

JANUSZ SZMYT, JAN CEITEL

## Zróźnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym

Spatial and size diversity of trees in untended pine stands of different initial density

### ABSTRACT

Szmyt J., Ceitel J. 2011. Zróźnicowanie przestrzenne i grubościowe drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym. Sylwan 155 (11): 749-759.

Paper presents the analysis of spatial distribution as well as spatial diversity of DBH of living trees and trees of different biosocial class in 34 year old pine (*Pinus sylvestris* L.) stands of different initial density. The following indices were applied: CE index (spatial distribution) and TD (spatial diversity of diameters). Living trees were distributed regularly in all analysed stands. The lower initial density, the more evenly trees were spaced. Taking into consideration the biosocial position of trees it can be stated that regularity was observed only in case of dominant trees (II Kraft's class). Trees of the other social classes were mostly randomly scattered. Groups of trees were never observed. Analysed pine stands showed small spatial diversity of diameters between nearest neighbors, both in case of living trees and trees of different social classes. The lowest diversity was observed in case of neighbors from predominant and codominant Kraft's class.

### KEY WORDS

Scots pine, spatial distribution, biosocial classes, size differentiation, initial density

### ADDRESSES

Janusz Szmyt – e-mail: jachsztm@wp.pl

Jan Ceitel

Katedra Hodowli Lasu; Uniwersytet Przyrodniczy; ul. Wojska Polskiego 69; 60-625 Poznań

## Wstęp

Zróźnicowanie strukturalne lasu, często w literaturze nazywane zróźnicowaniem alfa, można rozpatrywać w trzech aspektach: przestrzennego rozmieszczenia roślin (w tym drzew) i zwierząt na powierzchni, przestrzennego zróźnicowania ich wielkości oraz zróźnicowania gatunkowego [Lähde i in. 1999; Neumann, Starlinger 2001; Brzeziecki 2002; Pommerening 2002, 2006; Aguirre i in. 2003; Vorčák i in. 2006; Pittner, Saniga 2008]. Wiedza o zróźnicowaniu strukturalnym drzewostanu jako najważniejszej części składowej ekosystemu leśnego nabiera coraz większego znaczenia dla zrozumienia spełnianych przez ten ekosystem funkcji oraz staje się niezbędna dla realizacji postulatu trwałego gospodarowania zasobami leśnymi.

Wpływ struktury drzewostanu na bioróżnorodność, stabilność ekologiczną i dalszy rozwój lasu jest bezsprzeczny, jakkolwiek trudno go w sposób jednoznaczny określić dla różnych drzewostanów [Kint i in. 2003]. Zróźnicowanie (gatunkowe, wymiarowe, przestrzenne) drzew w lesie determinuje szereg zachodzących w nim procesów (biotycznych i abiotycznych), modyfikuje warunki ekologiczne, jakie w nim występują (np. warunki świetlne, rodzaj i skład ścióły, dostęp-

ność składników pokarmowych), a także wpływa na produktywność drzewostanu [Zajączkowski 1994; Kint i in. 2003; Dounavi i in. 2010]. Każdy zabieg gospodarczy prowadzony w drzewostanie wpływa na jego strukturę. Z drugiej strony, postępowanie gospodarcze w drzewostanie zależy w pewnej mierze od jego zróżnicowania strukturalnego [Pretzsch 1996; Bailey, Tappeiner 1998; Kint i in. 2003; Hanewinkel 2004; Brzeziecki 2005].

Badania przestrzennego zróżnicowania drzew w sztucznie założonych drzewostanach, a szczególnie niepielęgowanych, są nieliczne, natomiast tylko one mogą dostarczyć informacji (wiedzy) o trwałości schematycznego (równomiernego) rozmieszczenia drzew, wynikającego ze sposobu odnowienia, oraz o dynamice i kierunku zmian w ich rozmieszczeniu. Wiedza z tego zakresu może być przydatna przy racjonalizacji cięć pielęgnacyjnych polegającej na ograniczeniu nakładów na zagospodarowanie oraz dopływu energii poprzez daleko idące wykorzystanie procesów naturalnych.

Celem niniejszej pracy jest określenie typu poziomego rozmieszczenia oraz przestrzennego zróżnicowania pierśnicy drzew żywych (ogółem oraz z uwzględnieniem pozycji biosocjalnej) w 34-letnich niepielęgowanych drzewostanach sosnowych różniących się zagęszczeniem początkowym.

## Materiały i metody

Badane drzewostany zlokalizowane są na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego Siemianice, w leśnictwie Wielisławice, w oddziale 25b, i są stałymi powierzchniami badawczymi Katedry Hodowli Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, założonymi przez dr. Jana Ceitla. Glebę na powierzchni badawczej zaklasyfikowano do typu bielcowych, w podtypie gleb skrytobielcowych, a typ siedliskowy określono jako bór świeży, a w południowej, nieco żyzniejszej części – bór mieszany świeży [Ceitel 1982].

Do badań wybrano trzy 34-letnie niepielęgowane drzewostany sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) o wyraźnie różnym zagęszczeniu początkowym i więźbie: 20 833 szt./ha i 1,2×0,4 m (drzewostan A), 10 000 szt./ha i 1,0×1,0 m (drzewostan B) oraz 2500 szt./ha i 2,0×2,0 m (drzewostan C). Pomiar i obserwacje wykonano na prostokątnych powierzchniach pomiarowych o wielkości 0,11 ha (27×41 m). W każdym drzewostanie pomierzono pierśnicę wszystkich drzew żywych oraz określono ich stanowisko biosocjalne zgodnie z klasyfikacją Krafta [Szymański 2000]. W celu przeprowadzenia analiz przestrzennych określono współrzędne prostokątne każdego drzewa.

