

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych

Short-term incremental response of silver fir, Norway spruce and Scots pine growing in uniform habitat conditions

ABSTRACT

Wilczyński S. 2013. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. Sylwan 157 (6): 442-452.

Study was performed in multi-species stand located in the Świętokrzyski National Park (central Poland). Silver fir, Norway spruce and Scots pine trees that grew in a uniform habitat conditions were selected. The trees showed the differences and similarities of changes of the size of radial increment, which result from species-specific sensitivity to selected meteorological elements.

KEY WORDS

dendroclimatology, *Abies alba*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, tree-ring, central Poland

ADDRESSES

Sławomir Wilczyński – e-mail: slawomirwilczynski1963@wp.pl

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

Wstęp

Drzewa zapisują różne elementy otaczającego je środowiska w różnych parametrach tworzonych przez siebie słoju drewna. Są to między innymi szerokość słoju drewna, ich gęstość czy też zawartość izotopów różnych pierwiastków. Krótkookresowy rytm przyrostowy, czyli coroczne zmiany wielkości przyrostów radialnych, traktowany jest jako odpowiedź drzew głównie na presję czynnika meteorologicznego. Rytm ten charakterystyczny jest dla danego gatunku, regionu i piętra klimatycznego czy mikrosiedliska, w którym rosły drzewa. Dodatkowo modyfikowany jest przez różne czynniki o charakterze antropogenicznym [Wilson, Luckman 2002; Piovesan i in. 2005; Wilczyński 2003, 2005, 2006; Savva i in. 2006; Rasmussen 2007; Friedrichs i in. 2009].

Do charakterystyki krótkookresowych reakcji przyrostowych drzew często wykorzystuje się chronologiczne ciągi przeciętnych wartości cech słoju – tzw. chronologie [Mäkinen i in. 2000; Tardif i in. 2001; Pederson i in. 2004; Wilczyński, Podlaski 2007; Feliksik, Wilczyński 2008b, 2009; Frank, Esper 2005; Battipaglia i in. 2009]. Uwypuklają one wspólne cechy wielu osobników, lecz tracona jest informacja o reakcjach przyrostowych poszczególnych drzew. Okazuje się, że w tego typu badaniach można jednak z powodzeniem wykorzystywać serie osobnicze [Mäkinen, Vanninen 1999; Feliksik, Wilczyński 2008a; Wilczyński 2010].

Celem pracy było poszukiwanie podobieństw oraz różnic krótkookresowych reakcji przyrostowych jodeł, świerków oraz sosen rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych, a także identyfikacja ich przyczyn. Starano się udowodnić, że oprócz chronologii, także osobnicze

serie szerokości słoju mogą być cennym źródłem informacji o relacjach klimat – przyrost radialny. Postawiona hipoteza zakłada, że obok charakterystycznych dla gatunku istnieją także wspólne, ponadgatunkowe cechy przyrostowe drzew, których przyczyną jest czynnik meteorologiczny.

Material i metody

W drzewostanie mieszanym (3Jd, 3Św, 2So, 2Ol), który znajdował się na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego (leśnictwo Klonów, oddział 261a), wybrano po 10 zdrowych, należących do I lub II klasy Krafra jodeł, świerków oraz sosen będących w wieku około 90 lat. Drzewa rosły na siedlisku lasu mieszanego wyżynnego świeżego na glebie brunatnej kwaśnej. Od południowej strony pnia, na wysokości 1,3 m nad ziemią pobrano po jednym wywiercie dordzeniowym. Po tej stronie najsilniej zapisywany jest przez drzewa, w zmienności szerokości słoju, wpływ warunków pogodowych [Mäkinen, Vanninen 1999]. Następnie na wywiertach, za pomocą mikroskopowego przyrostomierza BEPD3-Biotronik, zmierzono szerokości słoju rocznych drewna. Do oceny poprawności datowania słoju wykorzystano program komputerowy COFECHA [Holmes 1983].

Na podstawie zmierzonych szerokości słoju obliczono w każdym roku indeks przyrostowy – tzw. czułość roczną (c_i) według wzoru [Fritts 1976]:

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

gdzie:

x_i – szerokość słoju w roku i .

Transformacja powyższa miała na celu usunięcie trendu starczego oraz uwypuklenie corocznych zmian szerokości słoju. Każde drzewo reprezentowane było przez serię czułości rocznych, obejmującą okres 1951-2001. Do oceny stopnia jednorodności krótkookresowych reakcji przyrostowych drzew poszczególnych gatunków, reprezentatywności oraz siły sygnału wysokiej częstotliwości (zmienności krótkookresowej) zawartego w seriach czułości oraz utworzonych na ich podstawie chronologiach gatunkowych, wykorzystano średni współczynnik korelacji serii czułości (r_{mean}), a także wartości wskaźników EPS oraz SNR [Briffa 1984; Wigley i in. 1984] liczone według wzorów:

$$EPS = \frac{N \cdot r_{mean}}{1 + (N - 1) \cdot r_{mean}}$$

oraz

$$SNR = \frac{N \cdot r_{mean}}{1 - r_{mean}}$$

gdzie:

N – liczba analizowanych serii.

