

Wpływ wstrząsów sejsmicznych na przyrost radialny i anatomię drewna wybranych gatunków drzew (Podhale, Polska i Wenchuan, Chiny)

Daniel Gawior, Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik, Yongbo Tie, Patrycja Michałowicz, Jintao Jiang

Abstrakt. Celem badań było porównanie reakcji przyrostowej drzew rosnących w pobliżu epicentrów trzęsień ziemi o różnej magnitudzie i intensywności. Badania prowadzono w pobliżu dwóch epicentrów: silnego trzęsienia ziemi „Wenchuan” z 2008 roku w Górach Sino-Tybetańskich (Chiny) oraz słabych wstrząsów z 2004 roku na Podhalu (Polska). W próbach pobranych ze świerków (*Picea abies*) i jodeł (*Abies chensiensis*) analizowano występowanie: dekoncentryczności, nagłych zmian szerokości (redukcji i uwolnień), traumatycznych kanałów żywicznych oraz zmian gęstości drewna w obrębie przyrostów rocznych. Główną reakcją przyrostową drzew na silne wstrząsy było wykształcenie przyrostów zredukowanych, jako efektu uszkodzeń mechanicznych pni i systemów korzeniowych. Dodatkowo stwierdzono, że wstrząs przetrwały jedynie drzewa bardzo młode. W przypadku wstrząsów słabych stwierdzono występowanie przede wszystkim uwolnienia szerokości przyrostów. W obu badanych przypadkach występowała także dekoncentryczność przyrostu w efekcie pochylania pni na skutek wstrząsów sejsmicznych.

Słowa kluczowe: trzęsienie ziemi, zaburzenia wzrostu radialnego drzew, Wenchuan, Podhale

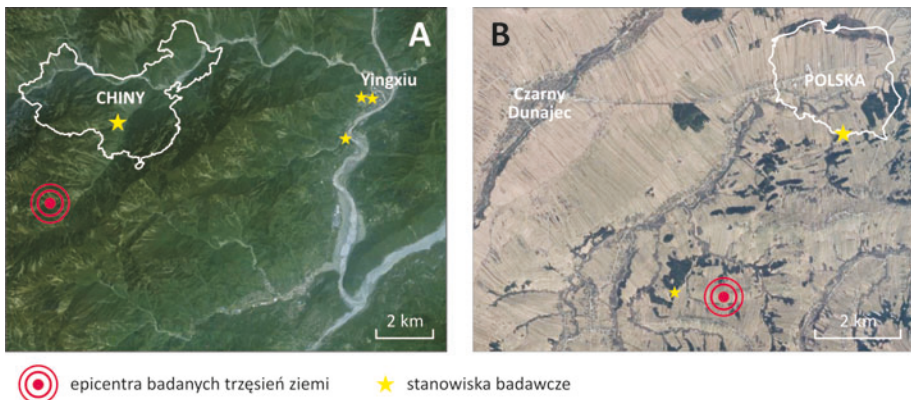
Abstract. Impact of earthquakes on radial growth and wood anatomy of selected tree species (Podhale, Poland and Wenchuan, China). The aim of research was to compare growth reaction of trees located near earthquake epicentres with diverse magnitude and intensity. Studies were conducted near two epicentres: strong “Wenchuan” earthquake in 2008, in Hengduan Mts (China) and weak seismic trembling in 2004 in Podhale (Poland). In samples taken from spruces (*Picea abies*) and firs (*Abies chensiensis*) we have analysed the occurrence of: growth eccentricity, abrupt changes of tree-ring widths (growth reductions and releases), traumatic resin ducts and changes of wood density inside tree rings. The most abundant growth reaction to strong earthquake was producing reduced tree rings as results of mechanical injuries of stems and root systems. In addition we have found that only very young trees survived. In case of weak earthquake we have found mostly growth releases, probably resulting from changes in groundwater level due to earthquake. In both studied cases we have also found growth eccentricity, result of stem tilting during seismic trembling.

Keywords: earthquake, disturbances of radial growth of trees, Wenchuan, Podhale

Wstęp

Trzęsienia ziemi to zjawiska związane z gwałtownym rozładowywaniem naprężeń w skorupie ziemskiej, kiedy część uwalnianej energii dociera do powierzchni Ziemi. Głównymi parametrami opisującymi trzęsienia ziemi są magnituda i intensywność. Magnituda jest wartością obliczaną na podstawie danych rejestrowanych przez aparaturę pomiarową (sejsmografy). Intensywność określana jest na podstawie zniszczeń lub pomiaru przyspieszenia gruntu w danym miejscu (Musson i Cecić 2012). Z powodu ograniczonych możliwości obserwacji (tereny bezлюдne, pozbawione odpowiedniej sieci sejsmograficznej) dane nie są dostępne dla wszystkich obszarów, bądź są niekompletne. Jednocześnie drzewa rosnące w epicentrach wstrząsów lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie są najczęściej niszczone, bądź mocno uszkodzane i pochylane (Jacoby i in. 1997, Nepop i in. 2013). W wyniku odniesionych obrażeń wykształcane są: kanały żywiczne, tkanka callusowa zabliźniająca zranienia oraz przyrosty o zredukowanej szerokości. Zdarza się również tak, że przyrost radialny może zostać zupełnie zahamowany (Schweingruber i in. 1990, Allen i in. 1999, Schneuwly i in. 2009, Genova 2012). Drzewa, które przetrwają epizod wstrząsu sejsmicznego bez poważnych uszkodzeń, mogą wykształcać szersze przyrosty w wyniku wyeliminowania osobników sąsiednich (Bekker 2004).

Celem przeprowadzonych badań było porównanie reakcji przyrostowej drzew rosnących w pobliżu epicentrow wstrząsów o różnej magnitudzie i intensywności.



Ryc. 1. A – lokalizacja epicentrum wstrząsu „Wenchuan” z 2008 roku oraz stanowisk badawczych, B – lokalizacja epicentrum wstrząsu na Podhalu z 2004 roku oraz stanowiska badawczego

Fig. 1. A – location of the epicentre of “Wenchuan” earthquake and study sites, B – location of the epicentre of earthquake in Podhale and the study site

Material i metody

Badania prowadzono w pobliżu dwóch epicentrow trzęsień ziemi. Opróbowano 12 jodeł (*Abies chensiensis*) rosnących w trzech stanowiskach badawczych 11 km od epicentrum bardzo silnego trzęsienia ziemi w Górach Sino-Tybetańskich (Hengduan Shan), w Chinach,

w prowincji Syczuan, w powiecie Wenchuan (Ryc. 1A) oraz 20 świerków pospolitych (*Picea abies*) rosnących na stanowisku badawczym 1,5 km od epicentrum słabych wstrząsów z 2004 roku na Podhalu, w Polsce, 10 km na NNW od Zakopanego (Ryc. 1B). W obu lokalizacjach wybrano stanowiska w obrębie powierzchni płaskich lub słabo nachylonych stoków, tak by w miarę możliwości wykluczyć oddziaływanie geomorfologicznych procesów stokowych.

Trzęsienie ziemi „Wenchuan” z 12 maja 2008 roku

Wstrząs wystąpił w środkowym segmencie rozległego systemu uskoków Longmenshan. Jego magnitudę oszacowano na 7,9 M_w , a instrumentalną intensywność na X+ (najwyższa w skali) (Hao i in. 2011). Na podstawie danych makrosejsmicznych intensywność wstrząsu oszacowano na maksymalnie XII stopni (w Yingxiu, gdzie położone są stanowiska badawcze) w skali EMS-98 (Lekkas 2010). Po głównym wstrząsie zarejestrowano w tej strefie 213 epizodów (głównie w 2008 roku) ze średnią magnitudą 4,3 M_w .

Trzęsienie ziemi na Podhalu z 30 listopada 2004

Trzęsienie wystąpiło na granicy jednostek geologicznych Karpat wewnętrznych i zewnętrznych. Magnitudę wstrząsu oszacowano na 4,7 M_w . Zapis trzęsienia na stacji sejsmograficznej Instytutu Geofizyki PAN w Niedzicy, najbliższej względem epicentrum jest wadliwy wskutek przesterowania rejestrowanych sygnałów (odległość między sejsmografem a epicentrum była zbyt mała). Z tego względu niemożliwe było oszacowanie maksymalnych prędkości i przyspieszeń pozwalających bezpośrednio określić intensywność wstrząsów w pobliżu epicentrum (Zembaty i in. 2007). W obszarze epicentralnym intensywność wstrząsu głównego na podstawie danych makrosejsmicznych oszacowano na maksymalnie VI stopni (we wsi Czerwienne, gdzie położone jest stanowisko badawcze) w skali EMS-98 (Zembaty i in. 2005).

Metody analizy dendrochronologicznej

W przypadku obu badanych trzęsień ziemi wywierty z drzew pobierano świdrem Presslera, na wysokości pierśnicy, po przeciwnych stronach pni w dwóch osiach: zgodnej z nachyleniem terenu oraz w osi poprzecznej do nachylenia terenu. Pobrane wywierty poddano standardowej obróbce i zmierzono szerokości przyrostów rocznych z dokładnością 0,01 mm. W pobranych próbach analizowano występowanie następujących cech anatomii drewna (Ryc. 2):

- nagłych zmian szerokości przyrostów rocznych: redukcji i uwolnień obliczanych według metody Schweingrubera (1990) podzielonych według nasilenia na dwie klasy: 30-70% oraz >70%; redukcji i uwolnień słabszych niż 30% nie brano pod uwagę,
- kanałów żywicznych,
- zaburzeń gęstości drewna w obrębie przyrostów,
- dekoncentryczności wzrostu wyznaczonej metodą indeksu procentowego (Wistuba i in. 2013).



Ryc. 2. Przykłady analizowanych cech anatomicznych wykształconych po trzęsieniu ziemi „Wenchuan”: A – zaburzenia gęstości drewna w obrębie przyrostów po 2008 roku, B – redukcja przyrostów od 2008 roku, C – redukcja przyrostów po 2008 roku, D –traumatyczne kanały żywiczne w 2008 roku, uwolnienie przyrostów po 2008

Fig. 2. Examples of analysed wood anatomy features produced after „Wenchuan” earthquake: A – disturbances of wood density after 2008, B – ring reduction since 2008, C – ring reduction after 2008, D – traumatic resin ducts in 2008, growth release after 2008

Datując epizody dekoncentryczności na podstawie pomiarów szerokości przyrostów po przeciwnych stronach pnia obliczono dekoncentryczność przyrostów, indeks dekoncentryczności oraz jego zmienność roczną (Ryc. 2), stosując następujące wzory (Wistuba i in. 2013):

$$E_x [\text{mm}] = U_x - D_x;$$

gdy $E_x [\text{mm}] > 0$: dekoncentryczność dostokowa; $E_{ix} [\%] = (E_x / D_x \times 100\% > 0$;

gdy $E_x [\text{mm}] = 0$: brak dekoncentryczności; $E_{ix} [\%] = E_x [\text{mm}] = 0$;

gdy $E_x [\text{mm}] < 0$: dekoncentryczność odstokowa; $E_{ix} [\%] = (E_x / U_x) \times 100\% < 0$;

$$vE_{ix} [\%] = E_{ix} - E_{ix-1};$$

gdzie: U – szerokość przyrostu rocznego po dostkowej stronie pnia [mm]; D - szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm]; E – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm]; E_i – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%]; vE_i – zmienność roczna indeksu [%]; x – rok/przyrost roczny.

Dla poszczególnych drzew epizody dekoncentryczności wyznaczono w latach, w których zmienność roczna indeksu była silna i wykraczała poza przedział -50% do +50%.

Wyniki i dyskusja

Drzewa opróbowane na Podhalu, w sąsiedztwie epicentrum słabych wstrząsów miały w momencie ich wystąpienia co najmniej 25 lat, a wiek pierśnicowy większości osobników przekraczał 55 lat (średnio 59 przyrostów na pierśnicy). Drzewa opróbowane w Chinach, w sąsiedztwie epicentrum bardzo silnych wstrząsów są bardzo młode (w czasie trzęsienia miały średnio 4 przyrosty na pierśnicy). Opróbowano drzewa młode, ponieważ w 2015 roku, gdy prowadzono badania nie stwierdzono występowania starszych osobników. Trzęsienie przetrwały jedynie drzewa o niewielkich rozmiarach.

