

Dendrochronologiczna ocena zmian przyrostu radialnego jodły (*Abies alba* Mill.) i modrzewia (*Larix decidua* Mill.) znajdujących się pod wpływem imisji

Bogdan Wertz, Sławomir Wilczyński

Abstrakt. Na podstawie analizy serii przyrostów radialnych jodeł i modrzewi z 61 stanowisk badawczych z Wyżyny Kieleckiej dokonano oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza na przyrost drzew. W tym celu wykorzystano indeksy przyrostowe, obliczone poprzez podzielenie rzeczywistych szerokości słoików drzew przez wartość określoną na podstawie przyjętego modelu.

Uzyskane wyniki wskazują na szczególne znaczenie jodły w biologicznym monitoringu zanieczyszczeń przemysłowych. W latach wzmożonego oddziaływania zanieczyszczeń wystąpiły u tego gatunku wyraźne redukcje słoików przyrostowych, szczególnie w południowo-zachodniej części Wyżyny Kieleckiej. Wraz ze spadkiem ilości zanieczyszczeń, na początku lat 90. XX w. stwierdzono odwrócenie obserwowanego wcześniej trendu spadkowego. Modrzew charakteryzował się wyraźnie słabszymi reakcjami przyrostowymi niż w przypadku jodły. Wskazuje to na mniejszą wrażliwość tego gatunku na wpływ zanieczyszczeń przemysłowych.

Słowa kluczowe: przyrost grubości, imisje, jodła, modrzew

Abstract. On the basis of radial increment series of firs and larches from 61 research plots from Kielecka Upland the impact of air pollution on tree growth were analysed. For this purpose, the incremental indexes were calculated, by dividing the real width of growth rings by the value specified by the chosen model.

Obtained results indicates the particular importance of fir in the biological monitoring of industrial pollution. In the period of increased pollution this species indicates clear reductions of radial increment, particularly in the southwestern part of Kielecka Upland. Along with the decrease of emissions at the beginning of 1990s previously observed trend reversed. Larch showed clearly weaker reactions than fir. This indicates lower sensitivity of this species to the influence of industrial pollution.

Key words: radial increment, immisions, fir, larch

Wstęp

Przyrost drzew na grubość jest procesem warunkującym produktywność drzewostanów. Wpływa na niego wiele czynników, w tym antropogeniczne zanieczyszczenia powietrza. Na siedliskach ubogich dopływ pierwiastków oraz zmiany chemizmu gleb mogą stymulować drzewa do wzmożonego przyrostu (Jämbäck et al. 1999; Prietzel et al. 2007). Wpływ imisji przemysłowych, szczególnie w dłuższym okresie czasu, jest jednak z reguły negatywny, czasem wręcz silnie destrukcyjny (Juknys et al. 2003; Wilczyński 2006).

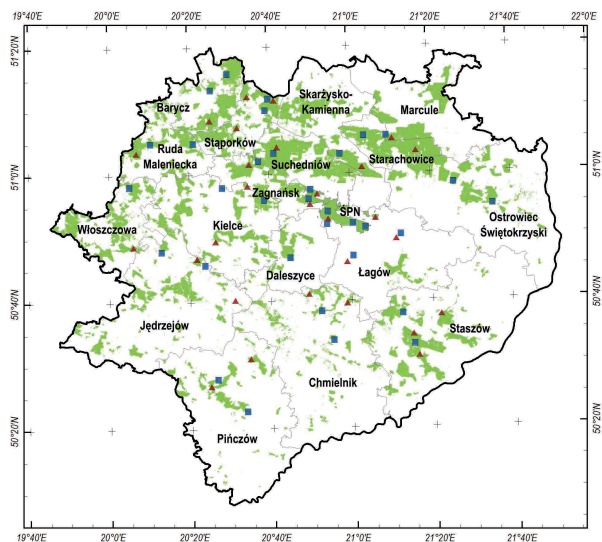
Analizy dendrochronologiczne postrzegane są przez niektórych badaczy jako kluczowe w pojmowaniu roli oddziaływania zanieczyszczeń powietrza w skali regionalnej (McLaughlin et al. 2002). Pozwalają na ocenę obecnej kondycji drzew w świetle lat minionych oraz pozwalają na prognozowanie zmian w przyszłości. Szerokości wytworzonych przez drzewa słoików drewna można trakto-

wać jako miarę ich reakcji na zmieniające się warunki środowiskowe, w tym na wpływ zanieczyszczeń przemysłowych. Takie badania ograniczają się zwykle do analiz przyrostów radialnych drzew, znajdujących się w pewnej określonej odległości od źródła emisji zanieczyszczeń. Aby wyeliminować wpływ innych czynników na przyrost drzew badane są przy tym zwykle drzewostany wysoce homogeniczne. Stosunkowo niewiele badań podejmuje tematykę analizy wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przyrost radialny drzew, rosnących w drzewostanach zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego, budowy i struktury.

Celem pracy była ocena zmian przyrostu radialnego w latach 1920-2005 jodły i modrzewia, gatunków wyraźnie zróżnicowanych pod względem wymagań ekologicznych, które rosły w wielu drzewostanach, zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego, budowy i struktury. Badania objęto obszar Wyżyny Kieleckiej, a stanowiska badawcze zlokalizowano w drzewostanach nie znajdujących się pod bezpośrednim wpływem określonych punktowych źródeł emisji.

