

# Dendrochronologiczny zapis niewielkich trzęsień ziemi występujących na Podhalu

*Patrycja Michałowicz, Ireneusz Malik, Małgorzata Wistuba*

**Abstrakt.** W dwóch stanowiskach zlokalizowanych w obrębie epicentrow trzęsień ziemi z 1995 r. (Domański Wierch) oraz 2004 r. (Stare Bystre) pobrano 100 rdzeni z drzew. Przyrosty roczne przeanalizowano pod kątem występowania cech anatomicznych w przyrostach rocznych (redukcji i uwolnienia szerokości przyrostów, kanałów żywicznych). Pnie drzew rosnących w epicentrum trzęsienia ziemi z 2004 roku posiadają pionowe pęknięcia, drzewa wykształciły silne redukcje przyrostów rocznych, pojawiły się też nagromadzenia traumatycznych kanałów żywicznych w kolejnych latach po wstrząsach. Drzewa rosnące w epicentrum trzęsienia ziemi z 1995 roku wykształciły uwolnienia i redukcje przyrostów jako efekt wzrostu dekoncentrycznego po pochyleniu. Reakcja drzew na niewielkie trzęsienia ziemi jest zaskakująco czytelna, jednak aby wyeliminować inne czynniki, które mogły być odpowiedzialne za zaburzenia wzrostu drzew, należy opracować skale referencyjne położone w relatywnie dużej odległości od epicentrow. Niewykluczone, że zależnie od uzyskanych wyników możliwa będzie rekonstrukcja dawnych trzęsień ziemi w oparciu o analizę cech anatomicznych zapisanych w drewnie historycznym.

**Słowa kluczowe:** trzęsienie ziemi, epicentrum, magnituda makrosejsmiczna, cechy anatomiczne drewna

**Abstract. Dendrochronological records of small earthquakes recorded in Podhale region (southern Poland).** We collected 100 cores from trees growing in two sites located within the epicenters of earthquakes in 1994 (Domański Wierch site), and 2004 (Stare Bystre). We studied individual tree rings series to find anatomical features: ring reduction, abrupt growth release, traumatic resin ducts. Tree stems growing within 2004 earthquake epicenter have vertical cracks, and produced deep ring reductions and traumatic resin ducts after the event. Trees growing in 1995 earthquake epicenter produced abrupt growth release and ring reduction as an effect of eccentric growth after tilting. Reaction of trees on small earthquake is surprisingly strong, but to be sure that others environmental factors are not responsible for tree growth disturbances we have to develop reference chronologies located relatively far from epicenters. Depending on results obtained it may be possible to reconstruction of old earthquakes based on study on wood anatomy features in historical wood.

**Key words:** earthquake, epicentre, macroseismic magnitude, wood anatomy features

## Wstęp

Badania paleosejsmologiczne obejmują szereg różnego rodzaju wskaźników występowania dawnych trzęsień ziemi (McCaplin 2009). Wśród wskaźników geomorfologicznych wyróżniane są specyficzne elementy rzeźby terenu świadczące o wstrząsach, np. deformacje profili podłużnych teras i koryt rzecznych, występowanie skarp uskokowych czy też licznych osuwisk w strefach uskokowych (Zuchiewicz 2010). Duże znaczenie w rekonstrukcji trzęsień ziemi mają analizy uskoków i spękań w profilach osadów (Tokarski i in. 2007). Dobrymi wskaźnikami trzęsień ziemi są także spękanie klasty w osadach oraz sejsmity, czyli tekstury lub struktury skał powstałe w wyniku trzęsień ziemi. Trzęsienia ziemi powodują, że drzewa rosnące w zasięgu ich oddziaływania mogą zamierać w jednym czasie (Wiles i in. 1996; Allen, i in. 1999; Vittoz i in. 2001; Lin i Lin 2010; Meisling i Sieh 2012). Część z drzew, która przetrwała trzęsienie ziemi, może pochylać się pod wpływem przejścia fali sejsmicznej lub wraz z trwałymi zmianami rzeźby terenu. Korzenie tych drzew są często zrywane, a ich pnie pękają, niejednokrotnie dochodzi do złamania szczytowej części drzewa (Veblen i in. 1992; Jacoby 2010). Po epizodach trzęsień ziemi drzewa, które przetrwały, zaburzają swój wzrost, wykształcając specyficzne cechy anatomii drewna zapisane w słojach przyrostów rocznych (Sheppard i Jacoby 1989; Sheppard i White 1995; Van Arsdale i in. 1998).

