

**SŁAWOMIR WILCZYŃSKI**

## **Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk\***

Causes of the short-term incremental reactions of Scots pine growing at different sites

### **ABSTRACT**

Wilczyński S.2013. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. Sylwan 157 (9): 662-670.

In homogeneous climate conditions Scots pine trees at different sites have similar short-term incremental rhythm. It was determined by the temperature of early spring and precipitation in June. Differences in the growth pattern are caused by various sensitivities of pines from different habitats to the temperature in May and precipitation in February and April of the current year.

### **KEY WORDS**

tree-ring, dendroclimatology, Scots pine, forest site type

### **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**

Miarą wrażliwości drzew na różne elementy siedliska jest między innymi wielkość tworzonych przez nie rokrocznie słoju drewna. Jest to jedna z wielu cech przyrostowych, na podstawie których można wskazać te elementy, które są szczególnie istotne dla wzrostu i rozwoju drzew. Reakcje przyrostowe drzew dzielimy zasadniczo na krótko- oraz długofalowe [Bruchwald 1988]. Udowodniono wielokrotnie, że drzewa wykazują swoisty dla gatunku krótkookresowy rytm przyrostowy [Tardif i in. 2001; Pederson i in. 2004; Kilgore, Telewski 2004; Wilczyński 2010]. Z kolei przestrzenne zróżnicowanie tegoż rytmu wynika z różnic warunków klimatycznych [Lindholm i in. 2000; Mäkinen i in. 2000; Wilczyński i in. 2001; Piovesan i in. 2005; Tuovinen 2005; Koprowski, Zielski 2006; Savva i in. 2006; Bijak 2011a; Szewczyk i in. 2011]. Coroczna zmienność wielkości słoju drewna kształtowana jest głównie przez czynnik meteorologiczny [Fritts 1976]. O zmienności długofalowej oraz wielkości przyrostów rocznych decyduje w dużym stopniu mikrosiedlisko, w tym zasobność gleby w substancje mineralne i wodę, zanieczyszczenia [Wertz 2012], a także oddziaływania konkurencyjne między drzewami i zranienia [Pach 2008; Pach, Soberka 2011]. Rytm przyrostowy drzew może być modelowany także przez warunki wilgotnościowe siedliska glebowego [Pretzsch, Köbel 1988; Muter 2004; Bijak 2007; Friedrichs i in. 2009; Wilczyński, Wertz 2012].

W pracy podjęto próbę weryfikacji hipotezy, która zakłada istnienie elementów meteorologicznych, wpływających na coroczne reakcje przyrostowe sosny zwyczajnej rosnącej w zbliżonych

\* Praca finansowana z dotacji MNiSW na działalność statutową.

warunkach klimatycznych, które są niezależne od siedliska glebowego. Przyjęto także, że obok nich istnieją elementy, których wpływ na przyrost radialny drzew kształtowany jest przez warunki wilgotnościowe gleby. Starano się zidentyfikować obie grupy elementów meteorologicznych.

## Materiał i metody

W 14 drzewostanach położonych na terenie Puszczy Białowieskiej wybrano po 20 zdrowych sosen z I klasy Krafta. Drzewostany te rosły na różnych siedliskach (siedliskowych typach lasu) w szerokim gradiencie troficznym i wilgotnościowym (tab.). Od południowej strony pni pobrano po jednym wywiercie na wysokości 1,3 m nad ziemią. Za pomocą przyrostomierza mikroskopowego BEPD3–Biotronik pomierzono na nich szerokości słoików rocznych. Poprawność datowania słoików sprawdzono za pomocą programu COFECHA [Holmes 1983]. Następnie szerokości słoików transformowano, obliczając dla każdego roku indeks przyrostowy – tzw. czułość roczną [Fritts 1976]:

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

gdzie:

$x_i$  – szerokość słoika w roku  $i$ .

Indeksacja ta miała za zadanie usunąć z serii szerokości słoików drzew trend wiekowy oraz wzmocnić zmienność krótkookresową (roczną). Następnie w każdym roku uśredniono wartości indeksów poszczególnych serii z danego stanowiska, tworząc 14 stanowiskowych chronologii czułości. Obrazują one krótkookresowy rytm przyrostowy drzew z badanych populacji sosny. Analizowano okres od 1931 do 1990 roku ( $n=60$ ), dla którego posiadano jednorodnie dane klimatyczne z pobliskich stacji meteorologicznych w Białowieży oraz Hajnówce.