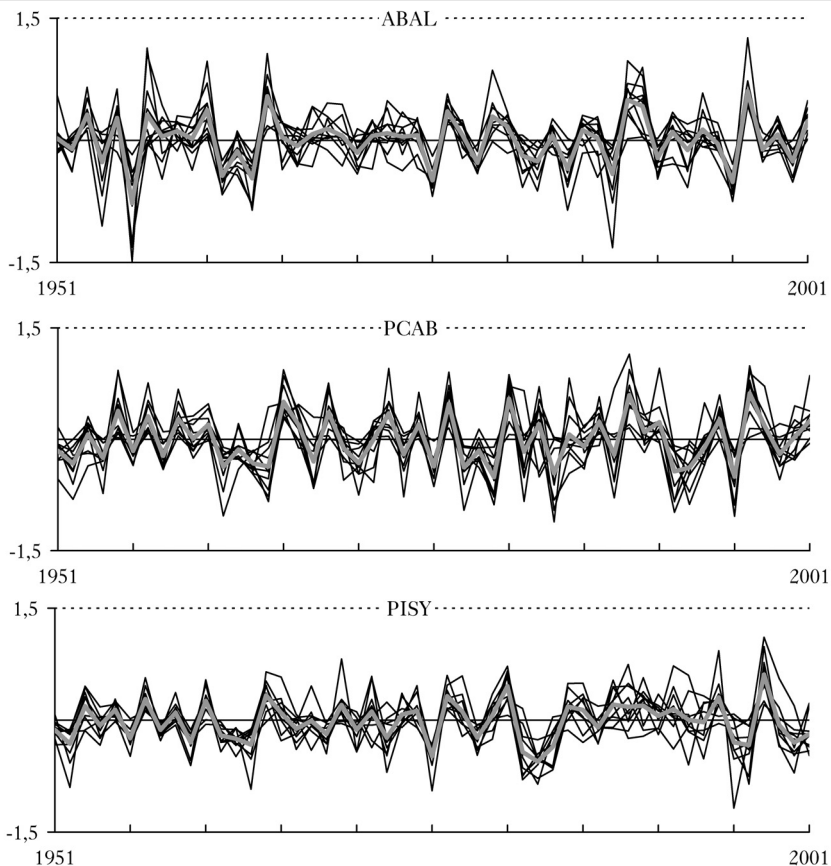
Badano po 10 drzew (serii) każdego gatunku, bowiem wartości EPS oraz SNR zależne są od wielkości próby (ilości serii), a w przypadku rodzimych gatunków drzew iglastych wartości minimalne obu wskaźników (odpowiednio 0,85 oraz 5,7) osiągnęte są już przy 9 seriach [Wilczyński 2010].

Do klasyfikacji i oceny podobieństwa serii czułości wykorzystano analizę skupień. Zastosowano aglomeracyjną metodę grupowania Warda oraz miarę odległość $1-r$ Pearsona. Do opisu zależności między zmiennymi (seriami) oraz do identyfikacji charakteru czynników wpływających na krótkookresową zmienność reakcji przyrostowych drzew wykorzystano wielowymiarową metodę analizy składowych głównych (PCA). Do analiz każdorazowo włączano serie czułości dwóch gatunków, a do dalszej interpretacji pozostawiano składowe, których wartość własna była

większa od 1. Obliczenia wykonano za pomocą programu Statistica 9 (StatSoft, Inc.). Do weryfikacji wyników uzyskanych powyżej opisanymi metodami zastosowano analizę regresji wielorakiej w postaci tzw. funkcji odpowiedzi (ang. response function) [Fritts i in. 1971; Holmes, Lough 1999]. Wejściowymi zmiennymi zależnymi były średnie gatunkowe chronologie czułości rocznych, natomiast zmiennymi niezależnymi – średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, miesięczne sumy opadów atmosferycznych oraz usłonecznienia od września roku poprzedzającego odkładanie przyrostu do września roku, w którym tworzony był słuź drewna. Analizowano okres 1951-2001 (n=51). Dane meteorologiczne pochodziły z pobliskiej stacji meteorologicznej IMGW w Kielcach.

Wyniki

Krótkookresowy rytm przyrostowy badanych drzew prezentują serie czułości rocznych (ryc. 1). Zredukowana została w nich zmienność średnio- oraz długookresowa, która często cechuje serie szerokości słuźów. W poszczególnych latach obserwowane jest duże zróżnicowanie wartości indeksów przyrostowych. Wynika ona stąd, że poszczególne drzewa z różną siłą przyrostową



Ryc. 1.

Indywidualne (cienkie linie) i gatunkowe (grube linie) serie czułości rocznej

Individual (thin lines) and species (thick lines) series of annual sensitivity

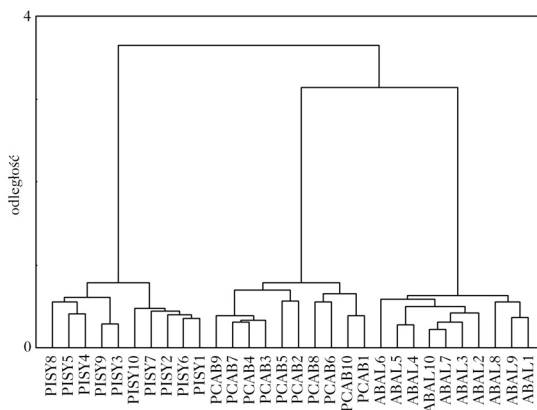
ABAL – jodła; PCAB – świerk; PISY – sosna

