

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

## Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny zwyczajnej na siedliskach suchych oraz bagiennych w trzech regionach Polski\*

Effect of climate on the radial growth of Scots pine growing at dry and boggy sites in three regions in Poland

### ABSTRACT

Wilczyński S. 2020. Wpływ klimatu na przyrost radialny sosny zwyczajnej na siedliskach suchych oraz bagiennych w trzech regionach Polski. Sylwan 164 (11): 896-905. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020100>.

The study examined the sensitivity to air temperature and precipitation of 18 Scots pine stands growing at dry and boggy coniferous forest habitats in Białowieża (BIA), Świętokrzyska (SWI) and Solska (SOL) Primeval Forests. At each plot, 20 healthy and undamaged pine trees were sampled (two cores per tree). The cores were scanned and the CooRecorder & CDendro 7.8 image analysis software was used for measuring tree-ring widths. The standardization of the individual tree-ring series for removing no-climatic variations was employed. For each stand the index chronology was constructed on the basis of individual index series. The grouping of site chronologies was performed by the cluster analysis. The principal components analysis was applied to identify common characteristics of chronologies. Correlation analysis was used in order to identify the climatic elements described by the main components. The first component (PC1) highlighted the variability common to all chronologies and described the average air temperature in February, March and May, and the total precipitation in June and July in the year of tree-ring formation. Regardless of the region and the site habitat, pines increased the radial increment when winter was warm and short, spring was cold and summer was abundant in precipitation. The PC3 distinguished pines growing in BIA. Scots pine increased radial growth when it was cold in June. The PC2 described climatic elements whose influence on the radial growth of Scots pine in both habitats was different. Therefore, the PC2 indicates that the pines from BIA growing at boggy and dry habitats reacted differently to precipitation in February and April. The pines at both these habitats in SOL differed in sensitivity to precipitation in February, May and August, while the trees in SWI only to precipitation in February. The results indicate that differences in climatic conditions between the regions were reflected in the size of the wood formed by the trees. On the other hand, site conditions modify significantly these relations. Therefore, due to the wide geographical range and habitats occupied by Scots pine, the climate-radial increment relationships should be analyzed in detail in any case.

### KEY WORDS

tree-ring width, dendroecology, air temperature, precipitation

---

\*Badania sfinansowano z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie na rok 2020.

## ADDRESSES

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

Katedra Ochrony Ekosystemów Leśnych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

## Wstęp

Sosna zwyczajna, jako jeden z niewielu gatunków drzew, ma bardzo szeroki zasięg występowania i jednocześnie rośnie na siedliskach skrajnych pod względem warunków glebowych i wilgotnościowych. Z tego m.in. powodu stanowiła ona częsty obiekt badań interakcji pomiędzy warunkami klimatycznymi a wielkością przyrostu drewna [Lindholm i in. 1997, 2000; Stravinskiene, Juknys 1998; Wilczyński 2003, 2013; Tuovinen 2005; Cedro, Lamentowicz 2011]. Mimo to wpływ poszczególnych elementów klimatycznych na wielkość przyrostu drewna sosny zwyczajnej rosnącej na skrajnych siedliskach nadal nie jest w pełni poznany, co wynika z faktu, że relacje te są silnie przestrzennie zróżnicowane. Dlatego uważa się, że sosna zwyczajna jest lepszym wskaźnikiem warunków klimatycznych w skali lokalnej niż globalnej [Vaganov, Kachaev 1992; Linderholm, Leine 2004].

Niektórzy badacze wskazują na stosunkowo niską wrażliwość sosny rosnącej na torfowiskach na temperaturę powietrza oraz opady atmosferyczne [Linderholm 2001; Linderholm i in. 2002; Rydin, Jeglum 2006]. Z innych badań wynika natomiast, że sosny na siedlisku boru suchego oraz bagiennego są bardzo wrażliwe na zmieniające się z roku na rok warunki termiczno-pluwalne [Linderholm, Leine 2004; Dauškane i in. 2011; Wilczyński 2013]. Wyjaśnieniem tych pozornie sprzecznych informacji może być fakt, że badania prowadzono w regionach różniących się nieraz znacznie pod względem warunków klimatycznych. Przyczyną osłabienia oraz zakłóceń relacji klimat-przyrost sosen rosnących na torfowiskach są także prowadzone tam melioracje odwadniające [Pretzsch, Köbel 1988; Cedro, Lamentowicz 2011].

Głębokość zwierciadła wody w glebie jest ważnym czynnikiem modelującym wpływ poszczególnych elementów klimatycznych na wzrost drzew [Wilczyński 2013]. Z drugiej jednak strony to klimat wpływa na sezonowe zmiany głębokości zwierciadła wody, głównie poprzez kształtowanie bilansu wodnego gleb związanego z ilością opadów atmosferycznych i ewapotranspiracją regulowaną przez niedosyt wilgotności powietrza, który z kolei kształtowany jest m.in. przez temperaturę powietrza [Mannerkoski 1991; Vaganov, Kachaev 1992]. Zatem wpływy na coroczną zmienność aktywności przyrostowej drzew warunków klimatycznych oraz glebowych są ze sobą ściśle powiązane.

