

Dendrochronologiczna ocena przyrostu grubości jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w Polskich Karpatach

Bogdan Wertz, Sławomir Wilczyński, Elżbieta Muter

Abstrakt. W pracy analizowano zmiany wielkości przyrostów radialnych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) z 14 drzewostanów z obszaru polskich zachodnich Karpat. Dla każdego drzewostanu skonstruowano chronologie szerokości słoju rocznych. Zbadano także zmiany jednorodności reakcji przyrostowych w oparciu o wskaźnik frekwencji oraz występowanie lat wskaźnikowych. Po okresie spadku szerokości przyrostów radialnych, trwającym do początku lat 90. ubiegłego stulecia, odnotowano wzrost szerokości przyrostów jodły. Podobne zmiany dotyczyły stopnia jednorodności reakcji przyrostowych. Obecnie szerokość przyrostów jodeł stopniowo maleje, podczas gdy jednorodność reakcji jest wysoka. Świadczy to o zahamowaniu procesu rewitalizacji jodły w polskich Karpatach.

Słowa kluczowe: trendy przyrostowe, jodła, zamieranie, rewitalizacja

Abstract. **Dendrochronological assessment of radial growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Polish Carpathians.** The paper presents an analysis of the radial incremental changes of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the twentieth century coming from 14 stands from Polish Carpathians. For each of stand actual tree-ring chronology was constructed. There was also examined the homogeneity of incremental reactions, on the basis of frequency indicator and the occurrence of the pointer years. After a period of radial growth decline, lasting until the early 1990s of the last century an increase of the fir radial increment was noted. Similar changes was related to the degree of homogeneity of the incremental reactions. Currently, the width of the tree-rings of firs gradually decreases while the homogeneity of the reactions is high. It indicates inhibition of the fir revitalization process in the Polish Carpathians.

Key words: incremental trends, fir, decline, recovery

Wstęp

Jodła jest jednym z najważniejszych lasotwórczych gatunków na obszarach wyżynnych i górskich południowej Polski. Pomimo aktualnie niewielkiego sumarycznego udziału w lasach Polski, sięgającego 3% (Raport... 2013), jest ona gatunkiem od lat zalecanym do wprowadzania na odpowiednich siedliskach, gdzie może tworzyć trwałe i wysokoprodukcyjne drzewostany. Jest jednym z najbardziej cieniuznośnych gatunków, może zarówno występować jako gatunek współpanujący, jak i budować drzewostany jednogatunkowe, zróżnicowane wysokościowo i wiekowo. Jodła jest przy tym gatunkiem dość wymagającym pod względem warunków siedliskowych, jej odnowienie wymaga często aktywnej ochrony przed zwierzyną.

W XX wieku na terenie Europy obserwowano i odnotowywano duże zmiany dynamiki przyrostowej jodły. Na początku minionego stulecia przyrost jodły kształtował się zgodnie z modelami przyrostu bieżącego gatunków cienioznośnych, osiągającymi stosunkowo późno kulminację bieżącego przyrostu na grubość, po której następuje stopniowy spadek wielkości przyrostów, zwany trendem wiekowym. W drugiej połowie XX wieku, na przełomie lat 60. i 70., u jodły rozpoczęła się depresja przyrostowa, objawiająca się spadkiem szerokości odkładanych przyrostów radialnych. Przyczyn tego zjawiska poszukiwano w różnych czynnikach, jednak większość badaczy była zgodna co do kluczowej roli gwałtownego wzrostu emisji zanieczyszczeń powietrza w tym okresie (Dobrowolska 1989, Zawada 1978). W latach 90. jodła zaczęła nagle i dynamicznie zwiększać wielkość corocznych przyrostów radialnych, co zostało określone jako rewitalizacja tego gatunku (Zawada 2001). Wśród czynników, które miały wpływ na taką reakcję jodły, prawdopodobnie kluczowe było ograniczenie emisji zanieczyszczeń. Wpływ mogło mieć także oddziaływanie nawożenia zdeponowanych wcześniej zanieczyszczeń, spadek konkurencji międzyosobniczej będący wynikiem wydzielenia mniej odpornych osobników lub też zmiany klimatu (Brzeziecki 1999). Dotychczasowe badania ukazują pozytywny trend przyrostowy jodły jedynie do początkowych lat XXI wieku u populacji z centralnej i północno-wschodniej Polski (Bronisz i in. 2010; Koprowski i Gławenda 2007; Krąpiec i Szychowska-Krąpiec 2001; Szychowska-Krąpiec i Wiśniowski 1996; Wertz i Wilczyński 2012). Brak jest prac, które ukazywałyby obecne zachowania przyrostowe jodły w Karpatach, stanowiących główny obszar jej naturalnego występowania.

Celem niniejszej pracy było przeanalizowanie nie tylko wcześniejszych oraz aktualnych trendów zmian przyrostów radialnych jodły na przykładzie kilkunastu populacji cząstkowych z Karpat, ale także zwrócenie uwagi na zmiany jej krótkookresowych zachowań przyrostowych, dotyczących jednorodności reakcji, która jest wskaźnikiem opisującym stan kondycyjny drzew (Schweingruber i in. 1990).