ABAL – silver fir; PCAB – Norway spruce; PISY – Scots pine

reagowały na presję czynników środowiskowych. Osobniczą zmienność reakcji przyrostowych można uznać zatem za stosunkowo wysoką. Najwyższą wartością r_{mean} charakteryzowała się jodła (0,570). W przypadku sosny wartość tego wskaźnika wynosiła 0,521, natomiast dla świerka – 0,481. EPS przyjął wartości wynoszące odpowiednio: 0,929, 0,916 oraz 0,903, natomiast SNR: 13,3, 10,9 oraz 9,3. Jodły charakteryzowały się najwyższą jednorodnością reakcji przyrostowych, a ich chronologia wykazywała najwyższą reprezentatywność oraz cechowała się najsilniejszym sygnałem wysokiej częstotliwości. W trakcie analizy skupień serii czułości utworzone zostały trzy skupienia najwyższego rzędu. W pierwszym zgrupowane zostały serie jodeł, w drugim – sosen, natomiast trzecie skupienie tworzyły serie świerków (ryc. 2). Widać zatem, że krótkookresowy rytm przyrostowy jodeł, sosen i świerków różni się, natomiast w ramach gatunku można mówić o wysokim podobieństwie reakcji przyrostowych badanych drzew.

Analiza składowych głównych pozwoliła ustalić, że dwie pierwsze składowe (PC1 i PC2) wyjaśniały łącznie 58,5% zmienności serii czułości jodeł i świerków, 60,2% wariancji serii jodeł i sosen oraz 58,7% wariancji serii świerków i sosen. W każdym przypadku PC1 wyjaśniała największą część zmienności aktualnie analizowanych serii, przez co była najskuteczniejsza w opisie zmienności reakcji przyrostowych badanych drzew (ryc. 3). Analiza ładunków czynnikowych wskazała na integrujący serie charakter pierwszej głównej składowej, bowiem wszystkie serie silnie dodatnio ($\alpha=0,01$) z nią korelowały (ryc. 3). Z kolei PC2 korelowała dodatnio lub ujemnie z seriami poszczególnych gatunków drzew. Stanowiła ona zatem czynnik różnicujący reakcje przyrostowe drzew poszczególnych gatunków. Wyniki PCA wskazały na istnienie podobnych cech krótkookresowego rytmu przyrostowego badanych gatunków drzew. Obok nich współistnieją jednak cechy charakterystyczne dla poszczególnych gatunków, na co wskazywały już wcześniej wyniki analizy skupień. Zatem pierwszą główną składową można określić mianem ponadgatunkowego indeksu przyrostowego, natomiast drugą mianem indeksu gatunkowego.

W celu identyfikacji czynników opisywanych przez PC1 oraz PC2 przeprowadzono analizę ich wartości czynnikowych. Wyodrębniona w trakcie analizy serii jodeł i świerków pierwsza główna składowa ujemnie korelowała ($\alpha=0,05$) ze średnią temperaturą oraz sumą usłonecznienia września roku poprzedzającego przyrost (poprzedni rok), dodatnio zaś ze średnią temperaturą lutego i marca oraz z sumą opadów czerwca i lipca roku, w którym tworzony był słoń drewna (rok bieżący). Z kolei PC2 korelowała ujemnie ze średnią temperaturą maja oraz dodatnio z sumą opadów września bieżącego roku (ryc. 4). Analiza funkcji odpowiedzi potwierdziła charakter pierwszej składowej (ryc. 5). Jodły i świerki w podobny sposób reagowały na warunki termiczno-insolacyjne

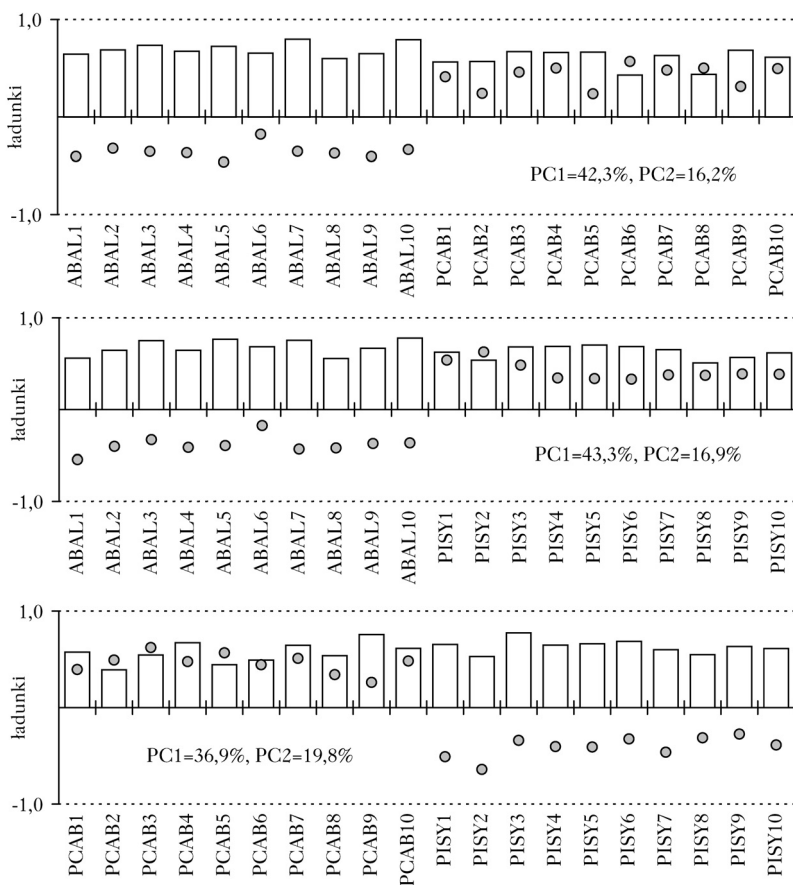


Ryc. 2.