W niniejszej pracy podjęto próbę odpowiedzi na następujące pytania: i/ czy istnieją elementy klimatyczne, których wpływ na odpowiedź przyrostową sosen rosnących na borze suchym i bagiennym jest niezależny od warunków klimatycznych, ii/ wpływ których elementów klimatycznych modelowany jest przez warunki siedliskowe oraz iii/ na które elementy klimatyczne sosny reagują w specyficznym sposób w poszczególnych regionach niezależnie od zajmowanego siedliska. W tym celu dokonano analizy związków pomiędzy temperaturą powietrza oraz opadami atmosferycznymi a wielkością przyrostu radialnego populacji drzewostanowych sosny zwyczajnej na siedliskach boru suchego oraz bagiennego w trzech regionach różniących się pod względem warunków klimatycznych – w Puszczy Białowieskiej, Świętokrzyskiej oraz Solskiej.

## Materiał i metody

Na obszarze Puszczy Białowieskiej (BIA), Świętokrzyskiej (SWI) oraz Solskiej (SOL) wybrano po 3 drzewostany sosnowe w wieku około 100 lat, rosnące na siedliskach boru suchego (poziom

wód gruntowych g7, g6, gleby mineralne) oraz boru bagiennego (g1, g2, gleby torfowe). Łącznie analizowano sosny na 18 stanowiskach. Na każdym z nich z pni 20 zdrowych sosen pobrano na wysokości 1,3 m nad ziemią po 2 wywierty, które następnie zeskanowano i pomierzono szerokość słoju rocznych drewna za pomocą programu CooRecorder ([www.cybis.se](http://www.cybis.se)). Poprawność datowania słoju sprawdzono za pomocą programu komputerowego COFECHA [Holmes 1983]. W celu eliminacji trendu wiekowego oraz uwypuklenia zmienności krótkookresowej, kształtowanej głównie przez czynnik meteorologiczny [Fritts 1976], wartości szerokości słoju transformowano, obliczając w każdym roku indeks przyrostowy  $I_i$ :

$$I_i = x_i \cdot (x_{i-1} + x_i + x_{i+1}) / 3$$

gdzie:

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

W każdym roku wartości indeksów przyrostowych drzew na danym stanowisku uśredniono, tworząc 18 stanowiskowych chronologii indeksowanych. Do poszukiwania podobieństw oraz różnic pomiędzy poszczególnymi chronologiami, opisującymi coroczny rytm przyrostowy sosen na danym stanowisku, zastosowano analizę skupień, wykorzystując metodę grupowania Warda oraz odległość euklidesową, natomiast w celu uwypuklenia wspólnych cech zmienności przyrostów radialnych badanych populacji cząstkowych zastosowano analizę składowych głównych (PCA), w której jako zmiennych użyto stanowiskowych chronologii indeksowanych. Aby zidentyfikować elementy klimatyczne opisywane przez wyodrębnione główne składowe, skorelowano je z wartościami miesięcznymi temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych od września roku poprzedzającego odkładanie słoja do września roku formowania słoja hipotetycznej stacji meteorologicznej powstałej z uśrednienia wartości trzech regionalnych stacji meteorologicznych – w Białowieży, Kielcach oraz Janowie Lubelskim – położonych w centralnych częściach badanych regionów.

W celu weryfikacji wyników korelacji składowych głównych z parametrami klimatycznymi dla każdego typu siedliska utworzono w każdym z trzech regionów średnią chronologię indeksowaną, a następnie skorelowano ją z tymi samymi parametrami klimatycznymi, z którymi wcześniej korelowano główne składowe pochodzące ze stacji regionalnych.

W celu ujednoczenia okresu badawczego dla wszystkich 18 stanowisk wybrano wspólny dla nich okres: od 1931 do 1990 roku. Należy dodać, że prawie wszystkie cytowane w dyskusji badania z zakresu dendroklimatologii sosny zwyczajnej prowadzone były na wieloletnich chronologiach sosny zwyczajnej, które kończyły się z reguły w latach 90. ubiegłego wieku – obejmowały zatem okres analizowany w niniejszej pracy. Dyskutowane wyniki można więc uznać za porównywalne. Do oceny różnic warunków klimatycznych trzech regionów, w których prowadzono badania, wykorzystano analizę skupień serii przeciętnych dla badanego wielolecia wartości średniej temperatury powietrza oraz sum opadów kolejnych miesięcy roku.

## Wyniki

Średnia roczna temperatura powietrza Puszczy Białowieskiej wyniosła 6,6°C, średnia dla półrocza chłodnego –0,4°C, natomiast średnia dla półrocza ciepłego 13,5°C. Dla Puszczy Świętokrzyskiej wartości te wyniosły odpowiednio 7,2, 0,6 i 13,9°C, natomiast dla Puszczy Solskiej 7,5, 0,7 i 14,3°C. Roczna suma opadów na obszarze Puszczy Białowieskiej wyniosła 566 mm, suma opadów w półroczu chłodnym 208 mm, a w półroczu ciepłym 358 mm. W przypadku Puszczy Świętokrzyskiej wartości te wyniosły odpowiednio 659, 257 i 402 mm, natomiast dla Puszczy Solskiej 650, 254 oraz 396 mm. Region Puszczy Białowieskiej, położonej najbardziej na północ, był najchłodniejszy