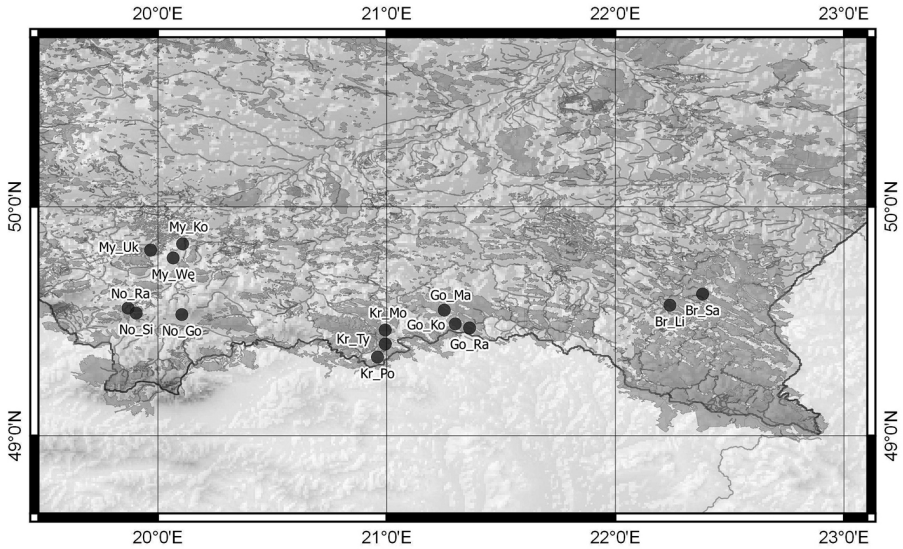
Metodyka

Do badań wybrano 14 drzewostanów (populacji cząstkowych – ryc. 1, tab. 1), w których jodła (*Abies alba* Mill.) miała wiek ok. 100–140 lat i była gatunkiem głównym. Na każdym stanowisku, z 28 jodeł, należących do I lub II klasy biosocjalnej Krafta, pobrano po 1 wywiercie z północnej strony pnia, na wysokości 1,3 m od powierzchni gruntu. Szerokości przyrostów rocznych pomierzono przy pomocy programu CooRecorder. Poprawność datowania sekwencji przyrostów sprawdzono za pomocą programów CDendro oraz COFECHA (Holmes 1986).

Na podstawie osobniczych serii przyrostów radialnych dla każdego stanowiska obliczono chronologię rzeczywistą oraz wyeksponowano jej zmienność średniookresową za pomocą 15-letniej średniej ruchomej. Ocenę jednorodności zachowań przyrostowych drzew oparto na analizie kierunku corocznych zmian szerokości słoju rocznych (zwiększenie, zmniejszenie lub brak zmiany szerokości). Dla każdego stanowiska dla lat, w których liczba drzew była równa co najmniej 10, obliczono wartość wskaźnika proporcji (P) jako udział procentowy drzew, które zwiększyły szerokość słoja w porównaniu z rokiem poprzednim. Na jego podstawie wyznaczono lata wskaźnikowe pozytywne, gdy $P \geq 90\%$ oraz negatywne, gdy $P \leq 10\%$, a także obliczono wskaźnik frekwencji (F) według wzoru:

$$F = |P - 50| + 50[\%]$$

Wskaźnik frekwencji (F) przyjmuje wartości od 50 do 100%. Wartość 100% oznacza najwyższy poziom jednorodności reakcji przyrostowych, gdy wszystkie drzewa zareagowały w ten sam sposób, tzn. zwiększyły lub zmniejszyły szerokość słoja w stosunku do roku poprzedniego. Wartość F równa 50% oznacza z kolei, że połowa drzew zwiększyła, a druga połowa zmniejszyła szerokość słoja w stosunku do roku poprzedniego. Świadczy zatem o najniższym stopniu jednorodności reakcji przyrostowych.

