

Dendrochronologiczny i geochemiczny zapis erozji i sedymentacji w wąwozach lessowych (przykład z Wysoczyzny Proboszczowickiej)

Grzegorz Poręba, Ireneusz Malik, Małgorzata Wistuba

Abstrakt. W jednym z wąwozów na Wysoczyźnie Proboszczowickiej pobrano próby z korzeni lipy szerokolistnej przerastających formy depozycyjne zlokalizowane w dnie wąwozu. Wyznaczono wiek tych korzeni przy założeniu, że wyznacza on minimalny czas funkcjonowania poszczególnych warstw zdeponowanych osadów. Przeprowadzono także analizy zawartości izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb w tych samych warstwach osadów, w których przeprowadzono datowania korzeni. Wyniki badań wskazują, że analizowane formy terenu powstały w ciągu ostatnich 50 lat. Zróżnicowany wiek korzeni przerastających poszczególne warstwy osadów pozwolił wyróżnić co najmniej 3 duże epizody rzeźbotwórcze prowadzące do depozycji materiału w dnie wąwozu w ciągu ostatnich 50 lat. Oznacza to, że rzeźba wąwozów przekształcana jest zaskakująco szybko pomimo ich współczesnego zalesienia. Istnieje także możliwość kalibracji datowań warstw osadów uzyskanych metodą oznaczania koncentracji izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb z wykorzystaniem oznaczania wieku korzeni drzew przerastających datowane warstwy.

Słowa kluczowe: wąwozy lessowe, formy depozycyjne, datowania izotopowe, datowania wieku korzeni.

Abstract. Dendrochronological and geochemical record of erosion and deposition in loess gullies (example from the Proboszczowicka Plateau). In one of the numerous gullies of the Proboszczowicka Plateau we have sampled roots growing within depositional landforms in the gully bottom. We have determined the age of the roots, assuming that it equals the minimum age of particular sediment horizons. We have also conducted analyses of ^{137}Cs and ^{210}Pb isotopes content in the same sediment layers for which root dating was performed. Results of the study indicate that analysed landforms developed during the last 50 years. Diverse age of roots growing in sediment horizons allowed to determine at least 3 significant geomorphic events resulting in deposition of material in the gully bottom during the last 50 years. This suggests that relief of gullies is shaped surprisingly fast, despite forest cover contemporary occurring there. Studies also revealed the possibility to calibrate the geochemical dating of sediment layers through analyses of ^{137}Cs and ^{210}Pb with the use of dendrochronological analysis of the age of roots growing within dated sediment horizons.

Key words: loess gullies, depositional landforms, isotope dating, tree root dating

Wstęp

Rzeźba wąwozów lessowych jest obecnie przekształcana głównie pod wpływem ekstremalnych opadów (Stankoviansky 2003). Podczas ich trwania dochodzi do splukiwania materiału glebowego ze stoków, uruchamiana jest także erozja bruzdowa. W dłuższym czasie sieć wąwozów może rozrastać się w wyniku erozji. Jednocześnie materiał wynoszony z górnych części wąwozów lessowych deponowany jest w ich dolnych partiach (Śnieszko 1995). Proces przekształcania rzeźby wąwozów jest zauważalny dzięki powtarzalnym kartowaniom geomorfologicznym prowadzonym przed i po intensywnych opadach (Lang 2003). Stosowane są także systemy automatycznej rejestracji obrazu w obszarach, gdzie rzeźba terenu jest przekształcana (Thomas i in. 2004). Bardzo trudno określić tempo erozji i sedymentacji materiału w wąwozach na przestrzeni kilkudziesięciu lat. Wydaje się, że możliwości takie może stwarzać porównanie wyników analiz uzyskanych metodami dendrochronologiczną oraz znaczników radioizotopowych ^{137}Cs i ^{210}Pb . Badania dendrochronologiczne prowadzone były wcześniej w wąwozach lessowych (Malik 2006). Datowano zmiany anatomiczne zachodzące w drewnie korzeni drzew wyznaczające czas ich odsłonięcia w wyniku erozji oraz minimalny wiek form akumulacyjnych w oparciu o wiek najstarszych drzew porastających te formy (Malik 2009). Datowano także formy wykrotowe przekształcane później w rozcięcia erozyjne (Malik i Gerold 2006). W badaniach geomorfologicznych wąwozów nie wykorzystywano dotąd datowań warstw osadów w oparciu o wiek korzeni przerastających te warstwy. Metodę tę stosowano z powodzeniem do datowania osadów spływów gruzowych, w których podstawą oznaczeń był wiek korzeni przybyszowych przerastających nowe, kolejne poziomy sedymentacyjne (Strunk 1989, 1997).

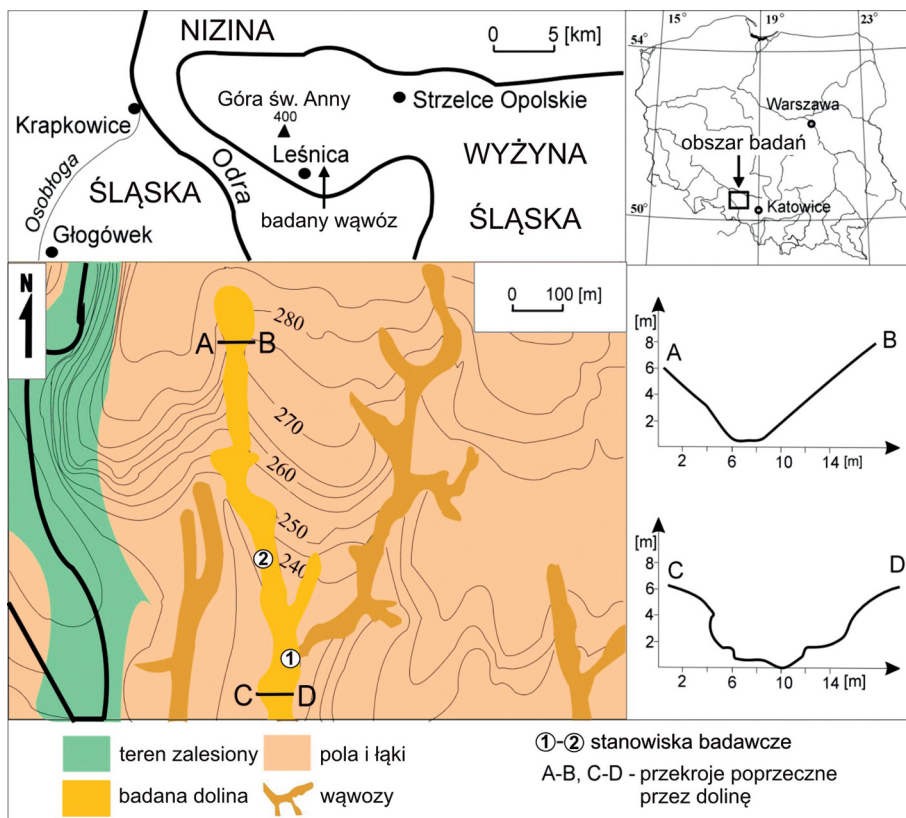
Badania koncentracji izotopu ^{137}Cs w osadach prowadzone wcześniej w obszarach lessowych pozwoliły datować osady akumulowane w ciągu ostatnich około 50 lat oraz rozpoznać miejsca, w których doszło do erozji w ostatnim półwieczu (Poręba 2010). ^{137}Cs jest sztucznie wprowadzonym do środowiska radioizotopem o czasie połowicznego zaniku 30,1 lat. Jego głównym źródłem były testy broni jądrowej oraz awarie obiektów jądrowych, w wyniku których był uwalniany do atmosfery, a stamtąd jako opad promieniotwórczy osiadał na powierzchni terenu. Wartość depozycji ^{137}Cs na powierzchni terenu jest powiązana z natężeniem testów broni jądrowej. Maksymalna jej wartość przypadła na pierwszą połowę lat 60. ubiegłego stulecia, po czym sukcesywnie malała (Cambray i in. 1987). W przypadku znacznej części Europy, w tym badanego obszaru, dość duża depozycja ^{137}Cs miała miejsce po katastrofie elektrowni atomowej w Czarnobylu. Inaczej wygląda sytuacja z ^{210}Pb , który jest naturalnie występującym radioizotopem. Jest on elementem szeregu promieniotwórczego, a jego czas połowicznego zaniku wynosi 22,3 lat. Powstaje on w wyniku kolejnych rozpadów promieniotwórczych radonu ^{222}Rn , który jako gazowy element szeregu promieniotwórczego może wydostawać się poprzez spękania gruntu do atmosfery. W wyniku kolejnych przemian promieniotwórczych powstaje ^{210}Pb , który dostaje się na powierzchnię terenu jako opad promieniotwórczy. Po depozycji na powierzchni terenu zarówno ^{137}Cs , jak i ^{210}Pb stosunkowo szybko i silnie adsorbowane są przez cząsteczki gleby oraz osadów i mogą podlegać przemieszczaniu razem z nimi. To w połączeniu z ich czasami połowicznego zaniku oraz możliwością pomiaru przy pomocy spektrometrii promieniowania gamma sprawia, że dobrze nadają się jako znaczniki w badaniach procesów geomorfologicznych.

Celem badań o charakterze metodycznym opisanych w niniejszej pracy była próba kalibracji datowania warstw osadów metodami izotopowymi (^{137}Cs i ^{210}Pb) poprzez oznaczenie wieku korzeni przerastających te warstwy. Badania prowadzono także w celu określenia czasu powstania

i nadbudowywania form akumulacyjnych występujących w dnieniu jednego z wąwozów lessowych na Wysoczyźnie Proboszczowickiej.

Teren badań

Badania były prowadzone na Wysoczyźnie Proboszczowickiej, której północna część należy do Wyżyny Śląskiej, a południowa – do Niziny Śląskiej (Kondracki 1994) (ryc. 1). Wysoczyzna jest rozcięta wąwozami o głębokości do 20 m, które wypreparowane są w lessach i w materiale lessopodobnym. Osady te są podścielone dolomitami i wapieniami triasowymi, a miejscami plejstocenijskimi piaskami wodnolodowcowymi (Malik 2009). Średni opad roczny na wysoczyżynie wynosi 680 mm, a opady miesięczne mogą osiągnąć nawet 200–300 mm. Zdarzają się ulewy, podczas których opad dzienny może przekraczać 60 mm (dane pochodzą z posterunku opadowego w Leśnicy położonego około 1,5 km od badanego wąwozu). Maksimum częstotliwości



Ryc. 1. Położenie stanowisk badawczych
Fig. 1. Location of the study sites

występowania burz na obszarze badawczym przypada na miesiące letnie (Bielec-Bąkowska 2002). Wierchowiny wysoczyzny są użytkowane rolniczo, natomiast wąwozy są zalesione. W drzewostanie zdecydowanie dominuje buk (*Fagus sylvatica*), a zbocza i dna wąwozów są częściowo porośnięte roślinnością zielną. W wyniku dużych opadów dochodzi do uruchomienia erozji w wąwozie. Wcześniejsze badania prowadzone na Wysoczyźnie Proboszczowickiej pozwoliły wyróżnić kilka epizodów opadowych powodujących erozję materiału lessowego (Malik 2009). Duża erozja pojawiała się na zboczach wąwozu oraz w jego dnie w 1984, 1991 i 1997 roku. Podcinane były także podnóża stoków w dolnej części wąwozów.

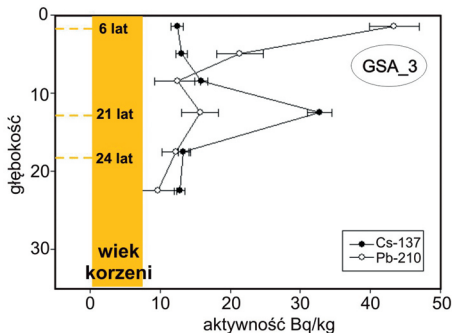
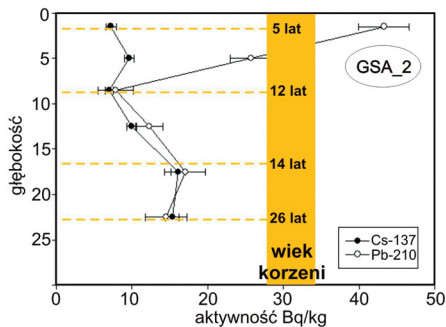
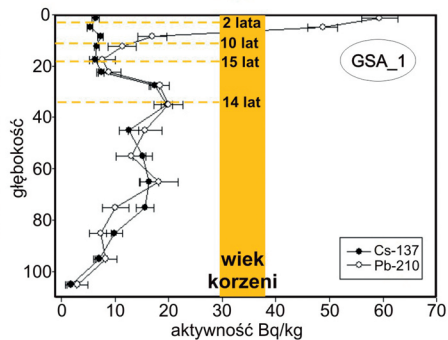
Badania prowadzono w wąwozie o długości 800 m, górna część wąwozu jest V-kształtna, dolna natomiast płaskodenna (ryc. 1). Stanowiska badawcze były położone w dolnej części wąwozu, gdzie szerokość dna wynosiła od 8 do 14 m. Stanowisko 1 położone było w strefie połączenia dwóch rozciem wąwozowych, gdzie zdeponowany został wewnętrzny stożek napływowy o długości do 7 m i szerokości 4,5 m. Stanowisko drugie zlokalizowane było 250 m powyżej stanowiska 1 w obrębie wąskiej terasy położonej z prawej strony wąwozu o długości 40 m i szerokości odpowiednio do 2 m. Obie formy porośnięte są przez lipy szerokolistne.

Material i metody

Na obu stanowiskach pobrano po dwa rdzenie z pni lip szerokolistnych rosnących w obrębie form depozycyjnych. Próby pobrano możliwie najniżej w stosunku do powierzchni gruntu w celu precyzyjnego oznaczenia wieku drzew. Pobrano także piłą ręczną 27 prób z korzeni drzew przerastających warstwy osadów budujących stożek wewnętrzny (stan. 1) oraz terasę (stan. 2) Na stanowisku 1 pobrano 21 prób w trzech odsłonięciach położonych w odległości 60 cm od pnia drzewa (ryc. 2). Na stanowisku 2 pobrano pięć prób w jednym odsłonięciu (ryc. 3).

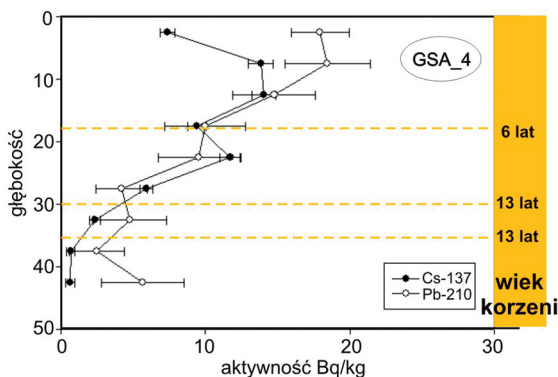
Z każdego poziomu, gdzie występowały korzenie, pobrano w miarę możliwości 1–3 najgrubsze ich fragmenty o długości około 5 cm. Niektóre z pobranych korzeni miały średnicę w przekroju poprzecznym około 1 mm, dlatego niezbędna była analiza ich wieku przy użyciu mikroskopu. Dodatkowo w drewnie kilku korzeni stwierdzono silną dekoncentryczność wzrostu, której towarzyszyły przyrosty wyklinowujące się, uniemożliwiało to precyzyjne oznaczenie wieku kilku korzeni pod binokulem. Preparaty mikroskopowe przygotowano ścinając cienkie plastry drewna o grubości około 20 μm z przekroju poprzecznego korzeni. Przygotowując preparaty, postępowano według metody zaproponowanej przez Gärtnera (2007). Wiek korzeni oznaczano w świetle przechodzącym, zakładając, że wiek korzenia wyznacza promień, w którym zidentyfikowano największą liczbę przyrostów rocznych (ryc. 4).

W tych samych odsłonięciach, gdzie opróbowano korzenie, pobrano także próby osadów do badań koncentracji izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb . Osady pobierano ze ścian odsłonięcia tam, gdzie pobierano korzenie do badań. W związku z ewentualną możliwością obecności izotopów promieniotwórczych w niższej położonych warstwach osadu pobrano próbki przy pomocy sondy ręcznej poniżej poziomu, z którego pobierano próby z korzeni. Próby pobrano w przedziałach 5 cm, aż do głębokości większej od współczesnego dna wąwozu. Pobrane próbki osadów suszono, homogenizowano, a następnie umieszczano w szczelnych pojemnikach pomiarowych, które odstawiano przed pomiarem na minimum 3 tygodnie dla ustalenia się równowagi promieniotwórczej w szeregu promieniotwórczym. Następnie przeprowadzono pomiar koncentracji izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb w pobranych próbach przy pomocy półprzewodnikowej spektrometrii promieniowania gamma. Czas pomiaru wynosił przeciętnie 86 ks, jako standardy aktywności użyte zostały materiały referencyjne dostarczone przez IAEA (Soil-375, RGU, Soil-385). Wyniki aktywności



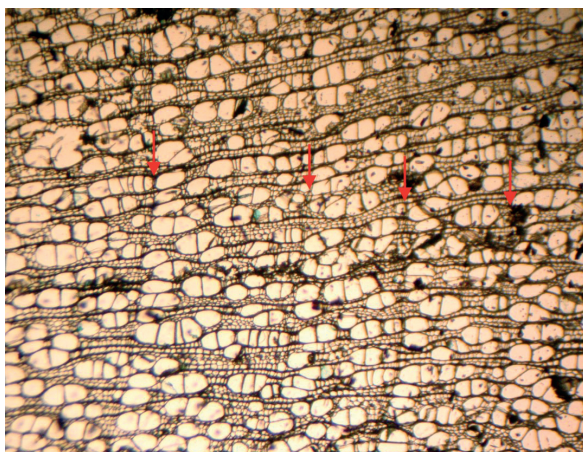
Ryc. 2. Miejsca poboru prób, datowania korzeni oraz koncentracje izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb na stanowisku 1 (stożek wewnętrzny)

Fig. 2. Location of samplings the root dating and analyses of ^{137}Cs and ^{210}Pb isotopes content on the study site 1 (internal fan)



Ryc. 3. Miejsca poboru prób, datowania korzeni oraz koncentracje izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb na stanowisku 2 (terasa)

Fig. 3. Location of samplings for root dating and analyses of ^{137}Cs and ^{210}Pb isotopes content on the study sites 2 (terrace)



Ryc. 4. Mikrofotografia przekroju poprzecznego drewna korzenia lipy szerokolistnej pozwalająca zidentyfikować ilość przyrostów rocznych (granice przyrostów zaznaczono czerwonymi strzałkami)

Fig. 4. Microphotography of example of cross-sections of wood from roots allowing to identify the number of annual rings (boundaries of annual rings marked by red arrows)

zostały skorygowane ze względu na rozpad promieniotwórczy na dzień poboru próbek do badań. W przypadku izotopu ołowiu ^{210}Pb podana wartość aktywności związana jest z izotopem, który dostał się do środowiska sedymentacyjnego z opadem promieniotwórczym, a nie z izotopem będącym *in situ*. W końcowym etapie badań porównano wiek korzeni w poszczególnych warstwach z koncentracjami izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb w tych samych warstwach osadów.

Wyniki

Wiek drzew porastających 2 formy depozycyjne występujące w dnie wąwozu wynosi maksymalnie 51 lat (stan. 1) oraz 53 lata (stan. 2). Generalnie korzenie przerastające osady są coraz starsze. Wraz ze zwiększaniem głębokości w badanych odsłonięciach ich wiek mieści się w przedziale od 2 lat (na głębokości 3 cm) do 26 lat na głębokości 20–25 cm (ryc. 2). Na stanowisku 2 korzenie są znacznie młodsze, ich wiek mieści się w przedziale od 6 lat (na głębokości 15–20 cm) do 13 lat (na głębokości 35–40 cm) (ryc. 2, 3). Izotopy ołowiu i cezu występują w osadach łachy na głębokości do 1 m, w osadach terasy do głębokości 40 cm (ryc. 2, 3).

Zawartość badanych izotopów w całym profilu stożka (stan. 1) i terasy (stan. 2) sugeruje, że formy te powstały po 1950 roku. Do depozycji materiału budującego badane formy terenu przyczynił się z pewnością wzrost drzew, które stopniowo utrwały obie formy i wymuszały depozycję materiału wokół nich. Łacha była nadbudowywana stopniowo w wyniku kolejnych epizodów depozycyjnych występujących w ciągu ostatnich co najmniej 30 lat. W tym czasie przybyło średnio około 10 cm osadu na 10 lat. Zwiększona koncentracja izotopu ołowiu ^{210}Pb w stropie osadów świadczy o nieznacznym w ostatnich latach nadbudowywaniu stożka wewnętrznego i jego stopniowej stabilizacji. Wniosek ten wynika z faktu, że izotop ołowiu jest

obecnie stale dostarczany do osadów i może zwiększać się jego koncentracja, w przeciwieństwie do izotopu ^{137}Cs , który od wielu lat nie jest emitowany do atmosfery, a w konsekwencji nie zwiększa się jego koncentracja w osadach. Terasa (stan. 2) jest zbudowana z młodych osadów, o czym świadczy brak zwiększonej koncentracji izotopu ołowiu w stropowej części profilu. Biorąc pod uwagę fakt, że forma ta funkcjonuje od 51 lat (wiek drzewa porastającego formę), osad musiał być wcześniej wyniesiony, a następnie zdeponowany, być może wielokrotnie.

Dyskusja

Datowanie warstw osadów poprzez wyznaczanie wieku korzeni drzew potwierdziło relatywnie młody wiek osadów budujących badane formy akumulacyjne wynikający z oznaczeń izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb . Istnieje zatem możliwość kalibracji izotopowych metod względnego datowania warstw osadów poprzez datowania korzeni przerastających te warstwy. Przykładem może być datowanie warstwy z największą koncentracją izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb na stan. 1 (odsłonięcia GSA_1 i GSA_2). Analiza wieku korzeni wykazała, że warstwa ta ma co najmniej 14 lat – wiek najstarszego korzenia przerastającego tę warstwę (ryc. 2). Próby korzeni pobrano po zakończeniu sezonu wegetacyjnego w 2013 roku, oznacza to, że poziom ten powstał przed 1999 rokiem. Wydaje się, że warstwa ta mogła powstać w wyniku epizodu rzeźbotwórczego, który w znacznym stopniu przemodelował rzeźbę terenu badanego wąwozu w 1997 roku (Malik 2009). Datowany osad mógł być także zdeponowany w 1991 roku kiedy odnotowano powstanie licznych rozcięć erozyjnych, które były efektem intensywnych opadów deszczu rejestrowanych na stacji opadowej położonej 1,5 km od badanego wąwozu. W związku z awarią w 1986 roku reaktora jądrowego w Czarnobylu doszło do zdecydowanego zwiększenia opadu ^{137}Cs , dlatego też erozja odnotowana w latach 90. XX w. mogła spowodować depozycję materiału o szczególnie dużej koncentracji izotopu ^{137}Cs . W wielu miejscach w Polsce aktywność ^{137}Cs w glebie dodana na skutek awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu była większa od aktywności ^{137}Cs związanej z tzw. globalnym opadem cezu, czyli z testami broni jądrowej (Strzelecki i in. 1992; Poręba i Błuszcz 2007).

Wyniki datowań korzeni na stan. 1 wskazują na relatywnie starszy wiek osadów w stosunku do wieku osadów akumulowanych na stan. 2 (ryc. 2, 3). Osady akumulowane na stan. 2, w których stwierdzono występowanie izotopów, mają mniejszą miąższość niż osady na stan. 1, cechuje je także brak charakterystycznego zwiększenia koncentracji izotopu ^{210}Pb w porównaniu z izotopem ^{137}Cs wskazującym na relatywnie długi okres stabilizacji formy (czas, który upłynął od ostatniego epizodu depozycji).

Zmiany anatomiczne w odsłoniętych korzeniach drzew były często podstawą do datowań procesów erozyjnych (Carrara i Carroll 1979; Gärtner i in. 2001; Bodoque i in. 2005; Hitz i in. 2006). Jednak analiza zmian rzeźby terenu jest pełniejsza, w przypadku gdy datowania erozji można powiązać z datowaniami depozycji materiału. Takie możliwości stwarza zastosowanie metody datowania wieku odsłoniętych korzeni oraz korzeni przerastających warstwy zdeponowanego materiału przy jednoczesnym zastosowaniu analiz koncentracji izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb w osadach. Badania erozji materiału poprzez datowanie odsłaniania korzeni prowadzone wcześniej w wąwozie, pozwalają powiązać epizody erozji materiału z jego depozycją w dniu wąwozu. We wcześniejszych badaniach zidentyfikowano 3 duże epizody erozyjne, które przemodelowały rzeźbę terenu badanego wąwozu w 1984, 1991 i 1997 roku. Datowania depozycji osadów wykazały, że poszczególne warstwy powstały przed rokiem 2003 (warstwy: 0–10 cm

w odsłonięciach GSA_1, GSA_2, GSA_3), przed 1999 rokiem (warstwy: 10–30 cm w odsłonięciu GSA_1, 10–20 cm w odsłonięciu GSA, 0–40 cm w odsłonięciu GSA_4) i przed 1987 rokiem (warstwy poniżej 30 cm – GSA_1, poniżej 20 cm – GSA_2 oraz poniżej 10 cm – GSA_3). Datowania korzeni dokumentujących erozję dobrze korespondują z datowaniami korzeni dokumentujących akumulację materiału, np. erozja w 1984 roku – depozycja przed 1987 rokiem, erozja w 1997 roku – depozycja przed 1999 rokiem. Oznacza to, że istnieje możliwość korelacji datowań korzeni dokumentujących erozję i sedymentację materiału w wąwozach lessowych.

Wnioski

- Istnieje możliwość kalibracji datowań warstw osadów uzyskanych metodą oznaczania koncentracji izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb z wykorzystaniem oznaczania wieku korzeni drzew przerastających datowane warstwy.
- Uzyskane wyniki wskazują na relatywnie szybkie tempo przekształcania rzeźby badanego wąwozu. Badane formy (stożek wewnętrzny oraz terasa) powstały z pewnością po 1950 roku, o czym świadczy obecność w pełnych profilach osadów badanych izotopów ^{137}Cs i ^{210}Pb . Stwierdzono także co najmniej trzy epizody depozycji materiału występujące tuż przed 2003, 1999 i 1987 rokiem.
- Epizody depozycji materiału zakumulowanego w obrębie badanych form występujących w dnie wąwozu korespondują z datowaniami erozji osadów przeprowadzonymi wcześniej w badanym wąwozie.

Podziękowania

Badania izotopowe zrealizowano w ramach projektu sfinansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/D/ST10/05788. Badania geomorfologiczne zrealizowano z w ramach projektu OPUS 2011/01/B/ST10/00548 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Literatura

- Carrara P.E., Carroll T.R. 1979. The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance Basin, Colorado. *Earth Surface Processes*, 4: 307–317.
- Bielec-Bąkowska Z. 2002. Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949–1998). Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Bodoque J.M., Díez-Herrero A., Martín-Duque J.F., Rubiales J.M., Godfrey A., Pedraza J., Carrasco R.M., Sanz M.A. 2005. Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain. *Catena*, 64: 81–102.
- Cambrey R.S., Cawse P.A., Garland J.A., Gibson J.A.B., Johnson P., Lewis G.N.J., Newton D., Salmon L. Wade B.O. 1987. Observations on radioactivity from the Chernobyl accident. *Nuclear Energy*, 2: 77–101.
- Gärtner H. 2007. Tree roots – methodological review and new development in dating and quantifying erosive processes. *Geomorphology*, 86: 243–251.

- Gärtner H., Schweingruber F.H., Dikau R. 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19: 81–91.
- Hitz O.M., Gärtner H., Heinrich I., Monbaron M. 2008. Application of ash (*Fraxinus exelsior* L.) roots to determine erosion rates in mountain torrents. *Catena*, 72: 248–258.
- Kondracki J. 1994. *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*. PWN, Warszawa.
- Lang A. 2003. Phases of soil erosion derived colluviation in the loess hills of South Germany. *Catena*, 51: 209–221.
- Malik I., Gerold I. 2006. Rola drzew w kształtowaniu rzeźby wąwozów lessowych na przykładzie Wysoczyzny Proboszczowickiej (Wyżyna Śląska). *Czasopismo Geograficzne*, 7: 327–342.
- Malik I. 2006. Erozja wąwozowa zapisana w odsłanianych korzeniach drzew na Wysoczyźnie Proboszczowickiej pod górą św. Anny. *Przegląd Geologiczny*, 54: 326–332.
- Malik I. 2009. Dendrochronologiczny zapis współczesnych procesów rzeźbotwórczych kształtujących stoki i doliny rzeczne wybranych stref krajobrazowych Europy Środkowej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Poręba G., Bluszcz A. 2007. Determination of the initial ^{137}Cs fallout on the areas contaminated by Chernobyl fallout. *Geochronometria*, 26: 35–38.
- Poręba G. 2010. Zastosowanie izotopu ^{137}Cs do badania erozji gleby w obszarach lessowych użytkowanych rolniczo. *Prace i Studia Geograficzne*, 45: 125–142.
- Stankoviansky M. 2003. Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*, 51: 223–239.
- Strzelecki R., Szewczyk J., Wołkowicz S., Jędrzejczak Z. 1992. Badania promieniotwórczości gamma na obszarze Polski: efekt Czarnobyła, skażenia przemysłowe, promieniotwórczość naturalna. *Przegląd Geologiczny*, 6: 365–371.
- Strunk H. 1989. Dendrogeomorphology of debris flows. *Dendrochronologia*, 7: 15–25.
- Strunk H. 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31: 137–151.
- Śnieszko Z. 1995. Ewolucja obszarów lessowych Wyżyn Polskich w czasie ostatnich 15000 lat. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Thomas J.T., Iverson N.R., Burkart M.R., Kramer L.A. 2004. Long-term growth of a valley-bottom gully, western Iowa. *Earth Surface Process Landforms*, 29: 995–1009.

Grzegorz Poręba¹, Ireneusz Malik², Małgorzata Wistuba²

¹ Politechnika Śląska, Instytut Fizyki CND, Zakład Zastosowań Radioizotopów
Grzegorz.Poreba@polsl.pl

² Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi
irekgeo@wp.pl
malgorzatawistuba@gazeta.pl