Do oceny stopnia jednorodności krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen wykorzystano wskaźnik  $r_{bar}$ , który jest średnim współczynnikiem korelacji wszystkich par serii czułości. Reprezentatywność chronologii stanowiskowych oszacowano za pomocą wskaźnika EPS [Briffa 1984; Wigley i in. 1984]:

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

gdzie:

$N$  – liczba analizowanych serii (drzew).

Silę sygnału klimatycznego zawartego w seriach osobniczych oraz chronologiach stanowiskowych określono za pomocą wskaźnika sygnału wysokiej częstotliwości [Briffa 1984; Wigley i in. 1984]:

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

Wartości EPS oraz SNR są zależne od liczby analizowanych serii. Dlatego, aby wzmocnić dendroklimatyczną jakość chronologii [Wilczyński 2010], w każdym drzewostanie pobrano równą i jednocześnie stosunkowo dużą liczbę wywierć (20).

Dynamikę zmian wielkości przyrostów radialnych z roku na rok (reaktywność przyrostową) drzew poszczególnych populacji w latach 1931–1990 określono za pomocą średniej czułości [Fritts 1976]:

$$C_{mean} = \frac{\sum_{i=2}^n |c_i|}{n - 1}$$

gdzie:

$c_i$  – czułość roczna w  $i$ -tym roku w chronologii,  
 $n$  – liczba lat analizowanego interwału.

Klasyfikację chronologii, opis zależności między nimi oraz identyfikację czynników mających wpływ na zmienność reakcji przyrostowych sosen przeprowadzono za pomocą analizy składowych głównych (PCA). Analizowano łącznie 14 stanowiskowych chronologii czułości. Na ich podstawie obliczone zostały nowe, ukryte zmienne – tzw. składowe główne. Na podstawie analizy wykresu osypiska do dalszych badań pozostawiono trzy pierwsze składowe główne (PC1, PC2 i PC3). Klasyfikację chronologii przeprowadzono, wykorzystując wartości ładunków czynnikowych, czyli współczynników korelacji wyodrębnionych zmiennych z chronologiami czułości. Do identyfikacji składowych głównych wykorzystano wartości składowe (czynnikowe), które korelowano z wartościami miesięcznymi temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych z okresu od września roku poprzedniego do września roku bieżącego, czyli czasu, w którym każdorazowo tworzony był słoń drewna.

W celu weryfikacji wyników analizy składowych głównych skonstruowano średnią chronologię ponadsiedliskową. Następnie porównano jej przebieg z przebiegiem wartości parametrów klimatycznych opisywanych przez pierwszą składową główną, czyli średnią temperaturą okresu luty-marzec oraz sumą opadów czerwca, która w największym stopniu tłumaczyła zmienność przyrostów radialnych badanych sosen. Do tego celu wykorzystano nieparametryczny współczynnik zbieżności  $GL$  (%) [Eckstein, Bauch 1969]:

$$GL = 100 \cdot \frac{k}{n-1}$$

gdzie:

$k$  – liczba odcinków o zgodnym kierunku (wzrostowym lub spadkowym) u porównywanych krzywych,

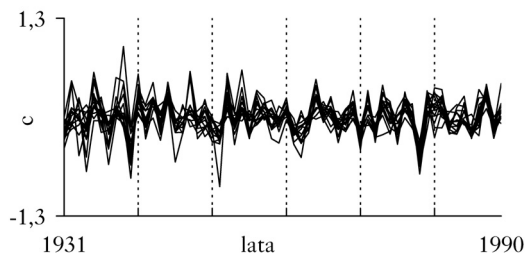
$n$  – liczba lat badanego interwału.