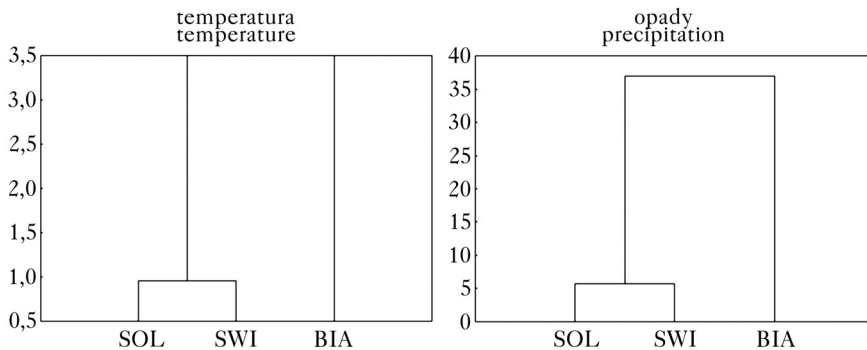
i najuboższy w opady atmosferyczne. Region Puszczy Solskiej był najcieplejszy, a Puszcza Świętokrzyska cechowała się przeciętnie najwyższymi opadami. Różnice wartości rocznych i półrocznych obu elementów klimatycznych pomiędzy regionami korespondowały z różnicami pomiędzy wartościami miesięcznymi, co znajduje potwierdzenie w wynikach analizy skupień. Wynika z niej, że region Puszczy Białowieskiej pod względem warunków termiczno-pluwialnych różni się wyraźnie od klimatu Puszczy Świętokrzyskiej oraz Solskiej (ryc. 1).

Analiza skupień 18 stanowiskowych chronologii indeksowanych pozwoliła wyróżnić dwie grupy. Pierwszą tworzą chronologie sosen z borów suchych, natomiast drugą – chronologie sosen z borów bagiennych (ryc. 2). Wynika stąd, że niezależnie od regionu coroczny rytm przyrostowy sosen rosnących na stanowisku boru suchego różnił się od rytmu przyrostowego sosen z borów bagiennych.

W trakcie analizy głównych składowych, w oparciu o wykres osypiska, wyodrębnione zostały trzy pierwsze składowe główne, które dalej analizowano. Wartości ich ładunków wskazują, że wszystkie stanowiskowe chronologie indeksowane dodatnio korelują ( $\alpha < 0,05$ ) z PC1, która wyjaśnia 47% ich wariancji. Z kolei druga składowa PC2 dzieli chronologie na dwie grupy, wyjaśniając 14% zmienności chronologii (ryc. 3). Pierwszą grupę tworzą chronologie sosen z borów suchych, natomiast drugą sosny z borów bagiennych. Podział ten ma charakter typologiczny i jest analogiczny do analizy skupień (ryc. 2). PC3 dzieli chronologie sosen również na dwie regionalne grupy. W skład pierwszej wchodzi chronologie sosen z terenu Puszczy Białowieskiej, natomiast drugą grupę tworzą chronologie sosen z Puszczy Świętokrzyskiej oraz Solskiej (ryc. 3).

Można przyjąć, że pierwsza składowa, integrująca chronologie, opisuje elementy klimatyczne, które podobnie wpływały na coroczną zmienność wielkości przyrostu radialnego sosen, niezależnie od zajmowanego przez nie siedliska oraz regionu. Druga składowa opisuje elementy klimatyczne, których wpływ na przyrost sosen modyfikowany był przez warunki siedliskowe zajmowanego przez nie stanowiska, natomiast trzecia składowa opisuje elementy klimatyczne, których wpływ na przyrost sosen był charakterystyczny dla poszczególnych regionów.

Okazało się, że PC1 istotnie ( $\alpha < 0,05$ ) dodatnio korelowała ze średnią temperaturą lutego i marca oraz z sumą opadów czerwca i lipca, a także ujemnie ze średnią temperaturą maja roku formowania słoja, PC3 dodatnio korelowała ze średnią temperaturą czerwca, natomiast PC2 nie



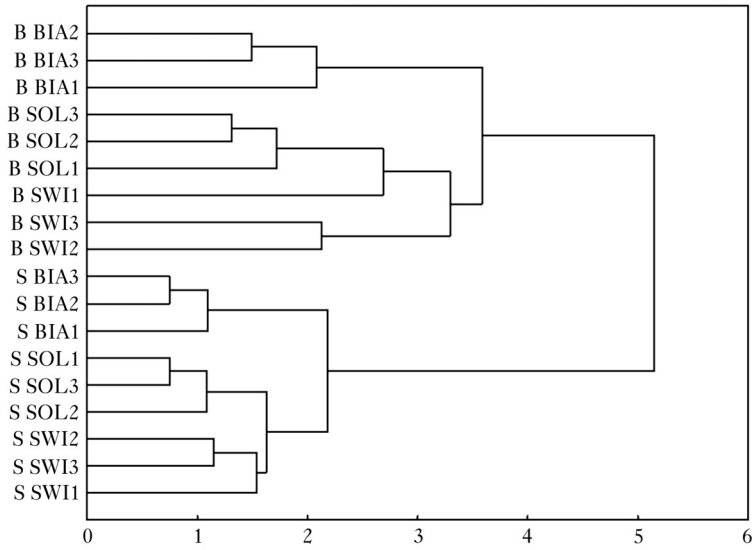
Ryc. 1.