Skupienia serii czułości badanych gatunków wyznaczone metodą Warda (miara odległości $1-r$ Pearsona)

Clustering of sensitivity series of analysed species with Ward's method ($1-r$ Pearson distance)

oznaczenia jak na rycinie 1 denotes as in figure 1



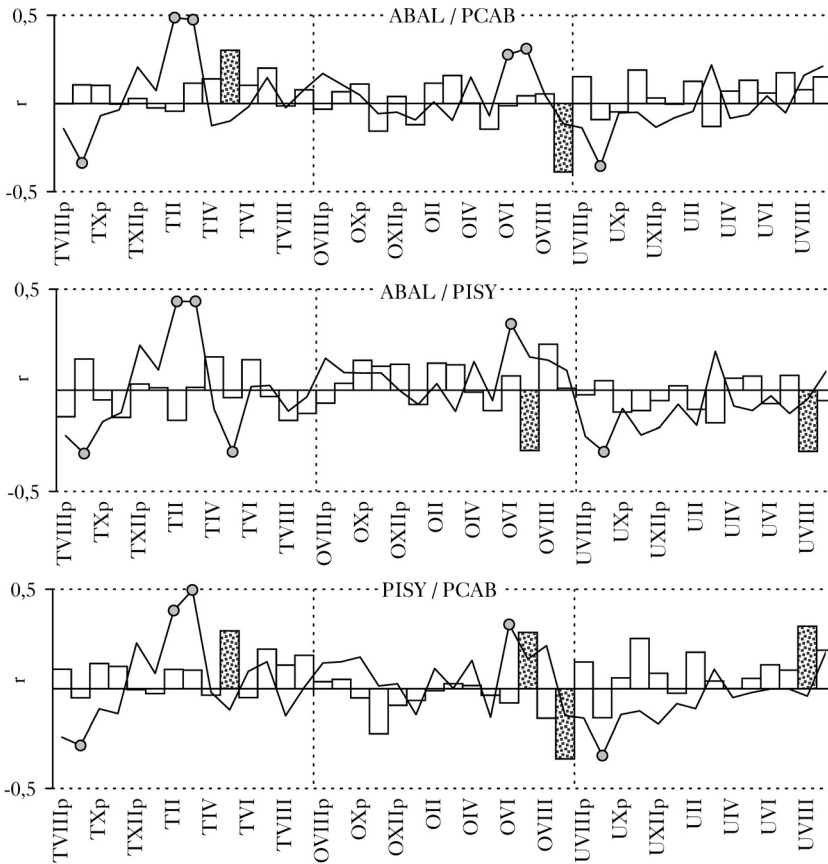
Ryc. 3.

Ładunki czynnikowe PC1 (słupki) i PC2 (punkty) oraz procent całkowitej zmienności serii wyjaśnianej przez PC1 oraz PC2

Component loadings of PC1 (bars) and PC2 (dots), and percent of total series variance explained by PC1 and PC2

oznaczenia jak na rycinie 1
denotes as in figure 1

września poprzedniego roku, temperaturę lutego i marca oraz opady czerwca i lipca bieżącego roku. Charakter PC2 także znajduje uzasadnienie w wynikach tej analizy. Świerki w przeciwieństwie do jodeł nie były wrażliwe na temperaturę powietrza panującą w maju. Na zmienność ich przyrostu na grubość ujemny wpływ miały opady wrześniu bieżącego roku, natomiast w przypadku jodły związki te były dodatnie (ryc. 5). Wyodrębniona w trakcie analizy serii jodeł i sosen pierwsza składowa główna istotnie korelowała z podobnymi parametrami, jak w powyżej opisanym przypadku (ryc. 4). Ponadto PC1 korelowała z temperaturą maja. Nie stwierdzono istotnych korelacji z sumą opadów lipca bieżącego roku. Z kolei PC2 wykazywała istotne korelacje z sumą opadów lipca oraz sumą usłonecznienia sierpnia bieżącego roku. Wyniki analizy regresji potwierdzają podobną wrażliwość przyrostową jodły i sosny na warunki termiczno-radiacyjne września poprzedniego roku oraz na temperaturę lutego, marca i maja, a także na opady czerwca bieżącego roku (ryc. 5). Ponadto sosny, w przeciwieństwie do jodeł, nie wykazują wrażliwości na opady lipca, są one jednak wrażliwe na usłonecznienie sierpnia bieżącego roku (ryc. 5). PC1 wyodrębniona



Ryc. 4.

