

Porównanie wyznaczania lat wskaźnikowych metodą czułości rocznej oraz proporcji

Norbert Szymański, Katarzyna Łukasiewicz,
Dawid Pasięka, Sławomir Wilczyński

Abstrakt. W 32 drzewostanach świerkowych (*Picea abies* (L.) Karst.) położonych w Beskidach Zachodnich na wysokości 500–1400 m n.p.m. analizowano występowanie lat wskaźnikowych w okresie 1930–2002. Celem pracy było porównanie dwóch metod wyznaczania lat wskaźnikowych za pomocą wskaźnika proporcji oraz czułości rocznej, a także identyfikacja klimatycznych przyczyn ich wystąpienia. W przypadku lat wskaźnikowych wyznaczonych metodą wskaźnika proporcji odnotowano znacznie większe zróżnicowanie przestrzenne liczby stanowiskowych lat wskaźnikowych niż w przypadku metody czułości rocznej. Odnotowano słabą tendencję wzrostową liczby stanowiskowych lat wskaźnikowych wraz z wysokością nad poziomem morza. W obu metodach wystąpiła różna liczba oraz czas wystąpienia stanowiskowych lat wskaźnikowych. W przypadku regionalnych lat wskaźnikowych porównywanie wyników wyżej wymienionych metod jest bardziej skuteczne. Z praktycznego punktu widzenia metoda czułości rocznej jest mniej pracochłonna. Stwierdzono, że na przyrost świerka pospolitego korzystnie wpłynęła łagodna zima, wczesna i bardzo ciepła wiosna oraz mokre lato.

Słowa kluczowe: lata wskaźnikowe, wskaźnik proporcji, czułość roczna, *Picea abies*, Beskidy Zachodnie

Abstract. Comparative analysis of results of two methods of pointer years determination. In 32 Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands situated in the Western Beskid Mountains (southern Poland) at an altitude of 500–1400 m a.s.l. pointer years in the period 1930–2002 were analyzed. The aim of the study was to compare two methods of pointer years determination: an interval trend and an annual sensitivity. Climatic causes of occurrence these years were also identified. A spatial diversification of the number of site pointer years determined the interval trend method was higher than in the annual sensitivity method. The number of pointer years slightly increased along with an altitude above sea level. In both methods number and time of occurrence of the site pointer years were different. The comparison of the results of these methods for regional pointer years is more effective. The annual sensitivity method is less laborious. A mild winter, an early and very warm spring, and a wet summer favorably influenced a increment of Norway spruce.

Key words: pointer years, interval trend, annual sensitivity, *Picea abies*, Western Beskid Mountains

Wstęp

Analiza lat wskaźnikowych jest często stosowana do identyfikacji anomalnych zdarzeń klimatycznych, które są przyczyną ich występowania. Rok wskaźnikowy rozumiany jest jako silny spadek lub wzrost wielkości przyrostu radialnego u wszystkich lub większości drzew na danym stanowisku (rok stanowiskowy) lub obszarze (rok regionalny) (Schweingruber i in. 1990; Petitcolas i Rolland 1996; Neuwirth i in. 2004; Wilczyński 2004, 2010). Tego typu badania wzbogacają wiedzę o ekologii drzew w zakresie ich wymagań klimatycznych. Stosowanie przez badaczy różnych metod wyznaczania lat wskaźnikowych sprawia, że porównywanie wyników różnych badań jest często trudne. Dotychczasowe analizy porównawcze dotyczyły głównie metod wyznaczania lat charakterystycznych występujących u pojedynczych drzew (Cropper 1979; Schweingruber i in. 1990; Riemer 1994; Romagnoli i Codipietro 1996; Bräuning 1999). Jedynie Meyer (1998–1999) pokusił się o porównanie większej liczby metod wyznaczania lat wskaźnikowych.

Celem pracy było porównanie metody wyznaczania lat wskaźnikowych za pomocą wskaźnika proporcji oraz czułości rocznej, a także identyfikacja klimatycznych przyczyn ich wystąpienia u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) z obszaru Beskidów Zachodnich. Analizy dotyczyły liczby lat wskaźnikowych oraz jej zależności od wysokości nad poziomem morza. Zidentyfikowano również elementy klimatyczne, które mogły przyczynić się do wystąpienia regionalnych lat wskaźnikowych.

