

Zróznicowanie przestrzenne niepielęgowanych drzewostanów brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* L.) odnowionych sadzeniem

Spatial diversity of planted and untended silver birch (*Betula pendula* L.) stands

Janusz Szmyt✉, Robert Korzeniewicz

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

✉ Tel. +48 61 8487735; fax +48 61 8487734; e-mail: szmyt@up.poznan.pl

Abstract. The aim of this paper was to describe changes in the spatial distribution of living trees in planted and untended birch stands, as well as to determine the spatial differentiation of the diameters and height of their constituent trees. Analysis was performed in 9 and 39-year old stands.

The structural diversity of birch stands was described using the following spatial indices: Clark-Evans index (*CE*), spatial differentiation index for DBH (*TD*) and height (*TH*). The *CE* index describes the horizontal distribution of trees within a stand and the *TD/TH* indices indicate the size differentiation between neighbouring trees within a stand (DBH and *H*, respectively). The indices mentioned above concern small spatial scales. Our results indicate a regular spatial distribution of living trees on the ground at age nine, shown by high values of *CE* index. After 30 further years of stand development *CE* values were distinctly lower and no longer significantly different from the value for a random distribution of trees. At age 39, the 2 stands had a random spatial distribution and in the planted stand living trees still retained a regular spatial arrangement. Analyzing the spatial differentiation of diameter and height of trees revealed that there was little differentiation between neighbours in forest stands in neither their diameter and height. The highest average values for the *TD* index decreased for stands during the 30 years since their initial measurement at age nine. A similar trend was observed for height differentiation (*TH*), which decreased from a maximum at age nine.

Key words: spatial structure of stands, size differentiation of trees, silver birch, plantations, semi-natural forest

1. Wstęp

Drzewostan – ze względu na długowieczność drzew – podlega dwojakiego rodzaju zmienności: cyklicznej, dotyczącej przede wszystkim procesów wzrostowych oraz ciągłej, następującej w bardzo długim czasie życia drzewostanu i odnoszącej się przede wszystkim do procesów rozwojowych (Szymański 2000). Do najważniejszych z nich należą: proces naturalnego przemieszczania się drzew w warstwach drzewostanu, skutkiem którego jest proces ich naturalnego wydzielenia się, proces naturalnego oczyszczania się drzew z gałęzi oraz proces starzenia się drzewostanu. Do powyższych procesów należałoby dodać także proces kształtowania się charakterystycznej struktury przestrzennej drzewostanu, będącej wynikiem działania różnych czynników natury biotycznej, jak i abiotycznej. Procesy naturalne w drzewostanie zachodzą z różną intensywnością w poszczególnych fazach rozwojowych, wpływając na jego dynamikę. Poznanie dynamiki populacji drzew leśnych

powstałych sztucznie – których udział w ogólnej powierzchni lasów zarówno w Polsce, jak i na świecie jest znaczący – wydaje się szczególnie ważne z punktu widzenia gospodarki leśnej opartej na podstawach ekologicznych.

Do niedawna opisywano strukturę drzewostanu, używając najczęściej takich parametrów drzew, jak: średnia ich wielkość (grubość, wysokość etc.), średnie zagęszczenie czy też powierzchnia przekroju pierśniowego. Obecnie coraz częściej w ramach opisywania struktury drzewostanu uwzględnia się także aspekt przestrzenny, dotyczący poziomego rozmieszczenia drzew w drzewostanie, rozmieszczenia ich wielkości w przestrzeni, czy też przestrzennego zmieszania gatunków w lesie wielkogatunkowym (Aquirre et al. 2003; Boyden et al. 2005; Gadów, Hui 2002; Szmyt, Korzeniewicz 2010). Szczególne znaczenie mają zmiany struktury drzewostanu w różnych jego fazach rozwoju. Długowieczność drzew powoduje jednak, że badania dynamiki drzewostanów wymagają długoletnich prac i analiz,

powtarzanych co kilka, kilkanaście lat (Szymański 1964; Ward et al. 1996; Kenkel et al. 1997; Hessburg et al. 2000; Woods 2000; Szmyt 2004; Wolf 2005; Saunders, Wagner 2008; LeMay et al. 2009). Najczęściej badania z zakresu dynamiki lasu dotyczą lasów naturalnych, zdecydowanie rzadziej przedmiotem takich badań są drzewostany powstałe przy udziale człowieka. Fakt, że zdecydowana większość lasów w Polsce i w Europie to właśnie drzewostany sztucznego pochodzenia, stanowi właśnie o konieczności prowadzenia badań w takich populacjach. Umożliwi to wówczas porównanie strukturalnego zróżnicowania drzewostanów zagospodarowanych z lasami naturalnymi oraz określenie wpływu gospodarki leśnej na rozwój wspomnianych populacji (Commarmot et al. 2005; Bilek et al. 2011).