Współczynniki korelacji Pearsona (r) pomiędzy wartościami PC1 (słupki) i PC2 (linia) a parametrami klimatycznymi

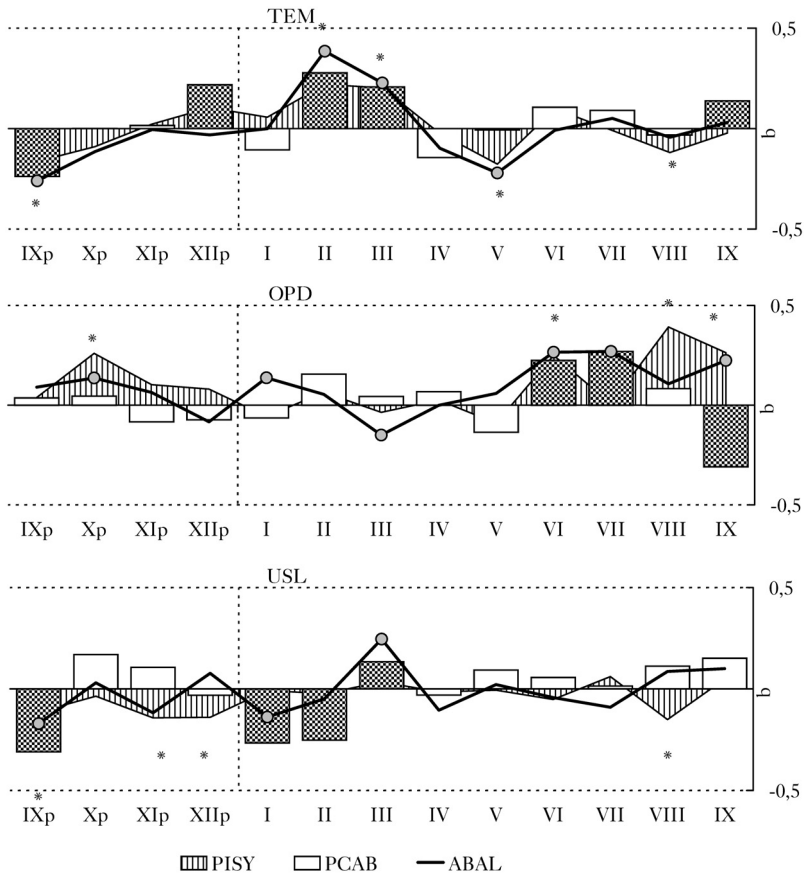
Pearson's correlation coefficients (r) between PC1 (bars) and PC2 (line) scores and climatic variables

T – temperatura; O – opady; U – usłonecznienie od poprzedniego sierpnia (VIIIp) do bieżącego września (IX); wartości istotne ($\alpha=0,05$) oznaczono jako czarne słupki oraz punkty; pozostałe oznaczenia jak na rycinie 1

T – temperature; O – precipitation; U – sunshine duration from previous August (VIIIp) to current September (IX); significant values ($\alpha=0.05$) indicated by black bars and dots; other denotes as in figure 1

w trakcie analizy serii świerków i sosen istotnie korelowała z tymi samymi parametrami klimatycznymi, co składowa wyodrębniona w trakcie analizy jodeł i sosen. Jednak w tym przypadku nie stwierdzono istotnej korelacji PC1 z temperaturą maja (ryc. 4). Natomiast różnicująca rytm przyrostowy drzew obu gatunków PC2 korelowała ze średnią temperaturą maja, a ponadto z sumą usłonecznienia sierpnia oraz z sumą opadów września bieżącego roku. Wyniki analizy regresji potwierdzają, że świerk, w przeciwieństwie do sosny, nie jest wrażliwy na temperaturę maja (ryc. 5). Ponadto zmienność wielkości przyrostu radialnego sosen, w przeciwieństwie do świerków, zależna była od zmienności warunków insolacyjnych sierpnia oraz opadów września bieżącego roku.

Wartości współczynników determinacji regresji wielorakiej wskazują, że temperatura powietrza 13-miesięcznego okna klimatycznego miała największy wpływ na zmienność przyrostów radialnych jodły ($R^2=44,4\%$), natomiast w przypadku świerka oraz sosny R^2 równy był 28,4% oraz 27,9%. Z kolei opady miały największy wpływ na zmienność przyrostów sosny ($R^2=29,4\%$),



Ryc. 5.

Współczynniki regresji wielorakiej (b) gatunkowych chronologii czułości oraz miesięcznych wartości temperatury (TEM), opadów (OPD) i usłonecznienia (USL) od poprzedniego września (IXp) do bieżącego września (IX)

Multiple regression coefficients (b) between species chronologies and monthly temperatures (TEM), precipitation (OPD) and sunshine duration (USL) from prior September (IXp) to current September (IX)

Wartości istotne ($\alpha=0,05$) oznaczono jako czarne słupki, gwiazdki oraz punkty; pozostałe oznaczenia jak na rycinie 1
Significant values ($\alpha=0,05$) indicated by black bars, stars and dots; other denotes as in figure 1

wpływ ten był nieco mniejszy w przypadku świerka ($R^2=27,6\%$), a najmniejszy u jodły ($R^2=18,6\%$). Warunki insolacyjne, wyrażone za pomocą sum usłonecznienia, wywierały największy wpływ na zmienność przyrostów radialnych świerków ($R^2=22,2\%$), następnie jodeł ($R^2=16,9\%$), a w najmniejszym stopniu na zmienność szerokości słoju sosen ($R^2=12,5\%$).

