

Sygnal klimatyczny w przyrostach rocznych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w Bieszczadach

Longina Chojnacka-Ożga, Wojciech Ożga

Abstrakt. Badania przeprowadzono w 8 starych drzewostanach bukowych rosnących w Bieszczadach na wysokości od 550 do 950 m n.p.m. Analiza dendrochronologiczna objęła okres 1840–2010, a analiza dendroklimatologiczna lata 1900–2010. Chronologie stanowiskowe i lokalne buka cechowały się dość dużym podobieństwem wzorca przyrostowego. Różnice między nimi były związane z gradientem wysokości oraz odległości. W szerokościach słoju buka zaobserwowano wysokie wartości czułości, co świadczy o silnej reakcji tego gatunku na czynniki środowiskowe. Na stanowiskach niżej położonych wyraźnym sygnałem klimatycznym była susza w czerwcu i/lub lipcu połączona z wysoką temperaturą powietrza. Dostępność wody w tym okresie jest tu czynnikiem determinującym. Na terenach położonych powyżej 700 m n.p.m. takim czynnikiem jest temperatura powietrza większości miesięcy w ciągu roku. Wspólnym elementem relacji przyrost–klimat dla wszystkich chronologii był wpływ temperatury miesięcy zimowych. Na obszarach położonych wyżej reakcja na warunki środowiskowe była silniejsza, co związane jest z większą częstością występowania czynników redukujących przyrost. Sygnal klimatyczny był stabilny w czasie.

Słowa kluczowe: *Fagus sylvatica*, przyrost roczny, dendroklimatologia, Bieszczady

Abstract. Climate signal in tree ring width of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Bieszczady Mountains. Studies were conducted in eight old beech stands between 550 and 950 m a.s.l. in the Bieszczady Mountains (SE Poland). The dendrochronological analysis covered the period 1840–2010, while dendroclimatological one included the period 1900–2010. Site and local chronologies showed high similarity of incremental pattern. The differences between them were related to the gradient of elevation and distance. A high sensitivity in tree-ring widths reflects a sensible reaction to environmental factors. At low altitude sites, drought in June–July period, accompanied by high temperature, had a clear climatic signal. Availability of water during this period is the limiting factor. At high altitude sites (above 700 m a.s.l.) such factor was the air temperature. Winter temperature was the common element in climate – growth relation for all chronology. At high altitude sites response to environmental conditions was stronger, which is associated with a higher incidence of factors reducing growth. Climatic signal was stable in time.

Key words: common beech, free-ring; dendroclimatology, south-eastern Poland

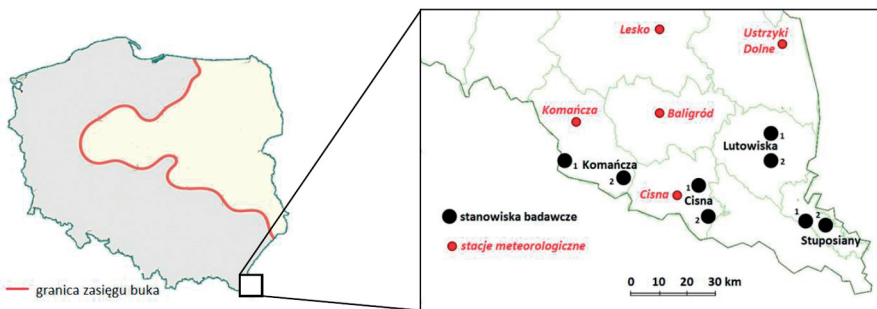
Wstęp

Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) jest podstawowym gatunkiem lasotwórczym w Bieszczadach, zajmuje tu ponad 40% powierzchni leśnej. Występuje na terenach od 400 m n.p.m. aż po górną granicę lasu na wysokości 1260 m n.p.m. Tworzy lite drzewostany bukowe oraz bukowo-jodłowe z udziałem jawora i świerka. Zachodząca wraz z wysokością zmiana warunków środowiskowych znajduje swoje odzwierciedlenie w zróżnicowaniu cech drzew. Dotychczasowe badania dendroklimatologiczne buka zwyczajnego wskazują na duże zróżnicowanie przestrzenne relacji przyrost grubości buka–klimat (Chojnacka-Ożga 2002; Chojnacka–Ożga i Ożga 2005, 2012a, b; Dittmar i in. 2003; Feliksik i Wilczyński 1997; Feliksik i in. 2000; Fillippo i in. 2007; Garcia- Suarez i in. 2009; Koprowski 2006; Opała 2009; Piovesan i in. 2003; Wilczyński i Gołąb 2001, Wilczyński i Małek 2000). Relacje te zależne są od lokalizacji geograficznej, wysokości nad poziomem morza oraz wystawy zboczy.

Celem pracy było określenie czasowej i przestrzennej zmienności sygnału klimatycznego w przyrostach buka zwyczajnego w Bieszczadach, rosnącego na różnych wysokościach nad poziomem morza.

Teren badań

Badania prowadzono w jednolitych drzewostanach bukowych położonych na terenie 4 bieszczadzkich nadleśnictw (ryc. 1, tab. 1). Wyznaczono 8 stanowisk badawczych (po 2 w każdym nadleśnictwie), zróżnicowanych pod względem hipsometrycznym. Wszystkie stanowiska znajdowały się na siedlisku lasu górskiego świeżego i reprezentowały zespół żyźnej buczyny karpackiej (*Dentario glandulosae Fagetum*). Drzewostany, w których prowadzono badania, były przeważnie wielowiekowe, dwu- lub trzygeneracyjne. Pierwsze pokolenie stanowiły stare, ponad 200-letnie buki, rosnące w dużym oddaleniu od siebie. Między nimi rosło drugie pokolenie, a w lukach – trzecie pokolenie. W drzewostanach tych nie prowadzono planowej gospodarki leśnej, skutkiem czego rosnące tu buki odznaczają się nieregularnym wzrostem, zależnym w dużym stopniu od warunków świetlnych, w jakich rosły.



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych
Fig. 1. Location of the study plots

Tab. 1. Charakterystyka powierzchni badawczych
Table 1. Characteristic of the study plots

Stanowisko badawcze	Kod	Nr oddziału	Wysokość n.p.m.	Ekspozycja zboczy	Zwarcie	Struktura drzewostanu
Lutowiska 1	PFsLt1	49	550	N-NW	0,7	wielopiętrowa
Lutowiska2	PFsLt2	96c	640-660	N-NW	0,7	wielopiętrowa
Stuposiany1	PFsSt1	156c	700-710	N-N E	0,7	wielopiętrowa
Stuposiany2	PFsSt2	160a	730-750	N-NW	0,7	wielopiętrowa
Komańcza 1	PFsKm1	127a	750-760	N-NW	0,8	wielopiętrowa
Komańcza 2	PFsKm2	76a	770-800	N-NW	0,8	wielopiętrowa
Cisna 1	PFsCs1	122a	880-900	N-NW	0,7	wielopiętrowa
Cisna 2	PFsCs2	86l	940-950	N-NW	0,7	wielopiętrowa

Material i metody

Na każdym stanowisku badawczym wyznaczono 25 drzew próbnych, wybranych zgodnie ze strategią EKO (Zielski i Krapiec 2004). Z każdego drzewa, z wysokości 1,3 m, pobrano świdrem Presslera po 2 wywierty dordzeniowe. Wywierty poddano standardowej preparatyce, następnie zmierzono szerokości słoju rocznych i utworzono dla każdego drzewa sekwencje osobnicze. Wykorzystano do tego programy CooRecorder i CDendro (www.cybis.se). Łącznie utworzono 200 sekwencji osobniczych. Sekwencje te poddano weryfikacji. W obrębie każdego stanowiska sprawdzono poprawność datowania oraz homogeniczność ciągów pomiarowych (program CO-FECHA z pakietu DPL (Holmes 1999)). Serie o najniższych współczynnikach korelacji liniowej i niezgodności przebiegu odrzucono z dalszej analizy (łącznie 10 serii).

Dla każdego stanowiska opracowano chronologię: rzeczywistą, standardową i rezydualną (program ARSTAN z pakietu DPL (Holmes 1999)). W procesie standaryzacji zastosowano filtr 64-letni. Chronologie poddano analizie wzajemnego podobieństwa, posługując się współczynnikiem zgodności GI, wartością t , współczynnikiem korelacji, testem istotności różnic średnich. Analizy te wykonano dwustopniowo. W pierwszym etapie porównano chronologie stanowiskowe reprezentujące powierzchnie w danym nadleśnictwie. W przypadku zgodności utworzono chronologie dla nadleśnictw, które porównywano w drugim etapie. Analizy przeprowadzono dla okresu 1840–2010 reprezentowanego przez wszystkie chronologie. Chronologie oznaczono kodami 5-literowymi, trzy pierwsze oznaczają kraj i gatunek (PFs), dwie następne – miejsce pochodzenia.

Dla każdego nadleśnictwa określono relacje klimat–przyrost radialny buka, stosując matematyczny model funkcji odpowiedzi (program RESPO (Holmes 1999)). Relacje te określono dla lat 1900–2010. Jako parametry przyrostowe zastosowano wartości chronologii rezydualnych, a jako parametry klimatyczne uśrednioną serię zweryfikowanych danych z pięciu lokalnych stacji meteorologicznych położonych na terenie Bieszczadów (ryc. 1). Uśrednienie w postaci ciągów dla regionu (programy MET i HOM (Holmes 1999)) pozwoliło na wypełnienie „luk” w seriach danych ze stacji lokalnych. Dane klimatyczne (średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów) zostały pozyskane z Bazy Danych i Archiwum IMGW. Zakres zmiennych klimatycznych obejmował 15 miesięcy – od lipca roku poprzedzającego

formowanie się słoja do września roku tworzenia się przyrostu. Stabilność sygnału klimatycznego analizowano metodą moving response function w 60-letnim przedziale czasowym (Biondi 1997; Garcia-Suarez i in. 2009). Lata wskaźnikowe wyznaczono, przyjmując minimalny próg zgodności 80% przy minimalnej liczbie 10 drzew dla powierzchni (program WEISER (Gonzalez 2001)).

Wyniki

Stwierdzono dużą zgodność rytmu przyrostowego chronologii stanowiskowych (wartość $GI > 75\%$ dla okresu ponad 130 lat, wartość $t > 8,7$). Dało to podstawy do budowy 4 chronologii lokalnych reprezentujących drzewostany bukowe w poszczególnych nadleśnictwach (tab. 2). Badane serie przyrostowe buka cechowały się wysokimi wartościami średniej czułości ($> 0,34$), co świadczy o silnej reakcji buka na czynniki środowiskowe. Wartości te wzrastały wraz z wysokością nad poziomem morza (tab. 2). Były one wyższe w przypadku chronologii rzeczywistych. Chronologie lokalne cechowały się dość dużym podobieństwem wzorca przyrostowego (tab. 3, ryc. 2). Różnice między wzorami przyrostowymi były związane z gradientem wysokości oraz odległości.

Tab. 2. Wybrane charakterystyki chronologii lokalnych buka

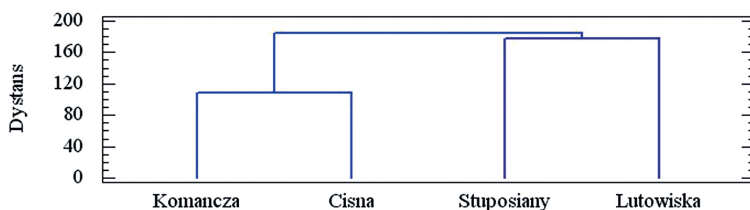
Table 2. Characteristic of beech chronology

Charakterystyki	Lutowiska	Stuposiany	Komańcza	Cisna
Oznaczenie chronologii	PFsLt	PFsSt	PFsKm	PFsCs
Długość chronologii	1840 – 2010	1840 – 2010	1800 – 2011	1800 – 2011
Liczba dendrogramów wchodzących w skład chronologii	47 (Lt1-23; Lt2-22)	48 (St1-25; St2-23)	48 (Km1-24; Km2-24)	47 (Cs1-25; Cs2-22)
Chronologia rzeczywista				
Średni przyrost roczny [mm]	1,98	1,79	1,41	1,32
Odchylenie standardowe	0,602	0,599	0,648	0,531
Autokorelacja	0,674	0,687	0,772	0,750
Chronologia standaryzowana				
Średnia czułość serii	0,347	0,369	0,380	0,387
Odchylenie standardowe	0,257	0,267	0,304	0,312
Autokorelacja	0,400	0,298	0,257	0,124

Tab. 3. Podobieństwo przebiegu chronologii lokalnych buka w Bieszczadach mierzone wartością t i współczynnikiem $GI\%$ (chronologie standardowe)

Table 3. The similarity of the local standard chronologies as measured with t and $GI\%$ values

GI/t	PFsLt	PFsSt	PFsKm	PFsCs
PFsLt	X	64%	64%	64%
PFsSt	3,7	X	65%	69%
PFsKm	3,7	4,0	X	80%
PFsCs	4,1	4,4	10,1	X



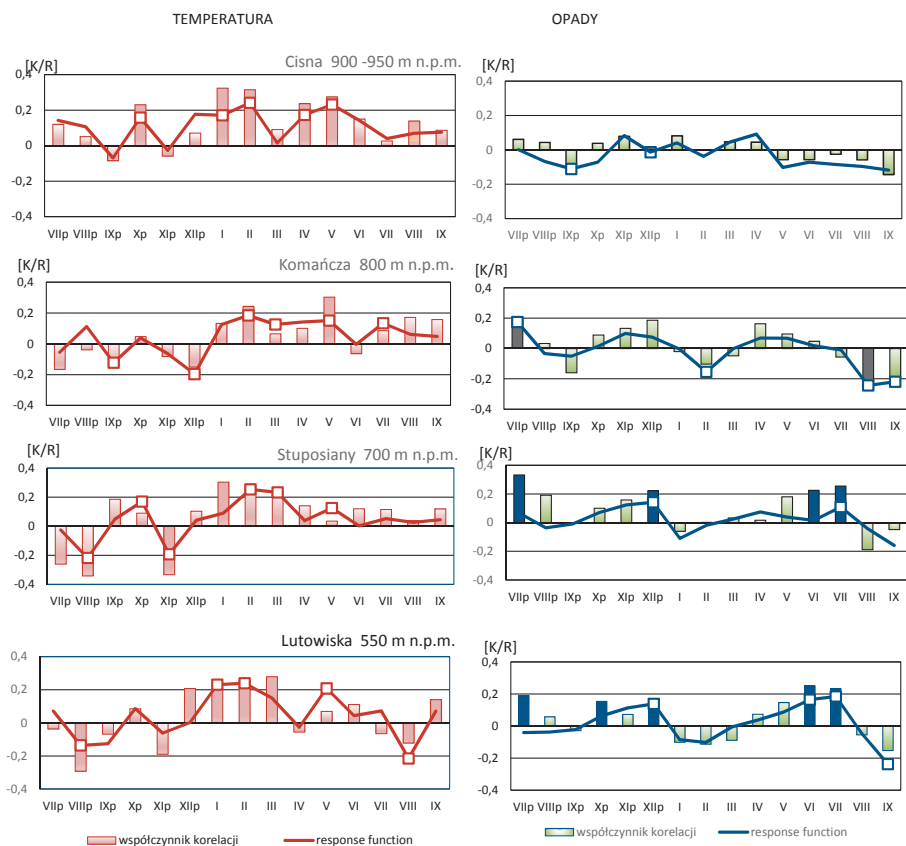
Ryc. 2. Dendrogram podobieństwa chronologii lokalnych (chronologie standardowe)
 Fig. 2. Dendrogram of standard chronologies

Relacje klimat–przyrost radialny buka badano wzdłuż gradientu wysokości pomiędzy 550 a 950 m n.p.m. (ryc. 3 i 4). Wyniki analiz wskazują na dużą rolę czynnika termicznego w kształtowaniu tych relacji. Wszystkie serie przyrostowe wykazały pozytywną zależność od temperatury powietrza w okresie miesięcy zimowych i wiosennych poprzedzających formowanie się słoja. W okresie wegetacyjnym relacje temperatura powietrza–przyrost były zróżnicowane zależnie od wysokości nad poziomem morza. Na wysokościach powyżej 700 m n.p.m. pozytywny wpływ temperatury powietrza zaznaczał się przez cały czas formowania się słoja, od maja do początku września. Na obszarach położonych niżej korzystny wpływ temperatury powietrza widoczny jest przede wszystkim w maju, począwszy od lipca wyższa temperatura powietrza staje się czynnikiem ograniczającym przyrost.

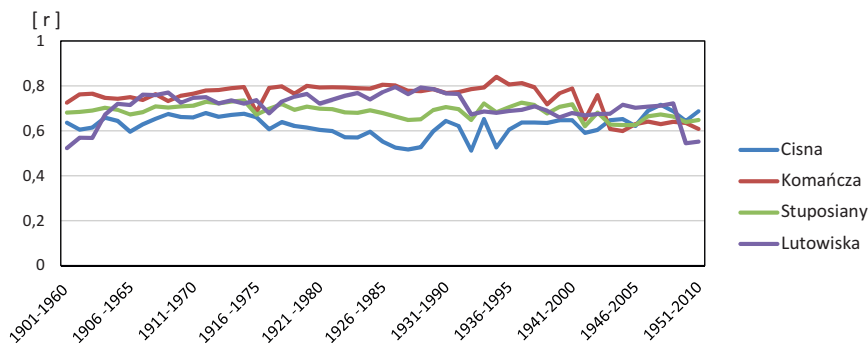
Rola opadów atmosferycznych w kształtowaniu przyrostów buka była mniej czytelna i w większym stopniu niż temperatura zależna od wysokości nad poziomem morza. Na obszarach położonych niżej (550–750 m n.p.m.) istotne znaczenie mają opady w okresie wczesnego lata (czerwiec–lipiec). Niskie opady w tym okresie, którym z reguły towarzyszą wysokie temperatury powietrza, redukują szerokości słojów rocznych. Na obszarach położonych powyżej 750 m n.p.m. większe opady, zwłaszcza latem, mogą być czynnikiem ograniczającym przyrost (ryc. 3).

Wartości współczynników korelacji między szerokością słojów a analizowanymi elementami klimatycznymi wynosiły dla całego okresu badań od 0,68 do 0,81. Stwierdzono, że wartości te, obliczane ruchomą funkcją odpowiedzi, były dość stabilne w czasie na wszystkich badanych stanowiskach (ryc. 4).

Sygnał klimatyczny niekorzystnych dla wzrostu buka warunków pogodowych był silniejszy na stanowiskach położonych powyżej 700 m n.p.m. Liczba lat negatywnych wzrastała wraz z wysokością i wynosiła od 25 na stanowisku położonym najniżej (Lutowiska) do 38 na stanowisku położonym najwyżej (Cisna). Na niżej położonych powierzchniach silny negatywny wpływ na reakcję przyrostową miało połączenie suszy letniej z mrozami zimowymi. Znaczne obniżenie przyrostu występowało, gdy po suchym lecie następowała mroźna zima lub po mroźnej zimie suche lato (np. lata 1929/30, 1941/42 i 1963/64). Czynnikiem znacznie ograniczającymi przyrosty były też długotrwałe susze letnie połączone z wysoką temperaturą (1917, 1918 i 2002) oraz późne przymrozki wiosenne (1952, 1978, 1980 i 1995). Na powierzchniach położonych wyżej czynnikiem znacznie redukującym szerokość słoja była ekstremalnie niska temperatura powietrza w okresie wegetacyjnym (np. 1902, 1907, 1927, 1935, 1943, 1952, 1974, 1978, 1984 i 1993).



Ryc. 3. Wyniki analizy response function. Słupki – współczynniki korelacji (K), linia – współczynniki regresji (R). Wartości istotne statystycznie ($\alpha = 0,05$) – zaciemnione słupki i jasne kwadraty
Fig. 3. Results of response function. Bars – coefficients of correlation (K), solid line – coefficients of multiple regression (R). Values statistically significant for $\alpha = 0.05$ – darker bars and white squares



Ryc. 4. Wartości współczynnika korelacji między zmiennymi klimatycznymi a chronologiami lokalnymi buka obliczane w oknie 60-letnim

Fig. 4. Moving correlation function coefficients calculated between climatic variables and local chronologies in 60-year sliding window

Dyskusja

Badania dendrochronologiczne przeprowadzone w wybranych drzewostanach bukowych w Bieszczadach umożliwiły zbudowanie chronologii lokalnych buka obejmujących ponad 200 lat. Podobieństwo ich przebiegu daje podstawy do zbudowania pierwszej chronologii regionalnej buka rosnącego w Bieszczadach. Do wyznaczenia obszaru jednorodnego pod względem dendrochronologicznym konieczne są dalsze badania.

Wysokie wartości średniej czułości wskazują, że we wszystkich badanych drzewostanach szerokości słoików buka silnie odzwierciedlały reakcje na czynniki środowiskowe. Ta cecha sprawia, że buk doskonale nadaje się do analiz dendroekologicznych, na co wskazali m.in. Dittmar i in. (2003). Czułość jest szczególnie wysoka, jeśli jeden z czynników limitujących przyrost cechuje się dużą zmiennością z roku na rok. Jednak, w zależności od miejsca, buk może być bardzo wrażliwy na różne czynniki.

Z przeprowadzonych badań wynika, że elementem środowiska, różnicującym relacje klimat – przyrost buka w Bieszczadach jest wysokość nad poziomem morza. Na obszarach położonych wyżej głównym czynnikiem ograniczającym przyrost jest niska temperatura powietrza większości miesięcy w ciągu roku. Na terenach położonych niżej (500–660 m n.p.m.) szerokości słoików buka są limitowane przez dostępność wody i wysoką temperaturę powietrza w okresie wegetacyjnym. Podobne zależności stwierdzono dla drzewostanów bukowych w południowych Niemczech (Dittmar i in. 2003) i Austrii (Filippo i in. 2007). Gradient wysokościowy kształtuje również częstość występowania niekorzystnych dla buka warunków klimatycznych. Im wyżej nad poziomem morza, tym większa częstość występowania czynników redukujących przyrost, przede wszystkim późnym przymrozków oraz bardzo chłodnego okresu wegetacyjnego. Skutkuje to występowaniem większej liczby negatywnych lat wskaźnikowych.

Znane z literatury duże zróżnicowanie przestrzenne relacji klimat–przyrost utrudnia porównywanie otrzymanych w niniejszej pracy wyników z pracami innych autorów (Feliksik

i Wilczyński 1997; Wilczyński i Gołąb 2001, Opała 2009). Różnice w reakcji drzew wynikają zarówno z gradientu odległościowego, wysokościowego, jak i różnych okresów analizy. Dla buków z obszaru południowej Polski wspólnym elementem relacji klimat–przyrost jest negatywny wpływ temperatur zimowych. Bardzo mroźne, długotrwałe zimy są w większości przypadków czynnikiem opóźniającym i osłabiającym działalność kambium w nadchodzącym okresie wegetacyjnym i tym samym ograniczającym przyrost. Podobne zależności stwierdzono dla drzewostanów bukowych w Alpach (Piovesan i in. 2007).

Wnioski

- Chronologie stanowiskowe i lokalne buka w Bieszczadach cechowały się dość dużym podobieństwem wzorca przyrostowego. Różnice między wzorami przyrostowymi były związane z gradientem wysokości oraz odległości.
- Wysoka czułość zaobserwowana w szerokościach słoju buka w Bieszczadach świadczy o silnej reakcji buka na czynniki środowiskowe. Daje to możliwości zastosowania buka w badaniach dendroekologicznych w tym regionie.
- Relacje klimat–przyrost badane wzdłuż gradientu wysokości wykazały, że na stanowiskach niżej położonych, w piętrze pogórza, głównym sygnałem klimatycznym w seriach przyrostowych była susza w czerwcu i/lub lipcu, połączona z wysokimi temperaturami powietrza w tych miesiącach. Sygnał ten ilustruje zależność szerokości słoja od dostępności wody w tym okresie. Na terenach górskich czynnikiem limitującym przyrost była temperatura powietrza.
- Na obszarach powyżej 700 m n.p.m. reakcje na warunki środowiskowe były silniejsze, co związane jest z większą częstością występowania czynników redukujących przyrost, przede wszystkim późnych przymrozków oraz bardzo chłodnego okresu wegetacyjnego.

Literatura

- Biondi F. 1997. Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, 15: 139–150.
- Chojnacka-Ożga L. 2002. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych buka zwyczajnego rosnącego w Polsce północnej. *Sylwan*, 146 (6): 75–87.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2005. Dendroclimatological analysis of European beech (*Fagus sylvatica* L.) from the Bieszczady Mountains. W: Sarlatto M., Di Filippo A., Piovesan G., Romagnoli M. (red.). Abstracts of EuroDendro 2005 – International Conference of Dendrochronology: 45.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2012a. Wpływ ekstremalnych wartości temperatury powietrza na rytmikę przyrostów radialnych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) rosnącego na terenie LZD w Rogowie. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (1): 129–135.
- Chojnacka-Ożga L., Ożga W. 2012b. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na przyrost radialny buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) rosnącego na terenie LZD w Rogowie. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (1): 136–144.
- Dittmar C.H., Zech W., Elling W. 2003. Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a dendroecological study. *For. Ecol. Manage.* 173: 53–78.

- Feliksik E., Wilczyński S. 1997. Dendroclimatological characterisation of beech from the Beskidy Zachodnie Mountains. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. 326. Leśn. 26: 55–62.
- Feliksik E., Wilczyński S., Podlaski R. 2000. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych sosny, jodły i buka ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Sylwan, 144 (9): 53–63.
- Filippo A., Biondi F., Cufar K., Luis M., Grabner M., Maugeri M., Presutti Saba E., Schirone B., Piovesan G. 2007. Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring Network. J. Biogeogr. 34: 1873–1892.
- Garcia-Suarez A., Butler C., Baillieb M. 2009. Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: A multi-species approach. Dendrochronologia, 27: 183–198.
- Gonzalez I.G. 2001. Weiser: a computer program to identify event and pointer years in dendrochronological series. Dendrochronologia, 19 (2): 239–244.
- Holmes R. 1999. Dendrochronology Program Library (DPL) Users Manual LTRR University of Arizona, Tucson.
- Koprowski M. 2006. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w Nadleśnictwie Iława. Sylwan, 150 (5): 44–50.
- Opala M. 2009. Wpływ warunków klimatycznych na kształtowanie się szerokości przyrostu rocznego *Fagus sylvatica*, *Pinus silvestris* i *Abies alba* z Ojcowskiego Parku Narodowego, Prądnik. Prace Muz. Szafera. 19: 231–230.
- Piovesan G., Bernabei M., Di Filippo A., Romagnoli M., Schirone B. 2003. A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old growth forests of Central Italy. Dendrochronologia, 21 (1): 13–22.
- Wilczyński S., Gołąb J. 2001. Sygnał klimatyczny w słojach drewna buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) z Beskidu Wyspowego. Sylwan, 145 (10): 61–72.
- Wilczyński S., Małek S. 2000. Dendroclimatological characterisation of beech (*Fagus sylvatica* L.) from Chełmowa Góra in Ojców National Park and Jaworzyna Krynicka. W: Monitoring of processes occurring in beech stands in the changing environments conditions on the example of the Ojców National Park and the Poprad Landscape Park. Kraków: 57–67.
- Zielski A., Krąpiec M. 2004. Dendrochronologia. Wyd. PWN Warszawa.

Longina Chojnacka-Ożga, Wojciech Ożga

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie,
Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu
longina_chojnacka_ozga@sggw.pl
wojciech.ozga@wl.sggw.pl