Jak dotąd przedmiotem badań dendrochronologicznych były przede wszystkim silne trzęsienia ziemi o charakterze katastrofalnym i niszczącym także dla drzew (np.  $M_w = 8$  – Jacoby i in. 1997). Do głównych dotąd stosowanych dendrochronologicznych wskaźników takich zdarzeń należą:

- kohorty drzew powalonych i uśmierconych podczas wstrząsów wydatowane za pomocą skał referencyjnych (Allen i in. 1999; Hamilton 2010),
- redukcje przyrostów rocznych (nagle zmniejszenie ich szerokości) i brakujące przyrosty (Schweingruber i in. 1990; Neuwirth i in. 2007; Genova 2012),
- tkanka callusowa (blizny) i nagromadzenia traumatycznych kanałów żywicznych (Schneuwly i in. 2009; Arbellay i in. 2010).

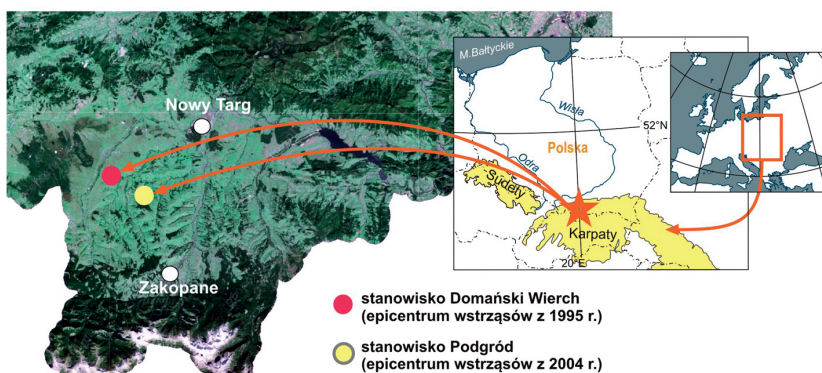
Jak dotąd ani w Polsce, ani na świecie nie zrekonstruowano dendrochronologicznie słabszych impulsów sejsmicznych, które nie powodują śmierci, znaczących uszkodzeń drzew ani bardzo silnego widocznego pochylenia ich pni.

Celem jest zbadanie wpływu niewielkich trzęsień ziemi występujących na Podhalu (magnitudy  $< 5-6$ ) na wykaszalanie cech antomicznych drewna wskazujących na zaburzenia wzrostu drzew rosnących w zasięgu oddziaływania wstrząsów.

## Teren badań

Badania zostały przeprowadzone w obrębie dwóch stanowisk zlokalizowanych na granicy 3 jednostek geologicznych: Niecki Podhalańskiej (wewnętrzne Karpaty Zachodnie, ryc. 1), Pieśnińskiego Pasa Skalkowego i nasunięcia płaszczowiny magurskiej należącej do zewnętrznych Karpat Zachodnich (Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1: 50 000, arkusz Czarny Dunajec). Obszarami relatywnie dużej aktywności sejsmicznej są uskoki tektoniczne występujące licznie w strefie pomiędzy Nowym Targiem a Czarnym Dunajcem (Zuchiewicz 2010). Wybór stanowisk był uwarunkowany występowaniem w obszarze badawczym stosunkowo licznych trzęsień ziemi (Guterch 2009). Pierwsze stanowisko badawcze wyznaczono w obrębie szczytu