Dla określenia zróżnicowania strukturalnego lasu (drzewostanu) wykorzystuje się różne wskaźniki [Clark, Evans 1954; Pielou 1959; Neumann, Starlinger 2001; von Gadov, Hui 2002; Pommerening 2002; Brzeziecki 2002; Montes i in. 2004; Kint 2005; Pittner, Saniga 2008; Dounavi i in. 2010]. W prezentowanej pracy typ poziomego rozmieszczenia drzew na powierzchni określano na podstawie wskaźnika skupiskowości Clarka-Evansa (CE), a zróżnicowanie przestrzenne pierśnicy drzew – wskaźnikiem TD. Oba wskaźniki obliczane były dla wszystkich drzew żywych ogółem, jak i z uwzględnieniem przynależności do klas biosocjalnych Krafta. W tym ostatnim przypadku rolę najbliższych sąsiadów pełniły drzewa z tej samej klasy socjalnej co drzewo referencyjne (centralne). Wszystkie analizy przestrzenne przeprowadzono z wykorzystaniem programu SIAFOR ver. 1.0 [Kint 2004].

Wskaźnik skupiskowości CE pozwala w prosty sposób określić typ poziomej struktury przestrzennej drzew badanej populacji na podstawie odległości między najbliższymi sąsiadami w drzewostanie [Clark, Evans 1954; Donnelly 1978; Kint i in. 2003; Pittner, Saniga 2008]. Miara ta bazuje na porównaniu średniej odległości między najbliższymi sąsiadami w badanym drzewo-

stanie oraz spodziewanej (teoretycznej) średniej odległości między nimi przy losowym ich rozkładzie. Matematyczna formuła wskaźnika CE w modyfikacji Donnelly'ego ma postać [Donnelly 1978; Kint i in. 2003; Szmyt 2004]:

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

gdzie:

- $r_A$  – średnia odległość między najbliższymi sąsiadami,
- $r_E$  – średnia spodziewana (teoretyczna) odległość między najbliższymi sąsiadami,
- $r_i$  – odległość między  $i$ -tym osobnikiem a jego najbliższym sąsiadem [m],
- $N$  – liczba osobników na powierzchni pomiarowej [szt.],
- $A$  – wielkość powierzchni [m<sup>2</sup>],
- $P$  – obwód powierzchni [m].

Wskaźnik CE określa do jakiego stopnia badana populacja różni się od populacji teoretycznej o losowym rozmieszczeniu drzew, która charakteryzuje się indeksem CE=1. Jeżeli drzewa rozmieszczone są grupach, wówczas CE<1. Wartość CE>1 wskazuje na ich równomierne rozmieszczenie na danej powierzchni. Istotność odchylenia obliczonego wskaźnika CE od wzorca teoretycznego określa się przy wykorzystaniu standardowego rozkładu normalnego [Clark, Evans 1954; Donnelly 1978; Szmyt 2004; Kint 2005]:

$$c = \frac{r_A - r_E}{\sigma_{r_E}} \quad \text{oraz} \quad \sigma_{r_E} = \frac{0,26136}{\sqrt{N \cdot \rho}}$$

gdzie:

- $\sigma_{r_E}$  – odchylenie standardowe  $r_E$  w przypadku rozkładu losowego o zagęszczeniu  $\rho$ .

Badana hipoteza zerowa dotyczy losowego rozmieszczenia drzew badanej populacji ( $H_0$ : R=1). Hipotezą alternatywną jest hipoteza zakładająca nielosowość rozmieszczenia drzew ( $H_A$ : R≠1).

Wskaźnik przestrzennego zróżnicowania grubości drzew TD określa podobieństwo grubości drzew w drzewostanie w najmniejszej skali przestrzennej, tzn. w skali najbliższego sąsiedztwa. Matematyczna formuła wskaźnika określanego dla 3 najbliższych sąsiadów ma postać [Pommerening 2002; Aguirre i in. 2003; Kint i in. 2003; Kint 2004; Vorčák i in. 2006; Pittner, Saniga 2008]:

$$TD_i = \frac{1}{3} \cdot \sum_{j=1}^3 \left[ 1 - \frac{\min(D_{1.3i}, D_{1.3j})}{\max(D_{1.3i}, D_j)} \right]$$

gdzie:

- $i$  – wskaźnik drzewa referencyjnego (centralnego),
- $D_{1.3i}$  – pierśnica  $i$ -tego drzewa,
- $D_{1.3j}$  – pierśnica  $j$ -tego drzewa.

Wartość wskaźnika jest obliczana dla każdego drzewa w drzewostanie, a następnie uśredniana. Informuje ona o średnim przestrzennym zróżnicowaniu grubości drzew w drzewostanie. Indeks może przyjmować wartości od 0 do 1, przy czym 0 wskazuje na brak zróżnicowania przestrzennego grubości w drzewostanie, tzn. drzewa charakteryzują się taką samą pierśnicą, a wartość TD=1 wskazuje na bardzo duże zróżnicowanie drzew pod względem pierśnicy [Pommerening 2002; Kint 2004; Vorčák i in. 2006].