Material i metody

Do badań wybrano 32 drzewostany świerkowe (stanowiska), które położone były na różnych wysokościach (od 500 do 1400 m n.p.m.). Stanowiska badawcze były położone w 4 mezoregionach Beskidów Zachodnich. Z każdego drzewostanu pobrano po 2 wywierty z 25 drzew panujących lub współpanujących. Szerokości przyrostów rocznych na wywiertach zostały pomierzone z dokładnością do 0,01 mm przyrostomierzem optycznym typu BEPD-3 firmy Biotronik. Poprawność datowania słoju drewna sprawdzono programem COFECHA (Holmes 1983). Na podstawie serii szerokości przyrostów rocznych drzew obliczono chronologie stanowiskowe. Obejmowały one okres 1930–2002. W celu uwypuklenia rocznej zmienności reakcji przyrostowych drzew, wartości szerokości słoju każdej chronologii stanowiskowej transformowano, obliczając wartość wskaźnika przyrostowego – czułość roczną. Wartość czułości rocznej obliczono według wzoru: $C_i = 2 \cdot (x_i - x_{i-1}) \cdot (x_i + x_{i-1})^{-1}$, gdzie: x_i – szerokość słoja w roku i (Douglass 1920; Fritts 1976). Dla każdego stanowiska (25 drzew) obliczono także wskaźnik proporcji, który przedstawia względną liczbę drzew, które zwiększyły przyrost w danym roku. Obliczono go według wzoru: $P_i = m_i \cdot k_i^{-1}$, gdzie: m_i – liczba drzew wykazujących w roku i wzrost przyrostu; k_i – liczba drzew z danego stanowiska (Kelly i in. 1989; Schweingruber i in. 1990; Meyer 1998–1999). W ten sposób dla każdego stanowiska utworzono chronologię wskaźników czułości oraz proporcji. Za stanowiskowe lata wskaźnikowe (SLW) pozytywne uznano te lata, w których $P \geq 0,80$ oraz $C \geq 0,20$, natomiast za lata negatywne, gdy $P \leq 0,20$ oraz $C \leq -0,20$. Wartości graniczne P i C tak dobrano, aby suma lat wskaźnikowych (LW) na wszystkich stanowiskach, a także średnia liczba LW na stanowisku wyznaczone za pomocą P oraz C były jak najbardziej zbliżone do siebie. Następnie uśredniając wartości 32 stanowiskowych chronologii proporcji oraz odpowiednio czułości otrzymano dwie regionalne chronologie wskaźników

proporcji oraz czułości rocznej. W celu wyznaczenia lat wskaźnikowych regionalnych (RLW) przyjęto wartości graniczne C (0,15 i -0,15) oraz P (0,70 i 0,30) nieco niższe, aby zwiększyć ich liczbę. Ma to istotne znaczenie dla identyfikacji elementów klimatycznych, które mogły być ich przyczyną. Zmienność przestrzenna reakcji przyrostowych drzew rosnących na dużych obszarach jest bowiem o wiele większa niż w pojedynczym drzewostanie, co skutkuje spadkiem liczby lat wskaźnikowych przy kryteriach przyjętych dla pojedynczego drzewostanu (Wilczyński 2010). Następnie podobieństwo regionalnych chronologii proporcji oraz czułości oceniono za pomocą współczynnika zbieżności (GL) (Huber 1943; Eckstein i Bauch 1969) oraz współczynnika korelacji Pearsona. $GL = 100 \cdot k \cdot (n-1)^{-1}$ [%], gdzie: k – liczba odcinków chronologii o zgodnym kierunku (spadkowym lub wzrostowym), n – liczba lat badanego interwału. Do analiz warunków klimatycznych panujących w latach wskaźnikowych wykorzystano dane ze stacji meteorologicznej na Przełęczy Kubalonka (760 m n.p.m.).