Lasy gospodarcze postrzegane są jako lasy o uproszczonej strukturze, także w aspekcie przestrzennym, jednakże dynamika tych populacji jest stosunkowo słabo poznana. Uzupełnienie tej wiedzy może skutkować opracowaniem nowych racjonalnych zasad gospodarowania z uwzględnieniem naturalnych procesów ekologicznych w nich zachodzących. Umiejętnie prowadzone zabiegi gospodarcze mogą bowiem wpływać na zwiększenie zróżnicowania strukturalnego drzewostanów, co w przypadku populacji sztucznych ma szczególnie duże znaczenie nie tylko ekologiczne, ale także ekonomiczne (Latham et al. 1998; Lähde et al. 1999; Lexerød, Eid 2006). Jednym z czynników określających dynamikę drzewostanu jest sposób występowania drzew na powierzchni, gdyż warunkuje on zachodzenie różnych procesów ekologicznych (np. konkurencji, śmiertelności). Z drugiej jednak strony te same procesy kształtują strukturę przestrzenną drzewostanu w kolejnych fazach rozwojowych (Lepš 1990; Stoyan, Penttinen 2000; Comas, Mateu 2007; Eichhorn 2010).

Prezentowana praca dotyczy drzewostanów brzozy powstałych z sadzenia w regularnej więźbie początkowej i niepielęgnowanych. Z tego też względu powierzchnie te stanowią dobry materiał do badań nad dynamiką niepielęgnowanych drzewostanów sztucznego pochodzenia.

Celem niniejszego artykułu jest prześledzenie dynamiki struktury przestrzennej drzewostanów brzozy w okresie intensywnego młodocianego wzrostu, a więc w okresie kiedy stosunki ilościowe podlegają bardzo szybkim zmianom. W szczególności analizie poddano: 1) sposób rozmieszczenia drzew żywych, b) przestrzenne zróżnicowanie ich wysokości oraz grubości. Zróżnicowanie przestrzenne drzewostanów określono za pomocą wskaźników zróżnicowania strukturalnego, które mogą znaleźć zastosowanie w praktyce leśnej, np. w trakcie inwentaryzacji lasu.

2. Obiekt badań i metodyka

Obiekt badań

Badania przeprowadzono na stałych powierzchniach doświadczalnych Katedry Hodowli Lasu, Wydziału Leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, założonych wiosną 1970 r. przez prof. Stanisława Szymańskiego. Pod względem administracyjnym powierzchnie doświadczalne zlokalizowane są w południowej części województwa wielkopolskiego w powiecie kępińskim, na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu) – leśnictwo Wielisławice, w oddziale 25h oraz 25i. Współrzędne geograficzne powierzchni: $\lambda=18^{\circ}03' E$, $\varphi=51^{\circ}12' N$.

Zgodnie z przyjętą w kraju rejonizacją przyrodniczo-leśną obszar ten zaliczany jest do Krainy Śląskiej, Dzielnic Wrocławskiej, Mezoregion Równiny Oleśnickiej (V.2.g) (Trampler et al. 1990). Przeciętna suma opadów w roku waha się w przedziale od 550 mm do 600 mm (Schmuck 1959; Ceitel, Wawro 1999). Wybrane do badań drzewostany brzozy występują na glebie bielicowo-rdzawej, porolnej, wytworzonej z polodowcowych piasków luźnych. Na wszystkich 3 powierzchniach (oznaczonych w tekście I, II i III) zastosowano pełne przygotowanie gleby i jednorodny materiał sadzeniowy (sadzonki 1-roczone) z zachowaniem więźby początkowej 1,0×1,0 m. Do chwili obecnej drzewostany nie były pielęgnowane.

Metodyka

W celu analizy zróżnicowania przestrzennego drzewostanów brzozy w trakcie prac terenowych pomierzono grubość w szyi korzeniowej 10-letnich młodników (D_0 , cm), pierśnicę w starszych drzewostanach ($D_{1,3}$, cm) oraz wysokość całkowitą (H , m) wszystkich drzew żywych. Pozycję każdego drzewa opisano współrzędnymi prostokątnymi. Pomiar i obserwacje przeprowadzono jesienią w 1978 r. oraz 2009 r. na 3 kwadratowych powierzchniach pomiarowych o długości boku 20 m. Obliczono następujące wskaźniki zróżnicowania struktury przestrzennej drzewostanu: indeks skupiskowości Clarka-Evansa (R), wskaźniki zróżnicowania przestrzennego pierśnic (TD) oraz wskaźniki zróżnicowania przestrzennego wysokości (TH).