Dodatkowo analizowano kierunek zmian wartości chronologii ponadsiedliskowej oraz wartości wyżej wymienionych parametrów klimatycznych, wyznaczając lata charakterystyczne. Były to lata, w których średnia temperatura okresu luty-marzec wzrosła, a suma opadów czerwca zmalała w stosunku do wartości z roku poprzedniego lub na odwrót. Fakt ten pozwolił ocenić, który element klimatyczny (temperatura czy opady) miał w tych latach wpływ na wielkość przyrostu radialnego badanych sosen.

## Wyniki

Chronologie czułości mają zredukowaną zmienność długofalową (trend wiekowy) oraz uwypukloną zmienność krótkookresową (ryc. 1). Chronologie te wykazują ponadto wysokie podobieństwo kierunku zmian wartości z roku na rok, choć współczynniki korelacji par chronologii wahały się w relatywnie dużych granicach od 0,306 do 0,894. Poszczególne populacje cząstkowe wykazywały bardzo wysokie wartości wskaźników EPS, które zawierały się od 0,89 do 0,96, przy czym były one zwykle wyższe w populacjach drzew rosnących na siedliskach skrajnych pod względem warunków wilgotnościowych (tab.). Było to wynikiem wysokiej jednorodności reakcji przyrostowych sosen ( $r_{bar}$ ) z siedlisk suchych oraz bagiennych. W konsekwencji chronologie sosen z tych siedlisk charakteryzowały się silniejszym sygnałem wysokiej częstotliwości. Wartości SNR wahały się od 8,4 do 27,0. Z kolei wartości  $C_{mean}$  wahały się w przedziale od 0,11 do 0,24, przy czym najwyższą reaktywnością przyrostową charakteryzowały się sosny z siedlisk bagiennych (tab.).

Trzy pierwsze składowe główne tłumaczyły łącznie ponad 80% zmienności serii czułości. Pierwsza składowa główna tłumaczyła ponad 64% zmienności, a chronologie korelowały z nią silnie, dodatnio ( $P < 0,001$ ; ryc. 2). PC1 opisuje zatem czynnik, który miał bardzo silny i jed-



Ryc. 1.  
Chronologie czułości sosen z Puszczy Białowieskiej  
Sensitivity chronologies for Scots pines from Białowieża Forest

### Tabela.

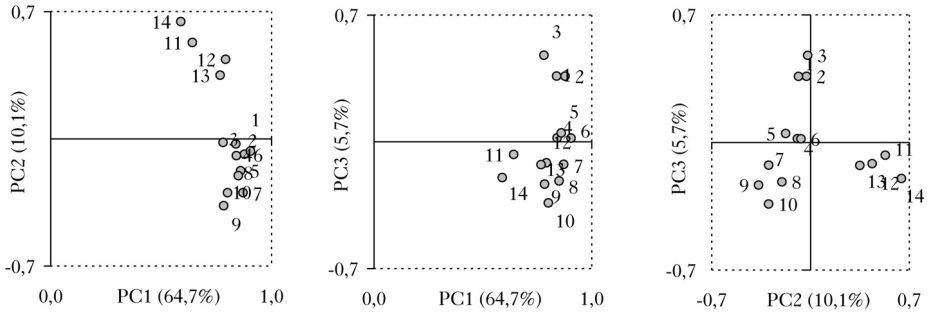
Charakterystyka stanowisk badawczych oraz wskaźniki chronologii czułości  
Description of the research sites and indices of the sensitivity chronologies

Nr	Nadleśnictwo/leśnictwo/oddział	TSL	$r_{bar}$	EPS	SNR	$C_{mean}$
1	Hajnówka/Gruszki/130	Bs	0,45	0,94	16,2	0,14
2	Hajnówka/Gruszki/131	Bs	0,46	0,94	17,1	0,17
3	Hajnówka/Podcerkiew/673	Bs	0,40	0,93	13,3	0,15
4	BPPN/Browskoje/45	Bśw	0,34	0,91	10,1	0,11
5	Hajnówka/Topiło/699	BMśw	0,42	0,94	14,4	0,17
6	BPPN/Jasenskoje/855	LMśw	0,39	0,93	12,7	0,18
7	Hajnówka/Topiło/668	BMw	0,32	0,90	9,2	0,14
8	Hajnówka/Topiło/698	LMw	0,32	0,90	9,2	0,16
9	Hajnówka/Teremiski/280	Lw	0,30	0,89	8,4	0,15
10	BPPN/Bielanskoje/792	LMw	0,42	0,94	14,7	0,18
11	BPPN/Browskoje/45	Bb	0,57	0,96	27,0	0,24
12	Hajnówka/Leśnica/542	Bb	0,45	0,94	16,2	0,21
13	Hajnówka/Przewłoka/671	BMb	0,46	0,94	17,2	0,21
14	BPN/222	LMb	0,49	0,95	19,1	0,20