Domańskiego Wierchu, na którego obszarze znajdowało się epicentrum trzęsienia ziemi z 1995 r. (Guterch 2009). Wystąpiły wtedy dwa wstrząsy, pierwszy z nich we wrześniu o intensywności w epicentrum 5, drugi w październiku o intensywności 4. Ich magnitudy makrosejsmiczne wynosiły odpowiednio 3,5 i 2,9. Drugie stanowisko zlokalizowano w epicentrum trzęsienia ziemi z 2004 r. w przysiółku Podgród, we wsi Czerwienne (ryc. 1). Magnituda makrosejsmiczna (ilościowa miara wielkości trzęsienia ziemi badana instrumentalnie) podczas tego wstrząsu wyniosła 3–3,4 z kolei intensywność w epicentrum (miara skutków wstrząsów mierzona w danym punkcie na powierzchni ziemi) wynosiła 5 (Guterch 2009), a według Zembatego i in. (2004) – 4,7. Według relacji lokalnej ludności wiele budynków zatrzęsło się, powstały liczne rysy na ścianach. We wsiach położonych w pobliżu epicentrow trzęsienia ziemi nadzór budowlany stwierdził naruszenie konstrukcji domów, kilka kominów po wstrząsach sejsmicznych zawaliło się. Niektóre budynki nie zostały dopuszczone do dalszej eksploatacji. Dlatego że zdarzenie miało miejsce zimą, po trzęsieniach ziemi stwierdzono liczne szczeliny w pokrywie śnieżnej wskazujące na zaskakująco duże zniekształcenia rzeźby terenu po epizodach wstrząsów (Zuchiewicz 2010). W obu stanowiskach badawczych występują pojedyncze kępy drzew złożonych przeważnie z nasadzeń gospodarczych świerka pospolitego, gdzie pobrano próby do badań dendrochronologicznych.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych  
Fig. 1. Location of study sites

## Material i metody

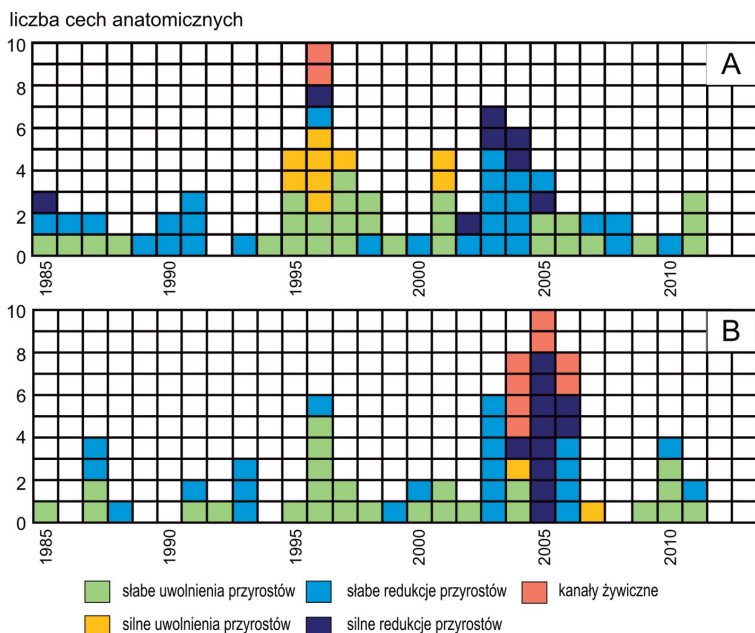
Za pomocą świdra Presslera pobrano po 4 próby z 10 drzew rosnących na Domańskim Wierchu (stan. 1) oraz z 15 drzew na stanowisku w Podgrodzie (stan. 2). Była to większość drzew, które mogły zostać poddane opróbowaniu w wytypowanych stanowiskach, ponieważ eliminowano drzewa rosnące w obrębie krawędzi geomorfologicznych, np. zbocze doliny oraz drzewa z widocznymi zranieniami, które powstały w wyniku stopniowej eksploatacji niewielkich płatów lasu gospodarczego. Próby pobrano w dwóch prostopadłych do siebie osiach, co dało łącznie 100 prób z obu stanowisk. Rdzenie wklejono w listwy mocujące i wyszlifowano. Następnie zmierzono szerokość przyrostów rocznych za pomocą przyrostomierza firmy LinTab

sprzężonego z oprogramowaniem komputerowym TSAPWin Professional 4.65 o precyzji pomiaru 0,01 mm.