Dodatkowo badane stanowiska różni znacząco odległość od epicentrum trzęsień ziemi: stanowisko na Podhalu położone jest 1,5 km od epicentrum, a stanowisko w Chinach 11 km od epicentrum. Czynniki te, oprócz podstawowych różnic w sile wstrząsów (wstrząs z Podhala 27 000 razy słabszy od trzęsienia „Wenchuan”), należy uwzględnić w interpretacji wyników

badania dendrochronologicznych. Ponadto trzęsienie ziemi na Podhalu miało miejsce po zakończeniu sezonu wegetacyjnego, a trzęsienie w Chinach w trakcie sezonu wegetacyjnego.

Cechy anatomiczne drewna związane ze słabym wstrząsami sejsmicznymi na Podhalu w 2004 roku

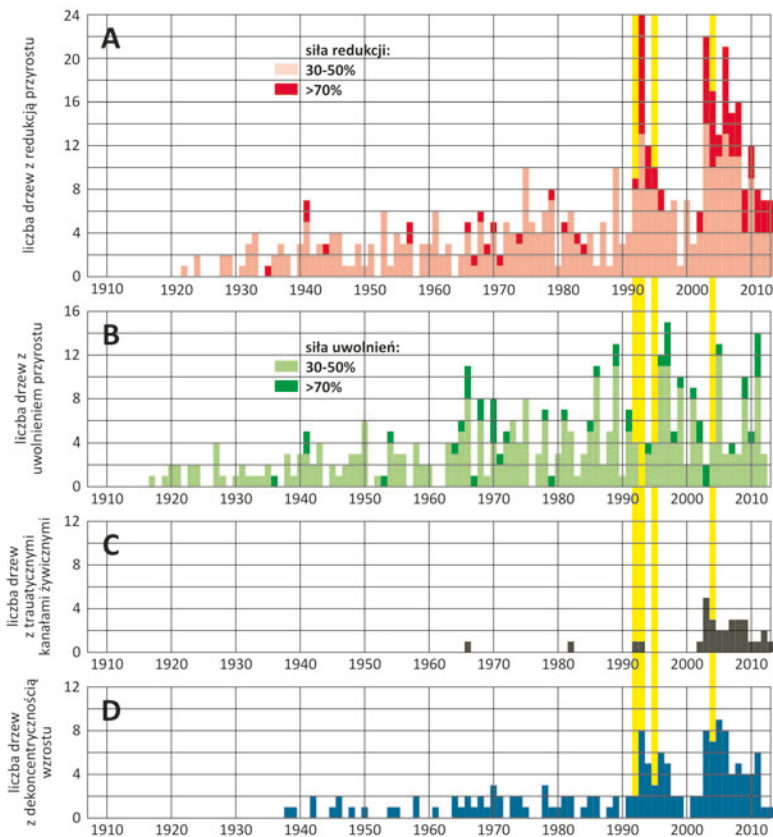
U badanych drzew stwierdzono występowanie redukcji przyrostów rocznych w okresie 1992-1999 oraz 2003-2013, z największą liczbą drzew redukujących przyrost w latach: 1993, 2003 oraz 2007 (Ryc. 3A). Zwiększoną liczbę uwolnienia szerokości przyrostów zarejestrowano w latach: 1966, 1986, 1989, 1996-1997, 2005 i 2011 (Ryc. 3B). Traumatyczne kanały żywiczne są w badanych próbach nieliczne i występują przede wszystkim w latach 2003-2009 (Ryc. 3C). W latach 1993-1997 oraz 2003-2001 (Ryc. 3D) stwierdzono u badanych drzew występowanie przyrostów dekoncentrycznych. Nie stwierdzono występowania zaburzeń gęstości drewna w obrębie przyrostów.

Badane trzęsienie ziemi miało miejsce w listopadzie 2004 roku, najprawdopodobniej już po zakończeniu sezonu wegetacyjnego. Zatem ewentualne zaburzenia przyrostu radialnego związane ze wstrząsami mogą być obecne w przyroście z roku 2005 oraz w przyrostach młodszych. Przyczynić może się do tego także fakt, że badane trzęsienie nie było pojedynczym wstrząsem. Od listopada 2004 roku do czerwca 2005 roku miało miejsce 6 wstrząsów, spośród których najsilniejszy był pierwszy (Guterch 2009).

W roku 2005 odnotowano największą liczbę drzew z przyrostem dekoncentrycznym, w 2006 roku liczba ta była tylko nieznacznie mniejsza, jednak drzewa przyrastały dekoncentrycznie już przed 2004 rokiem. Podobnie w przypadku redukcji przyrostów – są one liczne zarówno przed, jak i po trzęsieniu ziemi z 2004 roku (w 2005 roku: 12 drzew, w tym 2 z redukcją >70%). Maksymalną liczbę kanałów żywicznych oraz redukcji u badanych drzew odnotowano w przyrostach z 2003 roku, czyli starszych niż trzęsienie ziemi. Zarówno redukcje jak i kanały żywiczne trudno uznać za zaburzenie anatomii drewna diagnostyczne dla trzęsienia ziemi z 2004 roku. Jednocześnie stwierdzono, że w roku 2005, znacząco różnie liczba drzew z uwolnieniem przyrostu, z 4 w roku 2004 do 11 (Ryc. 3B).

Badane stanowisko znajduje się w odległości 5-15 km od epicentrow starszych trzęsień ziemi, np. z września i października 1995 roku (również zlokalizowanych na Podhalu, w rejonie Białki Tatrzańskiej i Czarnego Dunajca). Magnituda tych wstrząsów wyniosła od 2,9 do 3,5, a więc były one słabsze od trzęsienia z 2004 roku. Stwierdzono, że u badanych drzew po 1995 roku wzrosła liczba przyrostów dekoncentrycznych (5 w 1996 roku) oraz uwolnień przyrostów (11 w 1996 roku, 12 w 1997 roku) (Ryc. 3). Jednocześnie nie stwierdzono występowania kanałów żywicznych oraz znaczącej liczby redukcji przyrostów.

W promieniu 100 km od stanowiska badawczego znajdują się również epicentra starszych trzęsień ziemi z: marca 1942, marca 1966, października i listopada 1989, czerwca 1992 roku i marca 1993 roku (Guterch 2009). Magnitudy tych wstrząsów wyniosły 2,3-4,4. Po wystąpieniu silniejszych wstrząsów w latach: 1989 1992 i 1993 u badanych drzew stwierdzono występowanie licznych sygnałów dekoncentryczności (8 w 1993 roku) oraz redukcji przyrostów (8 w 1989, 13 w 1993 roku) (Ryc. 3). W przypadku redukcji z 1993 roku wydaje się jednak, że decydujące znaczenie dla ich wykształcenia miały wysoka temperatura i bardzo niskie opady lata 1992 roku. W 1966 roku po słabym trzęsieniu ziemi (magnituda 2,3) u badanych drzew stwierdzono zwiększoną ilość drzew z uwolnieniem szerokości przyrostu (9 w 1966 roku).



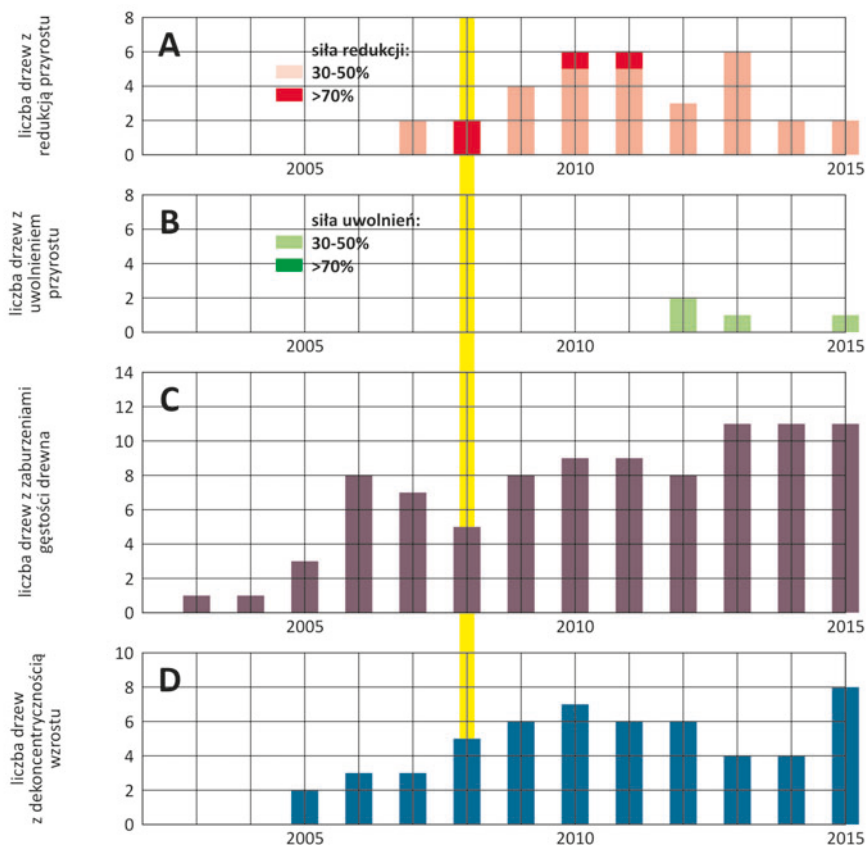
Ryc. 3. Zaburzenia przyrostu radialnego wydатовane dla drzew opróbowanych na Podhalu, 1,5 km od epicentrum trzęsienia z 2004 roku, 5-15 km od epicentrow z 1995 roku: A – redukcje przyrostów, B – uwolnienia przyrostów, C – traumatyczne kanały żywiczne, D – dekoncentryczność wzrostu

Fig. 3. Disturbances of radial growth dated among trees sampled in Podhale, 1,5 km from 2004 earthquake epicentre, 5-15 km from 1995 earthquake epicentre: A – tree-ring reductions, B – growth release, C – traumatic resin ducts, D – growth eccentricity

Cechy anatomiczne drewna związane z bardzo silnym trzęsieniem ziemi „Wenchuan” z 2008 roku

U badanych drzew stwierdzono występowanie redukcji przyrostów rocznych od 2007 do 2015, z największą ich liczbą w latach: 2010, 2011, 2013 (Ryc. 4A). Uwolnienia przyrostów zarejestrowano w latach: 2012, 2013, 2015 (Ryc. 4B). Stwierdzono powszechne występowanie zaburzeń gęstości drewna, w ciągu całego życia badanych drzew. Największą frekwencję stwierdzono w latach: 2006, 2010-2011, 2013-2015 (Ryc. 4C). Największą liczbę drzew o dekoncentrycznym przyroście stwierdzono w latach 2010 oraz 2015 (Ryc. 4D).

Badane trzęsienie ziemi miało miejsce w maju 2008 roku, w czasie okresu wegetacyjnego. Zatem ewentualne zaburzenia przyrostu radialnego związane z głównym wstrząsem mogą być obecne już w przyroście z roku 2008 oraz w przyrostach młodszych.



Ryc. 4. Zaburzenia przyrostu radialnego wydatowane dla drzew opróbowanych w Chinach, 11 km od epicentrum trzęsienia z 2008 roku: A – redukcje przyrostów, B – uwolnienia przyrostów, C – traumatyczne kanały żywiczne, D – dekoncentryczność wzrostu

Fig. 4. Disturbances of radial growth dated among trees sampled in China, 11 km from 2008 earthquake epicentre: A – tree-ring reductions, B – growth release, C – traumatic resin ducts, D – growth eccentricity

Na podstawie uzyskanych wyników (Ryc. 4) można stwierdzić, że w roku 2008 jedynie dwa drzewa wykazały redukcję przyrostów, jednak w obu przypadkach była to redukcja >70%. Natomiast przed rokiem 2008 u badanych drzew redukcje praktycznie nie występowały. Po roku 2008 stwierdzono zwiększanie się liczby drzew z: redukcją przyrostów rocznych, zaburzeniami gęstości drewna oraz wyraźne z dekoncentrycznym przyrostem. Cechy te były najliczniej wykształcane w latach 2010-2011. Zarówno dekoncentryczność, jak i zaburzenia gęstości występowały także przed rokiem 2008, jednak były one słabiej nasilone (Ryc. 4).

Potencjał metody dendrochronologicznej jako narzędzia oceny intensywności trzęsień ziemi oraz narzędzia paleosejsmologii

Możliwość stosowania dendrochronologii do analiz sejsmologicznych wymaga uwzględnienia następujących czynników:

- gatunku opróbowanych drzew,
- wieku opróbowanych drzew,
- relacji czasu wystąpienia wstrząsów do sezonu wegetacyjnego,
- budowy tektonicznej,
- charakteru samego wstrząsu: magnitudy, intensywności, wystąpienia serii wstrząsów lub wstrząsów wtórnych.

W przypadku badanego słabego trzęsienia ziemi, które wystąpiło po sezonie wegetacyjnym, z epicentrum 1,5 km od stanowiska badawczego, stwierdzono, że najlepszą diagnostyczną cechą anatomii drewna są uwolnienia przyrostów rocznych z towarzyszącą im dekoncentrycznością. Wskazują na to zarówno wyniki uzyskane dla lat po trzęsieniu ziemi z 2004 roku, jak i po trzęsieniu z 1995 roku. Powstawanie dekoncentryczności przyrostów u drzew, które były poddane wstrząsam sejsmicznym jest efektem pochylania pni podczas wstrząsów. U drzew odchylonych od pionu, na skutek oddziaływania grawitacji, występuje nierównomierny rozkład sił na obwodzie pnia. Strona górna pnia jest rozciągana, a dolna ściskana. Drzewa iglaste, takie jak badane świerki i jodły, po pochyleniu przyrastają bardziej po dolnej ściskanej stronie pni, wykształcając dekoncentryczne przyrosty roczne (Wistuba i in. 2013). Uzyskane wyniki wskazują, że nawet trzęsienia ziemi tak słabe jak badane mogą powodować zmianę pozycji pni drzew.

Ze względu na małą siłę wstrząsów na Podhalu trudno jest wyjaśnić występowanie uwolnień przyrostów po trzęsieniach ziemi jako efektu eliminacji osobników sąsiednich poprzez uszkodzenie ich podczas wstrząsów. Na stanowisku badawczym nie stwierdzono ponadto śladów po drzewach zniszczonych przez trzęsienie ziemi.

W przypadku silnego trzęsienia ziemi, które wystąpiło w czasie sezonu wegetacyjnego, z epicentrum 11 km od stanowiska badawczego stwierdzono, że najlepszą cechą diagnostyczną anatomii drewna są redukcje przyrostów rocznych z towarzyszącą im dekoncentrycznością. Potwierdza to uniwersalny charakter dekoncentryczności wzrostu jako indikatora zmiany kąta nachylenia pni drzew podczas wstrząsów sejsmicznych. Redukcje przyrostów rocznych są natomiast efektem uszkodzeń pni i systemów korzeniowych drzew spowodowanych przez wstrząsy. Ze względu na dużą siłę trzęsienia ziemi „Wenchuan” zostało ono w ten sposób zarejestrowane nawet przez drzewa bardzo młode, które uznaje się na ogół za mniej podatne na działanie wstrząsów (Jacoby 1997).

W przypadku obu badanych stanowisk reakcja drzew na trzęsienia ziemi jest opóźniona o co najmniej rok. W przypadku słabych wstrząsów na terenie Podhala roczne opóźnienie jest efektem wystąpienia trzęsień po sezonie wegetacyjnym (2004) lub w czasie jego trwania (1995). W przypadku trzęsienia ziemi „Wenchuan” trzęsienie wystąpiło w czasie trwania sezonu wegetacyjnego, w tym samym roku zarejestrowano silne redukcje przyrostów w dwóch drzewach. Najsilniejszą reakcję drzew stwierdzono dwa lata po wstrząsach, w 2010 roku. Może to być związane z dużymi uszkodzeniami jakich doznały badane drzewa i czasem koniecznym na regenerację.

Podsumowanie

Dendrochronologia jest potencjalnym narzędziem mogącym w znaczący sposób wzbogacić metody oceny i rekonstrukcji siły wstrząsów sejsmicznych, szczególnie w miejscach, gdzie dane seismologiczne ulegają zniszczeniu lub są niekompletne oraz w obszarach pozbawionych możliwości pośredniej oceny siły wstrząsów w oparciu o zniszczenia zabudowy i relacje obserwatorów. Dalsze badania nad opracowaniem wzorca cech anatomicznych drewna odpowiadającego różnej intensywności wstrząsów mogą w przyszłości pozwolić w precyzyjny sposób rekonstruować trzęsienia ziemi.

Uzyskane wyniki wskazują, że drzewa o dużych rozmiarach są bardziej czułe na wstrząsy sejsmiczne. Drzewa opróbowane na Podhalu zarejestrowały wstrząsy o magnitudzie rzędu 3-4. Obserwacje z rejonu epicentrum trzęsienia „Wenchuan” wskazują jednak, że takie drzewa nie są w stanie przetrwać wstrząsów o magnitudzie rzędu 8. Jest to natomiast możliwe w przypadku młodych drzew, które dzięki elastyczności ich pni i słabo rozwiniętym systemom korzeniowym, nie ulegają w czasie wstrząsów zniszczeniu i dostarczają zapisu dendrochronologicznego.

Podziękowania

Badanie prowadzone w Chinach zostały dofinansowane ze środków Centrum Studiów Polarnych Uniwersytetu Śląskiego – Krajowego Naukowego Ośrodka Wiodącego (KNOW) w zakresie nauk o Ziemi 2014-2018. Badania prowadzone na Podhalu sfinansowano ze środków projektu OPUS 2011/01/B/ST10/07096 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Podczas przygotowywania publikacji do druku jedna z autorek – Małgorzata Wistuba – była stypendystką wspartą finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) w ramach stypendium START na lata 2015-2016.

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.
- Bekker M.F. 2004. Spatial variation in the response of tree rings to normal faulting during the Hebgen Lake Earthquake, Southwestern Montana, USA. *Dendrochronologia* 22: 53-59.
- 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 (6): 513-520.)
- Hao X., Hu., X., Tian L. 2011. Anomalous tremor before 2008 Ms 8.0 Wenchuan earthquake: a review. *Geodesy and Geodynamics* 2, 3: 56-60.
- Jacoby G.C. 1997. Application of tree ring analysis to paleoseismology. *Reviews of Geophysics*: 109-124.
- 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.
- Lekkas E.L. 2010. The 12 May 2008 Mw 7.9 Wenchuan, China, Earthquake; Macroscopic Intensity Assessment Using the EMS-98 and ESI 2007 scales and their correlation with the geological structure. *Bulletin of the Society of America* 100, 5B: 2791-2804.
- Musson R.M., Cecić I. 2012. *Intensity and Intensity Scales*. W: Bormann P. (red.). *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*. Deutsches GeoForschungs Zentrum GFZ, Potsdam: 1-41.
- Nepov R., Agatova A., Myglan V., Barinov V., Nazarov A. 2013. New methodological aspects of using dendrochronological analysis for dating strong paleoearthquakes (by the example of SE Altai,

- Russia). Geophysical Research Abstracts 15: 177.
- 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.
- Wistuba M., Malik I., Gärtner H., Kojs P., Owczarek P. 2013. Application of eccentric growth of trees as a tool for landslide analyses: The example of *Picea abies* Karst. in the Carpathian and Sudeten Mountains (Central Europe). *Catena* 111: 41-55.
- Zembaty Z., Jankowski R., Cholewicki A., Szulc J. 2005. Trzęsienie ziemi 30 listopada 2004 r. na Podhalu oraz jego wpływ na obiekty budowlane. *Inżynieria i Budownictwo LXI*, 9: 507-511.
- Zembaty Z., Jankowski R., Cholewicki A., Szulc J. 2007. Trzęsienia ziemi w Polsce w 2004 roku. *Czasopismo Techniczne. Budownictwo* 104, 2B: 115-126.

¹Daniel Gawior*, **¹Małgorzata Wistuba**, **¹Ireneusz Malik**, **²Yongbo Tie**, **¹Patrycja Michalowicz**, **²Jintao Jiang**

¹ Katedra Rekonstrukcji Środowiska Geograficznego, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski w Katowicach

² Chengdu Centre of China Geological Survey, Chengdu University of Technology, Chiny
*danielgawior@gmail.com