

# Wpływ ekstremalnych warunków klimatycznych na przyrost radialny dębu czerwonego *Quercus rubra* w LZD Rogów

Szymon Bijak, Agnieszka Bronisz, Karol Bronisz

**Abstrakt.** Praca przedstawia analizę wpływu ekstremalnych warunków klimatycznych, opisywanych za pomocą temperatury minimalnej i maksymalnej, wskaźnika zimności oraz wskaźnika dostępności wilgoci, na przyrost radialny dębu czerwonego rosnącego na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie. Reakcję obcego gatunku porównano z rodzimym dębem szypułkowym. Materiał badawczy stanowiły dordzeniowe wywierty pobrane z 15 zdrowych, dominujących drzew każdego gatunku, na podstawie których opracowano chronologie rezydualne. Indeksy przyrostowe skorelowano z miesięcznymi wartościami analizowanych parametrów klimatycznych.

Zarówno dąb czerwony, jak i dąb szypułkowy wykazują podobny charakter zależności między ekstremalnymi warunkami klimatycznymi a przyrostem na grubość. W obu przypadkach istotny wpływ mają warunki termiczne, szczególnie pod koniec okresu wegetacyjnego i w czasie wejścia w spoczynek zimowy, oraz dostępność wilgotności opadowej, która największą rolę odgrywa w czerwcu, gdy drzewa intensyfikują aktywność kambialną. Ponadto mrozy zimowe mogą być niekiedy przyczyną wykształcania przez badane gatunki niezwykle wąskich słoików przyrostu rocznego.

**Słowa kluczowe:** dendroklimatologia, ekstrema klimatyczne, dąb czerwony *Quercus rubra*, dąb szypułkowy *Quercus robur*, Polska

**Abstract.** Influence of extreme climate conditions on radial increment of red oak *Quercus rubra* in Rogów Forest Experimental Station. Paper presents the response of red oak *Quercus rubra* growing in central Poland (51°49' N, 19°53' E) to extreme climate conditions described by minimum and maximum temperature, coldness index as well as water availability index. Obtained results were compared with the response of native pedunculate oak *Quercus robur*. Research material consisted of increment cores taken from 15 healthy and dominant trees per each species. Basing on this we elaborated residual chronologies that later on were correlated with climate data. Both analysed oak species show similar influence of extreme climate conditions on their tree ring growth. Significant impact of thermal conditions was observed for the end of the vegetation season and period when trees prepare to the winter dormancy. Moisture availability plays an important role especially in June when the cambium is the most active. Severe wintertime frosts could be the reason of very narrow tree rings observed in both species.

**Keywords:** dendroclimatology, extreme climate events, *Quercus rubra*, *Quercus robur*, central Poland

## Wstęp

Zastosowanie obcych gatunków drzew do wzbogacania składu naszych lasów było jednym z elementów polskiej polityki leśnej w drugiej połowie XX wieku i uważane było wówczas za uzasadnione (Bellon et al. 1977). Obecnie dominuje odwrotne podejście i odchodzi się od wprowadzania egzotów, szczególnie jeżeli zostaną uznane za gatunki inwazyjne (Kozakiewicz 2002). Jednak Zasady Hodowli Lasu (2011) nie zabraniają całkowicie stosowania gatunków obcych w naszych lasach, a decyzję o ich wykorzystaniu w niewielkiej skali pozostawiają nadleśniczemu, jeżeli jest to podyktowane istotnymi z punktu widzenia nadleśnictwa przyczynami i potrzebami. W związku z tym zagadnienie adaptacji obcych gatunków drzew do miejscowych warunków środowiskowych pozostaje cały czas aktualnym problemem badawczym.

Dotychczasowe polskie badania nad obcymi gatunkami drzew koncentrowały się przede wszystkim na dynamice wzrostu i zasobności drzewostanów oraz na właściwościach hodowlanych (Białobok, Chylarecki 1965; Bellon et al. 1977; Tumiłowicz 2000). Kwestia adaptacji do miejscowych warunków nie była zbyt często podejmowana, a wiedza odnośnie wpływu środowiska naturalnego na funkcjonowanie różnych gatunków drzew jest jednym z głównych wymagań prowadzenia właściwej gospodarki leśnej. Szczególne znaczenie ma to w przypadku klimatu, gdyż wiąże się to z podstawową rolą, jaką warunki klimatyczne odgrywają w formowaniu przyrostu rocznego drzew (Fritts 1976; Schweingruber 1996).