Wyniki

Liczba pozytywnych oraz negatywnych SLW wyznaczonych metodą wskaźnika proporcji były zbliżone (tab. 1). Podobnie było w przypadku lat wskaźnikowych wyznaczonych metodą czułości rocznej. Średnia liczba SLW pozytywnych oraz negatywnych wyznaczonych metodą proporcji także była bardzo podobna. Analogicznie było w przypadku lat wytypowanych metodą czułości rocznej. Także maksymalna liczba SLW pozytywnych oraz negatywnych wyznaczonych metodą proporcji była bardzo zbliżona. Podobnie było w przypadku lat wyznaczonych metodą czułości rocznej. Powyższe spostrzeżenia odnoszą się także do minimalnej liczby pozytywnych oraz negatywnych SLW. W przypadku metody proporcji maksymalna liczba SLW (łącznie na wszystkich stanowiskach) była siedmiokrotnie większa od minimalnej. W przypadku metody czułości rocznej maksymalna liczba SLW była tylko czterokrotnie większa od minimalnej. Łączna liczba SLW wyznaczonych za pomocą metody wskaźnika proporcji była zbliżona do wytypowanych metodą czułości rocznej. Stosunek liczby pozytywnych i negatywnych SLW ustalonych obiema metodami był podobny. Średnia liczba SLW ustalonych metodą proporcji oraz metodą czułości rocznej była niemal identyczna. Maksymalna liczba pozytywnych i negatywnych SLW wytypowanych metodą proporcji była wyraźnie większa niż liczba lat wyznaczonych metodą czułości rocznej. W przypadku obu metod minimalna liczba SLW pozytywnych i negatywnych była taka sama. Maksymalna liczba SLW wytypowanych metodą proporcji była znacznie większa niż lat wyznaczonych metodą czułości rocznej, natomiast minimalna liczba SLW była identyczna.

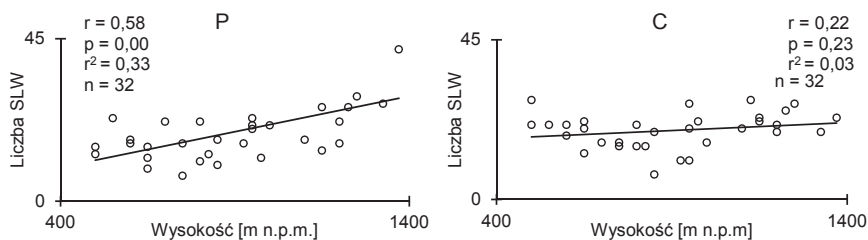
Tab. 1. Wybrane statystyki stanowiskowych lat wskaźnikowych (SLW)

Table 1. Selected statistics of site pointer years (SLW)

Metoda	Statystyki	Liczba lat Pozytywnych	Liczba lat negatywnych	Łącznie
Proporcji	Suma	310	307	617
	Średnia	9,7	9,6	19,3
	Max	23	24	47
	Min	3	4	7
Czułości	Suma	319	303	622
	Średnia	10,0	9,5	19,4
	Max	15	14	28
	Min	3	4	7

29% pozytywnych oraz 30% negatywnych SLW wyznaczonych metodą wskaźnika proporcji wystąpiło w tym samym roku co przy zastosowaniu metody czułości rocznej. Przeciętny procent pokrycia lat wskaźnikowych na stanowisku wyniósł jedynie 7%. Ponadto nie stwierdzono, aby jakikolwiek rok wskaźnikowy wystąpił na wszystkich stanowiskach jednocześnie.

W przypadku SLW wyznaczonych za pomocą wskaźnika proporcji odnotowano słabą tendencję wzrostową ich liczby wraz z wysokością nad poziomem morza (ryc. 1). W przypadku SLW wyznaczonych za pomocą czułości rocznej brak jest takiej zależności.



Ryc. 1. Zależność pomiędzy liczbą stanowiskowych lat wskaźnikowych (SLW) wyznaczonych metodą wskaźnika proporcji (P) oraz czułości rocznej (C) a wysokością n.p.m.