Material i metody

Badane drzewostany rosły na Wyżynie Kieleckiej, na którą w XX wieku oddziaływały masy powietrza niosące zanieczyszczenia z rejonów przemysłowych Polski południowej, Czech i Niemiec. Założono łącznie 61 stanowisk badawczych w różnych drzewostanach (Ryc. 1) — 33 stanowiska dla jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) oraz 28 stanowisk dla modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) łącznie z modrzewiem polskim (*Larix decidua* ssp. *polonica* (Rac. & Wóycicki) Domin). Stanowiska zakładano w drzewostanach zróżnicowanych pod względem budowy i składu gatunkowego. Na każdym stanowisku z 30 drzew pobrano po 1 dordzeniowym wywiercie z kierunku północnego, na wysokości 1,3 m od powierzchni gruntu. Słoje roczne zmierzono z dokładnością 0,01 mm, a następnie sprawdzono ich datowanie przy pomocy programu COFECHA (Holmes 1986).



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych dla jodły (niebieskie kwadraty), i modrzewia (czerwone trójkąty) na tle głównych kompleksów leśnych oraz granic podziału terytorialnego na nadleśnictwa Fig. 1. Location of research plots for the fir (blue squares), and larch (red triangles) on the background of forest and forest districts borders

Do oceny zmian w czasie przyrostów radialnych wykorzystano zmodyfikowaną metodę oceny zmian przyrostu pierśnicy drzew (Vinš 1961). Przyjęto, że wpływ emisji przemysłowych na drzewa będzie uwidaczniał się najsilniej w zmienności słoju w okresach dziesięciu lat (kolejnych dekadach). Dla każdej serii szerokości przyrostów radialnych (R) z lat 1920-1969 dopasowano przy pomocy programu ARSTAN (Cook, Holmes 1986) krzywą modelującą długookresowy przyrost grubość pierśnicy zgodnie z funkcją wykładniczą lub prostą malejącą. Poprzez podzielenie wartości rzeczywistej szerokości słoju przez wartość odczytaną z krzywej wyrównanej obliczono dla każdego roku wartość indeksu przyrostowego (I).

W pracy zaproponowano oryginalną metodę korekcy obliczonych wartości indeksów przyrostowych. Uzasadnieniem jej zastosowania jest odnotowywany przyrost radialny u wielu drzew który w ostatnim okresie często znacznie przekracza wartości oczekiwane, wynikające z aktualnego wieku drzew i estymowanych trendów przyrostowych drzew. Założono, że obserwowana reakcja przyrostowa jest powrotem drzew do wartości naturalnych po ustąpieniu negatywnego wpływu czynników środowiskowych, takich jak zanieczyszczenia. W związku z tym potraktowano średni przyrost w ostatnim okresie jako punkt odniesienia (normę) dla wartości obserwowanych w latach wcześniejszych. Przyjęto wartość średnią indeksu przyrostowego w ostatnim sześcioleciu (IR2000-2005) jako korygującą dla obliczonych indeksów przyrostowych (I_r) w latach wcześniejszych. Przyjęto, że oddziaływanie przemysłu na drzewa rozpoczęło się na początku lat 60-tych, dlatego też korekcji poddano indeksy z lat 1960-2005. Wartości skorygowane indeksów przyrostowych (I_k) obliczono w każdym roku wg wzoru:

$$I_k = I_r - \frac{(t - t_0) * (I_{RN} - I_w)}{t_n - t_0}$$

gdzie:

I_r - wartość indeksu przed korektą,

t - rok dla którego obliczany jest indeks skorygowany,

t_0 - pierwszy rok poddawany korekcie (przyjęto rok 1960),

t_n - ostatni rok poddawany korekcie (przyjęto rok 2005),

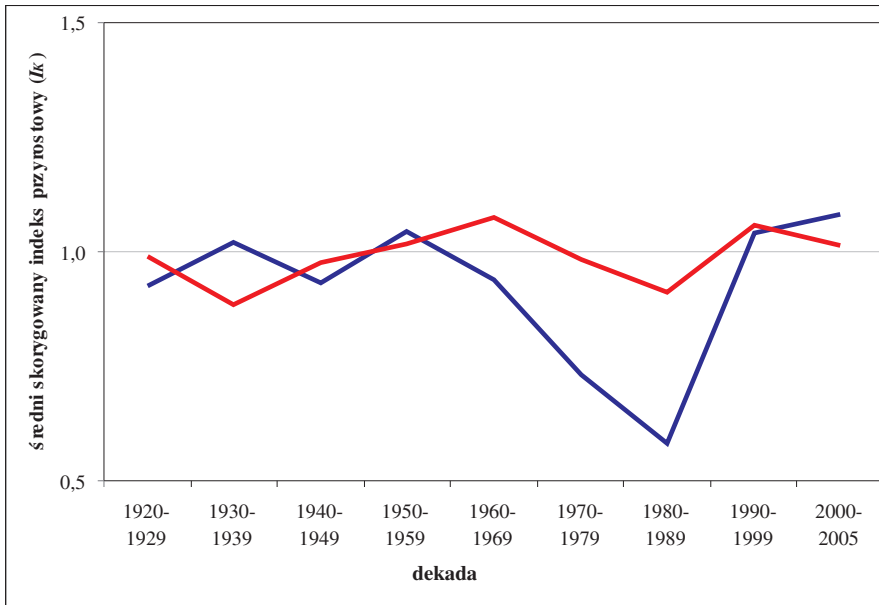
I_{RN} - średnia wartość indeksu przyrostowego w okresie referencyjnym (przyjęto wartość średnią indeksu w ostatnim sześcioleciu $I_{R2000-2005}$),

I_w - oczekiwana wartość indeksu skorygowanego w okresie referencyjnym (przyjęto $I_w = 1$).

