

ZBIGNIEW KOŁODZIEJ, JAROSŁAW PALUCH, LESZEK BARTKOWICZ, MACIEJ PACH

Tekstura karpackiego dolnoregłowego drzewostanu mieszanego o charakterze pierwotnym*

Texture of a primeval lower montane mixed forest in the Carpathians

ABSTRACT

Kołodziej Z., Paluch J., Bartkowicz L., Pach M. 2015. Tekstura karpackiego dolnoregłowego drzewostanu mieszanego o charakterze pierwotnym. Sylwan 159 (7): 600-609.

The aim of this study was to characterize the texture of a primeval forest composed of *Fagus sylvatica* (L.), *Abies alba* (Mill.) and *Picea abies* ((L.) H. Karst). Empirical data were collected in the Babia Góra National Park (southern Poland) in the stand being under strict protection since 1934. 259 circular plots with a radius of 7.0 m and an area of 154 m² each were established in nodes of 20×20 m grid. For individual plots and blocks of the combined plots representing gradient of spatial scales between 0.015 and 0.640 ha, the number of trees, diameter at breast height (dbh) distributions, basal areas and the values of structural diversity indices of Gini (GI), Shannon (SH) and Staudhammer-LeMay (STVI) were determined. The indices were also calculated for several types of theoretical distributions. Based on the values obtained for the theoretical distributions, the individual plots and the blocks of the combined plots were classified as representing simple ($GI \leq 0.30$; $STVI \leq 0.10$), moderately diversified ($0.30 < GI \leq 0.45$ and $0.10 < STVI \leq 0.30$) or complex ($GI > 0.45$; $STVI > 0.30$) dbh structure. For all the spatial scales analyzed the average values of GI and STVI indices reached the level typical for populations of a high structural diversity (i.e. exceeded the values of 0.45 and 0.30 respectively). According to the GI and STVI values, the portion of stand patches with complex dbh structure ranged from 70.9% and 68.2% at the individual plots scale, respectively, up to 100% in the blocks of 16 plots (4×4). In general, in all the spatial scales analyzed the spatial diversification of the dbh distributions and basal area levels was higher than in managed selection forests and much higher than in managed single-storied stands. The dominant frequency of highly diversified dbh distributions found in the analysed stand was not concordant with the predictions of the forest dynamics theory based on developmental stages, according to which in primeval forests with a significant partition of *Abies alba* and *Picea abies* should prevail stand patches of rather simple dbh structure, characteristic for the long-lasting optimum stage.

KEY WORDS

primeval forest, mixed stands, spatial pattern, structural heterogeneity, diversity index, forest dynamics theory

ADDRESSES

Zbigniew Kołodziej – e-mail: rkolodz@cyf-kr.edu.pl

Jarosław Paluch – e-mail: j.paluch@ur.krakow.pl

Leszek Bartkowicz – e-mail: l.bartkowicz@ur.krakow.pl

Maciej Pach – e-mail: rpach@cyf-kr.edu.pl

Zakład Szczegółowej Hodowli Lasu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

*Badania sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu NN309 031939.

Wstęp

W warunkach karpackich siedlisk dolnoregłowych funkcje ochronne najlepiej spełniają drzewostany wielogatunkowe i różnowiekowe o złożonej budowie. Wzorców takiej postaci lasu często poszukuje się w reliktowych lasach o charakterze pierwotnym, które zachowały naturalny skład gatunkowy, strukturę i dynamikę [Jaworski 1997; Jaworski i in. 2000]. Praktyczne wykorzystanie wzorców w hodowli lasu wymaga wypracowania metod pozwalających na możliwie pełną charakterystykę budowy obiektów wzorcowych oraz ewaluację rozwoju postaci drzewostanów kształtowanych celowymi zabiegami hodowlanymi pod kątem ich zgodności z założonym wzorcem.

W literaturze można znaleźć liczne prace poświęcone analizie składu gatunkowego, struktury i dynamiki górskich drzewostanów naturalnych [Jaworski, Paluch 2001; Jaworski i in. 2002, 2006]. Z uwagi na złożoną postać tych drzewostanów oraz dużą różnorodność spotykanych typów budowy (np. jednostkowo-przerębowa, grupowo-przerębowa, grupowo-kępowa ze zwarciem schodkowym) warto ich charakterystykę uzupełnić opisem wewnętrznej zmienności budowy i struktury drzewostanu, w dalszej części pracy określanej pojęciem tekstury. W najprostszym ujęciu charakterystyka tekstury może ograniczyć się do określenia frekwencji płatów drzewostanu różniących się typem budowy pionowej czy struktury pierśnic, ale może ona również objąć bardziej wyrafinowane elementy, jak na przykład atrybuty przestrzenne i topologiczne płatów (np. powierzchnia, kształt, sąsiedztwo) [Král i in. 2014a]. Należy podkreślić, że w lasach naturalnych tekstura lasu stanowi bezpośrednie odzwierciedlenie ich dynamiki i wykazuje ścisłe powiązanie z reżimem zaburzeń oraz strategiami życiowymi gatunków drzew i innych komponentów biocenozy.