Celem pracy jest poznanie reakcji przyrostowej dębu czerwonego (*Quercus rubra*) rosnącego w środkowej Polsce na ekstremalne warunki klimatyczne i porównanie jej z odpowiedzią rodzimego dębu szypułkowego (*Quercus robur*). Wyjątkowe warunki meteorologiczne odgrywają szczególne znaczenie, ponieważ mogą powodować zakłócenia we wzroście i rozwoju roślin, prowadząc często do ich poważnego uszkodzenia.

## Material i metody

Materiał badawczy zebrano na terenie Arboretum oraz LZD SGGW w Rogowie (51°49' N, 19°53' E). Z pierśnicy zdrowych i dominujących okazów dębu czerwonego i szypułkowego pobrano świdrem Presslera po jednym wywiercie dordzeniowym. Dla każdego gatunku pobrano 15 drzew. Po przesuszeniu i wyszlifowaniu ich powierzchni w celu zwiększenia kontrastu między poszczególnymi słojami zebrane wywierty zostały zeskanowane. Szerokości słoików rocznych zmierzono za pomocą programu Coorecorder ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)). Na tej podstawie opracowano osobnicze sekwencje szerokości słoików rocznych. Następnie w programie CDdendro ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)) sprawdzono poprawności wykonanych pomiarów i oceniono podobieństwo chronologii z poszczególnych drzew. Sekwencje najmniej podobne do pozostałych wyłączone z dalszej analizy. W efekcie na podstawie chronologii osobniczych 14 dębów czerwonych i 13 dębów szypułkowych opracowano sekwencje gatunkowe. Stosując program CRONOL z pakietu DPL (Holmes 1999) uzyskano chronologię standardową, zawierającą pozbawione trendu wiekowego indeksy przyrostów rocznych, oraz chronologię rezydualną, która powstała z chronologii standardowej po usunięciu autokorelacji z serii indeksów przyrostowych.

Wpływ ekstremalnych warunków klimatycznych na przyrost badanych gatunków dębu na grubość określono na podstawie tzw. funkcji odpowiedzi (ang. *response function*, Fritts 1976). Przyrosty na grubość badanych dębów reprezentowały chronologie rezydualne. Ekstremalne warunki klimatyczne scharakteryzowano za pomocą średnich miesięcznych

wartości minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza od kwietnia roku poprzedzającego formowanie się słoja do września roku tworzenia przyrostu (18 miesięcy), a także specjalnie wyliczonymi wskaźnikami zimności okresu zimowego oraz dostępności wilgoci opadowej w sezonie wegetacyjnym. Wskaźnik zimności ( $WZ$ ) wyznaczono według propozycji Kiry (1977):

$$WZ = \left| \sum_{pXI}^{III} T \right|, \text{ gdy } T < 0^{\circ}\text{C}$$

gdzie:

$T$  – średnia miesięczna temperatura powietrza w okresie od listopada roku poprzedniego (pXI) do marca (III) roku formowania się słoja.

Wskaźnik dostępności wilgoci w okresie kwiecień-wrzesień, który przyjęto za sezon wegetacyjny, obliczono według następującego wzoru (Tuhkanen 1980):

$$WDW = \frac{P}{T}$$

gdzie:

$P$  – miesięczna suma opadów atmosferycznych [mm],

$T$  – średnia miesięczna temperatura powietrza [ $^{\circ}\text{C}$ ].

