

## Sygnal klimatyczny w przyroście radialnym wybranych iglastych gatunków drzew w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Rogów

Climate signal in the radial growth of selected coniferous species  
from the Forest Experimental Station in Rogów

Szymon Bijak

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny, Samodzielna Pracownia  
Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Tel. +48 22 5938093; e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl

**Abstract.** I present dendroclimatological analysis of coniferous tree species growing under the same environmental conditions in the WULS-SGGW Forest Experimental Station in Rogów (51° 49' N, 19° 53' E, ca. 190 m a.s.l). The study focuses on silver fir, European larch, Scots pine and Douglas fir. For each species, tree-ring width and annual sensitivity chronologies were developed for the period 1931–2010. Analysed species show considerable similarity of their radial increment course (GLK up to 67%, the t-value of 3,5–9,5). The relationship obtained for the influence of climate conditions on radial growth of these species is typical of the relationships reported from other locations in lowland Poland. Late winter and early spring temperature, especially during February–March, is the main factor affecting tree-ring formation. The general relationship demonstrates that this seasonal thermal limitation operates at an inter-regional and interspecific level in determining the growth of coniferous tree species in Poland. Whereas, the dependence of these species on precipitation is much less significant.

**Key words:** dendroclimatology, Scots pine, silver fir, European larch, Douglas fir, central Poland

### 1. Wstęp

Wzrost drzew, w tym ich przyrost na grubość, jest procesem złożonym. Struktura, gęstość, a przede wszystkim szerokość słoja przyrostu rocznego są wypadkową wzajemnego oddziaływania wielu różnych, nieraz przeciwstawnych czynników i relacji „środowisko – roślina” (Schweingruber 1996; Zielski, Krąpiec 2004). Na aktywność komórek kambium, i co za tym idzie tworzenie przyrostu, wpływ mają zarówno siły przyrody, jak i działalność człowieka. W formowaniu przyrostu rocznego drzew istotne znaczenie ma zwłaszcza dynamika warunków meteorologicznych, charakteryzujących się znacznymi wahaniami z miesiąca na miesiąc, a także z roku na rok (Fritts 1976; Schweingruber 1996). Odpowiedź drzew na warunki wpływające na wzrost przejawia się w krótkookresowej reakcji przyrostowej. Róż-

nice w jej przebiegu między poszczególnymi gatunkami wynikają z odmiennej wrażliwości na czynnik klimatyczny, która dodatkowo jest modelowana przez wiek, genom, cechy miejsca wzrostu oraz różne zdarzenia losowe (Fritts 1976; Schweingruber 1996; Wilczyński 2010)

Wiedza dotycząca wpływu środowiska naturalnego na funkcjonowanie drzew jest jednym z głównych wymagań właściwego prowadzenia gospodarki leśnej. Wiąże się to z podstawową rolą, jaką warunki siedliskowe, w tym szczególnie klimatyczne, odgrywają w kształtowaniu wzrostu i przyrostu poszczególnych gatunków. Obserwowane w ostatnim czasie zmiany klimatu powodują zmiany relacji między wzrostem drzew a czynnikami go kształtującymi. Efekty tych zmian są także widoczne w tendencjach wzrostowych poszczególnych gatunków drzewiastych, co bezpośrednio przekłada się

na możliwości produkcyjne ekosystemów leśnych (Spiecker et al. 1996; Jaworski 2003a, b). Jak zauważają Chmura i inni (2010), zmieniające się warunki środowiskowe nie tylko powodują zmiany w samych zbiorowiskach roślinnych, lecz także pociągają za sobą istotne przemiany w leśnictwie oraz dziedzinach gospodarki z nim związanych. Kwestie te sprawiają, że badania wpływu warunków klimatycznych na przyrost drzew zyskują na znaczeniu, a ich wyniki powinny znaleźć zastosowanie w praktyce.

Studia nad wpływem warunków klimatycznych na przyrost radialny drzew leśnych rozpoczęto w Polsce w połowie XX wieku (Zielski, Krapiec 2004) i jak dotąd analizami objęto większość najważniejszych rodzimych gatunków drzew oraz wybrane gatunki introdukowane. Badania dotyczyły przede wszystkim sosny zwyczajnej – najpopularniejszego gatunku drzew leśnych w naszym kraju. Wpływ warunków meteorologicznych na szerokość słoików przyrostu rocznego u tego gatunku badali m.in. Feliksik i Wilczyński (1996), Zielski (1997), Wilczyński (1999), Wilczyński i inni (2001), a także Cedro (2001, 2004). Modrzew europejski był przedmiotem zainteresowania Feliksika (1992), Feliksika i Wilczyńskiego (1998b) oraz Danek (2009) i Koprowskiego (2012). Z kolei jodłą zajmowali się, np. Feliksik (1990), Koprowski i Gławenda (2007), a także Bijak (2010) oraz Bronisz i inni (2010). Z gatunków obcych najobszerniej pod względem dendrochronologicznym poznana jest dagleżja zielona (Feliksik, Wilczyński 2004, 2008, 2009).

Z powodu odmiennych zasobów genetycznych poszczególne gatunki mogą różnie reagować na warunki środowiskowe, w tym parametry klimatyczne, dlatego też cenne są porównawcze badania reakcji dendroklimatycznej (Opała 2009). Dotychczasowe polskie prace w tym zakresie obejmowały między innymi analizę wpływu warunków klimatycznych na przyrost sosny, jodły i buka w Świętokrzyskim Parku Narodowym (Feliksik et al. 2000) oraz w Ojcowskim Parku Narodowym (Opała 2009), świerka, sosny i modrzewia na Pogórze Wilamowickim (Feliksik, Wilczyński 1998a), a także jodły i modrzewia w Nadleśnictwie Zagnańsk (Wilczyński, Wertz 2012). Porównanie zależności „klimat – przyrost” rodzimych i obcych gatunków drzew zostało przeprowadzone dla sosny, różnych świerków, jodły i dagleżji na Pomorzu przez Feliksika i Wilczyńskiego (2009), dla sosny, dagleżji i dębów na Pomorzu Zachodnim – Cedro (2004), a dla dębu czerwonego i szypułkowego w Rogowie – Bijaka i innych (2012a, b).

Celem pracy było poznanie przebiegu przyrostu radialnego wybranych gatunków iglastych (jodły, modrzewia, sosny i dagleżji) rosnących w tych samych warunkach środowiskowych w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym (LZD) Rogów oraz porównanie relacji między przyrostem na grubość a czynnikami klimatycznymi.