Z punktu widzenia złożoności analizy tekstury lasu podstawowego znaczenia nabiera możliwość wyrażania zróżnicowania struktury w płatach drzewostanu wskaźnikami liczbowymi, gdyż wraz z rosnącą liczbą analizowanych płatów posługiwanie się rozkładami pierśnic staje się coraz bardziej kłopotliwe [Poznański i in. 1980]. Liczbowa postać wskaźników zróżnicowania struktury umożliwia określenie przeciętnego zróżnicowania struktury w płatach drzewostanu oraz jego zmienności w populacji płatów tworzących drzewostan za pomocą powszechnie stosowanych w analizie statystycznej charakterystyk (jak wartość średnia i odchylenie standardowe) i ułatwia ewentualne porównanie z wartościami obliczonymi dla innych drzewostanów. W literaturze znaleźć można co najmniej kilkanaście wskaźników wykorzystywanych do charakterystyki zróżnicowania struktury drzewostanu, z reguły bazujących na frakcji liczby drzew lub pierśnicowego pola przekroju w przyjętych klasach grubości [Magurran 1988; Neumann, Starlinger 2001; Staudhammer, LeMay 2001; Brzeziecki 2002; Lexerød, Eid 2006; Valbuena i in. 2012]. W zależności od metody konstrukcji cechują się one różną wrażliwością na zmiany kształtu rozkładów pierśnic i skalę przestrzenną analiz, stąd wybór właściwych wskaźników jest zawsze kwestią istotną [Lexerød, Eid 2006; O'Hara i in. 2007; Duduman 2011].

Celem pracy było scharakteryzowanie tekstury prawdopodobnie najlepiej zachowanego w Polsce drzewostanu o charakterze pierwotnym tworzonego przez buk, jodłę i świerk. Dla zbliżonych warunków siedliskowych obiekt ten można traktować jako wzorec naturalnej, niezniekształconej bezpośrednio przez człowieka struktury lasu. Do opisu tekstury drzewostanu wykorzystano średnią i odchylenie standardowe trzech wskaźników struktury obliczonych w pięciu skalach przestrzennych oraz określono frakcje płatów o prostej i złożonej budowie. Uzyskane wyniki przedyskutowano w kontekście teorii dynamiki lasów pierwotnych.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono w 2011 roku na terenie Babiogórskiego Parku Narodowego w kompleksie Dolnego Płaja (dawny rezerwat Żarnówka). Teren badań objęty jest ochroną ścisłą od 1934 roku i wraz z rezerwatami utworzonymi w dobrach rodziny Stadnickich w Beskidzie Sądeckim należy do najstarszych rezerwatów w polskich Karpatach Zachodnich. Obiekt badawczy położony jest w piętrze regla dolnego na wysokości 930-1020 m n.p.m., na zboczu o nachyleniu 10-20° i wystawie północnej. W jego obrębie dominują gleby brunatne bielcowane, miejscami brunatne kwaśne i wylugowane [Adamczyk 1983], na których wykształcił się zespół żywej buczyny karpackiej (*Dentario glandulosae-Fagetum* Klika 1927) [Celiński, Wojterski 1983]. Średnia roczna suma opadów osiąga w tych warunkach 1200 mm. Pokrywa śnieżna zalega przez 110-130 dni, a izoterma średniej rocznej temperatury 4°C przebiega na wysokości 1110 m n.p.m. [Obrębska-Starkłowa 1983].

Powierzchnię badawczą o wielkości 10,36 ha zlokalizowano w centralnej części rezerwatu. W obrębie powierzchni, w węzłach siatki kwadratów o wymiarach 20×20 m, rozmieszczono 259 kołowych poletek o promieniu 7,0 m i powierzchni 154 m². Wielkość ta odpowiadała w przybliżeniu stoisku pojedynczego drzewa z górnej warstwy drzewostanu. Przy wyznaczaniu lokalizacji i promieni poletek korzystano z busoli (dokładność pomiaru – 0,5°) oraz wysokościomierza Vertex IV z funkcją dalmierza ultradźwiękowego (dokładność pomiaru 10 cm). Na poletkach przeprowadzono szereg pomiarów, z których w niniejszym opracowaniu wykorzystano rejestr gatunków i pierśnice drzew żywych o $d_{1,3}=7$ cm.