Fig. 1. The relationship between the number of site pointer years (SLW) determined the interval trend method (P), and the annual sensitivity method (C) and the altitude

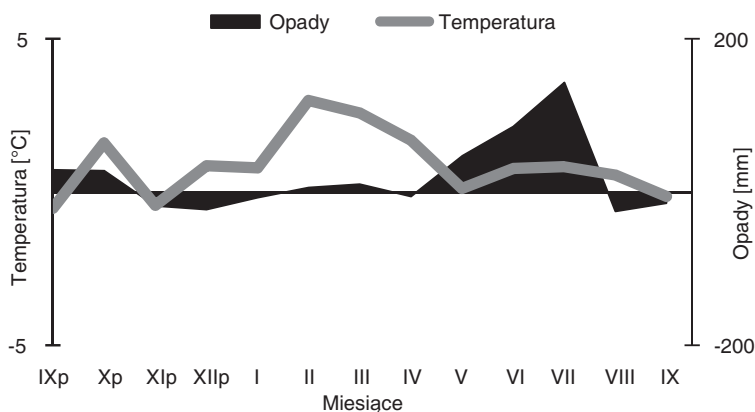
Regionalna chronologia proporcji oraz czułości cechowały się pełną zbieżnością przebiegu (GL = 100%, $p < 0,001$) oraz wysoce istotną współzmiennością ($r = 0,96$; $p < 0,001$). Liczba RLW była bardzo podobna do średniej liczby SLW (tab. 1 i 2). Ponadto stosunek liczby pozytywnych i negatywnych RLW wyznaczonych obiema metodami był podobny (tab. 2). Także liczba pozytywnych RLW wyznaczonych obydwoma metodami była bardzo zbliżona. 80% pozytywnych oraz 89% negatywnych RLW wytypowanych metodą proporcji pokryło się z latami wytypowanymi metodą czułości rocznej (tab. 2).

Tab. 2. Regionalne lata wskaźnikowe (RLW) wyznaczone metodą wskaźnika proporcji (P) oraz czułości rocznej (C)

Table 2. Regional pointer years (RLW) determined the interval trend method (P) and the annual sensitivity method (C)

Metoda	P	C	P	C
RLW	Pozytywne		Negatywne	
	1939	-	1938	1938
	1945	1945	1942	1942
	1950	1950	1947	1947
	1959	1959	-	1948
	1961	1961	1958	1958
	1966	1966	1962	1962
	1981	1981	1969	1969
	1997	1997	1980	1980
	1999	-	1984	1984
	2002	2002	-	-
razem	10	8	8	9
	18		17	

Pozytywne RLW wystąpiły w latach, w których jesień poprzedniego roku była ciepła i mokra, zima była ciepła i trwała krótko, wiosna była bardzo ciepła, natomiast maj, czerwiec i lipiec obfitowały w opady, a ponadto lato (czerwiec–sierpień) było stosunkowo ciepłe (ryc. 2).



Ryc. 2. Różnice między miesięcznymi wartościami temperatury i opadów atmosferycznych lat wskaźnikowych pozytywnych i negatywnych. Analizowano okno klimatyczne od września poprzedniego roku (IXp) do września roku wskaźnikowego (IX)

Fig. 2. Differences between monthly values of temperature and precipitation in positive and negative pointer years. The period from previous September (IXp) to September (IX) of pointer year was analyzed

Dyskusja

Wyniki badań Wilczyńskiego (2010) z Wyżyny Kieleckiej wskazują, że liczba lat wskaźnikowych pozytywnych u świerka była zbliżona do liczby lat wskaźnikowych negatywnych. Podobne zależności wystąpiły u dębu szypułkowego (Bijak 2009). Jednakowy przebieg regionalnych chronologii wskaźnika proporcji oraz czułości, a także pokrywanie się czasu występowania regionalnych lat wskaźnikowych wyznaczonych obydwiema metodami wskazuje na kompatybilność obu metod. Potwierdzają to również wyniki Meyera (1998–1999). Autor ten podaje, że około 40% lat wskaźnikowych pozytywnych oraz negatywnych wyznaczonych metodą wskaźnika proporcji odpowiada latom wskaźnikowym wytypowanym metodą czułości rocznej, a pomiędzy innymi metodami pokrywanie się lat wskaźnikowych waha się w zakresie 6–63% (dla lat pozytywnych) oraz 12–80% (dla lat negatywnych). Z naszych badań wynika, że stanowiskowe lata wskaźnikowe pokryły się w 30%, natomiast w przypadku regionalnych lat wskaźnikowych 85%. Należy jednak podkreślić, że uwzględniono w tym przypadku niższe kryterium. Zróżnicowanie liczby oraz czasu występowania stanowiskowych lat wskaźnikowych wyznaczonych za pomocą obu metod jest stosunkowo duże. W przypadku lat regionalnych, czyli lat obejmujących duże obszary i łącznie wiele drzewostanów, porównywanie wyników badań staje się bardziej skuteczne. Lata te pozwalają zidentyfikować czynniki o charakterze wielkoskalowym. W pracy stwierdzono także słabą tendencję wzrostową liczby stanowiskowych lat wskaźnikowych wyznaczonych metodą proporcji wraz z wysokością nad poziomem morza. Może być to spowodowane zmianą wrażliwości świerka na poszczególne elementy klimatu