Do oceny przestrzennego zróżnicowania grubości sąsiadów zastosowano zaproponowane przez Kint'a [2004] klasy wartości wskaźnika TD:

- 0,00-0,20 – bardzo małe zróżnicowanie (najbliższy sąsiad różni się nie więcej niż o 20%);  
 0,20-0,40 – małe zróżnicowanie (różnica grubości 20-40%);  
 0,40-0,60 – przeciętne (średnie) zróżnicowanie (różnica 40-60%);  
 0,60-0,80 – duże zróżnicowanie (różnica 60-80%);  
 0,80-1,00 – bardzo duże zróżnicowanie grubości (różnica >80%).

## Wyniki

Badane drzewostany różnią się nadal zagęszczeniem, które wynosiło w momencie pomiarów 4571 (drzewostan A), 3866 (B) i 1879 (C) szt./ha. Jednak różnice te są znacznie mniejsze niż na początku (tab. 1). Początkowo stosunek między zagęszczeniem najmniejszym a pozostałymi wynosił 1:4 (C:B) i 1:8,33 (C:A), a obecnie równa się 1:2,05 (C:B) i 1:2,43 (C:A). Drzewostany te charakteryzują się także odmienną strukturą biosocjalną. Szczególnie wyraźne jest to przy porównaniu udziału drzew z drzewostanu głównego (A – 49,01%, B – 61,22% i C – 76,44%) i podrzędnego (A – 50,99%, B – 38,78% i C – 23,56%). Udział drzew z drzewostanu głównego rośnie, a podrzędnego maleje wraz ze zmniejszeniem zagęszczenia początkowego.

Stwierdzono silne zróżnicowanie pierśnicy sosen zarówno w poszczególnych klasach socjalnych, jak i ogółem, co potwierdza zakres zmienności, wartość odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności (tab. 2). Średnie, zarówno dla wszystkich drzew żywych, jak i z uwzględnieniem ich stanowiska socjalnego, maleją wraz ze wzrostem zagęszczenia (tab. 2). Dynamika wydzielenia się drzew, zróżnicowanie socjalne oraz średnia pierśnica w badanych drzewostanach wykazują silny związek z zagęszczeniem początkowym.

Wartości wskaźnika CE dla wszystkich drzew żywych wskazują na ich statystycznie istotne ( $\alpha=0,01$ ) rozmieszczenie równomierne (tab. 2). Im mniejsze było zagęszczenie drzewostanu, tym większą wartością cechuje się indeks CE. Podobna tendencja występuje w przypadku drzew panujących (II klasa Krafta), które charakteryzowały się także rozmieszczeniem regularnym, natomiast wartości indeksu dla tej klasy były niższe niż dla wszystkich drzew żywych. Drzewa górujące (I klasa Krafta) jedynie w drzewostanie o największym zagęszczeniu początkowym rozmieszczone były równomiernie. W drzewostanach B i C rozmieszczenie tych drzew było losowe, mimo że wartości CE były nieco wyższe od 1. Rozmieszczenie drzew zaklasyfikowanych do klasy drzew współpanujących, opanowanych oraz przygłuszonych (III-V klasy Krafta) nie różniło się istotnie od typu losowego, mimo iż wartości indeksu CE najczęściej przekraczały wartość 1. Pewną tendencję do grupowania się (wartość  $CE < 1$ ) stwierdzono dla drzew opanowanych w drzewostanie najgęstszym (A), jednakże zależność ta nie była statystycznie istotna. Wzrost wartości wskaźnika CE wraz ze zmniejszaniem się zagęszczenia początkowego drzewostanu stwierdzono dla drzew z wszystkich klas Krafta, poza górującymi.

**Tabela 1.**

Wartości wskaźnika CE dla drzew żywych ogółem i w poszczególnych klasach biologicznych w drzewostanach o różnym zagęszczeniu

Values of CE index for all living trees and trees of different biosocial Kraft's classes in untended pine stands of different initial densities

Zagęszczenie początkowe	Drzewa żywe	Klasa Krafta				
		I	II	III	IV	V
20 833	1,21**	1,21*	1,17**	1,08	0,95	1,06
10 000	1,33**	1,05	1,17**	1,10	1,09	1,08
2500	1,69**	1,01	1,41**	1,17	1,13	1,11

\* istotność statystyczna na poziomie  $\alpha=0,05$ ; \*\* istotność statystyczna na poziomie  $\alpha=0,01$

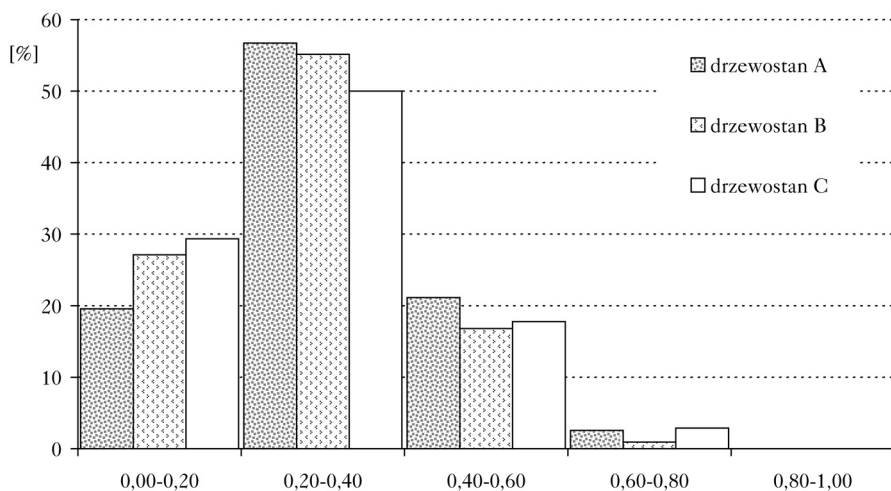
\* significant at  $\alpha=0,05$ ; \*\* difference significant at  $\alpha=0,01$

Tabela 2.