W wyniku przeprowadzonej korekty średnia wartość indeksu w ostatnim dziesięcioleciu została zbliżona do jedności, natomiast wartości indeksu w latach wcześniejszych zostały skorygowane proporcjonalnie do ich odległości od ostatniego dziesięciolecia. Na podstawie skorygowanych indeksów przyrostowych (I_k) dla obu badanych gatunków obliczono średnie regionalne wartości dekadowe skorygowanych indeksów przyrostowych (I_k). Ponadto, traktując obliczone indeksy jako wskaźnik redukcji przyrostów dla obu gatunków w każdej dekadzie określono średni procentowy udział drzew w 3 klasach redukcji przyrostu radialnego: $R1$ - redukcji słabych (w granicach 25-50%), $R2$ - redukcji silnych (w granicach 50-75%) oraz $R3$ — redukcji bardzo silnych (wynoszących ponad 75%). Aby zaprezentować zmienność czasowo-przestrzenną średniookresowych reakcji przyrostowych dokonano interpolacji map (program ArcGis, algorytm IDW), na podstawie stanowiskowych średnich dekadowych skorygowanych indeksów przyrostowych (I_k).

Wyniki

Średnie dekadowe wartości indeksów przyrostowych I_k dla drzew obu gatunków w latach 1920-1959 oscylowały wokół jedności (Ryc. 2). W latach 60. XX w. indeksy u jodły zaczęły wyraźnie spadać. Spadek ten pogłębiał się do lat 80-tych XX wieku, kiedy to nastąpiło odwrócenie obserwowanej tendencji. Nieco inaczej kształtowały się indeksy u modrzewia. U niego spadek wartości I_k był znacznie mniejszy oraz opóźniony o jedną dekadę. W latach 90. zaobserwowano wzrost wartości indeksów przyrostowych obu gatunków, jednak u jodły był on znacznie bardziej dynamiczny. Po roku 2000 zaobserwowano dalszy wzrost przyrostów jodły. U modrzewia przyrosty radialne są w tym okresie przeciętnie niższe niż w latach 90. (Ryc. 2).

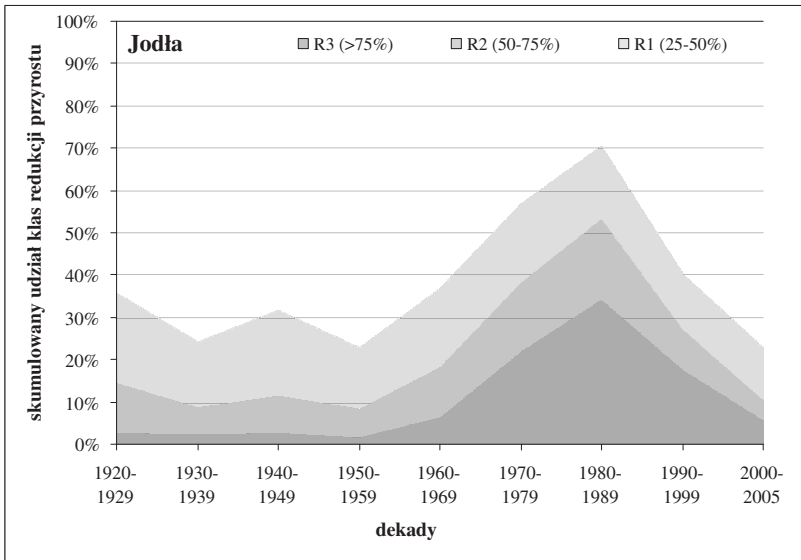


Ryc. 2. Średnie wartości dekadowe indeksów przyrostowych (I_k) jodły (niebieska linia) i modrzewia (czerwona linia)

Fig. 2. Mean values of decade incremental indexes (I_k) for fir (blue line) and larch (red line)

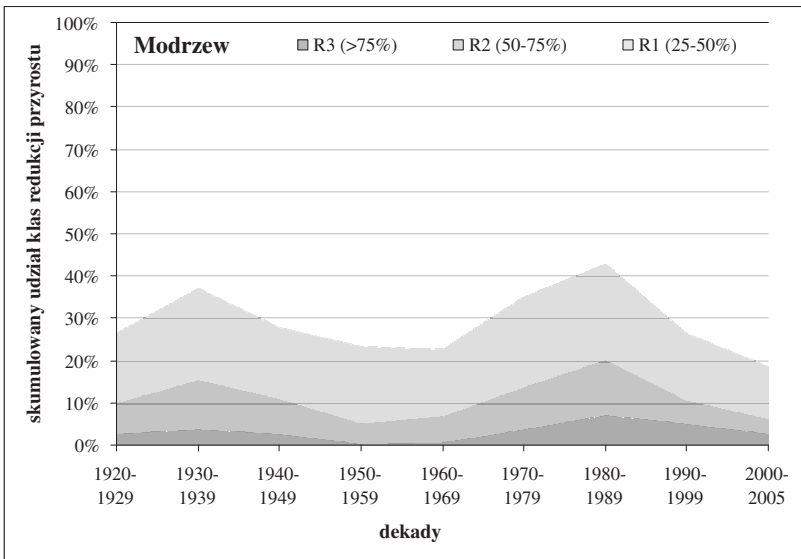
W latach intensywnego oddziaływania emisji przemysłowych największe redukcje przyrostów radialnych odnotowano u jodły (Ryc. 3). W latach 80-tych ok. 70% jodeł wykazało redukcje przyrostów radialnych, w tym bardzo silne redukcje (klasa R3) dotknęły ponad $\frac{1}{3}$ badanych drzew. U modrzewia w tym okresie również wystąpił wzrost liczby drzew dotkniętych redukcjami przyrostu (Ryc. 4). Był on jednak mniejszy, ponadto dotyczył głównie drzew o słabym stopniu redukcji (R1).

