

Rekonstrukcja aktywności lawin śnieżnych w Białym Żlebie (Tatry Wysokie) na podstawie przyrostów rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.)

Michał Lempa, Ryszard J. Kaczka, Zofia Rączkowska

Abstrakt. Na podstawie badań dendrochronologicznych w Białym Żlebie, w Dolinie Rybiego Potoku, opracowano 200-letnią chronologię zdarzeń lawinowych w Tatrach Wysokich. Do analiz wykorzystano próby z drzew noszących ślady uszkodzeń – dekapitacje oraz blizny (uszkodzenia części pnia). W sumie przeanalizowano 192 próby pochodzące ze 172 zdekapitowanych drzew oraz 124 próby ze 104 drzew z bliznami. Drzewa, które zostały zdekapitowane, charakteryzowały się wyraźną redukcją szerokości przyrostów trwającą przez kilka lat po zdarzeniu. Na podstawie uzyskanych wyników z datowań blizn i dekapitacji zrekonstruowano zasięgi lawin z zim 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962 i 2008/2009.

Słowa kluczowe: Tatry Wysokie, Biały Żleb, lawina śnieżna, dekapitacja, świerk pospolity

Abstract. Reconstruction of snow avalanches activity in the Biały Żleb chute (the High Tatras) based on tree-ring growth of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). The 200-years long reconstruction of snow avalanches in the Biały Żleb chute, the Rybi Potok Valley, the High Tatras was established using the standard dendrogeomorphologic methods. The decapitated and injured trees, respectively 192 samples from 172 tress and 124 samples from 104 trees, were analysed. The decapitated trees show clear growth reduction for several next years after the avalanche. The tree-ring data allows to recognise the four main avalanche events in winters 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962 and 2008/2009.

Key words: the High Tatras, the Biały Żleb chute, snow avalanche, decapitation, Norway spruce

Wstęp

Lawiny śnieżne to gwałtowne przemieszczanie się dużych mas śniegu w dół stoku. Są charakterystyczne dla obszarów górskich i występują tam, gdzie nachylenie zboczy przekracza 15°, a miąższość warstwy śniegu osiąga ponad 0,5 m (Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski 1996). Powstają wskutek naruszenia równowagi między napięciem kryształów śniegu a siłami hamującymi to napięcie. Pozostałością po zejściu lawiny jest lawinisko (Kłapa 1959). Lawiny śnieżne w Polsce mają charakter lokalny – głównie występują w Tatrach, masywie Babiej Góry oraz w Karkonoszach (Kłapa 1971). Przebieg górnej granicy lasu w tych miejscach, szczególnie w Tatrach, wykazuje wyraźny związek z zasięgiem lawin i lokalizacją lawinisk. Jej przebieg

wskazuje na miejsca zagrożone lawinami oraz miejsca nieobjęte tymi procesami (Myczkowski 1962).

Badania nad lawinami śnieżnymi prowadzone są w Polsce nieregularnie i niesystematycznie. Pierwsze zorganizowane obserwacje szaty śnieżnej przeprowadzono w drugiej połowie XIX wieku (Sawicki 1910; Paryski 1948; za Myczkowskim 1962). Na początku XX wieku M. Zaruski opisywał lokalizację, morfometrię oraz szkody wyrządzone przez masy śniegu schodzące z tatrzańskich stoków (Kłapa 1959). Pierwsze systematyczne badania terenowe w górach nad śniegiem i lawinami przeprowadziła Wysockogórska Stacja Klimatologiczna Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Jagiellońskiego w Dolinie Pięciu Stawów Polskich w latach 1928–1930 (Kłapa 1959). Po wieloletniej przerwie, w 1959 roku Państwowy Instytut Hydrologii i Meteorologii pod kierownictwem Kazimierza Chomicza wznowił badania, które trwały do końca lat 60. XX wieku (Chomicz i Kłapowa 1969). Od 2005 roku prowadzona jest systematyczna ewidencja lawin tatrzańskich przez Służbę Lawinową Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (Laska i Kaczka 2010). Od grudnia 2012 roku dostępny jest biuletyn śniegowy dla Tatr Polskich, który jest tworzony przez Sekcję Niwologii DSPO IMGW-PIB. Zawiera on informacje na temat zmian warunków śniegowych na obszarze Tatr Polskich (www.tpn.pl/zwiedzaj/biuletyn-sniegowy).

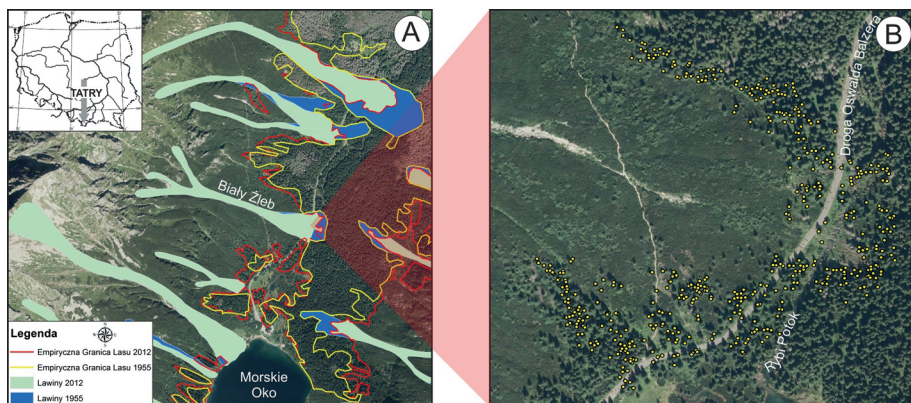
Spadające i toczące się okrucy skalne, spływy gruzowe, powodzie, silny wiatr oraz lawiny mogą powodować różnorakie uszkodzenia drzew. Wszystkie te procesy charakteryzują się wysoką energią kinetyczną. W wyniku ich działania mogą powstać na drzewie zranienia pnia oraz utrata części korony – dekapitacja. Dekapitacja jest powszechniejsza u drzew starszych, których pnie straciły elastyczność i zdolność do rozpraszania energii uderzenia (Stoffel i in. 2010). W jej wyniku drzewo traci dużą część aparatu asymilacyjnego, co prowadzi do zmniejszenia ilości produkowanego drewna. Widoczne jest wyraźne zmniejszenie szerokości przyrostów rocznych w zdekapitowanych drzewach (Chiroiu 2013). W drzewie, które straciło wierzchołek (ryc. 2a), jedna z bocznych gałęzi przejmuje jego rolę i tworzy nową oś wzrostu pnia (Myczkowski 1962).

Celem niniejszych badań było określenie roku wystąpienia głównych zdarzeń lawinowych w Białym Żlebie, analiza ich przestrzennego zasięgu oraz porównanie dekapitacji i zranień jako dendrochronologicznych źródeł informacji o zdarzeniach lawinowych.

Material i metody

Biały Żleb jest położony na południowo-wschodnim stoku Opalonego Wierchu (2115 m n.p.m.) w Dolinie Rybiego Potoku w Tatrach Wysokich (ryc. 1a). Jest to jeden z największych żlebów w Tatrach. Zimą Białym Żlebem schodzą potężne masy śniegu, które swym zasięgiem nierzadko przekraczają drogę Oswalda Balzera do Morskiego Oka, Rybi Potok i wkraczają na przeciwny stok. W wyniku działania lawin śnieżnych granica lasu jest w tym miejscu obecnie obniżona o około 335 metrów. Lawiny są szczególnie niebezpieczne dla turystów korzystających z drogi Balzera oraz niebieskiego szlaku prowadzącego od niej do Doliny Pięciu Stawów Polskich.

Badania przeprowadzono z zastosowaniem standardowych metod dendrochronologicznych. Odwierty pobrane zostały przy pomocy świdra Presslera z drzew rosnących w strefie granicy toru lawinowego i lasu. Do badań wybierano osobniki, które nosiły ślady uszkodzeń korony (dekapitacje) oraz pnia (blizny). Próby pobierano głównie ze świerka pospolitego *Picea abies* L. Karst., sosny limby *Pinus cembra* L., jarząbka pospolitego *Sorbus aucuparia* L. i brzozy karpackiej *Betula pubescens* Ehrh. subsp. *carpatica*. Odwierty z drzew noszących ślady



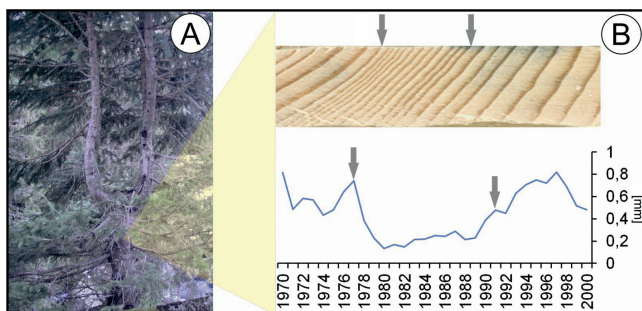
Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań: A) Biały Żleb na tle górnej części Doliny Rybiego Potoku (Tatry Wysokie) z zaznaczonym przebiegiem empirycznej granicy lasu i głównymi szlakami lawinowymi, B) rozmieszczenie badanych drzew w dolnej części Białego Żlebu

Fig. 1. Location of study area: A) the Biały Żleb chute in the upper part of Rybi Potok Valley (the High Tatras) and the course of the timberline related to main avalanche track, B) distribution of the sampled trees in the lowest part of the Biały Żleb chute

uszkodzeń części korony pobierane były poniżej miejsca dekapitacji. Próby z drzew noszących ślady uszkodzeń pnia nawiercane były w trzech miejscach: bezpośrednio z miejsca zranienia (X), powyżej (Y) oraz z nieuszkodzonej części pnia (Z). Różnica ilości przyrostów z wywiertu Z i X pozwala określić, ile lat upłynęło od zdarzenia lawinowego. Rdzeń Y służył do analiz występowania traumatycznych kanałów żywicznych (TKZ). Przyrost, w którym stwierdzono TKZ w drewnie wczesnym uznawany był za zapis zdarzenia lawinowego (Bollscheweiler i in. 2008). Każdy pobrany wywiert otrzymał kod, a pozycja geograficzna opróbowanego drzewa została zarejestrowana za pomocą precyzyjnego GPS. Dodatkowo dla każdego uszkodzonego drzewa dokonano pomiarów obwodu pnia, a także określono wysokości powstałych uszkodzeń oraz ich rozmiary. Rdzenie wklejono w listwy mocujące, wyszlifowano, aby otrzymać odpowiedniej jakości powierzchnie i zeskanowano w wysokiej rozdzielczości (2400 DPI). Pomiar szerokości przyrostów rocznych wykonano przy użyciu programu Coorecorder 7.7 firmy Cybis Elektronik & Data AB (www.cybis.se).

Dla wszystkich prób z drzew iglastych sekwencje szerokości przyrostów rocznych porównano z odpowiednimi chronologiami lokalnymi dla Doliny Rybiego Potoku. Dzięki temu wykryte zostały błędy pomiarowe oraz próby z brakującymi przyrostami.

Określenie czasu powstania uszkodzenia części korony (dekapitacji) polegało na zidentyfikowaniu silnej i odpowiednio długotrwałej (minimum 2 lata) redukcji szerokości przyrostów (ryc. 2b). Analizowana była również obecność drewna reakcyjnego, którego wystąpienie w przypadku dekapitacji było wynikiem stresu mechanicznego (Zielski i Krąpiec 2004). W celu wykluczenia zmniejszenia szerokości słoików wywołanych czynnikami klimatycznymi próby te zestawiono z chronologiami lokalnymi. W sumie nawierconych zostało 521 drzew, z czego w niniejszym opracowaniu przeanalizowane zostały 192 próby pochodzące ze 172 drzew noszących wyraźne uszkodzenie części korony oraz 124 próby ze 104 drzew z bliźniami.



Ryc. 2. Dekapitacja świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) (A) oraz powstała w jej wyniku redukcja szerokości przyrostów (B)

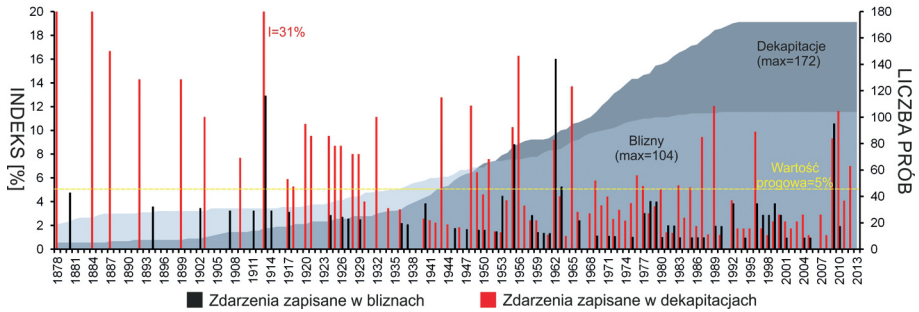
*Fig. 2. Decapitation of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) (A) and ring widths reduction as a result of this kind of damage (B)*

W celu określenia, jak powszechne były zdarzenia lawinowe dla poszczególnych lat, zastosowano indeks zdarzeń. Jest on ilorazem ilości drzew, w których w danym roku wystąpił sygnał związany z zejściem lawiny, do ilości drzew, które w tym roku odłożyły przyrost (Shroder 1978). Indeks ten wyrażony jest w procentach. Dla wyodrębnienia głównych zdarzeń lawinowych przyjęto wartość graniczną na poziomie 5%, co jest wartością niższą od najczęściej spotykanych w literaturze (Dubé i in. 2004; Stoffel i in. 2010).

Wyniki

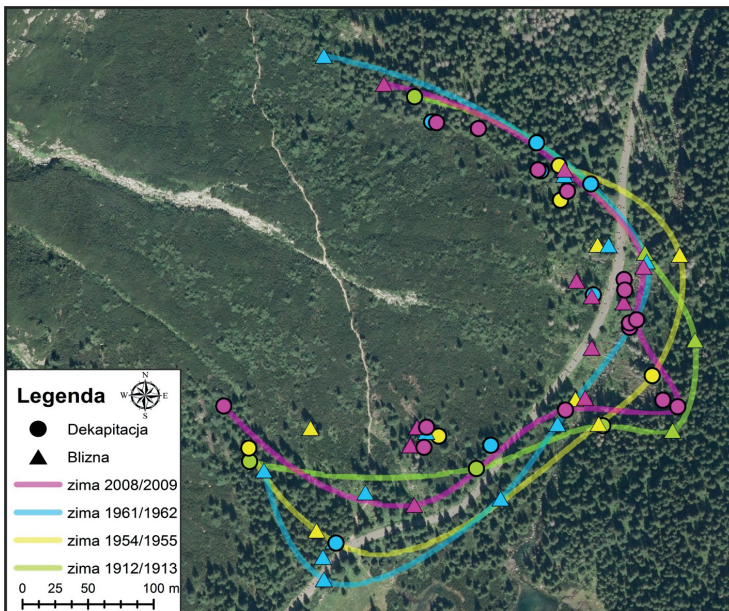
Analiza prób pochodzących z dekapitacji wykazała, że czas trwania redukcji szerokości przyrostów dla poszczególnych zdarzeń wahał się od 2 do 12 lat. Długość utrzymywania się redukcji szerokości przyrostów jest uzależniona od wielkości uszkodzenia, wieku drzewa w momencie zdarzenia oraz jego ogólnej kondycji. Analiza zdekapitowanych drzew wskazuje, że części koron były odłamywane i ścinane przede wszystkim w młodym wieku (średnio 25 lat). Drzewa uszkodzone w okresie intensywnego wzrostu lepiej znoszą stres związany z utratą części korony niż osobniki starsze. Dekapitacje, które wystąpiły w ciągu ostatnich 10 lat, są trudne do wychycenia z powodu zbyt krótkiej sekwencji przyrostów po zdarzeniu, w stosunku do dekapitacji, które wystąpiły w przeszłości.