Charakterystyka grubościowa badanych drzewostanach w LZD Siemianice  
Diameter characteristics of the analysed untended pine stands of different initial densities

	Drzewa żywe	Klasa Krafta				
		I	II	III	IV	V
Drzewostan A						
Liczba drzew [szt.]	506	28	155	65	94	164
$D_{1,3\text{średnia}}$ [cm]	9,38	16,43	12,34	9,57	7,81	6,21
SD [cm]	3,6484	3,0050	2,7115	1,5100	1,2467	1,6222
Min [cm]	3	11	3	7	5	3
Max [cm]	24	24	21	14	11	16
$TD_{\text{średnie}}$	0,13	0,17	0,17	0,12	0,13	0,18
Drzewostan B						
Liczba drzew [szt.]	428	32	137	93	66	100
$D_{1,3\text{średnia}}$ [cm]	10,66	17,12	13,20	10,22	8,53	6,92
SD [cm]	3,6058	2,1960	2,4439	1,6558	1,6382	1,5020
Min [cm]	4	14	8	7	5	4
Max [cm]	23	23	21	17	14	12
$TD_{\text{średnie}}$	0,27	0,12	0,16	0,13	0,16	0,17
Drzewostan C						
Liczba drzew [szt.]	208	12	122	25	24	25
$D_{1,3\text{średnia}}$ [cm]	13,86	20,92	15,69	11,80	9,25	8,04
SD [cm]	4,1720	2,1515	2,6224	1,4434	1,7754	2,3180
Min [cm]	5	17	9	10	5	5
Max [cm]	25	25	23	15	12	15
$TD_{\text{średnie}}$	0,29	0,10	0,15	0,10	0,17	0,19

Średnia wartość wskaźnika TD między najbliższymi żywymi sąsiadami w drzewostanie o największym zagęszczeniu początkowym (A) bez względu na pozycję biosocjalną drzew wynosiła 0,13, co świadczy o bardzo małym zróżnicowaniu przestrzennym pierśnicy (tab. 2). Wartość tego wskaźnika dla najbliższych sąsiadów należących do klasy drzew górujących i panujących była natomiast nieco większa ( $TD_{\text{średnie}}=0,17$ ), a dla drzew współpanujących i opanowanych niemal taka sama (odpowiednio  $TD_{\text{średnie}}=0,12$  i  $TD_{\text{średnie}}=0,13$ ). Największą średnią wartością wskaźnika TD charakteryzowały się drzewa przygluszone ( $TD_{\text{średnie}}=0,18$ ). Uwzględniając klasy zróżnicowania wskaźnika TD Kint'a [2004] stwierdzono, że aż 76% drzew nie różniło się pierśnicą od najbliższego sąsiada więcej niż 40%, przy czym u 56% z nich różnica wahała się w zakresie 20-40%. Jedynie 24% najbliższych sąsiadów wykazywało większe różnice grubościowe między najbliższymi sąsiadami (ryc. 1). Wśród drzew należących do klasy górujących w 64% przypadkach najbliżsi sąsiedzi tej samej klasy nie wykazywali różnic grubości większych niż 20%, a 35% z nich różniło się o 20-40%. Największym zróżnicowaniem przestrzennym pierśnic charakteryzowały się drzewa panujące (do 80%), jednak i tu przeważają różnice bardzo małe i małe, bowiem niemal 97% najbliższych sąsiadów tej klasy socjalnej wykazywało różnicę nie większą niż 40%. Najbliżsi sąsiedzi należący do klasy drzew współpanujących oraz opanowanych nie różnili się między sobą pod względem pierśnicy o więcej niż 40%. Drzewa przygluszone charakteryzowały się natomiast z jednej strony największym udziałem drzew o średnim zróżnicowaniu grubościowym sąsiadów (różnice grubości 40-60%), z drugiej natomiast najmniejszym udziałem drzew o bardzo małym zróżnicowaniu (ryc. 2a).