Przestrzenne zróżnicowanie wartości współczynnika przyrostu (I_k) u jodły wskazuje, że w latach 60. okresie wzrostu emisji zanieczyszczeń przemysłowych, redukcje wielkości słoju objęły w pierwszej kolejności drzewa z południowo-zachodniej części Wyżyny Kieleckiej (Ryc. 5). Wartości indeksów w tym fragmencie obszaru badań były również najniższe w dwóch kolejnych dekadach, w których występowało maksimum emisji zanieczyszczeń powietrza. U modrzewia dekadowe wartości indeksów w okresie wysokich emisji zanieczyszczeń spadły stosunkowo nieznacznie. Najsilniejsze redukcje przyrostu radialnego dotknęły drzewa ze stanowisk zlokalizowanych w centralnej, wyżej położonej części Wyżyny Kieleckiej (Ryc. 6).



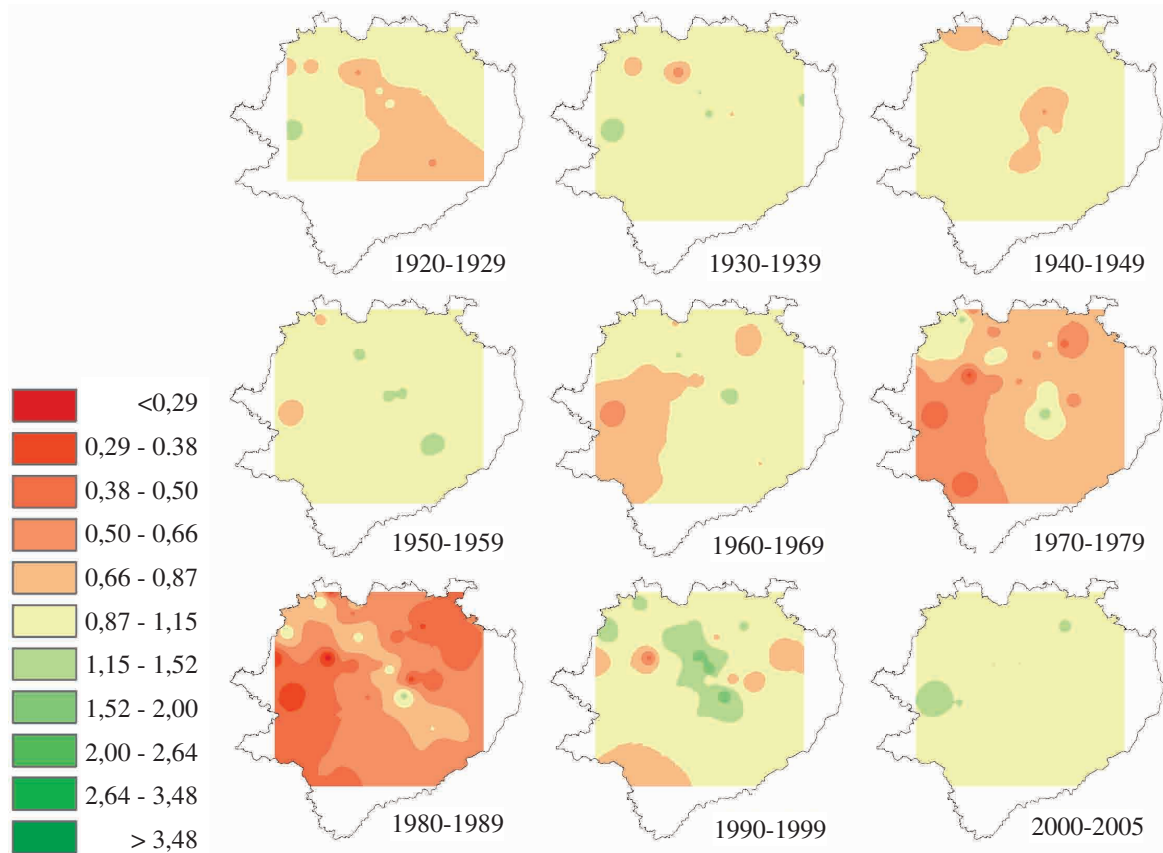
Ryc. 3. Udział procentowy jodeł w trzech klasach redukcji przyrostu radialnego (R1, R2, R3) w poszczególnych dekadach

Fig. 3. The percentage share of the fir in three classes of radial increment reduction (R1, R2, R3) for different decades