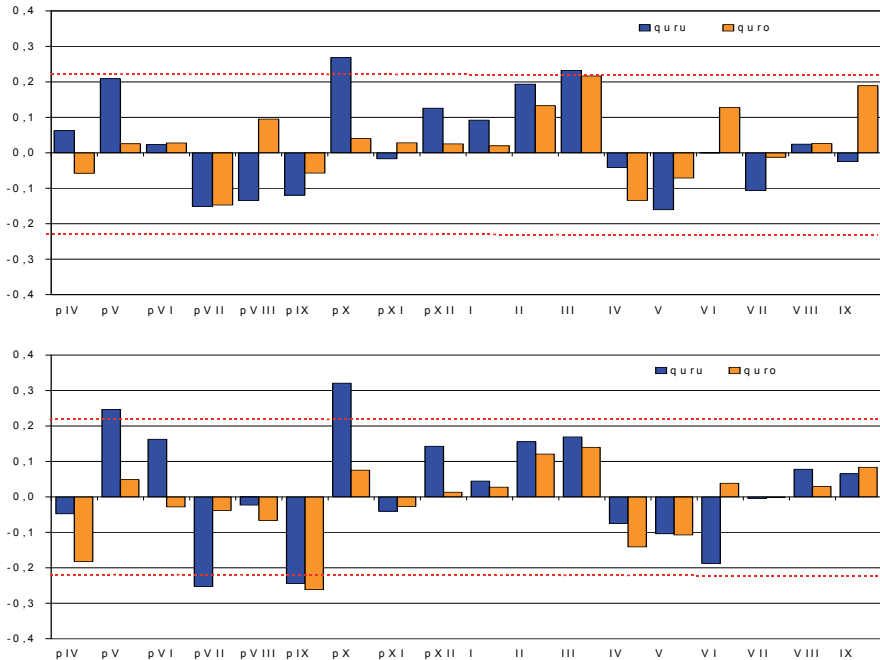
Dane klimatyczne pochodziły z prowadzonej przez Katedrę Hodowli Lasu SGGW stacji meteorologicznej w Rogowie. Analizę przeprowadzono dla lat 1956-2010, czyli okresu wspólnego dla obu gatunków.

## Wyniki

Opracowane chronologie obejmują okres 1956-2010 (dąb czerwony) i 1928-2010 (dąb szypułkowy). Zestawione sekwencje należy uznać za reprezentatywne dla obu gatunków, gdyż wartości współczynnika wyrażanego sygnału populacji (ang. *expressed population signal*; EPS) były wysokie i wynosiły 0,897 (dąb czerwony) oraz 0,907 (dąb szypułkowy). Oba analizowane gatunki dębu cechowały się zbliżoną odpowiedzią przyrostu radialnego na ekstremalne warunki klimatyczne. Należy jednak zauważyć, że dąb czerwony charakteryzował się większą wrażliwością w tym względzie, ponieważ na ogół obliczone współczynniki korelacji były wyższe właśnie dla tego gatunku.

Badane dęby były nieznacznie bardziej podatne na temperaturę maksymalną niż minimalną (ryc. 1). U obu gatunków największe znaczenie wyjątkowo wysoka temperatura powietrza ma w końcu okresu aktywności kambium i na początku okresu, w którym drzewo szykuje się do przejścia w stan spoczynku zimowego (wrzesień-październik roku poprzedzającego formowanie słoja). Nieco mniejszą, ale równie istotną, rolę odgrywa w tym czasie temperatura minimalna. Można zaobserwować zmianę charakteru związku między przyrostem a warunkami termicznymi z ujemnego (wrzesień) na dodatni (październik). Oba badane gatunki dębu preferują także raczej ciepłą zimę i przedwiośnie, co potwierdza także porównanie indeksów przyrostowych z wartościami wskaźnika zimności (ryc.

