

MONIKA ZIEMIAŃSKA, ROBERT KALBARCZYK, ANDRII BILOUS, OLEKSANDRA LESHCHENKO

Redukcja przyrostów rocznych dąglezji zielonej i sosny pospolitej w zależności od warunków termiczno-pluwialnych w Nadleśnictwie Kędzierzyn

Reduction of Douglas fir and Scots pine radial increments depending on thermal and pluvial conditions in Kędzierzyn Forest District

ABSTRACT

Ziemiańska M., Kalbarczyk R., Bilous A., Leshchenko O. 2019. Redukcja przyrostów rocznych dąglezji zielonej i sosny pospolitej w zależności od warunków termiczno-pluwialnych w Nadleśnictwie Kędzierzyn. Sylwan 163 (3): 198-208. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018110>.

The main objective of the research was to evaluate the incremental response of Douglas fir and Scots pine subjected to strong environmental stress to variable thermal and precipitation conditions. We also attempted to determine periods of tree-ring width reduction caused by strong anthropopressure associated with the activities of nearby industrial plants, which are burdensome for the environment. The studied forest stands are located in the Kędzierzyn Forest District, in Kotłarnia forestry (50°27'59"N, 18°38'42"E) approximately 8 km away from the nitrogen production plants. We used standard methodology applied in the dendrochronological studies with the support of the TSAP-Win, Cofecha, Arstan and Quercus 06.01 softwares. We found that Douglas fir and Scots pine stands growing in the permanently damaged zone due to the adverse effects of industry responded to meteorological conditions in a manner typical of the species. In the study of the relationship between weather and growth, thermal and precipitation conditions were more important in the current year than in the year preceding the increment. A similar distribution of reductions and periods of partial regeneration in both species were also observed. In the same multi-annual period of 1961-1991 deeper reductions of annual increments were observed in Douglas fir (>70%) than in Scots pine (in the range of 50-70%). Conditions, in which trees grew in the Kędzierzyn Forest District, contributed to the decrease in annual increments of both Douglas fir and Scots pine, while the previous species turned out to be a more sensitive one, which had been indicated by other researchers earlier.

KEY WORDS

dendroclimatology, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus sylvestris*, tree-ring reductions

ADDRESSES

Monika Ziemiańska ⁽¹⁾ – e-mail: monika.ziemianska@upwr.edu.pl

Robert Kalbarczyk ⁽¹⁾ – e-mail: robert.kalbarczyk@upwr.edu.pl

Andrii Bilous ⁽²⁾ – e-mail: bilous@nubip.edu.ua

Oleksandra Leshchenko ⁽²⁾ – e-mail: landscape_architecture@nubip.edu.ua

⁽¹⁾ Instytut Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu; ul. Grunwaldzka 55, 50-357 Wrocław

⁽²⁾ Państwowy Ukraiński Uniwersytet Przyrodniczy; ul. Bohaterów Obrony 15, Kijów, 03041, Ukraina

Wstęp

Przyrosty roczne drzew są zależne od wielu kompleksowo działających czynników, wśród których najbardziej istotne są warunki meteorologiczne, siedlisko oraz wiek drzew [Biniak-Pieróg i in. 2016; Bilous i in. 2017]. Złożonym problemem jest ustalenie, w jaki sposób drzewa różnych gatunków reagują na każdy z tych czynników [Fritts 1976]. Aktualnie szczególnie problematyczne stają się czynniki antropogeniczne – silnie niesezonowe stresy środowiskowe, np. emisje przemysłowe wywołujące perturbacje w modelu przyrostowym drzew zakodowanym dla danego regionu [Zielski, Krąpiec 2009]. Daglezia zielona i sosna pospolita były w Polsce przedmiotem wielu badań z zakresu dendroekologii [Cedro 2001; Feliksik, Wilczyński 2003, 2004a, b, 2008; Feliksik, Wilczyński 2007; Barniak, Krąpiec 2009; Sensuła i in. 2015]. Daglezia pochodzi z zachodniej części Ameryki Północnej, gdzie występuje na rozległym obszarze, ciągnącym się od górzystych terenów Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie do wybrzeży Kalifornii w USA, o dużym zróżnicowaniu warunków siedliskowych. Do Polski gatunek ten trafił w połowie XIX wieku i obecnie występuje na terenie 383 nadleśnictw, we wszystkich regionalnych dyrekcjach Lasów Państwowych [Bijak 2017]. Do dzisiaj w obecnych granicach Polski zlokalizowane są badawcze powierzchnie introdukcyjne tego gatunku założone w połowie XIX wieku [Feliksik, Wilczyński 2008]. Sosna pospolita odgrywa dominującą rolę w strukturze gatunkowej lasów Polski, występuje na blisko 60% powierzchni lasów. Charakteryzuje się bardzo szerokim zasięgiem występowania i jest dość jednolita morfologicznie.

Przyrosty radialne drzew są repozytoriami informacji o zjawiskach zachodzących w środowisku [Eckstein 1990] i służą jako naturalny biomonitoring [Schweingruber 1996]. Z tego powodu wykorzystanie przyrostów jako wskaźników środowiskowych jest ważne dla oceny długoterminowych skutków kondycji lasów na zanieczyszczonych obszarach [Stravinskienė i in. 2013].