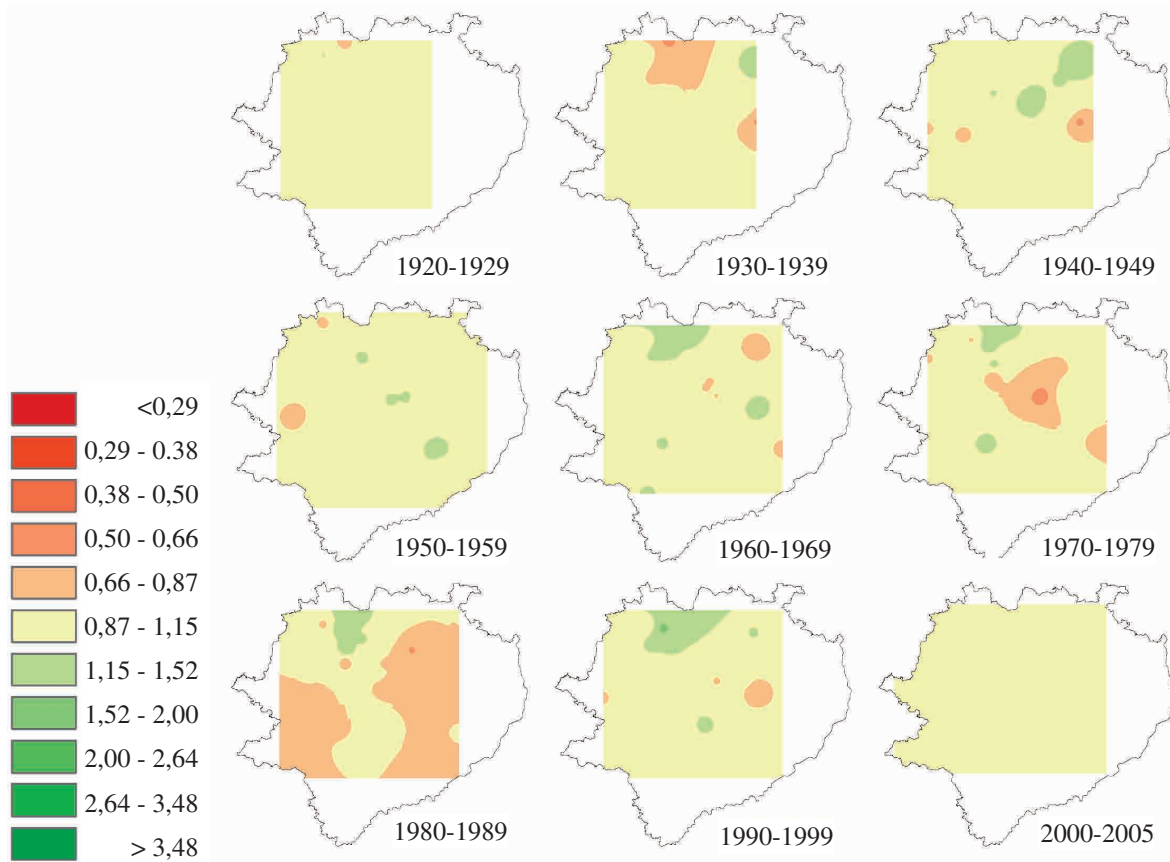


Ryc. 4. Udział procentowy modrzewi w trzech klasach redukcji przyrostu radialnego (R1, R2, R3) w poszczególnych dekadach

Fig. 4. The percentage share of the larches in three classes of radial increment reduction (R1, R2, R3) for different decades



Ryc. 5. Przestrzenne zróżnicowanie wartości dekadowych indeksów przyrostowych (I_k) jodły na Wyżynie Kieleckiej
 Fig. 5. Spatial diversity of decade incremental indices (I_k) for fir from Kielecka Upland



Ryc. 6. Przestrzenne zróżnicowanie wartości dekadowych indeksów przyrostowych (I_k) modrzewia na Wyżynie Kieleckiej
 Fig. 6. Spatial diversity of decade incremental indices (I_k) for larch from Kielecka Upland

Dyskusja

Analizy dendrochronologiczne należą do metod, które potrafią bardzo wcześnie ujawnić wpływ emisji na drzewa (Schweingruber 1986). Praktyka wskazuje jednak, że pomimo niewątpliwych zalet, w badaniach tego typu w Polsce do metod dendrochronologicznych sięga się stosunkowo rzadko, a ich skuteczność nie jest doceniana. Prawdopodobnie przyczynia się do tego duża złożoność przyczyn zmian przyrostu radialnego. Wielkość corocznie odkładanego przyrostu na grubość jest bowiem wypadkową wielu powiązanych ze sobą czynników, wśród których oddziaływanie emisji stanowi jedynie jedną składową. Wyodrębnienie tego wpływu nie jest zadaniem łatwym, a metodyka może mieć decydujący wpływ na wyniki i poprawność wnioskowania. Zagadnienie to nabiera szczególnej wagi w przypadku analizy drzewostanów zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego, budowy i struktury. Ze względu na globalny charakter oddziaływania zanieczyszczeń przemysłowych nie jest możliwe jednoznaczne wyznaczenie teoretycznego przyrostu drzew w minionych latach, w sytuacji gdyby zanieczyszczenia nie były obecne w atmosferze. Dlatego też w badaniach takich określa się pewien poziom porównawczy (referencyjny) przyrostu. Określa się go zazwyczaj na podstawie wybranych osobniczych seriach przyrostowych i ich fragmentów lub danych pochodzących z innych stanowisk. Do najczęściej wykorzystywanych metod oceny wpływu emisji przemysłowych na przyrost radialny drzew zaliczyć można analizę nagłych, długotrwałych zmian szerokości przyrostów rocznych (Schweingruber et al. 1986) oraz analizy jednorodności zachowań przyrostowych drzew (Felixsik 1995; Felixsik, Wilczyński 2003; Wilczyński 2006).