## 2. Materiał i metody

Materiał badawczy zebrano jesienią 2010 r. na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie (51°49' N, 19°53' E, ok. 190 m n.p.m). Teren badań zlokalizowany jest na wschodnim krańcu Wzniesień Łódzkich, stanowiących część Wzniesień Południowomazowieckich (Kondracki 2000). Według rejonizacji przyrodniczo-leśnej Tramplerera i innych (1990) LZD w Rogowie znajduje się na północnych krańcach Krainy Małopolskiej, w Dzielnicy Łódzko-Opoczyńskiej, Mezoregionu Sieradzko-Łódzkiego. W podłożu przeważają polodowcowe utwory złożone z glin i piasków zwałowych, na których wykształciły się żyzne, ale kwaśne gleby płowe. Poziom wody gruntowej jest bardzo niski, często poza zasięgiem korzeni drzew. Okres wegetacji trwa przeciętnie 205–215 dni. Średnia roczna suma opadów wynosi 591 mm, z czego niecałe 65% przypada na okres wegetacyjny. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 7,5°C. Najzimniejszym miesiącem jest styczeń (średnia miesięczna temperatura powietrza wynosi –2,7°C), a najcieplejszym – lipiec (17,6°C).

W drzewostanach doświadczalnych wybrano po jednym stanowisku jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.), modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), a na terenie Arboretum – dagleżji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Wybrano drzewostany o możliwie zbliżonym wieku. W efekcie badane drzewa miały ok. 60–65 (modrzew, sosna) i 70–80 (jodła, dagleżja) lat. Badane gatunki rosły na siedlisku lasu świeżego (Lśw) i mieszanego świeżego (LMśw). Na każdej powierzchni wytypowano po 15 zdrowych i dominujących okazów o prawidłowo wykształconej koronie i braku oznak chorobowych. Z pierśnicy tych drzew pobrano świdrem Presslera po jednym wywiercie dordzeniowym. Po przesuszeniu i wyszlifowaniu powierzchni w celu zwiększenia kontrastu między poszczególnymi słojami, zebrane wywierty zostały zeskanowane (rozdzielczość 1200 dpi) skanerem EPSON Expression 10000XL. Szerokość słoików rocznych zmierzono z dokładnością do 0,01 mm, korzystając z powstałych w ten sposób plików graficznych za pomocą programu CooRecorder ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)). Następnie uzyskany materiał wydatowano (poszczególnym słoikom rocznym przypisano konkretne lata kalendarzowe), a w programie CDdendro ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)) sprawdzono poprawność wykonanych pomiarów i oceniono podobieństwo chronologii z poszczególnych drzew w obrębie gatunku (wartość  $t$ , współczynnik GLK; Cook, Briffa 1990). Sekwencje najmniej podobne do pozostałych, a więc mogące zakłócić tzw. wspólny sygnał, wyłączone z dalszej analizy.

W celu eliminacji wpływu wieku drzew oraz by wydobyc zachodzące w rytmie rocznym zmiany dyna-

miki przyrostu grubości, na podstawie uzyskanej szerokości słoju rocznych, opracowano serie indeksów przyrostowych uwypuklających krótkookresową reakcję przyrostową poszczególnych gatunków. Dla każdego analizowanego drzewa obliczono dla każdego roku wartość czułości rocznej ( $c_i$ ) według wzoru (Fritts 1976; Cook, Briffa 1990; Wilczyński 2010):

$$c_i = 2 \frac{x_i - x_{i-1}}{x_i + x_{i-1}}$$

gdzie  $x_i$  oraz  $x_{i-1}$  są szerokościami słoja przyrostu rocznego w dwóch kolejnych latach.

Jednorodność utworzonych w powyższy sposób chronologii czułości, określającą także ich reprezentatywność oraz część „wspólnego sygnału” zawartego w powstałych na ich podstawie chronologiach gatunkowych oceniono, wyliczając wartość wskaźnika EPS (Expressed Population Signal; Wigley et al. 1984). Za minimalną wartość EPS wskazującą na przydatność chronologii do analiz dendroklimatologicznych przyjęto 0,85 (Mäkinen, Vanninen 1999; Wilczyński 2010). Dokonano także oceny podobieństwa reakcji przyrostowej pomiędzy badanymi gatunkami. Jako miary podobieństwa chronologii zastosowano wartość  $t$  oraz współczynnik GLK. Wartość  $t$  jest ilościowym wskaźnikiem podobieństwa dwóch chronologii i jest wyliczana analogicznie jak w teście Studenta (Cook, Briffa 1990; Zielski, Krąpiec 2004). Z kolei współczynnik GLK (współbieżności) w jakościowy sposób opisuje podobieństwo dwóch sekwencji szerokości przyrostu rocznego. Jego wartość równa się udziałowi przypadków reakcji przyrostowej o takim samym charakterze (wzrost lub spadek szerokości słoja z roku na rok) we wspólnym dla obu chronologii okresie (Cook, Briffa 1990; Zielski, Krąpiec 2004).