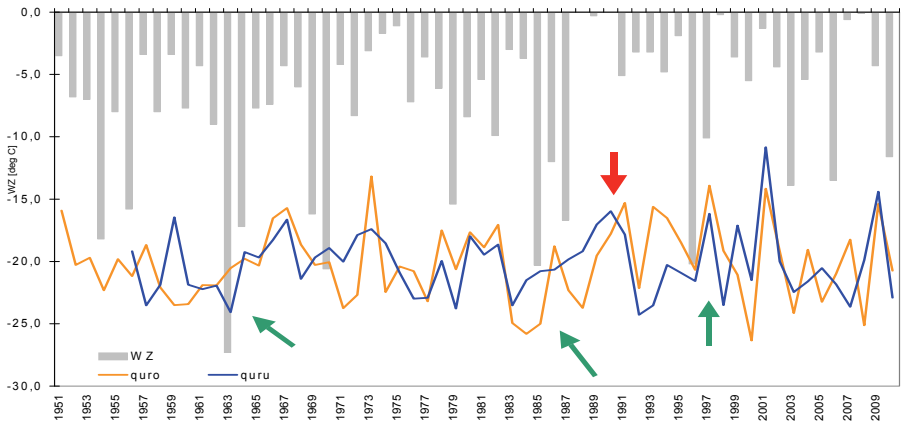
2). Współczynnik korelacji w przypadku tych dwóch zmiennych jest niewielki i równa się 0,19 dla dębu czerwonego i 0,11 dla dębu szypułkowego. Nie są to wartości istotne statystycznie, ale pokazują pewien ogólny charakter relacji. W latach z ciepłą zimą (szczególnie 1988-1990) oba gatunki wytwarzały szersze przyrosty. Bardzo mroźne zimy na ogół skutkowały węższym słojem (np. lata 1963, 1985 czy 1997). Związek przyrostu badanych dębów z ekstremalnymi wartościami temperatury na wiosnę wskazuje na to, że w przypadku obu gatunków za korzystniejszą dla formowania słoja należy uznać sytuację, gdy ta pora roku jest chłodna, ale nie mroźna (ryc. 1). Wpływ temperatury ekstremalnej lata roku kształtowania słoja na jego szerokość jest niewielki, natomiast ma znaczenie dla szerokości słoja roku przyszłego.



**Ryc. 1.** Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną minimalną (górną) i maksymalną (dolną) temperaturą powietrza a chronologią rezydualną dębu szypułkowego (quro) i dębu czerwonego (quru); poziome czerwone linie oznaczają próg istotności na poziomie 0,05; pIV, ..., pXII – miesiące roku poprzedzającego odłożenie słoja

*Fig 1. Coefficients of correlation between mean monthly minimum (upper panel) and maximum (lower panel) temperature and residual chronologies of pedunculata (quro) and red (quru) oaks; red lines indicate 0.05 significance level; pIV, ..., pXII – month of year prior to ring formation*

Rola dostępności wilgoci w procesie budowy słoja przyrostu rocznego dębu czerwonego i szypułkowego największa jest w czasie inicjowania aktywności kambium oraz podczas rozpoczynania kolejnych faz rozwoju komórek kambialnych (ryc. 3). Oba dęby preferują dużą ilość dostępnej wilgoci w tym czasie.



**Ryc. 2.** Przebieg chronologii rezydualnych dębu szypułkowego (quro) i czerwonego (quru) na tle wartości wskaźnika zimności (*WZ*); strzałki pokazują sytuację odłożenia bardzo wąskiego przyrostu przy silnych mrozach (zielone) i szerokiego przyrostu przy łagodnej zimie (czerwona)

*Fig. 2.* Course of pedunculate (quro) and red oak (quru) residual chronologies against values of coldness index (*WZ*); green arrows – narrow tree-ring as a result of harsh wintertime, red arrow – wide rings follow mild winter

## Dyskusja

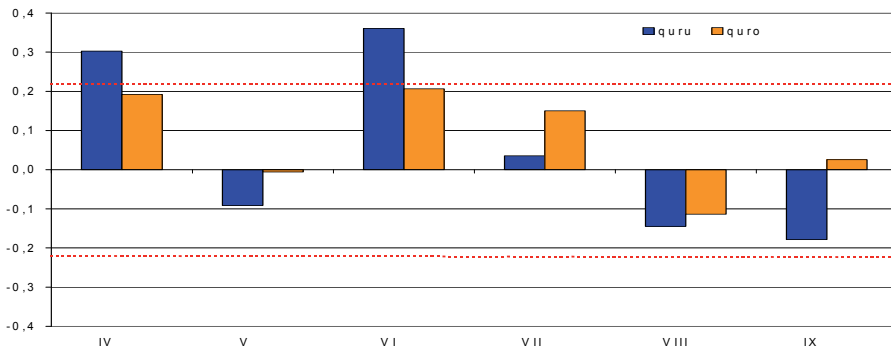
Dąb czerwony jest najliczniej występującym w Polsce obcym gatunkiem liściastym zarówno pod względem zajmowanego obszaru, jak i miejsc introdukcji (Danielewicz, Pawlaczyk 2006). Występuje w postaci drzewostanów litych oraz jako domieszka w drzewostanach mieszanych. Aktualnie gatunek ten obecny jest na całym niżu i w niższych położeniach górskich. Hereźniak (1992) uważa, że jest to jedyny obcy gatunek, który w pełni zaaklimatyzował się do warunków siedliskowych w ekosystemach leśnych naszego kraju. Najprawdopodobniej przyczyną tego jest fakt, że klimat Polski jest zbliżony do warunków pogodowych panujących w naturalnym zasięgu dębu czerwonego w Ameryce Północnej, szczególnie w jego północnej części. Mimo długiej obecności *Quercus rubra* w lasach na terenach dzisiejszej Polski badania nad jego adaptacją do warunków środowiskowych nie były zbyt często prowadzone (por. Bellon et al. 1977). Dotychczas poznano jedynie ogólne prawidłowości oddziaływania klimatu na dąb czerwony rosnący w środkowej Polsce (Bijak et al. 2012).