Zastosowana w niniejszej pracy metodyka jako poziom porównawczy dla oceny redukcji przyrostu traktuje teoretyczną szerokość słoja, zależną od estymowanego, modelowego trendu przyrostowego (Vinš 1961). Modelowanie go na podstawie części serii przyrostowej przed okresem wzrostu emisji pozwala wnioskować o ograniczeniu (redukcji) przyrostu w kolejnych latach. Metoda ta, mimo niewątpliwych zalet, ma pewne ograniczenia. Pierwszym jest nie zawsze prawdziwe założenie, że teoretyczny przyrost drzewa jest w całym życiu zgodny z przyjętym modelem. Drugim ograniczeniem tej metody jest estymacja trendu modelowego na podstawie fragmentu serii przyrostowej oraz ekstrapolowanie go na kolejne lata życia. Technika ta niesie ze sobą bowiem tym większy błąd oszacowania teoretycznego trendu, im większy jest okres ekstrapolacji. Aby w możliwy sposób zniwelować te niedogodności w niniejszym opracowaniu zastosowano dwie modyfikacje. Pierwsza polegała na estymacji trendów przyrostowych indywidualnie dla wszystkich drzew próbnych. Pozwoliło to na porównywanie ze sobą osobników o różnym wieku i różnej aktualnej dynamice przyrostowej. Druga modyfikacja pozwoliła na odniesienie wielkości przyrostu radialnego do przyrostu z ostatniej dekady, traktując ją jako normę. Wyeliminowano w ten sposób różnice związane z wpływem na przyrost radialny pozycji biosocjalnej, między gatunkiem światłożądnym, jakim jest modrzew oraz jodłą, gatunkiem typowo cienioznośnym. Badane modrzewie prawdopodobnie przez całe swoje życie budowały górne piętro drzewostanu. Z kolei jodła niejednokrotnie przez szereg lat rosła pod okapem drzewostanu, odkładając relatywnie niewielkie słoje, natomiast jej przyrost na grubość intensyfikował się w chwili przejścia do górnego piętra. W chwili poboru wywierców obydwu gatunki stanowiły składnik górnego piętra, stąd też ostatni okres przyrostowy wydaje się być najbardziej właściwy jako wzorzec do porównań między nimi.

W analizie zmian przyrostowych drzew należy uwzględniać czynniki, które obok emisji przemysłowych również mogły kształtować średniookresową zmienność aktywności przyrostowej drzew. Wydaje się, że wśród nich istotną rolę mogły odegrać zmiany klimatyczne (Nöjd, Reams 1996). Na podstawie badań dendroklimatycznych nad badanymi gatunkami (Felixsik, Wilczyński 1998; Felixsik et al. 2000) można stwierdzić, że największą rolę w kształtowaniu szerokości przyrostów radialnych mają warunki termiczne marca oraz warunki pluwialne w czerwcu i lipcu. Obydwie badane gatunki wykazują podobną wrażliwość na te czynniki, dlatego też mimo obserwowanego w ostatnich dekadach wzrostu średniej temperatury marca, założono że wpływ zmian klimatycznych był dla obu

gatunków podobny. Jako przykład prac analizujących wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na przyrosty jodły wymienić można badania prowadzone w szwajcarskiej dolinie Rhonu (Kienast 1985) oraz w lasach południowych Niemiec (Elling et al. 2009). Wśród nielicznych prac, analizujących przy pomocy metod dendrochronologicznych zmienność szerokości przyrostów radialnych modrzewi znajdujących się pod wpływem emisji przemysłowych, wymienić można badania w rejonie zakładów metalurgicznych w Norylsku w Rosji (Ivshin, Shiyatov 1995), w których stwierdzono spadek szerokości przyrostów drzew, zależny od odległości od emitora zanieczyszczeń.

Na terenie Polski badania nad przyrostami jodeł w warunkach zmieniającej się presji emisji zanieczyszczeń przemysłowych prowadzono m.in. w Górach Świętokrzyskich (Jaworski et al. 2000) oraz w Sudetach (Filipiak, Ufnalski 2001; Zawada 2001; Filipiak 2002). Podobnie jak w niniejszej pracy, wyniki osiągnięte przez powyższych autorów wskazują wyraźnie, że jodły, znajdujące się pod silnym negatywnym wpływem emisji oraz transgranicznych zanieczyszczeń przemysłowych z Niemiec i Czech wykazywały znaczne obniżenie wartości przyrostów radialnych z początkiem lat 60. XX w. akymalny okres redukcji przyrostów drzew tego gatunku przypadał na początek lat 80., po którym zaobserwowano rewitalizację jodły i wzrost szerokości odkładanych przez nią przyrostów. Stosunkowo niewiele badań dotyczy jednoczesnego porównania zmienności reakcji przyrostowych pod wpływem emisji przemysłowych kilku gatunków. Przykładem mogą być wyniki prac Molskiego (1987), który stwierdził większy poziom redukcji przyrostów radialnych u jodły niż u sosny. Wysoką wrażliwość jodły oraz stosunkowo niską wrażliwość modrzewia na zanieczyszczenia przemysłowe wykazał również Feliksik (1991, 1995) na podstawie badań górskich populacji buka, jodły, świerka, sosny i modrzewia. U gatunku tego obserwowano również wzrost wielkości odkładanych słoju przyrostowych, będący prawdopodobnie wynikiem nawożącego wpływu związków azotu, przewyższającego negatywne oddziaływanie związków siarki (Oleksyn et al. 1993).