Grupowanie analizowanych regionów na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza oraz miesięcznych sum opadów od stycznia do grudnia

Clustering of analysed regions based on mean monthly air temperature or monthly total precipitation for the period January – December

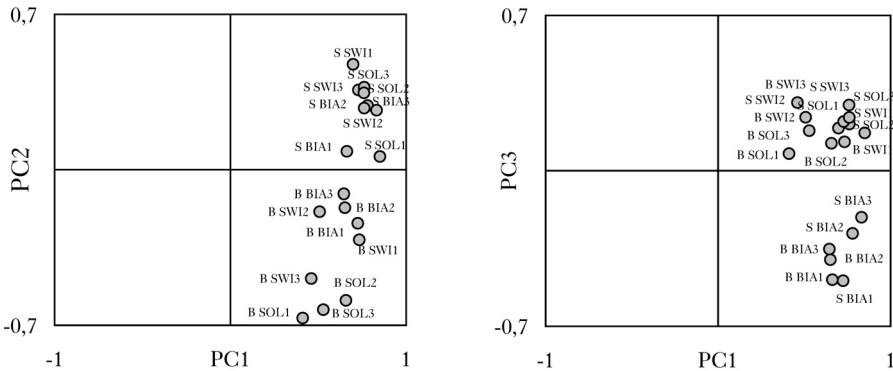
BIA – Puszcza Białowieska, SWI – Puszcza Świętokrzyska, SOL – Puszcza Solska

BIA – Białowieska Primeval Forest, SWI – Świętokrzyska Primeval Forest, SOL – Solska Primeval Forest



Ryc. 2.

Grupowanie stanowiskowych (B – bór bagienny, S – bór suchy) chronologii indeksowanych  
Clustering of site (B – boggy coniferous, S – dry coniferous) index chronologies

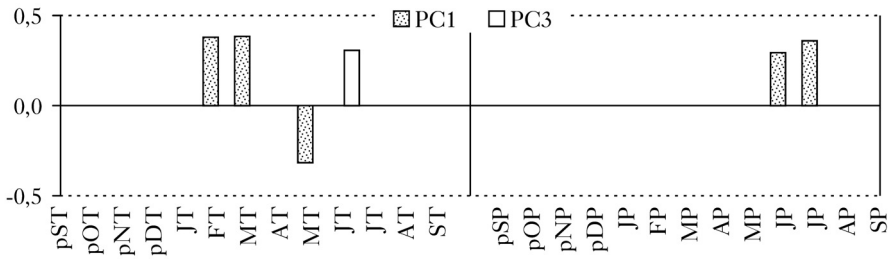


Ryc. 3.

Wartości ładunków trzech pierwszych składowych głównych 18 stanowiskowych chronologii indeksowanych  
Loadings of the first three principal components of 18 site index chronologies

korelowała istotnie z żadnym parametrem klimatycznym (ryc. 4). Wynika stąd, że w poszczególnych regionach wrażliwość sosen na obu typach siedlisk na elementy klimatyczne, opisywane przez drugą składową, musiała znacznie się różnić. Wskazywało na to już wcześniej silne rozproszenie chronologii względem ładunków PC2 (ryc. 3).

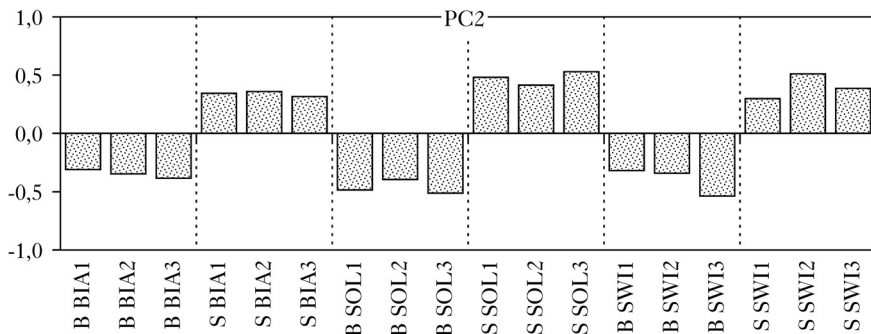
W celu identyfikacji elementów klimatycznych opisywanych przez PC2 dokonano ponownej analizy składowych głównych stanowiskowych chronologii indeksowanych oddzielnie dla trzech regionów, wykorzystując dane klimatyczne regionalnych stacji meteorologicznych. Stwierdzono, że w każdym regionie chronologie stanowiskowe sosen na borach suchych wykazują istotną ( $\alpha < 0,05$ ) dodatnią korelację z PC2, natomiast chronologie sosen z siedlisk bagiennych korelację ujemną (ryc. 5). W przypadku Puszczy Białowieskiej PC2 wyodrębniona w trakcie analizy składowej sześciu chronologii stanowiskowych istotnie ( $\alpha < 0,05$ ) korelowała z sumą opadów lutego



Ryc. 4.