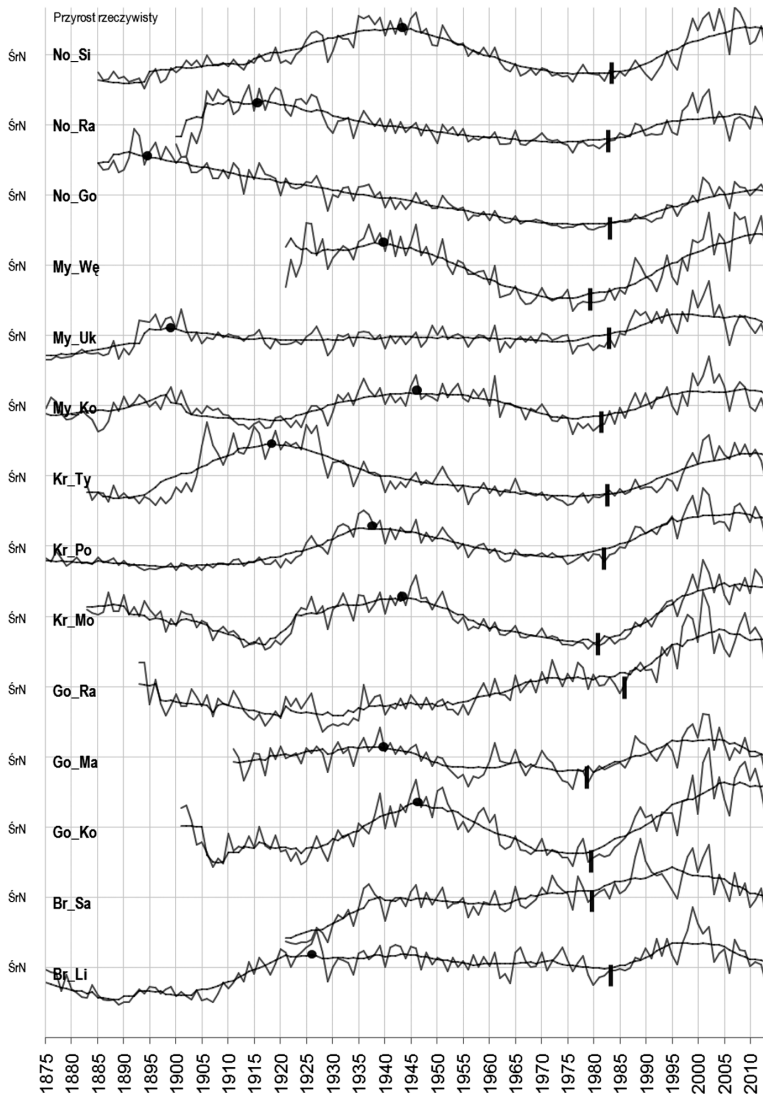


Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych
 Fig. 1. Location of research stands

Wyniki

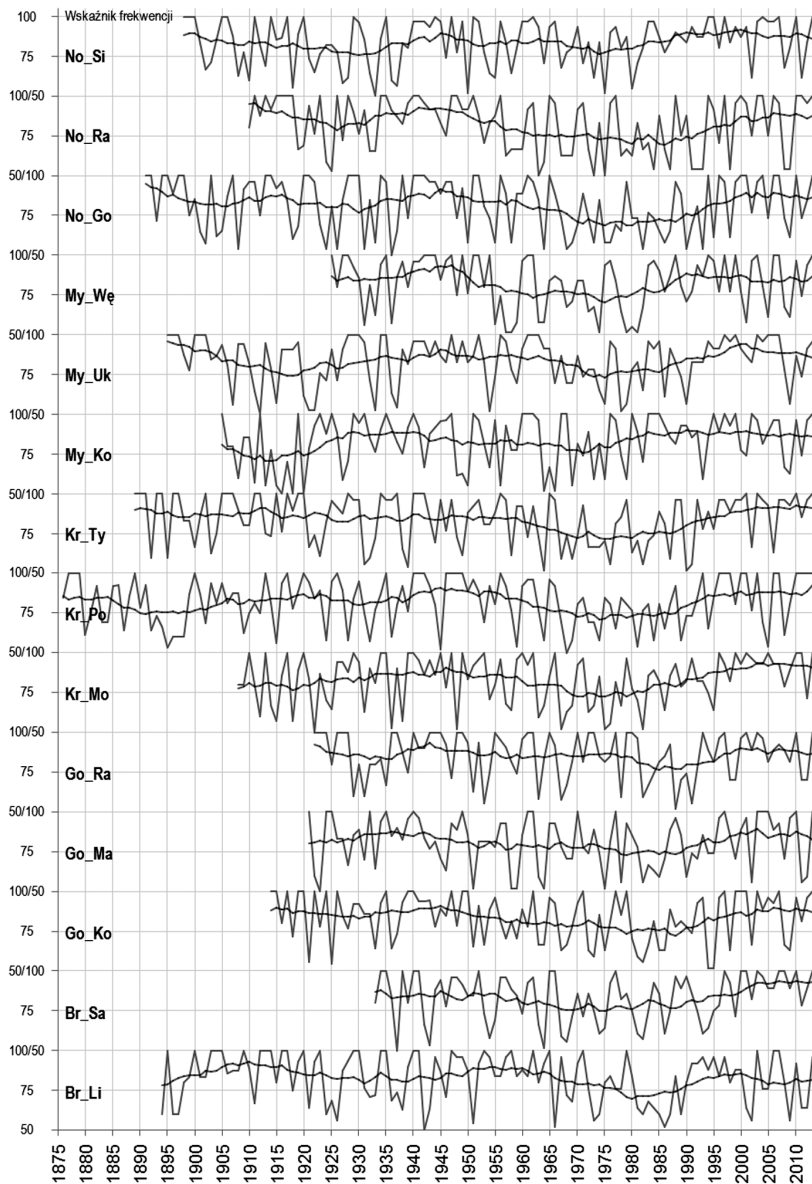
W początkowych dekadach XX wieku chronologie rzeczywiste jodeł miały przebieg zróżnicowany (ryc. 2). Na większości stanowisk bieżący przyrost drzew w tym okresie utrzymywał się na stałym, relatywnie niskim poziomie, a następnie wzrastał, osiągając kulminację. W tym okresie wartości wskaźnika frekwencji, pomimo corocznych zmian, średniookresowo utrzymywały się na stałym poziomie (ryc. 3). Lata wskaźnikowe pojawiały się wtedy dość często (ryc. 4), co świadczy o tym, że wśród drzew istniała wysoka jednorodność corocznych reakcji przyrostowych. Dla całego badanego regionu lata wskaźnikowe dodatnie stwierdzono w latach 1935 i 1941, 1961 oraz 1965, ujemne zaś – w latach 1917, 1929, 1934, 1940, 1947, 1952, 1956 i 1962.

Po osiągnięciu kulminacji przyrostu bieżącego grubości (oznaczonej czarną kropką na ryc. 2) średnie szerokości słoików rocznych jodeł sukcesywnie spadały, co zgodne jest z naturalnym trendem wiekowym. W latach 60. i 70. na większości stanowisk odnotowano największe spadki szerokości słoików rocznych (ryc. 2). Jednocześnie w okresie tym spadła jednorodność reakcji przyrostowych, czego odzwierciedleniem jest długotrwały spadek wskaźnika frekwencji (ryc. 3) oraz praktycznie nie występowały lata wskaźnikowe (ryc. 4). W połowie lat 80. lub na początku lat 90. zaobserwowano odwrócenie wcześniejszej tendencji (oznaczone czarną kreską

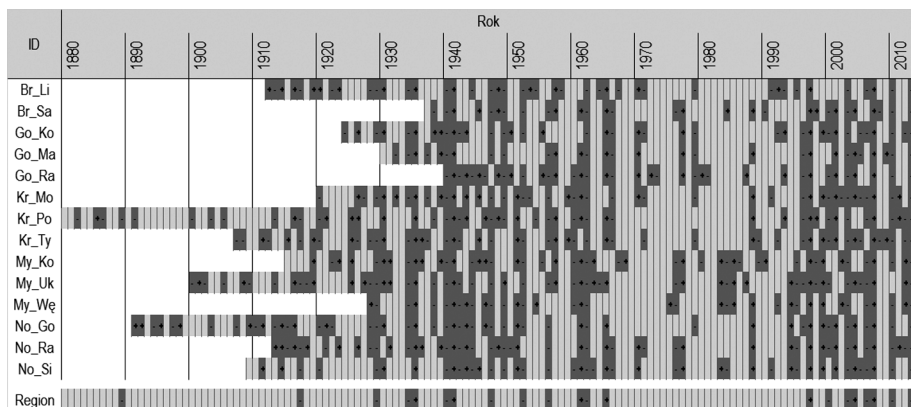


Ryc. 2. Chronologie rzeczywiste stanowisk badawczych oraz średnie ruchome (15-letnie). Poziome linie środkowe oznaczają znormalizowane wartości średnie chronologii z poszczególnych stanowisk (ŚrN), czarne punkty wskazują na kumulację bieżącego przyrostu na grubość, czarne pionowe kreski wskazują zmianę tendencji przyrostowej z ujemnej na dodatnią

Fig. 2. Tree-ring chronologies for research stands with moving average (15 years). The horizontal middle lines represents normalized mean values for chronologies of reasearch stands (ŚrN), black points indicates the time of cumulation of the annual width increment, black vertical bars indicates the change of the incremental trend, from descending to ascending



Ryc. 3. Zmiany w czasie wskaźnika frekwencji dla stanowisk badawczych oraz średnia ruchome (15 lat). Liniami poziomymi oznaczono dla każdego stanowiska odpowiednio frekwencję równą 50%, 75% i 100%
Fig. 3. Temporal changes of frequency indicator for research stands with moving average (15 years). The horizontal lines represents frequency levels of 50%, 75% and 100%, accordingly for each analysed stand



Ryc. 4. Lata wskaźnikowe dla stanowisk badawczych oraz regionu Polskich Karpat
Fig. 4. The pointer years for research stands and region of the Polish Carpathians

na ryc. 2). Na wszystkich stanowiskach zaczęła rosnąć szerokość przyrostów radialnych (ryc. 2) oraz wskaźnik frekwencji (ryc. 3). Z pewnym opóźnieniem, bo dopiero w drugiej połowie lat 90, pojawiły się lata wskaźnikowe (ryc. 4). Powyższe zjawiska widoczne są do początku XXI wieku. Wtedy następuje stabilizacja przyrostu oraz pozostałych wskaźników. W ostatnich latach na większości stanowisk wartości chronologii rzeczywistych maleją, podczas gdy wskaźnik frekwencji oraz częstość występowania lat wskaźnikowych nadal pozostają na względnie stałym, wysokim poziomie, zbliżonym do wartości w początkowym okresie życia drzew, czyli sprzed lat 60. XX wieku.

Dyskusja

Szerokość przyrostu drzew na grubość w danym roku wynika z wpływu wielu czynników. Ich wyodrębnienie nie jest łatwe i może mieć wpływ na wyniki i poprawność wnioskowania. Zagadnienie to nabiera szczególnej wagi w przypadku analizy przyrostów drzew cienioznośnych, rosnących często w drzewostanach zróżnicowanych pod względem wieku, budowy i struktury. Jodła charakteryzuje się naturalną zdolnością do zachowywania witalności, rosnąc wiele lat pod okapem drzewostanu (Jaworski i Zarzycki 1983). Po odsłonięciu często dynamicznie przyrasta na wysokość i grubość, co znajduje odzwierciedlenie w sekwencjach szerokości słoików rocznych. Porównanie odnotowanych przyrostów jodły (tab. 1) z przyrostami jodeł z Nadleśnictwa Zagnańsk w Górach Świętokrzyskich (Bronisz i in. 2010) oraz z obszaru Pojezierza Olsztyńskiego z północno-wschodniej Polski (Koprowski i Gławenda 2007) pozwala stwierdzić, że w Karpatach średnia szerokość słoików była nieco większa niż w Górach Świętokrzyskich, gdzie wyniosła 2,13 mm, i zbliżona do przyrostów z północy Polski, gdzie wahała się w szerokim przedziale od 1,9 do 4,87 mm. Również zróżnicowanie wielkości przyrostów, mierzone odchyleniem standardowym, było podobne do odnotowanego na Pojezierzu Olsztyńskim, gdzie wahało się w granicach od 1,02 do 2,17 mm (Koprowski i Gławenda 2007), natomiast było wyraźnie większe niż w centralnej Polsce, gdzie wynosiło jedynie 0,48 mm (Bronisz i in.

Tab. 1. Charakterystyka położenia stanowisk badawczych i chronologii rzeczywistych
Table 1. Characteristics of research stands location and actual chronologies

Skrót	Nadleśnictwo	Stanowisko	Położenie geograficzne			Charakterystyka chronologii				
			Szerokość geograficzna	Długość geograficzna	Wysokość n.p.m.	Długość	Średnia szerokość słoja	Minimalna szerokość słoja	Maksymalna szerokość słoja	Odczylenie standardowe
Br_Li	Brzozów	Liszna	49,586	22,232	415	139	2,16	0,57	4,74	0,82
Br_Sa	Brzozów	Sady	49,606	22,358	490	93	2,83	0,84	5,33	0,94
Go_Ko	Gorlice	Konieczna	49,488	21,300	579	113	2,98	1,27	6,34	1,15
Go_Ma	Gorlice	Małastów	49,552	21,255	543	103	2,69	1,30	4,53	0,63
Go_Ra	Gorlice	Radocyna	49,469	21,366	586	121	2,64	0,69	6,69	1,25
Kr_Mo	Krynica (LZD)	Mochnaczk	49,462	20,994	733	131	2,02	0,58	4,42	0,87
Kr_Po	Krynica (LZD)	Powroźnik	49,343	20,960	719	139	1,49	0,44	3,98	0,83
Kr_Ty	Krynica (LZD)	Tylicz	49,401	20,994	791	131	2,05	0,79	4,36	0,94
My_Ko	Myślenice	Kornatka	49,838	20,108	342	139	1,85	0,64	3,94	0,62
My_Uk	Myślenice	Ukleina	49,811	19,968	528	139	1,53	0,50	3,84	0,60
My_Wę	Myślenice	Węglówka	49,776	20,066	534	93	2,95	0,99	5,19	1,13
No_Go	Nowy Targ	Gorce	49,529	20,104	1130	129	1,94	0,43	4,78	1,00
No_Ra	Nowy Targ	Rabka	49,558	19,869	588	114	2,14	0,75	3,81	0,75
No_Si	Nowy Targ	Sieniawa	49,535	19,905	640	129	2,04	0,57	4,05	0,89

2010). Należy jednak pamiętać, że porównywanie średnich wartości chronologii rzeczywistych jest wątpliwym wskaźnikiem identyfikującym poszczególne populacje, zależy bowiem od wielu czynników, wśród których kluczowym jest siedlisko, wiek drzew, a także czas i częstotliwość zabiegów hodowlanych.

Stwierdzony w niniejszych badaniach różnicowany przebieg chronologii rzeczywistych w pierwszych dekadach życia drzew, nawet na blisko położonych stanowiskach, świadczy o tym, że średniookresowy przyrost był w tym okresie w największym stopniu zależny od warunków wewnętrznych, kształtowanych zapewne przez konkurencję międzyosobniczą oraz zabiegi hodowlane. Jednocześnie stosunkowo wysokie wartości wskaźnika frekwencji w tym okresie oraz duży udział lat wskaźnikowych świadczą, że w początkowej fazie życia badane drzewa zgodnie reagowały na czynniki zewnętrzne, wśród których najważniejszą rolę przypisać można warunkom meteorologicznym.

W latach 60. i 70. u badanych jodeł nastąpił spadek wielkości odkładanych przyrostów. Podobne zmiany odnotowano we wszystkich badaniach dotyczących analiz przyrostu jodeł zarówno w Polsce (Bijak 2010; Bronisz i in. 2010; Dobrowolska 2008; Feliksik i in. 2000; Kaczka i in. 2012; Koprowski i Gławenda 2007; Wertz i Wilczyński 2012; Wertz 2012; Zawada 2001), jak i na zachodzie Europy (Bigler i in. 2004; Elling i in. 2009). Źródła upatruje się przede wszystkim w rosnącej presji emisji zanieczyszczeń. Ze względu na dużą wrażliwość jodły na

wiele czynników środowiskowych niektórzy autorzy zwracają uwagę na możliwą rolę w tym procesie innych czynników zarówno biotycznych, takich jak presja owadów (Camarero i in. 2003) czy grzybów (Oliva i Colinas 2007), jak też czynników abiotycznych, takich jak susze (Cailleret i in. 2013).

Należy podkreślić, że stosunkowo nieliczne prace podejmują tematykę analiz zmienności szerokości słoju radialnych drzew, u których stwierdzono depresję przyrostową (Feliksik i Wilczyński 2003; Wertz i Wilczyński 2012; Wertz 2012; Wilczyński 2006). Zbieżne ze spadkiem wielkości przyrostów jest obniżenie wskaźnika frekwencji w latach 1960–1990. Oznacza to, że znacznie wzrosło w tym okresie zróżnicowanie kierunku reakcji przyrostowych drzew. Pewien czynnik, jakim prawdopodobnie była zwiększona presja zanieczyszczeń, zdominował reakcje drzew, wprowadzając swoisty chaos przyrostowy. W efekcie poszczególne drzewa stały się mniej wrażliwe na wpływ naturalnych czynników, takich jak warunki meteorologiczne charakteryzujące się dużą zmiennością z roku na rok. Uwidacznia się to w gwałtownym spadku udziału lat wskaźnikowych w tym okresie. Podobny wzrost zróżnicowania reakcji przyrostowych w czasie oddziaływania zanieczyszczeń stwierdzono u jodeł z Wyżyny Kieleckiej (Wertz 2012), u innych gatunków podobne reakcje odnotowano w Sudetach (Wilczyński 2006) oraz w okolicach Norylska w Rosji (Ivshin i Shiyatov 1995).

Wskutek spadku wielkości produkcji przemysłowej, zmian technologicznych oraz rozwijającej się polityki ekologicznej państwa nastąpił na przełomie 80. i 90. lat w Polsce wyraźny spadek emisji zanieczyszczeń (Świątczak 2002). W tym samym czasie u jodły obserwuje się odwrócenie dotychczasowego trendu spadkowego. Gatunek ten zaczął intensywnie przyrastać na grubość. Proces ten był charakterystyczny nie tylko dla jodeł w Polsce (Bijak 2010; Bronisz i in. 2010; Dobrowolska 2008; Feliksik i in. 2000; Kaczka i in. 2012; Koprowski i Gławenda 2007; Wertz i Wilczyński 2012; Wertz 2012), ale również dla populacji w Niemczech (Elling i in. 2009), Francji (Cailleret i in. 2013), Włoszech (Manetti i Cutini 2006) czy też Grecji (Koutavas 2008). Według niektórych autorów nagłe ograniczenie emisji nie mogło prowadzić do natychmiastowej poprawy warunków wzrostu drzew na tak dużym obszarze (Muzika i in. 2002). Można podejrzewać, że czynnikami przyczyniającymi się do tak dynamicznej reakcji drzew były stopniowe zmiany klimatu (Cook 1989; Thompson 1981) oraz wydzielanie się osobników najmniej odpornych, co powodowało poprawę warunków wzrostu pozostałych drzew (Jämbäck i in. 1999; Sutherland i Martin 1990). Osiągnięte wyniki ukazują ponadto, że dynamika procesu rewitalizacji przyrostowej w Karpatach zaznaczyła się szczególnie wyraźnie u jodeł, których przyrost był wcześniej najsilniej ograniczony. Wskazuje to na wysoką zdolność adaptacyjną i duży potencjał regeneracyjny jodły. Podobną prawidłowość zauważono również dla jodeł z obszaru Wyżyny Kieleckiej (Wertz 2012), chociaż nie występowała ona u innych gatunków takich jak sosna (Juknys i in. 2013).