Oceny wpływu emisji przemysłowych na przyrost jodły i modrzewia prowadzono w południowej Polsce na obszarze Ojcowskiego Parku Narodowego (Krapiec, Szychowska-Krapiec 2001, 2003). Wpływ zanieczyszczeń na drzewa zaobserwowano na początku lat 60. Był on zależny od gatunku i najsilniej uwidocznił się u jodły, która wykazała w latach 1961-1970 silne redukcje słoju przyrostowych. Największe redukcje wystąpiły u tego gatunku w latach 1981-1990. Redukcje objęły w tym okresie ponad 60% jodeł, wśród których najwięcej osobników było uszkodzonych w stopniu bardzo silnym (ponad 70%). W tym samym czasie ograniczenia przyrostu dotknęły jedynie 15% modrzewi. W latach 1991-2000 nastąpiła wyraźna rewitalizacja, objawiająca się spadkiem ilości drzew dotkniętych redukcjami. Proces ten w największym stopniu dotyczył jodły. Podobne trendy zmian przyrostu jodły odnotowuje Skrzyszewski (2002) w badaniach nad dynamiką zmian przyrostów jodły z obszaru Sudetów i Karpat. Wyniki przytoczonych prac potwierdzają wysoką wrażliwość jodły oraz znacznie niższą wrażliwość modrzewia na zanieczyszczenia przemysłowe.

Obserwacja zmienności przestrzennej obliczonych wskaźników wskazuje, że wpływ na wielkość depozytu zanieczyszczeń przemysłowych na badanym terenie wywierały silnie uprzemysłowione rejony Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego oraz aglomeracji krakowskiej. Okres największych redukcji szerokości przyrostów radialnych u badanych gatunków przypadał na lata 80-te ubiegłego wieku. W latach późniejszych, na skutek spadku produkcji, zmian technologicznych oraz rozwijającą się polityką ekologiczną państwa wystąpił w Polsce wyraźny spadek emisji zanieczyszczeń (Świąteczak 2002). Znalazło to odbicie w zmianie dotychczasowych trendów przyrostowych. Nagłe ograniczenie emisji nie prowadzi jednak do natychmiastowej poprawy warunków wzrostu drzew (Muzika et al. 2002). Podejrzewać można, że odegrały tu rolę również inne czynniki, przyczyniające się do tak szybkiej reakcji drzew. Wśród nich wymienić można stopniową kontynentalizację klimatu (Cook 1989) oraz naturalny mechanizm wydzielania się osobników najmniej odpornych, wywołujący w efekcie poprawę warunków wzrostu drzew pozostających w drzewostanie (Sutherland, Martin 1990; Jämbäck et al. 1999).

Symptomatyczne jest, że rewitalizacja przyrostowa, która szczególnie wyraźnie zaznaczyła się u jodły, dotyczyła przede wszystkim drzewostanów, które były wcześniej najsilniej uszkodzone. Wskazuje to na wysoką zdolność adaptacyjną jodły do zmieniającej się presji zanieczyszczeń przemysłowych.

Wnioski

- Imisje przemysłowe wywierały w drugiej połowie XX wieku istotny wpływ na przyrosty radialne jodły z Wyżyny Kieleckiej. W latach wzmożonego oddziaływania zanieczyszczeń wystąpiły u drzew tego gatunku wyraźne redukcje słojów przyrostowych. Wraz ze spadkiem ilości zanieczyszczeń, na początku lat 90-tych nastąpiło odwrócenie obserwowanego trendu spadkowego, które świadczy o rewitalizacji jodły.
- Analiza przestrzenna indeksów przyrostowych wskazuje, że istotną rolę w kształtowaniu przyrostów na grubość jodły z terenu Wyżyny odegrały zanieczyszczenia przenoszone przez masy powietrza, napływające z kierunku południowo-zachodniego.
- Dzięki analizom dendrochronologicznym możliwa jest ocena przyrostu drzewostanów zróżnicowanych pod względem składu gatunkowego i budowy, również w sytuacji braku danych pochodzących z pomiarów stężeń określonych zanieczyszczeń. Wskazuje to na potencjalnie wysoką rolę dendrochronologicznych analiz w biologicznym monitoringu zanieczyszczenia powietrza.
- Uzyskane wyniki wskazują na szczególne znaczenie jodły w biologicznym monitoringu zanieczyszczeń. Potencjalne znaczenie bioindykacyjne modrzewia może mieć znaczenie w miejscach, gdzie poziom zanieczyszczeń był zbyt wysoki dla egzystencji gatunków bardziej wrażliwych.