Dla prób z każdego drzewa za pomocą wykresów szkieletowych dokonano korelacji szerokości przyrostów. Wszystkie próby zostały poddane wizualnej analizie przy użyciu binokularu, co miało na celu znalezienie charakterystycznych cech anatomicznych przyrostów, takich jak ich nagłe uwolnienie bądź redukcja, występowanie kanałów żywicznych. Wystąpienie powyższych cech anatomicznych spodziewano się w latach kolejnych po trzęsieniu ziemi, bowiem wstrząsy sejsmiczne w latach 1995 i 2004 wystąpiły jesienią, czyli po zakończeniu sezonu wegetacyjnego, a tym samym przyrostu radialnego drzew. Uzyskane wyniki zestawiono w wykresy frekwencji wystąpień diagnostycznych cech anatomicznych dla poszczególnych stanowisk.

## Wyniki

Drzewa ze stanowiska na Domańskim Wierchu (epicentrum wstrząsów z 1995 r.) charakteryzuje występowanie silnych uwolnień przyrostów rocznych w roku następującym po trzęsieniu ziemi. Poszerzenie przyrostów odnotowano dla 6 na 10 drzew, w tym dla 4 drzew było to poszerzenie silne, tj. szerokość przyrostów była co najmniej dwukrotnie większa niż w roku poprzedzającym (ryc. 2A). W przypadku tych drzew uwolnienie przyrostów było największe w całych analizowanych sekwencjach słoju, co sugeruje znaczną siłę oddziaływania trzęsienia

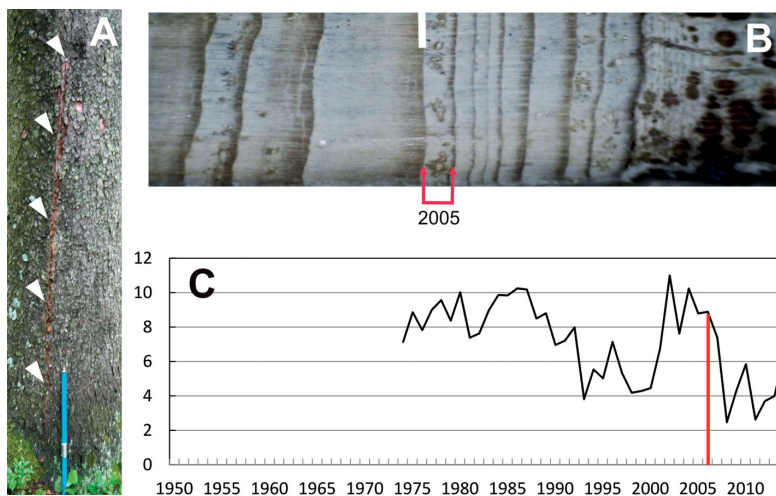


**Ryc. 2.** Zestawienie cech anatomicznych występujących w drewnie drzew rosnących na epicentrach trzęsień ziemi z 1995 roku (A) i w 2004 roku (B)

*Fig. 2. Anatomical features occurring in wood of trees growing in sites with earthquakes in 1995 (A) and 2004 (B)*

ziemi w stosunku do innych bodźców środowiskowych, np. przerzedzenia drzewostanu, które doprowadziły do uwolnienia przyrostów w innych latach. Uwolnienie szerokości przyrostów utrzymuje się zwykle przez kolejne 2–3 lata po wystąpieniu trzęsienia ziemi. Ponadto w 1996 roku odnotowano także po dwa przypadki redukcji przyrostów oraz wystąpienia kanałów żywicznych (ryc. 2A). W roku 1997, a więc 2 lata po trzęsieniu ziemi odnotowano słabe redukcje przyrostów w przypadku 4 drzew, jedno zapisało duże uwolnienie (ryc. 2A).

