

Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na przyrost radialny buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) rosnącego na terenie LZD w Rogowie

Longina Chojnacka-Ożga, Wojciech Ożga

Abstrakt. Praca dotyczy uwarunkowań termiczno-pluwialnych przyrostu radialnego buka rosnącego na wschodniej granicy zasięgu, na terenie LZD w Rogowie. Analiza dendrochronologiczna objęła lata 1810-2010, natomiast dendroklimatologiczna lata 1900-2010. Stwierdzono, że istotny wpływ na szerokość słoja rocznego mają warunki termiczne zimy (luty), wiosny (kwiecień, maj) oraz opady okresu wegetacyjnego (czerwiec, lipiec). Istotny wpływ, chociaż mniejszy od poprzednich, wywierają warunki termiczno-pluwialne późnego lata i jesieni roku poprzedzającego przyrost.

Słowa kluczowe: buk zwyczajny, przyrost grubości, dendroklimatologia

Abstract. The paper deals with the influence of thermal and pluvial conditions on radial increment of beech growing on the eastern border of their range in Rogow. The dendrochronological analysis covered the years 1810-2010 and dendroclimatological years 1900-2010. On the basis of the response function analysis it was demonstrated that there was a considerable impact of winter temperature (February), spring temperature (April, May) and June/July precipitation on annual growth of ring width. A significant effect, although smaller than previous, have climatic conditions of late summer and autumn of the year preceding the increase

Keywords: common beech, tree ring width, dendroclimatology,

Wstęp

Buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.) zajmuje w Polsce około 5% powierzchni leśnej. Rośnie na dość dużym obszarze, w szerokim spektrum ekologicznym i zarazem w regionach o silnie zanieczyszczonym powietrzu. W przyrostach rocznych dobrze odzwierciedla warunki środowiskowe, a zwłaszcza ekstremalne warunki klimatyczne, co czyni go przydatnym do badań dendroklimatologicznych i dendroekologicznych. W przeciwieństwie do krajów Europy Zachodniej (Dittmar et al. 2003, 2006; Eckstein et al. 1984; Gruber 2001; Holmsgaard 1955; Peters 1997; Piovesan et al. 2003), w Polsce buk jest gatunkiem stosunkowo mało poznany pod względem dendroklimatycznym. Badania takie prowadzono głównie w Polsce południowej (Feliksik et al. 1997, 2000; Opała 2009; Podlaski 2004; Wilczyński, Gołąb 2001) oraz wyspowo w Polsce północnej (Chojnacka-Ożga 2002a, b; Koprowski 2006).

Celem pracy było poznanie wpływu warunków termiczno-pluwialnych na przyrost grubości buka rosnącego w środkowej części kraju na wschodniej granicy zasięgu na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Rogowie.

Material i metody

Badania przeprowadzono na terenie LZD w Rogowie na trzech powierzchniach badawczych położonych w obrębie Rezerwatu Bukowiec (2 powierzchnie) oraz Rezerwatu Kwaśna Buczyzna.

Warunki siedliskowe wszystkich powierzchni były podobne: teren równinny około 185 m n.p.m., gleba płowa, siedlisko Lasu świeżego, zwarcie 0,6-0,7, zbiorowisko roślinne *Luzulo pilosae-Fagetum*. Czynnikiem różnicującym badane drzewostany był wiek, wynoszący ok. 150 lat w rezerwacie Kwaśna Buczyna i 170-200 w rezerwacie Bukowiec.