W ostatniej dekadzie przyrost radialny jodeł spada na większości stanowisk, na niektórych spadek ten jest znaczny, szczególnie na tych położonych najdalej na wschodzie. Jednocześnie zróżnicowanie krótkookresowych reakcji przyrostowych drzew jest stosunkowo niewielkie i ustabilizowało się na stałym, wysokim poziomie. Lata wskaźnikowe pojawiają się stosunkowo często. Trudno ocenić, czy odnotowywany obecny spadek przyrostów będzie się nadal utrzymywał. Zarówno wysoki wskaźnik frekwencji, jak i częstotliwość występowania lat wskaźnikowych sugerują, że po okresie zaburzeń w drugiej połowie XX wieku u gatunku tego następuje obecnie powrót do aktywności przyrostowej, kształtowanej głównie przez naturalne warunki oraz trend wiekowy. Jeśli tak jest w istocie, to można uznać, że proces rewitalizacji jodły w Karpatach się zakończył, a w kolejnych dekadach można oczekiwać dalszego spadku szerokości wytwarzanych słoju jodły zgodnie z trendem wiekowym drzew.

Wyznaczone lata wskaźnikowe pokrywają się jedynie częściowo z tymi wyznaczonymi w Górach Świętokrzyskich (Bronisz i in. 2010) oraz na Kaszubach (Bijak 2010). Zatem przetrzenna synchroniczność występowania lat wskaźnikowych u jodły jest ogólnie dość niska, co wskazuje na to, że reakcje przyrostowe tego gatunku są w dużej mierze zależne od czynników lokalnych. Tezę taką potwierdzają wyniki badań jodły z francuskich Alp, gdzie występowanie lat wskaźnikowych było zależne od położenia geograficznego (Desplanque i in. 1999).

Wnioski

- W XX wieku jodła na terenie Karpat charakteryzowała się zróżnicowanymi trendami przyrostowymi. Po kulminacji bieżącego przyrostu u badanych jodeł wystąpił okres silnego spadku szerokości słoju. W tym czasie odnotowano wysokie zróżnicowanie kierunku zmian przyrostu drzew, co wskazuje na spadek ich wrażliwości na czynniki o wysokiej zmienności krótkookresowej, takie jak warunki meteorologiczne.
- W czasie rewitalizacji jodły, która rozpoczęła się na większości badanych stanowisk w połowie lat 90. XX wieku, z pewnym opóźnieniem wzrosła synchroniczność corocznych zmian przyrostowych.
- Otrzymane wyniki dają podstawę do przypuszczenia, że proces rewitalizacji jodły został już zahamowany, a obecnie obserwowany spadek szerokości przyrostów jest procesem naturalnym, wynikającym z trendu wiekowego drzew. Zgodność kierunku zachowań przyrostowych badanych drzew jest przy tym zbliżona do okresu przed obserwowaną wcześniej depresją przyrostu.

Podziękowania

Badania zostały zrealizowane w ramach tematu badawczego Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie o numerze BM-4432/KBiPL. Pragniemy przy okazji bardzo podziękować za pomoc i życzliwość pracownikom LZD w Krynicy i jednostek terenowych PGL Lasy Państwowe, na terenie których przeprowadzono badania.

Literatura

- Bigler C., Gričar J., Bugmann H., Čufar K. 2004. Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *For. Ecol. Manage.* 199 (2–3): 183–190.
- Bijak Sz. 2010. Tree-Ring Chronology of Silver Fir and Its Dependence on Climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria*, 35 (1): 91–94.
- Bronisz A., Bijak Sz., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. *Sylwan*, 154 (7): 463–470.
- Brzeziecki B. 1999. Wzrost żyzności siedlisk leśnych: zjawisko pozorne czy rzeczywiste? *Sylwan*, 143 (11): 99–107.
- Cailleret M., Nourtier M., Amm A., Durand-Gillmann M., Davi H. 2013. Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in Southern France. *Annals of Forest Science*. doi: 10.1007/s13595-013-0265-0.