Istotne (przy 95-procentowym poziomie ufności) wartości współczynników korelacji PC1, PC2 i PC3 oraz średnich wartości miesięcznych temperatury (T) i opadów (P) od poprzedniego (pS) do bieżącego (S) września

Significant (at the 95% level) coefficients of correlation between PC1, PC2 and PC3 and monthly temperature (T) or precipitation (P) from previous (pS) to current (S) September



Ryc. 5.

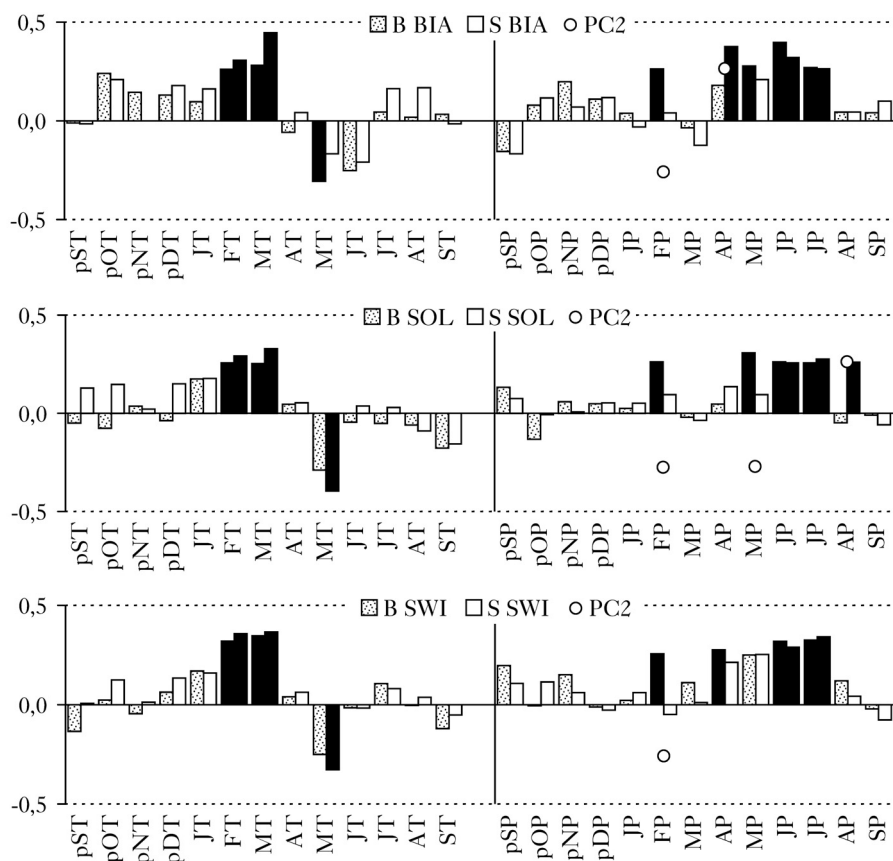
Ładunki PC2 i stanowiskowych chronologii indeksowanych sosn z siedlisk suchych (S) oraz bagiennych (B) Loadings of PC2 and site indexed chronologies of pines from dry (S) and boggy (B) sites

i kwietnia, w przypadku Puszczy Solskiej z sumą opadów lutego, maja i sierpnia, natomiast w przypadku Puszczy Świętokrzyskiej jedynie z sumą opadów lutego (ryc. 6). Wynika stąd, że PC2 w każdym regionie reprezentuje inny zestaw opadowych parametrów klimatycznych.

Wyniki korelacji średnich chronologii obu typów siedlisk wykazały, w każdym regionie wielkość przyrostu radialnego silnie i najczęściej istotnie ( $\alpha < 0,05$ ) korelowała ze średnią temperaturą lutego, marca i maja oraz z sumą opadów czerwca i lipca (ryc. 6), analogicznie jak w przypadku PC1 (ryc. 4). Ponadto chronologie sosn z Puszczy Białowieskiej, w odróżnieniu od chronologii sosn z dwu pozostałych regionów, silnie ujemnie korelowały z temperaturą czerwca (ryc. 6), podobnie jak PC3 (ryc. 4). Natomiast na obszarze Puszczy Białowieskiej sosny na borach suchych oraz bagiennych różniły się w sile reakcji przyrostowych na opady lutego i kwietnia, na terenie Puszczy Solskiej – lutego, maja i sierpnia, natomiast w Puszczy Świętokrzyskiej sosny z obu siedlisk odmiennie reagowały jedynie na opady lutego. Wyniki te są zatem analogiczne jak w przypadku PC2 (ryc. 6).

## Dyskusja

Sosna zwyczajna na siedliskach boru suchego oraz bagiennego wykształca zwykle stosunkowo wąskie słoje, lecz jej wrażliwość na zmieniające z roku na rok warunki klimatyczne, wyrażona za pomocą średniej czułości [Fritts 1976], jest większa niż na siedliskach dla niej optymalnych



Ryc. 6.