BPN – Białowiecki Park Narodowy; BPPN – Białoruski Białowiecki Park Narodowy; TSL – typ siedliskowy lasu  
BPN – Białowiecki National Park; BPPN – Białowiecki National Park in Belarus; TSL – forest site type

nocześnie podobny wpływ na reakcję przyrostową badanych sosen niezależnie od zajmowanego przez nie siedliska. PC2 i PC3 różnicowały chronologie, tłumacząc wspólnie około 16% ich zmienności (ryc. 2). Analiza ładunków czynnikowych drugiej składowej pozwoliła wyróżnić dwie grupy chronologii. Pierwszą stanowiły chronologie sosen z siedlisk bagiennych, natomiast drugą tworzyły chronologie z siedlisk suchych, świeżych oraz wilgotnych (ryc. 2, tab.). W oparciu o ładunki czynnikowe PC3 wyróżniono trzy grupy chronologii. Pierwszą tworzyły chronologie sosen z siedlisk suchych, drugą – z siedlisk świeżych, natomiast trzecią – z siedlisk wilgotnych i bagiennych (ryc. 2, tab.). Wspólna analiza ładunków czynnikowych PC2 i PC3 pozwoliła ostatecznie wyodrębnić cztery grupy chronologii pochodzących z badanych siedlisk (ryc. 2, tab.). PC2 i PC3 opisują czynniki, które miały odmienny wpływ na reakcje przyrostowe drzew z siedlisk charakteryzujących się różnymi warunkami wilgotnościowymi.

PC1, która integrowała wszystkie chronologie, dodatkowo korelowała ze średnią temperaturą lutego ( $r=0,309$ ,  $P<0,01$ ) i marca ( $r=0,302$ ,  $P<0,01$ ) oraz z sumą opadów czerwca ( $r=0,345$ ,  $P<0,01$ ) roku, w którym tworzony był sój drewna (ryc. 3). Powyższą, istotną współzmiennność potwierdzają wysokie wartości współczynników zbieżności PC1 oraz trzech powyższych parametrów klimatycznych. Wartości  $GL$  wynosiły odpowiednio 67,2% ( $P<0,01$ ), 69,0% ( $P<0,01$ ) oraz 68,9% ( $P<0,01$ ). PC2 korelowała ujemnie ze średnią temperaturą maja ( $r=0,327$ ,  $P<0,01$ ). Te ujemne zależności potwierdza bardzo niska wartość współczynnika zbieżności obu ciągów ( $GL=25,8\%$ ,

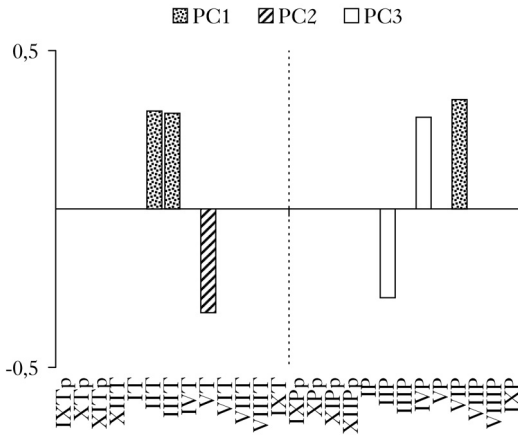


Ryc. 2.

Położenie chronologii stanowiskowych względem ładunków PC1, PC2 i PC3

Position of the residual chronologies in relation to PC1, PC2, and PC3 loadings

Numery chronologii podano w tabeli; w nawiasach procent zmienności chronologii stanowiskowych wyjaśniany przez składowe  
 Numbers as in table; percentage of variance explained by PC1, PC2, and PC3 in brackets



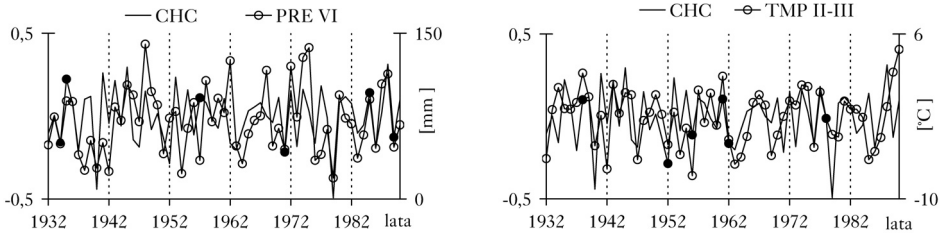
Ryc. 3.

Istotne statystycznie współczynniki korelacji trzech składowych głównych i średniej miesięcznej temperatury (T) oraz miesięcznej sumy opadów (P) od września poprzedniego roku (IXp) do bieżącego września (IX)  
 Significant correlation coefficients between the PC1, PC2, PC3 and average temperature (T) and total precipitation (P) for months from prior September (IXp) to current September (IX)

$P < 0,001$ ). PC3 korelowała ujemnie ( $r = -0,280$ ,  $P < 0,05$ ) z sumą opadów lutego oraz dodatnio ( $r = 0,289$ ,  $P < 0,05$ ) z sumą opadów kwietnia (ryc. 3). Dokumentują to także istotne wartości ich współczynników zbieżności (odpowiednio 32,7%,  $P < 0,01$  oraz 62,1%,  $P < 0,05$ ).

Zbieżność przebiegu chronologii ponadsieliskowej i sumy opadów czerwca oraz średniej temperatury okresu luty-marzec była bardzo wysoka (ryc. 4). Współczynniki *GL* wyniosły odpowiednio 77,6% ( $P < 0,001$ ) oraz 72,4% ( $P < 0,001$ ). Brak pełnej zgodności przebiegu chronologii z wartościami powyższych parametrów klimatycznych wskazuje, że wpływ na przyrost radialny sosen miały także inne czynniki, w tym zapewne elementy klimatyczne opisywane przez kolejne składowe główne.

Na zależności występujące pomiędzy przyrostem radialnym badanych sosen a temperaturą przedwiośnia oraz opadami czerwca wskazują także wyniki analizy lat charakterystycznych. Należy do nich 1989 rok, w którym nastąpiło obniżenie przyrostu, pomimo że nastąpił wzrost średniej temperatury okresu luty-marzec. Przyczyną był zapewne fakt, że opady czerwca obniżyły się wyraźnie w stosunku do roku poprzedniego i były przy tym relatywnie niskie (ryc. 4). Podobny układ warunków termiczno-pluwialnych i zmiana wielkości przyrostu radialnego wystąpiły w latach: 1934, 1935, 1957, 1971 oraz 1985. Z kolei dominujący wpływ temperatury przedwiośnia na przyrost sosen notuje się w latach: 1938, 1952, 1956, 1961, 1962 i 1978 (ryc. 4). W latach tych



Ryc. 4.

Średnia chronologia czułości sosen ze wszystkich siedlisk (CHC), suma opadów czerwca (PRE VI), średnia temperatura okresu luty-marzec (TMP II-III) oraz lata charakterystyczne (czarne punkty)

Mean sensitivity chronology for pines from all sites (CHC), June total precipitation (PRE VI), average temperature of February-March period (TMP II-III) and the characteristic years (black dots)

rosła temperatura tego sezonu, natomiast spadała suma opadów czerwca. Obniżenie temperatury powietrza na przedwiośnie lub ilości opadów atmosferycznych w czerwcu znajdowało negatywne odbicie w reakcjach przyrostowych sosen. W pozostałych latach wpływ obu elementów klimatycznych, mających podobny kierunek zmiany, kumulował się, powodując wzrost lub odpowiednio spadek przyrostu drzew na grubość. Obydwa elementy klimatyczne wydają się mieć zatem równorzędny wpływ na wielkość przyrostów radialnych badanych sosen.