Dla każdego poletka (N=259) określono liczbę drzew, pierśnicowe pole przekroju, a także wartości wskaźników zróżnicowania struktury:

– Shannona [1948]:

$$SH = \sum_{i=1}^k p_i \ln(p_i) \quad p_i = \frac{ba_i}{BA} \quad [1]$$

– Giniego [Ceriani, Verme 2012]:

$$GI = \frac{\sum_{j=1}^n (2j - n - 1) ba_j}{\sum_{j=1}^n ba_j (n - 1)} \quad [2]$$

gdzie:

BA – pierśnicowe pole przekroju w próbie [m²/ha],

ba_i – pierśnicowe pole przekroju w i -tym stopniu grubości [m²/ha],

k – liczba stopni grubości (o szerokości 4 cm),

j – ranga drzewa j w rosnącym szeregu pierśnic,

n – liczba drzew w próbie,

ba_j – pierśnicowe pole przekroju drzewa o randze j [m²]

oraz

– Staudhammer-LeMay [2001]:

$$STVI = \begin{cases} \frac{S_{1,3}^2}{S_u^2} \Leftrightarrow S_{1,3}^2 \leq S_u^2 \\ 1 - \frac{S_{1,3}^2 - S_u^2}{S_{\max}^2 - S_u^2} \Leftrightarrow S_{1,3}^2 > S_u^2 \end{cases} \quad [3]$$

$$S_{\max}^2 = \frac{(\ln(d_{1,3\max}) - \ln(d_{1,3\min}))^2}{4} \quad [4]$$

$$S_u^2 = \frac{(\ln(d_{1,3\max}) - \ln(d_{1,3\min}))^2}{12} \quad [5]$$

$$S_{1,3}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(d_{1,3})_i - \overline{\ln(d_{1,3})})^2}{n} \quad [6]$$

gdzie:

$d_{1,3\max}$ – maksymalna pierśnica w drzewostanie,
 $d_{1,3\min}$ – próg pomiaru pierśnic (7 cm).

Uwzględnione wskaźniki cechują się stosunkowo dużą wrażliwością na nierównomierność rozkładu zmiennej. Wskaźniki GI oraz STVI są unormowane w przedziale od 0 do 1, a ponadto są mało wrażliwe na nieciągłość rozkładu, co czyni je szczególnie przydatnymi do analiz w małych skalach przestrzennych. Wskaźnik Shannona (wartości w przedziale od 0 do $\ln(k)$), chociaż odznacza się dużą wrażliwością na nieciągłość rozkładu, został uwzględniony w pracy, gdyż pozostaje nadal podstawową miarą różnorodności wykorzystywaną w badaniach przyrodniczych. Wartości wskaźników SH, GI oraz STVI dla kilku typów rozkładów teoretycznych przedstawiono w tabeli 1. Populacje o małym zróżnicowaniu reprezentowały rozkłady normalne o współczynniku zmienności pierśnic 20%, o średnim zróżnicowaniu – rozkłady dwumodalne i jednoboczne silnie asymetryczne, zaś o dużym zróżnicowaniu – płaskie rozkłady jednoboczne i rozkłady jednostajne.

Liczbę drzew, pierśnicowe pole przekroju oraz wartości wskaźników zróżnicowania struktury obliczono również dla bloków sąsiadujących poletek. W sumie utworzono 126 bloków w układzie 2 poletek (1×2), 59 bloków w układzie 4 poletek (2×2), 28 bloków w układzie 8 poletek

Tabela 1.

Pierśnicowe pole przekroju (BA*), liczba drzew (N) oraz wartości analizowanych wskaźników zróżnicowania struktury drzewostanu dla teoretycznych rozkładów uciętych ($d_{1,3} < 7$ cm).

Basal area (BA*), numer of trees (N) and values of analysed stand structural diversity indices for selected truncated ($d_{1,3} < 7$ cm) theoretical distributions

	BA [m ² /ha]	N [szt./ha]	SH	GI	STVI
prosta struktura pierśnic					
simple diameter structure					
N(25,5)	35,05	685	1,63	0,22	0,08
N(50,10)	35,06	171	2,29	0,22	0,07
średnio zróżnicowana struktura pierśnic					
mode rarely diversified diameter structure					
N(25,5)+N(50,10)	35,43	276	2,59	0,41	0,28
L-M(0,5)	34,89	2217	2,04	0,43	0,21
złożona struktura pierśnic					
complex diameter structure					
L-M(0,75)	34,56	722	2,91	0,60	0,52
J(75)	35,84	221	2,50	0,49	0,76
J(100)	38,08	138	2,78	0,47	0,72

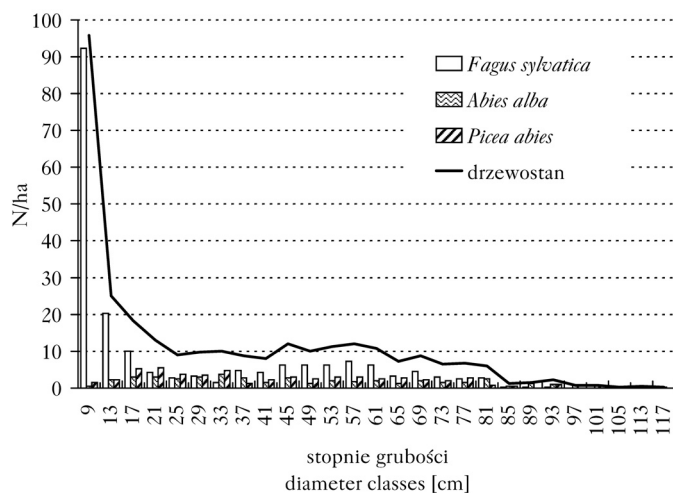
* Ponieważ liczba drzew w stopniach grubości jest liczbą naturalną, zachowanie tego samego pierśnicowego pola przekroju jest niemożliwe; N(x, s) – rozkład normalny o średniej x i odchyleniu standardowym s; L-M(q) – rozkład Liocourta-Meyera (szerzeg geometryczny o ilorazie q); J(n) – rozkład jednostajny w przedziale pierśnic od 7 do n