Współczynniki korelacji PC2 (białe punkty) i średniej chronologii sosen z borów suchych (S) i bagiennych (B) (słupki) oraz średniej temperatury (T) i sumy opadów (P) od poprzedniego (pS) do bieżącego (S) września  
 Correlation coefficients of PC2 (white dots) and mean chronologies of pines at dry (S) and boggy (B) sites  
 for monthly temperature (T) and precipitation (P) from previous (pS) to current (S) September  
 wartości istotne ( $\alpha < 0,05$ ) oznaczono na czarno; significant values ( $\alpha < 0,05$ ) indicated with black

[Wilczyński 2013]. Ponadto drzewa rosnące w skrajnych warunkach siedliskowych często wykształcają bardzo wąskie stoje lub wcale ich nie odkładają, co świadczy o ich wysokiej wrażliwości na presję przede wszystkim niekorzystnych warunków pogodowych [Pilcher i in. 1995; Linderholm i in. 2002].

Czynnikiem powodującym, że w każdym z trzech badanych regionów sosny rosnące na obu typach siedlisk redukowały przyrost radialny, była głównie niska temperatura powietrza w lutym lub marcu albo w obu miesiącach jednocześnie. Dodatkowo na proces ten wpływały wysoka temperatura w maju oraz niskie opady w czerwcu i lipcu. Wielu badaczy już wcześniej wskazywało na negatywny wpływ niskiej temperatury powietrza panującej pod koniec zimy na przyrost drewna sosny zwyczajnej rosnącej na torfowiskach w Szwecji [Linderholm 2001], na Łotwie [Elferts 2007; Zunde i in. 2008], Litwie [Vitas 2004; Dauškane i in. 2011] i w Estonii [Läänelaid, Eckstein 2003; Hordo i in. 2009; Pärn 2009], a także w Polsce [Cedro 2001; Cedro, Lamentowicz 2011; Wilczyński 2013]. Podobne zjawisko obserwowano także na pozostałych siedliskach na nizinach, wyżynach oraz w górach [Wilczyński 2003, 2010, 2013; Muter 2004], co tłumaczono

faktem, że jeśli luty, jako jeden z najzimniejszych miesięcy roku, jest ciepły, to uszkodzenia korzeni, pędów i igieł są mniejsze, przez co sosna wykazuje większy potencjał przyrostowy w nadchodzącym okresie wegetacyjnym [Havranek, Tranquillini 1995]. Dlaczego jednak nie dotyczy to także stycznia? Ponadto sosna może prowadzić fotosyntezę w ciepłe zimowe dni, co czyni ją bardziej wrażliwą na uszkodzenia spowodowane mrozem oraz suszą fizjologiczną. Należy przypuszczać, że istotna rola temperatury powietrza w lutym może wynikać z faktu, że od lat 70. XX wieku średnia dla tego miesiąca coraz częściej osiąga stosunkowo wysokie wartości dodatnie [Wilczyński 2020], co może aktywizować już w lutym procesy fizjologiczne stymulujące aktywność kambium waskularnego drzew. Podobną ograniczającą przyrost rolę odgrywała także niska temperatura powietrza panująca w marcu. Potwierdzeniem powyższych sugestii może być fakt, że w latach z mroźną i długą zimą pierwsze podziały kambium u sosny obserwowano w połowie maja [Ermich 1959; Bogaciński i in. 1988], natomiast w latach z ciepłą i krótką zimą już w połowie marca [Oberhuber i in. 2014]. Wysoka temperatura powietrza na początku okresu wegetacji stymuluje pąki i igły do produkcji auksyn, co sprzyja szybszej aktywizacji kambium waskularnego [Rötzer i in. 2004; Gricar i in. 2006; Rossi i in. 2006]. Temperaturę powietrza pod koniec zimy można zatem za czynnik o charakterze ponadregionalnym i ponadsiedliskowym, wpływający na wielkość tworzonych przez niemal wszystkie gatunki iglaste, w tym sosnę zwyczajną, słojuń drewna [Wilczyński 2010].