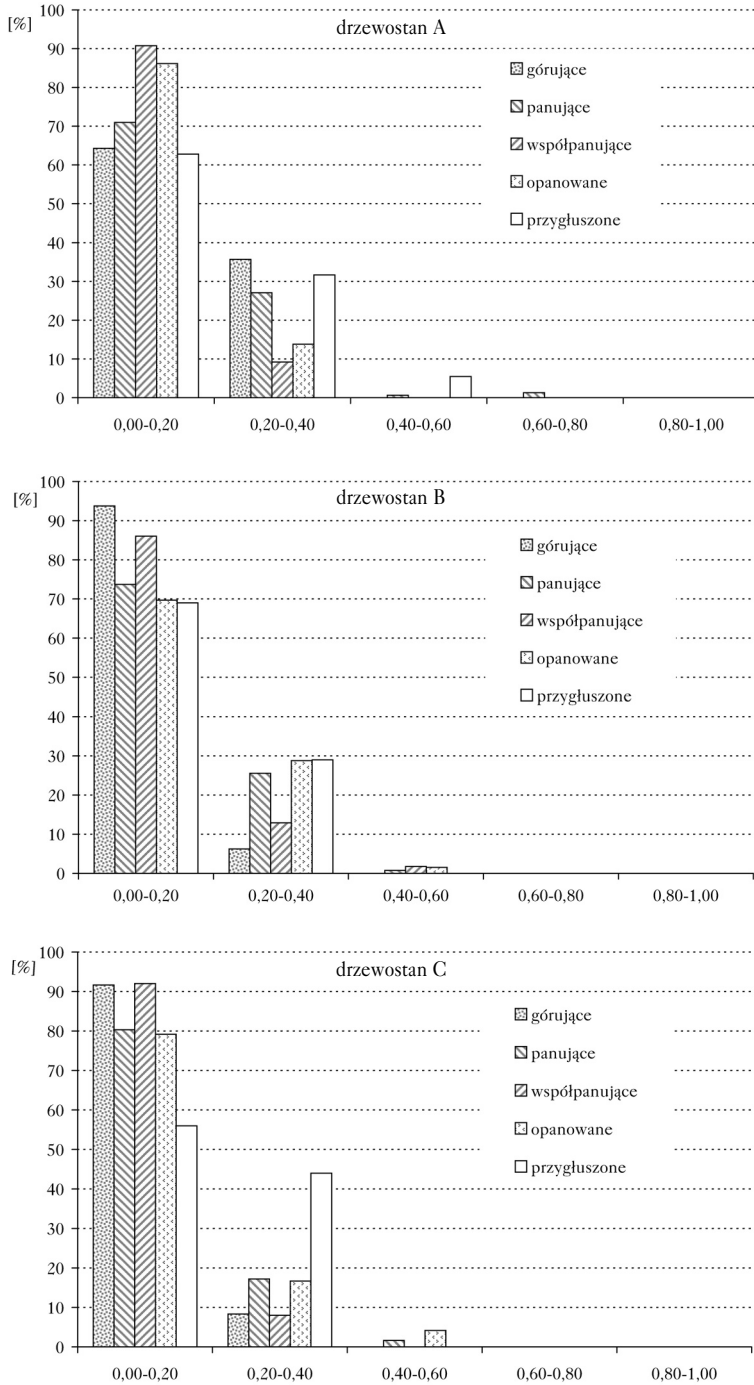
Ryc. 1.

Wskaźnik przestrzennego zróżnicowania pierśnicy wszystkich drzew żywych w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym

Diameter differentiation index for all living trees in untended pine stands of different initial density

W drzewostanie o średnim zagęszczeniu początkowym (B) średnia wartość zróżnicowania przestrzennego grubości dla wszystkich drzew żywych bez względu na klasę socialną wynosiła 0,27, co również dowodzi małego zróżnicowania w stosunku do najbliższych sąsiadów (tab. 2). Uwzględniając pozycję socialną drzew można stwierdzić wyraźnie w zasadzie mniejsze średnie wartości wskaźnika TD niż w drzewostanie A. Największe wartości odnotowano dla najbliższych sąsiadów należących do drzew panujących, opanowanych i przygłuszonych ( $TD_{\text{średnie}}$  odpowiednio 0,16, 0,16 oraz 0,17), a niższe dla drzew współpanujących wskaźnik ( $TD_{\text{średnie}}=0,13$ ) i górujących ( $TD_{\text{średnie}}=0,12$ ). W drzewostanie B 82% najbliższych sąsiadów wśród wszystkich drzew żywych różniło się między sobą pierśnicą o mniej niż 40%, przy czym dla 55% z nich różnice wahały się między 20 i 40%, a więc przeważa zróżnicowanie bardzo małe i małe według klasyfikacji Kint'a [2004]. Większe różnice w pierśnicy (40-60%) dotyczyły jedynie 18% najbliższych sąsiadów (ryc. 1). Udział drzew różnych klas biologicznych w poszczególnych klasach zróżnicowania grubościowego wskazuje, że między drzewami górującymi oraz między przygłuszonymi różnice w pierśnicy nie przekraczały 40%, a przeważały różnice do 20% (ryc. 2b). Drzewa z pozostałych klas socialnych różnią się pierśnicą od najbliższych sąsiadów maksymalnie o 60%, przy zdecydowanej przewadze różnic nieprzekraczających 20%. Niewielki udział średniego zróżnicowania pierśnic (40-60%) stwierdzono tylko w grupie drzew panujących (0,73%), współpanujących (1,75%) oraz opanowanych (1,52%).

Drzewostan o najmniejszym zagęszczeniu początkowym (C) charakteryzuje się dla wszystkich drzew żywych bez uwzględniania pozycji biosocialnej przeciętnym zróżnicowaniem pierśnic ( $TD_{\text{średnie}}=0,29$ ). Wartość wskaźnika TD w tym drzewostanie jest największa w porównaniu z pozostałymi (tab. 2). Dla poszczególnych klas socialnych średnie wartości wskaźnika były wyraźnie niższe. Największą wartość stwierdzono dla najbliższych sąsiadów wśród drzew przygłuszonych ( $TD_{\text{średnie}}=0,19$ ), nieco mniejszą odnotowano dla sąsiadów spośród drzew opanowanych i panujących (odpowiednio 0,17 i 0,15). Dla drzew górujących i współpanujących średnia wartość wskaźnika zróżnicowania pierśnicy była najmniejsza i wynosiła w obu przypadkach  $TD=0,10$ .