* Because number of trees in size-class is an integer, it is impossible to maintain the same value of basal area for various distributions

(2×4) oraz 14 bloków w układzie 16 poletek (4×4). Tworzenie bloków skutkowało odrzuceniem części poletek. Następnie obliczono wartości średnie, rozstępy, standaryzowany rozstęp (iloraz rozstępu i wartości średniej), odchylenia standardowe i współczynniki zmienności wskaźników zróżnicowania struktury oraz sporządzono histogramy ich rozkładów. Ponieważ w analizowanym drzewostanie przestrzenne zróżnicowanie struktury nie wykazywało istotnych odchyleń od wzorca losowego [Paluch i in. 2014], przyjęto założenie, że otrzymane wartości średnich i odchyleń standardowych dla bloków poletek są estymatorami tych charakterystyk dla skal przestrzennych odpowiadających liczbie poletek w bloku i powierzchni 400 m² przypadającej na jedno pole siatki 20×20 m. Ponadto, w celu porównania frakcji drzew w stopniach grubości w całym drzewostanie oraz w blokach poletek, dla każdego bloku wyznaczono bezwzględne odchylenia frakcji drzew w rozkładzie pierśnic w bloku i w całym drzewostanie (przy szerokości stopnia 4 cm), określono odchylenie przeciętne dla bloku, dzieląc sumę odchyleń przez liczbę stopni, a następnie obliczono dla łącznej populacji wszystkich bloków średnią i odchylenie standardowe tych przeciętnych odchyleń.

Wyniki

Drzewostan cechował się dość wysokim pierśnicowym polem przekroju (BA=36,10 m²/ha) przy stosunkowo niewielkiej liczbie drzew (N=288 szt./ha). W składzie gatunkowym dominował buk (*Fagus sylvatica* L.) (44,3% BA i 65,3% N), któremu towarzyszyły świerk (*Picea abies* Karst.) (26,3% BA i 18,8% N) oraz jodła (*Abies alba* Mill.) (29,4% BA i 15,6% N). Sporadycznie występowała jarzębina (*Sorbus aucuparia* L.) i jawor (*Acer pseudoplatanus* L.). Rozkład pierśnic miał kształt odwróconej krzywej sigmoidalnej z wyraźną dominacją liczby drzew w najniższych stopniach grubości (ryc. 1). W stosunku do krzywej ujemnie wykładniczej rozkład pierśnic cechował się nadmiarem drzew w stopniach grubości od 45 do 81 cm. Rozkłady skonstruowane dla każdego z 14 bloków w układzie poletek 4×4 cechowały się bardzo dużym podobieństwem kształtu rozkładu pierśnic do rozkładu w całym drzewostanie: przeciętnie w stopniu grubości odchylenia frakcji drzew wyniosły 1,9%, przy rozrzucie wartości dla poszczególnych bloków od 1,2 do 3,2% i współczynniki zmienności między blokami 27%. Dla porównania – dla bloków 8 i 4 poletek odchylenia frakcji drzew wyniosły przeciętnie 2,6 i 3,6%. Drzewostan cechował się dużą zmiennością przestrzenną pierśnicowego pola przekroju. Współczynnik zmienności tej



Ryc. 1.

Struktura pierśnic w badanym drzewostanie
Diameter distribution in the analysed stand

cechy osiągał wartości od 67,9% w skali pojedynczych poletek do 25,1% w skali bloków 16 poletek (tab. 2), wyraźnie przewyższając odpowiednie wartości uzyskane dla wskaźników zróżnicowania struktury (tab. 3).

Na podstawie wartości osiągniętych przez poszczególne wskaźniki dla wybranych rozkładów teoretycznych (tab. 1) można dokonać interpretacji ich wartości empirycznych. Przyjęto, że układy złożone od układów o prostej strukturze odróżnia wartość wskaźnika SH=2,30. Wartości wskaźników GI oraz STVI pozwalają dodatkowo na identyfikację płatów drzewostanu o prostej ($GI \leq 0,30$; $STVI \leq 0,10$), średnio zróżnicowanej ($0,30 < GI \leq 0,45$ oraz $0,10 < STVI \leq 0,30$) i złożonej

Tabela 2.