Wskaźnik R pozwala określić typ poziomego rozmieszczenia drzew badanej populacji na podstawie odległości między najbliższymi sąsiadami w drzewostanie (Clark, Evans 1954; Brzezicki 2002; Kint 2004). Metoda polega na porównaniu średniej odległości między najbliższymi sąsiadami w badanym drzewostanie oraz spodziewanej (teoretycznej) średniej odległości między

nimi przy losowym ich rozkładzie. Matematyczna formuła wskaźnika R w modyfikacji Donnelly'ego przedstawia się następująco (Kint 2004; Szymt, Ceitel 2011):

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

gdzie:

r_A – średnia odległość między najbliższymi sąsiadami,

r_E – średnia spodziewana (teoretyczna) odległość między najbliższymi sąsiadami,

r_i – odległość między osobnikiem i a jego najbliższym sąsiadem (m),

N – liczba osobników na powierzchni pomiarowej,

A – wielkość powierzchni (m²),

P – obwód powierzchni (m).

Drzewostan o losowym rozmieszczeniu drzew charakteryzuje się indeksem $R=1$. W przypadku gdy drzewa rozmieszczone są w grupach, wówczas $R<1$. Wartość $R>1$ wskazuje na równomierne rozmieszczenie drzew w badanym drzewostanie. Istotność odchyień obliczonego wskaźnika od wzorca teoretycznego określić można przy wykorzystaniu standardowego rozkładu normalnego Z (Kint 2004):

$$c = \frac{r_A - r_E}{\sigma_{r_E}}$$

$$\sigma_{r_E} = \frac{0,26136}{\sqrt{N \cdot \rho}}$$

gdzie: σ_{r_E} – odchylenie standardowe r_E w przypadku rozkładu losowego drzew w drzewostanie o zagęszczeniu ρ .

Wskaźnik przestrzennego zróżnicowania grubości i wysokości drzew (odpowiednio TD i TH) określa podobieństwo grubościowe drzew w drzewostanie w najmniejszej skali przestrzennej, tzn. w skali najbliższego sąsiedztwa. Matematyczna formuła wskaźnika określonego dla 3 najbliższych sąsiadów ma postać (Pommerehne 2002; Aguirre et al. 2003; Kint 2004; Szymt, Ceitel 2011):

$$TD_i = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \left[1 - \frac{\min(s_i, s_j)}{\max(s_i, s_j)} \right]$$

gdzie:

i – wskaźnik drzewa referencyjnego (centralnego),

s_i – wielkość (pierśnica lub wysokość) drzewa i ,

s_j – wielkość (pierśnica lub wysokość) drzewa j ,

Wartość wskaźnika jest obliczana dla każdego drzewa w drzewostanie, a następnie uśredniana, informując o średnim przestrzennym zróżnicowaniu wielkości drzew w drzewostanie. Indeks może przyjmować wartości od 0 do 1, przy czym 0 wskazuje na brak zróżni-

cowania przestrzennego grubości w drzewostanie, tzn. drzewa charakteryzują się taką samą wielkością, a wartość $TD=1$ wskazuje na bardzo duże zróżnicowanie drzew pod względem rozmiarów (Kint 2004; Bilek et al. 2011; Szymt, Ceitel 2011).

W przypadku wskaźnika zróżnicowania przestrzennego wielkości (TD i TH) przyjęto następujące klasy zróżnicowania: 0,00–0,20 – bardzo małe zróżnicowanie (najbliższy sąsiad różni się wielkością nie więcej niż o 20%); 0,20–0,40 – małe zróżnicowanie (różnica wielkości 20–40%); 0,40–0,60 – średnie zróżnicowanie (różnica 40–60%); 0,60–0,80 – duże zróżnicowanie (różnica 60–80%) oraz 0,80–1,00 – bardzo duże zróżnicowanie grubości (różnica 80%) (Aguirre et al. 2003; Kint 2004; Vorčák et al. 2008).

Wszystkie obliczenia wskaźników w niniejszej pracy przeprowadzono z wykorzystaniem programu komputerowego SIAFOR ver. 1.0 (Kint 2004).