Oba analizowane gatunki dębu cechowały się zbliżoną odpowiedzią przyrostu radialnego na ekstremalne warunki klimatyczne, przy czym obserwowane zależności wydają się wyraźniejsze w przypadku gatunku obcego. Spośród analizowanych w pracy czynników klimatycznych największe znaczenie dla procesu wytwarzania słoja przyrostu rocznego mają ekstremalne warunki termiczne przełomu lata i jesieni roku poprzedzającego odłożenie przyrostu oraz dostępność wilgoci w początkowej fazie sezonu wegetacyjnego.

W badaniach związku przyrostu dębu czerwonego z klimatem prowadzonych w naturalnym zasięgu tego gatunku w Ameryce Północnej najczęściej za najistotniejszy czynnik kształtujący proces tworzenia słoja rocznego uznaje się warunki wilgotnościowe, szczególnie

w początkowej fazie sezonu wegetacyjnego (Pan et al. 1997; Tardiff et al. 2006; Speer et al. 2009; Haavik et al. 2011).

Na znaczenie bilansu wodnego w tym okresie u dębów czerwonych w południowej Kanadzie uwagę zwracają Tardiff et al. (2006), którzy stwierdzili istotną statystycznie zależność szerokości przyrostu rocznego od wartości wskaźnika suszy w miesiącach letnich. Podobne obserwacje dla południowych Appalachów poczynili Speer et al. (2009), aczkolwiek udział wskaźnika suszy PDSI w wyjaśnianiu wariacji szerokości słoja przyrostu rocznego był najmniejszy spośród pięciu analizowanych gatunków dębu. W przypadku dębów rosnących w Rogowie obserwuje się pozytywną korelację między indeksami przyrostowymi a wartościami wskaźnika dostępności wilgoci w kwietniu i czerwcu (ryc. 3), co oznacza, że gatunek ten będzie cierpieł od niedoborów wilgoci opadowej podczas sezonu wegetacyjnego. Pod tym względem dąb czerwony bardzo przypomina rodzimy dąb szypułkowy, u którego stwierdzono zdecydowane znaczenie dostępności wilgoci, szczególnie w czasie miesięcy letnich (Bednarz 1994; Ufnalski 2001; Cedro 2004, Ważny 2006). Na szczególną uwagę zwraca fakt istotnej zależności przyrostu obu gatunków dębu od dostępności wilgoci na początku okresu aktywności kambium, co nie było obserwowane w cytowanych badaniach. Nie można wykluczyć, że pewną rolę w tym konkretnym przypadku odgrywają lokalne warunki siedliskowe lub rodzaj podłoża.



**Ryc. 3.** Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną wartością współczynnika dostępności wilgoci a chronologią rezydualną dębu szypułkowego (quro) i dębu czerwonego (quru); poziome czerwone linie oznaczają próg istotności na poziomie 0,05

*Fig. 3. Coefficients of correlation between mean monthly value of water availability index and residual chronologies of pedunculate (quro) and red oaks (quru); red lines indicate 0.05 significance level*