Celem badań była ocena reakcji przyrostowych drzew dwóch gatunków iglastych poddawanych silnym stresom środowiskowym na zmienne warunki termiczno-opadowe. Celem pośrednim badania było wyznaczenie okresów redukcji przyrostów drewna wywołanych silną antropopresją związaną z działalnością zlokalizowanych w pobliżu uciążliwych dla środowiska zakładów przemysłowych. Nie identyfikowano czynników antropogenicznych wynikających z ich działalności, skupiono się głównie na czasowej i jakościowej zmienności wielkości przyrostów.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na terenie RDLP w Katowicach, w Nadleśnictwie Kędzierzyn. Środowisko leśne nadleśnictwa, funkcjonującego w obecnych granicach od końca lat 70. XX wieku, należy do najbardziej zdegradowanych w Polsce. Obecnie prowadzona gospodarka leśna skupiona jest na utrzymaniu drzewostanów oraz wzmocnieniu ich odporności na stres antropogeniczny [Skrobek 2016]. Powierzchnia nadleśnictwa wynosi ponad 11,5 tys. ha. Skład gatunkowy stanowią z dużą przewagą drzewostany sosnowe (65%), a następnie brzożowe i dębowe (w tym dąb czerwony). Dominującymi siedliskami są las mieszany świeży i bór mieszany świeży. Obszar nadleśnictwa podzielony jest na cztery strefy uszkodzeń przemysłowych. Strefa III ZAK (z największym wpływem na kompleks leśny) znajduje się najbliżej zakładów azotowych, dalej położone strefy III, II i I, z najmniejszym wpływem, są oddalone przeciętnie odpowiednio o 3, 5 i 12 km. Największą powierzchnię stanowi strefa II (>7,0 tys. ha), ze stosunkowo najmłodszym drzewostanem, który jest efektem zagospodarowania pożarzyska z 1992 roku. Do II i III strefy uszkodzeń przemysłowych zaliczone jest 90% powierzchni lasów nadleśnictwa [Plan... 2010].

W sierpniu 2016 roku na obszarze leśnictwa Kotlarnia (50°27'59"N, 18°38'42"E) pobrano przy pomocy świdra przyrostowego Presslera 46 wywiertów dordzeniowych z drzew górujących i panujących (I i II klasa Krafta), z wysokości 1,3 m n.p.g. (po 23 dla każdego gatunku). Próby pobrano z jednego wydzielenia, oddalonego od zakładów azotowych o około 8 km, zlokalizowanego w południowo-wschodniej części Nadleśnictwa Kędzierzyn. Wybrane do badań drzewostany dąglezjowe i sosnowe zlokalizowane są w II strefie, trwale uszkodzonej na skutek działania przemysłu. Typ siedliskowy lasu, na terenie którego wytypowano powierzchnię badawczą, to bór mieszany świeży z glebą bielicową właściwą silnie zadarnioną. Przed pobraniem prób każdorazowo wykonywano pomiar obwodu pierśnicowego z dokładnością do 1 cm. Pomiaru szerokości rocznych słoików dokonano przy użyciu LINTABTM 6 z oprogramowaniem TSAP-Win, z dokładnością do 0,01 mm. Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji meteorologicznych i posterunków opadowych położonych najbliżej powierzchni badawczej. Pozyskano je z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB w Warszawie dla Opola, Raciborza, Góry Św. Anny i Łąbędzy-Śluza. Na terenie nadleśnictwa, podobnie jak na obszarze całej Niziny Śląskiej, obserwowane są wiatry wiejące z sektora zachodniego, najczęściej z kierunku SW i W. Okres wegetacyjny w tej części Polski jest stosunkowo długi, trwa przeciętnie od 22 marca do 7 listopada, czyli ponad 230 dni [Tomczyk, Szyga-Pluta 2016].

Prawidłowość wykonanych pomiarów przyrostów rocznych zweryfikowano przy wykorzystaniu graficznej zgodności dendrogramów w programie TSAP-Win, a także wartości t według Bailie'a i Pichlera (TVBP). W badaniu określono również indeks datowania krzyżowego (CDI), który jest kompleksowym wskaźnikiem uwzględniającym wartości TVBP i TVH (t według Hollsteina) oraz GLK [%]. Wyznaczono także wartość korelacji krzyżowej (CC [%]), średnią wrażliwość (MS [%]), autokorelację pierwszego rzędu (AC(1)) i współczynnik korelacji Pearsona (r). Do weryfikacji synchronizacji sekwencji wykorzystano dodatkowo program Cofecha [Grissino-Mayer 2001]. W przypadku dąglezji zielonej odrzucono dwie sekwencje osobnicze, a sosny pospolitej – cztery. Wyższe wartości TVBP, indeksu datowania krzyżowego, współczynnika zbieżności (przy $\alpha=0,05$), korelacji krzyżowej, średniej wrażliwości oraz współczynnika korelacji Pearsona otrzymano dla sekwencji dąglezji zielonej (tab. 1). Jedynie wartości autokorelacji pierwszego rzędu osiągnęły zbliżone wartości u obu analizowanych gatunków (odpowiednio 0,73 i 0,74 dla dąglezji i sosny). Wszystkie uwzględnione w ocenie statystyki osiągnęły wysokie wartości i pozwoliły przyjąć, że uzyskane zbiory danych przyrostów rocznych zostały dobrze zsynchronizowane i mogą być wykorzystane w dalszej analizie – badaniu zależności klimat-przyrost. Analizę szerokości przyrostów rocznych badanych sekwencji osobniczych przeprowadzono dla wspólnego okresu 1933–2015. Roczne przyrosty drewna opisano podstawowymi statystykami. W celu

Tabela 1.