Dyskusja

Wyniki analizy głównych składowych oraz regresji wielorakiej opisujące w odmienny sposób relacje klimat – przyrost radialny ściśle korespondowały ze sobą. Skuteczność metody PCA w identyfikacji czynników determinujących zachowania przyrostowe drzew różnych gatunków potwierdzają także badania innych autorów [Mäkinen i in. 2000; Wilson, Luckman 2002; Feliksik, Wilczyński 2008a, 2009; Wilczyński 2010]. Czynniki modelujące coroczną zmienność wielkości przyrostów radialnych badanych drzew miały charakter wielowymiarowy i obejmowały różne

elementy meteorologiczne występujące w miesiącach roku, w którym tworzone były słoje oraz w roku poprzednim.

Najwyższą jednorodnością krótkookresowych reakcji przyrostowych charakteryzowały się jodły. Ta cecha wyróżnia nie tylko badaną populację, lecz jest charakterystyczna dla całej populacji tego gatunku na obszarze Wyżyny Kieleckiej [Wilczyński 2010], mimo że w latach 70. i 80. ubiegłego wieku to ona szczególnie negatywnie odczuła presję wielu różnych czynników bio- i abiotycznych. Pamiętać jednak należy, że w badaniach uczestniczyły okazy najsilniejsze, które zdołały przetrwać ten niekorzystny okres. Symptomatyczne jest także to, że stopień jednorodności reakcji przyrostowych oraz siła „sygnału klimatycznego” w słojach badanych drzew były wyższe niż w wielu populacjach drzew rosnących w innych strefach i regionach klimatycznych [Lindholm i in. 2000; Tardif i in. 2001; Kilgore, Telewski 2004; Tuovinen 2005]. Oznacza to, że silnie zmienny, przejściowy klimat strefy umiarkowanej znajduje wyraźne odbicie w rytmice przyrostowej rodzimych gatunków drzew.

Wyniki pracy pozwoliły na charakterystykę wymagań klimatycznych badanych populacji drzew oraz potwierdziły postawioną na wstępie hipotezę o istnieniu swoistych, gatunkowych oraz wspólnych dla różnych gatunków drzew cech przyrostowych. Pozytywny wpływ na wielkość przyrostu radialnego jodeł, świerków oraz sosen miał pochmurny i chłodny wrzesień poprzedniego roku. Przy takiej pogodzie drzewa kończyły wzrost na grubość, gromadząc nadal substancje zapasowe, które pomagały przetrwać im mrozy zimowe. Mogła ona sprzyjać inicjacji zawiązków długopędów oraz była zapewne niekorzystna dla wykształcających się w tym czasie zawiązków kwiatów żeńskich [Hejnowicz 1982]. Należy podkreślić, że na pozytywny wpływ usłonecznienia we wrześniu na kwitnienie i urodzaj nasion wskazywały wcześniej inne badania [Tyszkiewicz 1949; Bastide, Vredendbruch 1970; Chałupka 1975; Fober 1976]. Pamiętać należy, że obfite kwitnienie oraz urodzaj nasion ma negatywny wpływ na wielkość przyrostu na grubość [Eis i in. 1965; Chałupka i in. 1975, 1976]. Zależność powyższa zaznacza się najsilniej w południowym sektorze pnia, czyli po stronie, gdzie zwykle obradzanie jest największe [Chałupka i in. 1975], i skąd pobierane były wywierty. Ważnym czynnikiem, podobnie modelującym wielkość przyrostu na grubość jodeł, sosen i świerków, była także temperatura powietrza przełomu zimy i wiosny roku, w którym tworzony był słoje drewna. Im była ona wyższa, tym wcześniej uruchamiane były procesy biochemiczne i fizjologiczne w roślinach. W konsekwencji wcześniej rozpoczynały się podziały kambium oraz formowanie cewek drewna. Warto nadmienić, że na obszarze Polski proces ten rozpoczyna się czasami pod koniec kwietnia, jednak najczęściej w maju, a w górach jeszcze później [Ermich 1959, 1960, 1963]. Ostatnim rozpoznany elementem mającym pozytywny wpływ na przyrost radialny badanych drzew były obfite opady w czerwcu. Dzięki dostatkowi wilgoci w glebie drzewa mogły kontynuować podziały kambium waskularnego, tworząc cienkościennie komórki drewna wczesnego o dużych średnicach cewek. Produkcja komórek drewna późnego rozpoczyna się zwykle pod koniec lipca [Ermich 1959], ale w przypadku wystąpienia długotrwałej suszy możliwe jest to w każdym momencie okresu wegetacji. Zdarza się także, że przyrost wtedy całkowicie ustaje. Dodać należy, że opady występujące w lipcu miały pozytywny wpływ na wielkość przyrostów radialnych jedynie u jodły i świerka, natomiast w przypadku sosny korzystny wpływ na jej przyrost na grubość miał mokry, pochmurny i chłodny sierpień. Często w sierpniu dochodzi do silnego obniżenia poziomu wód gruntowych [Prusinkiewicz, Puchalski 1996], co okazuje się być w tych warunkach bardziej niekorzystne dla sosny. Niska temperatura występująca w maju miała dodatni wpływ na przyrost radialny jedynie sosen i jodeł. Można przypuszczać, że była ona czynnikiem ograniczającym nadmierną transpirację w tym ne-wralgicznym dla drzew okresie. Kolejną cechą odróżniającą świerka od jodły i sosny był pozytywny

wpływ na ostateczną wielkość słojuw ciepłej i suchej pogody panującej we wrześniu. Z kolei sosny i jodły nadal odkładały komórki drewna, gdy we wrześniu występowały opady. Z badań Ermicha [1959, 1960, 1963] oraz cytowanych przez niego autorów wynika, że produkcja komórek drewna jodeł, świerków i sosen trwa często do końca września. Dzięki temu udział drewna powstałego w tym miesiącu sięgać może nawet 25% szerokości rocznego słoja.