Wiele drzew rosnących w epicentrum trzęsienia ziemi w 2004 roku miało wyraźne pionowe pęknięcia biegnące od podstawy drzewa do wys. ok. 1,5–2 m (ryc. 3). W roku wystąpienia wstrząsów sejsmicznych w 4 drzewach odnotowano obecność kanałów żywicznych, co może wiązać się z wystąpieniem uszkodzeń mechanicznych wewnątrz drzewa. W roku kolejnym po wystąpieniu trzęsienia ziemi (2005) nastąpiły wyraźne redukcje przyrostów rocznych zidentyfikowane w przypadku 8 drzew (ryc. 2B). Dla połowy z tych drzew redukcja po 2004 roku była najgłębszą redukcją stwierdzoną w sekwencjach przyrostowych. W przyrostach rocznych osobników ze stanowiska w Podgrodzie (epicentrum z 2004 roku) widoczny jest także wyraźny sygnał wstrząsów z Domańskiego Wierchu (epicentrum z 1995 roku). Uwolnienia przyrostów w 1996 roku odnotowano dla pięciu drzew, redukcje przyrostów dla jednego osobnika.



**Ryc. 3.** Przykład uszkodzenia pnia i zapisu w przyrostach rocznych wstrząsu sejsmicznego z 2004 roku. A– pionowe pęknięcia pnia, B– redukcja przyrostów rocznych po 2004 roku widoczna w obrębie rdzenia pobranego z pnia, C– wykres przyrostów rocznych z widoczną redukcją przyrostów po 2004 roku  
*Fig. 3.* Example of stem injury, and 2004 earthquake recorded in tree rings. A– vertical stem cracks, B– ring reductions after 2004 visible in core collected from a tree, C– ring width graph of individual tree with reduction after 2004

## Dyskusja

Wydaje się, że drzewa rosnące w epicentrach trzęsień ziemi o relatywnie niewielkiej magnitudzie zaskakująco silnie zareagowały zaburzając swój wzrost po wstrząsach sejsmicznych. Za uszkodzeniem pnia wynikającym z trzęsień ziemi przemawiają dodatkowo liczne ich pęknięcia

występujące na stanowisku Podgród (epicentrum z 2004 roku). Jednak aby wykluczyć wpływ innych czynników zaburzających wzrost drzew, np. zmienność klimatyczna, zanieczyszczenie powietrza, inwazje insektów, należy podjąć badania w pewnej odległości od epicentrow trzęsień ziemi i stworzyć skale referencyjne. Ostatecznie dopiero brak zapisu trzęsień ziemi w drzewach rosnących kilka/kilkadziesiąt kilometrów od epicentrow, przy wykluczeniu innych czynników mogących kształtować ich przyrost, pozwoli ostatecznie rozstrzygnąć kwestię przyczyny powstania zaburzeń wzrostu po 1995 i 2004 roku. Trzęsienie ziemi z 1995 roku zostało dobrze zapisane w słojach drzew rosnących w jego epicentrum, natomiast słabiej w drzewach rosnących w epicentrum z 2004 roku (ryc. 2). Z kolei trzęsienie ziemi z 2004 roku zostało zapisane silnie w swoim epicentrum, natomiast jest słabo widoczne na stanowisku Stare Bystre. Sugeruje to, że o zaburzeniach wzrostu drzew decyduje czynnik lokalny, z dużym prawdopodobieństwem wstrząsy sejsmiczne.

