

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, MARCIN OLEJNIK, NORBERT SZYMAŃSKI

Adaptacja jodły jednobarwnej oraz jodły pospolitej do warunków klimatycznych nizin zachodniej Polski*

Adaptation of silver and white fir to the climate of lowlands in western Poland

ABSTRACT

Wilczyński S., Olejnik M., Szymański N. 2018. Adaptacja jodły jednobarwnej oraz jodły pospolitej do warunków klimatycznych nizin zachodniej Polski. Sylwan 162 (3): 220-230.

The study analysed the causes of the annual variation of tree-ring widths of silver fir and white fir. The partial populations of both fir species has been growing for over 100 years in Rzepin (western Poland) in a fresh broadleaved forest site. We assumed that the year-to-year changes of the size of radial increment presents sensitivity of trees to local climate factor. The period from 1931 to 2015 was analysed. We found that the silver and white firs had high homogeneity of radial growth responses and sensitivity to year-to-year changes of weather conditions. Warm November of the previous year, short winter and high air temperature in August had positive influence on the size of their radial increment. Moreover, precipitation in February, April and July of the year of tree-ring formation contributed to wider tree-ring. The white fir was highly resistant to winter frost in contrast to the silver fir. In addition, this fir species preferred cold springs. Furthermore, the silver fir suffered from overabundant precipitation in August. The climate conditions of western lowland part of Poland were not a limiting factor for growth of both species because the studied populations achieved the highest site index class.

KEY WORDS

Abies alba, *Abies concolor*, dendroclimatology

ADDRESSES

Sławomir Wilczyński – e-mail: slawomir.wilczynski@urk.edu.pl

Marcin Olejnik – e-mail: marcin.lasy89@interia.eu

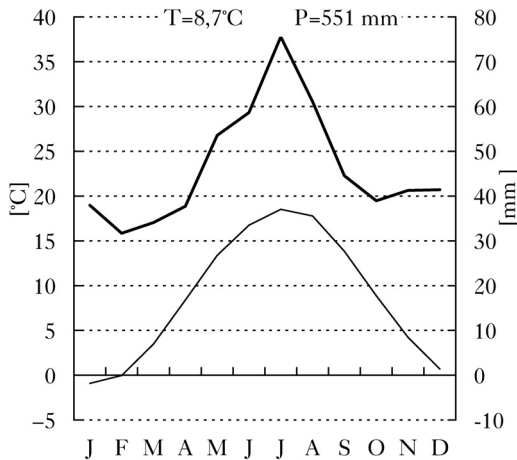
Norbert Szymański – e-mail: szymanski.norbert@wp.pl

Zakład Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

W kontekście dyskusji dotyczącej problemu introdukcji obcych gatunków drzew ważna staje się między innymi ocena ich dostosowania do warunków siedliskowych panujących poza obszarem ich naturalnego występowania. W Polsce problem ten dotyczy między innymi jodły pospolitej. Jej obecny północny zasięg przebiega wzdłuż równoleżnika 52° szerokości północnej, stanowiącego umowną granicę pomiędzy nizinami środkowej Polski a pasem wyżyn. Wiekowe jodły wykazujące bardzo dobry wzrost i jakość możemy spotkać także poza tą granicą [Robakowski i in. 2005]. Jodła jednobarwna (*Abies concolor* (Gordon et Glend.) Lindl. ex Hildebr.) została sprowadzona

*Badania sfinansowane z dotacji MNiSW na działalność statutową UR w Krakowie.



Ryc. 1.

Średnia miesięczna temperatura powietrza (linia cienka) oraz miesięczna suma opadów (linia pogrubiona) w Ślubicach

Mean monthly temperature (thin line) and precipitation (thick line) for Ślubice

T – średnia roczna temperatura powietrza, P – średnia roczna suma opadów; J – styczeń, ..., D – grudzień

T – mean annual temperature, P – mean annual precipitation; J – January, ..., D – December

na tereny naszego kraju w drugiej połowie XVIII wieku z zachodniej części Ameryki Północnej i stanowi obcy, rzadko spotykany składnik lasów Polski [Bellon i in. 1977].

Obydwa gatunki jodeł preferują chłodny i obfitujący w opady klimat, charakterystyczny dla terenów górskich. W Polsce badania dotyczące adaptacji jodły pospolitej do różnych warunków klimatycznych prowadzono głównie na obszarze jej naturalnego występowania [Feliksik 1990; Feliksik i in. 2000; Bronisz i in. 2010; Wilczyński 2010; Wilczyński, Wertz 2012; Wilczyński i in. 2015], a także poza nim [Feliksik 1990; Koprowski, Gławęda 2007; Feliksik, Wilczyński 2009; Bijak 2010]. Wynika z nich ogólna prawidłowość, że im surowszy pod względem termicznym klimat, tym jodła wykazuje większą wrażliwość na niedobór ciepła zimą oraz latem. W cieplejszych regionach, o stosunkowo niskich opadach, zwiększa się jej wrażliwość na niedostatek wody opadowej. Bez względu na region o możliwościach przyrostowych jodły decyduje długość okresu wegetacyjnego, kształtowana głównie przez jego początek. O jodle jednobarwnej rosnącej na obszarze Polski tak szczegółowych informacji nie posiadamy. Zaobserwowano jednak, że jest ona, w przeciwieństwie do jodły pospolitej, odporna na mrozy, susze oraz zanieczyszczenia przemysłowe [Bugala 2000; Bernadzki 2008].

Celem pracy była próba oceny adaptacji jodły pospolitej oraz jodły jednobarwnej (gatunków preferujących chłodny i wilgotny klimat regionów górskich) do ciepłego i suchego klimatu nizin zachodniej Polski. Głównym zadaniem niniejszych badań była identyfikacja elementów klimatycznych kształtujących wielkość przyrostu na grubość obu gatunków jodeł. W strefie klimatu umiarkowanego zmieniające się z roku na rok warunki meteorologiczne są głównym czynnikiem determinującym coroczne zmiany wielkości przyrostu radialnego drzew, które można traktować jako swoistą miarę wrażliwości drzew warunki klimatyczne [Fritts 1976]. Należy podkreślić, że drzewa rosnące przy granicy zasięgu lub poza nią często charakteryzują się większą wrażliwością na lokalny czynnik klimatyczny [Macias i in. 2006; Linares 2011].

Materiał i metody

TEREN BADAŃ. Badania prowadzono na terenie Nadleśnictwa Rzepin, które położone jest przy zachodniej granicy Polski na wysokości Frankfurtu nad Odrą. Ponad stuletnie jodły pospolite rosły w oddziale 410a, na glebie płowej, w zmieszaniu jednostkowym z sosną, dębem oraz świerkiem, na siedlisku lasu świeżego. Jodły jednobarwne także rosły w zmieszaniu jednostkowym z sosną i daglezią w oddziale 189j, na glebie brunatnej wyługowanej, również na siedlisku lasu

świeżego. Obydwa drzewostany oddalone były od siebie o 800 m. Drzewa obu gatunków osiągnęły pierwszą bonitację.

Klimat terenu wokół Rzepina należy do bardzo ciepłych oraz stosunkowo suchych i co ważne – stale się ociepla. Średnia roczna temperatura powietrza jest jedną z najwyższych w Polsce. W kolejnych dziesięcioleciach od 1931 roku rosła ona od 8,5 do 9,9°C. Roczna suma opadów atmosferycznych nie wykazuje trendu i waha się wokół wartości 550 mm. Należy podkreślić, że największą zmiennością z roku na rok charakteryzowały się sumy opadów miesięcy sezonu letniego oraz średnia temperatura miesięcy zimowych. Styczeń jako jedyny miesiąc w roku cechował się średnią temperaturą niższą od zera (ryc. 1), zatem można uznać go za typowy miesiąc zimowy. Na 85 analizowanych lat w 43 przypadkach średnia temperatura lutego była dodatnia, a w 42 ujemna, wahając się pomiędzy –10,8 a 6,4°C. Z kolei średnia marca jedynie w 8 przypadkach była niższa od 0 (od –1,5 do 7,6°C). Informacja ta jest ważna, bowiem jednym z głównych czynników decydujących o wielkości słoju tworzonego przez drzewa po okresie spoczynku zimowego jest początek uruchamiania przez drzewo procesów biochemicznych i fizjologicznych, o którym decyduje temperatura powietrza [Fritts 1976].

ANALIZY DENDROCHRONOLOGICZNE. Do badań wybrano po 22 dorodne jodły pospolite oraz jednobarwne. Z ich pni pobrano na wysokości 1,3 m nad ziemią po jednym wywiercie, na których pomierzono szerokości słoju rocznych drewna za pomocą programów Coorecorder i CDendro (www.cybis.se). Poprawność datowania słoju zweryfikowano za pomocą programu Cofecha [Holmes 1983]. W celu wyeksponowania corocznej zmienności wielkości przyrostów radialnych, kształtowanej głównie przez czynnik meteorologiczny [Fritts 1976], dokonano indeksacji wartości szerokości słoju, obliczając tzw. czułość roczną as (ang. annual sensitivity) [Douglass 1920]:

$$as_i = 2 \cdot (x_i - x_{i-1}) / (x_i + x_{i-1})$$

gdzie:

x_i – szerokość słoja w roku i .

Pozwoliło to wyeliminować trend związany z wiekiem drzew i wzrostem obwodu pni. W konsekwencji każde drzewo było reprezentowane przez chronologiczną serię szerokości słoju oraz serię wskaźników przyrostowych, które obrazowały odpowiednio ich długookresowy oraz krótkookresowy rytm przyrostowy. Następnie w każdym roku wartości indeksów przyrostowych drzew uśredniono, tworząc w ten sposób dla obu populacji drzew chronologię wartości wskaźników MAS (ang. mean annual sensitivity).

Analizowano okres 1931-2015 ($n=85$), dla którego obliczono wskaźniki: rbt (średni współczynnik korelacji serii indeksów przyrostowych drzew), EPS (siła sygnału wysokiej częstotliwości zawarta w chronologii populacji generalnej reprezentowanej przez badaną próbę drzew) oraz MS (przeciętna czułość roczna drzew w wieloleciu 1931-2015). Powyższe wskaźniki opisują odpowiednio stopień jednorodności reakcji przyrostowych drzew, reprezentatywność ich chronologii oraz przeciętną wrażliwość przyrostową drzew na krótkookresowe impulsy środowiskowe [Douglass 1920; Briffa 1984; Wigley i in. 1984].

Do klasyfikacji jodeł, ze względu na cechy ich rytmu przyrostowego, wykorzystano analizę składowych głównych (PCA), w której zmiennymi były serie szerokości słoju oraz serie wskaźników przyrostowych poszczególnych drzew. Do identyfikacji wyodrębnionych składowych głównych zastosowano analizę regresji wieloczynnikowej – response function [Fritts 1976]. W tym celu wykorzystano program komputerowy RESPO [Holmes, Lough 1989], przy czym zmiennymi zależnymi były wartości dwóch pierwszych składowych głównych (wartości czynnikowe PC1 i PC2) oraz gatunkowe chronologie czułości, natomiast zmienne niezależne stanowiły wartości

średniej miesięcznej temperatury powietrza oraz miesięcznych sum opadów atmosferycznych od września roku poprzedzającego odkładanie słoja do września roku formowania słoja ($m=13$). Program RESPO wykonuje na wstępie standaryzację parametrów klimatycznych, usuwając zależności (korelacje) pomiędzy nimi. Dzięki temu cząstkowe współczynniki regresji mogą być interpretowane jako współczynniki korelacji indeksów przyrostowych z poszczególnymi parametrami klimatycznymi.

Powyższe analizy statystyczne uzupełniono o analizę lat wskaźnikowych [Schweingruber i in. 1990]. Lata wskaźnikowe wyznaczono na podstawie wartości wskaźnika IT (interval trend) oraz wartości wskaźnika MAS. Przyjęto, że rok wskaźnikowy pozytywny to rok, w którym wartość IT była wyższa od 80% (co najmniej 80% drzew zwiększyło przyrost na grubość w stosunku do przyrostu z roku poprzedniego) i jednocześnie wartość wskaźnika MAS była większa od 0,3. W roku wskaźnikowym negatywnym $IT < 20\%$ (co oznacza, że 80% drzew zmniejszyło przyrost) i jednocześnie $MAS < -0,3$ [Wilczyński 2010]. W ten sposób wytypowano lata, w których jodły silnie zmieniały z roku na rok wielkość przyrostu radialnego i jednocześnie zmiana ta dotyczyła minimum 80% osobników (18 drzew). Następnie porównano warunki klimatyczne panujące w latach pozytywnych i negatywnych, ustalając, jaki układ tych warunków mógł zadecydować o powstawaniu lat wskaźnikowych.

Dane klimatyczne wykorzystane w analizach pochodziły z pobliskiej stacji meteorologicznej w Słubicach, należącej obecnie do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Wyniki

CECHY SERII ORAZ CHRONOLOGII. W okresie 1931-2015 jodły pospolite w stosunku do jodeł jednobarwnych cechowały się większą jednorodnością corocznych reakcji przyrostowych (rbt) oraz wrażliwością przyrostową (MS) na presję czynników zewnętrznych. Ich chronologia wykazywała także większą reprezentatywność (EPS), co wynikało bezpośrednio z wyższego stopnia jednorodności reakcji przyrostowych jodeł pospolitych (tab. 1).

W trakcie analizy głównych składowych 44 serii indeksów przyrostowych wyodrębniono w oparciu o wykres osypiska dwie pierwsze składowe główne, które łącznie wyjaśniały 51% zmienności serii indeksowanych (tab. 1). Pierwsza składowa główna (PC1) wyjaśniała 45% ich zmienności, a serie korelowały z nią dodatnio (ryc. 2). Opisywała ona zatem czynniki, na które drzewa obydwu gatunków wykazywały podobną wrażliwość przyrostową. Druga składowa (PC2) wyjaśniała już tylko 6% zmienności serii, lecz to ona różnicowała serie na dwie grupy zgodnie z gatunkiem drzewa, jaki reprezentowały. Serie indeksów przyrostowych jodeł pospolitych korelowały z PC2 dodatnio, natomiast serie jodeł jednobarwnych ujemnie (ryc. 2). Zatem PC2 opisywała czynniki, które miały odmienny wpływ na krótkookresowy rytm przyrostowy obu gatunków jodeł. W przypadku serii szerokości słoików, dodatkowo obciążonych zmiennością długo- oraz średniookresową,

Tabela.

Wybrane wskaźniki dendrochronologiczne oraz wyniki analizy regresji dla chronologii jodły pospolitej (ABAL) oraz jednobarwnej (ABCO)

Selected dendrochronological statistics and the results multiple regression analysis for silver (ABAL) and white (ABCO) fir chronologies

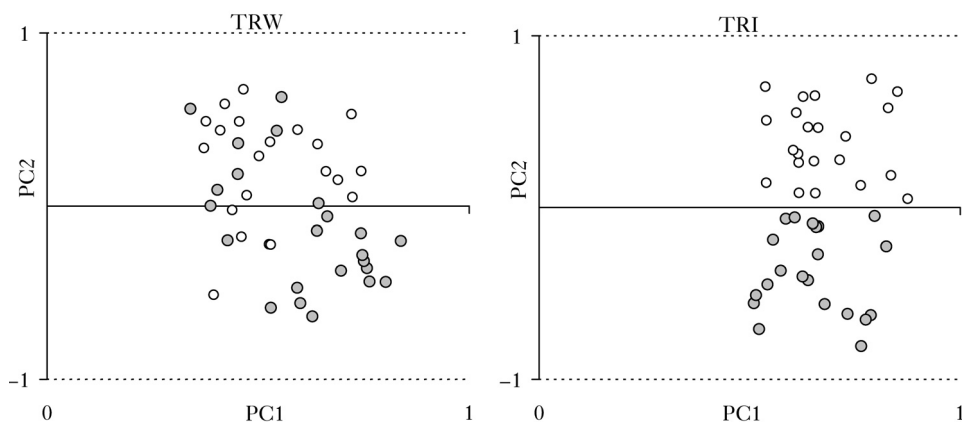
	rbt	EPS	MS	R_T^2 [%]	R_P^2 [%]	PC1 [%]	PC2 [%]
ABAL	0,478	0,952	0,253	15,4	13,5	45	6
ABCO	0,434	0,944	0,230	20,8	3,8		

R_T^2 i R_P^2 – współczynnik determinacji wielowymiarowej odpowiednio dla zmiennych temperatury i opadów

R_T^2 i R_P^2 – multiple determination coefficient for temperature and precipitation variables respectively

tak wyraźnego podziału serii ze względu na gatunek drzewa nie stwierdzono (ryc. 2). Wynika stąd, że zasadniczy wpływ na podobieństwo oraz różnice w reakcjach przyrostowych obu gatunków jodeł miał czynnik o działaniu krótkookresowym, a takim są m.in. zmieniające się z roku na rok warunki meteorologiczne.

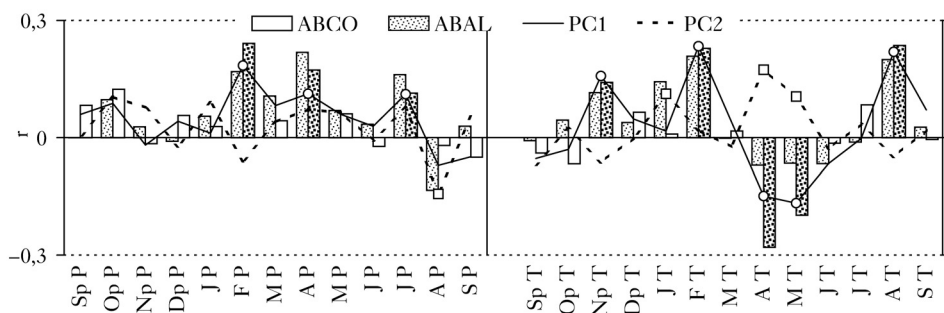
Wykorzystując analizę regresji wielorakiej – response function – udało się zidentyfikować najważniejsze elementy klimatyczne opisywane przez obie składowe główne. Okazało się, że PC1 wykazywała istotną współzmiennność ($p < 0,05$) z wartościami sum opadów atmosferycznych lutego, kwietnia i lipca roku formowania słoja, a także ze średnią temperaturą listopada poprzedniego roku oraz ze średnią temperaturą lutego, kwietnia, maja i sierpnia roku formowania słoja (ryc. 3). Powyższe elementy klimatu miały zatem podobny wpływ na reakcje przyrostowe obu gatunków jodeł. Z kolei PC2 wykazywała istotną współzmiennność ($p < 0,05$) z sumami opadów sierpnia oraz



Ryc. 2.

Położenie serii szerokości słoików (TRW) oraz indeksów przyrostowych (TRI) jodły pospolitej (białe) oraz jednobarwnej (szare) względem ładunków czynnikowych PC1 i PC2

Location of the tree-ring width (TRW) and indexed (TRI) series of silver (white) and white (grey) firs in relation to the PC1 and PC2 loadings



Ryc. 3.

Współczynniki regresji (r) miesięcznej temperatury powietrza (T) i opadów atmosferycznych (P) z PC1 i PC2 (linia) oraz z chronologią czułości jodły pospolitej (ABAL) i jednobarwnej (ABCO) (słupki)

Regression coefficients (r) between mean monthly temperature (T) or precipitation (P) and PC1 and PC2 (line), and annual sensitivity chronologies of silver (ABAL) and white (ABCO) fir (bars)

Wartości istotne ($p < 0,05$) oznaczone białymi kółkami i kwadratami oraz wypełnionymi słupkami; uwzględniono okres od poprzedniego września (Sp) do września roku bieżącego (S)

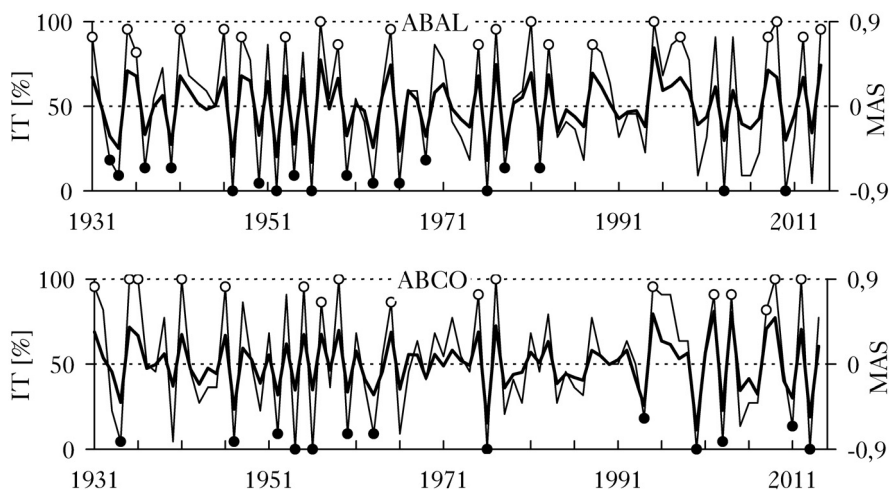
Significant values ($p < 0,05$) were marked by white dots and squares, and filled bars; period from prior September (Sp) to September (S) of the current year was analysed

ze średnią temperaturą stycznia, kwietnia i maja roku formowania słoja (ryc. 3). To sugeruje, że obydwą gatunki jodeł wykazywały odmienną wrażliwość na powyższe elementy klimatyczne.

Wyniki analizy regresji wykonane dla chronologii gatunkowych korespondują z wynikami analizy przeprowadzonej dla obu składowych głównych (ryc. 3). Obie gatunkowe chronologie indeksów przyrostowych wykazywały bowiem istotną współzmiennność ($p < 0,05$) ze średnią temperaturą poprzedniego listopada oraz lutego i sierpnia roku odkładania słoja, a także z sumami opadów lutego, kwietnia oraz lipca roku formowania słoja. Z kolei zdecydowanie odmienna była siła związku wartości obu chronologii z sumami opadów sierpnia oraz ze średnią temperaturą stycznia, kwietnia i maja roku formowania słoja (ryc. 3).

Współczynnik korelacji wielowymiarowej wskazuje na relatywnie najsilniejszy związek pomiędzy wielkością przyrostów radialnych jodły jednobarwnej i zmiennymi temperaturowymi (tab.). Prawie 21% wariacji wielkości przyrostów radialnych drzew tego gatunku można wyjaśnić modelem regresji uwzględniającym zmienne temperaturowe, natomiast opady wyjaśniają niecałe 4% ich zmienności. W przypadku jodły pospolitej temperatura powietrza oraz opady atmosferyczne wyjaśniają w podobnym stopniu zmienność jej szerokości słoików (13,5 i 15,4%) (tab.).

LATA WSKAŹNIKOWE. W przypadku jodły pospolitej stwierdzono 21 lat wskaźnikowych pozytywnych oraz 18 negatywnych (łącznie 39 na 85 analizowanych lat, co stanowi 46%), natomiast u jodły jednobarwnej odpowiednio: 17 i 13 (35%) (ryc. 4). Jodła jednobarwna wykazuje wyraźny spadek jednorodności reakcji przyrostowych trwający od połowy lat 60. do początku lat 90. ubiegłego wieku. Wartości wskaźnika IT wahały się w pobliżu wartości 50%, co skutkowało występowaniem niewielkiej liczby lat wskaźnikowych (ryc. 4). W przypadku jodły pospolitej zarysowuje się podobna sytuacja, lecz o wiele słabiej. Z reguły skrajne wartości wskaźnika IT korespondowały ze skrajnymi wartościami wskaźnika MAS (ryc. 4). Jednak zdarzały się przypadki, że zdecydowana większość drzew (ponad 90%) tylko nieznacznie zwiększała przyrost. W przypadku jodły pospolitej było tak w latach 2000, 2002, 2004 i 2005. Jodła jednobarwna zachowywała się w podobny



Ryc. 4.

Chronologia wartości wskaźników IT (cienka linia) oraz MAS (linia pogrubiona) jodły pospolitej (ABAL) i jednobarwnej (ABCO)

Chronology of IT (thin line) and MAS (thick line) values for silver (ABAL) and white (ABCO) fir

Lata wskaźnikowe pozytywne – białe punkty, negatywne – czarne punkty

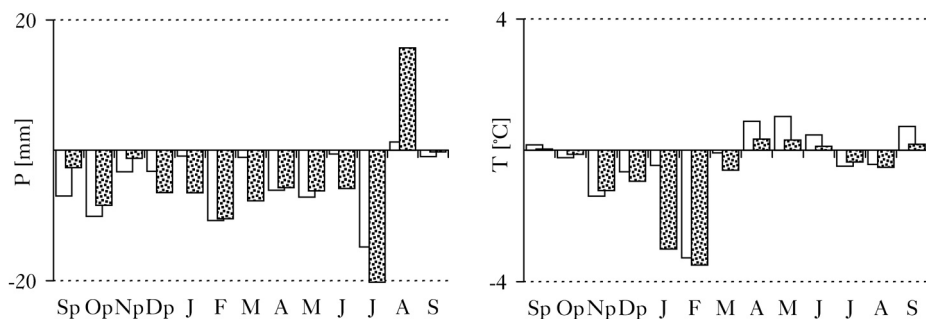
Positive pointer years – white dots, negative – black dots

sposób. Przykładem mogą być lata 1940, 1953, 1966 i 1997. Brak natomiast przypadków, kiedy wysokiej wartości MAS towarzyszyłaby niska wartość wskaźnika IT (ryc. 4). Zatem dynamiczne zmiany wielkości słoju zawsze dotyczyły zdecydowanej większości osobników.

Analiza lat wskaźnikowych w znacznym stopniu potwierdza wyniki analiz statystycznych. Z porównania warunków klimatycznych lat wskaźnikowych negatywnych i pozytywnych wynika, że występowanie lat negatywnych u obu gatunków jodeł było głównie skutkiem występowania niskiej temperatury w listopadzie poprzedniego roku i w lutym roku formowania słoja, a także skutkiem niskich opadów w poprzednim październiku oraz w lutym i lipcu roku formowania słoja (ryc. 5). W przypadku jodły pospolitej przyczyną powstawania lat negatywnych była także niska temperatura powietrza w styczniu oraz wysokie opady w sierpniu (ryc. 5). Do wystąpienia lat wskaźnikowych pozytywnych przyczyniały się odwrotne niż ww. warunki klimatyczne.

Dyskusja

Na obszarze Polski czynnikiem regulującym wielkość odkładanych przez jodłę pospolitą słoju drewna są warunki pogodowe szerokiego okna klimatycznego, obejmującego poprzednią jesień oraz zimę, wiosnę i lato roku formowania słoja [Feliński 1990; Feliński i in. 2000; Koprowski, Gława 2007; Bijak 2010; Wilczyński 2010, 2013; Kaczka i in. 2012; Wilczyński, Wertz 2012; Wilczyński i in. 2015]. Długo utrzymujące się silne spadki temperatury powietrza zimą powodują m.in., że drzewa wyczerpują substancje zapasowe zgromadzone w roku poprzednim, co skutkuje słabszym przyrostem w nadchodzącym okresie wegetacyjnym. Uzyskane w niniejszych badaniach wyniki wskazują na odporność jodły jednobarwnej na mrozy zimowe, o czym informuje także Bugała [2000]. Niska temperatura w styczniu powodowała, że prawie wszystkie jodły pospolite silnie redukowały przyrost na grubość, natomiast nie miała ona negatywnego wpływu na potencjał przyrostowy jodeł jednobarwnych. Warto też podkreślić, że jodła pospolita rosnąca na siedliskach wilgotnych wykazuje większą odporność na mrozy zimowe [Jaworski, Zarzycki 1983]. Wynika to z faktu, że gleby suche zimą głębiej i szybciej zamarzają niż gleby zasobne w wodę, które z tego powodu mają większą pojemność cieplną, przez co drzewa chronione są przed niekorzystnym zjawiskiem suszy fizjologicznej. Ponadto na siedliskach wilgotnych powietrze jest zasobniejsze w parę wodną, która przy obniżaniu się temperatury skrapla się oraz zamarza na pędach i igłach, w wyniku czego drzewa ogrzewają się. Stąd też ważne i pozytywne dla przyrostu jodły



Ryc. 5.

Różnice pomiędzy wartościami miesięcznymi temperatury (T) oraz opadów (P) negatywnych i pozytywnych lat wskaźnikowych jodły pospolitej (ciemny) oraz jednobarwnej (jasny)

Differences in mean monthly temperature (T) and precipitation (P) between negative and positive pointer years of silver (dark) and white (bright) fir

uwzględniono okres od poprzedniego września (Sp) do września roku wskaźnikowego (S)
period from prior September (Sp) to September (S) of the pointer year was analysed

były opady występujące jesienią, które uzupełniają zapasy wody w glebie przed nadchodzącą zimą. Jodła pospolita oraz jednobarwna reagowały pozytywnie pod względem przyrostu na grubość także na wysokie opady w lutym. Opady ciekłe oraz stałe występujące w sezonie zimowym są ważnym, dodatnim składnikiem bilansu wodnego gleby na początku okresu wegetacji.

Klimat nizin zachodniej Polski jest cieplejszy i bardziej suchy od klimatu obszarów masowego występowania jodeł, czyli gór i wyżyn. Wcześniej też rozpoczyna się tam okres wegetacyjny. Stąd też to temperatura powietrza w lutym była regulatorem początku aktywności badanych jodeł, a przez to także wielkości tworzonych przez nie słoju drewna. Potwierdza to wcześniejsze wyniki badań dendroklimatycznych nad jodłą pospolitą rosnącą w łagodnym klimacie wybrzeża morza Bałtyckiego [Feliksik, Wilczyński 2009; Bijak 2010]. Na opisywanym w niniejszej pracy obszarze zachodniej, nizinnej Polski średnia temperatura lutego wahała się wokół 0°C w stosunku 50/50. W chłodniejszym klimacie wyżyn, a zwłaszcza gór, rolę regulatora początku aktywności drzew przejmuje temperatura powietrza w marcu, a nawet w kwietniu [Feliksik 1990; Wilczyński 2010, Wilczyński i in. 2015]. Przedłużająca się zima skraca zatem okres aktywności kambium waskularnego. U jodeł rosnących przy górnej granicy regła dolnego pierwsze podziały kambium rejestrowane są najczęściej w drugiej połowie maja, natomiast na pogórzu pod koniec kwietnia, a w ciepłych kotlinach jeszcze wcześniej [Ermich 1960, 1963]. Potwierdzeniem tego może być stwierdzony w niniejszych badaniach pozytywny wpływ na wielkość słoju jodeł niskiej temperatury oraz wysokich opadów występujących w kwietniu i maju, przy czym wpływ takiego układu pogodowego jest zdecydowanie silniejszy w przypadku jodły jednobarwnej. Tłumaczyć można to tym, że na początku aktywności podziałowej kambium drzew i ich silnego zapotrzebowania na wodę niska temperatura zmniejsza nadmierną transpirację i wraz z obfitymi opadami utrzymuje bilans wodny drzew na optymalnym poziomie. Okazuje się jednak, że jodła jednobarwna jako gatunek szybko rosnący i nie lubiący ocienienia jest bardziej wrażliwa na zakłócenia bilansu wodnego w tym newralgicznym dla rozwoju okresie. Interesujące jest, że średnia temperatura kwietnia i maja istotnie korelowała z pierwszą, jak i z drugą składową główną. Oznacza to, że jodła pospolita oraz jednobarwna reagowały na ten element klimatu podobnie i jednocześnie odmiennie. Wyniki analizy regresji dla obu chronologii gatunkowych tłumaczą ten pozorny paradoks. Okazało się bowiem, że wysoka temperatura powietrza panująca w obu miesiącach miała negatywny wpływ na wielkość przyrostu obu gatunków jodeł, lecz zdecydowanie większy na przyrost jodły jednobarwnej.

Wyniki wielu badań wskazują, że przyczyną redukcji przyrostu na grubość przez jodłę pospolitą jest niedobór opadów w okresie lata [Feliksik 1990; Beuntgen i in. 2009; Feliksik, Wilczyński 2009; Hoffmann i in. 2009; Bronisz i in. 2010]. Z badań przeprowadzonych przez autorów niniejszego opracowania wynika, że istotny, pozytywny wpływ na aktywność przyrostową obu gatunków jodeł miały wysokie opady w lipcu, pomimo że w tym miesiącu są one zwykle najwyższe. Ciepły i obfity opady w lipcu powoduje, że wydłuża się okres odkładania przez drzewa komórek drewna wczesnego, które ma z reguły największy udział w całkowitej szerokości słoja. Dostatek wody w glebie skutkuje wzrostem zawartości wody w drzewie, zwiększeniem turgoru komórek, a w konsekwencji powiększaniem się komórek kambium [Major, Johnsen 2001; Steppe i in. 2006]. Z kolei brak opadów w krótkim okresie ogranicza podziały i wzrost komórek, a gdy susza przedłuża się, aktywność kambium często ustaje [Pichler, Oberhuber 2007]. Stwierdzone w niniejszych badaniach silne zapotrzebowanie jodły jednobarwnej na opady poprzedniej jesieni, zimą, wiosną oraz w pełni lata może przeczyć wiedzy o jej odporności na susze [Bugala 2000], choć należy podkreślić, że o zmienności wielkości przyrostów na grubość jodły jednobarwnej decydowała przede wszystkim temperatura powietrza, natomiast opady w stopniu nieznacznym.

Wydaje się zatem, że należy rozgraniczyć pojęcie odporności na susze, decydujące o przeżywalności drzew, od skutków przyrostowych przez nie wywołane. Trudno jest wyjaśnić negatywny wpływ wysokich opadów sierpniowych na aktywność podziałową kambium rodzimej jodły. W sierpniu zwykle dochodzi do obniżenia poziomu wód gruntowych z powodu nadmiernego parowania i transpiracji roślin [Holstener-Jorgensen 1967]. Opady w tym miesiącu powinny mieć zatem pozytywny wpływ na aktywność kambium waskularnego. Na to nietypowe zachowanie jodły pospolitej mogły mieć wpływ specyficzne warunki glebowe, często powstające w glebie płowej, na której ona rosła. Tworzą się w niej często tzw. poziomy wmywania łu koloidalnego, które hamują przepływ wody w głąb gleby. Po obfitującym w opady lipcu może zatem dochodzić do stagnowania wody, co powoduje niedobory tlenu w strefie aktywnych korzeni. Warto dodać, że wraz z wysokością nad poziomem morza wpływ opadów na zmienność wielkości przyrostu radialnego jodły pospolitej słabnie [Ermich 1955; Feliksik 1990; Kaczka i in. 2012; Wilczyński i in. 2015]. Im bowiem wyżej, tym opadów jest więcej oraz rośnie wilgotność względna powietrza.

Oszacowany w pracy stopień jednorodności reakcji przyrostowych jodeł, przeciętna wrażliwość oraz wyniki analizy regresji, a także statystyka lat wskaźnikowych wskazują, że rodzima jodła wykazywała w latach 1931-2015 silniejszą wrażliwość na zmieniające się corocznie warunki pogodowe. Należy podkreślić, że na powyższe różnice pomiędzy obu jodłami wpływ miała wysoka niejednorodność reakcji przyrostowych jodeł jednobarwnych występująca w latach 60. 70. i 80. XX wieku. Wskaźnik ten jest jednym z wielu, który wskazuje na wrażliwość drzew na zanieczyszczenia przemysłowe [Wilczyński 2006]. Powyższe trzydziestolecie było okresem, w którym nastąpiła kulminacja emisji przemysłowych, napływających na badany teren z zakładów przemysłowych Berlina, Frankfurtu oraz Eisenhüttenstadt. W pewnym stopniu może zatem to przeczyć wiedzy o wysokiej odporności jodły jednobarwnej na zanieczyszczenia. Problem ten wymaga jednak szczegółowych badań.

Podsumowanie

Jodły pospolita oraz jednobarwna wykazywały wiele podobieństw w corocznym rytmie zmian wielkości przyrostów radialnych, będących ich odpowiedzią na presję czynnika klimatycznego. Wynikały one z ich podobnej wrażliwości na temperaturę powietrza poprzedniego listopada, na temperaturę i opady lutego, temperaturę kwietnia i maja, a także na opady lipca oraz temperaturę sierpnia roku formowania słoja. Ich wzrost na grubość ograniczała chłodna późna jesień poprzedniego roku, długa i sucha zima, ciepła i sucha wiosna oraz suche i chłodne lato. Oprócz podobieństw zarysowały się także wyraźne różnice w wielkościach tworzonych przez nie słoju drewna. Ich indywidualny, coroczny rytm przyrostowy był skutkiem odmiennej wrażliwości na temperaturę powietrza panującą w styczniu, kwietniu i maju oraz na opady atmosferyczne występujące sierpniu roku formowania słoja. W przeciwieństwie do jodły pospolitej jodła jednobarwna cechowała się wysoką odpornością na mrozy zimowe. Na wielkość jej przyrostu radialnego miała także szczególnie pozytywny wpływ niska temperatura powietrza występująca na wiosnę. Z kolei obfite opady w sierpniu negatywnie wpływały na aktywność przyrostową jedynie rodzimej jodły, co wynikało prawdopodobnie ze specyfiki warunków glebowych.

Literatura

- Bellon S., Tumiłowicz J., Król S. 1977. Obce gatunki drzew w gospodarstwie leśnym. PWRiL, Warszawa.
- Bernadzki E. 2008. Jodła pospolita – ekologia, zagrożenia, hodowla. PWRiL, Warszawa.
- Beuntgen U., Brazdil R., Frank D., Esper J. 2009. Three centuries of Slovakian drought dynamics. *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-009-0563-2.
- Bijak S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (northern Poland). *Geochronometria* 35: 91-94.

- Briffa K. R. 1984. Tree climate relationships and dendroclimatological reconstruction in the British Isles. Diss., University of East Anglia.
- Bronisz A., Bijak S., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. Sylwan 154 (7): 463-470.
- Bugała W. 2000. Drzewa i krzewy. PWRiL, Warszawa.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. Ecology 85 (3): 730-740.
- Douglass A. E. 1920. Evidence of climate effects in the annual rings of trees. Ecology 1: 24-32.
- Ermich K. 1955. Zależność przyrostu drzew w Tatrach od wahań klimatycznych. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 24 (2): 245-273.
- Ermich K. 1960. O sezonowym przebiegu czynności miazgi i tworzenia słoja rocznego u *Fagus sylvatica* L. i *Abies alba* Mill. Roczniki Dendrologiczne. PTB 14: 101-109.
- Ermich K. 1963. The inception and the end of the annual tree ring formation in *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., and *Picea excelsa* Lk. in Tatra Mountains. Ekologia Polska A 11 (13): 311-336.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie 151.
- Feliksik E., Wileczyński S. 2009. The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions. Geochronometria 33: 46-57.
- Feliksik E., Wileczyński 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. Sylwan 144 (9): 53-63.
- Fritts H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press, London.
- Hoffmann K., Beuntgen U., Kynel T., Brazdsil R., Esper J. 2009. On the potential of fir width data for summer drought reconstruction in southern Moravia, Czech Republic. W: Kaczka R. J., Malik I., Owczarek P., Gärtner H., Heinrich I., Helle G., Schleser G. [red.]. TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology 7: 57-63.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin 43: 69-78.
- Holmes R. L., Lough J. M. 1989. Program RESPO modified for the DPL. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Holstener-Jorgensen H. 1967. Influences of forest management and drainage on groundwater fluctuations. W: Sopper W. E., Lull H. W. [red.]. Forest hydrology. Pergamon Press, Oxford. 325-333.
- Jaworski A., Zarzycki K. 1983. Ekologia. W: Jodła pospolita. PWN, Warszawa – Poznań.
- Kaczka R. J., Wiórkowski S., Czajka B., Skrzydłowski T. 2012. Zmiany wrażliwości klimatycznej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naturalnym lesie dolnoregłowym w Tatrach Polskich. Studia i Materiały CEPL 30: 111-117.
- Koprowski M., Gława M. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). Sylwan 151 (11): 35-40.
- Linares J. C. 2011. Biogeography and evolution of *Abies* (*Pinaceae*) in the Mediter-ranean Basin: the roles of long-term climatic change and glacial refugia. J.Biogeogr. 38: 619-630.
- Macias M., Andreu L., Bosch O., Camarero J. J., Gutiérrez E. 2006. Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its south-westerndistribution limit. Climatic Change 79: 289-313.
- Major J. E., Johnsen K. H. 2001. Shoot water relations of mature black spruce families displaying a genotype × environment interaction in growth rate. III. Diurnal patterns as influenced by vapour pressure deficit and internal water status. Tree Physiology 21: 579-587.
- Pichler P., Oberhuber W. 2007. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. Forest Ecology and Management 242: 688-699.
- Robakowski P., Standio B., Bułaj B. 2005. Występowanie i przydatność hodowlana jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) poza granicami jej naturalnego zasięgu. Sylwan 149 (8): 18-30.
- Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochronologia 8: 9-38.
- Steppe K., De Pauw D. J. W., Lemeur R., Vanrolleghem P. A. 2006. A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. Tree Physiology 26: 257-273.
- 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 Applied Meteorology and Climatology 23: 201-213.
- Wileczyński 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.
- Wileczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendrochronologicznych. Zeszyty Naukowe UR w Krakowie 464 (341).
- Wileczyński S. 2013. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. Sylwan 157 (6): 442-452.

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 i modrzewia europejskiego. Studia i Materiały CEPL 30: 66-74.