

Klimatyczne i pozaklimatyczne czynniki wpływające na przyrost grubości drzew na przykładzie cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) w Górach Bardzkich (Sudety)

Elżbieta Muter, Sławomir Szczerba, Sławomir Wilczyński, Bogdan Wertz

Abstrakt. Na przyrost grubości drzew w sposób kompleksowy wpływa wiele czynników. W przypadku cisa pospolitego, który zazwyczaj rośnie pod okapem innych drzew, zmiany w górnej warstwie drzewostanu mogą być ważnym czynnikiem wpływającym na szerokości słoików rocznych. Wywierty pobrano w 1998 roku w Rezerwach „Cisy” i „Cisowa Góra” w Górach Bardzkich. Opracowano bezwzględnie datowane chronologie cisa i określono wpływ temperatur i opadów na kształtowanie się słoików. Wyniki wskazują, że najważniejszym czynnikiem ograniczającym przyrost grubości cisa jest niska temperatura miesięcy zimowych, szczególnie lutego i marca. Opracowane chronologie porównano między sobą i stwierdzono wysoką zgodność rocznych reakcji przyrostowych drzew w obu rezerwach. Współczynnik podobieństwa „Gleichläufigkeit” wyniósł 80,6% ($p < 0,00000$, $N = 152$). Stwierdzono także wyraźne różnice w długookresowych fluktuacjach i trendach przyrostu grubości. W Rezerwacie „Cisy” nastąpił gwałtowny wzrost szerokości słoików wszystkich drzew w roku 1930. Drzewa w Rezerwacie „Cisowa Góra” nie wykazują tak zgodnej reakcji. Prawdopodobną przyczyną stwierdzonych różnic jest odmienna historia drzewostanów w obu rezerwach i różne warunki świetlne w niektórych wieloletniach.

Słowa kluczowe: *Taxus baccata*, przyrost grubości, dendroklimatologia, warunki świetlne

Abstract. Climatic and non-climatic factors affecting the radial growth of trees on the example of the common yew (*Taxus baccata* L.) in the Bardzkie Mountains (Sudety Mts.). The radial growth of trees is affected in a comprehensive manner by many factors. In case of common yew, which usually grows under the canopy of other trees, changes in the upper forest layer can be an important factor influencing the tree-ring widths. The increment cores were collected in 1998 from protected areas "Cisy" and "Cisowa Góra" in the Bardzkie Mountains. The absolutely dated chronologies of yew were developed and the influence of temperature and precipitation on the forming of tree-rings were determined. The results indicate that the most important factor limiting the radial growth of yew is the low temperatures of winter months, especially in February and March. The resulting chronologies were compared to each other and we found high agreement of annual incremental reactions of trees in both reserves. "Gleichläufigkeit" coefficient was 80.6% ($p < 0.00000$, $N = 152$). We also found significant differences in long-term fluctuations and trends of radial growth. In reserve "Cisy", the visible

increase of tree ring widths of all yews appeared in the year 1930. The trees in reserve "Cisowa Góra" did not show such similar reaction. The probable reason of these differences are various forest stand histories in both reserves and different light conditions in some periods.

Key words: *Taxus baccata*, radial growth, dendroclimatology, light conditions

Wstęp

Na przyrost grubości drzew w sposób kompleksowy wpływa wiele czynników. Do najważniejszych należą cechy genetyczne osobnika (gatunek drzewa), warunki siedliskowe (w tym klimat i gleba ściśle związane z położeniem geograficznym), stosunki biocenotyczne, a także wydarzenia losowe i działalność człowieka. Generują one różne rodzaje zmienności przyrostów radialnych (Fritts 1976; Feliksik 1990; Muter 2004).

Cis pospolity (*Taxus baccata* L.) jest gatunkiem rzadkim, chronionym i lokalnie zagrożonym. Jest związany z łagodnym i wilgotnym klimatem atlantyckim, a wschodnia granica jego zasięgu przebiega przez Polskę (Kruszelnicki 2001). Gatunek ten jest stosunkowo rzadko wykorzystywany w badaniach dendrochronologicznych (Cedro 2012). W przypadku cisa, rosnącego najczęściej pod okapem innych drzew, pośród wielu czynników wpływających na tworzenie przyrostów grubości należy rozważyć także wpływ zmian w górnej warstwie drzewostanu. Cis wprawdzie wytrzymuje silne i długotrwałe ocienienie, ale wielu autorów podkreśla, że korzystniejsze dla jego rozwoju są miejsca o zwiększonym dostępie światła (Król 1975; Wilczkiewicz 1981; Boratyński i in. 1997; Bodziarczyk i Zator 2004). Wnioski te wysuwane są na podstawie żywotności drzew, przyrostu wysokości oraz kwitnienia i obradzania nasion, natomiast niewiele jest prac uwzględniających przyrosty radialne tego chronionego gatunku (Gumińska i Marecka 1991; Cedro 2004; 2005; 2012; Cedro i Iszkuło 2011).

Celem pracy było określenie wpływu warunków klimatycznych na szerokości słoju rocznych cisa, a także próba pokazania innych rodzajów zmienności przyrostu grubości tego gatunku, generowanych przez czynnik pozaklimatyczny, związany między innymi z historią drzewostanów.

Teren badań

Materiał badawczy w postaci wywierców pobrano w dwóch rezerwach na Grzbiecie Zachodnim Gór Bardzkich, największym skupisku cisa w polskich Sudetach (Boratyński i in. 1997). Rezerwat „Cisy” (50°31'N; 16°43'E; pow. ok. 20 ha, utworzony w 1954 r.), położony na zboczach wzniesienia Brzeźnicka Góra na wysokości 370–490 m n.p.m., obejmuje fragment naturalnego starodrzewu m.in. z dębem, jesionem i świerkiem. W Rezerwacie „Cisowa Góra” (50° 32'N; 16°43'E; pow. ok. 18 ha, utworzonym w 1953 r.), leżącym na stokach Buczka i Małego Buczka na wysokości 400–550 m n.p.m., występują fragmenty mieszanego lasu z dębem, bukiem, lipą, jodłą, świerkiem i innymi gatunkami. Rezerваты oddalone są od siebie o około 2 km. W obu występują gleby żyzne, głębokie, umiarkowanie wilgotne, w podtypie gleb brunatnych kwaśnych (Wilczkiewicz 1981).

Material i metody

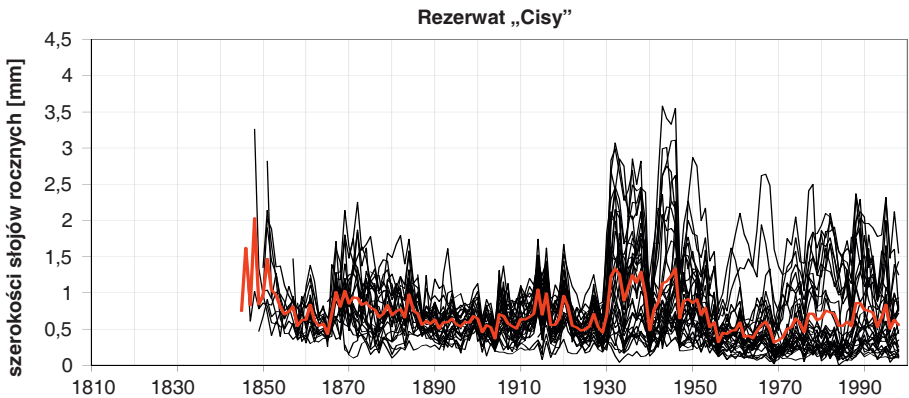
Wywierty pobrano w listopadzie 1998 roku, po uzyskaniu zezwolenia od Wojewódzkiego Konserwatora Przyrody w Wałbrzychu (Oś.V.6130/9/98 z dnia 16.11.1998). W obu rezerwach wszystkie cisy rosły w dolnym piętrze drzewostanu, osiągając od 7 do kilkunastu metrów wysokości, pod okapem znacznie wyższego drzewostanu panującego. Do badań wybierano drzewa żywotne, o regularnie rozwiniętej koronie i pniu bez widocznych oznak uszkodzeń. Było to ważne, ponieważ wiele drzew w omawianych rezerwach miało pnie uszkodzone przez spalanie. Ponadto nie wybierano drzew, które mogły mieć pnie zrosnięte z dwu lub więcej pędów.

Za pomocą świdra Presslera pobrano po dwa wywierty z przeciwległych stron pnia wybranych drzew, na wysokości 1,3 m nad powierzchnią gruntu. Łącznie pobrano 128 wywiertów (z 64 drzew), z czego 48 z Rezerwatu „Cisy” oraz 80 z Rezerwatu „Cisowa Góra” i jego sąsiedztwa, w tym z kilku drzew martwych. Szerokości słoików rocznych pomierzono z dokładnością do 0,01 mm za pomocą programu WINDENDRO w kierunku od kory do rdzenia, prostopadłe do granicy słoików. Do sprawdzenia poprawności wykonanych pomiarów wykorzystano program COFECHA z pakietu DPL (*Dendrochronology Program Library*, Holmes 1983). Datowanie słoików cisa okazało się trudne ze względu na dość liczne słoje niewykształcone (wypadające), zgniliznę, pęknięcia i przebarwienia. Z tego względu wątpliwe serie pominięto i ostatecznie do analiz wykorzystano 33 wywierty z 17 drzew z Rezerwatu „Cisy” i 44 wywierty z 29 drzew z Rezerwatu „Cisowa Góra”. Dla każdego rezerwatu opracowano chronologię rzeczywistą jako średnią arytmetyczną zsynchronizowanych szerokości słoików w każdym roku. Ponadto obliczono średnie ruchome 11-letnie, aby uwypuklić długo- i średniookresowe trendy i fluktuacje przyrostów grubości badanych cisów. W programie ARSTAN (Holmes 1994) przeprowadzono standaryzację zsynchronizowanych serii pomiarów, dopasowując do każdej z nich ujemną funkcję wykładniczą, linię regresji o ujemnym współczynniku nachylenia lub prostą poziomą przechodzącą przez średnią szerokość słoja danej serii. Do usunięcia autokorelacji zastosowano modele autoregresji. Indeksy obliczono, dzieląc wartości pomierzone przez wartości teoretyczne z dopasowanych linii trendu. Po uśrednieniu serii indeksów otrzymano chronologie indeksowane dla obydwu rezerwatów. Zostały one następnie wykorzystane w analizie *response function*, którą przeprowadzono w programie RESPO z pakietu DPL (Holmes 1994). Dzięki temu określono wpływ średnich miesięcznych temperatur powietrza i miesięcznych sum opadów w Kłodzku (stacja IMGW; 50°26'N; 16°39'E; 356 m n.p.m.) w okresie 1932–1998 na szerokości słoików badanych cisów. W analizach uwzględniono miesiące od maja poprzedniego roku do września roku tworzenia się słoików. Obliczono także współczynniki determinacji r^2 . Aby stwierdzić, czy wpływ klimatu zmienia się w wieloletniach, w których przyrosty grubości badanych drzew miały różne tendencje w obu rezerwach, wykorzystano dane meteorologiczne ze Śnieżki (stacja IMGW; 50°44'N; 15°44'E; 1603 m n.p.m.), ze względu na dostępność znacznie dłuższych serii pomiarowych od roku 1891. Obliczono współczynniki determinacji r^2 , uwzględniając trzy 35-letnie okresy: 1891–1925, 1926–1960, 1961–1995.

Aby przedstawić różnice w tempie przyrostu grubości badanych cisów w każdym z rezerwatów, na podstawie szerokości słoików rocznych drzew zrekonstruowano przyrost pierścieni bez kory. W tym celu roczne przyrosty wszystkich drzew z danego rezerwatu zostały uśrednione w poszczególnych latach życia drzew i pomnożone przez liczbę 2.

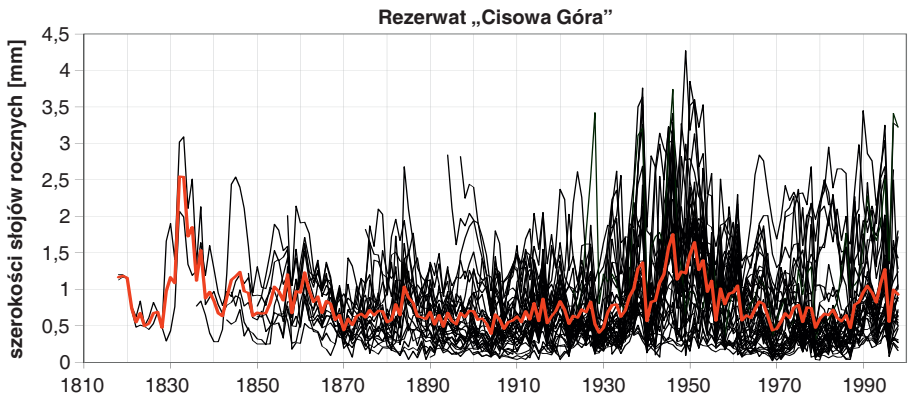
Wyniki

Dla obydwu rezerwatów zestawiono zsynchronizowane szerokości słoików rocznych drzew, pomierzone na poszczególnych wywiertach (ryc. 1 i 2). W Rezerwacie „Cisy” po wieloletnim słabym przyroście zaznacza się wyraźny wzrost szerokości słoików wszystkich drzew w roku 1930 (ryc. 1). Drzewa z Rezerwatu „Cisowa Góra” nie wykazują tak zgodnej reakcji (ryc. 2). Na rycinie 3 przedstawiono chronologie indeksowane cisów z obu rezerwatów. Zgodność krótkookresowych reakcji przyrostowych cisów z obu stanowisk jest wyraźna i wyraża ją wysoki współczynnik korelacji $r = 0,66$ ($p = 0,00$) i podobieństwa „Gleichläufigkeit” = 80,6% ($p = 0,00000$), przy okresie porównań $N = 152$ lata (1847–1998).



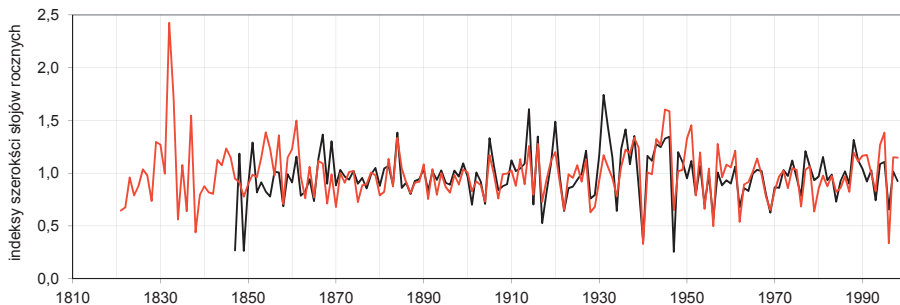
Ryc. 1. Zsynchronizowane szerokości słoików rocznych z poszczególnych wywiertów z Rezerwatu „Cisy” oraz średnia obliczona na ich podstawie (linia czerwona pogrubiona)

Fig. 1. Synchronized tree-ring widths of the samples from "Cisy" protected area and their mean values (red bold line)