Ryc. 2.

Wskaźnik przestrzennego zróźnicowania pierśnicy drzew różnych klas biosocjalnych w drzewostanach sosnowych o różnym zagęszczeniu początkowym

Diameter differentiation index for trees of different Kraft's classes in stands of different initial density



W drzewostanie tym niemal 80% wszystkich drzew żywych nie różniło się pod względem pierśnicy o więcej niż 40% w stosunku do swojego najbliższego sąsiada, a dla 50% z nich różnice te wynosiły 20-40%. Tylko dla 20% drzew różnice te przekraczały 60% (ryc. 1). Wśród drzew górujących, współpanujących oraz przygłuszonych nie stwierdzono różnic między pierśnicami najbliższych sąsiadów większych niż 40%, przy czym najczęściej reprezentowana była klasa zróżnicowania odpowiadająca różnicom nie większym niż 20% (udział odpowiednio 92%, 92% i 56%). Większe zróżnicowanie grubości (różnice 40-60%) obserwowano wśród drzew panujących i opanowanych, jakkolwiek udział takich przydatków był niewielki (ryc. 2c).

## Dyskusja

Prezentowane w niniejszej pracy wyniki dowodzące regularnego rozmieszczenia wszystkich drzew żywych w 34-letnich niepielęgowanych drzewostanach sosnowych założonych w odmiennym zagęszczeniu potwierdzają wcześniejsze obserwacje uzyskane dla innych drzewostanów sztucznego pochodzenia [Sekretenko, Gavricov 1998; von Müller i in. 2000; Pommerening 2002; Mason i in. 2007; Rozas i in. 2009]. Powstanie regularnego sposobu organizacji przestrzennej w drzewostanach gospodarczych jest najczęściej wynikiem silnej konkurencji między drzewami w młodszych fazach rozwojowych, zmienności mikrosiedliska bądź też jest skutkiem prowadzenia gospodarki leśnej przez człowieka (odnowienia sztuczne, trzebieże, cięcia rębne) [Gavricov, Stoyan 1995; Vorčák i in. 2006; Pittner, Saniga 2008; Meador Sanchez i in. 2009]. W lasach naturalnych równomierność rozmieszczenia drzew jest natomiast bardzo rzadko obserwowana i dotyczy właściwie jedynie drzewostanów dojrzałych bądź osobników największych w badanej populacji [Kenkel 1988; Szwagrzyk 1991; Bilski, Brzeziecki 2005; Vorčák i in. 2006; Pittner, Saniga 2008; Dounavi i in. 2010].

Drzewa należące do poszczególnych klas biosocjalnych były w badanych drzewostanach rozmieszczone w przeważającej mierze losowo. Wyjątkiem są drzewa panujące, które charakteryzowały się równomiernym rozmieszczeniem we wszystkich drzewostanach, oraz drzewa górujące w drzewostanie o największym zagęszczeniu początkowym. Baiko [2010] analizując rozmieszczenie poziome drzew w drzewostanach sosnowych z odnowienia naturalnego stwierdził najczęstsze występowanie skupiskowego typu rozmieszczenia drzew żywych. W drzewostanach II klasy wieku przy uwzględnieniu klas biosocjalnych stwierdził występowanie losowego (I klasa Krafta) lub skupiskowego typu poziomej organizacji przestrzennej (II-IV klasy Krafta). Wyniki te należy jednak traktować z ostrożnością, gdyż zastosowane różne metody statystyczne nie zawsze wskazywały ten sam sposób rozmieszczenia drzew dla danej powierzchni.

Biorąc pod uwagę, że większość drzew o korzystnej i bardzo korzystnej pozycji socjalnej charakteryzuje się w badanych drzewostanach regularnym typem rozmieszczenia, i że kierunek przemieszczania się drzew w drzewostanach sosnowych ma charakter głównie spadkowy [Szymański 1963, 1964], oraz że nawet w drzewostanach pochodzenia naturalnego drzewa dojrzałe i o największych rozmiarach często są rozmieszczone regularnie [Kenkel 1988; Szwagrzyk 1991; Bilski, Brzeziecki 2005; Vorčák i in. 2006; Pittner, Saniga 2008; Dounavi i in. 2010], należy przypuszczać, iż ten typ organizacji poziomej utrzyma się jeszcze bardzo długo, jeśli nie do końca cyklu produkcyjnego. Regularne więzby, szczególnie kwadratowe, zapewniają przez pierwsze kilkadziesiąt lat trwanie regularnego wzorca przestrzennego [Sekretenko, Gavricov 1998; Szmyt 2004]. Przyczyn regularności rozmieszczenia drzew w drzewostanach sztucznego pochodzenia upatrywać należy właśnie w sposobie ich zakładania.