## Dyskusja

Podobieństwo krótkookresowego rytmu przyrostowego sosen rosnących na różnych siedliskach jest faktem. Było ono skutkiem ich podobnej wrażliwości na temperaturę powietrza panującą na przedwiośnie oraz na opady atmosferyczne na początku lata roku, w którym tworzony był sój drewna. Im wcześniej kończył się okres spoczynku zimowego, tym wcześniej rozpoczynały się w drzewach procesy biochemiczne i fizjologiczne, prowadzące w konsekwencji do wcześniejszych podziałów kambium waskularnego. Z kolei dostatek wody w glebie w czerwcu pozwalał drzewom na intensywną produkcję komórek drewna wczesnego, które mają decydujący wpływ na ostateczną wielkość słoja. Wiadomym jest, że w przypadku niedoboru opadów drzewa ograniczają produkcję komórek drewna, a przy długotrwałych suszach mogą ją całkowicie wstrzymać [Bijak 2011b]. Podobne zależności obserwowano u sosny niemal w całej Polsce [Zielski 1997; Wilczyński 2003, 2010].

Biologiczna interpretacja dodatniego wpływu niskiej temperatury powietrza w maju na wielkość przyrostu radialnego sosen z siedlisk bagiennych jest nieco trudniejsza. Można przypuszczać, że spadki temperatury ograniczały nadmierną transpirację i parowanie w tym stosunkowo suchym i ciepłym miesiącu. Aktywne w pobieraniu wody korzenie włośnikowe sosen na tych siedliskach nie zawsze były w stanie odpowiednio szybko się rozbudować w pogoni za obniżającym się zwierciadłem wody. W konsekwencji obniżenie poziomu wód gruntowych przejawiało się redukcją przyrostu. Podobne zachowania obserwowano także u innych gatunków drzew [Feliksik, Wilczyński 2009; Wilczyński 2010]. Najwyższa dynamika zmian wielkości stojów sosen z siedlisk bagiennych wskazuje na częste zmiany poziomu wód gruntowych. Podobne zachowania przyrostowe stwierdzano wśród sosen już wcześniej [Laiho, Laine 1996; Pellerin, Lavoie 2003]. Wysokie opady śniegu w lutym miały niekorzystny wpływ na przyrost sosen z siedlisk suchych. Przyczyną mogła być utrwalająca się wtedy pokrywa śnieżna, która opóźniała początek wegetacji. Korzystny wpływ na ich przyrost radialny miały natomiast opady kwietniowe, które uzupełniały wiosenne zapasy wody w glebie. Obok wspólnych cech przyrostowych, wynikających z wpływu

elementów klimatycznych opisywanych przez pierwszą składową główną, istniały także cechy charakterystyczne dla sosen z siedlisk o określonych warunkach wilgotnościowych. Były one rezultatem wpływu na drzewa elementów klimatycznych opisywanych przez drugą oraz trzecią składową główną. Pierwszy czynnik można nazwać ponadsiedliskowym wskaźnikiem przyrostowym, natomiast czynniki drugi i trzeci – wskaźnikami wilgotnościowymi.

Potwierdzona została postawiona na wstępie hipoteza o współistnieniu cech przyrostowych sosny zwyczajnej charakterystycznych dla gatunku oraz specyficznych, związanych wyłącznie z warunkami wilgotnościowymi gruntu. Wpływ warunków klimatycznych modelowany był zatem przez lokalne warunki glebowe, co potwierdza wnioski płynące z wielu wcześniejszych badań [Pretzsch, Köbel 1988; Muter 2004; Cedro, Lamentowicz 2011; Dauskane i in. 2011; Bijak 2011a, b; Wilczyński, Wertz 2012]. Czynniki modelujące coroczną zmienność wielkości przyrostów radialnych sosen miały charakter wielowymiarowy i obejmowały różne elementy meteorologiczne. Należy podkreślić, że opisywane przez trzy pierwsze składowe główne elementy klimatyczne nie są jedynymi, które wpływają na wielkość przyrostów radialnych sosny zwyczajnej [Zielski 1997; Wilczyński 2010]. Są one jednak wysoce efektywne w opisie zmienności zachowań przyrostowych badanych populacji drzew. Sosny rosnące w skrajnych warunkach wilgotnościowych gleby, czyli na siedliskach suchych oraz bagiennych, charakteryzowały się najwyższą jednorodnością corocznych reakcji przyrostowych. Ich chronologie cechowały się bardzo silnym sygnałem wysokiej częstotliwości kształtowanym przez czynnik meteorologiczny. Z kolei najwyższą reaktywność przyrostową, będącą skutkiem silnej wrażliwości sosen na wahania poziomu wód gruntowych, wykazywały drzewa z siedlisk bagiennych.

