskowej badanego stoku. Sygnałów takich odnotowano w sumie aż 123 (Ryc. 2).

Z analizy dekoncentryczności wynika, że osuwanie pojawiało się na badanym stoku praktycznie corocznie. Natomiast szczególnie ożywienie ruchów osuwiskowych wystąpiło po 2009 roku, wysoką aktywność odnotowano także w latach 1994, 2001, 2003, 2005-2006.

Dyskusja

Zarówno elementy rzeźby terenu w postaci przemieszczanych aktualnie bloków osuwiskowych, jak i wyniki badań dendrochronologicznych przemawiają za dużą aktywnością badanego stoku osuwiskowego. Wcześniejsze badania prowadzone w Europie z użyciem kalkulacji indeksu dekoncentryczności wzrostu drzew, jako indykatora osuwania wykazały zwykle znacznie mniejszą aktywność stoków (np. Malik i Wistuba 2012, Migoń i in. 2014). Powodem dla którego badany stok jest silnie aktywny osuwiskowo są z pewnością bardzo wysokie opady letnie występujące w masywie Minya Kongka, tym bardziej że silna reakcja drzew została zarejestrowana w 2005-2006 roku, czyli w latach, które były szczególnie wilgotne w terenie badań. Zwłaszcza w 2005 roku w wyniku opadów wystąpiło bardzo wiele spływów gruzowych i osuwisk niszczących infrastrukturę (Malik i in. 2013). Wydaje się, że wpływ na aktywność osuwiska mają także wstrząsy sejsmiczne. Najsilniejsza reakcja drzew wystąpiła po 2008 roku, czyli po potężnym trzęsieniu ziemi o magnitudzie 8 (trzęsienie ziemi „Wenchuan”), które wystąpiło w prowincji Syczuan 12 maja 2008 roku i spowodowało śmierć prawie 100 tys. osób oraz ogromne zniszczenia (Ryc. 2). Teren badań znajdował się w obszarze makrosejsmicznym tego wstrząsu i według relacji mieszkańców Moxi był on w terenie badań odczuwalny. W wyniku trzęsienia ziemi w różnych miejscach, do których dotarła fala sejsmiczna wystąpiły liczne ruchy masowe (Tang i in. 2011). Jak wykazały badania prowadzone dotąd na Podhalu nawet stosunkowo niewielkie wstrząsy sejsmiczne mogą prowadzić do aktywizacji osuwisk (Michałowicz i in. 2014).

Przeprowadzone badania wykazały, że badany stok osuwiskowy stanowi zagrożenie dla obiektów budowlanych znajdujących się u jego podnóża. Obecnie materiał osuwa się lokalnie, a jego przemieszczanie zachodzi okresowo. Niewykluczone jednak, że w okresach szczególnie wilgotnych lub podczas wstrząsów sejsmicznych zaczną się w dużym tempie przemieszczać większe pakiety materiału. W przeszłości takie epizody osuwania musiały mieć miejsce, ponieważ jezioro osuwiskowe wyraźnie wkroczył w dno doliny biegnącej poniżej i zepchnął koryto ciek pod stok przeciwnie (Ryc. 1). Poniżej badanego osuwiska, w podcięciu brzegu występuje sekwencja osadów jeziornych. Jak wykazały badania geologiczne ma ona aż 90 metrów miąższości. Możliwe, że w przeszłości materiał pochodzący ze stoku osunął się i przegrodził dno doliny powodując powstanie zbiornika jeziornego powyżej tamy. Jednak na obecnym etapie badań trudno jednoznacznie stwierdzić, czy materiał który przegrodził rzekę był pochodzenia osuwiskowego, czy też tama miała związek z licznymi lodowcami, które ukształtowały pierwotne dno doliny i stoki w badanym obszarze.

Wnioski

- Badany stok podlega osuwaniu o czym świadczą przemieszczające się w ostatnim czasie bloki osuwiskowe oraz zapisane w słojach zmiany dekoncentryczności wzrostu olsz nepalskich porastających stok.
- Duża aktywność osuwiskowa stoku wynika ze znacznej ilości opadów występujących w terenie badań w okresie letnim. Dodatkowo materiał przemieszcza się także pod wpływem wstrząsów sejsmicznych.
- Przeprowadzone badania wykazały, że powierzchnie położone poniżej badanego stoku nie są bezpiecznym miejscem do prowadzenia inwestycji. Badania potwierdziły potencjał aplikacyjny dendrochronologii w ocenie zagrożenia osuwiskowego.