Drzewa żywe, niezależnie od zagęszczenia początkowego drzewostanu, charakteryzowały się niewielkim zróżnicowaniem grubościowym w skali najbliższego sąsiedztwa, mimo wzrostu



średniej wartości wskaźnika TD wraz ze zmniejszaniem się zagęszczenia początkowego drzewostanów. Mniejsze zróżnicowanie pierścni między drzewami w drzewostanach założonych w większym zagęszczeniu wynika z aktualnego dużego zagęszczenia i udziału w nim drzew podrzędnych o niewielkich grubościach. Najbliżsi sąsiedzi najczęściej wykazywali różnicę grubości do 40%. Udział drzew o takim zróżnicowaniu grubościowym waha się między 76 a 82%, w zależności od zagęszczenia początkowego drzewostanu. Drzewa żywe o zróżnicowaniu grubościowym większym od 40% w skali najbliższego sąsiada stanowiły od 17 do 23%, przy czym w żadnym z drzewostanów różnice grubości nie przekraczały 80%. Drzewa tworzące drzewostan główny różnią się od siebie grubością w tym większym stopniu, im większe jest zagęszczenie, a drzewa z drzewostanu podrzędnego odwrotnie.

Niewielkie zróżnicowanie pierścni najbliższych sąsiadów obserwował także Brzeziecki [2005] w 35-letnim, ekstensywnie pielęgnowanym drzewostanie sosnowym, a przeprowadzona trzebież dolna spowodowała dalsze zmniejszenie się tego zróżnicowania. Podobne zróżnicowanie grubościowe najbliższych sąsiadów przytacza Pommerening [2002] z 24-letniego drzewostanu daglezjowego założonego sadzeniem oraz z 56-letniego drzewostanu bukowego ze sporadyczną domieszką sosny i dębu. Różnice grubości między najbliższymi sąsiadami najczęściej nie przekraczały 30%. Mason i in. [2007] stwierdzili niewielkie zróżnicowanie grubości między najbliższymi sąsiadami w drzewostanach sosnowych naturalnego i sztucznego pochodzenia w południowej Szkocji. Drüssler i von Lüpke [2004] w badaniach prowadzonych w bukowych lasach naturalnych i gospodarczych porównali m.in. zróżnicowanie przestrzenne pierścni najbliższych sąsiadów. Zarówno na powierzchniach założonych w lasach naturalnych, jak i w lasach gospodarczych zróżnicowanie drzew nie przekraczało 60%, przy czym w przypadku drzewostanów gospodarczych wartości wskaźnika TD były nieco niższe niż w lasach naturalnych.

## Wnioski

- ✦ Sztuczne odnowienie sosny w regularnych więźbach przy uwzględnieniu tylko naturalnego wydzielania się drzew prowadzi do długotrwałego utrzymywania się początkowego typu poziomej organizacji przestrzennej. Równomierne rozmieszczenie drzew panujących we wszystkich badanych drzewostanach pozwala przypuszczać, że ten typ rozmieszczenia sosen utrzyma się jeszcze bardzo długo.
- ✦ Schematyzm odnowienia i duże zagęszczenie wpływają na niewielkie zróżnicowanie przestrzenne pierścni między wszystkimi drzewami w niepielęgnowanych drzewostanach sosnowych. Zmniejszenie zagęszczenia początkowego sprzyja większemu zróżnicowaniu pierścni wśród najbliższych sąsiadów w odniesieniu do wszystkich drzew.
- ✦ Zróżnicowanie pierścni między drzewami w drzewostanie głównym jest zasadniczo tym większe, a w drzewostanie podrzędnym tym mniejsze, im większe było zagęszczenie początkowe.

## Literatura

- Aguirre O., Hui G., von Gadow K., Jimenez J. 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.
- Baiko S. 2010. Typy rozmieszczenia drzew w drzewostanach sosnowych różnego wieku z odnowienia naturalnego. Praca doktorska. Zakład Hodowli Lasu, Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Bailey J. D., Tappeiner J. C. 1998. Effects of thinning on structural development in 40- to 100-year-old Douglas-fir stands in western Oregon. *Forest Ecology and Management* 108: 99-113.
- Bilski M., Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży przerębowej na zróżnicowanie strukturalne drzewostanu. *Sylwan* 149 (4): 21-33.
- Brzeziecki B. 2002. Wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu. *Sylwan* 146 (4): 69-79.
- Brzeziecki B. 2005. Wpływ trzebieży na zróżnicowanie strukturalne drzewostanów sosnowych. *Sylwan* 149 (10): 11-19.