Na podstawie obliczonego indeksu zdarzeń dla prób pochodzących z drzew noszących ślady uszkodzeń części korony i pnia stworzono chronologię zdarzeń lawinowych dla Białego Żlebu obejmującą ostatnie 200 lat (ryc. 3). Najstarsza dekapitacja pochodzi z roku 1878, a najmłodsza z 2012. Największą liczbę zdekapitowanych drzew (20) zaobserwowano w roku 2010, co stanowi 12% wszystkich dekapitacji. Najdłuższa redukcja szerokości przyrostów wynosi 12 lat i powstała ona po lawinie śnieżnej w zimie 1973/1974. Po przyjęciu wartości progowej indeksu na poziomie 5% możliwe było wyodrębnienie 35 zdarzeń. Rekonstrukcja najstarszych epizodów lawinowych, tj. sprzed 1913 r., ze względu na małą replikację prób (od 5 do 13) charakteryzuje się ograniczoną wiarygodnością. Najstarsza blizna pochodzi z roku 1880 a najmłodsza z 2010. Największą liczbę uszkodzeń części pnia (12) zaobserwowano w roku 1962, co stanowi 10% wszystkich blizn. Po przyjęciu wartości progowej indeksu na poziomie 5% możliwe było wyodrębnienie 5 zdarzeń.



Ryc. 3. Chronologia zdarzeń lawinowych opracowana na podstawie datowania blizn i dekapitacji. Częstość wystąpienia uszkodzeń wyrażono indeksem zdarzeń (Shroder 1978)
Fig. 3. The chronology of avalanche events, based on the dating of scars and decapitation. The incidence of damage expressed with response index (Shroder 1978)

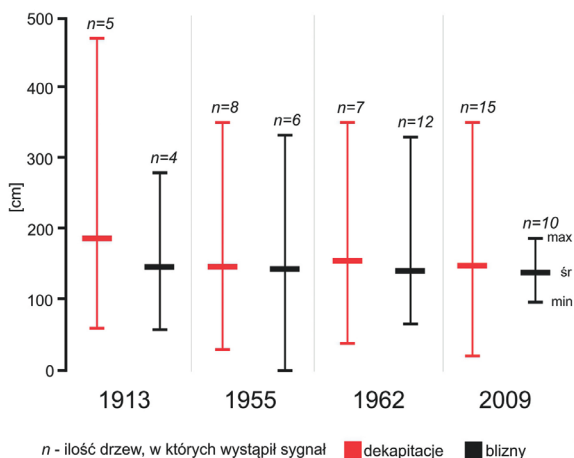
Na podstawie przeprowadzonych datowań blizn i dekapitacji zrekonstruowano cztery zdarzenia lawinowe, dla których wartość indeksu wynosiła $>5\%$. Odtworzone zostały lawiny z lat 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962 i 2008/2009 (ryc. 4).



Ryc. 4. Rekonstrukcja zasięgu lawin stworzona na podstawie lokalizacji drzew z uszkodzeniami (blizny i dekapitacje) datowanymi na zimy 1913, 1955, 1962, 2009 – największymi zdarzeniami lawinowymi w badanym żlebie
Fig. 4. Reconstruction of avalanches range based on the location of damaged trees (scars and decapitation) for winter 1913, 1955, 1962, 2009 – the main avalanche events in studied gully

Zasięgi zrekonstruowanych lawin z okresu zim 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962 i 2008/2009 charakteryzują się podobnym przebiegiem. Lawiny śnieżne z wyżej wymienionych okresów zawsze przekraczały drogę do Morskiego Oka i Rybi Potok oraz w większości wchodziły na przeciwny stok wału morenowego w dnie doliny Rybiego Potoku, powodując wyraźne szkody w drzewostanie.

Analiza wysokości uszkodzeń drzew powstałych na skutek lawin śnieżnych z okresu zim 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962 i 2008/2009 wykazuje, że znajdują się one na podobnej wysokości dla wszystkich zrekonstruowanych zdarzeń (ryc. 5). Maksymalna wysokość, na której powstała dekapitacja, wynosi 470 cm i pochodzi z lawiny śnieżnej w zimie 1912/1913. Natomiast maksymalna wysokość, na której powstała blizna, wynosi 333 cm (lawina w zimie 1961/1962). Minimalna wysokość, na której powstała dekapitacja wynosi 20 cm i pochodzi z lawiny śnieżnej w zimie 2008/2009, natomiast minimalna wysokość, na której powstała blizna, wynosi 0 cm i pochodzi z zimy 1954/1955.