3. Wyniki

Poziome rozmieszczenie drzew

Wartość wskaźnika skupiskowości R wskazuje na wyraźną zmianę poziomego rozmieszczenia drzew żywych w ciągu 30 lat we wszystkich 3 drzewostanach. Początkowa wartość indeksu (w 9. roku życia drzew) wyraźnie wskazywała na bardzo regularne rozmieszczenie osobników na każdej powierzchni ($R>1$, $\alpha=0,05$). Poszczególne drzewostany w tym wieku charakteryzowały się zbliżoną wartością wskaźnika Clarka-Evansa (tab. 1). W ciągu 30 lat dalszego rozwoju tych drzewostanów wartość wskaźnika wyraźnie uległa zmniejszeniu. W dwóch drzewostanach, w 39. roku ich życia, stwierdzono losowe rozmieszczenie drzew żywych

Tabela 1. Średnia wartość wskaźników zróżnicowania przestrzennego rozmieszczenia drzew (R), grubości (TD) oraz wysokości (TH) w niepielęgnowanych drzewostanach brzożowych w różnym wieku

Table 1. Average value of spatial diversity indices of distribution (R), DBH differentiation (TD) and height differentiation (TH) in un-tended birch stands at different age

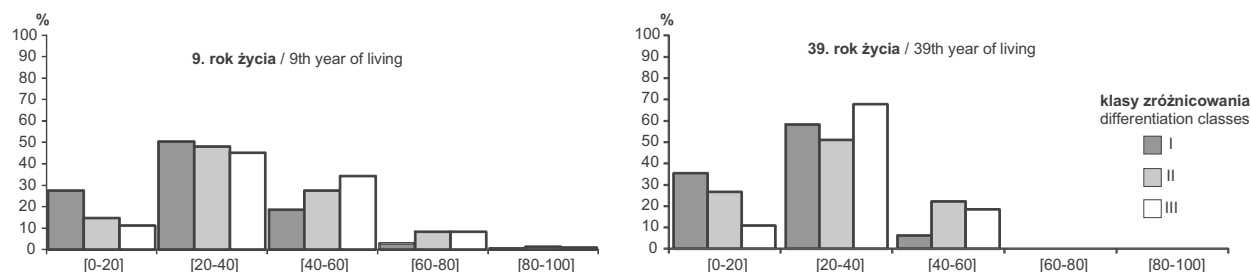
Drzewostan Forest stand	9 lat / years			39 lat / years		
	R	TD	TH	R	TD	TH
I	1,75**	0,30	0,22	1,05	0,26	0,23
II	1,72**	0,37	0,26	1,19**	0,29	0,17
III	1,73**	0,39	0,30	1,00	0,29	0,20

** istotność na poziomie $\alpha=0,01$
level of significance $\alpha=0,01$

Tabela 2. Charakterystyka statystyczna grubości (*D*) i wysokości (*H*) drzew żywych w niepielęgnowanych drzewostanach brzoźowych w 9. i 39. roku życiaTable 2. Statistical characteristic of DBH (*D*) and height (*H*) of living trees in un-tended birch stands at 9. and 39. year of living

Drzewostan Forest stand	Wiek drzew Tree age	Liczba drzew Number of trees	G_{na}	Przeży- walność Survival	Średnia Average		Min		Max		Odchylenie standardowe Standard deviation		Współczynnik zmienności Coefficient of variation	
	lata years				m ²	%	<i>D</i> (cm)	<i>H</i> (m)	<i>D</i> (cm)	<i>H</i> (m)	<i>D</i> (cm)	<i>H</i> (m)	<i>D</i> (cm)	<i>H</i> (m)
I	9	323	20,6	100,0	5,4*	4,2	0,5	0,8	11,3	6,4	1,84	10,92	33,54	25,79
		312	23,4	96,6	5,7*	4,7	0,6	2,2	12,1	8,3	2,46	14,42	43,41	30,51
		314	17,2	97,2	4,8*	4,1	0,6	4,0	10,8	7,6	2,23	14,55	46,73	35,20
I	39	48	13,7	14,9	11,8	17,1	7,0	4,5	18,0	21,8	2,71	3,92	23,06	22,85
		45	17,9	13,9	13,7	20,2	8,0	14,4	21,0	25,7	3,73	3,10	27,23	15,32
		38	16,4	11,8	14,1	20,5	7,0	12,8	24,5	28,0	4,33	3,84	30,55	18,73

* grubość w szyi korzeniowej / root collar thickness

**Rycina 1. Rozkład wskaźnika zróżnicowania przestrzennego grubości (*TD*) w poszczególnych klasach zróżnicowania w różnym wieku w niepielęgnowanych drzewostanach brzoźowych**Figure 1. Distribution of the spatial differentiation index for DBH (*TD*) in the particular classes of differentiation at different age in untended birch stands

($R=1,05$ i $R=1,00$), w jednym natomiast rozmieszczenie drzew nadal było regularne ($R=1,19$).