Literatura

- 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.
- Cook E. R., Holmes R. L. 1986. *Users manual for computer program ARSTAN*. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. (red.). *Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*. Chronology Ser. 6. Univ. of Arizona. 50-65.
- 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*. Forest Ecol. Manag. 257: 1175-1187.
- Feliksik E. 1991. *Badania wrażliwości ważniejszych gatunków drzew leśnych na zanieczyszczenia przemysłowe*. Zeszyty Naukowe AR, Kraków. Nr 254, Leśnictwo Z.2 353.
- Feliksik E. 1995. *Dendrochronological monitoring of the threat to the forests of Western Beskids created by industrial immissions*. Zprawodaj Beskydy "Vliv imisi na lesy a lesni hospodarstvi Beskyd. 23-34.
- Feliksik E., Wilczyński S. 1998. *Wpływ temperatury i opadów na przyrost roczny drewna świerka, sosny i modrzewia występujących w leśnictwie Pierściec u podnóża Pogórza Wilamowickiego*. Probl. Zagosp. Ziemi Gór. 77-86.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. *Tree-rings as indicators of environmental change*. EJPAA 6, 2, ser. Forestry.
- 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*. Sylwan 144 (9): 53-63.
- Filipiak M. 2002. *Kondycja i stan zachowania zasobów jodły pospolitej w warunkach silnej antropopresji w polskiej części Sudetów*. W: Siwecki R. (red.). *Reakcje biologiczne na zanieczyszczenia przemysłowe*. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik. 503-512.
- Filipiak M., Ufnalski K. 2002. *Poziom zanieczyszczeń przemysłowych w Sudetach a przyrost jodły pospolitej na tym terenie*. W: Siwecki R. (red.). *Reakcje biologiczne na zanieczyszczenia przemysłowe*. Instytut Dendrologii PAN, Kórnik. 513-520.
- 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.

- 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(1): 161-169.
- Jaworski A., Podlaski R., Zych M. 2000. *Ocena żywotności jodły (Abies alba Mill.) w drzewostanach o charakterze pierwotnym w rezerwacie „Święty Krzyż” (Świętokrzyski Park Narodowy)*. Rocznik Świętokrzyski, Seria B, Nauki przyrodnicze 27: 29-38.
- Juknys R., Vencloviene J., Stravinskiene V., Augustaitis A., Bartkevicius E. 2003. *Scots pine (Pinus sylvestris L.) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery*. Environ. Pollut. 125: 205-212.
- Kienast F. 1985. *Tree ring analysis, forest damage and air pollution in the Swiss Rhone Valley*. Land Use Policy 2: 74-77.
- 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.
- Krapiec M., Szychowska-Krapiec E. 2003. *Wpływ antropopresji na drzewostany Ojcowskiego Parku Narodowego w świetle analizy dendrochronologicznej*. W: Lach J. (red.). Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji. 200-210.
- McLaughlin S. B., Shortle W. C., Smith K. T. 2002. *Dendroecological applications in air pollution and environmental chemistry: research needs*. Dendrochronologia 20 (1): 133-157.
- Molski B. 1987. *Fir and pine phloem and wood growth retardation due to air pollution*. W: Kairiukstis L., Nilsson A., Straszak A. (red.). Forest decline and reproduction: regional and global consequences. Proceedings of the workshop held in Krakow, Poland. 23-27 March 1987. IIASA, Laxenburg, Austria. 115-122.
- 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 Press. 185-194.
- Nöjd P., Reams G.A. 1996. *Growth variation of Scots pine across a pollution gradient on the Kola Peninsula, Russia*. Environ. Pollut. 93 (3): 313-325.
- Oleksyn J., Fritts H. C., Hughes M. K. 1993. *Tree-ring analysis of different Pinus sylvestris provenances, Quercus robur, Larix decidua x Larix kaempferi affected by air pollution*. Arboretum Kórnickie 3: 87-111.
- Prietzl J., Rehfuss K. E., Stetter U., Pretzsch H. 2007. *Changes of soil chemistry, stand nutrition, and stand growth at two Scots pine (Pinus sylvestris L.) sites in Central Europe during 40 years after fertilization, liming, and lupine introduction*. Eur. J. For. Res. 127: 43-61.
- Schweingruber F. H. 1986. *Abrupt changes in growth reflected in tree ring sequences as an expression of biotic and abiotic influences*. IUFRO Inventoring and Monitoring Endangered Forests. Conf. Zurich 1985. Birmensdorf. 291-295.
- Schweingruber F. H., Albrecht H., Beck M., Hessel J., Joos K., Keller D. 1986. *Abrupte Zuwachsschwankungen in Jahrringabfolgen als ökologische Indicatoren*. Dendrochronologia 4: 125-183.
- Skrzyszewski J. 2002. *Porównanie dynamiki przyrostu pierśnicy jodły, świerka i sosny w terenach górskich*. Sylwan 146 (7): 49-56.
- Sutherland E. K., Martin B. 1990. *Growth response of Pseudotsuga menziesii to air pollution from copper smelting*. Can. J. For. Res. 2: 1020-1029.
- Świąteczak B. 2002. *Zmienność zanieczyszczenia powietrza w Polsce na tle zmniejszania emisji zanieczyszczeń do atmosfery w okresie zmian gospodarczych państwa*. Przegląd Geofizyczny Zeszyt 1: 27-43.
- Vinš B. 1961. *Použití letokruhových analíz k průkazování škod kouřových škod*. Část. I. Metodický příspěvek k zpracování letokruhových analíz Les.: 753-770.
- Wilczyński S. 2006. *The variation of tree-ring widths of Scots pine (Pinus sylvestris L.) affected by air pollution*. Eur. J. For. Res. 125: 213-219.
- Zawada J. 2001. *Incremental symptoms in revitalization of Silver fir in the forests of Carpathian and Sudeten Mts. and their silvicultural consequences*. Prace Inst. Bad. Leś. Ser. A: 79-101.

Wertz Bogdan^{1*}, Wilczyński Sławomir²

*b.wertz@ur.krakow.pl

¹Katedra Dendrometrii, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie

²Katedra Ochrony Lasu, Klimatologii i Entomologii Leśnej, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie