

ARKADIUSZ BRUCHWALD, ELŻBIETA DMYTERKO, SZYMON BIJAK,
 JAN ŁUKASZEWICZ, MARZENA NIEMCZYK, PIOTR WRZESIŃSKI

Kształtowanie się przyrostu grubości jodeł z Gór Świętokrzyskich*

Radial increment of silver fir from the Świętokrzyskie Mts.

ABSTRACT

Bruchwald A., Dmyterko E., Bijak S., Łukaszewicz J., Niemczyk M., Wrzesiński P. 2016. Kształtowanie się przyrostu grubości jodeł z Gór Świętokrzyskich. Sylwan 160 (11): 893-904.

The paper presents the dendrochronological analysis of silver firs (*Abies alba* Mill.) growing in the canopy layer of the forest stands. We searched for the similarities in the rhythm of radial growth of studied trees and we analysed the response of these stands to the increment disturbances related to the occurrence of adverse climatic factors and the pressure from industrial pollution. The research material was collected in 30 pure and uneven-aged silver fir stands located in the Świętokrzyskie Mountains (central Poland). We investigated the effect of age of the stands and the conditions for their growth (location, forest habitat type) on an average tree-ring width. In order to detect similarities in the rhythm of radial growth of the surveyed stands, we grouped the raw chronologies by the means of the cluster analysis, using Ward's agglomeration procedure with 1-r distance (r – Pearson correlation coefficient). We assessed the incremental response of the investigated stands to the disturbances (situations of significantly reduced radial growth) using indicators of resistance, recovery and resilience proposed by Lloret et al. [2011]. We also studied the influence of the stand age and the forest habitat type on the response of analysed for stands to the detected disturbances. The shortest chronology consisted of 94 tree-rings, while the longest one of 137. Average length of the obtained silver fir chronologies was 119 years. Older fir stands characterised with narrower rings ($r=-0.451$, $p=0.012$). Neither the location, nor the forest habitat type are the factors determining the similarity of the rhythm of radial growth of silver firs from the Świętokrzyskie Mountains ($p=0.243$ and $p=0.967$ respectively). The extreme climatic conditions responsible for the majority of the short-term (one-year-long) incremental depressions are the factor of regional importance, which affects the growth of investigated trees. Older stands characterized with better possibilities of increment recovery after the disturbance than younger stands ($p<0.001$), which may be a result of the production of secondary crowns. No consistent differences in the indices of resistance and resilience were found among analysed stands.

KEY WORDS

Abies alba Mill., tree-rings, increment reduction, increment release, disturbances

ADDRESSES

Arkadiusz Bruchwald ⁽¹⁾ – e-mail: A.Bruchwald@ibles.waw.pl
 Elżbieta Dmyterko ⁽¹⁾ – e-mail: E.Dmyterko@ibles.waw.pl

*Praca powstała w ramach tematu „Zasady prowadzenia gospodarki leśnej na terenach zagrożonych przez wiatr” zleconego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

Szymon Bijak ⁽²⁾ – e-mail: szymon.bijak@wl.sggw.pl
 Jan Łukaszewicz ⁽³⁾ – e-mail: J.Lukaszewicz@ibles.waw.pl
 Marzena Niemczyk ⁽³⁾ – e-mail: M.Niemczyk@ibles.waw.pl
 Piotr Wrzesiński ⁽³⁾ – e-mail: P.Wrzesinski@ibles.waw.pl

⁽¹⁾ Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

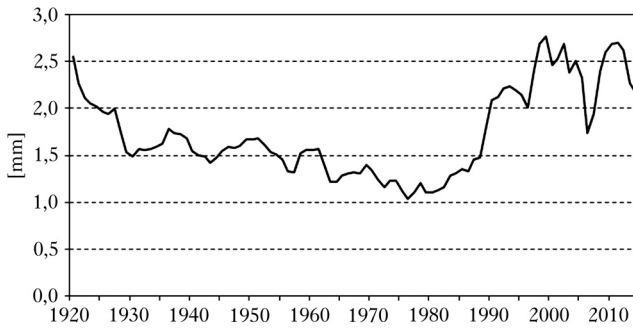
⁽²⁾ Samodzielna Pracownia Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽³⁾ Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, Instytut Badawczy Leśnictwa; Sękocin Stary, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn

Wstęp

Analizując zmiany z wiekiem przyrostu grubości drzew, można zaobserwować powolny, ale wyraźny i systematyczny spadek jego wartości. Często jednak następuje zachwianie tego trendu, co przejawia się szybszym albo głębszym spadkiem przyrostu grubości, wynikającym z pogorszenia się warunków wzrostu drzew, lub dynamiczniejszym albo znaczniejszym jego wzrostem, gdy warunki ulegną poprawie [Fritts 1976; Schweingruber 1996; Zielski, Krapiec 2004]. Przyrost radialny drzew zależy przede wszystkim od warunków środowiska, w którym one rosną. Do najważniejszych czynników wpływających na przebieg zmian przyrostu drzew na grubość zalicza się warunki klimatyczne [Carrer i in. 2010; Koprowski 2012, 2013a, b; Cedro, Nowak 2015; Magnuszewski 2015; Magnuszewski i in. 2015; Wilczyński i in. 2015; Wilczyński, Szymański 2015; Tulik, Bijak 2016]. Duże znaczenie mają także zanieczyszczenia atmosfery [Wilczyński 2006; Sensuła i in. 2015], żerowanie owadów [Koprowski, Duncker 2012], kłęski naturalne [Elling i in. 2009; Dittmar i in. 2012], ale również wiek drzew [Carrer, Urbinati 2004; Wilczyński i in. 2015] i ich właściwości osobnicze [Iszkuło i in. 2011; Bijak 2013a, b; Dmyterko 2014].

Jodła pospolita (*Abies alba* Mill.) należy do najbardziej produkcyjnych rodzimych i europejskich gatunków drzew leśnych [Korpel i in. 1982; Bosela i in. 2014]. W latach 60. i 70. XX wieku odnotowano w Europie, w tym również w Polsce, proces tzw. zamierania drzewostanów jodłowych [Capecki, Tuteja 1974; Leibundgut 1974; Zawada 1978; Jaworski 1979; Bernadzki 1983; Eckstein i in. 1983; Jaworski, Skrzyszewski 1986a, b; Ficko i in. 2011; Volařík, Hédl 2013]. Początkowo zjawisko to występowało lokalnie w południowych Niemczech, lecz szybko rozprzestrzeniło się na cały obszar zasięgu jodły [Gömöry i in. 2004]. Zamieranie drzew przejawiało się m.in. wykształcaniem bardzo wąskich słoju przyrostu rocznego (ryc. 1), skracaniem okresu życia igieł, zahamowaniem przyrostu pędów, usychaniem końców gałęzi, a w konsekwencji wzrostem intensywności procesu śmiertelności drzew [Capecki, Tuteja 1974]. Przyczyn tego zjawiska szukano m.in. w zanieczyszczeniach przemysłowych, zmianach warunków klimatycznych, nadmiernym rozwoju patogenów i owadów, szkodach wyrządzanych przez zwierzynę, a także w niewłaściwym sposobie gospodarowania [Dannecker 1941; Stöckl 1941; Šafar 1953]. Badania Zawady i in. [1984] wykazały, że w Polsce w latach 70. XX wieku nie było zdrowych jedlin w naturalnym zasięgu tego gatunku. Poczynając od lat 80., gdy ilość emisji przemysłowych systematycznie malała, a uszkodzoną jodłę usuwano z drzewostanów, zaobserwowano przyspieszony wzrost przyrostu jodeł na grubość (ryc. 1) [Jaworski i in. 1995; Zawada 2001; Podlaski 2002; Bijak 2010; Bronisz i in. 2010; Korzybski i in. 2013; Bosela i in. 2014; Wertz i in. 2014]. Wpływ na coraz lepszą kondycję przyrostową jodeł mogła mieć poprawa stanu rozwoju ich korony, zarówno pierwotnej, jak i wtórnej [Oldeman 1974; Gruber 1992; Roloff 2001; Dmyterko 2014].



Ryc. 1.

Regionalna chronologia rzeczywista badanych jedli z Gór Świętokrzyskich

Regional chronology of tree-ring widths for silver fir from Świętokrzyskie Mts.

Celem pracy była analiza dendrochronologiczna jodeł rosnących w pierwszej warstwie drzewostanu na terenie Gór Świętokrzyskich. Analizowano podobieństwa w rytmice przyrostów badanych jodeł i ich reakcję na zaburzenia przyrostu związane z niekorzystnymi czynnikami klimatycznymi oraz z zanieczyszczeniami przemysłowymi.

Materiał i metody

Materiał badawczy zebrano w 30 różnowiekowych, litych drzewostanach jodłowych położonych w Górach Świętokrzyskich (tab. 1). W większości wzrastały one na siedlisku lasu bądź boru mieszanego wyżynnego i charakteryzowały się III klasą bonitacji określoną na podstawie tablic zasobności Szymkiewicza [1971]. W każdym drzewostanie wybrano po 8 drzew należących do I lub II klasy biosocjalnej Krafta. Wiek tych drzew wahał się od 73 do 174 lat, średnio wynosił 121 lat. Ich przeciętna pierśnica zmieniała się od 26,0 do 76,0 cm, średnio osiągając 46,1 cm, a wysokość – od 16,4 do 37,2 m, średnio 28,1 m.

Z każdego z wybranych drzew, z przekroju pierśnicowego, pobrano świdrem przyrostowym po jednym wywiercie dordzeniowym. Po przygotowaniu wywiertów (zgodnie ze standardową metodyką badań dendrochronologicznych) oraz ich zeskanowaniu, wykorzystując program *CooRecorder 7* (www.cybis.se), pomierzono z zaokrągleniem do 0,01 mm szerokości słoju przyrostu rocznego. Przy pomocy programu *CDendro 7* (www.cybis.se) dokonano synchronizacji i datowania serii pomiarowych. Stosując pakiet *dplR* [Bunn 2008] ze środowiska R (www.r-project.org) opracowano dla każdego drzewostanu chronologię rzeczywistą, będącą średnią arytmetyczną serii przyrostów rocznych, oraz chronologię standardową, czyli pozbawioną trendu wiekowego serię indeksów przyrostu rocznego. Do eliminacji zmienności związanej z wiekiem wykorzystano funkcję sklejaną (*spline*) o domyślnych wartościach parametrów przyjętych w procedurze pakietu [Bunn 2008]. Następnie przeanalizowano wpływ wieku badanych drzewostanów oraz warunków ich wzrostu (położenie, siedliskowy typ lasu) na średnią szerokość słoja przyrostu rocznego. W pierwszym przypadku wykorzystano analizę korelacji, natomiast w drugim jedno-czynnikową analizę wariancji (poziom istotności=0,05).

W celu wykrycia podobieństwa rytmiki przyrostu radialnego badanych drzewostanów dokonano pogrupowania chronologii rzeczywistych w analizie skupień, stosując procedurę aglomeracji Warda oraz miarę odległości 1-r Pearsona [Koprowski 2012, 2013b]. Do obliczeń wykorzystano program *PAST 3.1* [Hammer i in. 2001]. Uzyskane zbiorowiska chronologii (klasy) porównano z informacjami na temat wieku drzewostanów i siedliskowego typu lasu w celu ustalenia wpływu tych czynników na uzyskany obraz podobieństwa przyrostu radialnego badanych jodeł.

Tabela 1.

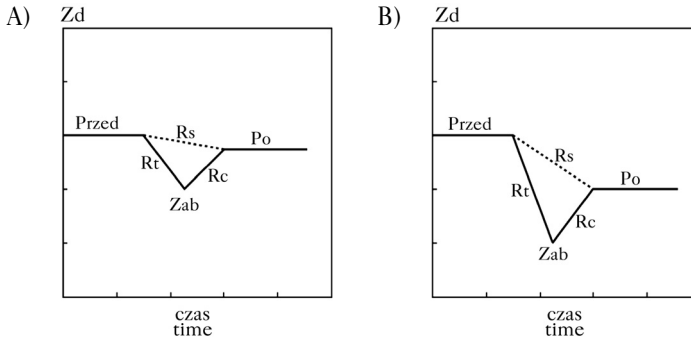
Siedliskowy typ lasu (TSL), wiek (W [lata]), przeciętna pierśnica (D [cm]), przeciętna wysokość (H [m]) oraz bonitacja i czynnik zadrzewienia według tablic Szymkiewicza [1971] (odpowiednio SIs [m] i Zs) i według modelu Zasady [1999] (odpowiednio SIz [m] i Zz) badanych drzewostanów jodłowych (Powierzchnia)

Forest habitat type (TSL), age (W [years]), quadratic mean diameter (D [cm]), mean height (H [m]) as well as site index and stocking according to Szymkiewicz [1971] yield tables (SIs [m] and Zs respectively) and site index and stocking according to Zasada [1999] growth model (SIz [m] and Zz respectively) for analysed silver fir stands (Powierzchnia)

Powierzchnia	TSL	W	D	H	SIs	Zs	SIz	Zz
Suchedniów (SU)								
SU01	LMwyż	125	33,6	22,2	IV	0,3	21,3	0,42
SU02	Lwyż	117	38,6	24,9	III	0,2	23,4	0,53
SU03	Lwyż	114	39,3	24,8	III	0,3	23,9	0,34
SU04	Lwyż	118	32,1	21,0	IV	0,2	19,8	0,24
SU05	LMwyż	129	33,8	23,1	IV	0,3	21,6	0,46
SU06	LMwyż	113	34,1	27,7	II	0,3	27,8	0,53
SU07	LMwyż	115	29,0	20,1	IV	0,2	19,9	0,37
SU08	LMwyż	126	33,3	23,3	IV	0,3	22,3	0,47
SU09	LMwyż	121	23,8	17,6	V	0,3	18,6	0,69
SU10	LMwyż	101	34,1	23,3	III	0,2	23,1	0,26
SU11	Lwyż	121	32,2	23,4	III	0,2	22,1	0,37
SU12	LMwyż	123	43,2	27,5	III	0,3	26,0	0,39
SU13	Lwyż	124	39,8	26,2	III	0,3	25,2	0,44
SU14	LMwyż	148	41,5	29,1	III	0,3	25,8	0,53
SU15	LMwyż	117	37,2	27,8	III	0,2	22,3	0,45
Skarżysko (SK)								
SK01	BMwyż	146	48,9	31,0	II	0,3	25,5	0,46
SK02	Lwyż	117	36,9	27,3	III	0,4	25,9	0,77
SK03	BMśw	127	42,0	29,4	II	0,2	25,6	0,49
SK04	BMw	125	41,6	28,9	II	0,2	25,4	0,44
SK05	LMw	125	29,1	21,9	IV	0,2	19,1	0,36
SK06	BMw	119	37,1	23,9	IV	0,1	17,1	0,11
Zagnańsk (ZA)								
ZA01	BMw	115	44,3	28,4	II	0,4	26,4	0,58
ZA02	BMw	125	39,7	26,2	III	0,4	24,4	0,74
ZA03	LMwyż	125	45,1	29,4	II	0,4	27,1	0,73
ZA04	LMwyż	120	51,8	29,6	II	0,2	23,8	0,23
ZA05	LMwyż	115	37,0	25,7	III	0,7	24,6	0,92
ZA06	BMwyż	104	39,3	28,8	III	0,5	24,7	0,49
ZA07	LMwyż	120	36,8	24,6	III	0,3	22,9	0,68
Łagów (ŁA)								
ŁA01	LMwyż	118	50,4	30,1	II	–	–	–
ŁA02	LMwyż	112	46,3	26,7	II	–	–	–

LMwyż – mixed deciduous upland forests, BMwyż – mixed coniferous upland forests, Lwyż – deciduous upland forests, LMw – wet mixed deciduous forests, BMw – wet mixed coniferous forests

Oceny reakcji przyrostowej badanych drzewostanów na zaburzenia (znacząco obniżony przyrost grubości) dokonano, wykorzystując wskaźniki odporności, regeneracji i elastyczności (ryc. 2) zaproponowane przez Lloreta i in. [2011]. Odporność (*Rt*; ang. resistance) jest miarą redukcji przyrostu wywołanej przez zaburzenie i jest obliczana jako stosunek średniego przyrostu w czasie zaburzenia (*Zab*) i średniego przyrostu w pewnym czasie przed zaburzeniem (*Przed*):



Ryc. 2.

Przebieg przyrostu grubości drzewa (Z_d) w przypadku słabego (A) i silnego (B) zaburzenia (na podstawie Lloret i in. [2011])

Course of radial increment (Z_d) in case of weak (A) and heavy (B) disturbance (based on Lloret et al. [2011])

Przed – średni przyrost w pewnym czasie przed zaburzeniem; Zab – średni przyrost w czasie zaburzenia; Po – średni przyrost w pewnym czasie po zaburzeniu; Rt – odporność, Rc – regeneracja, Rs – elastyczność

Przed – mean increment before the disturbance; Zab – mean increment during the disturbance; Po – mean increment after the disturbance; Rt – resistance, Rc – recovery, Rs – resilience

$$R_t = Zab / Przed$$

Wartość wskaźnika $R_t=1$ oznacza pełną odporność ekosystemu na zaburzenie. Im wartość R_t jest niższa, tym mniejszą odpornością charakteryzuje się dany drzewostan [Pretzsch i in. 2013]. Regeneracja (R_c ; ang. recovery) to zdolność ekosystemu do odzyskania możliwości wzrostowych po ustaniu zaburzenia. Wskaźnik ten obliczany jest jako stosunek średniego przyrostu w pewnym czasie po zaburzeniu (P_o) i średniego przyrostu w czasie zaburzenia (Zab):

$$R_c = P_o / Zab$$

Wartość $R_c=1$ wskazuje na utrzymywanie się niskiego poziomu przyrostu nawet po ustaniu zaburzenia, $R_c<1$ oznacza dalszy spadek przyrostu i pogłębianie się negatywnych skutków zaburzenia, natomiast wartości $R_c>1$ świadczą o odzyskiwaniu przez drzewostan możliwości przyrostowych zredukowanych do poziomu osiągniętego w okresie zaburzenia [Lloret i in. 2011; Pretzsch i in. 2013]. Elastyczność (R_s ; ang. resilience) określa możliwość odzyskania przez drzewostan poziomu wzrostu wykazywanego przed zaburzeniem. Wskaźnik ten jest wyliczany jako stosunek średniego przyrostu w pewnym czasie po zaburzeniu (P_o) i średniego przyrostu w pewnym czasie przed zaburzeniem ($Przed$):

$$R_s = P_o / Przed$$

Wartości $R_s \geq 1$ wskazują na pełne odzyskanie przez drzewostan możliwości wzrostowych po wystąpieniu stresu i dużą elastyczność reakcji drzewostanu na niekorzystne warunki wzrostu. Gdy wskaźnik $R_s < 1$, mamy do czynienia z niskimi możliwościami dopasowania się ekosystemu do zmieniających się warunków i długotrwałą redukcją przyrostu w wyniku wystąpienia zaburzenia [Lloret i in. 2011; Pretzsch i in. 2013].

W przypadku pierwszej grupy zaburzeń średni przyrost przed i po wydarzeniu liczono jako średnią arytmetyczną szerokości 5 słoików przyrostu rocznego, a wartość przyrostu w czasie zaburzenia stanowiła szerokość słoja odłożonego w roku wystąpienia danej redukcji przyrostu grubości. W przypadku depresji związanej z „zamieraniem jodeł” w latach 70.-80. XX wieku wszystkie trzy składowe potrzebne do wyliczenia wskaźników reakcji drzewostanu wyznaczano jako wartości średnie dla odpowiednich okresów dziesięcioletnich.

Oceniono wpływ wieku drzewostanu i siedliskowego typu lasu na przyrost radialny badanych jodeł i ich reakcję na zaburzenia. Ponieważ rozkłady badanych cech nie były zgodne z rozkładem normalnym, do analiz wykorzystano nieparametryczny odpowiednik jednoczynnikowej analizy wariancji, czyli test Kruskala-Wallisa. Obliczeń dokonano w programie PAST 3.1 [Hammer i in. 2001].

Wyniki

Zestawione chronologie obejmowały okres od 1878 do 2014 roku. Najkrótsza sekwencja liczyła 94 słoje przyrostu rocznego, a najdłuższa 137. Średnia długość uzyskanych chronologii jodłowych wynosiła 119 lat. Przeciętna szerokość słoja przyrostu rocznego wahała się od 1,62 do 2,37 mm, natomiast odchylenie standardowe tej cechy w poszczególnych chronologiach od 0,61 do 1,14 mm (tab. 2). Stwierdzono istotny wpływ wieku badanych jedlin na szerokość przyrostów

Tabela 2.

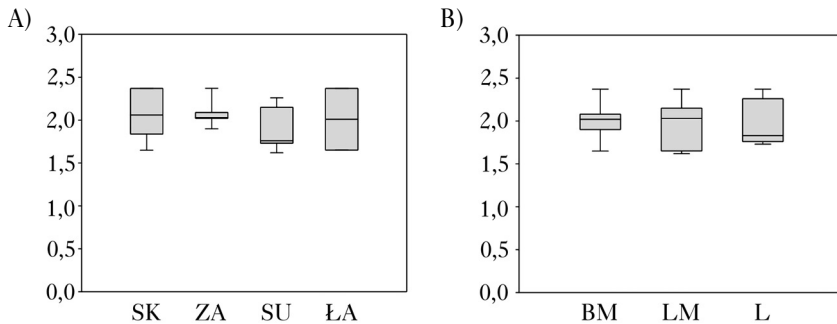
Średnia (M [mm]), mediana (Me [mm]) i odchylenie standardowe (SD [mm]) szerokości słoików rocznych oraz średnia czułość (MS) i autokorelacja pierwszego rzędu (AR1) chronologii jodły pospolitej z Gór Świętokrzyskich

Mean (M [mm]), median (Me [mm]) and standard deviation (SD [mm]) tree-ring width as well as mean sensitivity (MS) and first order autocorrelation (AR1) of chronologies of silver fir from Świętokrzyskie Mts.

Powierzchnia	Okres	M	Me	SD	MS	AR1
SU01	1878-2014	1,63	1,53	0,96	0,208	0,861
SU02	1890-2014	2,26	1,93	1,12	0,202	0,902
SU03	1881-2014	1,83	1,48	0,97	0,209	0,888
SU04	1898-2014	1,73	1,48	0,92	0,165	0,821
SU05	1889-2014	1,76	1,47	1,06	0,185	0,922
SU06	1921-2014	2,15	2,05	0,89	0,150	0,863
SU07	1917-2014	1,76	1,43	0,81	0,196	0,866
SU08	1892-2014	1,62	1,43	0,69	0,177	0,847
SU09	1878-2014	1,63	1,53	0,96	0,208	0,861
SU10	1890-2014	2,26	1,93	1,12	0,202	0,902
SU11	1881-2014	1,83	1,48	0,97	0,209	0,888
SU12	1898-2014	1,73	1,48	0,92	0,165	0,821
SU13	1889-2014	1,76	1,47	1,06	0,185	0,922
SU14	1921-2014	2,15	2,05	0,89	0,150	0,863
SU15	1888-2014	2,08	1,67	1,14	0,137	0,941
SK01	1881-2014	2,03	1,93	0,65	0,144	0,779
SK02	1915-2014	2,37	2,14	0,85	0,126	0,855
SK03	1901-2014	2,37	2,24	0,88	0,159	0,759
SK04	1885-2014	1,65	1,55	0,61	0,192	0,772
SK05	1899-2014	2,09	2,05	0,89	0,153	0,905
SK06	1909-2014	1,90	1,69	0,80	0,152	0,863
ZA01	1907-2014	2,02	1,87	0,77	0,184	0,750
ZA02	1888-2014	2,08	1,67	1,14	0,137	0,941
ZA03	1881-2014	2,03	1,93	0,65	0,144	0,779
ZA04	1915-2014	2,37	2,14	0,85	0,126	0,855
ZA05	1899-2014	2,09	2,05	0,89	0,153	0,905
ZA06	1909-2014	1,90	1,69	0,80	0,152	0,863
ZA07	1907-2014	2,02	1,87	0,77	0,184	0,750
ŁA01	1901-2014	2,37	2,24	0,88	0,159	0,759
ŁA02	1885-2014	1,65	1,55	0,61	0,192	0,772

– drzewostany starsze cechowały się węższymi słojami (współczynnik korelacji $r=-0,451$, $p=0,012$). Z kolei zmienność szerokości słoików nie zależała od wieku drzewostanów ($r=0,141$, $p=0,456$). Położenie (określone przez nadleśnictwo) oraz warunki siedliskowe nie wpływały istotnie na zróżnicowanie średniej szerokości słoika przyrostu rocznego (ryc. 3; odpowiednio $p=0,243$ oraz $p=0,967$). Średnia czułość zestawionych chronologii wahała się od 0,126 do 0,209 i istotnie zależała od wieku jodeł – starsze drzewostany cechowała wyższa wartość tego wskaźnika ($r=0,475$, $p=0,008$).

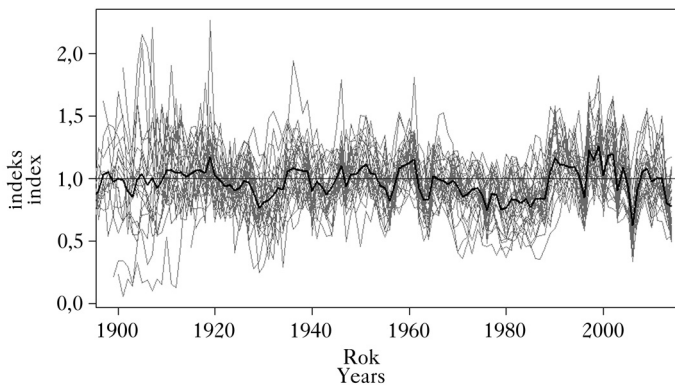
Badane drzewostany charakteryzują się znacznym podobieństwem i jednorodnością rytmiki zmian szerokości słoika rocznego (ryc. 4). Analizując chronologie z tych drzewostanów, wybrano pięć przykładów zaburzeń w przebiegu przyrostu grubości, wyraźnych i występujących u większości jedlin z terenu Gór Świętokrzyskich. Cztery z nich (1929, 1956, 1996 i 2006) były wywołane najprawdopodobniej czynnikami klimatycznymi, natomiast powodem redukcji przyrostów w latach 70. i 80. XX wieku (okres 1976-1985) były głównie zanieczyszczenia przemysłowe.



Ryc. 3.

Średnia szerokość słoika rocznego badanych jedlin w poszczególnych nadleśnictwach (A, oznaczenia jak w tab. 1) oraz w grupach siedliskowych typów lasu (B)

Average tree-ring width in analysed silver fir stands with regard to the individual locations (A, for codes see table 1) and groups of habitat types (B; BM – mixed coniferous, LM – mixed deciduous, L – deciduous)

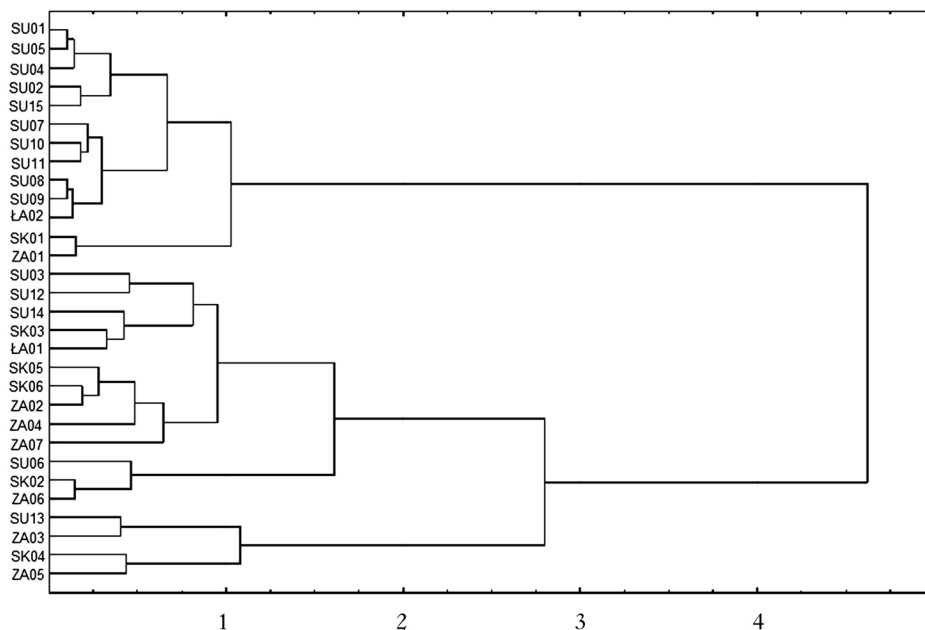


Ryc. 4.

Stanowiskowe (cienkie linie) i regionalna (gruba linia) chronologie standardowe badanych jedlin z Gór Świętokrzyskich

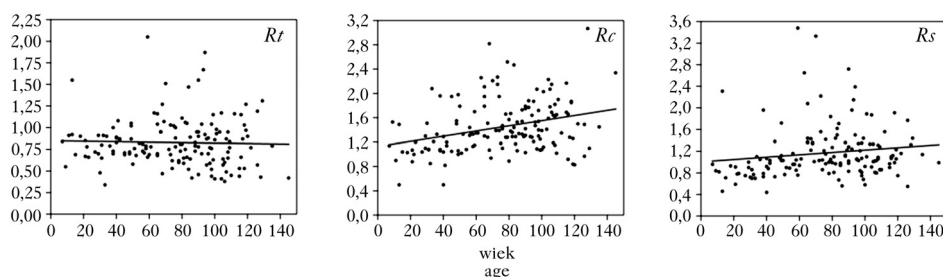
Site (thin lines) and regional (thick line) standard chronologies for analysed silver fir stands from Świętokrzyskie Mts.

Wykorzystując analizę skupień, pogrupowano sekwencje przyrostowe badanych jedlin (ryc. 5), jednak uzyskane klastry (grupy) nie wyróżniają się ani pod względem lokalizacji, ani warunków siedliskowych, w których drzewa wzrastały. Analizowane grupy siedliskowych typów lasu nie różnicowały badanych chronologii pod względem wartości wskaźników odporności ($p=0,166$), regeneracji ($p=0,834$) i elastyczności ($p=0,810$). Wskaźniki odporności i elastyczności nie wykazywały także istotnego wpływu wieku jedlin (odpowiednio: $r=-0,031$, $p=0,705$ oraz $r=0,142$, $p=0,083$). Jedynie wskaźnik regeneracji Rc okazał się istotnie zależny od wieku drzewostanu w momencie zaburzenia ($r=0,311$, $p<0,001$). Co ciekawe, to drzewostany starsze charakteryzowały się lepszymi możliwościami regeneracji przyrostu (ryc. 6).



Ryc. 5.

Grupowanie badanych chronologii rzeczywistych (metoda Warda, odległość 1-r Pearsona)
Clustering of the tree-ring width chronologies (Ward agglomeration, 1-r distance)



Ryc. 6.

Zależność wskaźników odporności (Rt), regeneracji (Rc) i elastyczności (Rs) od wieku badanych jedlin
Relationship between resistance (Rt), recovery (Rc) and resilience (Rs) indices and age of investigated silver fir stands

Dyskusja

Modelowy przebieg zmian z wiekiem przyrostu radialnego drzew charakteryzuje się w początkowym (młodocianym) okresie życia drzew wysokimi wartościami i ich szybkim spadkiem, a następnie mniejszymi wartościami, które powoli maleją, by pod koniec życia drzew osiągnąć przebieg równoległy do osi wieku [Fritts 1976; Schweingruber 1996]. Obraz ten odzwierciedla trend wiekowy przebiegu przyrostu, który zależy w dużej mierze od gatunku drzewa. Dodatkowo może on zostać zakłócony zaburzeniami. Niektóre z nich, np. melioracje lub obniżenie stopnia zagęszczenia drzewostanu, powodują dodatnią reakcję przyrostową drzew, a więc wytwarzanie w pewnym okresie szerszych słoików rocznych niż w okresie wcześniejszym. Wiele czynników (np. żer owadów, ocienienie drzewa, wysoki stopień konkurencji) powoduje jednak ujemną reakcję przyrostową, czyli wytwarzanie przez drzewa wąskich słoików rocznych [Fritts 1976; Schweingruber 1996]. Niekiedy w ciągu długiego okresu życia drzew może wystąpić kilka okresów z ujemną lub dodatnią reakcją przyrostową, co zakłóca modelowy przebieg zmian przyrostu grubości z wiekiem (ryc. 1).

W przypadku analizowanych drzewostanów nie stwierdzono, aby lokalizacja drzewostanu (nadleśnictwo) oraz warunki wzrostu opisane przez siedliskowy typ lasu wpływały na grupowanie sekwencji przyrostowych w klastry o podobnym rytmie zmian przyrostu radialnego. Może to oznaczać, że brak jest jednoznacznego (poza nieanalizowanym w pracy wpływem klimatu) czynnika oddziałującego na przyrost badanych jedlin w skali regionalnej i że jest on kształtowany przede wszystkim przez warunki lokalne – mikroklimat, konkurencję w obrębie drzewostanu, wilgotność gleby lub historię gospodarczą konkretnego wydzielenia. Na te czynniki, jako decydujące o wroście jodeł, wskazują m.in. Wilczyński [2013], który analizował krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego, oraz Wilczyński i in. [2015], badający jodły rosnące na pogórzach i w reglu dolnym Beskidów Zachodnich. Z drugiej strony w ostatnim dziesięcioleciu obserwuje się wytwarzanie bardzo wąskich słoików przez wiele drzew z odrębnych stanowisk. Może to mieć związek z pogarszaniem się warunków wilgotnościowych w sezonach wegetacyjnych, a także ze wzrostem konkurencji między drzewami. Synchroniczność tych zmian świadczyć może jednak o występowaniu silnego czynnika klimatycznego [Bijak 2010; Wertz, Wilczyński 2012].

Jednym z najważniejszych czynników zagrażających bytowi drzewostanów są emisje przemysłowe, których nasilenie w Europie, w tym i w Polsce, wystąpiło w latach 70. ubiegłego wieku [Świątczak 2002]. Wpłynęło to na kondycję i możliwości przyrostowe wielu gatunków drzew, np. sosny [Wilczyński 2006; Malik i in. 2012] czy świerka [Wilczyński, Feliksik 2005]. Szczególnie zaś ucierpiała jodła pospolita. Doszło nawet do tzw. zamierania jodły [Bernadzki 1983, 2008; Eckstein i in. 1983; Jaworski, Skrzyszewski 1986a, b; Jaworski i in. 1995; Podlaski 2002; Elling i in. 2009; Ficko i in. 2011; Wertz, Wilczyński 2012; Volařík, Hédl 2013; Bosela i in. 2014]. Zmiany wykorzystywanych technologii czy wręcz upadek wielu gałęzi przemysłu ciężkiego i wynikające z tego zmniejszenie ilości zanieczyszczeń atmosferycznych w latach 90. ubiegłego wieku leżą u podstaw regeneracji gatunków, które cechowały redukcję przyrostu. Regenerację potencjału przyrostowego następującą po ustąpieniu presji zanieczyszczeń obserwowano u sosny [Wilczyński 2006; Danek 2007; Malik i in. 2012] i świerka [Wilczyński, Feliksik 2005]. Wystąpiła ona także u jodły w różnych częściach Polski [Koprowski, Gławęda 2007; Bijak 2010; Korzybski i in. 2013; Wertz i in. 2014], także w Górach Świętokrzyskich [Bronisz i in. 2010; Wertz, Wilczyński 2012]. Regeneracja przyrostowa widoczna jest również u badanych jodeł zarówno w skali regionalnej (ryc. 1), jak i poszczególnych drzewostanów (ryc. 4). Jednakże w niektórych częściach

badanego obszaru analizowane jedliny zareagowały dość słabo na poprawę warunków wzrostu. W przypadku Nadleśnictwa Łągów przyczyną osłabienia reakcji na ustąpienie presji ze strony zanieczyszczeń atmosferycznych mogą być liczne gradacje owadów.

Stwierdzono, że drzewostany starsze charakteryzowały się lepszymi możliwościami regeneracji przyrostu po wystąpieniu zaburzenia (ryc. 6). W przypadku kompensacji redukcji przyrostów wywołanej zanieczyszczeniami atmosferycznymi w latach 70. XX wieku przyczyną może być wytwarzanie przez badane drzewa korony wtórnej. Rozwija się ona pod wpływem światła docierającego do pnia drzew, co zachodzi przy niskim stopniu zagęszczenia drzewostanu [Oldeman 1974; Gruber 1992; Roloff 2001]. Jak wykazano dla olszy [Dmyterko 2006] i jodły [Dmyterko 2014], drzewa z wytworzoną koroną wtórną istotnie częściej cechowały się dodatnią reakcją przyrostową niż osobniki bez tego typu ugałężenia. Pozytywnie na zwiększony udział drzew ze wzrastającym przyrostem wpływały także względna długość korony wtórnej i jej żywotność.

Wnioski

- ✦ Stwierdzono wyraźny spadek przyrostu radialnego jodeł począwszy od 1960 roku, co wyjaśnić można m.in. wpływem emisji przemysłowych. Trend wzrostowy przyrostu radialnego rozpoczęła się w 1980 roku, a już w roku 1990 przyrost uzyskał wartości zbliżone do tych z roku 1920, a więc z okresu młodości badanych drzew. Główną przyczyną wysokiego przyrostu radialnego po 1990 roku było znaczne obniżenie stopnia zagęszczenia drzew drzewostanów jodłowych.
- ✦ Ani lokalizacja, ani siedliskowy typ lasu nie są czynnikami determinującymi podobieństwo rytmiki przyrostu radialnego jodeł z Gór Świętokrzyskich. Czynnikiem o regionalnym znaczeniu, który wpływa na kształtowanie się przyrostu badanych jedlin na grubość, są ekstremalne warunki klimatyczne odpowiedzialne za większość krótkotrwałych depresji przyrostowych.
- ✦ Starsze drzewostany charakteryzowały się lepszymi możliwościami regeneracji przyrostu po wystąpieniu zaburzenia niż drzewostany młodsze. Niewykluczone, że jest to efekt wytwarzania korony wtórnej. Nie stwierdzono natomiast różnicy między drzewostanami młodymi i starszymi we wskaźnikach odporności i elastyczności na ząście zaburzenia.

Literatura

- Bernadzki E. 1983. Zamieranie jodły w granicach naturalnego zasięgu. W: Białobok S. [red.]. Jodła pospolita *Abies alba* Mill. PWN, Warszawa – Poznań. 483-501.
- Bernadzki E. 2008. Jodła pospolita. Ekologia. Zagrożenia. Hodowla. PWRiL, Warszawa.
- Bijak S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (northern Poland). *Geochronometria* 35: 91-94. DOI: 10.2478/v10003-010-0001-9.
- Bijak S. 2013a. Powiązanie przyrostu radialnego obcych i rodzimych gatunków drzew w LZD Rogów z wybranymi parametrami korony. *Sylvan* 157 (4): 278-287.
- Bijak S. 2013b. Sygnał klimatyczny w przyroście radialnym wybranych iglastych gatunków drzew w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Rogów. *Leś. Pr. Bad.* 74 (2): 101-110. DOI: 10.2478/frp-2013-0010.
- Bosela M., Petrás R., Sitková Z., Priwitzer T., Pajtk J., Hlavatá H., Sedmák R., Tobin B. 2014. Possible causes of the recent rapid increase in the radial increment of silver fir in the Western Carpathians. *Environmental Pollution* 184: 211-221.
- Bronisz A., Bijak S., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. *Sylvan* 154 (7): 463-470.
- Bunn A. G. 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26: 115-124.
- Capecki Z., Tuteja W. 1974. Usuchanie jodły w lasach południowej Polski. *Sylvan* 118 (12): 1-16.
- Carrer M., Nola P., Motta R., Urbinati C. 2010. Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos* 119: 1515-1525.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85 (3): 730-740.
- Cedro A., Nowak G. 2015. Dendroclimatic investigations on *Quercus rubra* and *Quercus robur* in north-western Poland. *Dendrobiology* 74: 123-133. DOI: 10.12657/denbio.074.012.

- Danek M. 2007. The influence of industry on Scots pine stands in the south-eastern part of the Silesia – Krakow Upland (Poland) on the basis of dendrochronological analysis. *Water, Air and Soil Pollution* 185: 265-277.
- Dannecker K. 1941. Ursachen des Rückganges der Weißtanne und waldbauliche Folgerungen. *Cbl.f.d. ges. Forstw.* 11.
- Dittmar Ch., Eißing T., Rothe A. 2012. Elevation-specific tree-ring chronologies of Norway spruce and silver fir in Southern Germany. *Dendrochronologia* 30: 73-83.
- Dmyterko E. 2006. Cechy korony jako podstawa metody określania uszkodzenia drzewostanów olszy czarnej (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). *Rozprawy i Monografie. Inst. Bad. Leś.* 5.
- Dmyterko E. 2014. Reakcja przyrostowa jodły (*Abies alba* Mill.) na zmiany środowiska w powiązaniu z koroną wtórną. *Sylvan* 158 (2): 90-98.
- Eckstein D., Anioł R. W., Bauch J. 1983. Dendroklimatologische Untersuchungen zum Tannensterben. *European Journal of Forest Pathology* 13: 279-288.
- Elling W., Dittmar Ch., Pfaffelmoser K., Rötzer T. 2009. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. *For. Ecol. Manag.* 257: 1175-1187.
- Ficko A., Poljanec A., Boncina A. 2011. Do changes in spatial distribution, structure and abundance of silver fir (*Abies alba* Mill.) indicate its decline? *For. Ecol. Manag.* 261: 844-854.
- Fritts H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London – New York – San Francisco.
- Gömöry D., Longauer R., Liepelt S., Ballian D., Brus R., Kraigher H., Parpan V. I., Parpan T. V., Paule L., Stupar V. I., Ziegenhagen B. 2004. Variation patterns of mitochondrial DNA of *Abies alba* Mill. in suture zones of postglacial migration in Europe. *Acta Soc. Bot. Pol.* 73 (3): 203-206.
- Gruber F. 1992. Dynamik und Regeneration der Gehölze. Baumarchitektur auf ökologisch-dynamischer Grundlage und zur Bioindikation am Beispiele der Europäischen Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Weißtanne (*Abies alba* Mill.), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco) und Europäischen Lärche (*Larix decidua* Mill.). *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme A* 86 (1).
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1).
- Iszkuło G., Jasińska A., Sobierajska K. 2011. Dendroecological differences between *Taxus baccata* males and females in comparison with monoecious *Abies alba*. *Dendrobiology* 65: 55-61.
- Jaworski A. 1979. Charakterystyka hodowlana wybranych drzewostanów z udziałem jodły (*Abies alba* Mill.) w Karpatach i Sudetach. *Acta Agr. Silv., ser. Silv.* 5 (18): 19-60.
- Jaworski A., Karczmarek J., Pach M., Skrzyszewski J., Szar J. 1995. Ocena żywotności drzewostanów jodłowych w oparciu o cechy biomorfologiczne koron i przyrost promienia pierścieni. *Acta Agr. Silv., ser. Silv.* 33: 115-131.
- Jaworski A., Skrzyszewski J. 1986a. Ocena żywotności drzewostanów jodłowych w Beskidzie Śląskim na podstawie wybranych cech przyrostowych i morfologicznych. *Sylvan* 131 (7): 1-14.
- Jaworski A., Skrzyszewski J. 1986b. Żywotność jodły w lasach karpackich. *Sylvan* 131 (2-3): 37-52.
- Koprowski M. 2012. Long-term increase of March temperature has no negative impact on treerings of European larch (*Larix decidua*) in lowland Poland. *Trees – Structure and Function* 26: 1895-1903. DOI: 10.1007/s00468-012-0758-8.
- Koprowski M. 2013a. Reaction of a silver fir (*Abies alba*) growing outside its natural range to extreme weather events and a long-term increase in march temperature. *Tree-Ring Research* 69: 49-61.
- Koprowski M. 2013b. Spatial distribution of introduced Norway spruce growth in lowland Poland: The influence of changing climate and extreme weather events. *Quaternary International* 283: 139-146. DOI: 10.1016/j.quaint.2012.04.020.
- Koprowski M., Duncker P. 2012. Tree ring width and wood density as the indicators of climatic factors and insect outbreaks affecting spruce growth. *Ecological Indicators* 23: 332-337. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.04.007.
- Koprowski M., Gławęda M. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). *Sylvan* 151 (11): 35-40.
- Korpel S., Paule L., Laffers A. 1982. Genetics and breeding of the silver fir (*Abies alba* Mill.). *Ann. For.* 9 (5): 151-184.
- Korzybski D., Mionskowski M., Dmyterko E., Bruchwald A. 2013. Stopień uszkodzenia świerka, jodły i modrzewia w Sudetach Zachodnich. *Sylvan* 157 (2): 104-112.
- Leibundgut H. 1974. Zum Problem der Tannensterbens. *Schweiz. Z. Forstwes.* 125 (7): 476.
- Lloret F., Keeling E. G., Sala A. 2011. Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120: 1909-1920.
- Magnuszewski M. 2015. Sygnał klimatyczny w przyrostach rocznych świerka Schrenka (*Picea schrenkiana* sp.) pochodzącego z gór Tien-Shan w Kirgistanie. *Sylvan* 159 (4): 336-344.
- Magnuszewski M., Bijak S., Orozumbekow A., Howe B., Musuraliev K., Zasada M., Bronisz K., Bronisz A. 2015. Different growth patterns of *Picea schrenkiana* subsp. *tianshanica* (Rupr.) Bykov and *Juglans regia* L. coexisting under the same ecological conditions in the Sary-Chelek Biosphere Reserve in Kyrgyzstan. *Dendrobiology* 73: 11-20.
- Malik I., Danek M., Marchwińska-Wyrwał E., Danek T., Wistuba M., Krąpiec M. 2012. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth suppression and adverse effects on human health due to air pollution in the Upper Silesian Industrial District (USID), Southern Poland. *Water, Air and Soil Pollut.* 223: 3345-3364.

- Oldeman R. A. A. 1974. L'architecture de la forêt guyanaise. Mém. ORSTOM. 73.
- Podlaski R. 2002. Radial growth trends of fir (*Abies alba* Mill.), beech (*Fagus sylvatica* L.) and pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Świętokrzyski National Park (Poland). J. For. Sci. 48: 377-387.
- Pretzsch H., Schütze G., Uhl E. 2013. Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. Plant Biol. 15: 483-495. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2012.00670.x.
- Roloff A. 2001. Baumkronen. Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Šafar J. 1953. Verjüngungsprozess der Tanne und Buche in den kroatischen Urwäldern. Šumarski List 11.
- Schweingruber F. H. 1996. Tree rings and environment-dendroecology. Bern, Paul Haupt.
- Sensula B., Wilczyński S., Opała M. 2015. Tree Growth and Climate Relationship: Dynamics of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growing in the Near-Source Region of the Combined Heat and Power Plant During the Development of the Pro-Ecological Strategy in Poland. Water, Air and Soil Pollution 226 (7): 220-237.
- Stöckl J. 1941. Schwierigkeiten bei der Bewirtschaftung der Tanne an der natürlicher Verbreitungsgebietes im mittleren Wienerwald. Cbl. F.d. ges. Forstw. 9.
- Świąteczak B. 2002. Zmienność zanieczyszczenia powietrza w Polsce na tle zmniejszania emisji zanieczyszczeń do atmosfery w okresie zmian gospodarczych państwa. Przegląd Geofizyczny 1: 27-43.
- Szymkiewicz B. 1971. Tablice zasobności i przyrostu drzewostanów. PWRiL, Warszawa.
- Tulik M., Bijak S. 2016. Are climatic factors responsible for the process of oak decline in Poland? Dendrochronologia 38: 18-25. DOI:10.1016/j.dendro.2016.02.006.
- Volařík D., Hédl R. 2013. Expansion to abandoned agricultural land forms an integral part of silver fir dynamics. For. Ecol. Manag. 292: 39-48.
- Wertz B., Wilczyński S. 2012. Dendrochronologiczna ocena zmian przyrostu radialnego jodły (*Abies alba* Mill.) i modrzewia (*Larix decidua* Mill.) znajdujących się pod wpływem imisji. Studia i Materiały CEPL 30 (1): 268-278.
- Wertz B., Wilczyński S., Muter E. 2014. Dendrochronologiczna ocena przyrostu grubości jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Polskich Karpatach. Studia i Materiały CEPL 40 (3): 88-98.
- Wilczyński S. 2006. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. European Journal of Forest Research 125 (3): 213-219. DOI: 10.1007/s10342-005-0106-2.
- Wilczyński S. 2013. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. Sylwan 157 (6): 442-452.
- Wilczyński S., Feliksik E. 2005. Disturbances in variation of the annual ring width of Norway spruce in the Polish Western Beskid Mountains. Journal of Forest Science 51 (12): 539-547.
- Wilczyński S., Kulej M. 2013. The influence of climate on the radial increment of larches of different provenances on the basis of the experiment in the Carpathian Mountains in Southern Poland. European Journal of Forest Research 132 (5-6): 919-929. DOI: 10.1007/s10342-013-0731-0.
- Wilczyński S., Szymański N. 2015. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów rocznych świerków z regla dolnego oraz górnego w Tatrach. Sylwan 159 (12): 1008-1017.
- Wilczyński S., Szymański N., Kolbut Ł. 2015. Klimatyczne przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych jodły pospolitej z pogórza oraz regla dolnego. Sylwan 159 (5): 372-380.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły pospolitej oraz modrzewia europejskiego. Studia i Materiały CEPL 30 (1): 66-74.
- Zasada M. 1999. The growth model for fir (*Abies alba* Mill.). Fol. For. Pol. 44: 37-46.
- Zawada J. 1978. Przyrostowe objawy regresji jodły. Sylwan 122 (12): 7-16.
- Zawada J. 2001. Przyrostowe objawy rewitalizacji jodły w lasach Karpat i Sudetów oraz wynikające z nich konsekwencje hodowlane. Pr. Inst. Bad. Leśn. 922: 79-101.
- Zawada J., Jaworski A., Szyszewski J. 1984. Ustalenie geograficzno-przestrzennego występowania zjawiska regresji jodły na terenie kraju. Spr. nauk. Inst. Bad. Leśn., Warszawa.
- Zielski A., Krapiec M. 2004. Dendrochronologia. PWN, Warszawa.