- Ceitel J. 1982. Zmiany mikroklimatu przygruntowej warstwy powietrza oraz morfologii drzew ze wzrostem upraw sosnowych założonych w różnych wieźbach początkowych. Praca doktorska, Katedra Hodowli Lasu, Akademia Rolnicza w Poznaniu.
- Clark P., Evans F. 1954. Distance to the nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35 (4): 444-453.
- Donnelly K. P. 1978. Simulation to determine the variance and edge effect of total nearest-neighbour distances. W: Hodder, I. [red.] *Simulation methods in archeology*. Cambridge Press, London. 91-95.
- Dounavi A., Koutsias N., Ziehe M., Hattemer H. H. 2010. Spatial patterns and genetic structures within beech populations (*Fagus sylvatica* L.) of forked and non-forked individuals. *European Journal of Forest Research* 129: 1191-1202.
- Drössler L., von Lüpke B. 2004. Quantitative description of forest structure in a virgin beech forest and a comparison with managed beech forests. W: Sagheb-Talebi [red.]. *Improvement and silviculture of beech*. Materiały konferencyjne., IUFRO Research Group 1.10.00; 10-20.05.2004, Teheran. 37-46.
- von Gadow K., Hui G. 2002. Characterising forest spatial structure and diversity. W: Bjoerk L. [red.]. *Sustainable forestry in temperate regions*. Materiały konferencyjne IUFRO, Lund. 20-30.
- Gavricov W. L., Stoyan D. 1995. The use of marked point processes in ecological and environmental forest studies. *Environmental and Ecological Statistics* 2: 331-344.
- Hanewinkel M. 2004. Spatial patterns in mixed coniferous even-aged, uneven-aged and conversion stands. *European Journal of Forest Research* 123: 139-156.
- Kenkel N. C. 1988. Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology* 69 (4): 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.
- Kint V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 214: 237-250.
- Lähde E., Laiho O., Norokorpi Y., Saksa T. 1999. Stand structure as the basis of diversity index. *Forest Ecology and Management* 115: 213-220.
- 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.
- Montes F., Canellas I., Del Rio M., Calama R., Montero G. 2004. The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. *Ann. For. Sci.* 61: 771-779.
- von Müller S., Ammer C., Nüsslein S. 2000. Analyses of stand structure as a tool for silvicultural decisions—a case study in a *Quercus petraea-Sorbus torminalis* stand. *Forstw. Cbl.* 119: 32-42.
- Neumann M., Starlinger F. 2001. The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management* 145: 91-106.
- Pielou E. C. 1959. The use of point to plant distances in the study of pattern of plant populations. *Journal of Ecology* 47: 606-613.
- Pittner J., Saniga M. 2008. A change in structural diversity and regeneration processes of spruce virgin forest in Nefcerka NNR (TANAP) in relation to altitude. *Journal of Forest Science* 54 (12): 545-553.
- Pommerening A. 2002. Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 75: 305-324.
- Pommerening A. 2006. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
- Pretzsch H. 1996. The effect of various thinning regimes on spatial stand structure. Conference of effect of environmental factors on tree and stand growth, IUFRO S4.01 Conference. 183-191.
- Rozas V., Zas R., Solla A. 2009. Spatial structure of deciduous forest stands with contrasting human influence in northwest Spain. *European Journal of Forest Research* 128: 273-285.
- Sanchez Meador A. J., Moore M. M., Bakker J. D., Parysow P. F. 2009. 108 years of change in spatial pattern following selective harvest of a *Pinus ponderosa* stand in northern Arizona, USA. *Journal of Vegetation Science* 20: 79-90.
- Sekretenko O. P., Gavricov V. L. 1998. Characterization of the tree spatial distribution in small plots using the pair correlation function. *Forest Ecology and Management* 102 (2-3): 113-120.
- Szmyt J. 2004. Wpływ wieźby początkowej i wieku na kształtowanie się poziomego rozmieszczenia drzew w niepielęgowanych drzewostanach sosnowych, świerkowych i dębowych. Praca doktorska, Katedra Hodowli Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- Szymański S. 1963. Dynamika rozwoju niekierowanych młodników sosnowych. PTPN Poznań, Prace Kom. Nauk Rol. i Leś. 15 (3): 341-404.
- Szymański S. 1964. Przebieg procesu naturalnego wydzielenia się drzew w niepielęgowanych młodnikach sosnowych. *Sylvan* 108 (1): 15-31.
- Szymański S. 2000. *Ekologiczne podstawy hodowli lasu*. PWRiL, Warszawa.

- Szwańgrzyk J. 1991. Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus sylvestris-Fagus sylvatica* forest. *Forest Ecology and Management* 51: 301-315.
- 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.
- Zajączkowski J. 1994. Biogrupy drzew w drzewostanach – możliwości i celowość ich wykorzystania przy prowadzeniu trzebieży. *Prace IBL Seria A (778-782): 5-38.*

## SUMMARY

### Spatial and size diversity of trees in untended pine stands of different initial density

Structural diversity of forest, often described as alpha diversity, should be considered in three aspects: species diversity, horizontal distribution of trees and spatial diversity of tree sizes (DBH, height, crown width). The aim this research was the description of the type of spatial arrangement of trees of different categories and the diameter diversity between nearest neighbors in 34 year old, untreated pine stands of different initial densities (20,833, 10,000 and 2,500 trees./ha). To analyse the spatial arrangement of trees Clark-Evans (CE) index was applied. To examine the spatial diversity of DBH between nearest trees index of size differentiation (TD) was chosen [Kint 2004].

Obtained results allow to state that all living trees considered together were distributed regularly in case of all investigated stands (tab. 1). Observed regularity was more distinct in case of the stand with the lowest initial density. The same type of spatial pattern was seen only for trees classified as dominant ones (II Kraft's class). Trees belonging to other biosocial classes showed random distribution most often. Groups of trees were never observed.

Diameter diversity of nearest neighbors measured by TD index was very low both for All living trees and for trees from particular biosocial class. However, the value of TD in case of all living trees was higher than in case of trees belonging to the respective social class (tab. 2). The nearest neighbors showed the difference in diameter lower than 40%. In case of neighbors belonging to the respective Kraft's classes the diameter differences were clearly lower (not higher than 20%). The lowest diameter differentiation among trees of different Kraft's classes was observed for neighbors from predominant and codominant class (fig. 1, 2).