Wpływ temperatury powietrza na zmienność wielkości przyrostów radialnych jodły był dużo większy niż w przypadku sosny i świerka. Z kolei sosna i świerk wykazywały podobną wrażliwość na temperaturę oraz opady atmosferyczne, natomiast czas dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego miał największy wpływ na zmienność przyrostów radialnych świerka.

Uogólnienie uzyskanych wyników dotyczących relacji klimat – przyrost radialny może być ryzykowne. Okazuje się bowiem, że warunki wilgotnościowe gleby w istotny sposób modelują wpływ na przyrost drzew poszczególnych elementów meteorologicznych [Pretzsch, Köbel 1988; Friedrichs i in. 2009; Wilczyński, Wertz 2012]. Jeszcze silniejsze różnice we wrażliwości drzew na określone elementy meteorologiczne występują pomiędzy regionami oraz piętrami klimatycznymi [Feliksik 1990; Wilczyński 2003, 2005; Savva i in. 2006]. Jednak duża część stwierdzonych w pracy zależności klimat – przyrost radialny jodeł, świerków oraz sosen znajduje potwierdzenie w badaniach dendroklimatycznych tych gatunków prowadzonych na obszarze Polski [Zielski 1997; Feliksik 1990; Feliksik i in. 2000; Koprowski 2003; Feliksik, Wilczyński 2009; Bijak 2010; Wilczyński 2010].

Podsumowanie

W przypadku pojedynczego stanowiska (drzewostanu) ustalanie przyczyn podobieństw oraz różnic reakcji przyrostowych pomiędzy różnymi gatunkami drzew możliwe jest w oparciu o osobnicze sekwencje cech słojuw. Sposób ten okazuje się być bardziej efektywny niż konstruowanie i wykorzystywanie w tym celu chronologii gatunkowych.

Czynnik meteorologiczny był przyczyną podobieństw oraz różnic krótkookresowych reakcji przyrostowych jodeł, sosen i świerków. O podobieństwach oraz różnicach zadecydowały elementy meteorologiczne występujące w bardzo szerokim oknie klimatycznym. Część z nich miała bezpośredni wpływ na produkcję drewna przez badane gatunki drzew. Dotyczyło to temperatury, opadów oraz czasu bezpośredniego promieniowania słonecznego w czasie aktywności podziałowej kambium. Inne elementy meteorologiczne miały wpływ pośredni, w szczególności temperatura powietrza końca zimy oraz warunki termiczno-insolacyjne poprzedniej jesieni. Inicjowały one w roślinach różne procesy, których konsekwencje przyrostowe obserwowano wiele miesięcy później.

Literatura

- Battipaglia G., Saurer M., Cherubini P., Siegwolf R. T. W., Cotrufo M. F. 2009. Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy. For. Ecol. Manag. 257: 820-828.
- Bijak Sz. 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., Univ. of East Anglia, Norwich, UK.
- Chałupka W. 1975. Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Polsce. Arbor. Kórnickie 20: 213-225.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1975. The effect of cone crops on growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Arbor. Kórnickie 20: 201-212.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1976. The effect of cone crops in Scots pine on tree diameter increment. Arbor. Kórnickie 21: 361-366.