Ocena jakości analizowanych sekwencji osobniczych na podstawie wartości t według Bailie'a-Pichlera (TVBP), indeksu datowania krzyżowego, współczynnika zbieżności (GLK [%]), wartości korelacji krzyżowej (CC [%]), średniej wrażliwości (MS [%]), autokorelacji pierwszego rzędu (AC(1)) i współczynnika korelacji (r)

Assessment of the quality of the analysed individual sequences based on the t value according to Bailie and Pichler (TVBP), cross-dating index (CDI), coefficient of convergence (GL [%]), cross-correlation value (CC [%]), mean sensitivity (MS [%]), first order autocorrelation (AC(1)) and Pearson correlation coefficient (r)

| | TVBP | CDI | GLK | CC | MS | AC(1) | r |
|------------------------------|------|-----|-----|----|----|-------|-------|
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | 8,3 | 66 | 76 | 76 | 31 | 0,73 | 0,602 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 6,2 | 50 | 74 | 66 | 24 | 0,74 | 0,551 |

wyeliminowania dodatkowych informacji zawartych w przyrostach rocznych, stanowiących dla analiz klimatycznych zakłócenia, przeprowadzona została indeksacja wartości bezwzględnych. Do tego zadania wykorzystano program Arstan [Holmes 1994]. Chronologie stanowiskowe daglezi i sosny (rzeczywiste, indeksowane i rezydualne) scharakteryzowano przy pomocy statystyk opisowych oraz współczynnika sygnału populacji (EPS).

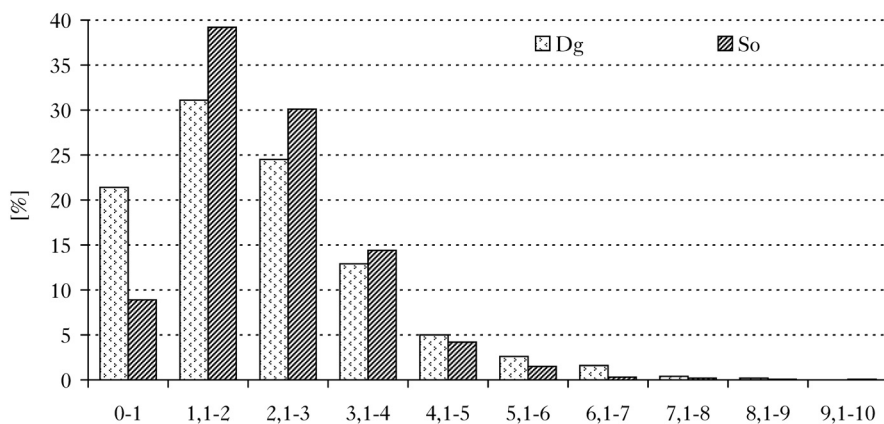
Zależności klimat-przyrost roczny drewna obliczono analizą korelacji kroczącej w 30-letnim oknie czasowym [Zang, Biondi 2015; Netsvetov i in. 2018], w okresie od czerwca roku poprzedzającego powstanie przyrostu (6p) do września roku bieżącego (9). W analizie korelacji każdorazowo łączono zmienną zależną, tj. szerokość przyrostu w postaci chronologii rezydualnej, ze zmienną niezależną – średnią miesięczną temperaturą powietrza (T [°C]) i miesięczną sumą opadów atmosferycznych (P [mm]). Do wyznaczenia okresów redukcji przyrostów drewna posłużono się metodą Schweingruber [1986], w której procent redukcji wyznacza się ze stosunku sumy szerokości przyrostów rocznych objętych redukcją i sumy szerokości przyrostów sprzed okresu redukcji. Istotnym warunkiem jest uwzględnienie takiej samej liczby słoików niewykazujących redukcji i nią objętych [Zielski, Krąpiec 2009]. Obliczone wartości redukcji przyrostów przedstawiono w następujący sposób: $R_1 > 70\%$, co oznacza występowanie redukcji większych niż 70%, $R_2 = 50-70\%$ – w przedziale od 50 do 70% oraz $R_3 = 30-50\%$ – w przedziale od 30 do 50%. W badaniu nie uwzględniano redukcji, których wartość była niższa niż 30%, oraz przedziałów czasowych krótszych niż 3 lata. Do obliczeń wartości redukcji wykorzystano program Quercus 06.01 [Walanus 2005].

Wyniki

Średnia szerokość przyrostu rocznego daglezi zielonej wynosiła 2,17 mm, natomiast sosny pospolitej 2,23 mm. Odchylenie standardowe w przypadku daglezi wyniosło 1,42 mm, a w przypadku sosny 1,11 mm. Maksymalny przyrost roczny (9,51 mm) sosna wykształciła w 1959 roku (faza juwenilna), natomiast minimalny (0,10 mm) w roku 1971 (w fazie drzewa dojrzałego), w ponad 20-letnim okresie redukcji przyrostów. Maksymalny przyrost roczny daglezi zielonej wyniósł 8,90 mm i odnotowano go w 2008 roku, czyli w fazie regeneracji drzewa dojrzałego po wieloletnim okresie redukcji przyrostów. Minimalny przyrost dla tego gatunku wyniósł 0,15 mm i odczytano go dla roku 1987 – w fazie drzewa dojrzałego w trwającym wiele lat okresie redukcji przyrostów rocznych. Drzewa obu gatunków wykształciły słoje o podobnych zakresach szerokości. Przyrosty miały najczęściej szerokość z przedziału 1,1-2,0 mm (około 31 i 39%, odpowiednio dla daglezi i sosny) oraz 2,1-3,0 mm (około 25 i 30%, odpowiednio dla daglezi i sosny) (ryc. 1). W zakresie szerokości 0-1 mm ponad dwukrotnie częściej odnotowano przyrosty daglezi (21,4%) niż sosny (8,9%). Zdecydowanie rzadziej notowano szerokości słoików >4 mm.

Chronologie stanowiskowe daglezi zielonej i sosny pospolitej utworzone na podstawie zsynchronizowanych sekwencji osobniczych liczyły 83 lata i trwały w latach 1933-2015 (tab. 2). Zestawione chronologie uznano za reprezentatywne, gdyż wartości współczynników EPS były wysokie i wynosiły dla chronologii rzeczywistej daglezi zielonej 0,94, a dla rezydualnej – 0,91. Podobnie wysokie wartości EPS obliczono dla chronologii sosny pospolitej: 0,90 dla rzeczywistej i po 0,91 – dla indeksowanej oraz rezydualnej. Średnia czułość daglezi była większa niż sosny. Wartość MS dla chronologii rezydualnych, uwzględnianych w ocenie klimat-przyrost, wynosiła dla daglezi 26%, a dla sosny 20%.