dokonującą się wraz z wysokością (Savva i in 2006; Czajka 2012; Wilczyński i Szymański 2014). Wiadomo bowiem, że na północy i w górach to głównie temperatura powietrza ogranicza przyrost drzew (Mikola 1962; Bednarz 1973; Feliksik i Wilczyński 2002, 2003; Wilczyński i Feliksik 2004; Wilczyński i in. 2004; Frank i Esper 2005; Savva i in. 2006). Ciepły luty i marzec powodują, że okres wegetacyjny rozpoczyna się wcześniej. Skutkuje to wczesną inicjacją procesów biochemicznych i fizjologicznych, a w konsekwencji przyspieszeniem aktywności podziałowej kambium waskularnego. Obfite opady w pierwszej połowie lata dodatkowo intensyfikują ten proces. Powyższe spostrzeżenia potwierdzają dotychczasowe badania nad świerkiem (Obmiński 1977; Modrzyński 1989; Feliksik i in. 1994; Feliksik i Wilczyński 2003; Koproński 2013) oraz innymi gatunkami iglastymi takimi jak sosna zwyczajna, jodła pospolita, modrzew europejski czy daglezja zielona (Bijak 2013).

Podziękowania

Badania wykonano w ramach funduszy na działalność statutową (DS/3416) Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie finansowaną przez MNiSW.

Wnioski

- Przestrzenne zróżnicowanie liczby stanowiskowych lat wskaźnikowych świerka w Beskidach Zachodnich jest większe, gdy wyznaczane są metodą wskaźnika proporcji. Jednakże typowanie lat wskaźnikowych obydwiema metodami nie wpływa na stosunek liczby lat wskaźnikowych pozytywnych i negatywnych.
- Trudno jest porównywać przyczyny powstawania stanowiskowych lat wskaźnikowych, typowanych za pomocą obu analizowanych w pracy metod, ze względu na mały procent ich pokrywania się. Analiza porównawcza jest skuteczniejsza w przypadku lat wskaźnikowych regionalnych ze względu na dużą synchroniczność występowania lat wskaźnikowych regionalnych.
- Metoda wyznaczania lat wskaźnikowych za pomocą czułości rocznej jest mniej pracochłonna, ponieważ nie musimy dysponować seriami drzew, jak to ma miejsce w przypadku metody wskaźnika proporcji. Można to uczynić w oparciu o stanowiskowe lub regionalne chronologie szerokości słoików.
- Relacje klimat–przyrost świerka pospolitego na badanym obszarze są zgodne z dotychczasową wiedzą na temat ekologii tego gatunku. Na jego przyrost szczególnie korzystnie wpływa łagodna zima, wczesna i bardzo ciepła wiosna oraz mokre lato, a także deszczowa jesień roku poprzedniego.

Literatura

- Bednarz Z. 1973. Badania dendroklimatologiczne nad limbą (*Pinus cembra* L.) oraz innymi gatunkami drzew tatrzańskich. Rozpr. Dokt., AR w Krakowie (maszynopis).
- Bijak Sz. 2009. North Atlantic Oscillation signal in tree-rings of oak in Poland. W: Kaczka R.J. i in. (red.). TRACE 7: 28–35.