Materiał badawczy stanowiły wywierty dordzeniowe pobrane ze 120 drzew: po 40 drzew z każdej powierzchni, po 2 próby z każdego drzewa. Drzewa wybrano zgodnie ze strategią EKO (Zielski, Krąpiec 2004), a próby pobrano świdrem Presslera z wysokości 1,3 m. Pozy-skane wywierty poddano standardowej preparatyce, a następnie zmierzono szerokości przyrostów rocznych (program CDendro). Ponieważ buk jest gatunkiem cechującym się dużą indywidualnością wzoru przyrostowego przyjęto, że analizy dendrochronologiczne będą przeprowadzane oddzielnie dla każdej powierzchni (stanowiska), a w dalszej kolejności będą dokonywane analizy wzajemnego podobieństwa przyrostów buka na badanych powierzchniach. Zgodność przebiegu chronologii stanowisk warunkowała utworzenie chronologii lokalnej buka w Rogowie. Dla każdego stanowiska dokonano weryfikacji serii pomiarowych (program COFECHA, Holmes 1999), serie o najniższym wskaźniku korelacji i niezgodności przebiegu dendrogramów odrzucono z dalszej analizy. W dalszej kolejności zbudowano chronologie ze stanowisk B1 (Bukowiec 1), B2 (Bukowiec 2), KB (Kwaśna Buczyna). Opracowano chronologie rzeczywiste, standardowe oraz rezydualne (program ARSTAN z pakietu DPL, Holmes 1999). Analizę wzajemnego podobieństwa chronologii stanowisk dokonano posługując się współczynnikiem zgodności GL (Eckstein, Bauch 1969), wartością t oraz współczynnikiem korelacji ($\alpha=0,05$). Utworzoną chronologię lokalną oznaczono sygnaturą ROG.

Relacje klimat-przyrost zbadano stosując matematyczny model response function (Zielski, Krąpiec 2004). Parametrami przyrostowymi, wykorzystanymi w tej analizie były wartości chronologii rezydualnej, a klimatycznymi średnie miesięczne wartości temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów z okresu 1900-2010. Dane klimatyczne pochodziły ze stacji meteorologicznej w Rogowie, oddalonej o 10 km od terenu badań. Zostały one sprawdzone pod względem jednorodności ciągów chronologicznych, a braki w seriach uzupełnione przez interpolacje ze stacjami referencyjnymi z obszarów homogenicznych pod względem klimatycznym. Zakres zmiennych klimatycznych obejmował 15 miesięcy: od lipca roku poprzedzającego formowanie się słoja do września roku tworzenia się przyrostu. Relacje klimat-przyrost zbadano dla okresu 1900-2010 oraz w okresach 50-letnich, zachodzących na siebie w połowie, co pozwoliło na przeanalizowanie zmian wpływu tych warunków w badanym okresie. Do przeprowadzenia obliczeń zastosowano program RESPO (Holmes 1999). W dalszej kolejności obliczono współczynniki zgodności GL między krzywą przyrostową a wybranymi na podstawie analizy response function, parametrami klimatycznymi. Dodatkowo przeprowadzono analizę lat wskaźnikowych, przy minimalnym progu zgodności 70% z minimum 10 drzew na każdej powierzchni (program WEISER, Gonzalez 2001).

Wyniki

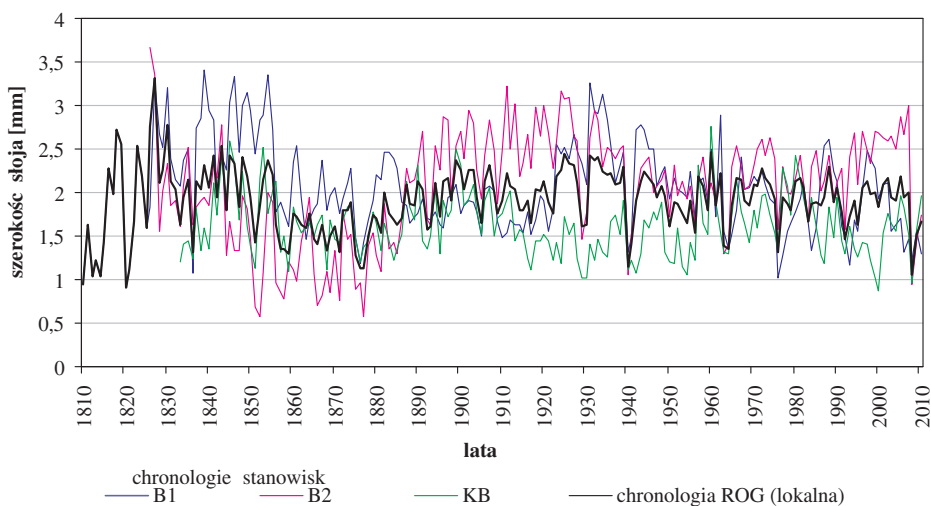
Dla każdego stanowiska badawczego utworzono 40 sekwencji osobniczych, które poddano weryfikacji. Na każdym stanowisku wystąpiły serie pomiarowe wykazujące silny indywidualny wzór przyrostowy. W związku z tym wynikowe chronologie zostały utworzone w przypadku stanowiska B1 z 30 dendroskal indywidualnych, B2 — 27, a KB — z 23 (tab. 1, ryc. 1). Najdłuższą chronologię, liczącą 200 lat, zbudowano dla stanowiska Bukowiec 1, najkrótszą (170 lat) — dla stanowiska Kwaśna Buczyna.

Wartości współczynnika zgodności chronologii stanowisk wynosiły powyżej 65%, wartości t powyżej 4, a współczynnik korelacji był istotny statystycznie ($\alpha=0,05$), co dało podstawę do budowy 200-letniej chronologii lokalnej buka ROG (ryc. 2). Podstawowe charakterystyki tej chro-

nologii (tab. 2) wskazują na zasadność wykorzystania do analiz dendroklimatologicznych chronologii rezydualnej.

Tab. 1. Charakterystyki chronologii rzeczywistych buka ze stanowisk badawczych
Table 1. Characteristics of raw data site chronologies of beech

	Bukowiec 1	Bukowiec 2	Kwaśna Buczyna
Liczba dendroskał	30	27	23
Okres	1810-2010	1830-2010	1840-2010
Średni przyrost [cm]	2,28	2,43	2,55
Max [cm]	3,403	4,02	3,767
Min [cm]	0,906	0,57	0,87
Odch. standardowe	0,5473	0,4251	0,2325
Autokorelacja	0,6875	0,5963	0,432



Ryc. 1. Chronologie rzeczywiste buka z Rogowa: chronologie stanowisk B1, B2, KB oraz chronologia lokalna ROG

Fig. 1. Raw data site (B1, B2, KB) and local (ROG) chronologies of beech from Rogów

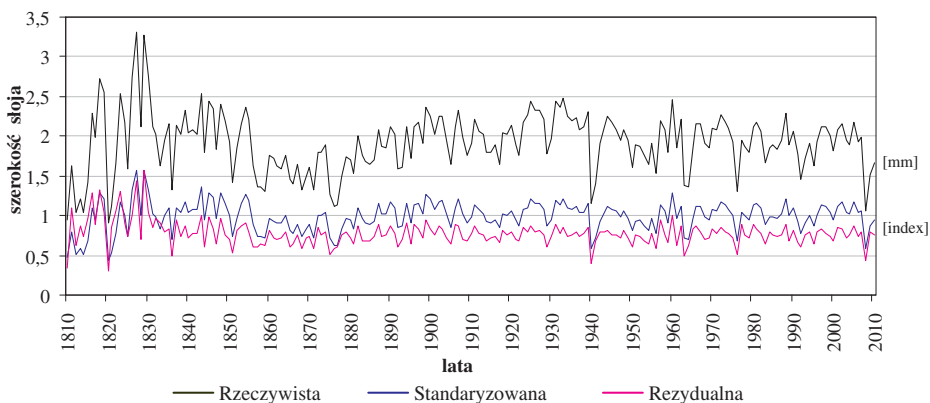
Tab. 2. Charakterystyki chronologii lokalnej buka z Rogowa
Table 2. Characteristic of beech chronology from the Rogów

Chronologia ROG	Średnia szerokość słoja	Odchylenie standardowe	Średnia wrażliwość	Autokorelacja
rzeczywista	2,35	0,3872	0,188	0,4438
standardowa	1,00	0,1993	0,1,993	0,3622
rezydualna	1,00	0,1729	0,231	-0,0438

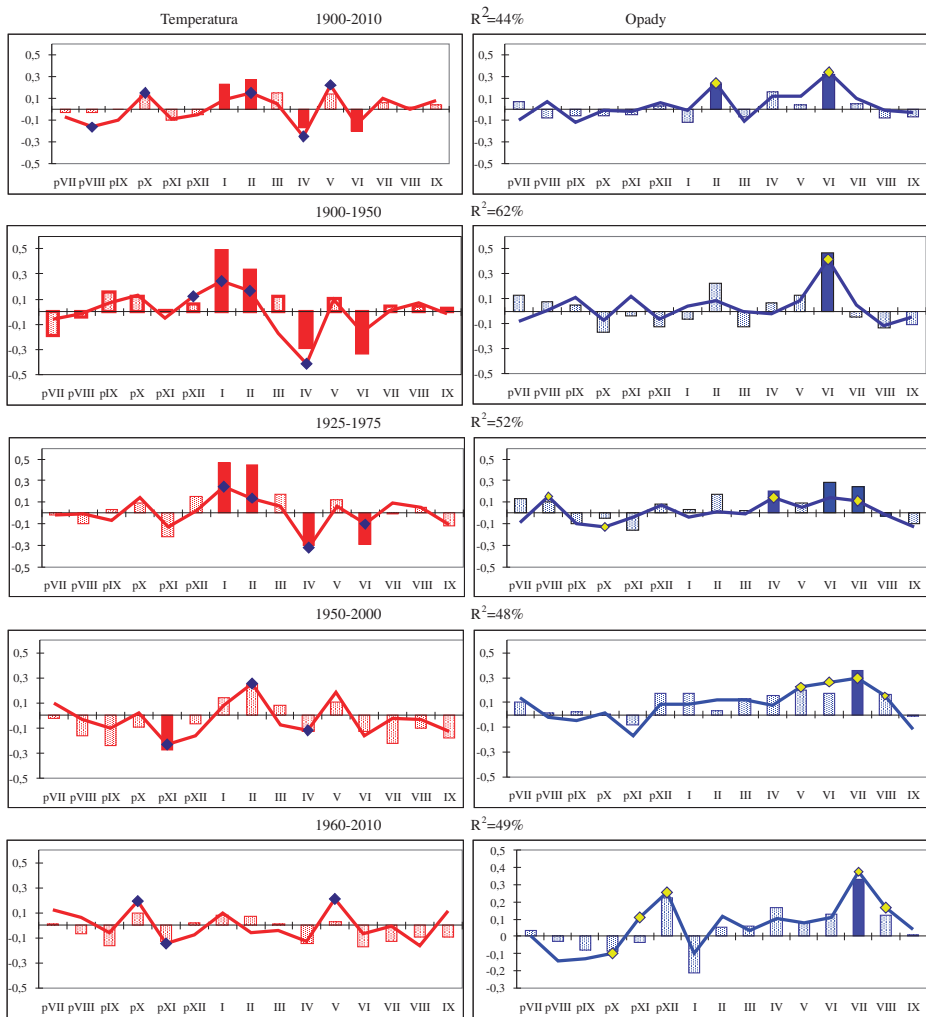
Analiza funkcji odpowiedzi wskazała, że warunki termiczno-pluwalne są jednym z czynników kształtujących coroczną zmienność przyrostów grubości buka w Rogowie. Ich udział dla całego okresu badań (1900-2010) wynosił 44,6%, w poszczególnych okresach 50-letnich wahał się od 48 do 62% (ryc. 3). Wpływ miały zarówno warunki klimatyczne okresu wegetacji jak i miesięcy go poprzedzających, przy czym wpływ ten ulegał zmianom w czasie. Dla całego okresu badań (1900-2010) dodatnie wartości współczynników regresji i korelacji stwierdzono dla warunków termicznych jesieni (październik), miesięcy zimowych (styczeń, luty) oraz początku okresu wegetacji (maj), negatywne natomiast w kwietniu i czerwcu bieżącego roku. Współczynniki regresji i korelacji dla sum opadów i szerokości słoju osiągnęły istotne statystycznie wartości dodatnie w przypadku czerwca oraz lutego.