Analiza korelacji przyrostów rocznych daglezi zielonej ujawniła zależności dla 7 z analizowanych miesięcznych zmiennych termicznych, zdecydowanie częściej dla miesięcy roku bieżącego niż roku poprzedzającego powstanie przyrostu (ryc. 2). Istotne statystycznie, dodatnie



Ryc. 1.

Częstość występowania przyrostów rocznych dąglezi zielonej (Dg) i sosny pospolitej (So) w zaproponowanych klasach szerokości [mm]

Fraction of Douglas fir (Dg) and Scots pine (So) annual increments in the proposed ring-width intervals [mm]

Tabela 2.

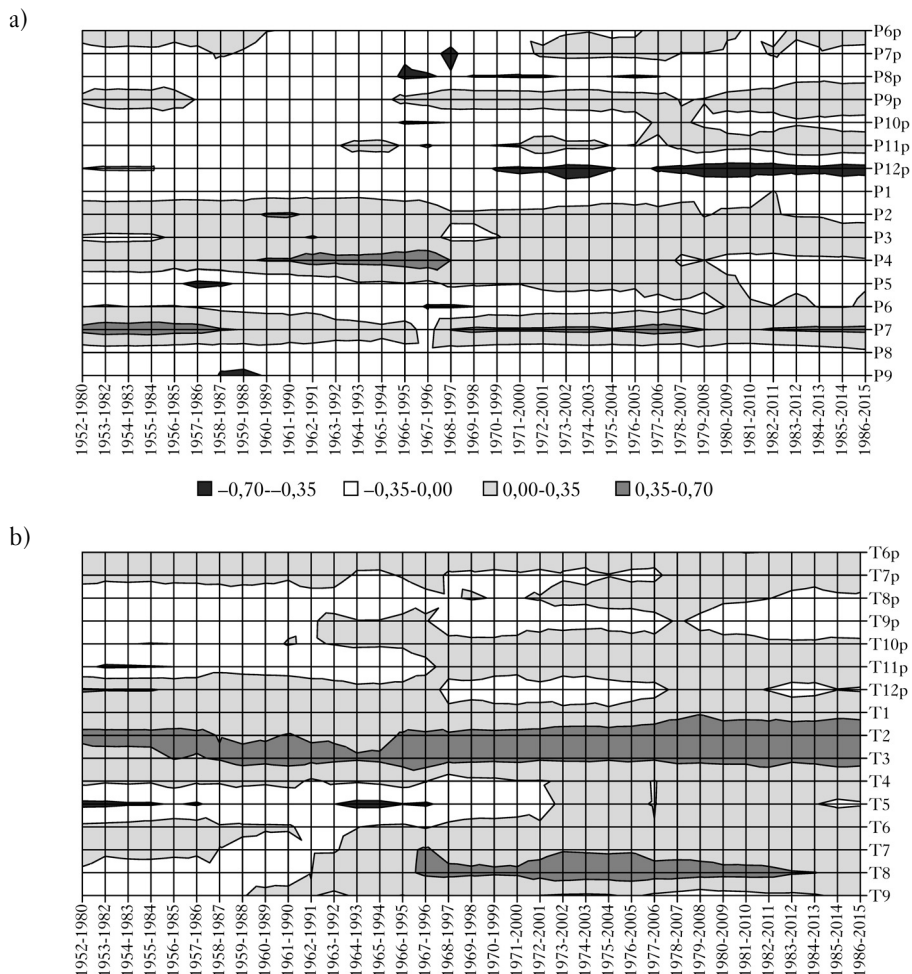
Średnia \pm odchylenie standardowe (M \pm SD), wartości najmniejsza i największa (Min, Max), wskaźnik wyraźnego sygnału populacyjnego (EPS), średnia wrażliwość (MS) i autokorelacja pierwszego rzędu (AC(1)) dla chronologii stanowiskowych obejmujących lata 1933-2015

Mean \pm standard deviation (M \pm SD), maximum and minimum value (Max, Min, respectively), expressed population signal ratio (EPS), mean sensitivity (MS) and first order autocorrelation (AC(1)) for site chronologies spanning 1933-2015

| | M \pm SD | Max | Min | EPS | MS [%] | AC(1) |
|------------------------------|-----------------|------|------|------|--------|----------|
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> | | | | | | |
| Rzeczywista Raw | 2,33 \pm 1,17 | 5,46 | 0,75 | 0,94 | 21 | 0,810 |
| Indeksowana Standard | 0,97 \pm 0,30 | 1,79 | 0,38 | 0,91 | 22 | -0,009ns |
| Rezydualna Residual | 0,98 \pm 0,23 | 1,54 | 0,38 | 0,91 | 26 | -0,052ns |
| <i>Pinus sylvestris</i> | | | | | | |
| Rzeczywista Raw | 2,36 \pm 1,30 | 9,33 | 1,15 | 0,90 | 16 | 0,910 |
| Indeksowana Standard | 0,99 \pm 0,21 | 1,55 | 0,58 | 0,91 | 16 | -0,026ns |
| Rezydualna Residual | 0,99 \pm 0,16 | 1,37 | 0,67 | 0,91 | 20 | -0,076ns |

ns – nieistotne przy $\alpha=0,05$; insignificant at $\alpha=0,05$

wartości współczynnika korelacji przyrostów rocznych z temperaturą powietrza zaobserwowano dla lutego (T2 dla 1966-2015, 1953-1986), marca (T3 dla 1958-2015) i sierpnia (T8 dla 1967-2012), a także dla grudnia roku poprzedzającego powstanie przyrostu (T12p dla 1952-1984). Ujemne wartości współczynnika korelacji stwierdzono tylko dla maja roku bieżącego (T5 dla 1952-1986, 1963-1996) oraz listopada roku poprzedzającego wytworzenie przyrostu (T11 dla 1953-1985). Ujemne, istotne statystycznie wartości współczynnika korelacji obserwowano tylko przed 1997 rokiem. Analiza wpływu opadów atmosferycznych na przyrost roczny dąglezi zielonej wykazała, że 10 z 16 analizowanych miesięcznych zmiennych opadowych istotnie korelowało ze wzrostem



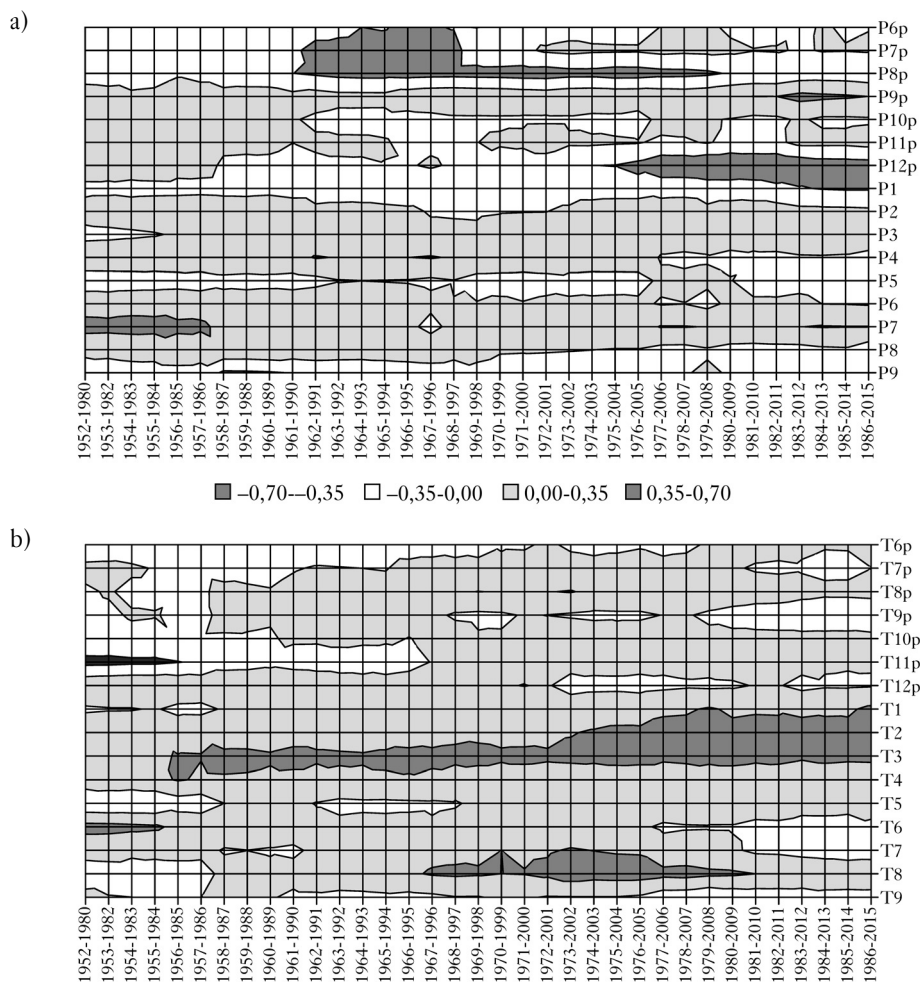
Ryc. 2.

Analiza korelacji kroczącej w 30-letnim oknie czasowym między rezydualną chronologią przyrostów rocznych dąglezi zielonej a średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz sumą opadów atmosferycznych (P) od czerwca roku poprzedzającego powstanie przyrostu (6p) do września roku bieżącego (9)

Analysis of the moving correlation in a 30-year time window between the residual chronology of Douglas fir and the mean monthly air temperature (T) and precipitation (P) since June of the year preceding the increment (6p) to September of the current year (9)

drzew. Najsilniejsze związki – pozytywną korelację przyrostów rocznych z opadami atmosferycznymi – stwierdzono dla lipca (P7 dla 1982-2015, 1968-2007, 1952-1987) i kwietnia (P4 dla 1960-1996). Wartości ujemne analizy korelacji wyznaczono dla grudnia roku poprzedzającego powstanie przyrostu (P12p dla 1977-2015, 1970-2004) oraz sierpnia, także roku poprzedzającego (P8p dla 1966-2001).

Analiza korelacji kroczącej dla przyrostów rocznych sosny pospolitej ujawniła zależności dla 9 z 16 rozpatrywanych miesięcznych zmiennych termicznych (ryc. 3). Pozytywną korelację przyrostów rocznych z temperaturą powietrza stwierdzono dla marca (T3 dla 1956-2015, 1952-1980), lutego (T2 dla 1974-2015), sierpnia (T8 dla 1967-2009) oraz czerwca (T6 dla 1952-1984) miesięcy roku bieżącego. Ujemne wartości współczynnika korelacji wyznaczono tylko dla kilku



Ryc. 3.

Analiza korelacji kroczącej w 30-letnim oknie czasowym między rezydualną chronologią przyrostów rocznych sosny zwyczajnej a średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz sumą opadów atmosferycznych (P) od czerwca roku poprzedzającego powstanie przyrostu (6p) do września roku bieżącego (9)

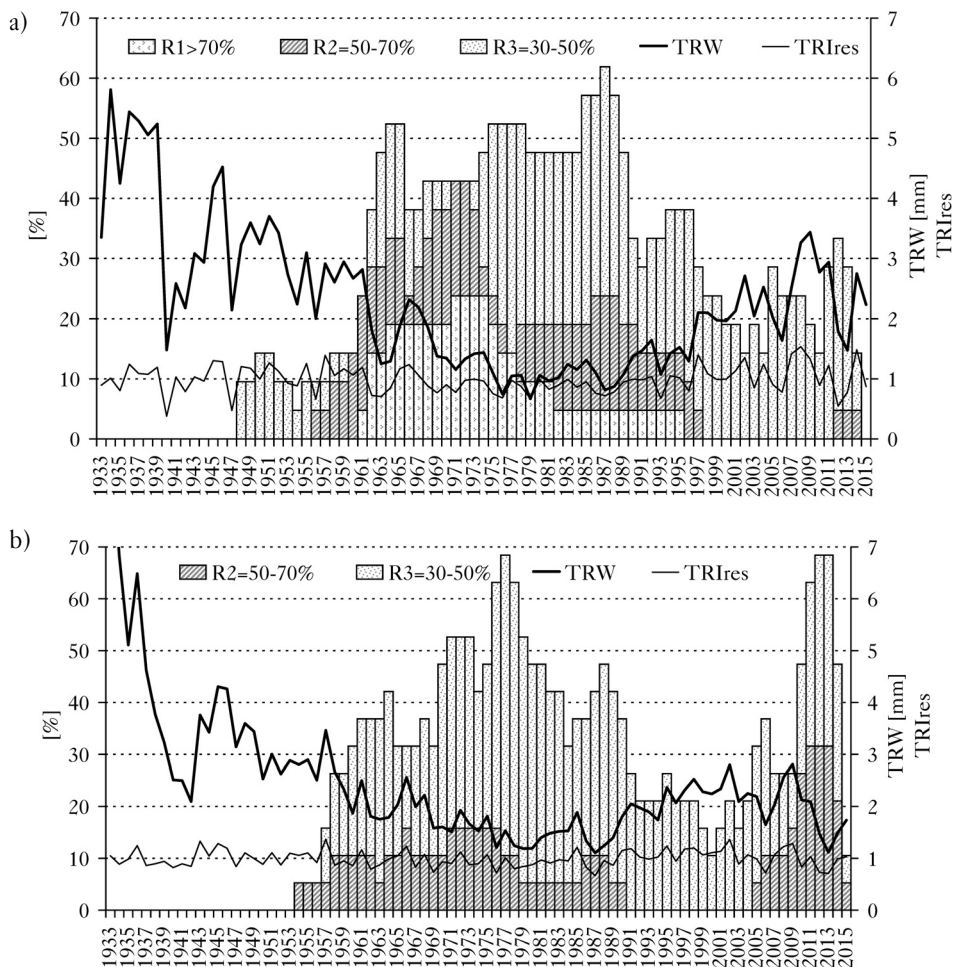
Analysis of the moving correlation in a 30-year time window between the residual chronology of Scots pine and the mean monthly air temperature (T) and precipitation (P) since June of the year preceding the increment (6p) to September of the current year (9)

interwałów w listopadzie roku poprzedzającego powstanie przyrostu (T11p dla 1952-1985). Dodatkowo wartości współczynnika dla korelacji przyrost-opady obliczono dla września roku poprzedzającego powstanie przyrostu (P9p dla 1981-2015) i lipca roku bieżącego (P7 dla 1983-2015, 1977-2007, 1952-1986). Ujemne wartości współczynnika korelacji stwierdzono m.in. w sierpniu (P8p dla 1962-2008), grudniu (P12p dla 1975-2015), lipcu (P7p dla 1962-1997) oraz czerwcu (P6p dla 1966-1996) roku poprzedzającego powstanie przyrostu.

W analizie dla obydwu gatunków nie wyznaczono zależności istotnych statystycznie trwających nieprzerwanie w okresie całego wielolecia (1933-2015). Jednak najwyraźniejszą zależność temperatura-przyrost roczny dąglezi zielonej udało się wykazać w lutym i marcu roku bieżącego.

W badaniu nie stwierdzono „odwracających się” istotnych statystycznie zależności, np. przechodzących z pozytywnych w negatywne lub odwrotnie.

Redukcje szerokości słojów rozpoczynają się dla obydwu gatunków w podobnym czasie. Tuż po II wojnie światowej, w 1948 roku, stwierdzono dla daglezi pierwsze redukcje na poziomie 30-50% (ryc. 4a). Pierwsze średnie redukcje u sosny, w przedziale 50-70%, zaobserwowano kilka lat później, w 1953 roku (ryc. 4b). Reakcja daglezi na trudne warunki wzrostu uwidacznia się szczególnie w latach 1961-1995, w których wystąpiły najgłębsze redukcje, sięgające ponad 70%. Liczba drzew objętych w tym czasie wszystkimi typami redukcji wynosiła ponad 60%. Redukcje średnie w drzewostanie daglezi odnotowano w latach 1956-1976, 1978-1997 i 2012-2014.



Ryc. 4.

Udział [%] redukcji przyrostów rocznych (R) daglezi zielonej (a) i sosny pospolitej (b) oraz przebieg chronologii rzeczywistej (TRW) i rezydualnej (TRIres) dla drzew rosnących w bliskiej odległości i poddawanych takim samym stresom środowiskowym

Fraction [%] of tree ring width reductions (R) in Douglas fir (a) and Scots pine (b) as well as raw (TRW) and residual (TRIres) chronologies of trees growing in close proximity and subject to the same environmental stress

Najmniejsze redukcje, z przedziału od 30 do 50%, stwierdzono dla lat 1948-1959, 1962-1970 oraz 1973-2014. Długie indywidualne okresy zmniejszenia się wielkości przyrostów trwały od 23 do 33 lat. Dla jednego drzewa wyznaczano od 1 do 4 okresów redukcji. Drzewostan sosnowy również zareagował w badanym okresie zmniejszeniem przyrostów, nie odnotowano jednak najgłębszych redukcji (ryc. 4b). Redukcje średnie stwierdzono w latach 1954-1990 oraz 2005-2015. Redukcje małe obserwowano od 1957 do 2015 roku. Najdłuższe okresy zmniejszenia przyrostów trwały od 25 do 30 lat. Dla jednego drzewa wyznaczono najczęściej 2 do 3 takich okresów. Zaobserwowano podobieństwo rozkładu redukcji oraz okresów częściowej regeneracji u obydwu gatunków. Zwraca uwagę pojawienie się u obydwu gatunków redukcji średnich w ostatnich 15 latach (2012-2014 dla dąglezji i 2005-2015 dla sosny). W drzewostanie sosnowym liczba drzew z redukcjami w latach 2005-2015 wzrosła do poziomu z lat 70. XX w., kiedy łączna liczba drzew z redukcjami małymi i średnimi wyniosła >75%. W tym czasie wzrost liczby drzew z redukcjami w drzewostanie dąglezjowym był widoczny, lecz nie tak znaczący jak w drzewostanie sosnowym.

Dyskusja

Przyrosty radialne drzew mogą być doskonałym bioindykatorem, a badania nad nimi znajdują coraz szersze zastosowanie w monitorowaniu stanu środowiska [Filipiak, Ufnalski 2004; Wilczyński 2006; Matyssek i in. 2012; Stravinskiene i in. 2013; Vacek i in. 2016]. Z przeprowadzonych badań korelacji klimat-przyrost w latach 1933-2015 wynika, że głównym czynnikiem decydującym o wielkości przyrostu rocznego dąglezji zielonej i sosny pospolitej rosnących w warunkach silnej antropopresji jest temperatura powietrza zimy (szczególnie lutego) oraz początku wiosny (głównie marca), a także końca lata (sierpnia). Wydaje się, że nieznacznie mniejszą rolę w procesie formowania przyrostu odegrały opady atmosferyczne. Dla dąglezji ważne okazały się warunki pluwalne miesięcy z okresu wegetacji (kwietnia i lipca), a dla sosny szczególnie ważne były lipiec roku bieżącego oraz wrzesień roku poprzedzającego powstanie przyrostu. Podobne wyniki w badaniach klimat-przyrost uzyskali dla omawianych gatunków inni badacze w Polsce, na Litwie i w Estonii [Cedro 2001; Feliksik, Wilczyński 2004a; Wilczyński 2006; Feliksik i in. 2005; Vitas, Žeimavičius 2006; Hordo i in. 2009]. Można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że wpływ zanieczyszczeń przemysłowych – silnej i trwałej antropopresji w Nadleśnictwie Kędzierzyn – nie zakłócił zależności klimat-przyrost badanych drzewostanów, co potwierdziły również badania Sensuły i Wilczyńskiego [2017] na terenie tego samego kompleksu leśnego. Poddawanie drzew trwałej emisji zanieczyszczeń przemysłowych prowadzi do zaburzenia procesów fizjologicznych drzew, skutkującego spowolnieniem lub zupełnym zahamowaniem ich wzrostu i rozwoju [Treshow, Bell 2004; Malik i in. 2011; Stravinskiene i in. 2013]. Warunki, w jakich wzrastały drzewa w Nadleśnictwie Kędzierzyn, wpłynęły na zmniejszenie przyrostów rocznych drewna zarówno dąglezji, jak i sosny, przy czym dąglezja okazała się gatunkiem bardziej wrażliwym, na co wskazali również Feliksik i Wilczyński [2003] w badaniach przeprowadzonych w południowej Polsce. W drzewostanie dąglezjowym zaobserwowano występowanie głębokich redukcji w latach 1961-1995. Tak głębokich redukcji nie stwierdzono w przyrostach sosny w całym analizowanym wieloleciu. Na lata 1960-1990, w których wystąpiły redukcje przyrostów w południowej Polsce spowodowane prawdopodobnie zanieczyszczeniami przemysłowymi, wskazują także Malik i in. [2011] oraz Wilczyński [2006]. Reakcja badanych gatunków może być odpowiedzią na lokalne warunki środowiska, a szczególnie warunki meteorologiczne, w tym anomalie atmosferyczne. Drzewa poddawane wieloletnim stresom antropogenicznym są szczególnie wrażliwe na naturalne czynniki stresogenne, takie jak brak opadów czy wysoka temperatura powietrza w okresie wegetacji [Vacek i in. 2016].

Wnioski

- ✦ W zależności klimat-przyrost zarówno dla dąglezji zielonej, jak i dla sosny pospolitej większe znaczenie miały warunki termiczno-pluwalne w miesiącach roku bieżącego niż roku poprzedzającego powstanie przyrostu.
- ✦ Dąglezja i sosna rosnące w warunkach silnej antropopresji reagowały na warunki meteorologiczne w sposób typowy dla gatunku. Temperatura powietrza wpływała w bardzo zbliżony sposób na wielkość przyrostów obu gatunków w całym okresie badań. Z kolei w przypadku warunków pluwalnych istotny dodatni wpływ miały opady w lecie, szczególnie w lipcu oraz w kwietniu, a ujemny – w sierpniu i grudniu roku poprzedzającego powstanie przyrostu.
- ✦ Działalność zakładów przemysłowych zlokalizowanych w bliskiej odległości od powierzchni badawczej miała większy negatywny wpływ na wielkość przyrostów rocznych dąglezji niż sosny pospolitej. W okresie 1961-1991 w drzewostanie dąglezjowym wystąpiły głębsze niż u sosny redukcje przyrostów rocznych.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania nadleśniczemu Nadleśnictwa Kędzierzyn Grzegorzowi Skrobkowi oraz jego zastępcy Markowi Kłowskiemu za nieocenioną pomoc w organizacji pracy w terenie oraz merytoryczne i wyczerpujące konsultacje.

Literatura

- Barniak J., Krapiec M. 2009. Wpływ działalności przemysłowej na drzewostany sosnowe w rejonie Tarnobrzega w świetle analizy dendrochronologicznej. Sylwan 153 (12): 825-835.
- Bell J. N. B., Treshow M. 2004. Zanieczyszczenie powietrza a życie roślin. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Bijak S. 2017. Zróżnicowanie bonitacji wzrostowej drzewostanów dąglezjowych w Polsce. Sylwan 161 (3): 208-217.
- Bilous A., Myroniuk V., Holiaka D., Bilous S., See L., Schepaschenko D. 2017. Mapping growing stock volume and forest live biomass: a case study of the Polissya region of Ukraine. Environmental Research Letters 12, 105001.
- Biniak-Pieróg M., Żyromski A., Rolbiecki R., Rolbiecki S., Żyromski M., Żmuda R. 2016. Effect of thermal conditions and precipitation on growth rate of Scott pine. Journal of Ecological Engineering 17 (5): 1-8.
- Cedro A. 2001. Dependence of radial growth of *Pinus sylvestris* L. from Western Pomerania on the rainfall and temperature conditions. Geochronometria 20: 69-74.
- Eckstein D. 1990. Qualitative assessment of past environmental changes. W: Cook E. R., Kairiukstis L. A. [red.]. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 220-223.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Tree rings as indicators of environmental change. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Forestry 6 (2): 1-8.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2004a. Klimatyczne uwarunkowania przyrostu radialnego dąglezji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) rosnącej na obszarze Polski. Sylwan 148 (12): 31-38.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2004b. Lata wskaźnikowe dąglezji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) na obszarze Polski. Sylwan 148 (12): 39-47.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carriere oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Sylwan 152 (6): 3-13.
- Feliksik E., Wilczyński S., Durlo G. 2005. Dendroklimatologiczna charakterystyka dąglezji zielonej (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) występującej w Karpatach Polskich. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria 4 (1): 11-21.
- Filipiak M., Ufnalski K. 2004. Growth reaction of European Silver fir (*Abies alba* Mill.) associated with air quality improvement in the Sudeten mountains. Polish Journal of Environmental Studies 13 (3): 267-273.
- Fritts H. C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London, New York, San Francisco.
- Grissino-Mayer H. D. 2001. Evaluating cross-dating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha. Tree Ring Research 57: 205-221.
- Holmes R. L. 1994. Dendrochronology Program Library – Users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tuscon.

- 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.
- Malik I., Wistuba M., Danek M., Danek T., Krąpiec M. 2011. Wpływ emisji zanieczyszczeń atmosferycznych przez zakłady chemiczne w Tarnowskich Górach (północna część Wyżyny Śląskiej) na szerokość przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 47: 9-21.
- Matyssek R., Wieser G., Calfapietra C., de Vries W., Dizengremel P., Ernst D., Jolivet Y., Mikkelsen T. N., Mohren G. M. J., le Thiec D., Tuovinen J. P., Weatherall A., Paoletti E. 2012. Forests under climate change and air pollution: gaps in understanding and future directions for research. *Environmental Pollution* 160: 57-65.
- Netsvetov M., Prokopuk Y., Didukh Y., Romenskyy M. 2018. Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. *Dendrobiology* 79: 20-33.
- Plan urzędzenia lasu dla Nadleśnictwa Kędzierzyn na okres 01.01.2011-31.12.2020. 2010. Program Ochrony Przyrody. Biuro Urzędzenia Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Krakowie.
- Schweingruber F. H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Paul Haupt Publishers, Berne – Stuttgart – Vienna.
- Sensuła B., Wilczyński S., Opała M. 2015. Tree growth and climate relationship: dynamics of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in the near-source region of the combined heat and power plant during the development of the pro-ecological strategy in Poland. *Water Air Soil Pollut* 226: 220.
- Sensuła B., Wilczyński S. 2017. Climatic signals in tree-ring width and stable isotopes composition of *Pinus sylvestris* L. growing in the industrialized area nearby Kędzierzyn-Koźle. *Geochronometria* 44: 240-255.
- Skrobek G. 2016. Zdegradowane drzewostany Nadleśnictwa Kędzierzyn – ich przebudowa. Maszynopis. Nadleśnictwo Kędzierzyn.
- Speer J. H. 2010. Fundamentals of tree-ring research. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, USA.
- Stravinskiene V., Bartkevicius E., Plausinyte E. 2013. Dendrochronological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) radial growth in vicinity of industrial pollution. *Dendrochronologia* 31: 179-186.
- Tomeczyk A. M., Szyga-Pluta K. 2016. Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971-2010. *Przegląd Geograficzny* 88 (1): 75-86.
- Vacek S., Vacek Z., Bílek L., Simon J., Remeš J., Hůnová I., Král J., Putalová T., Mikeska M. 2016. Structure, regeneration and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with respect to changing climate and environmental pollution. *Silva Fennica* 50 (4): article id 1564.
- Vitas A., Žeimavičius K. 2006. Trends of decline of Douglas fir in Lithuania: dendroclimatological approach. *Baltic Forestry* 12 (2): 200-208.
- Walanus A. 2005. Program Quercus 06.01. Instrukcja obsługi. Kraków.
- Wilczyński S. 2006. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. *European Journal of Forest Research* 125: 213-219.
- Wilczyński S., Feliksik E. 2007. Local chronologie and regional diversity of dendrochronological Signac of Douglas Fir in Poland. *Geochronometria* 26: 69-80. DOI: 10.2478/v10003-007-0008-z.
- Zang C., Biondi F. 2015. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography* 38: 431-436.
- Zielski A., Krąpiec M. 2009. *Dendrochronologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.