Skonstruowane w pracy chronologie stanowiskowe dobrze reprezentują rytm przyrostowy populacji sosen rosnących w podobnych warunkach siedliskowych (glebowo-klimatycznych). Należy wprowadzić to ograniczenie przestrzenne, bowiem warunki klimatyczne poszczególnych regionów geograficznych mają odmienny wpływ na rytm przyrostowy drzew danego gatunku [Lindholm i in. 2000; Mäkinen i in. 2000; Wilczyński 2003; Piovesan i in. 2005; Frank, Esper 2005; Wilczyński, Feliksik 2007]. Różnicujący wpływ na przyrost drzew mają także warunki wilgotnościowe składowej siedliska, jaką jest gleba [Muter 2004, Friedrichs i in. 2009; Wilczyński, Wertz 2012], co potwierdzone zostało także i w niniejszych badaniach.

## Wnioski

- ✦ Hipoteza zakładająca istnienie czynników, których wpływ na coroczne reakcje przyrostowe drzew sosny zwyczajnej był podobny i niezależny od warunków siedliskowych, okazała się prawdziwa. Taką rolę odgrywała temperatura na początku okresu wegetacji oraz wielkość opadów w okresie intensywnych podziałów kambium waskularnego. Istniały także elementy meteorologiczne, których wpływ na przyrost radialny sosen modelowany był przez wilgotność gleby. Należała do nich temperatura powietrza panująca w maju, na którą szczególną wrażliwość wykazywały sosny z siedlisk bagiennych, oraz opady atmosferyczne lutego i kwietnia, na wysokość których najbardziej czułe były sosny z siedlisk suchych.
- ✦ Silnie modelujący wpływ na reakcje przyrostowe sosny zwyczajnej czynnika pluwialnego zaznaczył się na stanowiskach skrajnych pod względem warunków wilgotnościowych. W konsekwencji sosny z siedlisk suchych oraz bagiennych wykazywały największą jednorodność reakcji przyrostowych oraz najsilniej zapisywały sygnał klimatyczny w zmienności szerokości tworzonych przez siebie słoju drewna.
- ✦ Siedliska bagienne wydają się być najbardziej niestabilne pod względem warunków wodnych, co znajduje odbicie w największej reaktywności przyrostowej rosnących tam drzew.