- Camarero J.J., Martín-Bernal E., Gil-Pelegrín E. 2003. The impact of a needleminer (*Epinotia subsequana*) outbreak on radial growth of silver fir (*Abies alba*) in the Aragón Pyrenees: A dendrochronological assessment. *Dendrochronologia*, 21 (1): 3–12.
- Cook E.R. 1989. The use and limitations of dendrochronology in studying effects of air pollution on forests. W: Hutchinson T.C., Meema K.A. (red.). *Effects of Atmospheric Pollutants on Forests, Wetlands and Agriculture Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin: 277–290.
- Desplanque C., Rolland C., Schweingruber F.H. 1999. Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation: *Picea abies* and *Abies alba* in Tarentaise and Maurienne (French Alps). *Trees – Struct. Funct.* 13 (4): 218–227.
- Dobrowolska D. 1989. Zamieranie jodły wciąż nie wyjaśnione zjawisko. *Sylvan*, 133 (6): 59–65.
- Dobrowolska D. 2008. Growth and development of silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration and restoration of the species in the Karkonosze Mountains. *J. For. Sci.* 54 (9): 398–408.
- Elling W., Dittmar C., Pfaffelmoser K., Rötzer T. 2009. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. *For. Ecol. Manage.* 257 (4): 1175–1187.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Tree-rings as indicators of environmental change. *EJPAU ser. Forestry* 6 (2).
- Feliksik E., Wilczyński S., Podlaski R. 2000. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych sosny (*Pinus sylvestris* L.), jodły (*Abies alba* Mill.) i buka (*Fagus sylvatica* L.) ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. *Sylvan*, 144 (9): 53–63.
- Holmes R.L. 1986. Quality control of crossdating and measuring. Users manual for computer program COFECHA. W: Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C. (red.). *Tree-rings chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Series 6*. Univ. of Arizona, Tucson: 41–49.
- Ivshin A.P., Shiyatov S.G. 1995. The assessment of subtundra forest degradation by dendrochronological methods in the Norilsk industrial area. *Dendrochronologia*, 1: 113–126.
- Jämbäck J., Heikkinen O., Tuovinen M., Autio J. 1999. The effect of air-borne pollutants on the growth of *Pinus sylvestris* in the City of Oulu, Finland. *Fennia*, 177 (2): 161–169.
- Jaworski A., Zarzycki K. 1983. *Ekologia*. W: Białobok S. (red.). *Jodła pospolita Abies alba Mill. Nasze Drzewa Leśne*. Warszawa-Poznań, PWN: 317–430.
- Juknys R., Augustaitis A., Vencloviėnė J., Kliučius A., Vitas A., Bartkevičius E., Jurkonis N. 2013. Dynamic response of tree growth to changing environmental pollution. *Eur J For Res.* doi: 10.1007/s10342-013-0712-3.
- Kaczka R.J., Wiórkowski S., Czajka B., Skrzydłowski T. 2012. Zmiany wrażliwości klimatycznej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naturalnym lesie dolnoregłowym w Tatrach Polskich. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (1): 111–117.
- Koprowski M., Gławenda M. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). *Sylvan*, 151 (11): 35–40.
- Koutavas A. 2008. Late 20th century growth acceleration in greek fir. *Dendrochronologia*, 26 (1): 13–19.
- Krapiec M., Szychowska-Krapiec E. 2001. Tree-ring estimation of the effect of industrial pollution on pine (*Pinus sylvestris*) and fir (*Abies alba*) in the Ojców National Park (southern Poland). *Nature Conservation*, 5: 33–42.

- Manetti M.C., Cutini A. 2006. Tree-ring growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in two stands under different silvicultural systems in central Italy. *Dendrochronologia*, 23 (3): 145–150.
- Muzika R.-M., Guyette R., Zielonka T., Liebhold A. 2002. The Influence of Air Pollution on Tree Growth in the Carpathian Mountains. W: Szaro R.C. (red.). *Effects of Air Pollution on Forest Health and Biodiversity in Forest of the Carpathian Mountains*. IOS Pres: 185–194.
- Oliva J., Colinas C. 2007. Decline of silver fir (*Abies alba* Mill.) stands in. *For. Ecol. Manage.* 252 (1-3): 84–97.
- Raport o stanie Lasów. 2013. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych.
- Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 9–38.
- Sutherland E.K., Martin B. 1990. Growth response of *Pseudotsuga menziesii* to air pollution from copper smelting. *Can J For Res*: 1020–1029.
- Szychowska-Krapiec E., Wiśniowski Z. 1996. Zastosowanie analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris*) do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie zakładów chemicznych “Police” (woj. szczecińskie). *Geologia*, 22 (3): 281–299.
- Świączak B. 2002. Zmienność zanieczyszczenia powietrza w Polsce na tle zmniejszania emisji zanieczyszczeń do atmosfery w okresie zmian gospodarczych państwa. *Przegląd Geofizyczny*, 1: 27–43.
- Thompson M.A. 1981. Tree rings and air pollution: A case study of *Pinus monophylla* growing in east-central Nevada. *Environ Pollut Series A* (2): 251–266.
- Wertz B. 2012. Dendrochronologiczna ocena wpływu emisji przemysłowych na główne gatunki drzew iglastych z Wyżyny Kieleckiej. *Sylvan*, 156 (5): 379–390.
- Wertz B., Wilczyński S. 2012. Dendrochronologiczna ocena zmian przyrostu radialnego jodły (*Abies alba* Mill.) i modrzewia (*Larix decidua* Mill.) znajdujących się pod wpływem emisji. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (1): 268–278.
- Wilczyński S. 2006. The variation of tree-ring widths of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) affected by air pollution. *Eur J For Res* 125 (3): 213–219.
- Zawada J. 1978. Przyrostowe objawy regresji jodły. *Sylvan*, 122 (12): 7–16.
- Zawada J. 2001. Incremental symptoms in revitalization of Silver fir in the forests of Carpathian and Sudeten Mts and their silvicultural consequences. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa Ser. A* 3 (922): 79–101.

Bogdan Wertz¹, Sławomir Wilczyński², Elżbieta Muter³

¹ Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,
Zakład Biometrii i Produkcyjności Lasu
b.wertz@ur.krakow.pl

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

³ Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,
Zakład Bioróżnorodności Leśnej
rlkuchni@cyf-kr.edu.pl