

Czy naturalne procesy ekologiczne w juvenilnej fazie rozwoju drzewostanu założonego sztucznie różnicują jego strukturę przestrzenną?

Do natural processes at the juvenile stage of stand development differentiate the spatial structure of trees in artificially established forest stands?

Janusz Szmyt*, Robert Korzeniewicz

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Leśny, Katedra Hodowli Lasu, ul. Wojska Polskiego 69, 60-625 Poznań

* Tel. +48 61 8487735, fax +48 61 8487734, e-mail: jszmyt@up.poznan.pl

Abstract. Structural diversity is one of the most interesting phenomena that have been studied by forest ecologists and practitioners. Amongst the different characteristics of forest structure, spatial diversity of trees and their attributes seem to be very important. The more spatially structured a population is, the higher its diversity in terms of size and species richness. Because most forests in Europe are managed and were artificially established, they are subjected to conversion processes turning them into more complex systems. The approach presented here aims at elucidating whether natural processes, such as self-thinning, can cause the self-differentiation of spatial structure in artificially planted stands.

Our analyses focused on untended Scots pine and pedunculate oak stands in the juvenile phase of development and were based on spatially explicit structural indices for positioning and size differentiation (diameter, total height and crown length). The obtained results indicate that live trees were dispersed more or less regularly. Unlike the angle-based index, which mostly indicated randomness in tree location, a distance-based index showed clear regularity. We also found that the distribution of tree attributes auto-correlates to tree location as indicated by significantly lower index values compared to values resulting from random reassignment of the examined attributes. This low degree of spatial differentiation is further confirmed by the distribution of indices in differentiation classes. Our results allow us to conclude that, in the case of light demanding species (pine and oak), natural processes do not increase spatial diversity of the stand, although, both species showed a certain degree of deviation in this respect.

Key words: spatial indices, forest diversity, self-thinning, managed forests

1. Wstęp

Jednym z bardziej interesujących zagadnień ekologii lasu jest jego strukturalne zróżnicowanie w poszczególnych fazach rozwojowych. Badania obejmujące cały cykl życiowy drzewostanu są nieliczne ze względu na długowieczność drzew (Kenkel et al. 1997; Sekretenko, Gavrikov 1998; Wolf 2005; Grey, He 2009). Częściej wyniki badań nad dynamiką struktury lasu dotyczą wybranych faz rozwojowych lasu (Szymański 1964; Daniels 1978; Kenkel 1988, 1997; Kuuluvainen et al.

1998; Montes et al. 2004, 2005; Szmyt, Korzeniewicz 2007; Szmyt, Ceitel 2011).

Strukturę populacji, stanowiącą jedną z ważniejszych jej charakterystyk, można rozpatrywać jako powtarzający się wzorzec wynikający z wzajemnych zależności zachodzących między osobnikami (Gadow et al. 2012). Struktura pierśnic drzew, ich wysokości czy też struktura socjalna drzew daje leśnikom pewien obraz drzewostanu, świadcząc w pewnym stopniu o jego kierunku rozwoju, prowadzonych zabiegach pielęgnacyjnych itd. Nie jest to jednak obraz pełny, gdyż struktury te

nie uwzględniają zależności przestrzennych między poszczególnymi osobnikami, które warunkują zachodzenie różnych procesów ekologicznych (konkurencja, kooperacja, śmiertelność itp.). Wykorzystanie wskaźników zawierających w sobie aspekt przestrzenny pozwala natomiast na pełniejsze zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za kształtowanie się obserwowanej zmienności przestrzennej lasu (w tym także drzewostanu). Istotność takich analiz wynika z faktu, że zróżnicowanie struktury wpływa na dynamikę procesów w całym ekosystemie leśnym, obejmujących zarówno faunę, jak i florę. Często duże zróżnicowanie drzewostanu rozumiane jest jako występowanie w nim wielu różnych gatunków, co jest dużym uproszczeniem, gdyż równie ważna jest przestrzenna zmienność wielkości drzew, występowanie drzew dziuplastych, martwych itd. (Lähde et al. 1999; McElhiny et al. 2005). Zróżnicowanie drzewostanu wpływa natomiast na kształtowanie się siedlisk specyficznych dla wielu gatunków organizmów (Buongiorno et al. 1994; Lähde et al. 1999; Pretzsch 1999; Pukkala et al. 2012).

Struktura ekosystemu leśnego zależy od szeregu czynników natury biotycznej i abiotycznej, a także antropogenicznej, a wśród nich przede wszystkim od procesów wzrostu i rozwoju lasu, sposobu jego regeneracji, przeżywalności i śmiertelności osobników, konkurencji i kooperacji między osobnikami (Lähde et al. 1999). Większość procesów ekologicznych ma charakter zarówno przestrzenny, jak i czasowy i w różnym wieku drzewostanu zachodzą one z różną intensywnością, warunkując jego dynamikę (Gadow et al. 2012). Obecnie oczywistym jest fakt, że drzewostany charakteryzujące się dużym zróżnicowaniem wieku, gatunków oraz wielkości drzew wykazują większą stabilność biologiczną (Lähde et al. 1999; Pretzsch 2010; Brzeziecki et al. 2013). Istotność stabilności biologicznej w gospodarowaniu zasobami leśnymi zawarta jest m.in. w definicji trwałej gospodarki leśnej (Pommerening, Murphy 2004), a korzyści kształtowania drzewostanów zróżnicowanych strukturalnie są powszechnie znane. W przypadku lasów naturalnych, w których działalność człowieka ograniczona jest do minimum, zróżnicowanie to jest zazwyczaj znacznie większe niż w przypadku drzewostanów gospodarczych, często jednowiekowych i jednogatunkowych. W tych ostatnich zróżnicowanie można kształtować pośrednio, odpowiednio stosując zabiegi pielęgnacyjne (Pretzsch 1996, 1999; Hanewinkel 2004; Saunders, Wagner 2008; Jaworski 2013). Nie ma oczywiście możliwości zrezygnowania z zabiegów pielęgnacyjnych w drzewostanach gospodarczych, można natomiast dyskutować nad metodami pielęgnacji w zależności od gatunku i celu gospodarczego. Biorąc pod uwagę, że odporność drzewostanu może być kształtowana przez zabiegi hodowlane, wpływające w

mniej lub większym stopniu na jego strukturę, interesującym jest bardziej szczegółowe zbadanie wpływu braku zabiegów na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów niepielęgowanych.

Celem niniejszego artykułu jest analiza wpływu naturalnych procesów ekologicznych, w szczególności procesu naturalnego wydzielania się drzew z drzewostanu, na przestrzenne zróżnicowanie drzewostanów dębowych i sosnowych założonych w określonej więźbie początkowej, przy braku jakiegokolwiek ich pielęgnacji. Zróżnicowanie tych drzewostanów określono w aspekcie: 1) poziomego rozmieszczenia drzew żywych, oraz 2) przestrzennego zróżnicowania wielkości drzew, tj. ich pierśnicy, wysokości oraz długości koron.

2. Obszar badań i metodyka

Obszar badań

Jako obiekt badań wybrano stałą powierzchnię doświadczalną Katedry Hodowli Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, założycielem której był prof. dr hab. Stanisław Szymański (Szymański 1975, 1982).

Powierzchnia ta jest położona w południowej części Wielkopolski, na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice, w Leśnictwie Wielistawice, w oddziale 25. Pod względem przyrodniczym znajduje się w Krainie Śląskiej, Dzielnicy Wrocławskiej, Mezoregionie Równiny Oleśnickiej (Zielony, Kliczkowska 2012). Przeciętna suma opadów w roku w mezoregionie waha się w przedziale od 550 mm do 600 mm (Ceitel, Wawro 1999).

Analizie poddano wyniki pomiarów i obserwacji prowadzonych w drzewostanach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.) rosnących na tym samym siedlisku (bór mieszany świeży), na glebie bielcowo-rdzawej wytworzonej z polodowcowych piasków luźnych.

Każdy gatunek reprezentowany jest przez 3 powtórzenia o powierzchni 0,04 ha (19×21 m) każde, które są trzema różnymi drzewostanami (w tekście oznaczone jako I, II i III). Zostały one założone sadzeniem, w więźbie kwadratowej 1×1 m (zagęszczenie początkowe 10 000 szt./ha). W trakcie dotychczasowego rozwoju drzewostanów nie przeprowadzono żadnych zabiegów pielęgnacyjnych. W chwili pomiarów drzewa osiągnęły 30 rok życia.

Metodyka

W trakcie prac terenowych pomierzono: wysokość całkowitą drzew żywych (H , m), wysokość osadzenia korony żywej, tj. wysokość do pierwszej gałęzi żywej

(h_k , m), oraz grubość pierśnicową ($d_{1,3}$, cm). Wysokość pomierzono wykorzystując wysokościomierz Vertex III, z dokładnością do 0,10 m. Pierśnicę pomierzono średnicomierzem, z dokładnością do 0,1 cm. Na podstawie więźby początkowej określono współrzędne (x, y) wszystkich drzew żywych, przyjmując współrzędne jednego z narożników powierzchni za (0, 0). Długość koron drzew określono wg wzoru: $L_k = H - h_k$ (gdzie: H – wysokość całkowita drzewa, h_k – wysokość osadzenia korony żywej).

W celu określenia zróżnicowania strukturalnego analizowanych drzewostanów obliczono szereg wskaźników dotyczących różnego aspektu struktury: poziomej organizacji przestrzennej oraz zróżnicowania przestrzennego różnych cech biometrycznych drzew żywych (wysokości, grubości i długości koron).

Poziome rozmieszczenie drzew w drzewostanach

Indeks skupiskowości Clarka-Evansa (CE)

Wskaźnik ten pozwala określić typ poziomego rozmieszczenia osobników na powierzchni na podstawie odległości między drzewem referencyjnym i jego najbliższym sąsiadem, przez porównanie jej ze średnią odległością teoretyczną przy losowym rozkładzie osobników. Zatem wyraża on informację, w jakim stopniu rozmieszczenie osobników badanej populacji odbiega od rozmieszczenia populacji, w której osobniki występują losowo (Clark i Evans 1954; Donnelly 1978; Pommerening 2002; Corral-Rivas et al. 2010). Szczegóły dotyczące matematycznej postaci wskaźnika można znaleźć w pracach Brzezieckiego (2002), Szmyta, Korzeniewicza (2012). W pracy wykorzystano zmodyfikowaną, ze względu na efekt brzegowy, wersję indeksu (Donnelly 1978; Kint 2004):

$$CE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i}{0,5 \left(\frac{A}{N}\right)^{0,5} + 0,0514 \frac{P}{N} + 0,041 \frac{P}{N^{3/2}}}$$

Wartość $CE=1$ wskazuje na losowe rozmieszczenie drzew, $CE>1$ – regularne, oraz $CE<1$ – grupowe występowanie osobników w populacji. Istotność odchylenia wskaźnika empirycznego od wartości dla populacji losowej określono, wykorzystując standardowy rozkład normalny Z (Clark, Evans 1954; Kint 2004; Szmyt, Korzeniewicz 2012).

Miara kątowna (W)

W odróżnieniu od wskaźnika CE miara kątowna (W) pozwala określić typ poziomej organizacji przestrzennej na podstawie klasyfikacji kątów między prostymi łączącymi punkt referencyjny (drzewo) a jego najbliższymi n

sąsiadami (Gadow et al. 1998; Pommerening 2008; Corral-Rivas et al. 2010). Metoda polega na porównaniu kątów α_{ij} z kątem referencyjnym α_0 ($\alpha_0=72^\circ$ dla 4 sąsiadów), dla którego $W_i=0,5$. Wskaźnik W_i określany jest:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$$

gdzie $v_{ij}=1$ dla $\alpha_{ij}<\alpha_0$ lub $v_{ij}=0$ w pozostałych przypadkach.

Miara kątowna może przyjmować wartości od 0 do 1. Małe wartości wskazują na regularne rozmieszczenie drzew na powierzchni, podczas gdy wartości zbliżone do 1 wskazują na grupowy charakter występowania. Wskaźnik określany jest dla każdego drzewa w drzewostanie i następnie uśredniany dla drzewostanu. Dla $n=4$ wskaźnik może przyjmować 5 wartości: 0; 0,25; 0,50; 0,75 oraz 1,0 (Pommerening 2002). Jako wartości graniczne, oddzielające typ rozmieszczenia losowy, regularny i grupowy, można przyjąć przedziały: $0 < W_i < 0,5$ – rozmieszczenie regularne, $0,5 < W_i < 0,6$ – rozmieszczenie losowe, oraz $W_i > 0,6$ – rozmieszczenie skupiskowe (Pommerening 2002).

Zróżnicowanie wielkości drzew w drzewostanach

Wskaźnik zróżnicowania przestrzennego grubości, wysokości i długości koron drzew (T)

W celu określenia wielkości zróżnicowania najbliższego sąsiedztwa pod względem pierśnicy, wysokości drzew oraz długości koron zastosowano wskaźnik T (Gadow 1993), określany wzorem:

$$T_i = \frac{1}{n} \sum 1 - \frac{\min(X_i, X_j)}{\max(X_i, X_j)}$$

gdzie: n – liczba najbliższych sąsiadów; X_i – cecha drzewa referencyjnego i ; X_j – cecha najbliższego sąsiada j ($j=1 \dots n$).

W pracy określono wskaźnik T_i dla $n=4$, tj. dla 4 najbliższych sąsiadów drzewa referencyjnego. Uwzględniając wszystkie drzewa w populacji, można obliczyć średni wskaźnik T_i dla drzewostanu. Obliczając wskaźnik T_i dla każdego drzewa w drzewostanie uzyskano rozkład częstości wskaźnika w 5 klasach zróżnicowania (Szmyt, Korzeniewicz 2012). W celu określenia istotności odchylenia między wartością empiryczną wskaźnika i wartością spodziewaną (teoretyczną) zastosowano procedurę 1000 permutacji (Kint 2004). Wartość spodziewana oznacza losowe przypisanie cechy ($d_{1,3}$, H , L_k) do drzewa.

Wszystkie wskaźniki zróżnicowania strukturalnego drzewostanów zostały obliczone z wykorzystaniem programu Crandoc ver. 1.4 (Pommerening 2012) i SIAFOR ver. 1.0 (Kint 2004).

3. Wyniki i dyskusja

Charakterystyka statystyczna cech biometrycznych drzew w analizowanych drzewostanach sosnowych i dębowych

Podstawową charakterystykę statystyczną analizowanych cech w drzewostanach obu gatunków prezentuje tabela 1. Wynika z niej, że drzewostany sosnowe były mniej zróżnicowane pod względem wszystkich analizowanych cech niż drzewostany dębowe. U obu gatunków najmniejsza była zmienność wysokości całkowitej drzew, następnie grubości, a najbardziej zróżnicowana była długość koron. Rozkład grubości u obu gatunków był typowy dla drzewostanów jednowiekowych, z asymetrią prawostronną, bardziej wyraźną w drzewostanach

nach dębowych. Rozkład wysokości drzew obu gatunków był różny. W drzewostanach sosnowych był on wyraźnie lewostronnie skośny, co wynika z niewielkiej liczby drzew niskich, podczas gdy w drzewostanach dębowych rozkład był prawostronnie skośny. Rozkład długości koron w drzewostanach obu gatunków był prawostronnie skośny.

Poziome rozmieszczenie drzew w drzewostanie

Określenie typu poziomej organizacji przestrzennej było różne w zależności od zastosowanego wskaźnika (tab. 2).

Wskaźnik *CE* wyraźnie wskazywał we wszystkich drzewostanach obu gatunków istotne regularne rozmieszczenie drzew ($\alpha=0,05$). Jego wartość w drzewo-

Tabela 1. Charakterystyka statystyczna cech biometrycznych drzew w analizowanych drzewostanach dębowych i sosnowych

Table 1. Biometric features of trees in pine and oak stands

| Powierzchnie badawcze Plots | Pierśnica DBH $d_{1,3}$ | | | Wysokość całkowita Total height H | | | Długość korony Crown length L_k | | | |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------|---|-------------------------------|------------------|---|-------------------------------|------------------|----|
| | $d_{1,3\text{sr}}$ / DBH (cm) | wsp. skośności skewness | <i>CV</i> (%) | H_{sr} (m) | wsp. skośności skewness | <i>CV</i> (%) | $L_{k\text{sr}}$ (m) | wsp. skośności skewness | <i>CV</i> (%) | |
| So | I | 10,52 | 0,7650 | 26 | 12,51 | -0,8746 | 13 | 4,08 | 1,1978 | 37 |
| | II | 11,81 | 0,2885 | 25 | 14,69 | -0,5721 | 12 | 4,26 | 0,7119 | 30 |
| | III | 11,12 | 0,4222 | 30 | 13,85 | -1,0591 | 18 | 4,19 | 0,3145 | 32 |
| Db | I | 6,28 | 0,4480 | 28 | 7,95 | -0,2590 | 35 | 4,07 | 0,5813 | 53 |
| | II | 7,33 | -0,5979 | 34 | 7,33 | 1,2507 | 28 | 4,12 | 0,7808 | 52 |
| | III | 5,95 | 1,4646 | 40 | 6,97 | 0,4804 | 37 | 3,12 | 0,8152 | 53 |

Objaśnienia / Notes:

CV – współczynnik zmienności / coefficient of variation

So – drzewostany sosnowe / pine stands

Db – drzewostany dębowe / oak stands

Tabela 2. Średnie wartości wskaźnika Clarka-Evansa (*CE*), miary kątovej (W_i) oraz zróżnicowania grubości (T_d), wysokości (T_H) oraz długości korony (T_{Lk}) w drzewostanach dębowych i sosnowych

Table 2. Average values of the Clark-Evans index (*CE*), an angle index (W_i) and the difference in thickness (T_d), height (T_H) and the length of the crown (T_{Lk}) in stands of oak and pine

| Powierzchnie badawcze Plots | W_i | <i>CE</i> | T_d | T_H | T_{Lk} | |
|--------------------------------|-------|-----------|-------|---------------------------|--------------|--------------|
| Db | I | 0,523 | 1,24* | 0,22* (0,26) ^a | 0,22* (0,31) | 0,31* (0,41) |
| | II | 0,517 | 1,13* | 0,26 (0,27) | 0,23* (0,26) | 0,31 (0,33) |
| | III | 0,468* | 1,28* | 0,28* (0,31) | 0,27* (0,32) | 0,26* (0,34) |
| So | I | 0,456* | 1,35* | 0,22 (0,23) | 0,12* (0,13) | 0,27* (0,30) |
| | II | 0,494 | 1,34* | 0,23 (0,24) | 0,10* (0,12) | 0,27 (0,27) |
| | III | 0,504 | 1,28* | 0,26* (0,28) | 0,14* (0,18) | 0,29 (0,29) |

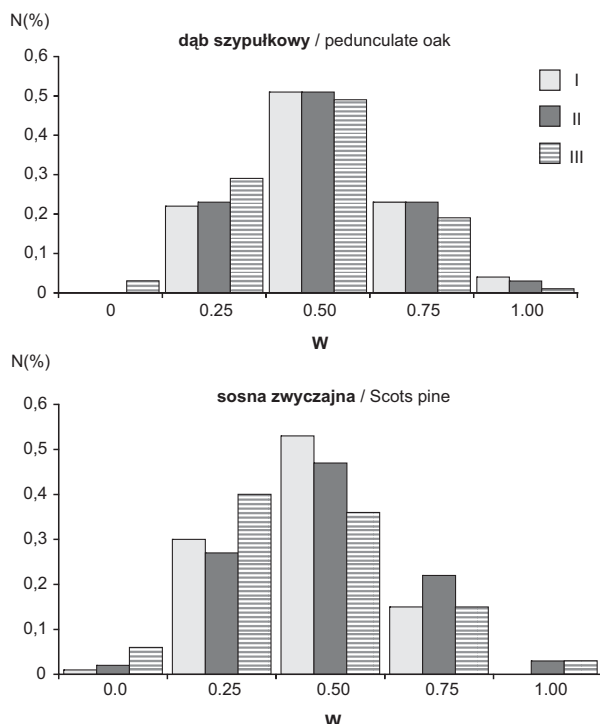
* istotne różnice na poziomie istotności $\alpha=0,05$ / significant differences at the level $\alpha=0,05$

^a wartości w nawiasach wskazują wartości teoretyczne, odpowiadające sytuacji, w której wartości cech przypisane są losowo do lokalizacji drzewa / in parentheses are theoretical values corresponding to the situation in which the values of features are randomly assigned to the tree location

stanach dębowych wahała się w granicach 1,13–1,28, a w drzewostanach sosnowych była wyraźnie większa i wynosiła 1,35; 1,34 oraz 1,28.

Na podstawie średniego wskaźnika miary kątovej (W_i) należy stwierdzić, że w drzewostanach obu gatunków dominował losowy sposób rozmieszczenia drzew (tab. 2). Średni wskaźnik nie daje jednak pełnego obrazu sytuacji w drzewostanie. Analizując jego rozkład, można stwierdzić, że faktycznie dominującym typem występowania drzew obu gatunków jest typ losowy, jednakże w drzewostanach nie jest on typem jedynym. Zarówno w przypadku sosny, jak i dębu część drzew wykazuje bowiem rozmieszczenie regularne, a część także skupiskowe (ryc. 1).

Sprzeczność typów poziomej organizacji przestrzennej przy zastosowaniu obu wskaźników wynika z różnic metodycznych przy ich obliczaniu, przy czym wskaźniki odległościowe (np. indeks CE) wydają się dawać wyniki bardziej wiarygodne niż wskaźniki kierunkowe (W_i). Również sposób określania istotności różnic między wskaźnikami obliczonymi a wartością teoretyczną w przypadku losowo rozmieszczonych osobników może również mieć istotny wpływ na zaklasyfikowanie tego samego zbioru osobników do dwóch różnych typów rozmieszczenia.



Rycina 1. Rozkład wskaźnika miary kątovej W_i w poszczególnych drzewostanach dębowych i sosnowych
Figure 1. Distribution of angle index W_i in oak and pine stands

Dzięki możliwości prześledzenia rozkładu wskaźnika W_i można stwierdzić, że w badanych drzewostanach losowe rozmieszczenie nie było typem jedynym. Podobną sprzeczność wyników uzyskanych na podstawie CE i W_i stwierdził Pommerening (2002) w 24-letnim drzewostanie daglezjowym założonym sadzeniem, a także w 53-letnim drzewostanie bukowym. Na wpływ różnic między różnymi metodami określania typu poziomego rozmieszczenia wskazywał także Bolibok (2003). W jego pracy różnice dotyczyły jednak wyników uzyskanych za pomocą funkcji Ripley'a i indeksu CE .

Kenkel i in. (1997) stwierdzili, że skupiskowy charakter odnowienia naturalnego w drzewostanach naturalnych sosny Banksa, na skutek konkurencji i wynikającego z niej procesu wydzielania się drzew, z czasem uległ zmianie w kierunku bardziej regularnego rozmieszczenia drzew. W innych badaniach tego gatunku Kenkel (1988) wskazywał na wyraźną regularność rozmieszczenia drzew. W obu pracach zastosowany został wskaźnik odległościowy CE . Regularne lub losowe rozmieszczenie drzew w niepielęgowanych drzewostanach brzożowych odnotowali Szmyt i Korzeniewicz (2012). Szmyt i Ceitel (2011) stwierdzili natomiast regularność rozmieszczenia drzew w drzewostanach sosnowych powstałych z sadzenia w gęstej, średniej i luźnej wieźbie początkowej. Crecente-Campo i in. (2009) obserwowali regularne rozmieszczenie drzew w drzewostanach sosnowych w północnej Hiszpanii. Jednak z wiekiem drzewostanów, na skutek zabiegów pielęgnacyjnych, regularność występowania drzew malała. W obu wymienionych powyżej pracach autorzy wykorzystali do badań typu poziomego rozmieszczenia drzew także wskaźnik CE . Badania Brzezieckiego (2005) w 35-letnim litym drzewostanie sosnowym – z zastosowaniem wskaźnika W_i – wskazały wprawdzie na podobną częstość występowania wszystkich trzech głównych typów rozmieszczenia drzew, z przewagą rozmieszczenia równomiernego. Różny sposób trzebieży nie wpłynął w tych drzewostanach na zmianę tej cechy. Podobny sposób występowania drzew, określony również przy zastosowaniu wskaźnika miary kątovej, obserwowany był także w drzewostanie sosnowym z odnowienia naturalnego (Bilski, Brzeziecki 2005).

Zróznicowanie przestrzenne grubości, wysokości oraz długości koron drzew

Wartość średniego wskaźnika przestrzennego zróznicowania grubości (T_d) i wysokości (T_H) była niewielka w drzewostanach obu gatunków, natomiast nieco większa była wartość zróznicowania długości korony (T_{Lk}) (tab. 2). W niemal wszystkich drzewostanach dębowych i sosnowych średnie wskaźniki empiryczne były istotnie mniejsze od wskaźników teoretycznych, odpowiadają-

cych losowemu przypisaniu wielkości wskaźnika (pierzniicy, wysokości, długości korony) do położenia drzewa.

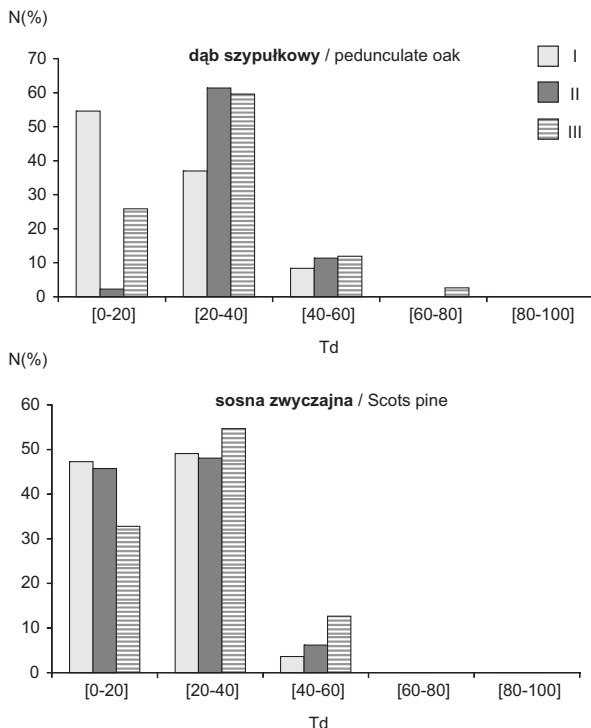
Rozkład wartości wskaźnika pierzniicy drzew T_d (ryc. 2) w drzewostanach dębowych wskazuje, że najbliższe sąsiedztwo charakteryzowało się zróżnicowaniem grubości najczęściej nie większym niż 40%. Zróżnicowanie takie dotyczyło sąsiedztwa od ok. 64% do niemal 92% drzew. W drzewostanach sosnowych rozkład T_d był podobny, z jeszcze wyraźniejszą przewagą drzew, których sąsiedztwo miało zróżnicowanie grubości mniejsze niż 40% (ryc. 2). Udział drzew z sąsiedztwem o wyższym zróżnicowaniu pierzniicy jest podobny jak u dębów, a poszczególne drzewostany różnią się wyraźnie w udziale drzew tych klas.

U dębów zróżnicowanie wysokości jest wyraźnie mniejsze niż pierzniicy. We wszystkich drzewostanach dębowych zróżnicowanie wysokości najbliższych drzew było najczęściej nie większe niż 40% (od ok. 86% do 92% przypadków, w zależności od drzewostanu) (ryc. 3). Udział dębów różniących się wysokością o więcej niż 40% wynosił poniżej 15%. W drzewostanach sosnowych sytuacja była podobna, z tym, że u sosny to niewielkie zróżnicowanie wysokości było jeszcze bardziej zaznaczone dzięki bardzo dużemu udziałowi drzew różniących się wysokości od sąsiedztwa poniżej 20%

(ryc. 3). W sosninach nie stwierdzono różnic wysokości drzew większych niż 40%.

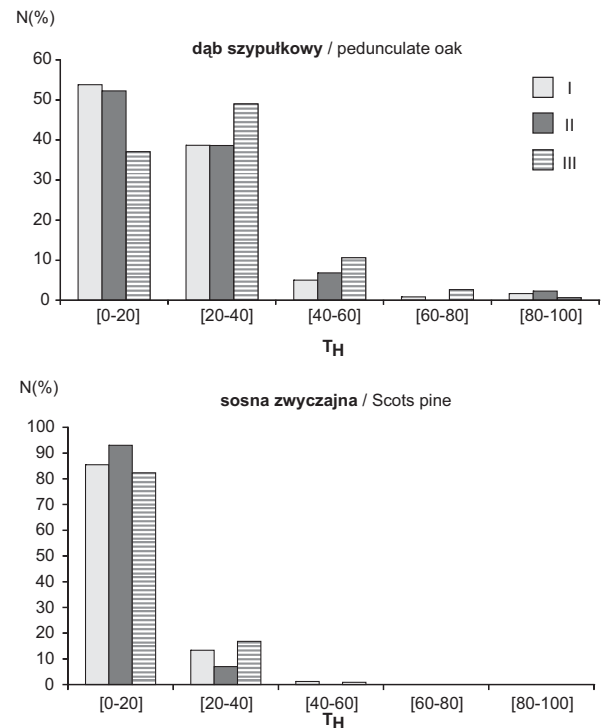
Zarówno w drzewostanach dębowych, jak i sosnowych największe różnice między najbliższymi sąsiadami były w przypadku długości koron (tab. 2, ryc. 4). W przypadku dębów najliczniej reprezentowane były drzewa różniące się długością korony o 20–40%, a następnie drzewa o najmniejszym zróżnicowaniu tej cechy (%). Dość wyraźny był udział drzew o różnicy długości korony większej niż 40% (ryc. 4), w tym tych różniących się nawet o 80–100%. W drzewostanach sosnowych układ był podobny, jednakże wyraźniejszy był udział drzew różniących się długością koron od najbliższych sąsiadów na poziomie 20–40%. Wyraźnie mniejszy niż w drzewostanach dębowych był udział drzew o zróżnicowaniu długości korony powyżej 40%. Warto podkreślić, że w poszczególnych drzewostanach sosnowych różnice były wyraźnie mniejsze niż w przypadku drzewostanów dębowych (ryc. 4).

Niewielkie zróżnicowanie badanych cech drzew świadczy o ich przestrzennej pozytywnej autokorelacji. Kenkel i in. (1997) uzyskali podobne wyniki w odniesieniu do pierzniicy w naturalnych i jednogatunkowych drzewostanach sosny Banksa, zarówno przed okresem intensywnego wydzielania się drzew, jak i po jego kulminacji.



Rycina 2. Rozkład wskaźnika przestrzennego zróżnicowania grubości (T_d) w poszczególnych drzewostanach dębowych i sosnowych

Figure 2. Distribution of spatial differentiation index for DBH (T_d) in oak and pine stands



Rycina 3. Rozkład wskaźnika przestrzennego zróżnicowania wysokości (T_H) w poszczególnych drzewostanach dębowych i sosnowych

Figure 3. Distribution of spatial differentiation index for height (T_H) in oak and pine stands.

Reed i Burkhart (1985), badając młode plantacje *Pinus teada*, stwierdzili pozytywną autokorelację pola powierzchni przekroju sosny. Fakt ten autorzy przypisali słabej konkurencji w drzewostanie. W drzewostanach, w których konkurencja charakteryzowała się średnią intensywnością, obserwowali oni autokorelację ujemną, odzwierciedlającą większe zróżnicowanie cech między sąsiadami, natomiast przy ekstremalnie silnej konkurencji stwierdzili ponownie pozytywną korelację pola powierzchni przekroju między parami drzew.

Brzeziecki (2005) obserwował niewielkie zróżnicowanie pierśnicy w litym drzewostanie sosnowym przed trzebieżą, a wykonany zabieg o charakterze dolnym przyczynił się do dalszego spadku tego zróżnicowania. Trzebież selekcyjna, wkraczająca także w główne piętro drzewostanu, skutkowała natomiast niewielkim wzrostem zróżnicowania grubości drzew. Podobny trend w przypadku pierśnicy i wysokości w drzewostanach sosnowych obserwowali Crecente-Campo i in. (2009). Autorzy ci stwierdzili także wpływ intensywności zabiegu trzebieżowego na zróżnicowanie grubości i wysokości drzew. W drzewostanie, w którym nie był prowadzony żaden zabieg, zróżnicowanie obu cech ulegało zmniejszeniu z wiekiem drzewostanu. Podobny trend obserwowali w drzewostanach pielęgnowanych, z tym że przy większej intensywności zabiegu spadek zróżni-

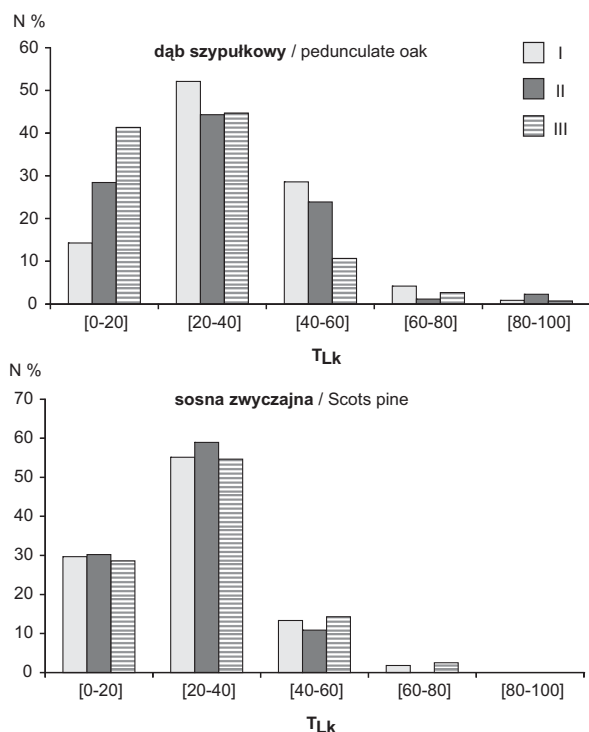
cowania – i to jedynie w odniesieniu do wysokości drzew – był mniejszy. Zróżnicowanie przestrzenne pierśnicy obserwował również Pommerening (2002) w plantacjach dąglęzjowych oraz Szmyt i Korzeniewicz (2012) we wspomnianych już drzewostanach brzozych.

Zróżnicowanie długość koron drzew jest cechą drzewostanów rzadko dotychczas analizowaną. Niniejsza praca wskazuje jednak, że z wszystkich analizowanych w pracy cech drzew jest ona najbardziej zróżnicowana przestrzennie. Na zróżnicowanie to wpływ mają dwa czynniki – światłożądność gatunku oraz warunki siedliskowe. Im światłożądność gatunku jest większa, tym mniejsze jest zróżnicowanie tej cechy wśród najbliższych sąsiadów, wynikające z konkurencji o światło. Gatunki bardziej cieniożadne mogą utrzymywać dłuższą koronę w warunkach mniejszego oświetlenia pod okapem drzewostanu głównego, a najbliższe sąsiedztwo może charakteryzować się zróżnicowaną długością koron. Uzyskane wyniki potwierdzają niniejsze założenia. Dąb szypułkowy, jako gatunek mniej światłożądny niż sosna, wykazuje większe zróżnicowanie tej cechy.

4. Wnioski

W świetle uzyskanych wyników można stwierdzić, że drzewostany gatunków światłożądnych takich jak sosna i dąb, o prostej strukturze i pozbawione pielęgnacji w fazie swojego dynamicznego młodocianego rozwoju nie podlegają samorzózniciowaniu się w istotnym stopniu. Narzucona więzłą początkową regularność występowania drzew jest widoczna przez długi okres, a proces naturalnego wydzielenia się drzew nie wpływa istotnie na jego zmianę. W opisanych badaniach oba wskaźniki analizujące ten aspekt przestrzenny wskazywały na dominację różnych typów rozmieszczenia w tych samych drzewostanach, co wynika raczej z metodycznych różnic w ich obliczaniu. Dzięki znajomości rozkładu wskaźnika miary kątowej możliwe jest stwierdzenie różnic w rozmieszczeniu drzew w drzewostanach obu gatunków. W obu dominuje losowe występowanie drzew, jednakże pewna część drzew jest rozmieszczona regularnie lub skupiskowo. W drzewostanach dębowych większy był udział przypadków grupowania się drzew niż w drzewostanach sosnowych, w których natomiast regularne rozmieszczenia osobników w najbliższym sąsiedztwie było częstsze niż przypadki grupowego ich występowania.

Wyniki potwierdziły wcześniejsze badania, że naturalny proces samoregulacji zagęszczenia nie prowadzi do zwiększenia zróżnicowania drzew obu gatunków pod względem wysokości, grubości i długości korony. Spośród analizowanych cech biometrycznych najmniej



Rycina 4. Rozkład wskaźnika przestrzennego zróżnicowania długości koron (T_{Lk}) w poszczególnych drzewostanach dębowych i sosnowych

Figure 4. Distribution of spatial differentiation index for crown length (T_{Lk}) in oak and pine stands

zróżnicowana była wysokość drzew, następnie grubość, a najbardziej zróżnicowana długość koron.

Literatura

- Bilski M., Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży przerębowej na zróżnicowanie strukturalne drzewostanu. *Sylwan*, 4: 21–33.
- Bolibok L. 2003. Dynamika struktury przestrzennej drzewostanów naturalnych w oddziale 319 BPN – czy biogrupy drzew są powszechne i trwałe w nizinym lesie naturalnym? *Sylwan*, 1: 12–23.
- Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 10: 11–19.
- Brzeziecki B., Drozdowski S., Bielak K., Buraczyk W., Gawron L. 2013. Kształtowanie zróżnicowanej struktury drzewostanów w warunkach nizinnych. *Sylwan*, 8: 597–606.
- Buongiorno J., Dahir S., Lu H.Ch. 1994, Lin Ch.R. 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. *Forest Science*, 40:83–103.
- Ceitel J., Wawro T. 1999. Wyniki obserwacji meteorologicznych za okres 1988–1997 na terenie Leśnictwa Doświadczalnego Wielisławice (LZD Siemianice). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 311: 33–45.
- Clark P.J., Evans F.C. 1954. Distance to the nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35: 444–453.
- Corral-Rivas J.J. 2006. Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico). PhD thesis, University of Göttingen.
- Corral-Rivas J.J., Wehenkel C., Alejandro H., Bocaz C., Vargas-Lareta B., Diéguez-Aranda U. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbour indices in forest stands. *Journal of Forestry Research*, 15: 218–225.
- Crecente-Campo F., Pommerening A., Rodriguez-Soalleiro R. 2009. Impacts of thinning on structure. Growth and risk of crown fire in a *Pinus sylvestris* L. plantation in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 257: 1945–1954.
- Donnelly K.P. 1978. Simulation to determine the variance and the edge effect of total nearest-neighbor distances. w: Hodder I. (ed.) *Simulation methods in Archeology*: 91–95. Cambridge Press, London.
- Gadow K. von. 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Forst und Holz*, 21: 601–606.
- Gadow K. von, Zhang C.Y., Wehenkel C., Pommerening A., Corral-Rivas J., Korol M. et al. 2012. Forest structure and diversity. W: Pukkala T., Gadow K. [eds]: *Continuous Cover Forestry. Managing Forest Ecosystems*. Springer Science+Business Media B.V. 2012.
- Grey L., He F. 2009. Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta. *Forest Ecology and Management*, 259: 98–106.
- Hanewinkel M. 2004. Spatial patterns in mixed coniferous even-aged, uneven-aged and conversion stands. *European Journal of Forest Research*, 123:139–155.
- Kenkel N.C. 1988. Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 69: 1017–1024.
- Kenkel N.C., Hendrie M.K., Bella I.E. 1997. A long-term study of *Pinus banksiana* population dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 8: 241–254.
- Kint V. 2004. SIAFOR 1.0 – user's guide. p. 11.
- Lähde E., Laiho O., Norocorpi Y., Saksa T. 1999. Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management*, 115: 213–220.
- Leps J. 1990. Can underlying mechanisms be deduced from observed patterns? w: *Spatial processes in plant communities*. F. Krahulec, A. Agnew, S. Agnew, H. Willems (eds). The Hague, the Netherlands: SPB Academic Publishing.
- Montes F., Sanchez M., del Rio M., Canellas I. 2005. Using historic management records to characterize the effects of management on the structural diversity of forests. *Forest Ecology and Management*, 207: 279–293.
- Pommerening A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75: 305–324.
- Pommerening A. 2012. The program for the analysis and reconstruction of spatial forest structure. Bern University of Applied Sciences.
- Pommerening A., Murphy S.T. 2004. A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry*, 77: 27–44.
- Pommerening A., Stoyan D. 2008. Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbour summary statistics measured in small subwindows. *Canadian Journal of Forestry Research*, 38: 1110–1122.
- Pretzsch H. 1996. The effect of various thinning regimes on spatial stand structure. Conference of the effect of environmental factors on tree and stand growth. IUFRO S4.01 Conference. 183–191.
- Pretzsch H. 1999. Structural diversity as a result of silvicultural operations. W: Olsthoorn A.F.M (red.). *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*. Wageningen, Institut for Forest and Nature Research (IBN-DLO) pp. 157–174.
- Pretzsch H. 2010. *Forest Dynamics, growth and yield*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- Sekretenko O.P., Gavrikov V.L. 1998. Characterization of the tree spatial distribution in small plots using the pair correlation function. *Forest Ecology and Management*, 102: 113–120.
- Smith D.M, Larson B.C., Kelly M.J., Ashton P.M.S. 1996. *The practice of silviculture. Applied forest ecology*. John Wiley & Sons, Chichester. ISBN 9780471109419.
- Szmyt J. 2012. Spatial structure of managed beech-dominated forest: applicability of nearest neighbors indices. *Dendrobiology*, 68: 69–76.
- Szmyt J., Ceitel J. 2011. Zróżnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym. *Sylwan*, 155: 749–759.
- Szmyt J., Korzeniewicz R. 2010. Przestrzenne zróżnicowanie drzewostanów daglezjowych (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) odnowionych sadzeniem na siedliskach BMśw i LMśw. *Sylwan*, 154: 791–800.

- Szmyt J., Korzeniewicz R. 2012. Zróżnicowanie przestrzenne niepielęgnowanych drzewostanów brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* L.) odnowionych sadzeniem. *Leśne Prace Badawcze*, 73: 323–330.
- Szymański S. 1964. Dynamika rozwoju niekierowanych młodników sosnowych. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych*, 15: 341–404.
- Szymański S. 1975. Wstępne wyniki badań tempa wzrostu w pierwszej młodości kilku ważniejszych gatunków drzew leśnych na siedlisku boru mieszanego świeżego. w: *Gospodarka leśna i drzewna na tle nowoczesnej ochrony środowiska. Referaty na zjazd Absolwentów Wydziału Leśnego*, AR Poznań: 36–43.
- Szymański S. 1982. Wzrost niektórych gatunków drzew leśnych w pierwszych 10 latach życia na siedlisku BMśw. *Sylwan*, 126: 11–29.
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010. Wydawnictwo CILP.
- Wolf A. 2005. Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 215: 212–223.

Wkład autorów

J.S. – napisanie tekstu, opracowanie danych terenowych, przeprowadzenie analiz statystycznych; R.K – zbieranie danych, opracowanie danych.