## Literatura

- Bijak Sz. 2007. Tree growth- climate response in relation to habitat type in spruce stands of the Borecka Primeval Forest. W: Hanecka K. [red.]. TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology 5: 54-59.
- Bijak Sz. 2011a. Wpływ warunków siedliskowych na przyrost radialny świerka pospolitego (*Picea abies* L.) w północno-wschodniej Polsce i krajach nadbałtyckich. Praca doktorska, SGGW Warszawa.
- Bijak Sz. 2011b. Influence of drought on radial growth of Norway spruce in north-eastern Poland. W: van der Marten–Theunissen M. [red.]. TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology 9: 28-33.
- Briffa K. R. 1984. Tree climate relationships and dendroclimatological reconstruction in the British Isles. Dissertation, University of East Anglia, Norwich, UK.
- Bruchwald A. 1988. Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu. Sylwan 132 (11): 1-10.
- Cedro A., Lamentowicz M. 2011. Contrasting responses to environmental changes by pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on peat and mineral soil: An example from a Polish Baltic bog. Dendrochronologia 29: 211-217.
- Dauskane I., Brumelis G., Elferts D. 2011. Effects of climate and extreme radial growth of Scots pine growing on bogs in Latvia. Estonian Journal of Ecology 60 (3): 236-248.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 88 (4): 230-250.
- Feliksik E., Wilezyński S. 2009. Relationships between climate and radial growth for native and nonnative trees on the homogeneity site. Geochronometria 33: 49-57.
- 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., Winiger 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.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bulletin 43: 69-78.
- 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., Zielski A. 2006. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centres in lowland Poland. Trees 20 (3): 383-390.
- Laiho R., Laine J. 1996. The stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. Forest Ecology and Management 93: 2011-2024.
- 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 Fennica 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. Canadian Journal of Forest Research 30: 769-777.
- Muter E. 2004. Dynamika przyrostu na grubość i jej uwarunkowania u wybranych gatunków drzew w Puszczy Niepołomickiej. Praca doktorska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Pach M. 2008. Tempo zarastania spał na jodle oraz niektóre czynniki na nie wpływające. Sylwan 152 (4): 46-57.
- Pach M., Soberka M. 2011. Zastosowanie retrospektywnego dynamicznego wskaźnika konkurencji do oceny oddziaływania drzew sąsiednich na przyrost pierścieniowego pola przekroju jodły (*Abies alba* Mill.). Leśne Prace Badawcze 72 (4): 357-366.
- 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.
- Pellerin S., Lavoie C. 2003. Reconstructing of the recent dynamics of mires using a multitechnique approach. Journal of Ecology 91 (6): 1008-1021.
- 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 Nürnberg Hafens. Forstarchiv 59 (3): 89-96.
- 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.
- Szewczyk J., Szwagrzyk J., Muter E. 2011. Tree growth and disturbance dynamics in old-growth subalpine spruce forests of the Western Carpathians. Canadian Journal of Forest Research 41 (5): 938-944.
- Tardif J., Conciatori F., Bergeron Y. 2001. Comparative analysis of the climatic response of seven boreal tree species from northwestern Quebec, Canada. Tree-Ring Research 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.



- Wertz B. 2012. Dendrochronologiczna ocena wpływu emisji przemysłowych na główne gatunki drzew iglastych z Wyżyny Kieleckiej. *Sylwan* 156 (5): 379-390.
- 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.
- Wilczyński S. 2003. Modele klimat-przyrost radialny sosen z Tatr, Pienin i Ojcowa. *Sylwan* 147 (12): 27-35.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. *Zeszyty Naukowe UR w Krakowie, Rozprawy* 464 (341).
- Wilczyński S., Feliksik E. 2007. Local chronologies and regional diversity of dendrochronological signal of Douglas fir in Poland. *Geochronometria* 26: 69-80.
- Wilczyński S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylwan* 145 (8): 53-61.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły pospolitej oraz modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 30: 66-74.
- Zielski A. 1997. Uwarunkowania środowiskowe przyrostów radialnych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce Północnej na podstawie wielowiekowej chronologii. Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo UMK, Toruń.

## SUMMARY

### Causes of the short-term incremental reactions of Scots pine growing at different sites

In the Białowieża Forest we selected 14 Scots pine stands that grew in different site (forest site types) conditions (tab.). On each site 20 healthy pines from 1<sup>st</sup> Kraft's class were selected. One increment core was taken at a height of 1.3 m above the ground. Tree ring widths were measured, transformed and the site sensitivity chronologies were constructed (fig. 1). Short-term incremental reactions (from year to year) of pines from different sites show high similarity (fig. 1, 2). Meteorological factors were identified that had similar impact on the reactions of pines regardless of soil conditions. It was the early spring temperature and precipitation in June of current year (fig. 3). We also identified meteorological elements, whose impact on trees was modeled by soil moisture conditions. This was the temperature in May, which appeared to have the strongest influence on trees from wetland sites. The trees from dry sites were the most susceptible to the precipitation in February and April (fig. 3). The impact of climate and soil on the growth of pine trees was strongest on dry and wetland sites. Trees growing there showed the highest uniformity of incremental response and ring width chronologies indicated the strongest climate signal. Pines from wetland sites were characterized by high reactivity caused by their high sensitivity to fluctuations of the groundwater level (tab.).