Zróżnicowanie przestrzenne grubości drzew

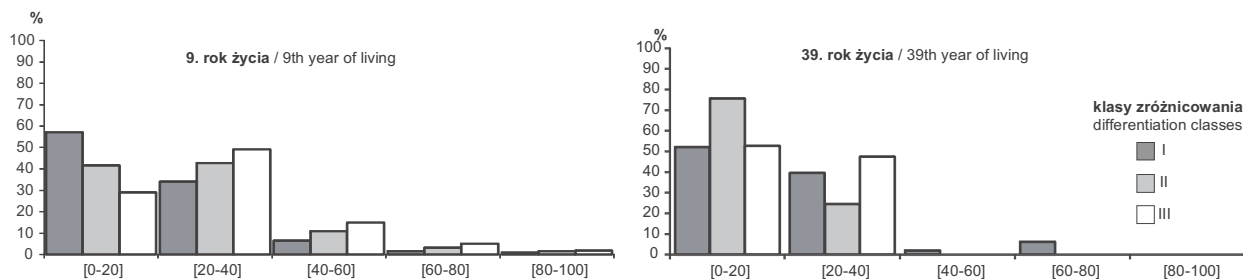
Średni wskaźnik zróżnicowania grubości dla drzewostanu od samego początku wskazywał na niewielkie jej zróżnicowanie, a drzewa stanowiące najbliższe sąsiedztwo nie różniły się o więcej niż 40% (tab. 1). W ciągu 30 lat zróżnicowanie to uległo dalszemu wyraźnemu zmniejszeniu we wszystkich 3 drzewostanach. Zmniejszenie zróżnicowania grubościowego drzewostanów potwierdził także współczynnik zmienności tej cechy, którego wartości także wyraźnie zmalały w 39. roku życia drzewostanów (tab. 2).

Rycina 1 prezentuje udział drzew w przyjętych klasach zróżnicowania grubościowego. W badanych drzewostanach w 9. i 39. roku życia największy był udział drzew w klasie o zróżnicowaniu 20–40%. Na początku badanego okresu w 2 drzewostanach wyraźny był udział

drzew w klasie średniego zróżnicowania grubości (40–60%), natomiast pod koniec okresu badań udział tej klasy w tych drzewostanach zmalał na korzyść klasy o najmniejszym zróżnicowaniu grubościowym najbliższych sąsiadów. Z ryciny tej wynika, że w 9. roku życia młodników jedynie niewielka liczba drzew (%) różniła się bardzo wyraźnie grubością w stosunku do swoich najbliższych sąsiadów (różnice 60%). Po 30 latach rozwoju tych drzewostanów, drzew wykazujących takie różnice w grubości już nie stwierdzono.

Zróżnicowanie przestrzenne wysokości drzew

Tabela 1 prezentuje średnią wartość indeksu zróżnicowania przestrzennego wysokości drzew dla poszczególnych drzewostanów. Wynika z niej, że zarówno w 9., jak i w 39. roku życia drzewostanów, zróżnicowanie wysokości drzew jest niewielkie i z wiekiem maleje. Jedynie w drzewostanie I na końcu analizowanego okresu średnia wartość wskaźnika wzrosła z 0,22 do 0,23.



Rycina 2. Rozkład wskaźnika zróżnicowania przestrzennego wysokości (TH) w poszczególnych klasach zróżnicowania w różnym wieku w niepielęgnowanych drzewostanach brzoźowych

Figure 2. Distribution of the spatial differentiation index for height (TH) in the particular classes of differentiation at different age in un-tended birch stands

Spadek zróżnicowania wysokości potwierdził także współczynnik zmienności obliczony dla wysokości drzew (tab. 2).

Udział drzew w poszczególnych klasach zróżnicowania wysokości między sąsiadami przedstawiony jest na rycinie 2. Zarówno na początku, jak i na końcu analizowanego okresu najliczniej reprezentowanymi klasami zróżnicowania były klasy świadczące o zróżnicowaniu grubości do 40%. Z wiekiem udział drzew w klasie o najmniejszym zróżnicowaniu wzrósł w 2 drzewostanach, kosztem klas pozostałych. Z ryciny tej wynika także, że z wiekiem udział drzew wyraźnie różniących się wysokością w stosunku do swoich sąsiadów zmalał, co świadczy o zmniejszaniu się zróżnicowania grubościowego drzewostanów. W 9. roku życia młodnika udział drzew różniących się wysokością o więcej niż 40% wahał się od 8,9% do niemal 22%. Na końcu analizowanego okresu jedynie w jednym drzewostanie ok. 8% drzew wykazywało takie zróżnicowanie (40%).

4. Dyskusja

Pierwotny regularny sposób rozmieszczenia drzew jest typowy dla drzewostanów niepielęgnowanych i założonych w określonej więźbie początkowej, a uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze badania. Regularne rozmieszczenie drzew żywych w uprawach i młodnikach stwierdził np. Szmyt (2004), analizując strukturę przestrzenną w sztucznych, niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych założonych w różnych wariantach więźby początkowej. Niezależnie od więźby początkowej wszystkie analizowane drzewostany w fazie uprawy leśnej wykazywały wyraźne regularne rozmieszczenie, co wynikało z narzuconej więźby początkowej. Nie musi to być jednak cechą stałą i w kolejnych fazach rozwojowych drzewostanu może ulec zmianie. Kierunek tych zmian w drzewostanach sztucznego pochodzenia nie jest dostatecznie poznany i

wymaga dalszych badań (Szwagrzyk 1992; Sekretenko, Gavrikow 1998; Szmyt 2004; Szmyt 2010).

W przypadku drzewostanów powstałych z odnowienia naturalnego dynamika rozmieszczenia drzew jest zdecydowanie lepiej poznana i najczęściej przebiega od rozmieszczenia skupiskowego w fazie odnowienia, poprzez losowe, do regularnego występowania drzew w drzewostanach starszych klas wieku (Gavrikow, Stoyan 1995). W początkowym okresie rozwoju w drzewostanach odnowionych sadzeniem nie należy się spodziewać grupowania się osobników, co potwierdziły prezentowane badania. Natomiast w starszych drzewostanach, gdy wpływ sposobu odnowienia ulega zatarciu na skutek różnych procesów naturalnych, dalszy kierunek zmian może przebiegać podobnie jak w lasach naturalnych (Szmyt 2004; Szmyt, Korzeniewicz 2010). Losowość rozmieszczenia drzew żywych w starszych drzewostanach sztucznego pochodzenia była obserwowana przez Szwagrzyka (1992) i Szmyta (2010). Natomiast Sekretenko, Gavrikow (1998), Pommerening (2002), Kint i in. (2003), Mason i in. (2007), Szmyt, Ceitel (2011) stwierdzili regularne rozmieszczenie drzew w drzewostanach o podobnym pochodzeniu.

Przyczyn regularnego rozmieszczenia drzew w drzewostanach upatruje się przede wszystkim w konkurencji między osobnikami, jednak konkurencja nie zawsze jest najważniejszym procesem zachodzącym w populacjach, często bowiem inne czynniki czy procesy ekologiczne odgrywają ważniejszą rolę w kształtowaniu się charakterystycznej struktury przestrzennej (Kenkel 1988; Szwagrzyk 1992; Murrell 2009). Wpływ konkurencji wynikającej z dużego zagęszczenia osobników przy naturalnym odnowieniu drzewostanu jest szczególnie dobrze widoczny w lasach naturalnych, kiedy to intensywność wydzielania się osobników jest większa w miejscach o większym ich zagęszczeniu, prowadząc często do losowego lub regularnego rozmieszczenia pozostałych drzew. W drzewostanach gospodarczych powstałych z sadzenia wybór więźby początkowej i za-

gęszczenia początkowego może ograniczać konkurencję między osobnikami. Jak zauważył Szmyt (2004), im luźniejsza więźba początkowa, tym trwalsze regularne rozmieszczenie drzew w drzewostanie.

Często drzewostany jednogatunkowe i jednowiekowe uważane są za populacje mało zróżnicowane strukturalnie. Prezentowane wyniki potwierdzają tę opinię zarówno w odniesieniu do zróżnicowania grubości, jak i wysokości drzew. W niepielęgnowanych drzewostanach brzożowych wartości współczynnika zmienności grubości i wysokości oraz wskaźniki zróżnicowania przestrzennego obu tych cech wskazują na ich niewielkie zróżnicowanie w całym 39-letnim analizowanym okresie ich życia. Zróżnicowanie to było większe w młodnikach brzożowych i z wiekiem wyraźnie zmalało. W fazie uprawy, przed nastąpieniem zwarcia koron drzew, wzrost drzewek miał charakter indywidualny i wynikał z interakcji genotypu i środowiska. Z chwilą zwarcia koron drzewek większego znaczenia nabiera konkurencja wynikająca z interakcji między osobnikami. Na skutek tej konkurencji wydzieleniu z drzewostanu ulegają osobniki najsłabsze, najczęściej o niewielkiej pierśnicy i małej wysokości.

Prezentowane wyniki z badania drzewostanów brzożowych są zgodnie z innymi, tj. dotyczącymi drzewostanów powstałych z sadzenia (Szmyt, Korzeniewicz 2010; Pommerening 2002; Szmyt, Ceitel 2011). Szmyt (2010) badając zróżnicowanie grubości sztucznych drzewostanów sosnowych w różnym wieku, stwierdził, że najmniejszymi charakteryzowały się drzewostany najstarsze (90 lat), jakkolwiek zarówno w drzewostanach 43-letnich, jak i 65-letnich było ono także niewielkie. Małą zmiennością grubości sosen cechowały się sztuczne drzewostany analizowane przez Masona i in. (2007). Dröbber i Lüpke (2004) obserwowali podobną tendencję w jednogatunkowych gospodarczych drzewostanach bukowych w wieku 148 i 166 lat. Drzewostany młodsze (80 i 120 lat) charakteryzowały się większym zróżnicowaniem tej cechy. Niewielką zmienność wysokości drzew stwierdzili Kint i in. (2003) w drzewostanach sosnowych założonych sadzeniem. Jak zauważył Brzeziecki (2005) zróżnicowanie drzewostanów zależne jest nie tylko od działania różnych procesów ekologicznych, ale także od sposobu ich zagospodarowania i zabiegów gospodarczych, jakie w nich się prowadzi (np. trzebieże). Autor zauważa, że w przykładowym drzewostanie sosnowym, przed przeprowadzeniem trzebieży, zróżnicowanie grubości drzew było niewielkie, a przeprowadzona trzebież dolna, a więc wyprzedzająca naturalne wydzielanie się drzew, tą zmienność jeszcze bardziej zmniejszyła. Z drugiej strony trzebież selekcyjna, zalecana w praktyce, sprzyja powstawaniu większego zróżnicowania przestrzennego drzewostanu.

Crecente-Campo i in. (2009) analizowali wpływ zabiegów na zróżnicowanie strukturalne 50–60-letnich drzewostanów sosnowych odnowionych sadzeniem. Dla powierzchni kontrolnej (bez zabiegów) rozmieszczenie drzew było losowe, a wskaźniki zróżnicowania strukturalnego grubości i wysokości uległy zmniejszeniu na skutek naturalnego wydzielania się drzew z drzewostanu. Wpływ zabiegów trzebieżowych na wspomnianą cechę zależny jest m.in. od ich intensywności (Crecente-Campo et al. 2009). Podobne wnioski wysunął wcześniej Pretzsch (1999), analizując wpływ różnych zabiegów hodowlanych na zróżnicowanie drzewostanów mieszanych świerkowo-bukowych.

5. Wnioski

Uzyskane wyniki pozwalają wysnuć następujące wnioski:

Mimo schematyzmu początkowego rozmieszczenia drzewek na uprawie, wskutek procesu naturalnego wydzielania się drzew z drzewostanu, poziome rozmieszczenie drzew może ulec zmianie na losowy. Proces ten, w przypadku braku zabiegów pielęgnacyjnych, jest głównym procesem wpływającym na kształtowanie się poziomego wzorca rozmieszczenia drzew w drzewostanie.

Przedstawione wyniki potwierdzają tezę, że brak pielęgnacji drzewostanów brzożowych w początkowym okresie ich rozwoju prowadzi do zmniejszenia ich zróżnicowania pod względem grubości i wysokości. Opierając się na naturalnych procesach ekologicznych w drzewostanach brzożowych, nie ma możliwości zwiększenia ich zróżnicowania.

Literatura

- Aquirre O, Hui G., Gadow H. v., Jiménez J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 183: 137–145.
- Bilek L., Remes J., Zahradnik D. 2011. Managed vs. unmanaged. Structure of beech forest stands (*Fagus sylvatica* L.) after 50 years of development, Central Bohemia. *Forest Systems*, 20: 122–138.
- Boyden S., Binkley D., Shepperd W. 2005. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 219: 43–55.
- Brzeziecki B. 2002. Wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu. *Sylwan*, 4: 69–79.
- Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. *Sylwan*, 10: 11–19.
- Ceitel J., Wawro T. 1999. Wyniki obserwacji meteorologicznych z terenu leśnictwa doświadczalnego Wielistawice

- (LZD Siemianice) za okres 1988–1997. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Leśnictwo*, 37: 3345.
- Clark P., Evans F. 1954. Distance to the nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(5): 445–453.
- Comas C., Mateu J. 2007. Modelling forest dynamics: a perspective from point process methods. *Biometrical Journal*, 49: 176–196.
- Commarmot B., Bachofen H., Bundziak Y., Bürgi A., Ramp B., Shaparyk Y., Sukhariuk D., Viter R., Zingg A. 2005. Structure of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland): a comparative study. *Forest Snow and Landscape Research*, 79: 45–56.
- Crecente-Campo F., Pommerening A., Rodríguez-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.
- Dröäler L., von Lüpke B. 2004. Quantitative description of forest structure in a virgin beech forest and a comparison with managed beech forest. Teheran, Iran, Proceedings from the 7-th International Beech Symposium. IUFRO Research Group 1.10.00. 10–20 May 2004, 37–47.
- Eichhorn M. P. 2010. Spatial organisation of bimodal forest stand. *Journal of Forest Research*, 15: 391–397.
- Gadow K. v. Hui G. 2002. Characterising forest spatial structure and diversity, w: Sustainable forestry in temperate regions (ed. L. Bjoerk). Lund, Materiały konferencyjne IUFRO, pp. 20–30.
- Hessburg P. F., Smith B. G., Salter R. B., Ottmar R. D., Alvarado E. 2000. Recent changes (1930s–1990s) in spatial patterns of interior northwest forests, USA. *Forest Ecology and Management*, 136: 53–83.
- Kenkel N., Hendrie M. L., Bella I. E. 1997. A long-term study of *Pinus banksiana* population dynamics. *Journal of Vegetation Science*, 8: 241–254.
- Kenkel N. C. 1988. Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 64: 1017–1024.
- Kint V., Van Meirvenne M., Nachtergale L., Geudens G., Lust N. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest-neighbor indices and variogram analysis. *Forest Science*, 49 (1): 36–49.
- Kint V. 2004. SIAFOR 1.0 – user guide. Laboratory of Forestry, Ghent University.
- Latham P. A., Zuuring H., R., Coble D., W. 1998. A method for quantifying vertical forest structure. *Forest Ecology and Management*, 104: 157–170.
- Lähde E., Laiho O., Norokorpi Y., Saksa T. 1999. Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management*, 115: 213–220.
- LeMay V., Pommerening A., Marshall P. 2009. Spatio-temporal structure of multi-storied, multi-aged interior Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) stands. *Journal of Ecology*, 97: 1062–1074.
- Lepš J. 1990. Can underlying mechanisms be deduced from observed patterns? In Spatial processes in plant communities (F. Krahulec, A. D., Q., Agnew and J. H. Willems, eds.) 1–11. Academia, Prague.
- Lexerid N., Eid T. 2006. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. *Forest Ecology and Management*, 222: 17–28.
- Mason W. L., Connoly T., Pommerening A., Edwards C. 2007. Spatial structure of semi-natural and plantation stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Scotland. *Forestry*, 80(5): 567–586.
- Murrell D. J. 2009. On the emergence spatial structure of size-structured populations: when does self-thinning lead to a reduction in clustering? *Journal of Ecology*, 97: 256–266.
- Pommerening A. 2002. Approaches to quantifying forest structure. *Forestry*, 75 (3): 305–324.
- Pretzsch H. 1999. Structural diversity as a result of silvicultural operations, w: (red. A.F.M. Olsthoorn). Management of mixed-species forest: silviculture and economics, pp. 157–174. ISBN 9076095086.
- Saunders M. R., Wagner R. G. 2008. Long-term spatial and structural dynamics in Acadian mixedwood stands managed under various silvicultural systems. *Canadian Journal of Forest Research*, 38: 498–517.
- Schmuck A. 1959. Zarys klimatologii Polski. Warszawa, PWN.
- 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.
- Szmyt J. 2004. Wpływ więzby początkowej i wieku na kształtowanie się poziomego rozmieszczenia drzew w niepielegnowanych drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. Praca doktorska, Katedra Hodowli Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- Szmyt J. 2010. Spatial pattern of trees of different diameter classes in managed pine stands (*Pinus sylvestris* L.) of different age. *Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria*, 9: 37–49.
- Szmyt J., Korzeniewicz R. 2010. Przestrzenne zróżnicowanie drzewostanów dagleżjowych (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) odnowionych sadzeniem na siedliskach BMśw i LMśw. *Sylwan*, 154(11): 791–800.
- Szmyt J., Ceitel J. 2011. Zróżnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielegnowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym. *Sylwan*, 155: 749–759.
- Szwagrzyk J. 1992. Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus sylvestris*-*Fagus sylvatica* forest. *Forest Ecology and Management*, 51: 301–315.
- Szymański S. 1964. Dynamika rozwoju niekierowanych młodników sosnowych. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych*, 15(3): 341–404.
- Szymański S. 2000. Ekologiczne podstawy hodowli lasu. Warszawa. Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. ISBN 8309017286.
- Stoyan D., Penttinen A. 2000. Recent applications of point process methods in forestry statistics. *Statistical Science*, 15: 61–78.
- Trampler T., Kliczkowska A., Dmyterko E., Sierpińska A., Matuszkiewicz W. 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjograficznych. Warszawa, Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

- Ward J. S., Parker G. R., Ferrandino F. J. 1996. Long-term spatial dynamics in an old-growth deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 83: 189–202.
- Wolf A. 2005. Fifty year record of change in tree spatial patterns within a mixed deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 215: 212–223.
- Woods K. 2000. Long-term change and spatial pattern in a late-successional hemlock-northern hardwood forest. *Journal of Ecology*, 88: 267–282.
- Vorčák J., Merganič J., Saniga M. 2006. Structural diversity change and regeneration processes of the Norway spruce natural forest in Babia hora NNR in relation to altitude. *Journal of Forest Science*, 52(9): 399–409.