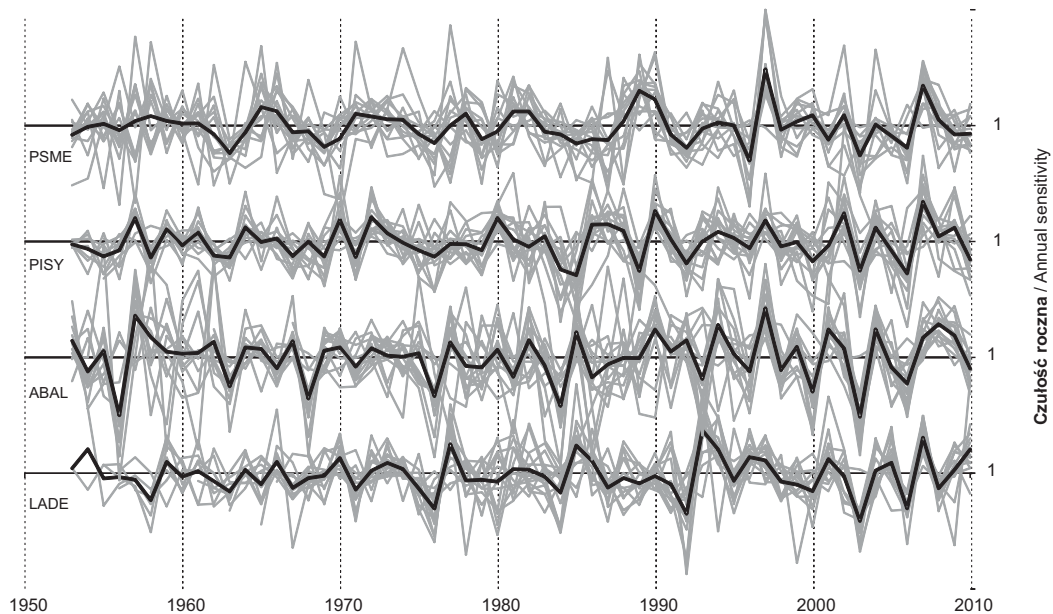
Wpływ warunków klimatycznych na przyrost badanych gatunków na grubość określono na podstawie tzw. funkcji odpowiedzi (ang. *response function*), która w modelu regresji i korelacji wielorakiej wiąże indeks przyrostowy (zmienna zależna) z parametrami klimatycznymi (zmiennie wyjaśniające) (Fritts 1976; Briffa, Cook 1990). Obliczenia wykonano w programie DendroClim2002 (Biondi, Waikul 2004). Jako dane wejściowe wykorzystano serie czułości rocznej oraz średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, temperatury minimalnej i maksymalnej oraz miesięczne sumy opadów atmosferycznych od czerwca roku poprzedzającego formowanie się słoja do września roku tworzenia przyrostu (16 miesięcy). Tak przyjęty zakres umożliwia uwzględnienie w ocenie relacji między przyrostem grubości a czynnikami klimatycznymi wpływu poprzedzającego okresu wegetacyjnego oraz czasu, w którym rośliny wchodzi w okres spoczynku zimowego (Fritts 1976). Analizę dendroklimatologiczną przeprowadzono

dla lat 1953–2010, czyli okresu wspólnego dla wszystkich analizowanych gatunków (58 lat). Dane klimatyczne pochodziły z prowadzonej przez Katedrę Hodowli Lasu SGGW w Warszawie stacji meteorologicznej znajdującej się na terenie LZD w Rogowie.

### 3. Wyniki

Opracowane chronologie wybranych iglastych gatunków drzew rosnących na terenie LZD w Rogowie obejmują okres 1931–2010. Najdłuższe sekwencje parametrów słoja przyrostu rocznego zestawiono dla dąglezji zielonej, najkrótsze zaś – dla modrzewia europejskiego (tab. 1). Przez transformację serii szerokości przyrostów rocznych w serie czułości zredukowano wpływ zmienności średnio- oraz długookresowej, a wydobyto zmienność krótkookresową, związaną przede wszystkim z czynnikiem klimatycznym. Znaczne zróżnicowanie wartości indeksów przyrostowych w poszczególnych latach (ryc. 1) świadczy o indywidualnej reakcji poszczególnych drzew na presję czynników środowiskowych. Jednakże uzyskane dla chronologii gatunkowych wartości EPS wskazują na zbliżoną odpowiedź drzew w obrębie gatunku (tab. 1). Najwyższą jednorodnością corocznych zmian przyrostu na grubość cechowały się sosna i dąglezja (EPS>0,92), najmniejszą zaś – jodła (EPS=0,88). Zarówno średnie wartości EPS, jak i wartości wyliczone w ruchomym oknie 30-letnim przekraczały progową wartość 0,85, co świadczy o przydatności zestawionych chronologii czułości rocznej do analiz dendroklimatologicznych.

Zarówno wartości  $t$ , jak i wartości współczynnika GLK wskazują na pewne międzygatunkowe podobieństwo przebiegu przyrostu grubości analizowanych iglastych gatunków drzew w LZD Rogów (ryc. 1; tab. 2). W przypadku chronologii rzeczywistych (nieprzekształcone szerokości słoju) wartość  $t$  wahała się od 3,5 do 9,5. Najmniej zbliżone do sekwencji innych gatunków były chronologie jodłowe, a najbardziej podobne do pozostałych gatunków pod względem zmian przyrostu na grubość były sosna i dąglezja. Podobny obraz uzyskano na podstawie analizy wartości współczynnika GLK. Według tego kryterium największym podobieństwem do pozostałych gatunków odznaczała się sosna (tab. 2). W przypadku chronologii indeksowanych (serie czułości rocznej) wartości  $t$  były o wiele niższe niż w chronologiach rzeczywistych (średnio 2-/3-krotnie). Przy mniej więcej o połowę niższych wartościach  $t$ , współczynnik GLK dla chronologii indeksowanych przyjmuje wartości niemalże równe tym dla chronologii rzeczywistych (tab. 2). Świadczy to o podobnym charakterze jakościowym reakcji badanych gatunków na zmieniające się z roku na rok warunki klimatyczne.



Rycina 1. Serie czułości rocznej badanych iglastych gatunków drzew z LZD Rogów – pojedyncze drzewa (szary) i średnia dla gatunku (czarny)

Figure 1. Series of annual sensitivity of analysed coniferous species from Rogów FRS – individual trees (grey) and average for a species (black)

ABAL – *Abies alba*, LADE – *Larix decidua*, PISY – *Pinus sylvestris*, PSME – *Pseudotsuga menziesii*

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki opisowe chronologii badanych gatunków iglastych z LZD Rogów

Table 1. Basic descriptive features of chronologies of analysed coniferous species from Rogów FRS

Gatunek Species	Liczba drzew Number of trees	Okres Time span	Mediana długości chronologii Chronology median length		mTRW (SD) [mm]	$r_{bar}^*$	EPS*
ABAL	15	1939–2010	66		2,26 (1,33)	0,331	0,881
LADE	15	1953–2010	53		3,12 (1,85)	0,412	0,913
PISY	15	1946–2010	58		2,13 (1,12)	0,467	0,929
PSME	14	1931–2010	70		3,66 (1,68)	0,466	0,924

mTRW (SD) – średnia szerokość słoja rocznego z odchyleniem standardowym w nawiasie / mean tree-ring width with standard deviation in parenthesis;

\* wartości  $r_{bar}$  i EPS podano dla serii indeksów przyrostowych / values given for series of increment indices

Oznaczenia gatunków jak na rycinie 1 / Species abbreviations as in Figure 1

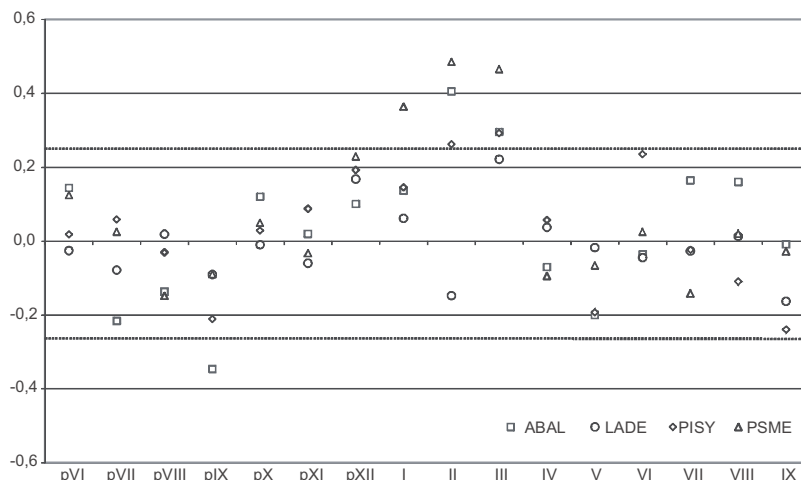
Tabela 2. Podobieństwo (wartość  $t$  – lewa dolna część, współczynnik GLK – prawa górna część) rzeczywistych i indeksowanych chronologii badanych gatunków

Table 2. Similarity ( $t$ -values – left bottom part, GLK coefficient – right upper part) of raw and index chronologies of analysed species

	Chronologia rzeczywista Tree-ring width chronology				Chronologia indeksowana Indexed chronology				
	ABAL	LADE	PISY	PSME	ABAL	LADE	PISY	PSME	
ABAL	×	53%	67%	58%	ABAL	×	61%	66%	58%
LADE	3,5	×	67%	54%	LADE	2,9	×	66%	57%
PISY	3,9	9,5	×	67%	PISY	2,9	2,0	×	63%
PSME	6,9	5,4	8,8	×	PSME	3,6	1,6	3,1	×

Oznaczenia gatunków jak na rycinie 1 / Species abbreviations as in Figure 1

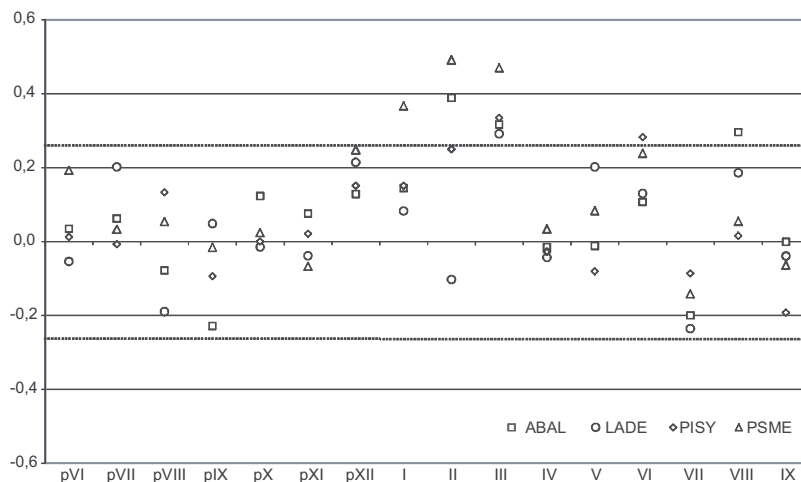




**Rycina 2. Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną temperaturą powietrza a serią czułości rocznej dla badanych iglastych gatunków drzew z LZD Rogów: kropkowane linie – próg istotności na poziomie 0,05; pVI, ..., pXII – miesiące roku poprzedzającego odłożenie słoja**

Figure 2. Correlation coefficients between mean monthly air temperature and series of annual sensitivity for analysed coniferous species from Rogów FRS: dashed horizontal lines – significance level ( $p=0.05$ ); pVI, ..., pXII – months of the year prior to tree-ring formation;

ABAL – *Abies alba*, LADE – *Larix decidua*, PISY – *Pinus sylvestris*, PSME – *Pseudotsuga menziesii*

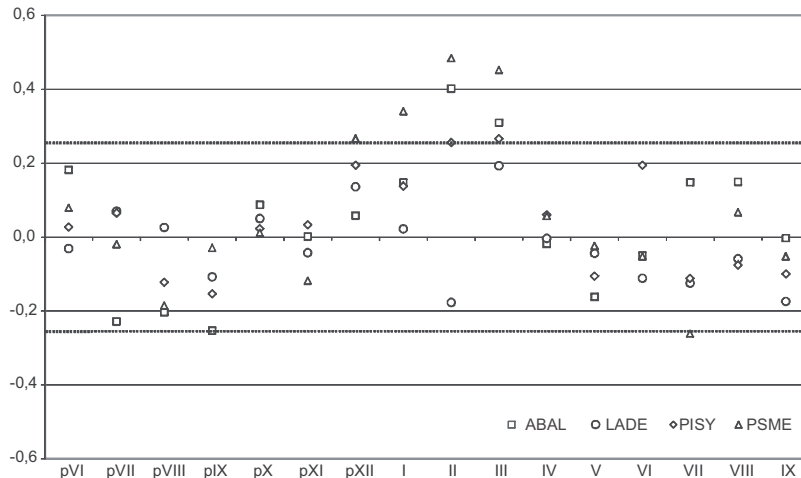


**Rycina 3. Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną minimalną temperaturą powietrza a serią czułości rocznej dla badanych iglastych gatunków drzew z LZD Rogów. Oznaczenia jak na rycinie 2**

Figure 3. Correlation coefficients between mean monthly minimum air temperature and series of annual sensitivity for analysed coniferous species from Rogów FRS. Denotes as in figure 2

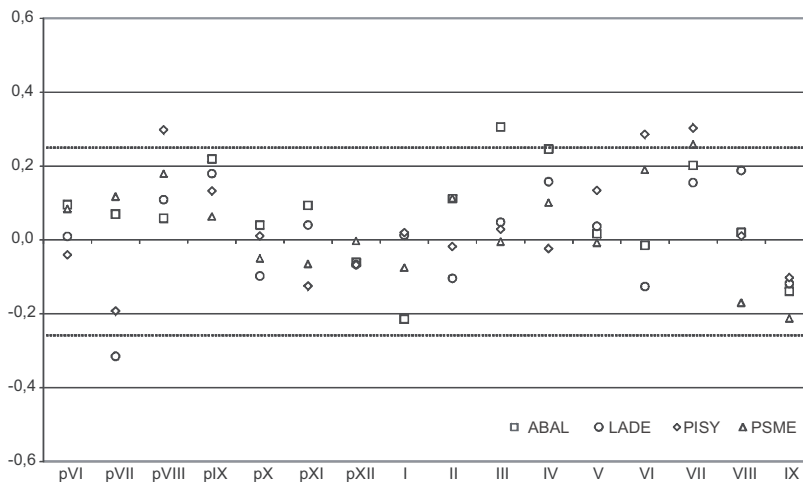
Największe znaczenie w kształtowaniu szerokości słoja badanych gatunków drzew iglastych rosnących w LZD Rogów należy przypisać warunkom termicznym. Rola opadów atmosferycznych w tym procesie była zdecydowanie mniejsza. W przypadku wszystkich gatunków, poza modrzewiem, na proces tworzenia słoja przyrostu rocznego w największym stopniu wpływała termika okresu zimowego i przedwiośnia. Prawidłowość ta odnosi się zarówno do średniej temperatury powietrza (ryc. 2), jak i warunków ekstremalnych – średniej tempe-

ratury minimalnej (ryc. 3) i maksymalnej (ryc. 4). Istotne współczynniki korelacji między tymi parametrami klimatycznymi a seriami czułości rocznej stwierdzono w lutym i marcu w roku tworzenia słoja. Najwyższe wartości ( $r > 0,45$ ) obserwowano w przypadku dąglezi. Warunki termiczne okresu wegetacyjnego oraz poprzedniego roku praktycznie nie wpływały na reakcję przyrostową badanych drzew. Jedynie u jodły stwierdzono istotną negatywną zależność przyrostu w roku następnym od średniej temperatury września. O ile odpowiedź bada-



**Rycina 4. Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną maksymalną temperaturą powietrza a serią czułości rocznej dla badanych iglastych gatunków drzew z LZD Rogów. Oznaczenia jak na rycinie 2.**

Figure 4. Correlation coefficients between mean monthly maximum air temperature and series of annual sensitivity for analysed coniferous species from Rogów FRS. Denotes as in figure 2.



**Rycina 5. Wartości współczynnika korelacji między średnią miesięczną sumą opadów atmosferycznych a serią czułości rocznej dla badanych iglastych gatunków drzew z LZD Rogów. Oznaczenia jak na rycinie 2.**

Figure 5. Correlation coefficients between mean monthly precipitation and series of annual sensitivity for analysed coniferous species from Rogów FRS. Denotes as in figure 2

nych gatunków na warunki termiczne była zbliżona, szczególnie w przypadku czynników najbardziej wpływających na szerokość słoja, to zaobserwowano znaczne zróżnicowanie wpływu opadów atmosferycznych. Największe znaczenie miały one u sosny. Istotne, dodatnie współczynniki korelacji stwierdzono latem (czerwiec, lipiec) roku tworzenia się słoja oraz w sierpniu roku poprzedniego (ryc. 5). U jodły zapotrzebowanie na wodę w postaci deszczu najważniejsze było na przedwiośniu (marzec-kwiecień). W przypadku modrzewia istotna okazała się korelacja indeksów przyrostowych i opadów w lipcu roku poprzedzającego wykształcenie słoja, a w

przypadku daglezi – w lipcu roku odłożenia przyrostu (ryc. 5).

#### 4. Dyskusja

Relacje między przyrostem drzew a czynnikami go kształtującymi przekładają się na tendencje wzrostowe poszczególnych gatunków, a co za tym idzie i na możliwości produkcyjne ekosystemów leśnych (Speieker et al. 1996; Jaworski 2003a, b). Wszelkie zmiany w tym zakresie będą powodować nie tylko zmiany w samych

zbiorowiskach roślinnych, ale i w leśnictwie oraz dziedzinach gospodarki z nim związanych (Chmura et al. 2010). Analiza dendroklimatologiczna pozwala ustalić charakter relacji między warunkami klimatycznymi a aktywnością kambium. Może być wykorzystywana do poznania wymagań ekologicznych poszczególnych gatunków drzew oraz oceny wpływu warunków siedliskowych na ich wzrost i przyrost (Fritts 1976; Briffa, Cook 1990; Schweingruber 1996). W przypadku gatunków obcych może stanowić narzędzie do oceny stopnia ich aklimatyzacji.

Podobieństwo uzyskanych chronologii analizowanych iglastych gatunków drzew rosnących w LZD Rogów świadczy o zbliżonym charakterze ich reakcji na zmieniające się z roku na rok warunki klimatyczne. Głównym czynnikiem wpływającym na przyrost grubości tych drzew była termika końca zimy i wczesniej wiosny. Podobne obserwacje, lecz dla szerszego zestawu gatunków rosnących w Nadleśnictwie Sławno na Pomorzu, zostały poczynione przez Feliksika i Wilczyńskiego (2009). Zbliżone wyniki uzyskała także Cedro (2004) dla sosny i daglezi z Pomorza Zachodniego. Stwierdzone w prezentowanych badaniach relacje „klimat – przyrost” poszczególnych gatunków zasadniczo znajdują potwierdzenie w wynikach wcześniejszych analiz wpływu warunków klimatycznych na aktywność kambium gatunków drzewiastych w Polsce. Jednakże położenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego SGGW w Rogowie na granicy naturalnego występowania niektórych z nich przekłada się na lokalną specyfikę tych zależności.

Otrzymane wyniki dotyczące roli klimatu w kształtowaniu przyrostu rocznego sosny wpisują się w dotychczasowe ustalenia w tym zakresie zarówno na nizinach (Zielski 1997; Cedro 2004; Koprowski et al. 2012), jak i w górach (Wilczyński et al. 2001) oraz całej Polsce (Wilczyński et al. 2001; Zielski et al. 2010). Za główny czynnik ograniczający wzrost sosny uznaje się niską temperaturę w okresie luty – marzec. Takie same wyniki otrzymano w przypadku *Pinus sylvestris* rosnącej w Rogowie. Świadczy to o ponadregionalnym charakterze i znaczeniu termiki końca zimy i przedwiośnia, jeżeli chodzi o aktywność kambium tego gatunku. Spośród analizowanych gatunków największą zależność przyrostu rocznego od opadów atmosferycznych stwierdzono właśnie u sosny (ryc. 5). Pozytywna rola obfitych opadów w okresie wegetacyjnym (maj-lipiec) została także stwierdzona u sosen badanych na Pomorzu Zachodnim przez Cedro (2001, 2004) i w północnej Polsce (Koprowski et al. 2012). Wyniki otrzymane w niniejszych badaniach są o tyle zastanawiające, że sosna jest gatunkiem o szerokim zakresie wymagań wilgotnościowych i w znacznej mierze zajmuje siedliska suche. Stanowisko w Rogowie zlokalizowane jest na

siedlisku Lśw i LMśw. Te typy siedliskowe lasu cechują się wilgotnością wystarczającą lub nawet przewyższającą standardowe zapotrzebowania sosny. Niewykluczone, że na stosunki wodne badanej sosny wpływają inne, niezidentyfikowane czynniki.

W przypadku modrzewia uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie we wcześniejszych studiach nad wpływem klimatu na przyrost roczny tego gatunku, szczególnie na obszarze nizinym Polski. Zarówno Oleksyn i Fritts (1991), jak i Danek (2009) oraz Koprowski (2012) podkreślają, że temperatura zimy i przedwiośnia nie jest dla modrzewia czynnikiem istotnie wpływającym na proces formowania słoja przyrostu rocznego. Autorzy ci wiążą ten fakt ze znaczą mrozoodpornością tego gatunku wynikającą z niskiej zimowej zdolności transpiracyjnej (Olaczek 1986). Jednakże badane modrzewie wykazują istotną pozytywną korelację z temperaturą minimalną marca (ryc. 3), co może świadczyć o tym, że mimo dużej odporności na mróz gatunek ten preferuje jednak okres przedwiośnia pozbawiony przymrozków. Stwierdzona przez Danek (2009) oraz Danek i Danek (2011) istotna rola termiki czerwca nie znajduje potwierdzenia w przypadku drzew rosnących w Rogowie. Niewykluczone, że modrzew znajduje w tym regionie swoje optimum wymagań względem temperatury. Chociaż takiemu stwierdzeniu mogą przeczyć wartości współczynnika korelacji między indeksami przyrostowymi a wartościami temperatury minimalnej w okresie wegetacyjnym (ryc. 3). Nie są one co prawda istotne statystycznie, ale wskazują na zapotrzebowanie tego gatunku na ciepło w okresie aktywności kambium, co częściowo widoczne jest także w wynikach prezentowanych dla północnej Małopolski przez Danek (2009). Dotychczasowe analizy dendroklimatologiczne stwierdzają istotny wpływ opadów atmosferycznych na przyrost radialny modrzewia w Polsce (Oleksyn, Fritts 1991; Feliksik 1992; Feliksik, Wilczyński 1998a, b; Danek 2009, Koprowski 2012). Szerokość słoju przyrostu rocznego badanych modrzewi z Rogowa wydaje się nie zależeć od ilości wilgoci docierającej w postaci deszczu. Jedyną istotną korelację stwierdzono w przypadku lipca roku poprzedniego. Jej negatywny charakter można wiązać z tym, że roślina „inwestuje” dostępną wilgoć w tworzenie bieżącego przyrostu, a nie w pączki, z których będzie czerpać substancje odżywcze w roku następnym.

Zależność przyrostu radialnego jodeł od temperatury w okresie zimy i przedwiośnia została stwierdzona w różnych regionach Polski. Na znaczenie termiki tego okresu w kształtowaniu przyrostu *Abies alba* uwagę zwracał Feliksik (1990). Pozytywną korelację między temperaturą lutego i marca a szerokością słoja przyrostu rocznego u jodeł rosnących na północy kraju, poza naturalnym zasięgiem występowania tego gatunku, stwier-

dzili Koprowski i Gławenda (2007). Według Bijaka (2010) w zimowych i przedwiosennych mrozach należy upatrywać przyczyn negatywnych lat wskaźnikowych u jodeł z Pojezierza Kaszubskiego. Znajduje to potwierdzenie w prezentowanych w tej pracy wysokich i istotnych współczynnikach korelacji serii czułości rocznej i temperatury minimalnej oraz maksymalnej (ryc. 3, 4). Z kolei Feliksik i inni (2000) otrzymali dla Świętokrzyskiego Parku Narodowego (ŚPN) rezultaty zbliżone do wyżej opisanych. Co ciekawe, badający niezbyt odległe od ŚPN jedliny Nadleśnictwa Zagnańsk Bronisz i inni (2010) stwierdzili zupełnie odmienny charakter relacji „temperatura – przyrost”. Według ich obserwacji korelacja między temperaturą marca a indeksami przyrostowymi miała charakter negatywny. Autorzy ci podkreślali także istotną rolę termiki okresu wegetacyjnego, a szczególnie lata, co znajduje potwierdzenie w pracach Feliksika (1990). Stwierdzony przez nich ograniczający wzrost wpływ temperatury powietrza można tłumaczyć przesuszaniem gruntu, efektem czego może być deficyt tak potrzebnej w tym czasie roślinom wilgoci (Bernadki 2008). Prawie całkowity brak relacji między przyrostem a sumą opadów obserwowany był także w północnej Polsce, poza zasięgiem jodły, na pojezierzach Iławskim (Koprowski, Gławenda 2007) i Kaszubskim (Bijak 2010), a także w Rogowie, gdzie jodła występuje na granicy swojego naturalnego zasięgu. Tam brak istotnego wpływu opadów może wynikać z ich dostatecznej ilości i właściwego rozmieszczenia w ciągu roku oraz z faktu, że granica ta jest wyznaczona warunkami termicznymi.

W obrębie naturalnego zasięgu występowania w Ameryce Północnej dąglezja zajmuje siedliska skrajnie różniące się pod względem wilgotności i termiki, czego efektem jest znaczne zróżnicowanie odporności tego gatunku na susze i mróz (Bellon et al. 1977). Szeroki zakres czynników klimatycznych, wpływających na wzrost dąglezji w Polsce, stwierdzili Feliksik i Wilczyński (2004). Jednakże termika okresu zimowego, a szczególnie lutego i marca, wydaje się być ponadregionalnym determinantem przyrostu tego gatunku na grubość. Obserwacje te znalazły potwierdzenie w bardziej szczegółowych analizach wspomnianych autorów (Feliksik, Wilczyński 2008, 2009) oraz Cedro (2004, 2006). Relacje „klimat – przyrost” dąglezji z Rogowa wpisują się w schemat zależności wzrostu tego gatunku od warunków klimatycznych w Polsce. Wśród badanych gatunków iglastych to właśnie dąglezje w największym stopniu reagowały na warunki cieplne okresu końca zimy i przedwiośnia (ryc. 2–4). Świadczy to o dużej wrażliwości tego obcego dla naszych warunków przyrodniczych gatunku na klimat, szczególnie zaś na mrozy w okresie przed rozpoczęciem wegetacji. Zależność przyrostu badanych osobników *Pseudotsuga*

*menziesii* od opadów częściowo pokrywa się z obserwacjami Feliksika i Wilczyńskiego (2004). Szczególne znaczenie czynnik ten ma w regionach o niskich opadach i ogólnym deficycie wody w bilansie wilgoci. Do takich obszarów należą Wzniesienia Łódzkie. W pozostałych regionach (np. na Pomorzu) obserwuje się istotną pozytywną korelację przyrostu z opadami w lutym i marcu (Cedro 2004, 2006; Feliksik, Wilczyński 2008). Takiej zależności nie stwierdzono w niniejszych badaniach. Zapewne, tak jak w przypadku jodły, ten brak istotnego wpływu opadów może wynikać z ich dostatecznej ilości i właściwego rozłożenia w ciągu roku.

Przyczyn obserwowanej zależności przyrostu badanych gatunków iglastych od temperatury okresu luty – marzec należy upatrywać w fizjologii roślin. Mroźna zima osłabia tempo procesów fizjologicznych, szczególnie wpływa na równowagę między procesami asymilacji i oddychania (Żelawski 1967; Szaniawski et al. 1977). Co prawda niektóre gatunki, np. modrzew, dzięki niskiej zimowej zdolności transpiracyjnej cechują się mrozoodpornością (Olaczek 1986), jednakże przemrożenie gleby, co jest bardzo prawdopodobne szczególnie w przypadku braku pokrywy śnieżnej, może doprowadzić, zwłaszcza na przedwiośniu, do pojawiania się suchofizjologicznej, co z kolei może skutkować uszkodzeniem tkanek roślinnych (Szymański 1986). Dodatkowo, na co zwraca uwagę Chałupka (1977), niska temperatura w tym okresie hamuje aktywność pąków i igieł w produkcji fitohormonów, obniżając efektywność procesów metabolicznych i ksylogenezy. Z tego powodu aktywność kambium nie dość że zaczyna się później, to jeszcze odbywa się z mniejszą intensywnością i skutecznością, nic zatem dziwnego, że drzewa wytwarzają węższe słoje przyrostu rocznego.

## 5. Podsumowanie

Badane iglaste gatunki drzew w LZD Rogów wykazują spore podobieństwo dynamiki zmian przyrostu grubości, które jednak wydaje się być bardziej efektem zależności taksonomicznych niż proveniencyjnych. Introdukowana dąglezja dobrze zaadaptowała się do lokalnych warunków wzrostu i prezentuje przebieg zmian przyrostu rocznego zbliżony do rodzimych gatunków drzew. Uzyskany obraz wpływu warunków klimatycznych na przyrost radialny, rosnących w LZD Rogów, sosny, jodły, modrzewia oraz dąglezji jest typowy dla relacji dendroklimatologicznych obserwowanych u tych gatunków na innych stanowiskach w nizinnej części Polski, gdzie głównym czynnikiem wpływającym na szerokość słoja przyrostu rocznego jest temperatura okresu zimowego i przedwiośnia. Świadczy to o ponad-



regionalnym i międzygatunkowym charakterze i znaczeniu warunków termicznych tego okresu w kształtowaniu przyrostu iglastych gatunków drzewiastych rosnących w Polsce.

