

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, RAFAŁ PODLASKI

Klimatyczny model aktywności kambium waskularnego wierzby białej (*Salix alba* L.) ze stanowiska w Świętokrzyskim Parku Narodowym

A climatic model of cambium vascular activity for white willow (*Salix alba* L.) from the Świętokrzyski National Park

ABSTRACT

The paper provides characterisation of meteorological elements that essentially influenced tree-ring width of white willow growing in the riparian community in the Świętokrzyski National Park. Winter frosts, as well as warm, dry autumn, spring and early summer exerted positive effect on the white willow vascular cambium activity in the oncoming growing season. However the annual variation in tree-ring width depended, to the greatest degree, on air temperature in May-June and precipitation in April-July.

KEY WORDS

Salix alba, dendroclimatology, Świętokrzyski National Park, Poland

Wstęp

Badania dendroklimatologiczne umożliwiają scharakteryzowanie zależności występujących na przykład pomiędzy warunkami meteorologicznymi a szerokością słoików drewna. Pozwalają one przy tym określić wpływ poszczególnych elementów meteorologicznych na przyrost drzew na przestrzeni wielu lat. Mając na uwadze fakt, że szerokość słoików jest miarą aktywności kambium drzew, a więc także ich kondycji, możemy uzyskać informacje o wymaganiach klimatycznych drzew różnych gatunków na przestrzeni niemal całego ich życia.

Obiektem naszych badań była wierzba biała. Jest to gatunek pionierski i zarazem cenna domieszka biocenotyczna. Znajduje ona coraz szersze zastosowanie w gospodarce zadrzewieniowej i na plantacjach gatunków szybko rosnących [Nilson, Eckersten 1983; Figaj 1990; Kowalik 1990]. W naszej florze wierzba biała występuje najczęściej w zbiorowiskach łągowych i jest gatunkiem o słabej ekspansywności [Zarzycki 1984; Faliński 1990; Matuszkiewicz 2002]. Preferuje pełne oświetlenie, chociaż znosi również okresowe ocienienie [Nilsson, Eckersten 1983]. W Polsce występuje na przeważającej części niżu oraz na pogórzach [Zarzycki 1984]. Wymagania ekologiczne wierzby białej najlepiej zaspokajają położenia przyrzeczne, periodycznie i krótkotrwale zalewane [Faliński 1990]. Sprzyjają jej umiarkowanie ciepłe warunki klimatyczne [Zarzycki 1984; Evans i in. 1995].

Celem pracy było poszukiwanie przyczyn determinujących zmienność szerokości słoików drewna u wierzby białej w obszarze elementów meteorologicznych. Obiektem badań były okazy, rosnące w zbiorowisku łągowym na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego.

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej
Wydział Leśny AR
al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków
rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

RAFAŁ PODLASKI

Pracownia Naukowo-Badawcza
Świętokrzyski Park Narodowy
ul. Suchedniowska 4
26-010 Bodzentyn
r_podlaski@pro.onet.pl

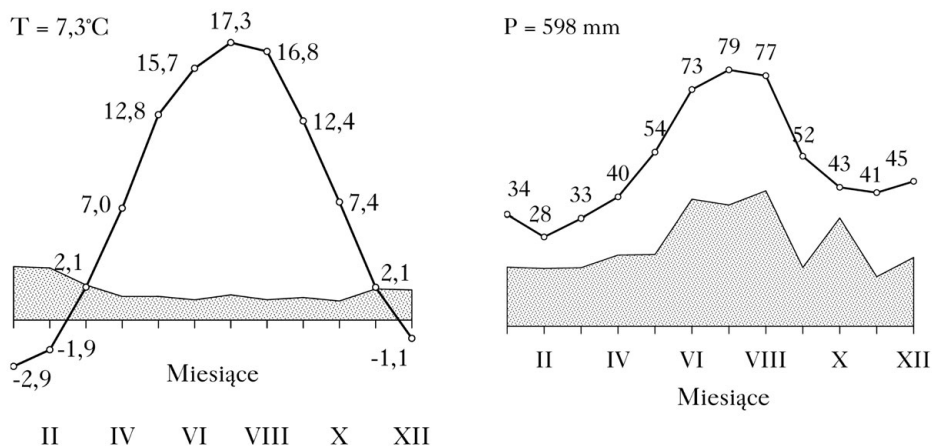
W Polsce wymagania klimatyczne wierzby białej nie były do tej pory badane metodami dendroklimatologicznymi. Uzyskane wyniki pozwolą zatem na skonfrontowanie i uzupełnienie dotychczasowej wiedzy o wrażliwości tego gatunku na czynnik pogodowy.

Teren badań i metodyka

Badane wierzby rosły w oddziale 8A położonym na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego, na terrasie przylegającej bezpośrednio do koryta rzeki Psarki. Teren ten na ogół był zalewany dwa razy w ciągu roku. Drzewa rosły na madzie brunatnej, pylasto-piaszczystej, w zbiorowisku łągu jesionowo-olszowego *Fraxino-Alnetum*.

Wartości elementów meteorologicznych użytych do analiz i charakterystyki klimatycznej terenu badań pochodziły ze stacji meteorologicznej IMiGW w Kielcach. Wynika z nich, że obszar ten wykazuje pod względem klimatycznym wiele cech „surowości”. W uwzględnionym w badaniach okresie 1971-1999 przeciętna długość okresu wegetacji wyniosła tylko 185 dni. Średnia roczna temperatura powietrza miała wartość 7,3°C, najniższą średnią temperaturę miał styczeń (-2,9°C), najwyższą lipiec (17,3°C) (ryc. 1). Średnia roczna suma opadów atmosferycznych wyniosła prawie 600 mm. Największe miesięczne sumy opadów przypadają na lato (czerwiec-sierpień), najmniejsze na zimę (styczeń-marzec) (ryc. 1). Wartości miesięczne temperatury powietrza charakteryzowały się największą zmiennością w okresie zimowym, natomiast opadów latem (ryc. 1).

Z pni pięciu wierzb, w wieku ok. 40 lat, pobrano na wysokości 1,3 m nad gruntem po dwa wywierty. Następnie na poszczególnych wywiertach pomierzono szerokości słoików. Dalsze analizy prowadzono korzystając z programów komputerowych wchodzących w skład pakietu DPL (Dendrochronology Program Library) [Holmes 1995a], stosowanych standardowo w analizach dendroklimatologicznych.



Ryc. 1.

Diagramy klimatyczne dla stacji meteorologicznej IMGW w Kielcach dla okresu 1971-1999. Średnia miesięczna temperatura powietrza oraz średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych (linie); odchylenie standardowe wartości miesięcznych (powierzchnia kropkowana); T – średnia roczna temperatura powietrza; P – średnia roczna suma opadów atmosferycznych

Climatic diagrams for the IMGW meteorological station in Kielce in the period 1971-1999. Mean monthly air temperature and mean monthly atmospheric precipitation sums (lines); standard deviation of monthly values (dotted area); T – Mean annual air temperature; P – mean annual atmospheric precipitation sum

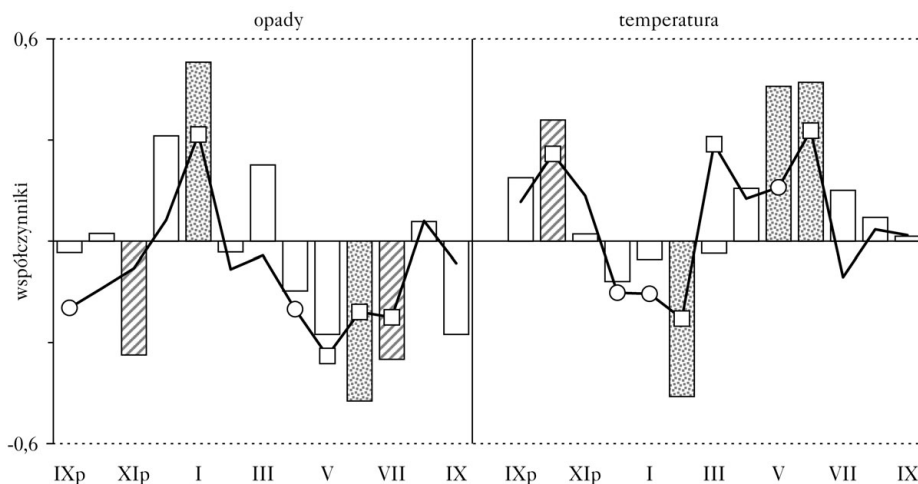
Poprawność datowania słoików zweryfikowano za pomocą programu COFECHA [Holmes 1986]. Następnie sekwencje szerokości słoików poszczególnych drzew (dendroskale) indeksowano za pomocą programu ARSTAN [Cook, Holmes 1986] w celu eliminacji trendu oraz długookresowych fluktuacji. Na ich podstawie obliczono chronologię średnich indeksów przyrostowych badanych drzew dla okresu 1971-1999.

Związki między miesięcznymi wartościami temperatury powietrza i opadów atmosferycznych a względnymi szerokościami słoików drewna oszacowano wykorzystując metodę regresji wielorakiej – response function [Fritts i in. 1971; Fritts 1976]. Do tej analizy zastosowano program komputerowy RESPO [Lough 1983 nie publikowane; Holmes 1995b]. Uwzględniono w niej 26 zmiennych niezależnych, którymi były miesięczne wartości temperatury powietrza oraz sum opadów atmosferycznych — od września roku poprzedzającego rok, w którym tworzony był słoik, do września roku, w którym dany słoik był odkładany. Zmiennymi zależnymi były indeksy przyrostowe z lat 1971-1999 ($n=49$).

W celu oceny, które ze zmiennych niezależnych miały największy udział w zmienności wielkości przyrostów radialnych analizowano współczynniki regresji – response function [Guiot i in. 1982]. Ich wielkości pozwalają na porównanie wkładu poszczególnych zmiennych niezależnych w przewidywanie wielkości przyrostu radialnego. Wyniki tych analiz zweryfikowano za pomocą metody zbieżności [Eckstein, Bauch 1969] chronologii z krzywymi różnych wskaźników klimatycznych. Ponadto analizowano zmiany wielkości słoików drewna między rokiem 1978 a 1986, na tle warunków klimatycznych panujących w tych latach.

Wyniki badań

Wyniki analizy response function wskazują, że istnieje wiele istotnych statystycznie predyktorów wielkości słoików wierzb (ryc. 2). Współczynniki regresji poszczególnych zmiennych kli-



Ryc. 2.

Wyniki analizy regresji wielorakiej oraz korelacji szerokości słoików wierzb białej. Współczynniki regresji – response function (linia) oraz współczynniki korelacji liniowej (słupki) obliczono dla poszczególnych zmiennych od września poprzedniego roku (IXp) do września bieżącego roku (IX). Wartości istotne dla: $0,05 \geq p > 0,01$ – białe kółka, słupki kreskowane, dla $p \leq 0,01$ – białe kwadraty, czarne słupki

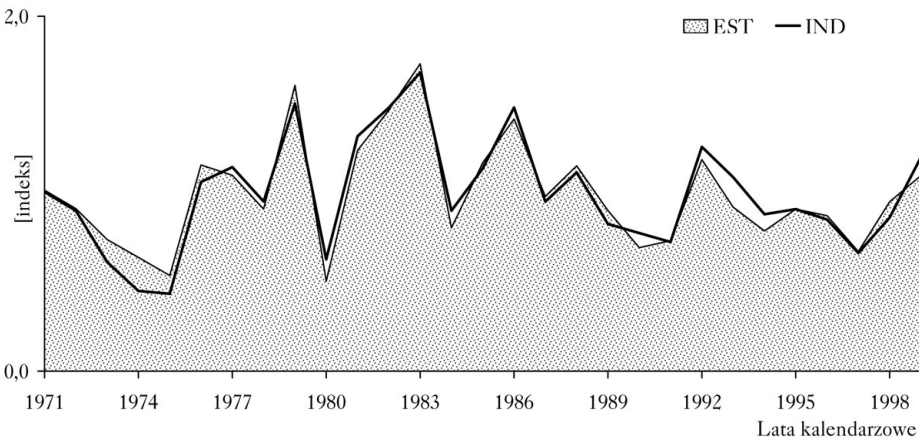
Results of multiple regression and correlation analysis for white willow tree-rings. Regression coefficients – response function (line) and linear correlation coefficients (columns) were calculated for different variables from September of the previous year (IXp) to September of the current year (IX). Significant values for $0,05 \geq p > 0,01$ – white circles, slashed columns for $p \leq 0,01$ – white squares, black column

matycznych przyjmują zarówno wartości dodatnie jak i ujemne. Wpływ na wielkość przyrostów radialnych wierzb miały opady atmosferyczne oraz temperatura powietrza, panujące przed, jak i w okresie wegetacji. Istotny, ujemny wpływ na wielkość słoików badanych wierzb miała wysoka temperatura powietrza miesięcy zimowych, a szczególnie lutego, natomiast dodatni wpływ miała wysoka temperatura poprzedniej jesieni (październik) oraz wiosny danego roku (marzec-czerwiec). Ponadto badane wierzby tworzyły szerokie słoje w latach: z wysokimi opadami w styczniu i małymi opadami w okresie wegetacji (kwiecień-lipiec) oraz w następnym roku po suchej i ciepłej jesieni (wrzesień-listopad) (ryc. 2).

Silny wpływ opadów i temperatury na zmienność szerokości słoików potwierdza bardzo wysoka wartość współczynnika korelacji wielorakiej ($R=0,9622$), współczynnika determinacji regresji ($R^2=92,6\%$) oraz wartość statystyki $F=9,97$, $p=0,00018$. Fakt ten znalazł swoje odzwierciedlenie w niemal identycznym przebiegu chronologii indeksów przyrostowych badanych drzew oraz chronologii indeksów przyrostowych estymowanych na podstawie parametrów klimatycznych z równania regresji (ryc. 3). Współczynnik korelacji obu ciągów danych równy był $0,9621$ ($p<0,001$), a współczynnik zbieżności obu chronologii wyniósł 93% ($p<0,001$).

Porównanie przebiegu standaryzowanej chronologii szerokości słoików wierzb z krzywymi wartości różnych parametrów klimatycznych wykazało, że istotną statystycznie zbieżność uzyskała ona jedynie z krzywą średniej temperatury powietrza okresu maj-czerwiec ($GL=79\%$, $p<0,001$; $r=0,58$, $p<0,001$) oraz istotną rozbieżność z krzywą sum opadów okresu kwiecień-lipiec ($GL=28\%$, $p<0,001$; $r=-0,58$, $p<0,001$) (ryc. 4).

Analiza zmian przeciętnej wielkości słoików badanych wierzb w latach 1978-1986 na tle temperatury powietrza i opadów atmosferycznych poszczególnych miesięcy wykazała, że na wzrost szerokości słoików mogła mieć wpływ mroźna zima oraz ciepła i sucha pierwsza połowa okresu wegetacyjnego (6 przypadków). Z kolei w dwóch przypadkach o tworzeniu przez drzewa wąskich słoików mogła decydować ciepła zima oraz zimna i mokra wiosna (ryc. 5, tab.).

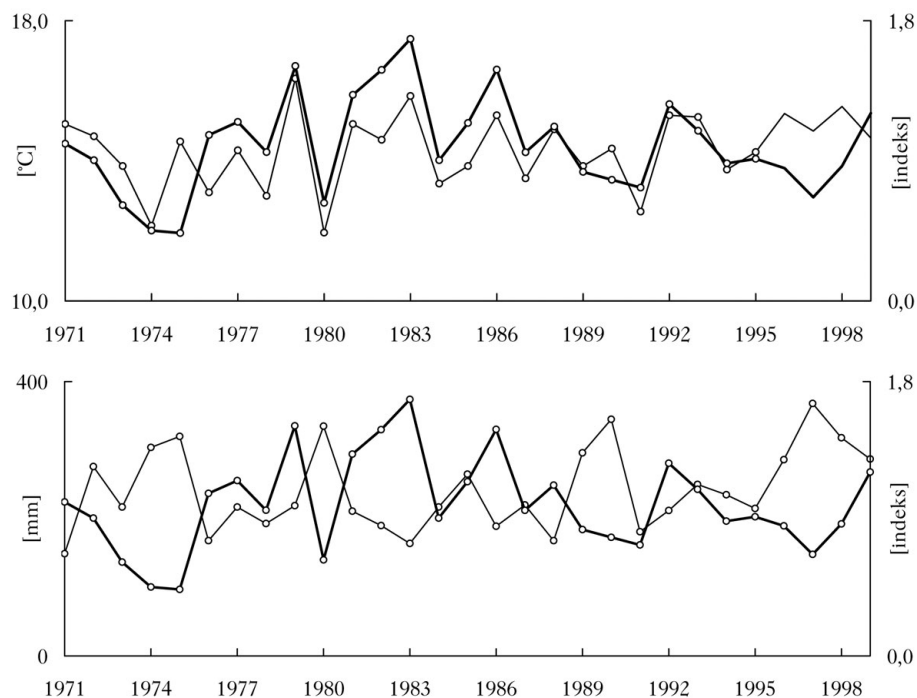


Ryc. 3.

Chronologia standaryzowana (IND) oraz estymowana na podstawie równania regresji w oparciu o dane klimatyczne uwzględnione w modelu (EST)

Chronologies: standardised (IND) and estimated from the regression equation based on climatic data included in the model (EST)

18 Sławomir Wilczyński, Rafał Podlaski



Ryc. 4.

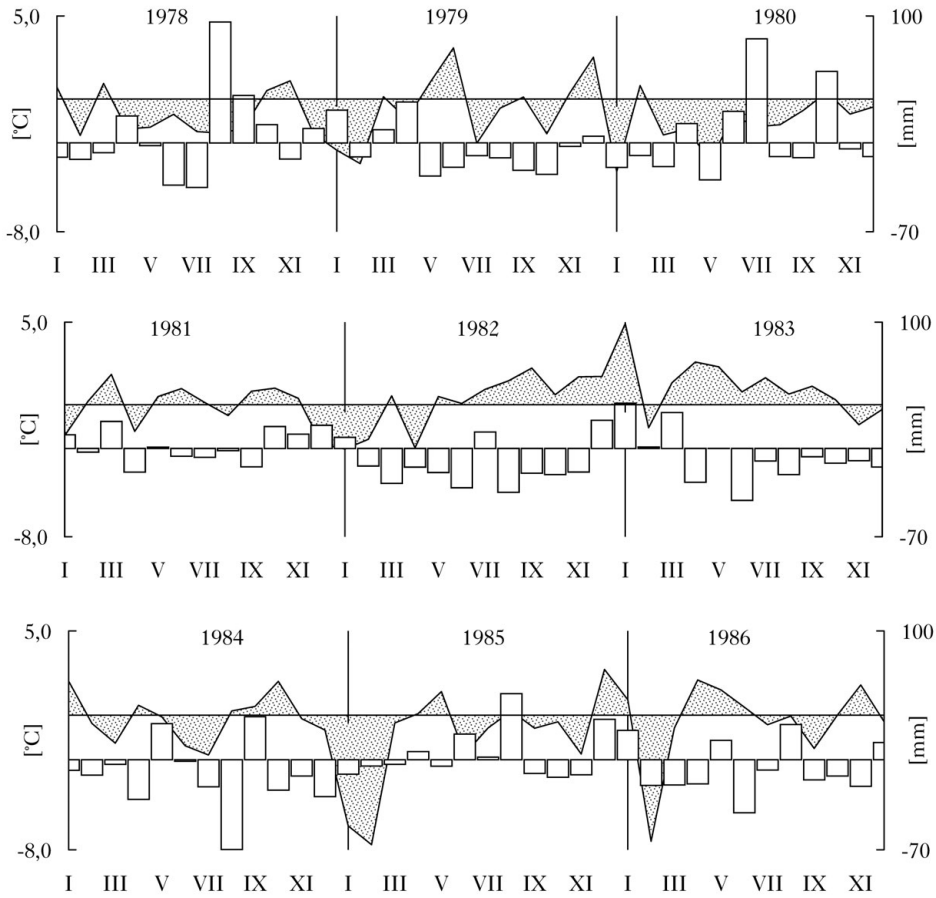
Standaryzowana chronologia szerokości słoju (linia gruba) i średnia temperatura okresu maj-czerwiec (linia cienka) – rycina górna oraz chronologia standaryzowana (linia gruba) i suma opadów okresu kwiecień-lipiec (linia cienka) – rycina dolna

Standardised chronology of tree-ring width (thick line) and mean air temperature in May-June (thin line) – top figure and standardised chronology (thick line) and precipitation sum in April-July (thin line) – bottom figure

Tabela.

Charakterystyka klimatyczna wybranych lat, uwzględniająca miesiące odbiegające klimatyczne od normy
Climatic characterisation of the selected years including the months when climatic conditions differed from the norm

Rok wzrostu szerokości słoja	Rok spadku szerokości słoja	Opis warunków klimatycznych
1979		Mroźna zima, mokry styczeń, ciepły maj i czerwiec, suchy okres wegetacji
	1980	Ciepły luty, zimna wiosna, mokry okres kwiecień-lipiec
1981		Mroźny styczeń, ciepły marzec i czerwiec, suchy okres kwiecień-lipiec
1982		Mroźna zima, suchy okres kwiecień-czerwiec
1983		Mroźny luty, ciepła wiosna i lato, suchy okres kwiecień-lipiec
	1984	Ciepły styczeń, mroźny marzec, chłodny czerwiec, mokry maj
1985		Bardzo mroźna zima, ciepły maj, zimny czerwiec
1986		Bardzo mroźny luty, ciepły maj, suchy kwiecień i czerwiec



Ryc. 5.

Odchylenia średniej temperatury miesięcznej (powierzchnia kropkowana) oraz miesięcznych sum opadów atmosferycznych (słupki) w latach 1978-1986 od wartości przeciętnych dla okresu 1971-1999

Standard deviation of monthly temperature (dotted area) and monthly atmospheric precipitation sum (columns) in 1978-1986 from the means in 1971-1999

Dyskusja

Jak dotąd, tylko nieliczne prace były poświęcone analizie zależności klimat-przyrost wierzby białej, a uzyskane w nich wyniki podkreślały przede wszystkim korzystny wpływ ciepłej wiosny na szerokość jej słoików [Eckersten 1986; Agafanov 1995; Gindl i in. 1999]. Przedstawione w naszej pracy rezultaty wskazują na bardzo silny wpływ czynnika meteorologicznego na przyrost grubości drzew tego gatunku. Na tle wielu innych gatunków drzew badanych metodą response function, wierzba charakteryzuje się bardzo silną wrażliwością na czynnik pogody. Czy jest to jedynie specyfika stanowiska, czy też cecha gatunkowa? Niewątpliwie odpowiedź możliwa będzie dopiero po przeprowadzeniu badań na liczniejszym materiale, pochodzącym z różnych stanowisk. Jednak już na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że przynajmniej w opisywanym przez nas przypadku wierzba biała może stanowić swoistą stację meteorologiczną, rejestrującą w wielkości tworzonych przez siebie słoików średnią temperaturę okresu maj-czerwiec oraz sumę opadów

okresu kwiecień-lipiec. Wartości obu parametrów klimatycznych można bowiem z dużą precyzją odczytać na podstawie szerokości jej słoików. Te dwa elementy meteorologiczne mają szczególnie wpływ na reakcje przyrostowe drzew gatunku.

Uzyskane w pracy współczynniki regresji wielorakiej oraz korelacji liniowej mogą stanowić model zależności wzrostu na grubość wierzb od czynnika klimatycznego. Jego uogólnienie dla danego regionu, czy jeszcze większego obszaru wymaga oczywiście weryfikacji na większej liczbie drzew z innych stanowisk.

W tym miejscu należy podkreślić, że wierzba biała uznawana jest za gatunek przywiązany do umiarkowanie ciepłych warunków klimatycznych [Zarzycki 1984; Evans i in. 1995]. Wyniki analiz dendroklimatologicznych zasadniczo potwierdzają ten pogląd, jak i to, że wierzba wykorzystuje do budowy tkanki waskularnej w głównej mierze produkty fotosyntezy wytworzone w danym roku [Zimmermann, Brown 1981]. Okazuje się bowiem, że na wilgotnym stanowisku, na którym rosły drzewa, wprawdzie korzystnie wpływała na ich przyrost radialny ciepła i sucha jesień, ale szczególnie pozytywny wpływ na jej wzrost miała sucha, ciepła wiosna oraz podobny początek lata. Zatem nadmiar opadów w tym okresie powodował zabagnienie wilgotnego terenu, co niekorzystnie odbijało się na wroście drzew [Faliński 1990].

Nową informacją jest niewątpliwie fakt, że badane wierzby wymagały dla bardziej intensywnego wzrostu na grubość silnego przechłodzenia w okresie zimowym, szczególnie w lutym. Korzystnie na jej wzrost radialny wpływała także duża ilość opadów w styczniu. Fakt ten można wiązać z ochronnym, izolującym działaniem pokrywy śnieżnej na bardzo płytko umieszczone systemy korzeniowe w wilgotnej glebie o wysokim poziomie wody gruntowej. Silna, ujemna korelacja występująca między wysokością pokrywy śnieżnej a intensywnością zgrzyzania przez zwierzynę (powodującego osłabienie wzrostu drzew) [Faliński 1990], nie może być w tym przypadku brana pod uwagę, ponieważ problem ten dotyczy tylko niskich, krzewiastych form.

Wierzby na badanym terenie kończą prawdopodobnie swój przyrost na grubość już w sierpniu, choć listowie utrzymują one często do pierwszych przymrozków wczesnych. Wskazuje na to brak istotnego związku przyrostu z warunkami meteorologicznymi sierpnia oraz września, jak to mam miejsce na przykład u gatunków iglastych [Feliksik i in. 2000; Wilczyński, Skrzyszewski 2002; Wilczyński i in. 2004].

Wnioski

- ✦ Wierzby białe, rosące w zbiorowisku łęgowym, charakteryzowały się bardzo silną zależnością przyrostu grubości od temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych.
- ✦ Mrozy panujące w lutym bardzo korzystnie wpływały na aktywność ich kambium w nadchodzącym okresie wegetacyjnym. Tej aktywności sprzyjała także ciepła i sucha jesień poprzedniego roku oraz szczególnie sucha, ciepła wiosna i początek lata, roku, w którym tworzony był słoik drewna.
- ✦ Badane drzewa zapisywały z dużą precyzją w szerokościach swoich słoików średnią temperaturę powietrza okresu maj-czerwiec oraz sumę opadów okresu kwiecień-lipiec.
- ✦ Przedstawiony w pracy klimatyczny model aktywności kambium waskularnego wierzby białej może być związany ze specyfiką badanego stanowiska, stąd dla ewentualnego uogólnienia wymaga potwierdzenia na szerszym materiale empirycznym.

Literatura

- Agafonov L. I. 1995. Vlijanie gidrologičeskogo i temperaturnogo reżimov na radial'nyj prirost listvennyh derev'ev v pojme Niznej Obi. Ekologija 6: 436-443.

- Cook E. R., Holmes R. L. 1986. Users manual for program ARSTAN. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. [red.]. Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Series 6, Univ. of Arizona, Tucson: 50-65.
- Eckersten H. 1986. Willow growth as a function of climate, water and nitrogen. Department of Ecology and Environmental Research, Swedish Univ. of Agricultural Sciences. Report 25.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstw. Cbl. 88, 4: 230-250.
- Evans L. G., Eckersten H., Semenov M. A., Porter J. R. 1995. Modelling the effects of climate change and climatic variability on crops at the site scale. Effects on willow. W: P.A. Harrison, R.E. Butterfield, T.E. Downing [red.]. Climate change and agriculture in Europe – assessment of impacts and adaptations. Research Report 9, Environmental Change Unit, Oxford. 220-222.
- Faliński J. B. 1990. Zarys ekologii. W: S. Białobok [red.]. Wierzby – *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. PWN, Poznań. 71-138.
- Feliksik E., Wilczyński S., Podlaski R. 2000. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrостów radialnych sosny (*Pinus sylvestris* L.), jodły (*Abies alba* Mill.) i buka (*Fagus sylvatica* L.) ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Sylwan 144, 9: 53-63.
- Figaj J. 1990. Uprawa wierzby do produkcji drewna. W: S. Białobok [red.]. Wierzby – *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. PWN, Poznań. 341-363.
- 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 reconstruction anomalies in paleoclimate. J. App. Meteorol. 10: 845-864.
- Gindl W., Löppert H. G., Wimmer R. 1999. Relationship between streaming potential and sap velocity in *Salix alba* L. Phytol. 39: 217-224.
- Guiot J., Berger A. L., Munaut A. V., Till C. 1982. Response functions. W: Hughes M. K., Kelly P. M., Pilcher J. R., LaMarche V. C. [red.]. Climate from tree rings. Cambridge Univ. Press: 38-45.
- Holmes R. L. 1986. Quality control of crossdating and measuring. Users manual for computer program COFECHA. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. [red.]. Tree-rings chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Ser. 6. Univ. Of Arizona, Tucson: 41-49.
- Holmes R. L. 1995a. Dendrochronology Program Library – users manual. Univ. of Arizona, Tucson, USA.
- Holmes R. L. 1995b. Response function – user manual. W: Holmes R. L. Dendrochronology Program Library. Univ. of Arizona, Tucson, USA. 50-51
- Kowalik P. 1990. Techniczne możliwości wykorzystania wierzby dla potrzeb energetycznych. W: S. Białobok [red.]. Wierzby – *Salix alba* L., *Salix fragilis* L. PWN, Poznań. 365-375.
- Matuszkiewicz J. M. 2002. Zespoły leśne Polski. PWN, Warszawa.
- Nilsson L., Eckersten H. 1983. Willow production as a function of radiation and temperature. Agric. Meteorol. 30: 49-57.
- Wilczyński S., Feliksik E., Werz B. 2004. Diversification of climatic requirements of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the upper forest zone. EJPAU 7, 2. Ser. Forestry.
- Wilczyński S., Skrzyszewski J. 2002. Dependence of Scots pine tree-rings on climatic conditions in southern Poland (Carpatian Mts.). EJPAU 5, 2. Ser. Forestry.
- Zimmermann M. H., Brown C. L. 1981. Drzewa. Struktura i funkcje. PWN, Warszawa.
- Zarzycki K. 1984. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski. Inst. Bot. PAN, Kraków.

SUMMARY

A climatic model of cambium vascular activity for white willow (*Salix alba* L.) from the Świętokrzyski National Park

The objective of this paper was to identify causes that are responsible for the variation of tree-ring width of white willow in areas under the impact of meteorological factors. The object of the study were five willows selected from the riparian community in the Świętokrzyski National Park. The climatic requirements of white willow in Poland have not been as yet examined with the use of dendroclimatological methods. Obtained results allowed to complete the existing state of knowledge about the susceptibility of white willow to meteorological factors. Relationships between monthly values of air temperature and atmospheric precipitation and tree-ring widths were examined in the period 1971-1999 using the methods of correlation, convergence analysis [Eckstein, Bauch 1969] and multiple regression (response function) [Fritts

22 Sławomir Wilczyński, Rafał Podlaski

1976]. White willow growing in the riparian community with high ground water table showed a strong relationship between radial increment and climatic conditions especially in the year when the tree-ring was formed. Winter frosts, as well as warm, dry autumn, spring and early summer favoured the activity of vascular cambium in the oncoming growing season. Air temperature in May-June and precipitation sum in April-July was precisely reflected in the tree-rings of examined trees. However the proposed climatic model of vascular cambium activity in white willow requires further investigation on broader empirical material.