Dotychczasowe badania dębu czerwonego w Ameryce Północnej wskazują na negatywną zależność szerokości jego słoja przyrostu rocznego od warunków termicznych. Taki charakter relacji temperatura ekstremalna-przyrost dębu czerwonego stwierdzili Tardiff et al. (2006) w południowej Kanadzie. Najsilniejsze związki ( $r = 0,25-0,30$ ) autorzy ci zaobserwowali dla średniej temperatury maksymalnej wiosną roku tworzenia słoja. U dębów z Rogowa najsilniejsza relacja wystąpiła w przypadku września i października roku poprzedniego (ryc. 1), czego w Kanadzie nie obserwowano. Dla kształtowania się przyrostu rocznego dębu czerwonego w środkowej Polsce kluczowe znaczenie mają zatem warunki zakończenia

poprzedniego sezonu wegetacyjnego i czasu przygotowania rośliny do wejścia w stan spoczynku zimowego. Okres ten musi być wystarczająco ciepły, ale nie upalny, szczególnie w pierwszej części.

Oba badane gatunki dębu preferują łagodny okres zimowego spoczynku (ryc. 2). Wpływ ostrości zimy, wyrażonej wskaźnikiem zimności nie jest co prawda istotny statystycznie, ale można zaobserwować, że w latach z ciepłą zimą badane dęby wytwarzały raczej szersze przyrosty, a skutkiem zim bardzo mroźnych na ogół był węższy słoń przyrostu rocznego. Wytworzenie bardzo wąskiego słoja po ostrej zimie jest częstym zjawiskiem. Tak jak oba badane gatunki dębu, także i buki rosnące w Rogowie odłożyły w roku 1963 niewielki przyrost po zimie cechującej się występowaniem bardzo niskiej temperatury (Chojnacka-Ożga, Ożga 2012). Czasami, nagły, jednorazowy spadek temperatury w ciągu jednego dnia w okresie zimowym może doprowadzić do tego, że w sezonie wegetacyjnym danego roku słoń nie zostanie odłożony na całym obwodzie drzewa lub w ogóle nie zostanie wykształcony. Taką sytuację dla roku 1982 opisali w przypadku choiny zachodniej w Nadleśnictwie Dobrzyń Gławenda i Koprowski (2012).

Oczywiście warunki klimatyczne nie są jedynymi czynnikami wpływającymi na przyrost drzew na grubość. W przypadku dębu czerwonego w Polsce nie poznane zostały jeszcze relacje między szerokością słoja przyrostu rocznego a np. grzybami glebowymi czy szkodnikami owadzi, które mogą odgrywać istotną rolę w hamowaniu przyrostu w szczególności współwystępując z okresami suszy (Haavik et al. 2008, 2011).

## Podsumowanie

Mimo że rosnące na terenie LZD Rogów dąb szypułkowy i dąb czerwony cechują się odmiennym przebiegiem zmian przyrostu na grubość w czasie, to zarówno rodzimy, jak i obcy gatunek dębu wykazują podobny charakter zależności między ekstremalnymi warunkami klimatycznymi a przyrostem na grubość. W obu przypadkach istotny wpływ na kształtowanie się słoja przyrostu rocznego mają warunki termiczne, szczególnie okresu wejścia w spoczynek zimowy oraz dostępność wilgotności opadowej, która największą rolę odgrywa w czerwcu, gdy drzewa intensyfikują aktywność kambialną. Mrozy zimowe mogą być niekiedy przyczyną wykształcania przez badane gatunki niezwykle wąskich słoików przyrostu rocznego.

## Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach grantu MNiSW nr N N309 170639 pt. „Wpływ warunków klimatycznych na przyrost oraz aktywność kambialną rodzimych i obcych gatunków drzew w LZD Rogów”.

## Literatura

- Bednarz Z. 1994. Niedobory wody przyczyną depresji przyrostowych u dębu (*Quercus robur* L.) w Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 138 (10): 29-39.
- Bellon S., Tumiłowicz J., Król S. 1977. Obce gatunki drzew w gospodarstwie leśnym. PWRiL, Warszawa.
- Białobok S., Chylarecki L. 1965. Badania nad uprawą drzew obcego pochodzenia w Polsce w warunkach siedliska leśnego. Arbor. Kórnickie 10.
- Bijak Sz., Bronisz A., Bronisz K. 2012. Wpływ czynników klimatycznych na przyrost radialny dębu szypułkowego i czerwonego w LZD Rogów. Studia i Materiały CEPL w Rogowie 30: 121-128.
- Cedro A. 2004. Zmiany klimatyczne na Pomorzu Zachodnim w świetle analizy sekwencji przyrostów rocznych sosny zwyczajnej, daglezi zielonej i rodzimych gatunków dębów. Oficyna IN PLUS.