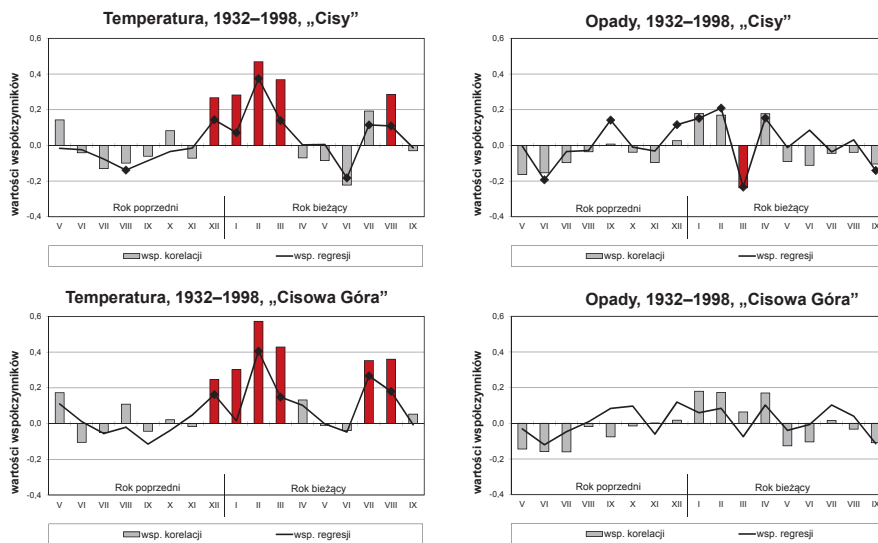
Ryc. 2. Zsynchronizowane szerokości słoików rocznych z poszczególnych wywiertów z Rezerwatu „Cisowa Góra” oraz średnia obliczona na ich podstawie (linia czerwona pogrubiona)

Fig. 2. Synchronized tree-ring widths of the samples from "Cisowa Góra" protected area and their mean values (red bold line)



Ryc. 3. Chronologie indeksowane cisa z Rezerwatów „Cisy” (czarna linia) i „Cisowa Góra” (czerwona linia)
Fig. 3. Indexed chronologies of yew from “Cisy” (black line) and from “Cisowa Góra” (red line) protected areas

Wyniki analiz dendroklimatycznych przedstawiono na rycinie 4. Decydujący wpływ na szerokości słoików rocznych cisa w Górach Bardzkich ma temperatura miesięcy zimowych, w szczególności lutego i marca. Korzystnie na przyrost grubości badanych drzew wpływają również wysokie temperatury lipca i sierpnia roku tworzenia przyrostu. Opady mają wyraźnie mniejsze znaczenie dla przyrostu grubości badanych cisów, jedynie wysokie sumy opadów w marcu są niekorzystne dla drzew w Rezerwacie „Cisy”. Współczynniki determinacji r^2 , obliczone dla

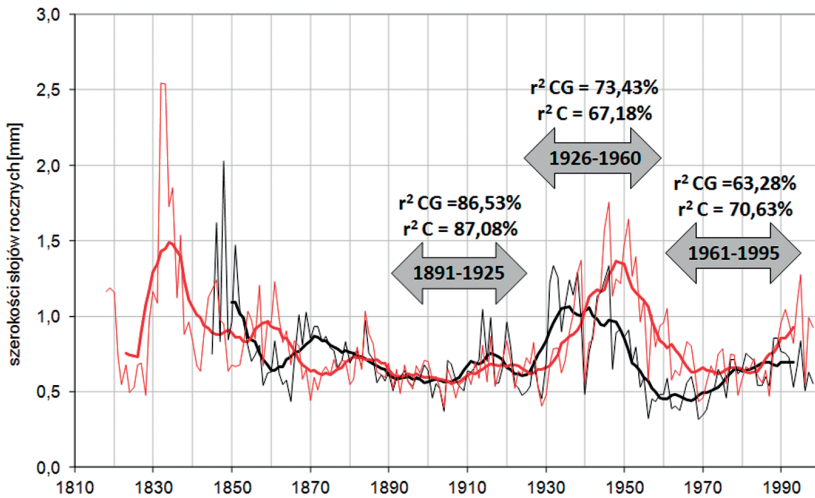


Ryc. 4. Zależność indeksów szerokości słoików cisa od temperatur i opadów wyrażona jako: słupki – współczynniki korelacji, czarna linia – współczynniki regresji, kolor czerwony i czarne znaczniki – współczynniki istotne przy $p \leq 0,05$

Fig. 4. Relationship of yew tree-ring width indices with temperatures and precipitation, expressed by: slupki – correlation coefficients, black line – regression coefficients, red bars and black squares – significant coefficients ($p \leq 0,05$)

okresu 1932–1998, są bardzo wysokie i wynoszą dla Rezerwatu „Cisy” 60%, natomiast Rezerwatu „Cisowa Góra” 62%. Świadczą one o silnym łącznym wpływie zmienności analizowanych elementów meteorologicznych na zmienność szerokości słoju badanych cisów.

Średnio- i długookresowe fluktuacje i trendy w przyroście grubości cisów przedstawiono w postaci chronologii rzeczywistych i obliczonych średnich ruchomych 11-letnich (ryc. 5). Przy takim zestawieniu ujawniają się różnice w średnich szerokościach słoju badanych drzew, zwłaszcza w niektórych okresach. W latach 1855–65, 1940–75, 1985–95 przyrost grubości kształtował się na wyższym poziomie w Rezerwacie „Cisowa Góra”, natomiast w latach 1845–55, 1867–82 i 1930–40 szersze słoje tworzyły drzewa w Rezerwacie „Cisy”. W długim 50-letnim okresie w latach 1880–1929, średnie krzywe przyrostowe drzew z obydwu stanowisk mają bardzo zbliżony przebieg, po czym zaznacza się zwiększony w różnym zakresie przyrost grubości w latach 1930–50. Potem cisy z obydwu rezerwatów tworzyły słoje coraz węższe, aż do lat 70. XX wieku, kiedy powoli nastąpiło odwrócenie tendencji przyrostowej drzew. Na rycinie 5 przedstawiono także obliczone współczynniki determinacji w trzech wieloletnich o różnych tendencjach przyrostowych. Wynika z nich, że w okresie 1891–1925, kiedy krzywe przyrostowe z obydwu rezerwatów mają zgodny przebieg, zmienność warunków pogodowych była dominującym czynnikiem kształtującym przyrosty grubości cisów. W latach 1926–1960 siła oddziaływania klimatu na szerokości słoju badanych drzew słabnie, prawdopodobnie pod wpływem oddziaływania innego czynnika. Biorąc pod uwagę kierunek i czas reakcji wzrostowych, można przypuszczać, że nastąpiła wyraźna poprawa warunków świetlnych związana z rozpadem górnych warstw drzewostanów. W ostatnim analizowanym 35-leciu nastąpił głęboki

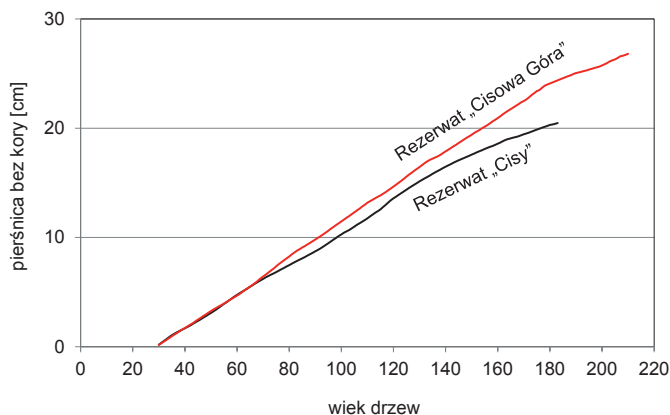


Ryc. 5. Chronologie rzeczywiste oraz średnie ruchome 11-letnie drzew z Rezerwatu „Cisy” – C (czarne linie) i z Rezerwatu „Cisowa Góra” – CG (czerwone linie) oraz współczynniki determinacji, obliczone dla trzech okresów 35-letnich

Fig. 5. Tree-ring chronologies and 11-years moving averages of trees from "Cisy" – C (black lines) and "Cisowa Góra" – CG (red lines) protected areas and the determination coefficients calculated for three periods of 35-year

spadek, a następnie ponowny wzrost szerokości słoju rocznych cisów, co mogło być wynikiem oddziaływania trzeciego czynnika – zmieniającego się poziomu zanieczyszczeń przemysłowych.

Na koniec zrekonstruowano przyrost pierśnicy bez kory u cisów z obu rezerwatów (ryc. 6). W pierwszych czterech dekadach życia drzew tempo przyrostu cisów w obu rezerwach jest zbliżone, jednak później szybciej rosły drzewa w Rezerwacie „Cisowa Góra”. Wydaje się, że różnica w tempie przyrostu cisów w obu rezerwach wynika w większym stopniu z różnic w dostępie światła niż z różnic w warunkach glebowych, które w obu miejscach są podobne.



Ryc. 6. Zrekonstruowana pierśnica bez kory cisów rosnących w Rezerwach „Cisy” i „Cisowa Góra”
Fig. 6. Reconstructed diameter at breast height without bark of yew trees growing in the reserves “Cisy” and “Cisowa Góra”

Dyskusja

W Rezerwach „Cisy” i „Cisowa Góra” były już prowadzone badania dendrochronologiczne nad cisem (Cedro i Iszkuło 2011; Cedro 2012). Wyniki analiz dendroklimatycznych uzyskane w niniejszej pracy są zbliżone do przedstawionych przez wymienionych autorów, jednak jak dotąd nie analizowano możliwości rekonstrukcji zmian warunków świetlnych w górnych warstwach drzewostanu na podstawie słoju cisa. Różnice w wielkości przyrostu na grubość u badanych cisów, zaznaczające się w niektórych dekadach w chronologiach rzeczywistych oraz w krzywych poszczególnych drzew, nie mogą wynikać z odmienności warunków glebowych i klimatycznych, ponieważ te w obu rezerwach są zbliżone. Charakter ukazanych różnic wskazuje na istnienie innego czynnika, o pośrednim czasie oddziaływania w stosunku do czynnika glebowego i klimatycznego, co więcej, pozwala określić lata, w których jego oddziaływanie się rozpoczęło. W roku 1930 w Rezerwacie „Cisy” czynnikiem tym było prawdopodobnie intensywne obumieranie drzew z górnej warstwy drzewostanu i związany z tym zwiększony dopływ światła do badanych drzew, przejawiający się odkładaniem szerszych słoju. Ponowne, stopniowe zamykanie się okapu ponad badanymi cisami dało efekt w postaci malejącego stopniowo przyrostu. Możliwe, że rozpad drzewostanu związany był z wystąpieniem śniegołomów, które w latach 1930–33 wyrządziły duże szkody w Sudetach, zwłaszcza w sztucznych monokulturach

świerkowych. Drzewostany mieszane złożone z jodły, buka i świerka oraz świerczyny rodzimego pochodzenia ucierpiały w tym okresie znacznie mniej (Wilczkiewicz 1976). Ponadto Fałtynowicz i in. (2004) wspominają o wyrębie drzew na terenie rezerwatu „Cisy” w latach 50. XX wieku lub wcześniej i przeprowadzonym następnie odnowieniu lasu. Autorzy stwierdzili bowiem w 2000 roku obecność ponad 50-letnich brzoź oraz innych gatunków, takich jak dąb, modrzew i świerk, które pochodzą z nasadzeń. Prawdopodobnie sadzone były też cisy, o czym wspominał już wcześniej Dominik (1951), który w Górach Bardzkich znajdował sadzone przez niemieckich leśników 90-letnie, dwupiętrowe i równowiekowe drzewostany złożone z buka, dębu oraz cisa, który miał przyspieszać oczyszczanie pni gatunków docelowych.

Podsumowanie

Wyniki badań sugerują, że cisy reagują zwiększonym przyrostem grubości na poprawę warunków świetlnych. W rezerwach ustanowionych dla ochrony populacji cisa powinno się wykonywać w przemyślanych odstępach czasowych stopniowe i powolne prześwietlanie górnych warstw drzewostanów. Jak wynika z tej i wielu innych prac, cisy wykazują wtedy większą żywotność, lepsze obradzanie i zwiększony przyrost grubości i wysokości.

Literatura

- Bodziarczyk J., Zator A. 2004. Rozmieszczenie, struktura i warunki występowania populacji cisa pospolitego *Taxus baccata* L. w paśmie Łysej Góry w Beskidzie Niskim. Acta Agr. Silv. ser. Silv. 42: 3–22.
- Boratyński A., Kmiecik M., Kosiński P., Kwiatkowski P. 1997. Chronione i godne ochrony drzewa i krzewy polskiej części Sudetów i Pogórza Sudeckiego. 9. *Taxus baccata*. Arboretum Kórnickie, 42: 111–147.
- Cedro A., Iszkuło G. 2011. Do females differ from males of European Yew (*Taxus baccata* L.) in dendrochronological analysis? Tree-Ring Research, 67 (1): 3–11.
- Cedro A. 2004. Wpływ warunków klimatycznych na kształtowanie się przyrostów radialnych cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) w Rezerwacie Cisy Staropolskie w Wierchlesie. W: Błaszkiwicz M. i Gierszewski P. (red.). Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych. Prace Geograficzne IGIiPZ PAN, 200: 47–57.
- Cedro A. 2005. Czynniki wpływające na szerokość przyrostów rocznych cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) ze stanowisk Pomorza Zachodniego. W: Girjatowicz J.P. i Koźmiński Cz. (red.). Hydrograficzne i meteorologiczne aspekty badań wybrzeża Bałtyku i wybranych obszarów Polski. Oficyna IN PLUS: 8–13.
- Cedro A. 2012. Dendrochronologia cisa pospolitego w Polsce i na zachodniej Ukrainie. PPH ZAPOL Dmochowski, Sobczyk.
- Dominik T. 1951. Cisy w Górach Bardziańskich koło Barda. Chrońmy Przyrodę Ojczystą, 9–10: 26–31.
- Fałtynowicz W., Halama M., Kmiecik M. 2004. Flora roślin naczyniowych rezerwatu „Cisy” koło Barda (południowo-zachodnia Polska). Acta Botanica Silesiaca, 1: 35–48.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie. Rozprawa habilitacyjna 151.
- Fritts H.C. 1976. Tree Rings and Climate. Academic Press, London.

- Gumińska B., Marecka H. 1991. Cis *Taxus baccata* L. w rezerwacie „Cisy w Malinówce” (województwo krośnieńskie). *Ochrona Przyrody*, 48: 105–119.
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43: 69–75.
- Holmes R.L. 1994. *Dendrochronology Program Library – users manual*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tuscon.
- Kruszelnicki J. 2001. *Taxus baccata* L. Cis pospolity. W: Kaźmierczakowa R., Zarzycki K. (red.). *Polska Czerwona Księga Roślin*. Instytut Botaniki im. W. Szafera, Instytut Ochrony Przyrody, Kraków: 68–70.
- Król S. 1975. Zarys ekologii. W: Białobok S. (red.). Cis pospolity *Taxus baccata* L. Nasze drzewa leśne. T III. PWN, Warszawa–Poznań.
- Muter E. 2004. Dynamika przyrostu na grubość i jej uwarunkowania u wybranych gatunków drzew w Puszczy Niepołomickiej. Praca doktorska, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.
- Wilczkiewicz M. 1976. Gospodarcze znaczenie rodzimych drzewostanów świerkowych w Sudetach Wschodnich. *Las Polski*, 9: 8–10.
- Wilczkiewicz M. 1981. Problem odnowień naturalnych cisa pospolitego *Taxus baccata* w rezerwach Cisowa Góra i Cisy w Górach Bardzkich. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 37 (1): 79–84.

Elżbieta Muter¹, Sławomir Szczerba¹, Sławomir Wilczyński², Bogdan Wertz³

¹Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,
Zakład Bioróżnorodności Leśnej
rlkuchni@cyf-kr.edu.pl

²Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,
Zakład Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej
rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

³Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,
Zakład Biometrii i Produkcyjności Lasu
b.wertz@ur.krakow.pl