Maj był kolejnym miesiącem, w którym tym razem wysoka temperatura powietrza ujemnie wpływała na wielkość słojuń odkładanych przez sosny na obu typach siedlisk, podobnie jak w przypadku sosen na torfowiskach na Pomorzu [Cedro, Lamentowicz 2011]. Uzyskane wyniki wskazują na dodatni wpływ na przyrost sosen także wysokich opadów atmosferycznych występujących na wiosnę i głównie w pierwszej połowie lata, niezależnie od zajmowanego przez nie siedliska i regionu. Kambium u sosny w maju zwykle dzieli się intensywnie, zatem niska temperatura powietrza ogranicza nadmierną transpirację i wraz z odpowiednią ilością opadów atmosferycznych zapewnia dodatni bilans wodny w drzewach. Dzięki obfitym opadom w czerwcu i lipcu może być kontynuowana produkcja komórek drewna wczesnego [Oberhuber i in. 2014], które mają istotny udział w końcowej szerokości słoja. Z kolei odmienne wyniki prezentują Linderholm i Leine [2004], którzy badając sosny na torfowiskach w Szwecji, stwierdzili, że na wielkość przyrostów drewna negatywny wpływ miały wysokie opady występujące późną wiosną. Podobnie Dauškane i in. [2011] wykazali ujemny wpływ na przyrost sosny na torfowiskach na Litwie nadmiernych opadów występujących latem. Rydin i Jeglum [2006] tłumaczą to tym, że w chłodnych strefach klimatycznych niska temperatura i wysokie opady w okresie wegetacyjnym ograniczają tempo ewapotranspiracji i zakłócają odpowiedni dla wzrostu drzew bilans wodny. Należy podkreślić, że w żadnym z badanych w pracy regionów temperatura powietrza podczas lata nie stanowiła czynnika ograniczającego przyrost sosen. Jej zmiany z roku na rok nie znalazły odbicia w zmienności szerokości słojuń drewna. Natomiast Linderholm i Leine [2004] zauważyli, że sosna zwyczajna na torfowiskach w Szwecji negatywnie reagowała na niską temperaturę powietrza wczesnym latem. Podobnie Dauškane i in. [2011] stwierdzili, że u sosen na torfowiskach na Litwie nastąpił wzrost przyrostu drewna, gdy okres od maja do września był ciepły i suchy. Linderholm [2001] oraz Linderholm i in. [2002] uważają, że w klimacie Szwecji temperatura powietrza w sezonie wegetacyjnym ma większe znaczenie dla wzrostu sosen na torfowiskach niż opady, podobnie jak w przypadku sosny rosnącej na suchych siedliskach na Łotwie [Elferts 2007]. Temperatura powietrza w okresie lata w chłodnych strefach wydaje się być głównym czynnikiem ograniczającym wzrost sosny, podobnie jak w wyższych położeniach górskich [Wilczyński 2003].



Oprócz podobnych reakcji przyrostowych na omówione powyżej elementy klimatyczne u wszystkich badanych w pracy populacji sosny stwierdzono również różnice w tych reakcjach w zależności od zajmowanego przez nie siedliska i regionu. Sosny z Puszczy Białowieskiej, w odróżnieniu od dwu pozostałych regionów, redukowały przyrost drewna, gdy w czerwcu panowała wysoka temperatura. Przyczyną mogły być wyraźnie mniejsze opady występujące w miesiącu, w którym kontynuowana jest produkcja komórek drewna wczesnego. Z kolei jedynie na obszarze Puszczy Solskiej sosny na borach suchych cierpiały z powodu niedoboru opadów w sierpniu, co odróżniało je od sosen z borów bagiennych. Obniżające się lustro wody gruntowej pod koniec lata ograniczało zapewne dalszy wzrost sosen na siedliskach cechujących się i tak bardzo niskim jej poziomem [Holstener-Jørgensen 1967]. Rosnące tam na borze bagiennym sosny silniej reagowały także na niedobory opadów w maju. Okazuje się, że w każdym z badanych regionów obfite opady występujące w lutym (zwykle w postaci śniegu) jedynie na torfowiskach zapewniały sosnom niezbędną ilość wody w glebie na starcie w kolejny sezonu wegetacyjny.

## Wnioski

- ✦ Sosna zwyczajna, bez względu na badany region, na siedliskach suchych oraz bagiennych zwiększała przyrost radialny w roku charakteryzującym się ciepłą i krótką zimą, chłodną wiosną oraz obfitującą w opady pierwszą połową lata. Te elementy klimatyczne można określić mianem czynnika regulującego wielkość przyrostu radialnego o charakterze ponadregionalnym i ponadsiedliskowym.
- ✦ Sosny na obu typach siedlisk na terenie Puszczy Białowieskiej, w przeciwieństwie do sosen z dwu pozostałych regionów, wykazywały odmienną wrażliwość na warunki termiczne panujące w czerwcu.
- ✦ Warunki glebowe modyfikowały odpowiedź przyrostową sosen na niektóre elementy klimatyczne. W każdym z trzech regionów sosny na siedlisku boru suchego odmiennie reagowały na warunki pluwalne lutego niż sosny, które rosły na torfowiskach. Ponadto na terenie Puszczy Białowieskiej sosny na obu typach siedlisk odmiennie reagowały na opady występujące w kwietniu, a na terenie Puszczy Solskiej na opady maja i sierpnia roku formowania słoja.
- ✦ Uzyskane w pracy oraz cytowane wyniki badań dendroklimatycznych wskazują na duże przestrzenne oraz siedliskowe zróżnicowanie relacji klimat-przyrost sosny zwyczajnej. Zatem w jej przypadku konieczne są zawsze szczegółowe analizy dotyczące tych relacji.

## Literatura

- Bogaciński B., Zajęczkowski S., Wodzicki T. 1988. Zmienność inicjacji i kończenia sezonowej aktywności kambium w populacjach drzewostanowych *Pinus sylvestris* L. Sylwan 132 (1): 17-26.
- Cedro A. 2001. Dependence of radial growth of *Pinus sylvestris* L. from western Pomerania on the rainfall and temperature conditions. Geochronometria 20: 69-74.
- Cedro A., 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.
- Dauškane I., Brūmelis G., Elferts D. 2011. Effect of climate on extreme radial growth of Scots pine growing on bogs in Latvia. Estonian Journal of Ecology 60 (3): 236-248. DOI: <https://doi.org/10.3176/eco.2011.3.06>.
- Elferts D. 2007. Scots pine pointer-years in northwestern Latvia and their relationship with climatic factors. Acta Universitatis Latviensis 723: 163-170.
- Ermich K. 1959. Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u *Pinus silvestris* L., i *Quercus robur* L. Botanicorum Poloniae Acta Societatis 28 (1): 15-63.
- Fritts H. C. 1976. Tree Rings and Climate. Acad. Press, London.
- Gricar J., Zupancic M., Cufar K., Koch G., Schmitt U. W. E., Oven P. 2006. Effect of local heating and cooling on cambial activity and cell differentiation in the stem of Norway spruce (*Picea abies*). Annals of Botany 97 (6): 943-951.
- Havranek M., Tranquillini W. 1995. Physiological processes during their winter dormancy and their ecological significance. W: Smith W. K., Hinkley T. M. [red.]. Ecophysiology of Coniferous Forest, Academic Press, New York. 95-124.

- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Holstener-Jørgensen H. 1967. Influences of forest management and drainage on groundwater fluctuations. W: Sopper W. E., Lull H. W. [red.]. *Forest hydrology*. Pergamon Press, Oxford. 325-480.
- Hordo M., Metslaid S., Kiviste A. 2009. Response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) radial growth to climate factors in Estonia. *Baltic Forestry* 15 (2): 195-205.
- Läänelaid A., Eckstein D. 2003. Development of a tree-ring chronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for Estonia as a dating tool and climatic proxy. *Baltic Forestry* 9 (2): 76-82.
- Linderholm H. W. 2001. Climatic influence on Scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian Mountains, interpreted from tree-ring widths. *Silva Fennica* 35: 415-424.
- Linderholm H. W., Leine M. 2004. An assessment of twentieth century tree-cover changes on a southern Swedish peatland combining dendrochronology and areal photograph analysis. *Wetlands* 24: 357-363.
- Linderholm H. W., Moberg A., Grudd H. 2002. Peatland pine as a climate indicator? A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden. *Canadian Journal Forest Research* 32: 1400-1410.
- 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.
- Lindholm M., Meriläinen J., Timonen M., Vanninen P., Eronen M. 1997. Effects of climate on the growth of Scots pine in the Saimaa Lake District, south-eastern Finland, in the southern part of the boreal forest belt. *Dendrochronologia* 15: 151-168.
- Mannerkoski H. 1991. Relation between tree roots and soil aeration on drained peatlands. W: Jeglum J. K., Overend R. P. [red.]. *Peat and Peatlands – Diversification and Innovation*. Canadian Society for Peat and Peatlands: 109-114.
- Muter E. 2004. Dynamika przyrostu na grubość i jej uwarunkowania u wybranych gatunków drzew w Puszczy Niepołomickiej. Maszynopis pracy doktorskiej. Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Oberhuber W., Gruber A., Kofler W., Swidrak I. 2014. Radial stem growth in response to microclimate and soil moisture in a drought-prone mixed coniferous forest at an inner Alpine site. *European Journal Forest Research* 133: 467-479. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0777-z>.
- Pärn H. 2009. Temporal history of relationships between Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and mean monthly temperatures. *Baltic Forestry* 15 (1): 48-57.
- Pilcher J. R., Baillie M. G. L., Brown D. M., McCormac F. G., MacSweeney P. B., McLawrence A. S. 1995. Dendrochronology of subfossil pine in the north of Ireland. *Journal of Ecology* 83 (4): 665-671. DOI: <https://doi.org/10.2307/2261634>.
- Pretzsch H., Köbel M. 1988. Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf das Wuchsverhalten der Kiefernbestände im Gebiet des Nürnberg Hafens. *Forstarchiv* 59 (3): 89-96.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T. 2006. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the alpine timberline. *IAWA Journal*. 27 (4): 383-394.
- Rötzer T., Grote R., Pretzsch H. 2004. The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal Biometeorology* 48: 109-118.
- Rydin H., Jeglum J. 2006. *The Biology of Peatlands*. Oxford University Press, Oxford.
- Stravinskiene V., Juknys R. 1998. The climatic signal in radial growth variations of *Pinus sylvestris* L. trees growing in raised bog habitat. *Proceeding of the International Conference Dendrochronology and Environmental Trends*. Kaunas, Lithuania.
- 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.
- Vaganov E. A., Kachaev A. V. 1992. Dendroclimatic analysis of pine growth in forest-bog phytocenoses of Toms province. *Lesovedenie* 6: 3-10.
- Vitas A. 2004. Dendroclimatological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania. *Baltic Forestry* 10 (1): 65-71.
- Wilczyński S. 2003. Modele klimat-przyrost radialny sosen z Tatr, Pienin i Ojcowa. *Sylwan* 147 (12): 27-35. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2003243>.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendrochronologicznych. *Zeszyty Naukowe UR w Krakowie* 464 (341).
- Wilczyński S. 2013. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylwan* 157 (9): 662-670. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2013006>.
- Wilczyński S. 2020. Zapis zmian zachodzących w środowisku przez sosnę zwyczajną oraz sosnę Banksa. *Sylwan* 164 (7): 583-593. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020040>.
- Zunde M., Briede A., Elferts D. 2008. The influence of climatic factors on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Western Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. 62 (3): 120-128. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10046-008-0015-0>.