- Chojnacka-Ozga L., Ozga W. 2012. Wpływ ekstremalnych wartości temperatury powietrza na rytmikę przyrostów radialnych buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica* L.) rosnącego na terenie LZD w Rogowie. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 30: 129-135.
- Danielewicz W., Pawlaczyk P. 2006. Rola dębów w strukturze i funkcjonowaniu fitocenozy. W: Bugała W. (red.). *Dęby. Nasze drzewa leśne*. 11. Instytut Dendrologii PAN, Poznań-Kórnik. 475-590.
- Fritts H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London-New York- San Francisco.
- Gławenda M., Koprowski M. 2012. Dendrochronologiczna analiza przyrostów radialnych choiny zachodniej (*Tsuga heterophylla* Sarg.) z Pomorza Zachodniego (Nadleśnictwo Dobrzany). *Sylwan* 156 (4): 287-293.
- Haavik L. J., Stahle D. W., Stephen F. M. 2011. Temporal aspects of *Quercus rubra* decline and relationship to climate in the Ozark and Ouachita Mountains, Arkansas. *Can. J. For. Res.* 41: 773-781.
- Haavik L. J., Stephen F. M., Fierke M. K., Salisbury V. B., Leavitt S. W., Billings S. A. 2008. Dendrochronological parameters of northern red oak (*Quercus rubra* L. (Fagaceae)) infested with red oak borer (*Enaphalodes rufulus* (Haldeman) (Coleoptera: Cerambycidae)). *Forest Ecology and Management* 255: 1501-1509.
- Hereźniak J. 1992. Amerykańskie drzewa i krzewy na ziemiach polskich. W: *Rośliny pochodzenia amerykańskiego zadomowione w Polsce*. W: Ławrynowicz M., Warcholińska A.U. (red.). ŁTN, Szlakami Nauki 19: 97-150.
- Holmes R. L. 1999. Dendrochronology Program Library (DPL). LTRR University of Arizona, Tucson.
- Kira T. 1977. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones. W: Miyawaki A., Tuexen R. (red.). *Vegetation Science and Environmental Protection. Proceedings of the International Symposium*. 21-30.
- Kozakiewicz P. 2002. *Obce drzewa w naszym lesie*. Przyroda Polska 5.
- Pan C., Tajchman S. J., Kochenderfer J. N. 1997. Dendroclimatological analysis of major forest species of the central Appalachians. *Forest Ecology and Management* 98: 77-88.
- Schweingruber F. H. 1996. *Tree Rings and Environment – Dendroecology*. WSL FNP.
- Speer J. H., Grissino-Mayer H. D., Orvis K. H., Greenberg C. H. 2009. Climate response of five oak species in the eastern deciduous forest of the southern Appalachian Mountains, USA. *Can. J. For. Res.* 39 (3): 507-518.
- Tardif J., Conciatori F., Nantel P., Gagnon, D. 2006. Radial growth and climate responses of white oak (*Quercus alba*) and northern red oak (*Quercus rubra*) at the northern distribution limit of white oak in Quebec, Canada. *Journal of Biogeography* 33 (9): 1657-1669.
- Tuhkanen S. 1980. Climatic parameters and indices in plant geography. *Acta Phytogeographica Suecica* 67.
- Tumiłowicz J. 2000. Strefy klimatyczne dla uprawy drzew i krzewów w Polsce. *Szkołkarstwo* 4.
- Ufnalski K. 2001. Porównanie dynamiki przyrostu dębu szypułkowego i bezszypułkowego ze szczególnym uwzględnieniem okresów zamierania. Praca doktorska. ID PAN, Kórnik.
- Ważny T. 2006. Dendrochronologia dębu. W: Bugała W. (red.). *Dęby. Nasze drzewa leśne* 11. Instytut Dendrologii PAN, Poznań-Kórnik. 39-61.
- Zasady Hodowli Lasu. 2011. Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych.

**Szymon Bijak\*, Agnieszka Bronisz, Karol Bronisz**  
 Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu,  
 Wydział Leśny SGGW w Warszawie  
 \*szymon.bijak@wl.sggw.pl