## Podziękowania

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

## Literatura

- Bellon S., Tumiłowicz J., Król S. 1977. Obce gatunki drzew w gospodarstwie leśnym. Warszawa, PWRiL, 267 s. ISBN 00-01-13477-9.
- Bernadzi E. 2008. Jodła pospolita – ekologia, zagrożenia, hodowla. Warszawa, PWRiL. ISBN 978-83-09-01028-9.
- Bijak Sz. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (northern Poland). *Geochronometria*, 35: 91–94.
- Bijak Sz., Bronisz A., Bronisz K. 2012a. Wpływ czynników klimatycznych na przyrost radialny dębu szypułkowego i czerwonego w LZD Rogów. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 14/1 (30): 121–128.
- Bijak Sz., Bronisz A., Bronisz K. 2012b. Wpływ ekstremalnych warunków klimatycznych na przyrost radialny dębu czerwonego *Quercus rubra* w LZD Rogów. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 14/4 (33): 163–170.
- Biondi F., Waikul K. 2004. DendroClim2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences*, 30: 303–311.
- Briffa K., Cook E. R. 1990. Methods of response function analysis, w: Cook E., Kairiukstis L. *Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Boston Kluwer Academic Publishers: 240–247. ISBN 0-7923-0586-8.
- Bronisz A., Bijak Sz., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. *Sylvan*, 154(7): 463–470.
- Cedro A. 2001. Dependence of radial growth of *Pinus sylvestris* L. from western Pomerania on the rainfall and temperature conditions. *Geochronometria*, 20: 69–74.
- 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. ISBN 83-89402-03-3.
- Cedro A. 2006. Influence of thermic and pluvial conditions on the radial increments of *Pseudotsuga menziesii* Franco from Western Pomerania, Poland, w: Heinrich I., Gärtner H., Monbaron M., Schleser G. (red.). *TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 4: 132–140.
- Chałupka W. 1977. Zagadnienia fizjologii wzrostu i rozwoju, w: *Nasze Drzewa Leśne. Świerk pospolity*. Warszawa-Poznań, PWN: 153–198.
- Chmura D. J., Howe G. T., Anderson P. D., St. Clair J. B. 2010. Przystosowanie drzew, lasów i leśnictwa do zmian klimatycznych. *Sylvan* 154(9): 587–602.
- Cook E. R., Briffa K. 1990. Data analysis, w: Cook E., Kairiukstis L. *Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers: 99–162. ISBN 0-7923-0586-8.
- Danek M. 2009. Wpływ warunków klimatycznych na szerokość przyrostów rocznych modrzewia (*Larix decidua* Mill.) rosnącego w północnej części województwa małopolskiego. *Sylvan*, 153(11): 768–776.
- Danek M., Danek T. 2011. Zastosowanie alternatywnych metod przetwarzania danych w analizie dendroklimatologicznej modrzewia *Larix decidua* Mill. Z Polski południowej. *Sylvan*, 155(3): 147–158.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 151.
- Feliksik E. 1992. Wpływ warunków klimatycznych na wielkość przyrostów radialnych modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) występującego w Karpatach. *Sylvan*, 136(5): 61–67.
- Feliksik E., Wilczyński S. 1996. Dendrochronologiczna charakterystyka sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z Kotliny Kłodzkiej i Karpat. *Sylvan*, 140(9): 77–84.
- Feliksik E., Wilczyński S. 1998a. Wpływ temperatury i opadów na przyrost roczny drewna świerka, sosny i modrzewia występujących w leśnictwie Pierściec u podnóża Pogórza Wilamowickiego. *Prace Komitetu Zagospodarowania Ziem Górskich PAN*, 44: 77–86.
- Feliksik E., Wilczyński S. 1998b. Wpływ warunków termicznych i pluwialnych na przyrost drewna modrzewi (*Larix decidua* Mill.). *Sylvan*, 142(3): 85–90.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2001. Influence of temperature and rainfall on the increment width of native and foreign tree species from the Istebna Forest District. *Folia Forestalia Polonica*, ser. A. 43: 103–114.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2004. Klimatyczne uwarunkowania przyrostu radialnego daglezi zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) rosnącej na obszarze Polski. *Sylvan*, 148(12): 31–38.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carriere oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Sylvan*, 152(6): 3–13.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2009. The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. *Geochronometria*, 33: 49–57.
- Feliksik E., Wilczyński S., Podlaski R. 2000. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych sosny (*Pinus sylvestris* L.), jodły (*Abies alba* Mill.) i buka (*Fagus sylvatica* L.) ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. *Sylvan*, 144(9): 53–64.
- Fritts H. C. 1976. *Tree rings and climate*. London-New York-San Francisco, Academic Press.
- Jaworski A. 2003a. Zmiany tendencji wzrostowych głównych lasotwórczych gatunków drzew w Europie i obszarach

- górkich Polski oraz ich przyczyny. Część I. Zmiany tendencji wzrostowych. *Sylvan*, 147(6): 99–106.
- Jaworski A. 2003b. Zmiany tendencji wzrostowych głównych lasotwórczych gatunków drzew w Europie i obszarach górskich Polski oraz ich przyczyny. Część II. Przypuszczalne przyczyny zmian tendencji wzrostowych. *Sylvan*, 147(7): 69–74.
- Kondracki J. 2000. Geografia regionalna Polski. Warszawa, PWN. ISBN 83-01-13897-1.
- Koprowski M. 2012. Long-term increase of March temperature has no negative impact on tree rings of European larch (*Larix decidua*) in lowland Poland. *Trees*, 26: 1895–1903. DOI 10.1007/s00468-012-0758-8.
- Koprowski M., Gławenda K. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). *Sylvan*, 151(11): 35–40.
- Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszynska A. 2012. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *International Journal of Biometeorology*, 56: 1–10. DOI: 10.1007/s00484-010-0390-5.
- Mäkinen H., Vanninen P. 1999. Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series. *Forest Ecology and Management*, 113: 83–89.
- Olażek R. 1986. Zarys ekologii i fitocenologii, w: S. Białobok (red.) *Modrzewie Larix* Mill. Warszawa-Poznań, PWN: 379–440.
- Oleksyn J., Fritts H. C. 1991. Influence of climatic factors upon tree rings of *Larix decidua* and *L. decidua* × *L. kaempferi* from Pulawy, Poland. *Trees*, 5: 75–82.
- Opała M. 2009. Wpływ warunków klimatycznych na kształtowanie się szerokości przyrostu rocznego *Fagus sylvatica*, *Pinus silvestris* i *Abies alba* z Ojcowskiego Parku Narodowego. *Prądnik. Prace i Materiały Muzeum im. Prof. Wł. Szafera*, 19: 231–230.
- Schweingruber F. H. 1996. Tree Rings and Environment – Dendroecology. Berne, Paul Haupt Publishers. ISBN 3258054584.
- Spiecker H., Mielikainen K., Kohl M., Skovsgaard J. P. (red.). 1996. Growth trends in European forests. European Forest Institute, Research Report 5, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Szaniawski R., Żelawski W., Wierzbicki B. 1977. Wymiana gazowa i gospodarka wodna, w: *Nasze Drzewa Leśne. Świerk pospolity*. Warszawa-Poznań, PWN: 131–152.
- Szymański S. 1986. Ekologiczne podstawy hodowli lasu. Warszawa, PWRiL. ISBN 83-09-01728-6.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. Warszawa, PWRiL, 159 s.
- Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 201–213.
- Wilczyński S. 1999. Wpływ klimatu na przestrzenne zróżnicowanie reakcji przyrostowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.), w: Feliksik E. Klimatyczne uwarunkowania życia lasu. Wrocław, Polskie Towarzystwo Ludoznawcze: 197–203.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kollątaja w Krakowie, Rozprawy*: 464 (341): 1–221.
- Wilczyński S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylvan* 145(8): 53–61.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły pospolitej oraz modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 14/1 (30): 66–74.
- Zielski A. 1997. Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. Toruń, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Zielski A., Krapiec M. 2004. Dendrochronologia. Warszawa, PWN, 328 s. ISBN 830114226X.
- Zielski A., Krapiec M., Koprowski M. 2010. Dendrochronological data, w: Przybylak R., Majorowicz J., Brazdil R., Kejna M. (red.). The Polish climate in the European context: an historical overview. Springer: 191–217. DOI: 10.1007/978-90-481-3167-9.
- Żelawski W. 1967. Wymiana gazowa i bilans wodny igliwia, w: *Zarys fizjologii sosny zwyczajnej*. Warszawa – Poznań, PWN: 33–94.