Podziękowania

Badanie zostało dofinansowane ze środków Centrum Studiów Polarnych Uniwersytetu Śląskiego – Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) w zakresie nauk o Ziemi 2014-2018. Małgorzata Wistuba była stypendystką wspartą finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) w ramach stypendium START na lata 2015-2016.

Literatura

- Bollsweiler M., Stoffel M., Schlaeppy R. 2011. Debris-flood reconstruction in a prealpine catchment in Switzerland based on tree-ring analysis of conifers and broadleaved trees. *Geografiska Annaler* 93: 1-15.
- Clark M. K., Schoenbohm L. M., Royden L.H., Whipple K. X., Burchfiel B.C., Zhang X., Tang W., Wang E., Chen L. 2004. Surface uplift, tectonics, and erosion of eastern Tibet from large-scale drainage patterns. *Tectonics* 23: 1-20.
- Dai S. 2002. Forecast on trend of geological hazard control in Sichuan Province. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control* 13: 100-101.
- Fielding E.J. 1996. Tibet uplift and erosion. *Tectonophysics* 260: 55-84.
- Leber D., Häusler H. 1995. Climatic classification of the Tibet Autonomous Region using multivariate statistical methods. *GeoJournal* 37: 451-473.
- Lopez-Saez J., Corona C., Stoffel M., Gotteland A., Berger F., Liebault F. 2011. Debris flow activity in abandoned channels of the Manival torrent reconstructed with LiDAR and tree-ring data. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 1247-1257.
- Malik I., Wistuba M. 2012. Dendrochronological methods for reconstructing mass movements – An example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity. *Geochronometria* 39: 180-196.
- Malik I., Tie Y., Owczarek P., Wistuba M., Pilorz W., Woskowicz-Ślęzak B. 2013. Human-planted alder trees as a protection against debris flows (a dendrochronological study from the Moxi Basin, Southwestern China). *Geochronometria* 40: 208-216.
- Michałowicz P., Malik I., Wistuba M. 2014. Dendrochronologiczny zapis niewielkich trzęsień ziemi występujących na Podhalu. *Studia i Materiały CEPL* 40: 203-210.
- Migoń P., Pánek T., Malik I., Hrádecký J., Owczarek P., Šilhán K. 2010. Complex landslide terrain in the Kamienne Mountains, Middle Sudetes, SW Poland. *Geomorphology* 124: 200-214.
- Migoń P., Kacprzak A., Malik I., Kasprzak M., Owczarek P., Wistuba M., Pánek T. 2014. Geomorphological, pedological and dendrochronological signatures of a relict landslide terrain, Mt Garbatka (Kamienne Mts), SW Poland. *Geomorphology* 219: 213-231.
- Šilhán K., Pánek T., Hrádecký J. 2012. Tree-ring analysis in the reconstruction of slope instabilities associated with earthquakes and precipitation (the Crimean Mountains, Ukraine). *Geomorphology* 40: 173-184.

- Stoffel M. 2010. Magnitude–frequency relationships of debris flows – A case study based on field surveys and tree-ring records. *Geomorphology* 116: 67-76.
- Tang C., Zhu J., Qi X., Ding J. 2011. Landslides induced by the Wenchuan earthquake and the subsequent strong rainfall event: A case study in the Beichuan area of China. *Engineering Geology* 122: 22-33.
- Tie Y. 2012. Prediction of the run-out distance of the debris flow based on the velocity attenuation coefficient. *Natural Hazards* 52: 1-13.
- Wistuba M., Malik I., Gärtner H., Kojs P., Owczarek P. 2013. Application of eccentric growth of trees as a tool for landslide analyses: The example of *Picea abies* Karst. in the Carpathian and Sudeten Mountains (Central Europe). *Catena* 111: 41-55.

^{1,2}Ireneusz Malik*, ²Yongbo Tie, ^{1,2}Małgorzata Wistuba, ²Jintao Jiang, ^{2,3}Piotr Owczarek, ¹Marzena Hapczyk

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi.

² Chengdu Centre of China Geological Survey, Chengdu University of Technology.

³ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego.

*irekgeo@wp.pl