Ryc. 5. Wysokości powstałych uszkodzeń (blizn i dekapitacji) dla głównych zrekonstruowanych zdarzeń lawinowych

Fig. 5. Height of the damages (scars and decapitation) occurred during the four main reconstructed avalanche events

Na podstawie przebiegu zasięgów zrekonstruowanych lawin oraz wysokości powstałych uszkodzeń z okresów 1912/1913, 1954/1955, 1961/1962, 2008/2009 można wnioskować, że schodzące Białym Żlebem lawiny mają podobny charakter i intensywność. Zbliżony przebieg ich zasięgu oraz podobna wysokość zranień drzew w analizowanych okresach wskazuje na podobieństwo tych zdarzeń.

Wnioski

- Przeprowadzone badania dendrochronologiczne pozwoliły na rekonstrukcję zdarzeń lawinowych dla Białego Żlebu w latach 1878–2013.
- Na podstawie utworzonych chronologii zidentyfikowano zdarzenia, które nie były wcześniej odnotowane w obserwacjach. Wyniki przeprowadzonych badań poszerzają wiedzę o dynamice, zasięgu oraz intensywności zjawisk lawinowych w Dolinie Rybiego Potoku w Tatrach Wysokich.
- Dla wszystkich czterech rekonstruowanych lawin (1913, 1955, 1962, 2009) wysokości powstałych uszkodzeń były zbliżone i wynosiły średnio 149 cm, co świadczy o podobnym charakterze największych zdarzeń lawinowych w Białym Żlebie.
- Analiza powstałych uszkodzeń, blizn i dekapitacji wykazała dużą zgodność głównych zdarzeń zarejestrowanych w tego typu nośnikach informacji. Zaprezentowana metoda może być zastosowana w przyszłych badaniach dendrogeomorfologicznych mających na celu nie tylko określenie czasu, ale i zasięgu lawin śnieżnych.

Podziękowania

Badania sfinansowane z projektu badawczego NCN 2011/03/B/ST10/06115 „Aktywność lawin śnieżnych w Tatrach jako wskaźnik zmian środowiska przyrodniczego w okresie ostatnich 200 lat”. Opracowanie powstało w ramach pracy licencjackiej Michała Lempy.

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. 1996. Hydrologia ogólna. Warszawa, PWN.
- Bollschweiler M., Stoffel M., Schneuwly D.M., Bourqui K. 2008. Traumatic resin ducts in *Larix deciduas* steams impacted by debris flows. *Tree Physiology*, 28: 255–263.
- Chiroiu P. 2013. Geomorphological studies of slope processes by the analysis of tree-rings. *Central European Regional Policy and Human Geography*, 3: 93–105.
- Chomicz K., Kłapowa M. 1969. Obserwacje lawin śnieżnych w Tatrach. *Wierchy*, 38: 137–153.
- Dubé S., Filion L., Héty B. 2004. Tree-ring reconstruction of high-magnitude snow avalanches in the northern Gaspé Peninsula. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36: 555–564.
- Kłapa M. 1959. Lawiny. *Wierchy*, 28: 127–163.
- Kłapa M. 1971. Geneza i występowanie lawin w Polsce. Kraków, PTTK.
- Laska M., Kaczka R.J. 2010. Dendrochronologiczna rekonstrukcja lawin w Tatrach Wysokich. *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*. Zakopane, TPN, 1: 89–94.
- Myczkowski S. 1962. Wpływ lawin śnieżnych na lasy Tatrzańskiego Parku Narodowego w dolinach: Rybiego Potoku, Roztoki, Waksmundzkiej i Pańszczycy. *Ochrona Przyrody*, 28: 83–108.
- Shroder J.F. 1978. Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9: 168–185.

- Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D.R., Luckman B.H. 2010. Tree Rings and Natural Hazard. Springer, 41: 10–11, 35–46.
- Zielski A., Krąpiec M. 2004. Dendrochronologia. Warszawa, PWN.

Michał Lempa¹, Ryszard J. Kaczka¹, Zofia Rączkowska²

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi
92michal.lempa@gmail.com
ryszard.kaczka@us.edu.pl

² Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii
i Przestrzennego Zagospodarowania
raczk@zg.pan.krakow.pl