Średnia (m), rozstęp (min-max) i współczynnik zmienności (cv) pierścicowego pola przekroju (BA) i liczby drzew (N) dla pojedynczych poletek (P) i ich bloków (B)

Mean (m), range (min-max) and coefficient of variation of basal area (BA) and number of trees (N) in individual plots (P) and blocks of the combined plots (B)

	NB	NP	m	min-max	cv [%]
BA [m ² /ha]	14	16 (4×4)	35,89	23,23-53,82	25,1
	28	8 (2×4)	35,89	13,64-61,09	35,6
	59	4 (2×2)	35,89	1,56-70,40	42,7
	126	2 (1×2)	36,19	1,37-87,41	50,6
	259	1	36,10	0,25-128,35	67,9
N [szt./ha]	14	16 (4×4)	285	187-422	23,1
	28	8 (2×4)	285	178-454	29,0
	59	4 (2×2)	285	146-601	36,4
	126	2 (1×2)	294	97-909	49,1
	259	1	298	65-974	58,1

Tabela 3.

Średnia (m), rozstęp (min-max), rozstęp standaryzowany (min-max'), odchylenie standardowe (sd) i współczynnik zmienności (cv) analizowanych wskaźników zróżnicowania struktury drzewostanu dla pojedynczych poletek (P) i ich bloków (B)

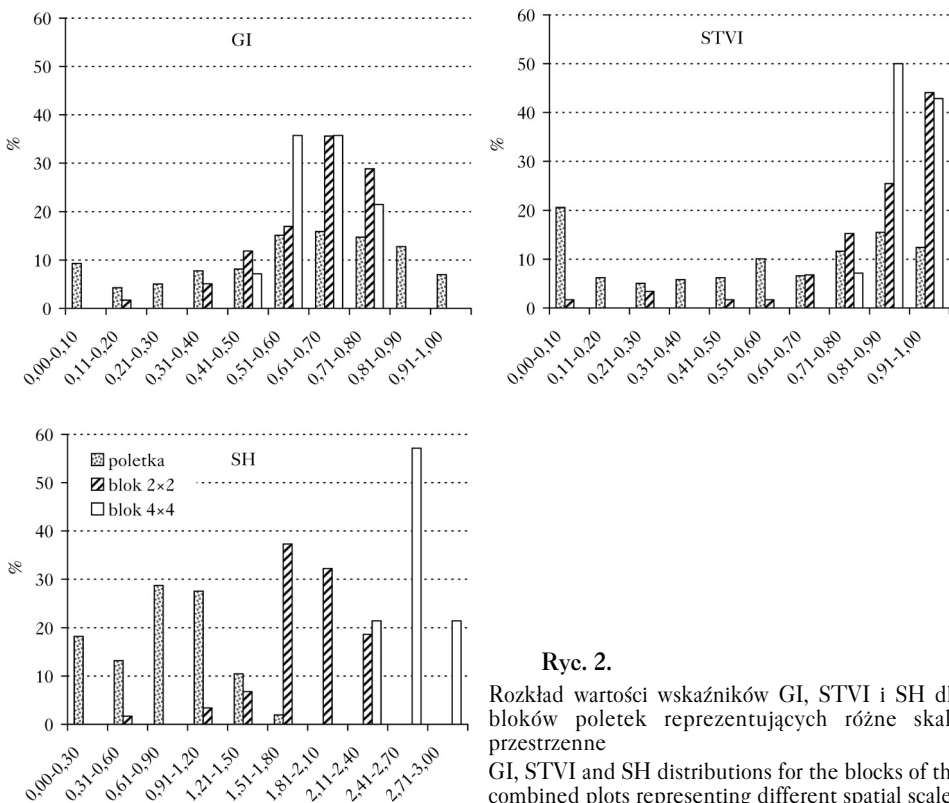
Mean (m), range (min-max), standardized range (min-max'), standard deviation (sd) and coefficient of variation of analysed stand structural diversity indices in individual plots (P) and blocks of the combined plots (B)

	NB	NP	m	min-max	min-max' [%]	sd	cv [%]
SH	14	16 (4×4)	2,57	2,24-2,81	22,2	0,18	6,9
	28	8 (2×4)	2,23	1,73-2,58	38,1	0,22	9,7
	59	4 (2×2)	1,79	0,53-2,27	97,2	0,34	18,8
	126	2 (1×2)	1,28	0,17-1,96	139,8	0,37	28,8
	259	1	0,75	0,00-1,68	224,0	0,41	55,2
GI	14	16 (4×4)	0,63	0,46-0,74	44,4	0,08	13,3
	28	8 (2×4)	0,63	0,39-0,76	58,7	0,09	14,8
	59	4 (2×2)	0,61	0,20-0,79	96,7	0,13	20,7
	126	2 (1×2)	0,62	0,04-0,94	145,2	0,17	27,1
	259	1	0,55	0,00-0,97	176,4	0,27	48,4
STVI	14	16 (4×4)	0,89	0,73-0,99	29,2	0,07	7,5
	28	8 (2×4)	0,88	0,64-0,99	39,8	0,09	9,9
	59	4 (2×2)	0,82	0,04-0,99	115,9	0,19	23,8
	126	2 (1×2)	0,73	0,00-0,99	135,6	0,25	35,3
	259	1	0,51	0,00-1,00	196,1	0,34	66,1

strukturze pierśnic ($GI > 0,45$; $STVI > 0,30$). Dla porównania wartości wskaźników dla całego drzewostanu wyniosły: $GI - 0,66$, $SH - 3,01$ i $STVI - 0,94$. Oznacza to, że badany drzewostan niewątpliwie cechuje się zróżnicowaną strukturą pierśnic.

Wartości średnie wskaźników zróżnicowania struktury GI i $STVI$ we wszystkich skalach przestrzennych osiągały poziom charakterystyczny dla populacji o dużym zróżnicowaniu (znacznie przekraczały odpowiednio $0,45$ i $0,30$). Według wskaźnika GI udział płatów charakteryzujących się silnym zróżnicowaniem struktury wahał się od $70,9\%$ w skali pojedynczych poletek do 100% w skali odpowiadającej blokom 16 poletek. Dla wskaźnika $STVI$ w analogicznych skalach było to $68,2\%$ oraz 100% . Inaczej w tym względzie zachowywał się wskaźnik SH , który osiągał w przeważającej frakcji bloków wartości odpowiadające zróżnicowanym układom dopiero w skali największej spośród analizowanych (bloki 16 poletek) (tab. 3, ryc. 2).

Na podstawie wartości przyjmowanych przez miary rozproszenia wskaźników można stwierdzić, że badany drzewostan cechował się dużą złożonością tekstury w małych skalach przestrzennych (do skali odpowiadającej blokom 4 poletek). Natomiast przy rozpatrywaniu większych płatów stawał się już stosunkowo homogeniczny (cechował się prostą teksturą) (tab. 3). Rozkłady wartości wskaźników GI i $STVI$ uwiadcniają, że w małych skalach przestrzennych, obok pozostających w przewadze płatów silnie zróżnicowanych, występowały płaty o mniejszym zróżnicowaniu, w tym również o bardzo prostej strukturze. Udział tych ostatnich był największy w skali pojedynczych poletek, kształtując się na poziomie $29,1\%$ według wskaźnika GI i $31,8\%$ według wskaźnika $STVI$. Począwszy od skali odpowiadającej blokom 8 poletek, obserwowano całkowity zanik tego typu płatów, poza jednym przypadkiem w ujęciu tak wskaźnika GI jak i $STVI$ (tab. 3, ryc. 2).



Ryc. 2.

Rozkład wartości wskaźników GI , $STVI$ i SH dla bloków poletek reprezentujących różne skale przestrzenne

GI , $STVI$ and SH distributions for the blocks of the combined plots representing different spatial scales

Dyskusja

Do analizy tekstury drzewostanu użyto trzech wskaźników zróżnicowania struktury o zasadniczo różnej konstrukcji. Wyniki uzyskane za pomocą wskaźnika Giniego i Staudhammer-LeMay cechują się dużą zgodnością. Odmiennie zachowuje się natomiast wskaźnik Shannona, wskazując na dominację płatów o prostej strukturze pierśnic w małych skalach przestrzennych. Wydaje się jednak, że wynika to z bardzo dużej wrażliwości tego wskaźnika na liczbę reprezentowanych klas wymiarowych, co w przypadku specyficznych dla małych skal przestrzennych prób o rozkładzie zawierającym liczne nieciągłości (w związku z małą liczebnością drzew) skutkuje niedoszacowaniem stopnia zróżnicowania struktury.

Wiarygodność wskaźnika Giniego zwiększają natomiast badania dotyczące jego ewaluacji na podstawie materiału empirycznego z drzewostanów o różnej strukturze wiekowej [Knox i in. 1989; Duduman 2011]. Maksymalna wartość wskaźnika w drzewostanach jednowiekowych wyniosła 0,35, w dwugeneracyjnych mieściła się w przedziale 0,35-0,43, dla kilkugeneracyjnych – w przedziale 0,43-0,51, natomiast w drzewostanach o strukturze przerębowej wskaźnik osiągał wartości większe od 0,51. W drzewostanach z udziałem jodły i buka, objętych na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego ochroną całkowitą lub częściową, wartość tego wskaźnika wahała się w granicach 0,33-0,73. Natomiast zagospodarowane drzewostany z jodłą i bukiem rosnące w Górach Świętokrzyskich i Karpatach wykazały wartości tego indeksu w zakresie od 0,31 do 0,48 [Pach, Podlaski 2015].

Zmienność pierśnicowego pola przekroju w badanym drzewostanie była porównywalna z wartościami stwierdzonymi w innych karpackich dolnoregłowych drzewostanach o charakterze pierwotnym [Paluch i in. 2014; Król i in. 2014b]. W każdej z analizowanych skal przestrzennych zmienność pierśnicowego pola przekroju była większa o około 10-15% w porównaniu z drzewostanami przerębowymi oraz o około 25-50% w porównaniu z dojrzałymi świerczynami o budowie jednopiętrowej [Weidmann 1961]. Wyniki wskazują, że w płatach o powierzchni powyżej 0,16 ha (odpowiadającej blokom 8 poletek) zdecydowanie dominowała frakcja zróżnicowanych typów struktury. W mniejszych skalach przestrzennych, obok przeważających układów o zróżnicowanej strukturze, zaznacza się udział płatów o małym zróżnicowaniu, kształtujący bardziej heterogenną (złożoną) teksturę badanego drzewostanu w skali poletek pomiarowych. Rezultaty te są zbieżne z wynikami uzyskanymi w innych karpackich dolnoregłowych lasach o charakterze pierwotnym [Paluch 2007; Król i in. 2014b]. Warto podkreślić, że rozkład pierśnic badanego drzewostanu, mimo stosunkowo dużej powierzchni objętej pomiarem, wyraźnie odbiegał od rozkładu ujemnie wykładniczego i upodabiał się raczej do odwróconych rozkładów sigmoidalnych (w kształcie odwróconej litery „S”), które często wykształcają się w lasach pierwotnych z dużym udziałem buka [Westphal i in. 2006].

Stwierdzony dominujący udział płatów o złożonej budowie nie odpowiada przewidywaniom rozpowszechnionej w krajach środkowoeuropejskich teorii dynamiki lasów pierwotnych bazującej na stadiach rozwojowych [Leibundgut 1979; Korpel' 1989]. Koncepcja ta zakłada bowiem, że w lesie pierwotnym ze znacznym udziałem długowiecznej jodły i świerka przeważają fragmenty o jednopiętrowej budowie i mało zróżnicowanej strukturze pierśnic, co miałyby wynikać z rozprzestrzenienia stadium optymalnego jako najdłużej trwającego ogniwa w cyklu rozwojowym takich pralasów. Uzyskane wyniki sugerują ponadto, że drzewostany o teksturze podobnej do badanego drzewostanu mogą osiągać demograficzną równowagę na mniejszych powierzchniach, niż to się przyjmuje w koncepcji stadiów rozwojowych (10-40 ha) [Korpel' 1989; Emborg i in. 2000].

Rezultaty przedstawionych badań pozostają również w opozycji do klasycznej teorii dynamiki luk, według której las stanowi przestrzenną mozaikę losowo rozmieszczonych luk znajdujących się na różnych etapach zarastania [Watt 1947; Shugart 1984; Remmert 1991]. Konsekwencją jej założeń byłaby bowiem dominacja płatów o prostej strukturze w najmniejszej rozpatrywanej skali, odpowiadającej powierzchni projekcyjnej korony drzewa z górnej warstwy drzewostanu. Wydaje się, że bardziej realistyczne modele dynamiki lasów pierwotnych powinny uwzględniać z jednej strony bardziej stochastyczny charakter wydzielenia się drzew w warstwie okapu, niż przewiduje to koncepcja stadiów rozwojowych, a z drugiej większą plastyczność wzrostową drzew niższych pięter, pozwalającą w małych skalach przestrzennych na powstawanie układów bardziej złożonych, niż zakłada klasyczna teoria luk [Trotsiuk i in. 2012; Nagel i in. 2014].

Wnioski

- ✦ Tekstura pierwotnego dolnoregłowego drzewostanu świerkowo-jodłowo-bukowego cechuje się dominacją płatów o zróżnicowanej strukturze pierśnic we wszystkich analizowanych skalach przestrzennych, przy czym w małych skalach (kilku arów) znaczący udział mają również płaty o małym zróżnicowaniu.
- ✦ Z uwagi na stochastyczny charakter zaburzeń kształtujących strukturę i dynamikę lasów pierwotnych, uzyskany obraz tekstury trudno bezpośrednio porównać do postaci lasu kształtowanej przez określoną rębnię. Wydaje się, że jest on najbliższy postaci kształtowanej przez prowadnię wszechgeneracyjną i formę rębni uwzględniającą możliwość prowadzenia w warstwie górnej elastycznych cięć jednostkowych, grupowych i (najrzadziej) kępowych. Ukształtowany w ten sposób drzewostan powinien cechować się w małych skalach przestrzennych dużą zmiennością budowy pionowej oraz pierśnicowego pola przekroju i nawet na większych powierzchniach nie musi posiadać ujemnie wykładniczego rozkładu pierśnic, co odróżnia go od lasu o budowie jednostkowo-przerębowej.

Literatura

- Adameczyk B. 1983. Charakterystyka gleb Babiogórskiego Parku Narodowego. W: Zabierowski K. [red.]. Park Narodowy na Babiej Górze. Studia Nat. B 29: 95-120.
- Brzeziecki B. 2002. Wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu. Sylwan 146 (4): 69-79.
- Celiński F., Wojterski T. 1983. Szata roślinna Babiej Góry. W: Zabierowski K. [red.]. Park Narodowy na Babiej Górze. Studia Nat. B 29: 121-177.
- Ceriani L., Verme P. 2012. The origins of the Gini index: extracts from Variabilità e Mutabilità (1912) by Corrado Gini. J. Econ. Inequal. 10 (3): 421-443.
- Duduman G. 2011. A forest management planning tool to create highly diverse uneven-aged stands. Forestry 84: 301-314.
- Emborg J., Christensen M., Heilmann-Clausen J. 2000. The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. For. Ecol. Manage. 126: 173-189.
- Jaworski A. 1997. Karpackie lasy o charakterze pierwotnym i ich znaczenie w kształtowaniu proekologicznego modelu gospodarki leśnej w górach. Sylwan 141 (4): 33-49.
- Jaworski A., Kołodziej Z., Łapka M., Bartkowiec L. 2006. Budowa, struktura i dynamika drzewostanów o charakterze pierwotnym w rezerwacie „Dolina Łopusznej” (Gorczański Park Narodowy). Leś. Pr. Bad. 4: 35-59.
- Jaworski A., Kołodziej Z., Opyd Z. 2000. Bukowe lasy o charakterze pierwotnym jako model lasów przerębowych. Acta Agr. et Silv., Ser. Silv. 38: 3-31.
- Jaworski A., Kołodziej Z., Porada K. 2002. Structure and dynamics of stands of primeval character in selected areas of the Bieszczady National Park. J. For. Sci. 48: 185-201.
- Jaworski A., Paluch J. 2001. Structure and dynamics of the lower mountain zone forests of primeval character in the Babia Góra Mt. National Park. J. For. Sci. 47: 60-74.
- Knox R. G., Peet R. K., Christensen N. L. 1989. Population dynamics in Loblolly Pine stands: changes in skewness and size inequality. Ecology 70: 1153-1167.
- Korpel' Š. 1989. Pralesy Slovenska. Veda, Bratislava.
- Král K., McMahon S. M., Janik D., Adam D., Vrška T. 2014a. Patch mosaic of developmental stages in central European natural forests along vegetation gradient. For. Ecol. Manage. 330: 17-28.

- Král K., Valtera M., Janik D., Šamonil P., Vrška T. 2014b. Spatial variability of general stand characteristics in central European beech-dominated natural stands – effects of scale. *For. Ecol. Manage.* 328: 353-364.
- Leibundgut H. 1979. Über die Dynamik europäischer Urwälder. *Schweiz. Z. Forstwes.* 130: 906-916.
- Lexerød N. L., Eid T. 2006. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. *For. Ecol. Manage.* 222: 17-28.
- Magurran A. E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, New York.
- Nagel T. A., Svoboda M., Kopal M. 2014. Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe. *Ecol. Appl.* 24: 663-679.
- Neumann M., Starlinger F. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *For. Ecol. Manage.* 145: 91-106.
- O'Hara K. L., Hasenauer H., Kindermann G. 2007. Sustainability in multi-aged stands: an analysis of long-term plener systems. *Forestry* 80: 163-181.
- Obrębska-Starkłowa B. 1983. Stosunki klimatyczne w rejonie Babiej Góry. W: Zabierowski K. [red.]. *Park Narodowy na Babiej Górze*. *Studia Nat.* B 29: 41-62.
- Pach M., Podlaski R. 2015. Tree diameter structural diversity in Central European forests with *Abies alba* and *Fagus sylvatica*: managed versus unmanaged forest stands. *Ecol. Res.* 30 (2): 367-384.
- Paluch J. G. 2007. The spatial pattern of a natural European beech (*Fagus sylvatica* L.)-silver fir (*Abies alba* Mill.) forest: A patch-mosaic perspective. *For. Ecol. Manage.* 253: 161-170.
- Paluch J. G., Kołodziej Z., Pach M., Jastrzębski R. 2014. Spatial variability of close-to-primeval *Fagus-Abies-Picea* forests in the Western Carpathians (Central Europe): a step towards a generalised pattern. *Eur. J. Forest. Res.* 134: 235-246.
- Poznański R., Rutkowski B., Żuchowski J. 1980. Rozkład pierśnicowej struktury różnowiekowych jedlin w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Krynicy. *Acta Agr. et Silv., Ser. Silv.* 19: 95-113.
- Remmert H. 1991. The mosaic-cycle concept of ecosystems – an overview. W: Remmert H. [red.]. *The mosaic-cycle concept of ecosystems*. *Ecological Studies* 85: 1-21.
- Shannon C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423.
- Shugart H. H. 1984. *A theory of forest dynamics*. Springer Verlag, New York.
- Staudhammer C. L., LeMay V. M. 2001. Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Can. J. Res.* 31: 1105-1115.
- Trotsiuk V., Hobi M. L., Commarmot B. 2012. Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *For. Ecol. Manage.* 265: 181-190.
- Valbuena R., Packalen P., Martin-Fernandez S., Maltamo M. 2012. Diversity and equitability ordering profiles applied to study forest structure. *For. Ecol. Manage.* 276: 185-195.
- Watt A. S. 1947. Pattern and process in the plant community. *J. Ecol.* 35:1-22.
- Weidmann A. 1961. Eignung verschiedener Messargumente und Berechnungsmethoden für die Erfassung von Zustand und Zustandsänderung von Bestockungen. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.* 37: 1-125.
- Westphal Ch., Tremer N., von Oheimb G., Hansen J., von Gadow K., Härdtle W. 2006. Is the reverse J-shaped distribution universally applicable in European virgin beech forests? *For. Ecol. Manage.* 223: 75-83.