

Erozja wąwózowa zapisana w odsłanianych korzeniach drzew na Wysoczyźnie Proboszczowickiej pod Górą św. Anny

Ireneusz Malik*



Gully erosion recorded in anatomical changes in exposed roots in permanent gullies (southern Poland). Prz. Geol., 54: 326–332.

S u m m a r y. Erosion occurs in permanent gullies cutting into the undulating loess plateau in southern Poland. The gully slopes are mainly vegetated with beech trees as opposed to the surface of the plateau summit, which is cultivated agricultural land, devoid of forests for at least 18 centuries [od 18 wieków czy od XVIII wieku – czyli “since 1700s”?]. Beech roots are exposed in the gullies through erosion. Wood cells in the tree rings divide into early wood and late wood and, after the roots are exposed, also start to make fewer cells. In the roots on the border between exposed and unexposed tree rings in the tree roots, scars sometimes occur. This is an effect produced by corrosion by dolomites and limestones lying under the loess cover and re-deposition of building material stored by people in the higher part of the gullies. These anatomical changes in root tree rings allow one to date erosion episodes. Dating of the exposure of roots indicates that intensive erosion took place in the gullies starting in the 1980s. Since that time, numerous extreme rainfall events responsible for initiating erosion have also occurred. They contribute to deepening valleys causing new incisions to develop on hillslopes and headcut retreat in upper parts of the valleys studied at the Wysoczyzna Proboszczowicka near Góra św. Anny. The bottom of the valley head eroded during extreme rainfall events in 1984 and 1991. Erosion here alternates with deposition, its speed being relatively small. Incisions in hill slopes retreated during the flood in 1997, but they originated during earlier rainfall episodes. Such incisions retreat 2.5–3 m/year, i.e., relatively fast.

Key words: permanent gullies, gully erosion; exposed roots; tree rings; extreme rainfall events

Jednym z głównych czynników warunkujących erozję wąwózową jest ilość i intensywność opadów. Podczas okresów wilgotnych erozja wąwózowa może przebiegać kilka razy szybciej niż w czasie, gdy opady kształtują się na przeciętnym poziomie (Martínez-Casasnovas, 2003). Badania przeprowadzone w Kanadzie dowodzą, że zwilgotnienie klimatu jest niewystarczającą przyczyną do uruchomienia erozji wąwózowej. Jednak pod wpływem intensywnych deszczów może dochodzić do ożywienia erozji w obrębie już istniejących wąwózów (Burkard & Kostaschuk, 1995; Rodzik i in., 1998). Według Stankowińskiego (2003) wąwozy powstają w trakcie intensywnego wylesiania, a następnie użytkowania ziemi w obszarach pokrytych pyłami. Szczególnie szybko erozja rozwija się w obszarach, gdzie uprawia się konwencjonalnymi metodami rośliny okopowe (Casali i in., 1999). Tempo erozji wąwózowej może się zwiększyć nawet o 100% pod wpływem wylesienia (Gábris i in., 2003). Zwiększenie obszarów zalesionych i porośniętych trawą o połowę kosztem gruntów ornych może spowodować spadek erozji o ok. 25% (Fu i in., 2000). Stwierdzono także, że roślinność występująca w dnie wąwózów jest czynnikiem hamującym erozję (Nogueras i in., 2000). Uruchomienie erozji wąwózowej uwarunkowane jest także przez wielkość zlewni i nachylenie stoków w jej obrębie (Vandekerckhove i in., 1998). Znaczenie dla rozwoju erozji wąwózowej mogą mieć także warunki litologiczne i miąższość osadów pylastych (Oostwoud Wijdenes i in., 2000; Beavis, 2000).

Badania intensywności i tempa erozji wąwózowej oparte są często na porównaniu długości wąwózów na różnowiekowych mapach lub zdjęciach lotniczych (Burkard & Kostaschuk, 1995; Daba i in., 2003; Dotterweich i in.,

2003; Ries & Marzolf, 2003; Vandekerckhove i in., 2003). Dokładność szacowania tempa erozji zwiększa wykorzystanie zdjęć stereoskopowych o dużej rozdzielczości (Nachtergaele & Poesen, 1999). Innym sposobem pomiaru intensywności i tempa erozji wąwózowej są stałe obserwacje zasięgu erozji (Malde & Scott 1976; Thomas i in., 2004). Analizy zawartości izotopu ¹³⁷Cs i innych izotopów w przekroju osadów deponowanych w wyniku erozji pozwalają szacować wiek tych osadów (Chappel, 1999; Belyaev i in., 2004). Do szacowania tempa erozji wąwózowej stosowano także metodę dendrochronologiczną (Vandekerckhove i in., 2001).

Analiza dendrochronologiczna pozwala na odtworzenie intensywności procesów geomorfologicznych w przeszłości (Alestalo, 1971; Shroder, 1980). Jednak badania te najczęściej koncentrują się na analizie przyrostów rocznych w obrębie pnia (Krapiec & Margielewski, 2000; Malik, 2002; Ciszewski & Malik, 2004). Badania intensywności erozji na podstawie eksponowanych korzeni są nieliczne. Sprowadzają się one często jedynie do pomiaru długości odsłoniętej części korzenia i oznaczenia jego wieku, co pozwala szacować wielkość erozji (Carrara & Carroll, 1979; Hupp, 1990). Wyjątek stanowią badania z południowej Hiszpanii, gdzie na podstawie analizy dendrochronologicznej korzeni wyznaczono wiek epizodów erozyjnych i szacowano tempo erozji wąwózowej (Vandekerckhove i in., 2001). W celu precyzyjnego szacowania wielkości erozji wąwózowej próbki powinny być pobrane z różnych miejsc odsłoniętego korzenia, zależnie od jego pozycji (Vandekerckhove i in., 2001). Datowanie pomostowe przyrostów rocznych pni i korzeni pozwala wyznaczać moment pojawienia się epizodu erozyjnego (Vandekerckhove i in., 2001).

Od niedawna są prowadzone badania nad możliwością określania momentu erozji na podstawie zmian anatomicznych występujących w drewnie korzeni po ich odsłonięciu (Gärtner i in., 2001). Badania te wykazały, że komórki w

*Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; irekgeo@wp.pl

obrębie przyrostów rocznych stają się po odsłonięciu liczniejsze i mniejsze. W obrębie przyrostów rocznych powstających po ekspozycji dochodzi także do wyraźnego podziału na drewno wczesne i późne. Korzenie w trakcie odsłonięcia są często ranione. Blizny występują wtedy na granicy przyrostów rocznych powstających w glebie i po ekspozycji. Dokumentują one epizod erozyjny, który doprowadził do ich odsłonięcia. Te zmiany anatomiczne w obrębie drewna korzeni pozwalają wyznaczyć moment ich odsłaniania.

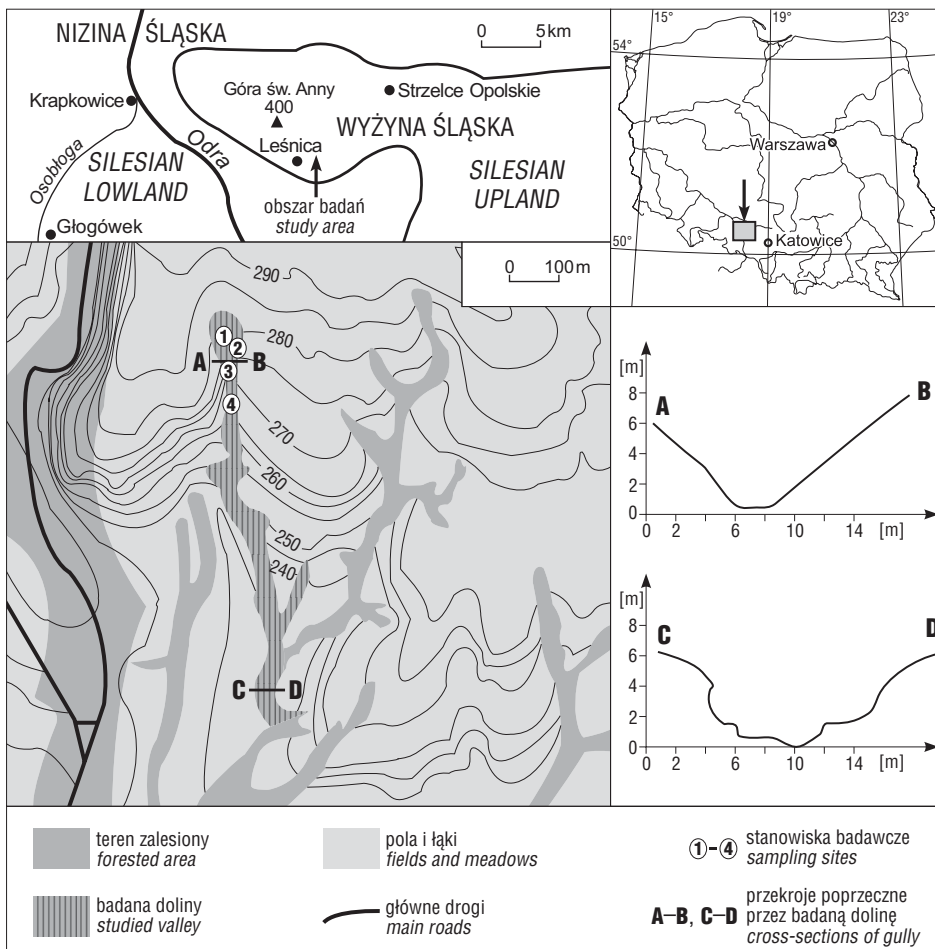
Celem badań jest wykazanie możliwości datowania epizodów erozyjnych za pomocą wyznaczania momentów ekspozycji korzeni oraz rekonstrukcja warunków ożywienia erozji wąwozowej na Wysoczyźnie Proboszczowickiej.

Teren badań

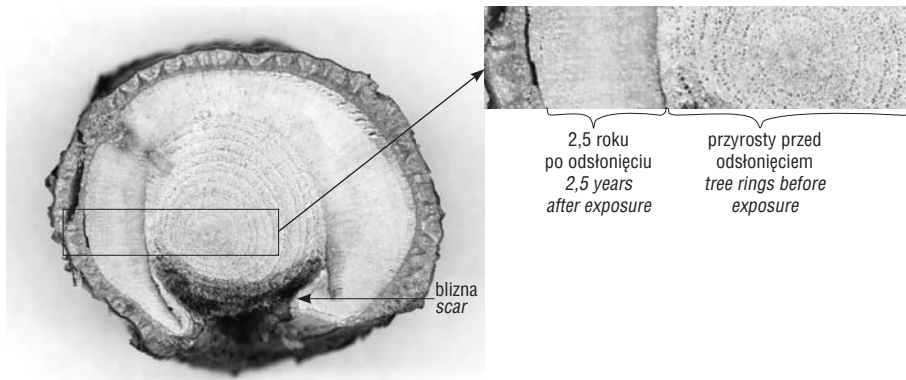
Badania prowadzono w obrębie Wysoczyzny Proboszczowickiej, której północna część należy do Wyżyny Śląskiej, a południowa do Niziny Śląskiej (Kondracki, 1994; ryc. 1). Sieć wąwozów głębokich na 10–20 m rozcina wysoczyznę, której kulminacje sięgają 260–290 m n.p.m. Wąwozy są wypreparowane w osadach lessowych, których miąższość wynosi średnio 10 m. Osady te są podścielone dolomitami i wapieniami triasowymi, miejscami plejstoceńskimi piaskami wodnolodowcowymi (Klimek, 1972).

Wąwozy w terenie badań są zalesione w przeciwieństwie do rozległych wierzchołków użytkowanych rolniczo. Grunty orne w badanym obszarze stanowią 88% powierzchni, a lasy zaledwie 11%. Z gatunków drzewiastych wąwozy porastają głównie buki (*Fagus sylvatica*), czasem świerki (*Picea abies*), lipy (*Tilia platyphyllos*), dęby (*Quercus robur*), wiązy (*Ulmus carpinifolia*) i graby (*Carpinus betulus*). Osady wyścielające dno i zbocza wąwozów w górnych partiach są jedynie miejscami porośnięte roślinnością zielną. Dolne partie wąwozu są znacznie bardziej pokryte roślinnością.

Średni roczny opad w terenie badań wynosi ok. 680 mm. Góra św. Anny o wysokości 400 m położona 3 km na północny wschód od badanego wąwozu stanowi lokalną barierę zmuszającą do wznoszenia się napływające powietrze. Powoduje to częste burze, szczególnie intensywne w okresie letnim (Majewski & Głowacki, 1977). Maksimum częstotliwości występowania burz na badanym obszarze przypada na początek czerwca oraz na przełom czerwca i lipca (Bielec-Bąkowska, 2002). Największe miesięczne opady odnotowane w Leśnicy są znaczne i wynoszą 200–260 mm (posterunek opadowy w Leśnicy położony jest ok. 1,5 km od badanego wąwozu). Dzielne opady przekraczają kilka razy na dekadę 30 mm, w latach 1980–2000 aż 3-krotnie dzienny opad przekroczył 60 mm (ryc. 5). Podczas dużych ulew dochodzi do intensyfikacji spływu powierzchniowego, co prowadzi do powstawania świeżych rozcięć w wąwozach. Erozja uruchamia nie tylko



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań i stanowisk badawczych
Fig. 1. Location of study area and sampling sites



Ryc. 2. Zmiany anatomiczne w obrębie przekroju poprzecznego korzenia
Fig. 2. Changes in wood anatomy of root cross-section

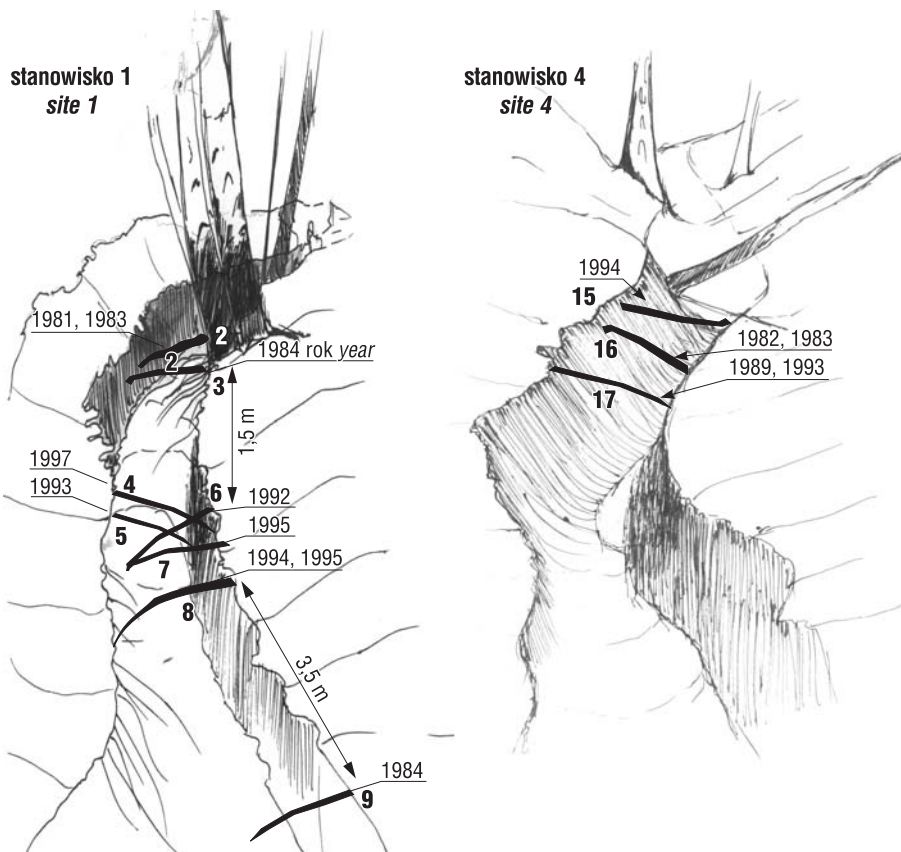
osady pylaste, ale także powoduje transport i depozycję podścielających je wapieni i dolomitów.

Gmina Leśnica, obejmująca teren badań już na początku XIII w. miała — podobnie jak dziś — charakter osady rolniczej (Panic, 1992). Na podstawie badań przeprowadzonych w sąsiednich obszarach lessowych można przypuszczać, że znacznie wcześniej, bo już w neolicie doszło do użytkowania ziemi i związanego z nim wylesiania (Śnieszko, 1995; Klimek, 2002; Zygmunt, 2004). Jak wynika z analizy przebiegu wąwozów na mapach z połowy XIX w. i współczesnych, badana dolina i doliny z nią sąsiadujące są tej samej wielkości, taki sam jest także zasięg pokrywy leśnej na różnowiekowych mapach. Zatem wąwozy były stabilne na przestrzeni ostatnich 150 lat.

Badania przeprowadzono w dolinie o długości 800 m. Jej górna część jest wąska V-kształtna, dolna jest szeroka płaskodenna z poziomami terasowymi (ryc. 1). Próbkę pobierano z 4 stanowisk. Dwa stanowiska były zlokalizowane w górnej części dna wąwozu, pozostałe na zboczach.

Metody badań

Tyczką i taśmą mierniczą mierzono wysokość, szerokość i długość rozcięć, w górnym biegu i u wylotu doliny sporządzano przekroje poprzeczne. Następnie pobierano, używając piły ręcznej, 10 cm fragmenty eksponowanych korzeni buków. Na 4 stanowiskach pobrano 23 próbki z 17 korzeni. Próbkę pobrano w kwietniu 2003 i 2004 r. Z każdego korzenia, zależnie od możliwości, pobierano 1–3 próbki. W sprzyjających warunkach pobierano dwie próbki z kontaktu korzenia z glebą i trzecią z połowy długości eksponowanej części korzenia. Próbkę pobierano dodatkowo w miejscu zranień korzeni. W celu datowania inicjacji rozcięcia, a nie jego pogłębiania lub poszerzania, pobierano próbki z eksponowanych korzeni umiejscowionych w powierzchniowych partiach rozcięcia, w połowie ich długości. Mierzono także wysokość wychodni korzeni względem dna rozcięcia i odległości od początku rozcięcia. Wszystkie próbki ścinano nożami, aby uwidocznili strukturę drewna w przekrojach poprzecznych korzeni. Następnie z wykorzystaniem binokularu rozpoznawano moment ekspozycji przy założeniu, że wyznacza go zdecydowane zmniejszenie cewek oraz wzrost ich liczby, a także podział komórek na drewno wczesne i późne w obrębie każdego przyrostu rocznego występującego po ekspozycji (ryc. 2). Czas ekspozycji wyznaczano obliczając liczbę przyrostów rocznych młodszych od pierwszego, w którym stwierdzono



Ryc. 3. Daty odsłaniania korzeni w rozcięciach erozyjnych w dnie doliny na stanowiskach 1 i 4
Fig. 3. Root exposure dating in erosion cutting in the bottom of the valley on site 1 and 4

zmiany anatomiczne. Rejestrowano także blizny występujące na granicy różnic anatomicznych w obrębie drewna korzeni. Potwierdzały one rok w którym doszło do ekspozycji korzenia (Schweingruber, 1996).

Wyniki badań i dyskusja

Datowanie erozji na podstawie wieku ekspozycji korzeni w badanych stanowiskach. Stanowisko nr 1 to rozcięcie dna położone na granicy przejścia nieckowatego leja źródłowego w dolinę V-kształtną. Rozcięcie dna o długości ok. 12 m inicjowane jest za kłodą i ma tutaj szerokość ok. 1,2 m oraz głębokość 0,6 m. W połowie zwięża się ono i nieznacznie pogłębia. Spadek w obrębie rozcięcia wynosi tu 18%. W górnej połowie rozcięcia opróbowano 8 korzeni. Najstarszą ekspozycję korzeni odnotowano w górnej części rozcięcia. Korzenie są ekspozycje tutaj od 1981 do 1984 r., natomiast 1,5 m poniżej do ekspozycji korzeni doszło w latach 1992–1995. W połowie rozcięcia ponownie staje się starsze, ekspozycję korzenia numer 9 wydatowano na 1984 r. (ryc. 3). Korzenie nr 2 i 5 w momencie pobrania próbek były martwe, pozostałe natomiast żywe. Korzenie nr 3 i 4 posiadały zranienia erozyjne.

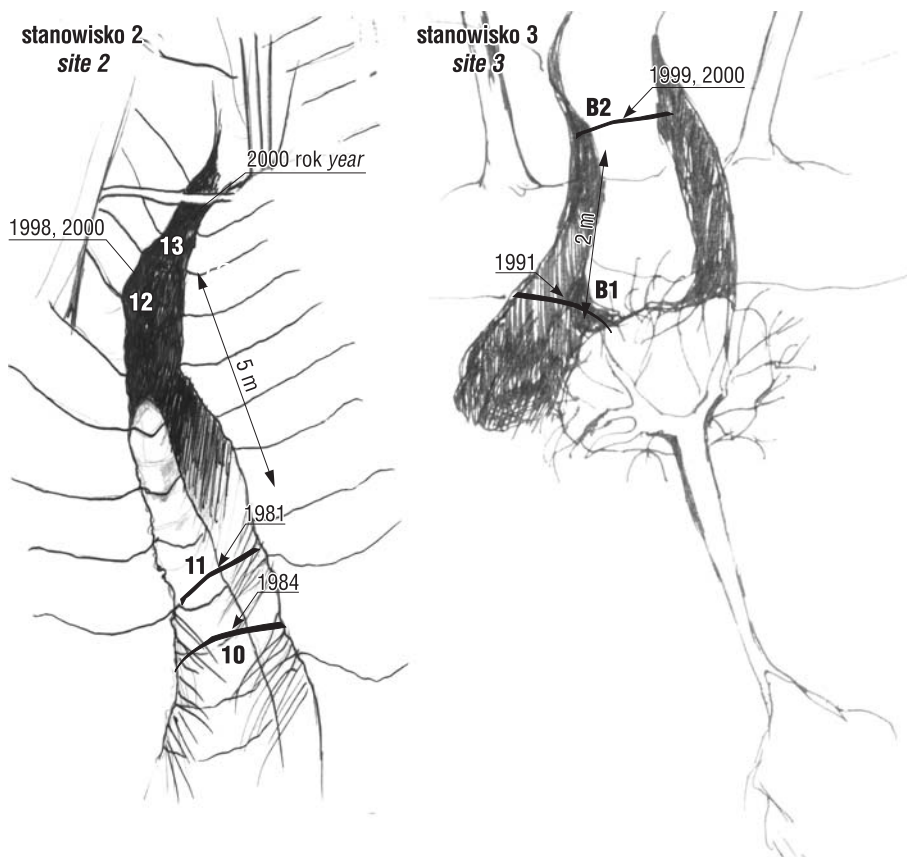
Stanowisko numer 2 to rozcięcie biegnące na lewym zboczu zgodnie z jego nachyleniem, pomiędzy szpalerami drzew. Biegnie ono ok. 30 m poniżej rozcięcia w stanowisku 1. Rozpoczyna się ono u góry zbocza i jest tu mało wyraźne. Od połowy rozcięcie pogłębia się i rozszerza, od tego miejsca rośnie do 48% nachylenie zbocza. Rozcięcie ma ok. 0,4–0,7 m szerokości i do 0,5 m głębokości. Opróbowano w nim 4 korzenie. Do ekspozycji korzeni w dolnej jego części doszło w latach 1981 i 1984, w górnych partiach ekspozycja korzeni zachodziła w latach 1999, 2000 (ryc. 4). Wszystkie z badanych korzeni były żywe. Korzenie 10 i 12 były zranione.

Na stanowisku 3, w połowie wysokości lewego zbocza doliny, ok. 20 m poniżej od stanowiska 2 występuje owalna nisza głęboka na 0,5 m, o średnicy 3,5 m. Nisza powstała w wyniku obalenia drzewa, które wyniosło znaczną ilość osadów. Jedno z ramion niszy jest przedłużone przez rozcięcie erozyjne sięgające 3 m w górę zbocza. Ma ono 0,5 m szerokości i ok. 0,3 m głębokości. Spadek w obrębie rozcięcia wynosi 43%. Datowano tu 2 korzenie, jeden z nich położony w obrębie niszy był odsłonięty w 1991 r. Drugi, odsłonięty 2 m powyżej niszy był ekspozycje w latach 1999–2000 (ryc. 4). Korzenie były żywe i nie posiadały zranień.

Rozcięcie na stanowisku 4 jest położone w dnie doliny ok. 50 m poniżej rozcięcia ze stanowiska 3. Ma ono aż do 2 m głębokości, 17 m długości i do 1 m szerokości. Erodowany jest tutaj materiał osunięty ze zbocza, stąd duża głębokość rozcięcia. Rozcięte jest tutaj także skaliste podłoże do głębokości 1 m. Spadek w obrębie rozcięcia wynosi 16%. Datowano tu 4 korzenie ekspozycje w środkowej części rozcięcia. Zostały one odsłonięte w różnym czasie w latach 1982–1994 (ryc. 3). Korzenie numer 15 i 16 były martwe, korzeń nr 17 był żywy. Nie posiadały one zranień.

Dokładność datowania erozji za pomocą odsłoniętych korzeni

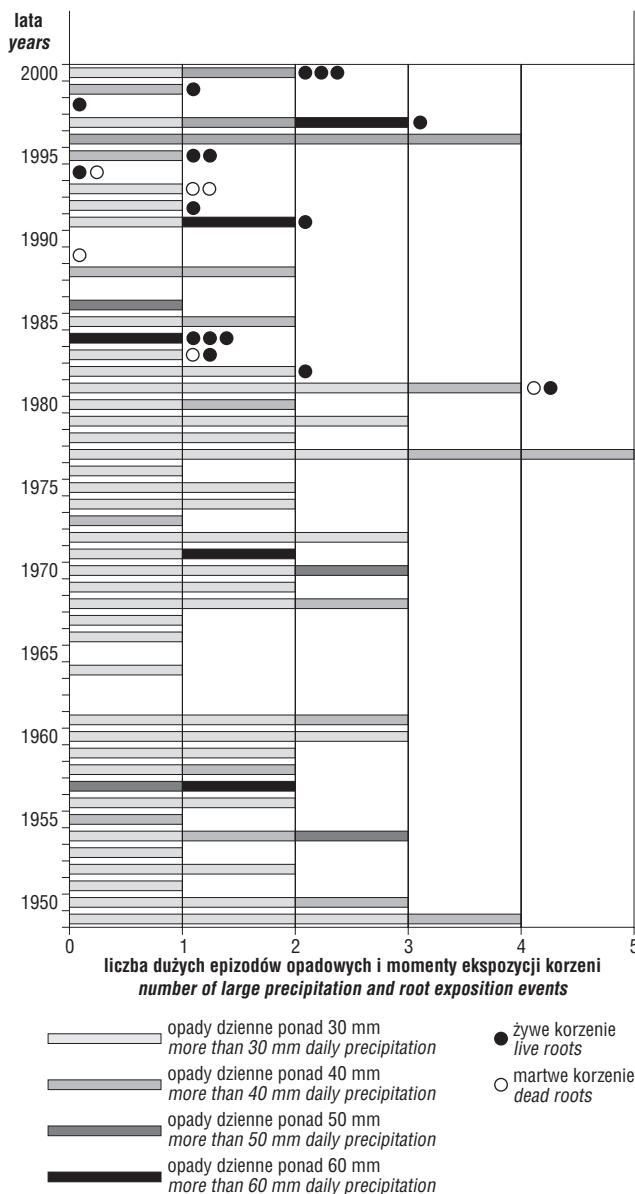
Aby zweryfikować dokładność datowania erozji za pomocą wyznaczania momentu ekspozycji korzeni sporządzono rycinę prezentującą najwyższe opady dzienne w latach 1946–2000 zarejestrowane w posterunku opadowym w Leśnicy. Następnie nałożono na rycinę czas zdarzeń modelujących rzeźbę doliny udokumentowanych dendrochronologicznie (ryc. 5). Lata w których doszło do dużych epizodów opadowych często nie pokrywają się z latami w których zanotowano sygnały o odsłonięciu korze-



Ryc. 4. Daty odsłaniania korzeni w rozcięciach erozyjnych na zboczu doliny na stanowiskach 2 i 3
Fig. 4. Root exposure dating in erosion cutting in the hillslope of the valley on site 2 and 3

ni. Jedną z przyczyn może być fakt, że dane z posterunku opadowego opisują dzienną sumę opadów o różnej intensywności. Część z ekstremalnych epizodów opadowych reprezentuje lokalne ulewy o krótkiej częstotliwości, np. opad w 1991 r., część to długotrwałe opady o mniejszej intensywności, np. opad w 1997 r. Przebieg opadów ma zasadnicze znaczenie w kształtowaniu erozji wąwozowej, dlatego opady dzienne o podobnej wielkości niekoniecznie mają podobne znaczenie w modelowaniu wąwozów (Starkeł, 2002).

Wiek ekspozycji korzenia wynikający z analizy zmian anatomicznych w obrębie jego przyrostów rocznych nie zawsze pokrywa się z rzeczywistym rokiem odsłonięcia tego korzenia. Przyrosty roczne kształtują się w klimacie umiarkowanym głównie w maju–sierpniu (Zielski & Krapięć, 2004). Gdy do ekspozycji korzenia dochodzi w tym czasie, zmiany anatomiczne są widoczne w obrębie powstającego przyrostu rocznego. Jeśli ekspozycja korzenia zachodziła od stycznia do sierpnia przyrost roczny w jego obrębie może kształtować się w roku, w którym doszło do jego odsłonięcia. Jeśli ekspozycja zachodziła pomiędzy wrześniem a grudniem to przyrost roczny ze zmianami anatomicznymi pojawi się w następnym roku.



Sygnał o odsłonięciu może być zatem zapisany w korzeniach jeden rok po epizodzie erozyjnym.

W przypadku badanej doliny korzenie zawierają sygnały o odsłonięciu często z większym niż 1 rok opóźnieniem w stosunku do ekstremalnych opadów (ryc. 5). Wynika to z faktu, że kolejne epizody opadowe nie muszą być tak intensywne jak ten, który zainicjował rozcięcie, aby doszło do dalszej erozji. Dlatego w ciągu kilku lat, po dużych epizodach opadowych, pojawiają się liczne sygnały o erozji, pomimo że w tym czasie nie odnotowano opadów o wielkiej intensywności. Sytuacja taka jest dobrze widoczna w przypadku ulewy z 1991 r., po której w latach 1992–1995 doszło do odsłonięcia aż 6 korzeni (ryc. 5).

Precyzyjnie datowane są momenty odsłonięcia, jeśli korzeń jest ranyony w trakcie ulewy przez transportowany materiał. Takie sytuacje zaobserwowano w przypadku korzeni 3 i 4 w stanowisku 1, korzeni 10 w stanowisku 2. Wszystkie ze zranionych korzeni wskazały, że moment odsłonięcia nastąpił w czasie ekstremalnych opadów w 1984 lub 1997 r.

Rozcięcia datowane są bardziej precyzyjnie przez korzenie które w trakcie poboru próbek są żywe. Gdy ekspozycja korzenia jest martwa, lata wskazujące na jego ekspozycję to minimalny czas, który upłynął od epizodu erozyjnego odsłaniającego korzeń (Shroder, 1980). Dlatego martwe korzenie są mało użyteczne do datowań.

W korzeniach, podobnie jak w pniach, zdarzają się przyrosty fałszywe, wypadające lub wyklinowujące się (Schweingruber, 1988; Zielski & Krapięć, 2004). Mogą one zwiększyć lub zmniejszyć liczbę lat, które upłynęły od epizodu erozyjnego. Jednak błąd wynikający z tego ograniczenia nie jest duży ponieważ, w przeciwieństwie do rdzeni pobieranych z drzew, w przypadku korzeni badanych jest ich cały przekrój poprzeczny. Ułatwia to identyfikację przyrostów podwójnych, wypadających lub wyklinowujących się.

Przy wnioskowaniu o przebiegu erozji na podstawie ekspozycji korzeni, duże znaczenie ma miejsce, z którego pobrany zostaje korzeń. Jeśli określamy moment powstania rozcięcia, korzenie powinny być pobierane jak najwyżej od jego dna. Datowania korzeni występujących blisko dna odsłonięcia wskazywać mogą na moment jego pogłębienia, a nie powstania.

Przebieg erozji może być także oznaczony przez porównanie sygnałów o odsłonięciu ze środka ekspozowanej części korzenia i części sąsiadującej z glebą. Jeśli sygnał jest identyczny, to do odsłonięcia doszło w wyniku jednego epizodu. Jeśli wiek odsłonięcia zapisany w części korzenia sąsiadującej z glebą jest młodszy, to odsłonięcie powstało w wyniku co najmniej dwóch epizodów erozyj-



Ryc. 5. Porównanie wieku epizodów erozyjnych zapisanych w ekspozowanych korzeniach z dużymi opadami dziennymi zarejestrowanymi na posterunku opadowym w Leśnicy w latach 1949–2000

Fig. 5. The comparison of the erosion episodes based on exposed root dating and big daily precipitation events recorded in Leśnica gage in 1949–2000

nych. Jak wynika z przeprowadzonych badań korzenie mogły być odsłaniane w wyniku kilku epizodów erozyjnych, jak w przypadku korzeni 2 i 8 na stanowisku nr 1, które zostały odsłonięte odpowiednio w latach 1981–1983 i 1993–1994.

Przyczyny pojawienia się erozji w wąwozie

Uzyskane wyniki wskazują, że intensywne erozja pojawiła się w badanym wąwozie na początku lat 80. XX w. Jednocześnie od lat 80 XX w. liczba epizodów opadowych maleje, ale stają się one zdecydowanie bardziej intensywne. Tłumaczy to żywienie procesów erozyjnych w badanym wąwozie.

Uzyskane za pomocą datowań korzeni sygnały, wskazują na co najmniej kilka epizodów erozyjno-depozycyjnych kształtujących badaną dolinę (ryc. 5). Można je podzielić na 4 główne grupy. W pierwszej grupie jest 5 sygnałów z lat 1981–1983. Prawdopodobnie erozja, którą dokumentują korzenie, przypada na okres lat 1980–1981, obfitujących w duże opady. Dwa z korzeni są martwe, mogły one być odsłaniane dawniej, np. w czasie opadów w 1971 r. Druga grupa sygnałów obejmuje 3 korzenie odsłaniane w czasie intensywnych opadów w 1984 r. Trzecia najliczniejsza grupa korzeni, obejmuje aż 7 sygnałów reprezentujących lata 1991–1995. Dokumentują one duży epizod opadowy z 1991 r. Ostatnią grupę stanowi 6 odsłonięć korzeni generowanych po intensywnych opadach z lipca 1997 r.

Z datowań korzeni wynika, że rozcięcia w badanej dolinie były kształtowane głównie podczas ekstremalnych opadów w latach 1984, 1991 i 1997. Drugorzędną rolę w kształtowaniu badanej doliny odegrały inne epizody opadowe, w czasie których suma opadów była mniejsza o połowę, niż w czasie ekstremalnych opadów, np. w latach 1981, 1986, 1995, 2000. Zastanawia brak sygnałów o erozji starszych od 1981 r., pomimo, że lata 1950–1960 obfitowały w duże epizody opadowe, chociaż nie było ich tak wiele jak w ciągu ostatnich 20 lat. Być może stosunkowo niewielka liczba stanowisk spowodowała, że nie natrafiono na korzenie dokumentujące erozję z tego okresu. Niewykluczone także, że korzenie były odsłonięte w latach 50. lub 60. XX w., ale z czasem obumarły.

Przebieg i tempo erozji

Erozja w dnie górnej części doliny (stanowiska 1 i 4; ryc. 3) była najbardziej intensywna w latach 1981–1984 i 1992–1994. Za modelowanie rozcięć były tu odpowiedzialne głównie epizody opadowe z 1984 i 1991 r., choć rozcięcia na obu stanowiskach były inicjowane wcześniej. Rozcięcie na stanowisku 1 jest w środkowej części młodsze i było tu inicjowane w 1991 r. Poniżej, w połowie rozcięcie staje się ponownie starsze, a korzeń nr 9 wskazuje na erozję w 1984 r. Części korzeni nr 3 i 4, które pobrano spod osadów miały przysypane rany odpowiednio z 1984 i 1997 r. Wskazuje to na fakt pierwotnej ekspozycji tych części korzeni, a następnie ich zasypania. Stanowisko nr 1 jest zlokalizowane w miejscu zdecydowanego zwiększenia spadku poniżej granicy pomiędzy nieckowatą doliną, a V-kształtnym początkiem wąwozu. Predysponuje to erozję na granicy obu form. Występuje ona jak wynika z datowań na przemian z depozycją materiału pochodzącego z erozji stosunkowo stromych zboczy niecki, rozcinanych często

podczas ulew. To naprzemienne występowanie erozji i depozycji w rozcięciu nie pozwala szacować tempa erozji wstecznej. Można jednak stwierdzić, że przy niewielkim spadku dna badanego wąwozu postępuje ona powoli, a materiał może być transportowany na niewielkie odległości. W stanowisku nr 4, z rozcięciami w dnie wąwozu skałami podścielającymi pyły, korzenie zawierały sygnały o odsłonięciu w latach 1982–1989 i 1993–1995. Oznacza to, że rozcięcie to było modelowane, podobnie jak rozcięcie na stanowisku 1, podczas epizodów opadowych w 1984 i 1991 r. Epizody te prawdopodobnie przyczyniły się do rozcinania skalnego podłoża na tym stanowisku.

W stanowiskach 2 i 3, zlokalizowanych na zboczu doliny, rozcięcia są stosunkowo młode. Zdecydowana większość datowanych korzeni zawiera sygnały o erozji z lat 1998–2000 (ryc. 4). Rozcięcie na stanowisku nr 2 było inicjowane w dolnej części, a następnie cofało się. Dolna część rozcięcia powstała w 1984 r., górna po opadach w 1997 r. Niewykluczone, że rozcięcie to mogło być także zainicjowane dawniej, np. podczas epizodu opadowego w 1971 r., ponieważ odsłonięcie jednego z korzeni w dolnej części rozcięcia wydatowano na 1981 r. Na długości ok. 5 m maksymalna różnica wieku pomiędzy korzeniami sięga 19 lat. Oznacza to, że rozcięcie cofa się co najmniej w tempie 0,25 m/rok. W stanowisku nr 3 ekspozycja korzeni w niszy nastąpiła w wyniku epizodu opadowego z 1991 r. Korzenie w rozcięciu powyżej niej były odsłaniane po dużych opadach w 1997 r. Oznacza to, że nisza powstała wskutek obalenia drzewa, co w późniejszym czasie pociągnęło za sobą erozję powyżej. Erozja wsteczna na stanowisku nr 4 wyniosła 0,3 m/rok. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że w obrębie mocno nachylonych zboczy tempo erozji jest znacznie szybsze, niż w dnie górnej części doliny.

Wnioski

Analiza zmian cech anatomicznych w drewnie korzenia pozwala wyznaczyć wiek epizodu erozyjnego, który doprowadził do jego ekspozycji. Wiek erozji odsłaniającej korzeń nie zawsze jest datowany precyzyjnie ponieważ:

1. Sygnał o odsłonięciu może być opóźniony o 1 rok w stosunku do epizodu erozyjnego, który doprowadził do odsłonięcia korzenia. Jeśli korzeń został odsłonięty w wyniku erozji w styczniu–sierpniu, sygnał pojawia się w tym samym roku, jeśli we wrześniu–grudniu to w roku następnym.

2. Datowanie martwych korzeni pozwala określić jedynie minimalny czas, który upłynął od epizodu erozyjnego, dlatego precyzyjnie datują erozję żywe korzenie.

3. Erozja pojawia się często w ciągu kilku lat po dużych epizodach opadowych inicjujących rozcięcia. Dzieje się tak, ponieważ w czasie ekstremalnych opadów odsłaniane są podatne na erozję osady i kolejne mniejsze epizody opadowe mogą modelować wcześniej utworzone rozcięcia.

4. Moment erozji precyzyjnie datują korzenie zawierające rany w obrębie pierwszego przyrostu, w którym zmieniają się cechy anatomiczne drewna.

5. W korzeniach liczbę przyrostów rocznych mogą zmniejszyć lub zwiększyć liczbę przyrostów fałszywych, brakujące lub wyklinowujące się, jednak analiza pełnych przekrojów poprzecznych korzeni minimalizuje błąd wynikający z tego ograniczenia.

6. Moment powstania rozcięcia datują korzenie odsłonięte przy powierzchni, położone jak najwyżej od dna rozcięcia. Korzenie odsłonięte nisko ponad dnem mogą informować jedynie o pogłębianiu rozcięcia, a odsłonięte w sąsiedztwie ścian rozcięcia o jego poszerzaniu.

W ciągu ostatnich 20 lat doszło do uruchomienia erozji w badanej dolinie. Erozja ta wynika z pojawienia się od lat 80. XX w. dużych epizodów opadowych. Zaobserwowana erozja przyczynia się do pogłębiania i cofania się doliny oraz powstawania nowych rozcięć na zboczach.

Dno w górnej części doliny było kształtowane głównie podczas dużych epizodów opadowych w 1984 i 1991 r. Osady są tu erodowane, a powstające rozcięcia mogą być powtórnie wypełniane osadami. Tempo erozji dna w górnych częściach doliny jest stosunkowo wolne. Zbocza badanej doliny były intensywnie rozcinane podczas opadów w 1997 r., jednak rozcięcia były inicjowane podczas wcześniejszych epizodów opadowych. Cofają się one z prędkością co najmniej 0,2–0,3 m/rok.

Artykuł prezentuje wyniki badań przeprowadzonych w ramach grantu KBN 3 PO4E 023 25.

Literatura

- ALESTALO J. 1971 — Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia*, 105: 1–140.
- BEAVIS S.G. 2000 — Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-western New South Wales, Australia. *Geomorphology*, 33: 59–72.
- BELYAEV V.R., WALLBRINK P.J., GOLOSOV V.N., MURRAY A.S. & SIDORCHUK A.YU. 2004 — Reconstructing the development of a gully in the Upper Kalauas basin, Stavropol region (southern Russia). *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 323–341.
- BIELEC-BAKOWSKA Z. 2002 — Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność wieloletnia występowania burz w Polsce (1949–1998). Pr. Nauk. Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach 2059. Katowice.
- BURKARD M. B. & KOSTASCHUK R. A. 1995 — Initiation and evolution of gullies along the shoreline of Lake Huron. *Geomorphology*, 14: 211–219.
- CASALI J., LÓPEZ J.J. & GIRÁLDEZ J. V. 1999 — Ephemeral gully erosion in southern Navarra (Spain). *Catena*, 36: 65–84.
- CARRARA P.E. & CARROLL T.R. 1979 — The determination of erosion rates from exposed tree roots in the Piceance basin, Colorado. *Earth Surface Processes and Landforms*, 4: 307–317.
- CHAPPELL A. 1999 — The limitations of using ¹³⁷Cs for estimating soil redistribution in semi-arid environments. *Geomorphology*, 29: 135–152.
- CISZEWSKI D. & MALIK I. 2004 — The use of heavy metal concentrations and dendrochronology in the reconstruction of sediment accumulation, Mała Panew River Valley, southern Poland. *Geomorphology*, 58: 161–174.
- DABA S., RIEGER W. & STRAUSS P. 2003 — Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques. *Catena*, 50: 273–291.
- DOTTERWEICH M., SCHMITT A., SCHMIDTCHEN G. & BORK H.R. 2003 — Quantifying historical gully erosion in northern Bavaria. *Catena*, 50: 135–150.
- FU B., CHEN L., MA K., ZHOU H. & WANG J. 2000 — The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*, 39: 69–78.
- GÁBRIS G., KERTÉSZ Á. & ZÁMBÓ L. 2003 — Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, 50: 151–164.
- GÄRTNER H., SCHWEINGRUBER F.H. & DIKAU R. 2001 — Determination of erosion rates by structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronology*, 19: 81–91.
- HUPP C.R. 1990 — A dendrogeomorphic approach to estimating slope retreat, Maxey Flats, Kentucky. *Geology*, 18: 658–661.
- KLIMEK K. 1972 — Wyżyny Śląsko-Małopolskie. [W:] M., Klimaszewski *Geomorfologia Polski t. 1*. PWN.
- KLIMEK K. 2002 — Human-induced overbank sedimentation in the foreland of the eastern Sudety Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 391–402.
- KONDRACKI J. 1994. — *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN.
- KRAPIEC M. & MARGIELEWSKI W. 2000 — Analiza dendrogeomorfologiczna ruchów masowych na obszarze polskich Karpat fliszowych. *Kwart. AGH Kraków. Geologia*, 26: 141–171.
- MAJEWSKI J. & GŁOWACKI H. 1977 — *Szkice z dziejów Leśnicy*. Instytut Śląski. Opole.
- MALDE H.E. & SCOTT A.G. 1976 — Observations of contemporary arroyo cutting near Santa Fe, New Mexico, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2: 39–54.
- MALIK I. 2002 — Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań drzew i kłód. *Prz. Geol.*, 50: 454–457.
- MARTINEZ-CASASNOVAS J.A. 2003 — A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50: 293–308.
- NACHTERGAELE J. & POESEN J. 1999 — Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 693–706.
- NOGUERAS P., BURJACHS F., GALLART F. & PUIGDEFRÉBREGAS J. 2000 — Recent gully erosion in the El Cautivo badlands (Tabernas, SE Spain). *Catena*, 40: 203–215.
- OOSTWOUW WIJDENES D.J., POESEN J., VANDEKERCKHOVE L. & GHESQUIERE M. 2000 — Spatial distribution of gully head activity and sediment supply along an ephemeral channel in a Mediterranean environment. *Catena*, 39: 147–167.
- PANIC I. 1992 — Historia osadnictwa w Księstwie Opolskim we wczesnym średniowieczu. Muzeum Śląskie. Katowice.
- RIES J.B. & MARZOLFF I. 2003 — Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp. *Catena*, 50: 329–352.
- RODZIK J., JANICKI G., ZAGÓRSKI P. & ZGŁOBICKI W. 1998 — Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych. *Dokumentacja Geograficzna*, 11: 45–68.
- SCHWEINGRUBER F.M. 1988 — Tree rings. Basis and applications of dendrochronology. Reidel. Dordrecht.
- SCHWEINGRUBER F.M. 1996 — Tree rings and Environment. *Dendroecology*. Birminsdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. Berne, Stuttgart, Vienna: 222–226.
- SHRODER JR. J.F. 1980 — Dendrogeomorphology: review and new techniques of tree-ring dating. *Progress in Physical Geography*, 4: 161–188.
- STANKOWIAŃSKI M. 2003 — historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia. *Catena*, 51: 223–240.
- STARKEL L. 2002 — Change in the frequency of extreme events as the indicator of climatic change in the Holocene (in fluvial system). *Quaternary International*, 91: 25–32.
- 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 Processes and Landforms*, 29: 995–1009.
- VANDEKERCKHOVE L., POESEN J., OOSTWOUW WIJDENES D.J. & DE FIGUEIREDO T. 1998 — Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. *Geomorphology*, 33: 271–292.
- VANDEKERCKHOVE L., MUYS B., POESEN J., DE WEERDT B. & COPPÉ N. 2001 — A method for dendrochronological assessment of medium-term gully erosion rates. *Catena*, 45: 123–161.
- VANDEKERCKHOVE L., POESEN J. & GOVERS G. 2003 — Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. *Catena*, 50: 309–328.
- ZIELSKI A. & KRAPIEC M. 2004 — *Dendrochronologia*. PWN.
- ZYGMUNT E. 2004 — Archaeological and radiocarbon dating of alluvial fans as an indicator of prehistoric colonization of the Glubczyce Plateau (Southwestern Poland). *Geochronometria*, 23: 101–107.

Praca wpłynęła do redakcji 11.02.2005 r.

Akceptowano do druku 09.09.2005 r.