Stwierdzono duże różnice pomiędzy reakcją drzew na wstrząsy sejsmiczne rosnących w epicentrum z 1995 i 2004 roku. Drzewa rosnące w epicentrum z 2004 roku zareagowały na wstrząsy silnie, wykształcając zredukowane przyrosty oraz kanały żywiczne. Oznacza to, że były one ranione w wyniku oddziaływania czynnika lokalnego. Z kolei drzewa rosnące w epicentrum z 1995 roku wykształciły szersze przyrosty po trzęsieniu ziemi, jednocześnie część drzew zredukowało swój wzrost, co miało związek z pochyleniem ich pni i wykształceniem przyrostów dekoncentrycznych (czyli szerszych z jednej strony pnia i węższych z drugiej). Redukcje przyrostów i kanały żywiczne wskazują na silniejsze zaburzenie wzrostu drzew w wyniku trzęsień ziemi w porównaniu z wykształceniem przyrostów szerszych i węższych w jednym roku interpretowanych jako efekt wzrostu dekoncentrycznego. W pierwszym przypadku drzewa są ranione, w drugim jedynie pochylają się. Odmienne reakcje drzew na wstrząsy sejsmiczne (wykształcanie szerszych bądź węższych przyrostów) są związane prawdopodobnie z różnicami intensywności poszczególnych trzęsień ziemi. Wstrząsy, które wystąpiły w 1995 roku, były dużo słabsze niż te z 2004 roku (Guterch 2009). W przypadku słabszego trzęsienia ziemi doszło zatem wyłącznie do uwolnienia naprężeń, a przy trzęsieniu silniejszym do powstania dużych zranień pni i być może częściowego zerwania systemów korzeniowych, co utrudniło dalszy wzrost drzew.

Na obecnym etapie badań nie ma jeszcze możliwości odszukiwania zaburzeń wzrostu drzew wynikających z trzęsień ziemi w drewnie historycznym i rekonstrukcji dawnych trzęsień ziemi. Ze źródeł historycznych wynika, że trzęsienia ziemi występujące dawniej w Polsce miały znacznie większe magnitudy niż obecnie (Guterch i in. 2005). Oznacza to, że szanse identyfikacji ich wpływu na deformacje wzrostu drzew poprzez analizę przyrostów rocznych są stosunkowo duże. Niezbędne jest jednak podjęcie próby stworzenia wzorca cech anatomicznych wskazujących na występowanie trzęsienia ziemi w przeszłości.

## Wnioski

- Wydaje się, że niewielkie trzęsienia ziemi występujące w Polsce są zaskakująco dobrze zapisane w anatomii drewna drzew rosnących w epicentrach wstrząsów. Jednak aby ostatecznie potwierdzić wpływ trzęsień ziemi na zaburzenia wzrostu drzew, należy opracować skale referencyjne, zbudowane z przyrostów rocznych drzew rosnących w relatywnie dużej odległości od epicentrow.
- Słabe trzęsienia ziemi zapisują się w drewnie drzew w postaci uwolnień i redukcji przyrostów rocznych wynikających ze wzrostu dekoncentrycznego po pochyleniu drzew.



Silniejsze wstrząsy powodują ranienie drzew, wtedy mogą one wykształcać zredukowane przyrosty i traumatyczne kanały żywiczne.

- Dopiero utworzenie wzorca cech anatomicznych wykształczanych po niewielkich trzęsieniach ziemi pozwoli być może na rekonstrukcje dawnych trzęsień ziemi w drewnie historycznym.

## Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach z projektu OPUS 2011/01/B/ST10/07096 finansowanego przez Narodowego Centrum Nauki.

## Literatura

- Allen R.B., Bellingham P.J., Wiser S.K. 1999. Immediate damage by an earthquake to a temperate montane forest. *Ecology*, 80: 708–71.
- Arbellay E., Stoffel M., Bollschweiler M. 2010. Wood anatomical analysis of *Alnus incana* and *Betula pendula* injured by a debris-flow event. *Tree Physiology*, 30: 1290–1298.
- Genova M. 2012. Extreme pointer years in tree-ring records of Central Spain as evidence of volcanic eruptions (Huaynaputina, Peru, 1600AC) and other climatic events. *Climate of the Past*, 7: 4223–4259.
- Guterch B. 2009. Sejsmiczność Polski w świetle danych historycznych. *Przegląd Geologiczny*, 57: 513–520.
- Guterch B., Lewandowska-Marciniak H., Niewiadomski J. 2005. Earthquakes recorded in Poland along the Pieniny Klippen Belt, Western Carpathians. *Acta Geophysica Polonica*, 53: 30–45.
- Hamilton W.L. 2010. Seismic damage in conifers from Olympic and Yellowstone National Parks, United States. W: Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D. R., Luckman B. H. (red.). *Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Jacoby G.C., Bunker D.E., Benson B.E. 1997. Tree-ring evidence for an A.D. 1700 Cascadia earthquake in Washington and northern Oregon. *Geology*, 25: 999–1002.
- Jacoby G.C. 2010. Application of tree-ring analysis to paleoseismology. W: Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D.R., Luckman B.H. (red.). *Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Lin A., Lin S. 2010. Tree-Ring Abnormality Caused by Large Earthquake: An Example From the 1931 M 8.0 Fuyun Earthquake. W: Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D.R., Luckman B.H., (red.). *Tree rings and natural hazards: A state-of-the-art*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- McCaplin J.P. 2009. *Paleoseismology. USA*. Elsevier.
- Meisling K.E., Sieh K.E. 2012. Disturbance of trees by the 1857 Fort Tejon Earthquake, California. *Journal of Geophysical Research*, 85: 3225–3238.
- Neuwirth B., Schweingruber F.H., Winiger M. 2007. Spatial patterns of Central European pointer years. *Dendrochronologia*, 24: 79–89.
- Schneuwly D.M., Stoffel M., Bollschweiler M. 2009. Formation and spread of callus tissue and tangential rows of resin ducts in *Larix decidua* and *Picea abies* following rockfall impacts. *Tree Physiology*, 29: 281–289.

- Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O.U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 9–38.
- Sheppard P.R., Jacoby G.C. 1989. Application of tree-ring analysis to paleoseismology: two case studies. *Geology*, 17: 226–229.
- Sheppard P.R., White L.O. 1995. Tree-ring responses to the 1978 earthquake at Stephens Pass, northeastern California. *Geology*, 23:109–112.
- Tokarski A.K., Świerczewska A., Zuchiewicz W. 2007. Fractured clasts in neotectonic reconstructions: An example from the Nowy Sącz Basin, Western Outer Carpathians, Poland. *Studia Quaternaria*, 24: 47–52.
- Wiles G.C., Calkin P.E., Jacoby G.C. 1996. Tree-ring analysis and Quaternary geology: Principles and recent applications. *Geomorphology*, 16: 259–272.
- Van Arsdale R.B., Stahle D.W., Cleaveland N.K., Guccione M.J. 1998. Earthquake signals in tree-ring data from the New Madrid seismic zone and implications for paleoseismicity. *Geology*, 26: 5155–5168.
- Veblen T., Kitzberger T., Lara A. 1992. Disturbance and forest dynamics along a transect from Andean rain forest to Patagonian shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 3: 507–520.
- Vitito P., Stewart G.H., Duncan R.P. 2001. Earthquake impacts in old-growth Nothofagus forests in New Zealand. *Journal of Vegetation Science*, 12: 417–426.
- Zembaty Z., Jankowski R., Cholewicki A., Szulc J. 2007. Trzęsienia ziemi w Polsce w 2004 roku, *Czasopismo Techniczne*, 2B: 115–126.
- Zuchiewicz W. 2010. Neotektonika Karpat Polskich i Zapadliska Przedkarpackiego. Wydawnictwo AGH: 52–80.

**Patrycja Michałowicz, Ireneusz Malik, Małgorzata Wistuba**

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi

michalowicz.patrycja@gmail.com

irekgeo@wp.pl

malgorzatawistuba@gazeta.pl