- Bijak Sz. 2013. Sygnał klimatyczny w przyroście radialnym wybranych iglastych gatunków drzew w LZD Rogów. Leśn. Pra. Bad. 74 (2): 101–110.
- Brauning A. 1999. Zur Dendroklimatologie Hochtibets während des letzten Jahrtausends. Diss. Bot. 312.
- Cropper J.P. 1979. Tree-ring skeleton plotting by computer. Tree-Ring Bull. 39: 47–59.
- Czajka B. 2012. Wpływ wysokości nad poziomem morza na wrażliwość klimatyczną świerka pospolitego w masywie Babiej Góry. Studia i Materiały CEPL, Rogów, 30 (1): 91–97.
- Douglass A.E. 1920. Evidence of climate effects in the annual rings of trees. Ecology, 1: 24–32.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstw. Cbl. 88 (4): 230–250.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2002. Variability of tree-ring sizes of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing at different altitudes. Fol. For. Pol., Ser. A For. 44: 87–96.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Termiczne uwarunkowania przyrostu tkanki drzewnej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego. Act. Agrar. et Silv., Ser. Silv. 41: 15–24.
- Feliksik E., Wilczyński S., Wałęcka M. 1994. Klimatyczne uwarunkowania przyrostów kam-bialnych świerka pospolitego (*Picea abies* Karst.) w leśnictwie Pierściec. Acta Agrar. et Silv., Ser. Silv. 32: 53–58.
- Frank D., Esper J. 2005. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. Dendrochronologia, 22: 107–121.
- Fritts H.C. 1976. Tree Rings and Climate. Acad. Press, London.
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull. 43: 69–78.
- Huber B. 1943. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. Holz Roh- Werkst. 6: 263–268.
- Kelly P.M., Murno M.A.R., Hughes M.K., Goodess C.M. 1989. Climate and signatures years in West European oaks. Nature, 340: 57–60.
- Koprowski M. 2013. Spatial distribution of introduced Norway spruce growth in lowland Poland: The influence of changing climate and extreme weather events. Quart. Int. 283: 139–146.
- Meyer F.D. 1998–1999. Pointer years analysis in dendroecology: a comparison of methods. Dendrochronologia, 16–17: 193–204.
- Mikola P. 1962. Temperature and tree growth near the northern timber line. W: Kozłowski T.T. (red.). Tree growth. Roland Press Comp., New York: 265–274.
- Modrzyński J. 1989. Środowiskowe przystosowanie i pochodzenie świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Karkonoskim Parku Narodowym. Roczn. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk. 192.
- Neuwirth B., Esper J., Schweingruber F.H., Winiger M. 2004. Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Lötschental, Switzerland. Dendrochronologia, 21: 69–78.
- Obmiński Z. 1977. Ogólny zarys ekologii. W: Białobok S. (red.). Świerk pospolity. PWN, Warszawa: 332–371.
- Petitcolas V., Rolland C. 1996. Dendroecological study of three subalpine conifers in the region od Briançon (French Alps). Dendrochronologia, 14: 247–253.

- Riemer T. 1994. Über die Varianz von Jahrringbreiten. Statistische Methoden für die Auswertung der jährlichen Dickenzuwächse von Bäumen unter sich ändernden Lebensbedingungen. Diss. Univ. Göttingen 121.
- Romagnoli M., Codipietro G. 1996. Pointer years and growth in Turkey oak (*Quercus cerris* L.) in Latium (central Italy). A dendroclimatic approach. *Ann. For. Sci.* 53 (2–3): 671–684.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P., Tjoelker M., Vaganov E., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees*, 20: 735–746.
- Schweingruber F.H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O.U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8: 9–38.
- Wilczyński S. 2004. Lata wskaźnikowe i wyjątkowe w ocenie związków klimat–przyrost. *Sylwan*, 148 (5): 30–40.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. Rozprawa habilitacyjna, Zesz. Nauk. UR w Krakowie.
- Wilczyński S., Feliksik E. 2004. The dendrochronological monitoring of the Western Beskid Mountains (southern Poland) on the basis of radial increments of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *EJPAU*, ser. For. 7 (2).
- Wilczyński S., Feliksik E., Wertz B. 2004. Diversification of climatic requirements of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the upper forest zone. *EJPAU*, ser. For. 7 (1).
- Wilczyński S., Szymański N. 2014. Pionowe strefy oraz piętra dendroklimatyczne w Beskidach Zachodnich. *Sylwan*, 158 (6): 463–472.

**Norbert Szymański, Katarzyna Łukasiewicz,
Dawid Pasięka, Sławomir Wilczyński**

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