- Eis S., Garman H., Bell L. H. 1965. Relation between cone production and diameter increment of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, grand fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.) and western white pine (*Pinus monticola* Dougl.). Can J. Bot. 43: 1553-1559.
- Ermich K. 1959. Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u *Pinus sylvestris* L. i *Quercus robur* L. Acta Soc. Bot. Pol. 28: 15-63.
- Ermich K. 1960. O sezonowym przebiegu czynności miazgi i tworzenia słoju rocznego u *Fagus sylvatica* L. i *Abies alba* Mill. Roczn. Dendrol. 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* L. in Tatra Mountains. Ekol. Pol. ser. A 11(13): 311-336.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatyczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawy 151.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008a. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Sylwan 152 (6): 3-13.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008b. Tree-ring chronology as a source of information on susceptibility of Sitka spruce to climatic conditions of Pomerania (northern Poland). Geochronometria 30: 79-82.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2009. Relationships between climate and radial growth for native and nonnative trees on the homogeneity site. 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. Sylwan 144(9): 53-63.
- Fober H. 1976. Relation between climatic factors and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) cone crops in Poland. Arbor. Kórnickie 21: 367-374.
- Frank D., Esper J. 2005. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. Dendrochronologia 22: 107-121.
- Friedrichs D. A., Neuwirth B., Winger M., Löffler J. 2009. Methodologically induced differences in oak site classifications in a homogeneous tree-ring network. Dendrochronologia 27: 21-30.
- Fritts H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Acad. Press, London.
- Fritts H. C., Blasing T. J., Hayden B. P., Kutzbach J. E. 1971. Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. J. Appl. Meteorol. 10 (5): 845-864.
- Hejnowicz A. 1982. Budowa i rozwój wegetatywnych pąków sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull. 43: 69-78.
- Holmes R. L., Lough J. M. 1999. RESPO - Response and correlation function. Laboratory of Tree-Ring Research, Univ. of Arizona, Tucson, USA.
- Kilgore J. S., Telewski F. W. 2004. Climate-growth relationships for native and nonnative Pinaceae in northern Michigan's Pine Barrens. Tree-Ring Research 60 (1): 3-13.
- Koprowski M. 2003. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych świerka pospolitego *Picea abies* (L.) Karst. subsp. *abies* na wybranych stanowiskach w Polsce. Maszynopis pracy doktorskiej, Instytut Ekologii i Ochrony Roślin, UMK w Toruniu.
- La Bastide J. G. A., van Vredenbruch C. L. M. 1970. The influence of weather conditions on the seed production of some forest trees in Netherlands. Stichting Bosbouwproefstation 'De Dorschkamp' Wageningen, Mededeling 102: 1-12.
- Lindholm M., Lehtonen H., Kolström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M. 2000. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pine from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. Silva Fenn. 34: 317-329.
- Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. 2000. Climatic signal annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect from central Finland to the Arctic timberline. Can. J. For. Res. 30: 769-777.
- Mäkinen H., Vanninen P. 1999. Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series. For. Ecol. Manag. 113: 83-89.
- Pederson N., Cook E. R., Jacoby G. C., Peteet D. M., Griffin K. L. 2004. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. Dendrochronologia 22: 7-29.
- Piovesan G., Biondi F., Bernabei M., Di Filippo A., Schirone B. 2005. Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. Acta Oecologica 27: 197-210.
- Pretzsch H., Köbel M. 1988. Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf das Wuchsverhalten der Kiefernbestände im Gebiet des Nrnberg Hafens. Forstarchiv 59 (3): 89-96.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1996. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- Rasmussen K. K. 2007. Dendroecological analysis of a rare sub-canopy tree: Effects of climate, latitude, habitat conditions and forest history. Dendrochronologia 25: 3-17.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P. B., Tjoelker M. G., Vaganov E. A., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. Trees 20: 735-746.

- Tardif J., Conciatori F., Bergeron Y. 2001. Comparative analysis of the climatic response of seven boreal tree species from northwestern Quebec, Canada. *Tree-Ring Res.* 57(2): 169-181.
- Tuovinen M. 2005. Response of tree-ring width and density of *Pinus sylvestris* to climate beyond the continuous northern forest line in Finland. *Dendrochronologia* 22: 83-91.
- Tyszkiewicz S. 1949. Nasiennictwo leśne. IBL, Warszawa.
- 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. *J. Clim. App. Meteor.* 23: 201-213.
- Wilczyński S. 2003. Modele klimat-przyrost radialny sosen z Tatr, Pienin i Ojcowa. *Sylwan* 147 (12): 27-35.
- Wilczyński S. 2005. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Karpatach Polskich. *Acta Agrar. Silv. Ser. Silv.* 43: 43-54.
- Wilczyński S. 2006. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. *Eur. J. For. Res.* 125: 213-219.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. *Zesz. Nauk. UR w Krakowie, Rozprawy* 464 (341).
- Wilczyński S., Podlaski R. 2007. The effect of climate on radial growth of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in the Świętokrzyski National Park in central Poland. *J. For. Res.* 12: 24-33.
- 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.
- Wilson R. J. S., Luckman B. H. 2002. Tree-ring reconstruction of maximum and minimum temperatures and the diurnal temperature range in British Columbia, Canada. *Dendrochronologia* 20: 257-268.
- Zielski A. 1997. Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. *Rozprawa habilitacyjna*, Wyd. UMK w Toruniu.

SUMMARY

Short-term incremental response of silver fir, Norway spruce and Scots pine growing in uniform habitat conditions

Silver fir, Norway spruce and Scots pine trees growing on upland mixed broadleaved habitat in Świętokrzyski National Park (central Poland) were selected (10 individuals per species). The assessment of similarities and differences in their short-term increment response was analysed. Investigated trees were 90 years old and healthy. One increment core per tree was taken. After measuring tree-ring widths growth rate indexes of annual sensitivity were calculated (fig. 1). For analysis and evaluation of the similarities and differences in short-term increment response of trees we used cluster analysis, principal component analysis and response function [Fritts et al. 1971]. It was found that in the years 1951-2001 increment response of firs, pines and spruces was different (fig. 2, 3). It resulted from different sensitivity of both species to temperature in May and precipitation in September of the year when ring was formed (fig. 4, 5). The reason was their similar sensitivity to thermal-insolate conditions in September of the year preceding the growth, temperature in February and March, and precipitation in June and July of the year of tree-ring formation (fig. 4, 5). Firs and pines showed also similar sensitivity to weather conditions in previous September, and thermal conditions in February, March and May and precipitation in June of the current year (fig. 4, 5). Differences in their short-term increment response (fig. 2, 3) were the result of their different sensitivity to the pluvial conditions in July, and sunshine duration in August of the current year (fig. 4, 5). Similarity of the increment response of spruce and pine (fig. 3) resulted from their sensitivity to similar thermal conditions and insolation in previous September, temperature in February and March, and precipitation in June of the current year (fig. 4, 5). The reason for the differences was their different incremental response to temperature of May, radiation in August and precipitation in September of the current year (fig. 4, 5).