

Wpływ warunków klimatycznych i zanieczyszczenia powietrza na reakcję przyrostową sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej w Lasach Miejskich Szczecina*

Influence of climatic conditions and air pollution on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Szczecin's city forests

Anna Cedro^{1**}, Bernard Cedro²

Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi, ¹ul. Mickiewicza 16, ²ul. Mickiewicza 18, 70-383 Szczecin, Polska

**Tel. +48 91 4442529, e-mail: anna.cedro@usz.edu.pl

Abstract. The aim of the present work was to characterize the growth – climate relationship of pines growing in the Szczecin city forests in intensively used recreational areas and to identify the effect of air pollutants emitted by a nearby chemical factory on tree-ring width. Our research area was located in the Głębokie forest complex, which is one of the most frequently visited. The chemical factory Police that produces fertilizers is located at a distance 11 km away from the study plot. The largest emissions of pollutants from the factory in terms of volume occurred in the 1980s and early 1990s.

Wood samples were collected from Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with the Pressler borer from 30 trees and examined using standard dendrochronological methodology. The result was a local chronology of 169 years from 1848–2016. Dendroclimatological analyses indicated that the weather conditions at the turn from winter to spring are the dominant factors influencing radial growth. For example, higher than average temperatures in February, March and April result in a wide tree-ring in the upcoming growth season. Following Nowacki and Abram's method, we also determined the relative growth change in order to delimit the timeframe when air pollution potentially alters tree-ring width. Due to the lack of data for the period 1848–1945, the increasing and decreasing relative growth could not be linked to specific events. For the period 1944–1972 however, we observed an increase in the tree-ring width, which in this case can be attributed to favorable weather conditions. The final period, 1973–1991, on the other hand showed the strongest decline in annual growth throughout our chronology and this was largely due to the nearby chemical factories, which released huge amounts of pollution into the atmosphere during this period.

At present, despite new technologies and a decrease in overall production by the nearby chemical factory, we found a negative trend in ring width dynamics indicating a need for pollutant monitoring and further research.

Keywords: tree-ring width, dendroclimatology, industrial emissions, *Pinus sylvestris*, recreational areas, Szczecin

*Tezy zawarte w niniejszym artykule zostały zaprezentowane na III Ogólnopolskiej Konferencji pt. "Klimatyczne uwarunkowania życia lasu", zorganizowanej przez SGGW, Wydział Leśny, w CEPL w Rogowie w dniach 1–3 czerwca 2017.

1. Wstęp

Szczecin jest miastem o dużej powierzchni, której około 17% zajmują lasy i grunty leśne, a 2% to zieleń miejska obejmująca parki, cmentarze, zieleńce i skwery zieleni ulicznej. Lasy Miejskie (2764 ha) są częścią trzech puszczy: Puszczy Wkrzańskiej, Puszczy Bukowej oraz Puszczy Goleniowskiej. Na obszarze Lasów Miejskich wyróżnia się 13 kompleksów leśnych, z których największe to: Las Arkoński – 976,90 ha, Dąbie – 465,56 ha, Głębokie – 351,77 ha, Mościcino – 281,46 ha i Źdroje – 151,03 ha (Meyer

2011). Zieleń miejska Szczecina jest jednym z czynników decydujących o komforcie życia w mieście, wpływa na samopoczucie i zdrowie mieszkańców. Tereny zieleni miejskiej spełniają wiele funkcji ekologicznych, ochronnych i estetycznych. Pochłaniają i neutralizują zanieczyszczenia, tworzą bariery tłumiące hałas, poprawiają mikroklimat miasta, regulują stosunki termiczno-wilgotnościowe. Ponadto zapewniają kontakt mieszkańców z naturą, regenerują ich siły fizyczne i psychiczne. Obszary leśne, zasadniczo bez ich specjalnego przygotowania, tworzą atrakcyjne warunki do rekreacji i wypoczynku oraz turystyki pieszej czy rowe-

Wpłynęło: 20.11.2018 r., recenzowano: 4.02.2018 r., zaakceptowano: 15.02.2018 r.

rowej. W zabieganym i przeludnionym mieście nawet niewielkie kompleksy leśne mają znaczenie.

O stanie zdrowotnym i kondycji drzewostanów, szczególnie iglastych, w dużym stopniu decydują sposób zagospodarowania oraz ilość zanieczyszczeń. Bliskość dużych emitentów zanieczyszczeń może w poważny sposób uszkadzać lasy, obniżać ich wartość, wpływać na pełnione funkcje i modyfikować zaplanowane zabiegi hodowlane. Zakłady Chemiczne Police i emitowane przez nie zanieczyszczenia powietrza miały i mają duży wpływ na zdrowotność i przyrost roczny drzewostanów w Szczecinie. Dendrochronologia jest metodą pozwalającą na określenie dynamiki przyrostowej poszczególnych drzew i drzewostanów w ubiegłych dekadach, na zbadanie jej zależności od klimatu oraz wpływu emisji zanieczyszczeń oraz zmian siedliskowych na przyrosty roczne drzew. Często brakuje danych liczbowych dotyczących ilości emitowanych zanieczyszczeń przemysłowych sprzed kilkunastu lat, a wówczas drzewa traktowane są jako archiwum zapisanych w nich zmian i mogą służyć do rekonstrukcji zachodzących zjawisk. Szychowska-Krąpiec i Wiśniowski (1996) oraz Borowiec i inni (2005a, b) prowadzili badania wpływu zanieczyszczeń powietrza na szerokość przyrostu rocznego sosny rosnącej w Puszczy Wkrzańskiej. Pozwoliły one określić okres najbardziej niekorzystnego wpływu emisji na ekosystemy leśne oraz ich zasięg oddziaływania. Jednak spowodowane zanieczyszczeniami niekorzystne zmiany w procesach fizjologicznych i biochemicznych drzew mogą zachodzić przez wiele lat, a współwystępując ze zmianami klimatycznymi oraz atakami owadów i patogenicznych grzybów, mogą wywoływać niekorzystne zmiany w ekosystemach leśnych.

Celem badań była: (i) charakterystyka zależności ‘przyrost – klimat’ u drzew gatunku *Pinus sylvestris* L. rosnących w Lasach Miejskich Szczecina na terenie leśnym intensywnie wykorzystywanym do celów rekreacyjnych, (ii) zbadanie wpływu zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez niedalekie Zakłady Chemiczne Police na szerokość przyrostów rocznych drzew.

2. Lokalizacja terenu badań

Powierzchnia badawcza zlokalizowana jest w Lasach Miejskich Szczecina (kompleks leśny Głębokie), w oddziale 90o i 90z (53°29'N, 14°28'E) (ryc. 1). Położona jest ona w makroregionie Pobrzeże Szczecińskie, w mezoregionie Wzniesienia Szczecińskiego (Kondracki 2002), na wysokości około 20 m n.p.m. i 500 m na północny wschód od rynnowego jeziora Głębokie. Na siedlisku lasu mieszanego świeżego na glebach rdzawych właściwych i brunatnych właściwych wytworzonych na piaskach słabogliniastych rosną bukowo-sosnowo-dębowe lasy pełniące funkcje ochronne. Sosna, której udział na ww. powierzchniach wynosi 10 lub 20%, ma 150–155 lat, osiągając wysokość 29–31 m i pierśnicę 46–54 cm. Powierzchnia badawcza znajduje się na jednym z najpopularniejszych terenów rekreacyjnych Szczecina, przecinanym wieloma szlakami i ścieżkami, służącym jako

miejsce spacerów, biegów, przejażdżek rowerowych, a liczne polany masowo (szczególnie w letnie weekendy) odwiedzane są przez mieszkańców blokowisk z dzielnic zlokalizowanych w centrum miasta.

W odległości 11 km na północny wschód od badanej powierzchni położony jest kombinat chemiczny produkujący nawozy, tj. Grupa Azoty Zakłady Chemiczne „Police” S.A., który od końca lat 60. XX wieku w procesie produkcyjnym (m.in. produkcji kwasu siarkowego, fosforowego, fluorokrzemianu sodowego, amoniaku i mocznika) emituje do atmosfery i wody duże ilości zanieczyszczeń. Największa emisja zanieczyszczeń do atmosfery, związana z wielkością produkcji i stosowanymi technologiami, miała miejsce w latach 80. i na początku lat 90. XX wieku (Borowiec et al. 2005a, b; Mazurkiewicz, Podlasińska 2014).

3. Klimat

Warunki klimatyczne Szczecina i okolic kształtowane są przede wszystkim przez adwekcję mas powietrza polarno-morskiego. Bliskość dużych zbiorników wodnych, tj. Morza Bałtyckiego i Zalewu Szczecińskiego, powoduje powstanie lokalnej cyrkulacji bryzowej wpływającej na przebieg pogody.

Usłonecznienie (liczba godzin ze słońcem) w ciągu roku średnio wynosi 1588, wahając się od 1212 do 1971 godzin (dla okresu 1965–2016). W przebiegu rocznym usłonecznienia minimum występuje w grudniu (29 godzin ze słońcem), a maksimum w maju (232 godziny). Usłonecznienie powyżej



Rycina 1. Lokalizacja powierzchni badawczej i Zakładów Chemicznych Police. Róża wiatrów dla stacji Szczecin-Dąbie w latach 1956–1980, c – procentowy udział ciszy, (za Koźmiński, Michalska 2008 – zmienione).

Figure 1. Location of the research plot and Chemical Factory Police. Wind rose for Szczecin-Dąbie station in 1956–1980, c – percentage share of calm, (Koźmiński, Michalska 2008 – modified).

200 godzin na miesiąc występuje od maja do sierpnia. Wg podziału na regiony Koźmińskiego i Michalskiej (2005) badany obszar należy do Regionu III o przeciętnym usłonecznieniu.

Średnia temperatura roczna dla okresu 1948–2016 dla stacji IMGW w Szczecinie-Dąbiu wynosi 8,7°C, wahając się od 7,1 do 10,9°C. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec ze średnią temperaturą 18,1°C (w zakresie 15,2–22,7°C), najchłodniejszym styczeń ze średnią temperaturą wynoszącą -0,4°C (w zakresie od -8,8 do 5,1°C). Absolutne maksimum temperatury zanotowano w lipcu 1959 roku (+36°C), a najniższą temperaturę zmierzono w styczniu 1987 roku, tj. -30°C (Czarnecka 1996).

Roczna suma opadów dla wielolecia wynosi 544 mm, wahając się w najsuchszych latach od 347 mm do 796 mm w najwilgotniejszych. Najsuchszym miesiącem jest luty ze średnią sumą opadów wynoszącą 31 mm, najwilgotniejszym lipiec – 71 mm (w miesiącu tym opady mogą wynosić od 5 do 185 mm). Na lato przypada 35% sumy opadów, 20% na zimę, a jesień jest wilgotniejsza od wiosny (Czarnecka 1996). Ze względu na częste odwilże pokrywa śnieżna charakteryzuje się niewielką trwałością i dużą zmiennością w czasie. Dominującymi kierunkami wiatrów są zachodni i południowo-zachodni, ich prędkość waha się od 3,1 do 4,5 m/s (Koźmiński, Michalska 2001; ryc. 1).

4. Metodyka badań

Badania terenowe wykonano w styczniu 2017 roku, nawierając w sumie 30 sosen. Próby pobrano świdrami Presslera z pni drzew na wysokości 1,3 m od poziomu gruntu. Otwory zabezpieczano Lac-Balsamem (środkiem owado- i grzybobójczym) oraz drewnianymi kołkami. W laboratorium wywierty wklejono w specjalne wysuszone listewki, a następnie nożem preparacyjnym ścięto powierzchnię w celu uzyskania czytelnej obrazu słoików. Pomiar wykonano pod binokulem zespolonym z przyrostomierzem o dokładności pomiarowej 0,01 mm i wykorzystaniu programu DendroMeter (Mindur 2000). Następnie korzystając z programów: Tree Rings (Krawczyk 1995), DendroGraph (Walanus 2001) i Cofecha (Holmes 1983) oraz klasycznych metod datowania dendrochronologicznego *cross-dating method* (Cook, Kairiukstis 1992; Zielski, Krąpiec 2004) zestawiono chronologię szerokości słoików. Do dalszych analiz wykorzystano chronologię rezydualną, a w celu podkreślenia zmienności krótkookresowej usunięto długookresowe trendy i autokorelację (w pierwszym etapie zastosowano metodę najmniejszych kwadratów, w drugim – funkcję spline), korzystając z programu Arstan (Holmes 1994). Obliczono także wskaźnik EPS (Expresed Population Signal), opisujący reprezentatywność badanych ciągów pomiarowych (Wigley et al. 1984). W analizach dendroklimatologicznych uwzględniono elementy klimatyczne mające największy wpływ na kształtowanie się przyrostu rocznego drzew: temperaturę powietrza, opady atmosferyczne i usłonecznienie. Identyfikację lat wskaźnikowych przeprowadzono przy wykorzystaniu programu TCS (Walanus 2002), obliczając lata pozytywne (cechujące się wzrostem szerokości słoja)

i lata negatywne (ze spadkami szerokości przyrostu rocznego w porównaniu do roku poprzedniego) (Schweingruber 1989; Kaennel, Schweingruber 1990; Meyer 1997–1998; Zielski, Krąpiec 2004) z minimum 10 drzew. Za lata wskaźnikowe przyjęto lata, w których ponad 90% badanych drzew wykazywało taką samą tendencję przyrostową. Analizę warunków termicznych i opadowych przeprowadzono dla 25 lat wskaźnikowych (od roku 1936), a dla usłonecznienia dla 15 lat (od roku 1969). Analizę korelacji i funkcji odpowiedzi wykonano dla chronologii rezydualnej przy wykorzystaniu programu Respo (Holmes 1994) w celu pokazania zależności ‘przyrost – klimat’. Analizę przeprowadzono dla 16 miesięcy, od czerwca roku poprzedzającego przyrost do września aktualnego roku wegetacji (dla temperatury i opadów w okresie 1948–2016, tj. 69 lat, dla usłonecznienia w okresie 1965–2016 – 52 lata). Obliczono współczynniki korelacji, regresji wielokrotnej i determinacji. Do analiz dendroklimatologicznych wykorzystano dane ze stacji Szczecin-Dąbie (Roczniki meteorologiczne IMGW) z okresu 1948–2016, archiwalne niemieckie roczniki meteorologiczne z okresu przedwojennego (Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 1938–1948) oraz wszelkie inne dostępne materiały.

Niestety przedwojenne dane dotyczące badanej powierzchni nie zachowały się. Niekiedy brakuje także danych z pierwszych lat powojennych, które były okresem organizacji służb leśnych. Informacje dotyczące ostatnich trzech dekad XX w. uzyskano od emerytowanych kierowników Lasów Miejskich: Wojciecha Tomczaka i Tomasza Krowickiego. Wykorzystano także dostępne dane meteorologiczne oraz operatowe dotyczące powierzchni, niestety także tylko powojenne.

Względne zmiany wielkości przyrostów rocznych (ang. relative growth change) w chronologii określono metodą Nowackiego i Abramsa (1997). Przeprowadzono porównanie kolejnych 10-letnich okresów szerokości słoików rocznych w celu wykrycia trwałych zmian, wskazujących na zaburzenia warunków siedliskowych, jednocześnie eliminując krótko- i długoterminowe wpływy zmieniających się warunków pogodowych oraz trend wiekowy drzew występujący w seriach szerokości słoików. Względną zmienność przyrostu (% GCI) obliczano w odstępach rocznych dla chronologii, wykorzystując wzór:

$$GCI = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100,$$

gdzie:

GCI – zmiana szerokości przyrostu rocznego między poprzedzającym 10-letnim okresem dany przyrost w roku i 10 następnymi przyrostami [%],

M1 – mediana z 10 lat poprzedzająca dany rok,

M2 – mediana z następnych 10 lat (Nowacki, Abrams 1997; Läänelaid et al. 2014).

5. Wyniki

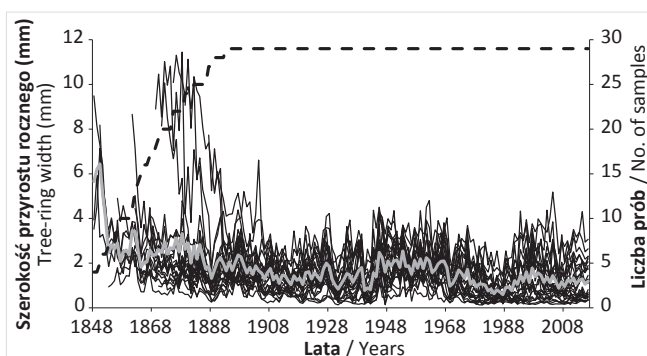
Chronologia LM powstała na podstawie 28 indywidualnych krzywych przyrostowych, liczy 169 lat, reprezentując okres 1848–2016 (ryc. 2). Średnia szerokość przyrostu

rocznego badanych sosen wynosi 1,81 mm, wahając się dla poszczególnych drzew od 1,04 do 2,39 mm. Odchylenie standardowe (STW) dla chronologii rzeczywistej i indeksowanej (RES) wynosi odpowiednio 1,059 i 0,176, autokorelacja I rzędu (A1) – 0,795 i 0,110, a średnia wrażliwość (MS) – 0,269 i 0,211. Wskaźnik EPS dla okresu 1880–2016 wynosi 0,94, co wskazuje na reprezentatywność chronologii (Wigley et al. 1984; Wilczyński 2010).

Analiza korelacji i funkcji odpowiedzi wskazuje, że pogoda przełomu zimy i wiosny warunkuje reakcje przyrostowe w najbliższym sezonie wegetacji (ryc. 3). Wyższa od średniej temperatura w lutym, marcu i kwietniu przyczynia się do powstania szerokiego przyrostu w nadchodzącym sezonie wegetacyjnym. Także opady w lutym mają dodatni wpływ na rytm przyrostowy sosny. Wielkość opadów w maju, a szczególnie w lipcu dodatkowo koreluje z szerokością przyrostu rocznego, także sumy usłonecznienia sierpnia mają pozytywny wpływ na wielkość przyrostu drewna. W roku poprzedzającym okres wegetacji notuje się ujemne wartości współczynników regresji dla temperatury powietrza we wrześniu i październiku oraz korelacji i regresji dla usłonecznienia w listopadzie (ryc. 3).

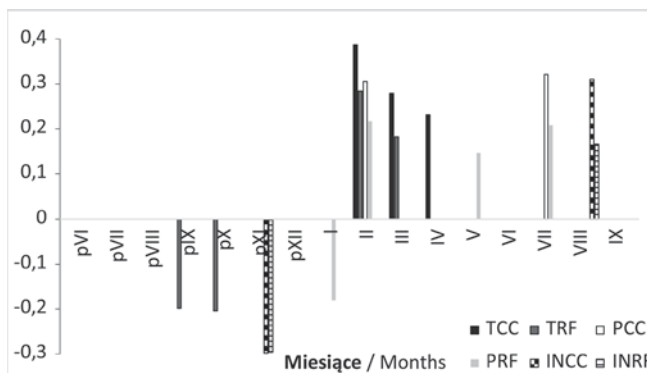
Stwierdzono 49 lat wskaźnikowych: w tym 21 pozytywnych (cechujących się wzrostem szerokości przyrostu rocznego w stosunku do roku poprzedniego) i 28 negatywnych (ze spadkiem szerokości słoja). Analiza ta potwierdza wyniki uzyskane w analizie korelacji i regresji: ciepły koniec zimy oraz szybko rozpoczynająca się ciepła wiosna powodują powstanie szerokich przyrostów rocznych sosny w nadchodzącym sezonie wzrostu, zaś mrozy w lutym i marcu oraz niska temperatura w kwietniu powodują powstanie redukcji przyrostowych. Na rycinie 4 zestawiono pozytywne i negatywne lata wskaźnikowe oraz pokazano przebieg temperatury w lutym, marcu i kwietniu w latach 1943–2013 w stosunku do wartości średnich dla tych miesięcy. W większości lat negatywnych (12 na 13 analizowanych lat) średnia temperatura lutego była poniżej średniej dla wielolecia, dla marca analogiczna sytuacja obserwowana jest w siedmiu latach, a w kwietniu w dziewięciu latach. Dla lat pozytywnych (analiza 12 lat) średnie miesięczne temperatury powietrza w lutym są w ośmiu przypadkach powyżej średniej dla wielolecia, dla marca w 10 przypadkach, a dla kwietnia w 7 przypadkach, w jednym roku obie temperatury są równe (ryc. 4).

Względne zmiany wielkości przyrostów rocznych posłużyć mogą do rekonstrukcji historii badanego drzewostanu (ryc. 5). Wyróżnić tu można okresy charakteryzujące się spadkiem względnej zmiany wielkości przyrostów rocznych, tj. 1854–1871, 1886–1893, 1904–1920, 1929–1943, 1973–1991 i od 2001 roku do 2016, oraz okresy ze wzrostową tendencją, tj. 1872–1885, 1894–1903, 1921–1928, 1944–1972 i 1992–2000. W latach 1944–1972 w przebiegu chronologii notuje się wzrost szerokości przyrostów rocznych (ryc. 2) oraz wzrost względnej zmiany wielkości przyrostów rocznych od -70 do 40% (ryc. 5). W okresie tym badane sosny były w wieku 100–130 lat, osiąga-
jąc swoje optimum rozwojowe. Pomimo występowania w tym okresie bardzo mroźnych zim skutkujących negatywnymi latami wskaźnikowymi (w 1947, 1954, 1960 i 1969), a także dość



Rycina 2. Zestawienie indywidualnych sekwencji szerokości słoików (cieńkie czarne linie) wchodzących w skład chronologii lokalnej – LM sosny zwyczajnej z Lasów Miejskich Szczecina (pogrubiona szara linia), liczba prób wchodzących w skład chronologii (linia przerywana)

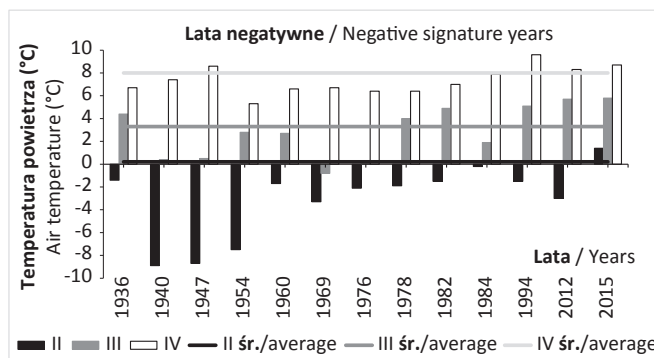
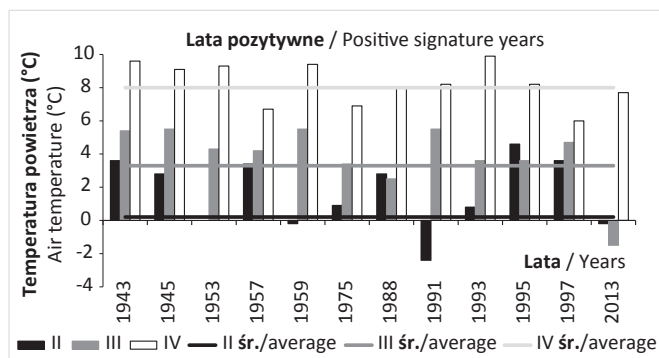
Figure 2. Individual sequences of tree-ring width (thin black line) making up the local chronology of pine (LM, thick gray line) from Szczecin City Forests; number of samples in a local chronology (dotted line)



Rycina 3. Wyniki analizy korelacji i funkcji odpowiedzi chronologii indeksowanej sosny zwyczajnej (LM) z Lasów Miejskich Szczecina, pokazano współczynniki korelacji (TCC – dla temperatury, PCC – dla opadów, INCC – dla usłonecznienia) i regresji (TRF – dla temperatury, PRF – dla opadów, INRF – dla usłonecznienia) istotne statystycznie na poziomie $\alpha=0,05$, p – poprzedni rok.

Figure 3. Results of correlation and response function analyses for index pine chronology (LM) from Szczecin City Forests; the correlation coefficients (TCC – temperature, PCC – precipitation, INCC – insolation) and regression (TRF – temperature, PRF – precipitation, INRF – insolation) are shown; only significant values ($\alpha=0.05$); p – previous year

suchymi latami (np. 1963, 1971–1972) przeważają warunki pogodowe sprzyjające powstawaniu szerokich przyrostów (co odzwierciedla się m.in. w pięciu pozytywnych latach wskaźnikowych: 1943, 1945, 1953, 1957 i 1959). Wpływ na zwiększenie szerokości słoików mogły mieć także przeprowadzone cięcia w drzewostanie (trzebienie późne). Jednocześnie brak dużych emitentów zanieczyszczeń przemysłowych sprzyja wysokiej aktywności kambium. Kolejny okres: 1973–1991 to czas, w którym notuje się obniżenie średniej szerokości słoja (ryc. 2), a także najsilniejszy w przebiegu chronologii



Rycina 4. Przebieg temperatury powietrza w pozytywnych i negatywnych latach wskaźnikowych w lutym, marcu i kwietniu (słupki w porównaniu z średnią wartością dla tych miesięcy z okresu 1948–2016 (linie))

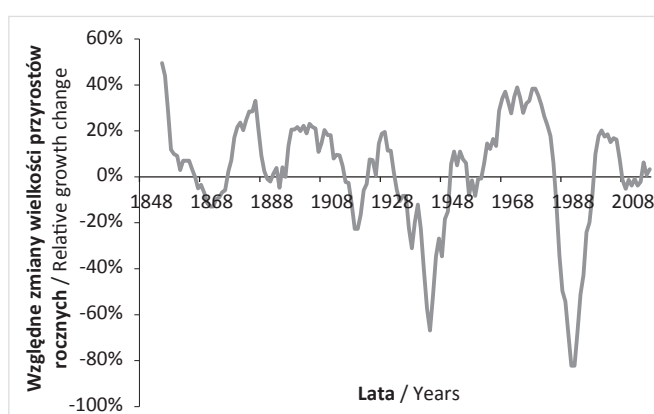
Figure 4. February, March and April temperature (bars) in positive and negative signature years in comparison to average February, March and April temperature from 1948–2016 (line)

spadek względnej zmiany wielkości przyrostów rocznych od około 40% do -80% (ryc. 5). W latach 1992–2000 w przebiegu chronologii notuje się ponowny wzrost szerokości przyrostów rocznych oraz wzrost względnej zmiany wielkości przyrostów rocznych (od -80% do około 20%). Od roku 2001 do końca chronologii (2016 r.) nastąpił okres niewielkiego spadku szerokości słoju i względnych zmian szerokości słoju.

6. Dyskusja

Warunki pogodowe w lutym i marcu warunkują przyrosty sosny na badanym stanowisku. Szczególnie łagodne i krótkie zimy oraz ciepła szybko rozpoczynająca się wiosna sprzyjają powstaniu szerokich przyrostów rocznych w nadchodzącym sezonie wegetacyjnym. Dodatkowym czynnikiem warunkującym dobrą kondycję zdrowotną i powstanie szerokich słoju jest dostateczne zaopatrzenie w wodę siedliska w okresie letnim. Na dominującą rolę termiki przełomu zimy i wiosny w procesie kształtowania się słoja wskazują także inni autorzy, np.: z Pomorza Zachodniego Cedro (2004), z Kujaw Koprowski i inni (2012), z Puszczy Niepołomickiej Muter (2012), z Pojezierza Drawskiego Łodzińska-Jurkiewicz (2016), z obszarów nadmorskich Olesiak i inni (2014) oraz Cedro i inni (2013), z Rogowa Bijak (2013), z Wyżyny Kieleckiej Wilczyński (2010), z Tatr Brzęk i inni (2014). Dotychczasowe badania potwierdzają wspólny sygnał klimatyczny dla Europy Środkowej różnicujący rytm przyrostowy drzew tego gatunku (Wilczyński et al. 2001). Sosna wraz z końcem zimy i wzrastającą długością dnia traci mrozoodporność i staje się wrażliwa na niskie temperatury. Przemarzanie igieł, gałęzi i pnia powodujące uszkodzenia mrozowe, wysuszenie przez mroźne wiatry czy mechaniczne uszkodzenia przez śnieg powodują osłabienie kondycji zdrowotnej drzew oraz mniejszą dynamikę przyrostową w nadchodzącym sezonie wegetacji.

Sosna zwyczajna zaliczana jest do gatunków o dużej wrażliwości na zanieczyszczenie powietrza. Najczęściej obserwowanymi objawami są uszkodzenia igieł (wpływające na natężenie fotosyntezy czy fotooddychanie), mniejszy



Rycina 5. Względne zmiany wielkości przyrostów rocznych w chronologii LM

Figure 5. Relative growth change for pine chronology LM

przyrost wysokości, zmniejszone kiełkowanie pyłku, pogarszanie jakości nasion czy utrata przez nie żywotności (Kocięcki 1993; Oleksyn 1993). Drzewa osłabione szkodliwym wpływem zanieczyszczeń powietrza są szczególnie wrażliwe na choroby grzybowe i gradacje szkodników (Karolewski, Lorenc-Plucińska 1993; Borowiec et al. 2005a, b), które za względu na zły stan zdrowotny drzew często prowadzą do zamierania całych drzewostanów. Analiza zmian względnej wielkości przyrostów rocznych badanych drzew, rosnących w niewielkiej odległości od zakładów chemicznych emitujących duże ilości zanieczyszczeń do atmosfery, wskazuje na szczególnie dużą wrażliwość sosny zwyczajnej na zanieczyszczenia. Największe redukcje szerokości słoju skorelowane są z okresem wykorzystywania w zakładach starych technologii i największej produkcji nawozów (lata 70. – początek lat 90. XX wieku). W okresie tym, a szczególnie w latach 80. XX wieku, nałożyły się 3 czynniki negatywnie wpływające na przyrost radialny sosny: susza glebowa, gradacja brudnicy mniszki i emisja zanieczyszczeń z pobliskich zakładów chemicznych. Na gradację szkodnika zareagowano szybko środkami biologicznymi i chemicznymi, co spo-

wodowało ograniczenie defoliacji sosny (informacja ustna). Większym problemem była susza glebowa, która wystąpiła w badanym regionie pod koniec lat 70. i w latach 80. XX wieku, a której widocznym efektem były spadki poziomu lustra wody jeziora Głębokiego do 2 m poniżej średniego poziomu (informacja ustna). Ówczesną próbą rozwiązania tego problemu było pompowanie wody z podziemnego ujęcia wody w Pilchowie do jeziora Głębokiego, co spowodowało dalsze obniżenie poziomu wód gruntowych w rejonie ujęcia położonego w niedalekiej odległości od badanej powierzchni (około 1,5 km). Jednak najsilniejszy wpływ na redukcję przyrostów rocznych miały pobliskie zakłady chemiczne, które w tym okresie w wyniku bardzo dużej produkcji i stosowanych technologii emitowały do atmosfery: dwutlenek siarki, związki fluoru, amoniak, mgły kwasu siarkowego i pyły. Przy wiatrach północno-zachodnich i w stanach bezwietrznych zanieczyszczenia te osiadały w pobliżu zakładów lub były tu przez wiatry przenoszone. Lata 1992–1999 to okres gwałtownego wzrostu szerokości słoju, związany ze zmianami ustrojowymi w naszym kraju, które miały miejsce w latach 90. XX wieku, a skutkowały najpierw spadkiem produkcji, a w latach późniejszych zmianą technologii i emisją mniejszej ilości zanieczyszczeń. Ostatnie lata w przebiegu chronologii (po roku 2000) to ponowny spadek szerokości słoju. Pomimo obserwowanych w XXI wieku coraz bardziej sprzyjających sośnie warunków klimatycznych – coraz cieplejsze zimy i szybciej rozpoczynająca się wiosna, oraz wzrostu zawartości CO₂ w powietrzu – nie zauważa się wzrostu szerokości przyrostu rocznego. Zagadnienie to, opisywane przez wielu autorów, jest określane mianem dywergencji i szeroko dyskutowane. Współczesne zmiany klimatyczne, szczególnie szybki wzrost temperatury okresu zimowego oraz zwiększenie ekstremalności zjawisk pogodowych, do chwili obecnej nie wpływają pozytywnie na szerokość przyrostu rocznego badanych drzewostanów sosnowych. Istnieje potrzeba dalszego monitoringu reakcji przyrostowych w sytuacji nieznanego wpływu podejmowanych działań w ramach polityki klimatycznej w nadchodzących dekadach. Szczególnie drzewostan sosnowy w zaawansowanym wieku powinien być poddany ciągłej kontroli, ponieważ narażony jest na zagrożenia szkodliwymi emisjami zanieczyszczeń z zakładów chemicznych oraz zmiany niekorzystne dla pełnionej funkcji rekreacyjnej.

Podobne analizy dla sosny zwyczajnej z narażonej na duże zanieczyszczenie powietrza Puszczy Wkrzańskiej przeprowadzili Szychowska-Krapiec i Wiśniowski (1996) oraz Borowiec i inni (2005a, b). Szczególnie w latach 80. XX wieku zanotowali oni w niewielkiej odległości od Zakładów Chemicznych Police obumieranie wierzchołków drzew, nekrozy igieł, silne redukcje przyrostowe i wypadające słoje. Wielkość redukcji i liczba wypadających słoju zależała od odległości od emitenta i wieku drzew (Szychowska-Krapiec, Wiśniowski 1996; Borowiec et al. 2005a, b). W rejonie Olkusza związek pomiędzy liczbą, wielkością i okresem trwania redukcji przyrostów a odległością od emitenta wykazała Danek (2008). Autorka wskazała także na negatywny wpływ odwodnienia terenu na sosny poddane presji zanieczyszczeń przemysłowych.

Negatywny wpływ na przyrosty radialne sosny pyłu powstającego przy produkcji nawozów (podobny profil produkcyjny badanego emitenta do zakładów chemicznych w Policach) raportują Havas i Huttunen (1972). Reakcje przyrostowe są przesunięte w czasie i zauważalne u drzew w różnym wieku (50- i 100-letnich). Na silny związek pomiędzy szerokością przyrostu rocznego a emisją zanieczyszczeń (głównie metali ciężkich, a szczególnie cynku) wskazały badania przeprowadzone przez De Ridder i innych (2007) w Belgii. Wraz ze zmniejszeniem emisji metali ciężkich zauważono wyraźny wzrost szerokości słoju, jednak problemem był tu także brak długich ciągów pomiaru emisji zanieczyszczeń. Redukcje przyrostów związane są także z emisją związków miedzi (Thompson 1981). Złożone chronologie były silnie skorelowane z początkiem produkcji oraz odległością od emitenta. Na możliwość rekonstrukcji ilości emitowanych zanieczyszczeń (zawartość metali ciężkich w słojach oraz zmiana szerokości słoju) wskazał także Lepp (1970). Jednak w interpretacji wyników uwzględnić należy procesy związane z pobieraniem, transportem i osadzaniem metali ciężkich w drzewach. Na trudności w badaniach związku pomiędzy szerokością przyrostów rocznych drzew a zanieczyszczeniami zwraca uwagę także Cook (1987). Przedstawił on szereg analiz statystycznych pomagających wyodrębnić sygnał pochodzący z zanieczyszczonego środowiska w rytmie przyrostowym drzew i zwrócił uwagę na duże znaczenie badań tego zagadnienia w czasie silnego zanieczyszczenia środowiska oraz pogorszenia stanu zdrowotnego i wypadania z tego powodu często całych drzewostanów.

7. Wnioski

Sosna rosnąca na terenach intensywnie wykorzystywanych rekreacyjnie w Lasach Miejskich Szczecina wykazuje zależności ‘przyrost – klimat’ typowe dla tej części Europy. Głównym czynnikiem modelującym szerokość przyrostów są warunki termiczne przełomu zimy i wiosny, a także warunki pluwialne okresu letniego. Jednocześnie z powodu bliskości największego w regionie emitenta zanieczyszczeń przemysłowych wykazano wyraźny związek pomiędzy szerokością przyrostu a wielkością i okresem emisji.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródło finansowania

Badania sfinansowano w ramach dotacji statutowej Pracowni Klimatologii i Meteorologii oraz Zakładu Geologii i Paleogeografii Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Szczecińskiego.

Dziękujemy studentom I roku Geologii II st. na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Szczecińskiego (rok akademicki 2016/2017) za pomoc w pracach terenowych i laboratoryj-

nych. Bardzo dziękujemy także panu Wojciechowi Tomczakowi, emerytowanemu kierownikowi Lasów Miejskich za udzielenie informacji dotyczących badanej powierzchni.

Literatura

- Bijak S. 2013. Sygnał klimatyczny w przyroście radialnym wybranych iglastych gatunków drzew w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym Rogów. *Leśne Prace Badawcze* 74(2): 101–110. DOI 10.2478/frp-2013-0010.
- Borowiec S., Zabłocki Z., Leśnik T., Cedro A. 2005a. Evaluation of the effect of pollution emitted by the Chemical Works “Police” in the years 1969–2000 on annual tree-ring increments of Scots pine from selected research plots in the primeval forest “Puszcza Wkrzańska”, Forest Inspectorate Trzebież. Part I: Amounts of sulphur and fluorine compounds in precipitation and their accumulation in Scots pine needles. *Folia Universitatis Agriculturae Stettienensis* 244, seria *Agricultura* 99: 23–30.
- Borowiec S., Zabłocki Z., Leśnik T., Cedro A. 2005b. Evaluation of the effect of pollution emitted by the Chemical Works “Police” in the years 1969–2000 on annual tree-ring increments of Scots pine from selected research plots in the primeval forest “Puszcza Wkrzańska”, Forest Inspectorate Trzebież. Part II: Changes of average annual growth ring widths of Scots pine. *Folia Universitatis Agriculturae Stettienensis* 244, seria *Agricultura* 99: 31–42.
- Brzęk Ł., Kaczka R.J., Czajka B. 2014. Zróznicowanie sygnału klimatycznego w przyrostach sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. z lasów klasy *Erico-Pinetea* w Tatrach. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 40(3): 220–228.
- Cedro A. 2004. Zmiany klimatyczne na Pomorzu Zachodnim w świetle analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej, dąglejki zielonej i rodzimych gatunków dębów. Wydawnictwo In Plus, Szczecin, 1–149. ISBN 83-89402-03-3.
- Cedro A., Bosiacka B., Myśliwy M. 2013. Dendrochronological analysis of three pine species used as pioneer species to stabilize the coastal dunes of the southern Baltic coast. *Baltic Forestry* 19(2): 226–235.
- Cook E.R. 1987. The use and Limitations of Dendrochronology in Studying Effects of Air Pollution on Forests, in: Hutchinson T.C., Meema K.M. (eds) *Effects of Atmospheric Pollutants on Forests, Wetlands and Agricultural Ecosystems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 277–290. ISBN 978-3-642-70876-3.
- Cook E.R., Kairiukstis A. 1992. *Methods of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, 1–394. ISBN 0-7923-0586-8.
- Czarnecka M. 1996. Współczesny stan klimatu Szczecina, w: *Współczesne zmiany klimatyczne. Rozprawy i studia US* 224: 12–29.
- Danek M. 2008. Wpływ działalności przemysłowej na szerokość przyrostów rocznych sosen (*Pinus sylvestris* L.) w rejonie Olkusza. *Sylwan* 11: 56–62.
- Deutsches Meteorologisches Jahrbuch. 1938–1948. Gegruckt bei H. W. Köbner & Co. Hamburg.
- Havas P., Huttunen S. 1972. The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biological Conservation* 4/5: 361–368. DOI 10.1016/0006-3207(72)90052-3.
- Holmes R.J. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69–78.
- Holmes R.J. 1994. *Dendrochronology Program Library. Users Manual*. University of Arizona, Tucson.
- Kaennel M., Schweingruber F.H. 1990. Multilingual Glossary of Dendrochronology. WSL FNP, Haupt, 1–467. ISBN 3-258-05259-X.
- Karolewski P., Lorenc-Plucińska G. 1993. Zaburzenia w procesach fizjologicznych i metabolizmie pod wpływem gazowych zanieczyszczeń powietrza, w: *Biologia sosny zwyczajnej* (red. S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała) PAN ID, Sorus, Poznań-Kórnik, 193–208. ISBN 83-85599-21-5.
- Kocięcki S. 1993. Wpływ zanieczyszczeń środowiska na produkcję nasion, w: *Biologia sosny zwyczajnej* (red. S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała) PAN ID, Sorus, Poznań-Kórnik, 404–408. ISBN 83-85599-21-5.
- Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa, 1–441. ISBN 978-83-01-16022-7.
- Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszynska A. 2012. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *International Journal of Biometeorology* 56: 1–10. DOI 10.1007/s00484-010-0390-5.
- Koźmiński C., Michalska B. (red.) 2001. *Atlas klimatycznego ryzyka upraw roślin w Polsce*. Akademia Rolnicza, Szczecin, 81 s. ISBN 8387327247, 9788387327248.
- Koźmiński C., Michalska B. 2005. *Usłonecznienie w Polsce*. AR w Szczecinie, US, Szczecin, 1–110. ISBN 83-7317-026-X.
- Koźmiński C., Michalska B. 2008. *Agrometeorologia i klimatologia*. AR w Szczecinie, US, Szczecin, 1–174. ISBN 83-7317-055-3.
- Krawczyk A. 1995. *Program komputerowy TREE RINGS*. Kraków.
- Länelaid A., Sohar K., Kull A. 2014. Kuivenduse mõju ulatus Tellissaane rabas mändide jämeduskasvu järgi, in: Tammiksaar E., Pae T., Mander Ü. (ed.) *95 Years of Estonian Geography: Selected Studies*. Tartu, 219–229.
- Lepp N.W. 1970. The potential of tree-ring analysis for monitoring heavy metal pollution patterns. *Environmental Pollution* 9/1: 49–61. DOI 10.1016/0013-9327(75)90055-5.
- Łodzińska-Jurkiewicz O. 2016. Tajemnice drzewostanu sosnowego jednego z najstarszych poligonów w Europie – Poligonu Drawskiego. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 48(3): 56–62.
- Mazurkiewicz N., Podlasińska J. 2014. The influence of Chemical Works “Police” on chemical composition of *Pinus sylvestris* needles, *Pleurozium schreberi* and soil samples. *Environmental Protection And Natural Resources* 25, 2(60): 11–15. DOI 10.2478/oszn-2014-0009.
- Meyer B. 2011. Tereny leśne Szczecina jako obszar aktywności turystycznej i rekreacyjnej mieszkańców. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 3(28): 207–212.
- Meyer F.D. 1997–1998. Pointer years analysis in dendrochronology: a comparison of methods. *Dendrochronologia* 16–17: 193–204.
- Mindur B. 2000. *Dendrometer 1.0*. Kraków.
- Muter E. 2012. Zmienność warunków pogodowych w latach wskaźnikowych w sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) w Puszczy Niepołomickiej. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 1(30): 37–46.
- Nowacki G.J., Abrams M.D. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-oak oaks. *Ecological Monographs* 67(2): 225–249.
- Oleksyn J. 1993. Zróznicowanie wrażliwości na działanie szkodliwych czynników abiotycznych, w: *Biologia sosny zwyczajnej* (red. S. Białobok, A. Boratyński, W. Bugała) PAN ID, Sorus, Poznań-Kórnik, 395–404.
- Olesiak A., Tomusiak R., Kędziora W., Wojtan R. 2014. Charakterystyka dendrochronologiczna drzew rosnących na wydmach nadmorskich. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 40(3): 211–219.
- De Ridder M., Haneca K., Beeckman H., Samson R., Van Acker J. 2007. Dendrochronological monitoring of air pollution in the

- Ghent canal area (Belgium). TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. <http://hdl.handle.net/1854/LU-855119> [9.09.2017]
- Roczniki Meteorologiczne IMGW (1948–1998).
- Schweingruber F.H. 1989. Tree rings. Basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, 276 s. ISBN 978-0-7923-0559-0.
- Szychowska-Krąpiec E., Wiśniowski Z. 1996. Zastosowanie analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie zakładów chemicznych „Police” (woj. szczecińskie). *Geologia* 22(3): 281–297.
- Thompson M.A. 1981. Tree rings and air pollution: A case study of *Pinus monophylla* growing in east-central Nevada. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological* 26(4): 251–266. DOI 10.1016/0143-1471(81)90047-7.
- Walanus A. 2001. DendroGraph – program druku krzywych grubości słoju przyrostów rocznych. Instrukcja obsługi programu DendroGraph. Kraków.
- Walanus A. 2002. Instrukcja obsługi programu TCS. Program TCS do obliczania lat wskaźnikowych. Kraków.
- 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 Climate and Applied Meteorology* 23: 201–213.
- Wilczyński S., Krąpiec M., Szychowska-Krąpiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylvan* 8: 53–61.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Rozprawy* 464 (341): 1–221.
- Zielski A., Krąpiec M. 2004. Dendrochronologia. PWN, Warszawa, 1–328. ISBN 83-01-14226-X.

Wkład autorów

A.C. – prace terenowe, prace laboratoryjne (50%), prace kameralne (50%), pisanie tekstu (60%), przygotowanie grafiki (60%); B.C. – prace laboratoryjne (50%), prace kameralne (50%), pisanie tekstu (40%), przygotowanie grafiki (40%).