W okresie 1900-1950 przyrost grubości był w większym stopniu kształtowany przez warunki termiczne niż opadowe. Świadczą o tym wartości współczynników korelacji i regresji, w przypadku temperatur istotne statystycznie wartości uzyskano dla grudnia poprzedniego roku, stycznia, lutego i kwietnia, w przypadku sum opadów tylko dla czerwca (ryc. 3). Począwszy od lat 50-tych XX w. stwierdzono zmniejszanie się zależności przyrostu buka od temperatur zimowych oraz zmianę zależności od warunków termicznych początku okresu wegetacji: wzrasta rola temperatury maja, zmniejsza się rola temperatury czerwca. Wzrasta także wyraźnie rola opadów w okresie wegetacyjnym, wartości współczynników regresji i korelacji wskazują, że mają one większe znaczenie niż warunki termiczne. W okresie 1960-2010 dla sum opadów dodatnie, istotne statystycznie, wartości uzyskano dla okresu wegetacyjnego (od maja do sierpnia) oraz listopada i grudnia poprzedniego roku, w przypadku temperatur dla października poprzedniego roku oraz maja. Wpływ temperatur miesięcy zimowych (lutego) jest istotny w okresie 1950-2000, natomiast nie zaznacza się w 1960-2010.

Stwierdzone powyżej relacje klimat-przyrost znalazły potwierdzenie w analizie opartej na współczynniku GL oraz wartości t. Wskaźniki podobieństwa przebiegu chronologii rezydualnej z temperaturą miesięcy zimowych (średnią stycznia i lutego oraz średnią lutego) dla okresu 1900-2010 wynosiły odpowiednio 65% i 69% (ryc. 4). W przypadku sum opadów okresu wegetacyjnego (miesiące maj, czerwiec, lipiec) wartość GL wynosiła 63%. Wartości t w każdym przypadku wynosiły powyżej 4.



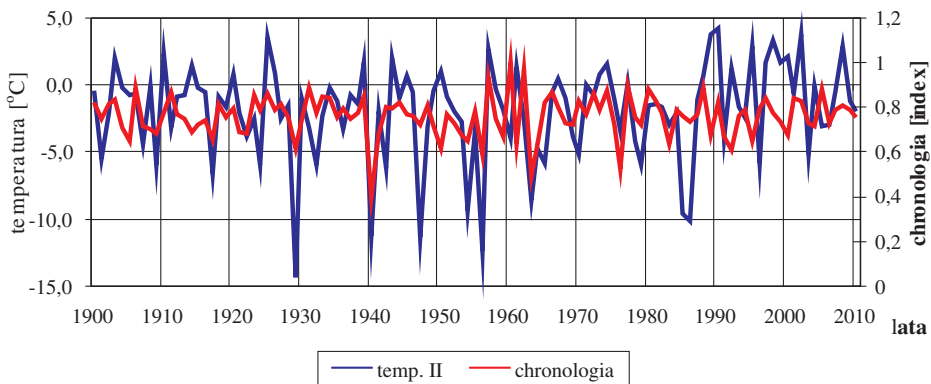
Ryc. 2. Chronologia lokalna buka (ROG) z LZD Rogów
Fig. 2. Local chronology ROG of beech from Rogów



Ryc. 3. Zależność przyrostów rocznych buka od temperatury i opadów — wyniki analizy korelacji (słupki) i regresji wielokrotnej „response function” (linia krzywa). Wartości istotne statystycznie ($\alpha = 0,05$) — ciemne słupki i znaczniki

Fig. 3. Dependence of annual increments of beech and temperature and precipitation — results of linear correlation (bars) and response function (lines). Values statistically significant ($\alpha = 0.05$) — darker bars and markers

Wyznaczono 18 lat wskaźnikowych: 11 negatywnych i 7 pozytywnych, wystąpiły one na wszystkich powierzchniach. Bardzo wąskimi przyrostami charakteryzowały się lata: 1905, 1917, 1940, 1947, 1956, 1963, 1964, 1983, 1992 i 2008. Ich występowanie było związane z różnymi czynnikami ograniczającymi przyrost: mroźną zimą, przymrozkami i długotrwałą suszą, występujących często łącznie w danym roku.



Ryc. 4. Porównanie chronologii rezydualnej i średniej temperatury lutego
Fig. 4. Comparison the residual chronology and the mean temperature in February

Dyskusja

Buk rosnący w Rogowie, na wschodniej granicy zasięgu osiąga przyrosty grubości zbliżone do drzew rosnących w zachodniej części kraju (Chojnacka-Oźga 2002a), co świadczy o jego dobrej adaptacji na tym terenie. Stwierdzone w niniejszej pracy relacje klimat-przyrost znajdują częściowe potwierdzenie w dotychczasowych analizach dendroklimatologicznych tego gatunku (Chojnacka-Oźga 2002a, b; Dietmar 2003; Eckstein et al. 1984; Koprowski 2006; Opała, 2009).

Pozytywny wpływ ciepłej jesieni roku poprzedzającego przyrost (październik) zaobserwowano zarówno u buków w północnej jak i południowej Polsce (Chojnacka-Oźga 2002b; Koprowski 2006; Feliksik et al. 2000), a także w północnych Niemczech (Makowka et al. 1991). Wytworzone w tym okresie substancje organiczne są odkładane w formie zapasów i mogą być wykorzystane do budowy drewna w przyszłym roku (Lachaud 1989). Stwierdzony w pracy pozytywny wpływ temperatury miesięcy zimowych na wielkość przyrostu koresponduje z wynikami uzyskanymi zarówno dla buków z południowej Polski (Opała 2009; Wilczyński et al. 2000), jak i Europy Zachodniej (Makowka et al. 1991; Z'Graggen 1992; Dittmar 2003; Piovesan 2003). Dla buka jako gatunku subatlantyckiego ciepły i wilgotny luty jest bardzo korzystny. Występujące wówczas stopniowe przenikanie wody do nie przemarzniętego gruntu, stymuluje zapas wody w glebie, co w efekcie może kompensować niedostatek opadów atmosferycznych w późniejszym okresie. Czynnikiem kształtującym warunki termiczno-pluwalne w tej porze roku jest w dużej mierze częstość napływu mas powietrza z nad Atlantyku. Analiza zależności przyrost-wskaźnik NAO wykazała istotne statystycznie korelacje między szerokością słoju a wartościami tego wskaźnika od grudnia do lutego ($r=0,336$). Podobne zależności między przyrostem buka a wskaźnikiem NAO stwierdził Piovesan (2000). Istotna rola warunków pogodowych od końca wiosny do lata, związana jest z wymaganiami cieplnymi i wilgotnościowymi buka w czasie formowania słoja. Cieplesza wiosna (koniec kwietnia/maj) powoduje, że formowanie słoja rozpoczyna się wcześniej, co może implikować powstanie szerszego słoja. Korzystny wpływ zwiększonych opadów atmosferycznych od maja do lipca wiąże się z występującym wówczas dużym zapotrzebowaniem buka na wodę. Podobne relacje stwierdzono u buków rosnących w północnej Polsce (Chojnacka-Oźga 2002b; Koprowski 2006) oraz w Niemczech (Makowka et al. 1991).

Wnioski

- Buk rosnący na terenie Rogowa, na wschodniej granicy zasięgu jest dobrze zaadaptowany do warunków środowiskowych.
- Analiza dendroklimatologiczna wykazała, że przyrost radialny buka kształtowany jest przez kompleksowe oddziaływanie warunków termicznych miesięcy zimowych (luty) i wiosennych (kwiecień, maj, czerwiec) oraz opadów okresu wegetacyjnego (od maja do lipca). Istotny wpływ, chociaż mniejszy od poprzednich, wywierają warunki termiczno-pluwialne późnego lata i jesieni roku poprzedzającego przyrost.
- Wpływ warunków termicznych ulegał zmianom w czasie. W pierwszej połowie XX wieku większą rolę w kształtowaniu wielkości przyrostu grubości miały warunki termiczne, w drugiej warunki opadowe. Począwszy od lat 50-tych XX w. stwierdzono zmniejszanie się zależności przyrostu buka od temperatur miesięcy zimowych.
- Wpływ warunków klimatycznych miesięcy poprzedzających przyrost może być modyfikowany zarówno pozytywnie jak i negatywnie przez warunki pogodowe okresu wegetacyjnego.

Literatura

- Chojnacka-Ożga L. 2002a. *Rytmika przyrostów radialnych buka zwyczajnego rosnącego w Polsce północnej*. Sylwan 146 (3): 51-62.
- Chojnacka-Ożga L. 2002b. *Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych buka zwyczajnego rosnącego w Polsce północnej*. Sylwan 146 (6): 75-87.
- Dittmar C., Zech W., Elling W. 2003. *Growth variations of Common beech *Fagus sylvatica* L. under different environmental conditions in Europe — a dendrological study*. For. Ecol. Manage. 173: 63-78.
- Dittmar C., Fricke W., Elling W. 2006. *Impact of late frost events on radial growth of common beech in Southern German.*, Eur. J. Forest Reseach. 125 :249-259.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. *Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischenverfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit*. Fortswiss. Centralbl. 88: 230-250.
- Eckstein D., Richter K., Aniol R., Quiehl F. 1984. *Dendroklimatologische Untersuchungen zum Buchensterben im südwestlichen Vogelsberg*. Fortswiss. Centralbl. 103 (4/5): 274-290.
- Felksik E., Wilczyński S. 1997. *Dendroclimatological characterisation of beech from the Beskidy Zachodnie Mountains*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 326. Leśnictwo, 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.
- Gruber F. 2001. *Top growth of adult beech trees (*Fagus sylvatica* L.) on a limestone stand (Göttingen/Söderich) in dependence upon climate factors. II: control of increment by weather factors*. Allgemeine Forst-und Jagdz. 172 (11): 193-202.
- 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. Tuscon.
- Holmsgaard E. 1955. *Arringsanalyser af dansker skovtraer*. Forstl. Forsrgsv. Danm. 22.
- Koprowski M. 2006. *Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) w Nadleśnictwie Hawa*. Sylwan 150 (5): 44-50.
- Lachaud S. 1989. *Participation of auksin and abscisic acid in the regulation of seasonal variation in cambial activity and xylogenesis*. Trees 3, s.25-137.
- Makowka I., Stickan W., Worbes M. 1991 *Jahrringbreitenmessung an Buchen im Soling: Analyse des Klimaeinflusses auf den jährlichen Holzzuwachs*. Ber. Forsch. Reihe Bd 18: 83-159.
- Opala M. 2009. *Wpływ warunków klimatycznych na kształtowanie się szerokości przyrostu rocznego *Fagus sylvatica*, *Pinus silvestris* i *Abies alba* z Ojcowskiego Parku Narodowego, Prądnki*. Prace Muz. Szafera 19: 231-230.
- Peters R. 1997. *Beech Forests*. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht-Boston-London.
- 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.

- Piovesan G., Schirone B. 2000. *Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (Fagus sylvatica L.)*. Biometeorol 44: 121-127.
- Wilczyński S., Gołąb J. 2001. *Sygnal klimatyczny w słojach drewna buka zwyczajnego (Fagus sylvatica L.) z Beskidu Wyspowego*. Sylwan 145 (10): 61-72.
- Zielski A., Krapiec M. 2004. *Dendrochronologia*. wyd. PWN, Warszawa.
- Z'Graggen S. 1992 *Dendrohistometrisch-klimatologische Unterusuchung an buchen (Fagus sylvatica L.)*. Diss. Univ. Basel.

Longina Chojnacka-Oźga*, Wojciech Oźga

*longina_chojnacka_ozga@sggw.pl

Katedra Hodowli Lasu, Wydział Leśny SGGW w Warszawie