

BOGDAN BRZEZIECKI

## Wskaźniki zróżnicowania struktury drzewostanu\*

Indices of stand structural diversity

**Abstract.** The rationale and development of the following indices of stand structural diversity are presented: Shannon index, Evenness, Segregation index, Mixture index, Diameter spatial diversity index, Dimension dominance index, Clark and Evans index, Angle measure index. The indices form a part of the BWINPro model (Nagel 1999) which is a useful tool for performing a comprehensive ecological and silvicultural analyses of diversified forest stands.

**Key words:** Angle measure index, BWINPro model, Clark and Evans index, Diameter spatial diversity, Spatial pattern of trees, Stand structural diversity

### Wstęp

**Z**większanie (w rozsądnych granicach) udziału naturalnych procesów sukcesyjnych w kształtowaniu struktury drzewostanów zagospodarowanych jest najprostszą drogą prowadzącą do wzrostu ich wewnętrznego zróżnicowania. Jest to zjawisko pożądane, zarówno z punktu widzenia zachowania stabilności mechanicznej drzewostanu (por. Zajączkowski, 1991), jak i z punktu widzenia tworzenia optymalnych warunków dla zachowania różnorodności biologicznej ekosystemów leśnych (Bernadzki i Brzezicki, 1999).

W celu ilościowego (formalnego) scharakteryzowania stopnia zróżnicowania struktury drzewostanu można wykorzystywać wiele różnych wskaźników. Istnienie takich wskaźników stwarza możliwość obiektywnego porównywania różnych kategorii drzewostanów, umożliwia analizę wpływu zabiegów gospodarczych (np. trzebieży) na zróżnicowanie strukturalne drzewostanu oraz ocenę skutków naturalnych procesów sukcesyjnych zachodzących w trakcie rozwoju drzewostanów. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie kilku najważniejszych wskaźników i parametrów, mogących znaleźć zastosowanie przy kompleksowej ocenie zróżnicowania drzewostanu. Uwzględniono wskaźniki wykorzysta-

\* Praca wykonana w ramach tematu KZL 50603020012 "Kierunki naturalizacji zbiorowisk leśnych zniekształconych i zdegradowanych". Projekt pt. "Podstawy trwałego i zrównoważonego zagospodarowania lasów w leśnych kompleksach promocyjnych", finansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

wane w ramach programu BWINPro (Nagel, 1999; po. także Brzeziecki, 2000). Można je podzielić na trzy zasadnicze grupy. Są to parametry dotyczące: 1) różnorodności gatunkowej drzewostanu, 2) zróżnicowania wymiarowego drzew tworzących drzewostan oraz 3) wzorca przestrzennego rozmieszczenia drzew w drzewostanie.

## Zróżnicowanie gatunkowe

Do najważniejszych i najczęściej stosowanych charakterystyk zróżnicowania drzewostanu należą różnorodność oraz dominacja gatunkowa. Powszechnie stosowaną miarą różnorodności, bazującą na liczebności gatunków występujących w danym drzewostanie, jest wskaźnik różnorodności Shanonna:

$$H' (p_1, p_2, \dots, p_n) = -\sum_{j=1}^n p_j \ln (p_j),$$

gdzie:

- $p_j$  – prawdopodobieństwo, że losowo wybrane drzewo reprezentuje gatunek  $j$ ,
- $n$  – liczba gatunków występujących w drzewostanie.

Stopień zróżnicowania drzewostanów mieszanych zależy od liczby gatunków oraz od tego, jak bardzo wyrównane są udziały ilościowe poszczególnych gatunków. W przypadku analizy zróżnicowania struktury drzewostanu, przy obliczaniu wskaźnika Shannona można wykorzystywać zarówno dane dotyczące liczby drzew, jak i pierśnicowego pola przekroju poszczególnych gatunków.

Obliczając stosunek wskaźnika Shannona ( $H'$ ) do maksymalnego wskaźnika  $H_{max} = \ln(n)$  dla danego drzewostanu, otrzymywanego przy założeniu, że  $p_j = 1/n$ , można porównywać stopień zróżnicowania drzewostanów, różniących się pod względem liczby gatunków drzew. Standaryzowany wskaźnik Shannona określa się jako wskaźnik równomierności i oznacza literą  $E$ .

## Segregacja przestrzenna drzew różnych gatunków

Przedstawione tu miary zróżnicowania drzewostanu (wskaźnik różnorodności i wskaźnik równomierności) nie biorą pod uwagę przestrzennego usytuowania drzew różnych gatunków względem siebie w drzewostanie. Może się więc zdarzyć, że dwa drzewostany o jednakowej wartości wskaźnika Shannona, będą charakteryzować się zupełnie odmienną strukturą, rozumianą jako przestrzenne usytuowanie drzew różnych gatunków względem siebie. Do opisu przestrzennego zmieszania gatunków występujących w drzewostanie wykorzystuje się zaproponowany przez Pielou (Nagel, 1999), indeks segregacji ( $S$ ), opierający się na porównaniu liczby rzeczywiście występujących w drzewostanie par drzew różnych gatunków z wartościami oczekiwanymi takich par. W przypadku drzewostanu złożonego z dwóch gatunków indeks segregacji oblicza się następująco:

$$S = 1 - \frac{N(b+c)}{ms+nr},$$

gdzie:

Najbliższy sąsiad drzewa wyjściowego

		Gatunek 1	Gatunek 2	Suma
Drzewo badane ("wyjściowe")	Gatunek 1	a	b	m
	Gatunek 2	c	d	n
Suma		r	s	N

oraz:

- a, d – liczba par utworzonych przez drzewa tego samego gatunku,
- b, c – liczba par mieszanych (różne gatunki).

Wartości wskaźnika segregacji większe od zera wskazują na przestrzenne rozdzielenie obu gatunków (rzeczywista liczba par mieszanych jest mniejsza od wartości oczekiwanej przy losowym zmieszaniu). W przypadku, gdy oba gatunki przyciągają się wzajemnie, liczba par mieszanych jest większa od wartości oczekiwanej, co powoduje, że wskaźnik segregacji przyjmuje wartości ujemne. W przypadku losowego rozmieszczenia obu gatunków w drzewostanie współczynnik segregacji  $S = 0$ . W celu zbadania, czy obliczone wartości wskaźnika  $S$  w sposób statystycznie istotny odbiegają od 0, należy obliczyć statystykę  $c^2$  (Nagel, 1999).

W przypadku, gdy w drzewostanie występują więcej niż dwa gatunki, wskaźnik segregacji  $S$  informuje o unikaniu lub przyciąganiu przez drzewa danego gatunku drzew wszystkich innych gatunków występujących w danym drzewostanie.

### Stopień (współczynnik) zmieszania drzew różnych gatunków

Obok wskaźnika segregacji  $S$ , użyteczną miarą stopnia zmieszania drzew różnych gatunków występujących w drzewostanie jest wskaźnik zmieszania  $M$ , zaproponowany przez Földnera (1995, za Nagel 1999). Charakterystyka zmieszania  $i$ -tego drzewa bazuje na zbadaniu przynależności gatunkowej  $n$  najbliższych sąsiadów danego drzewa. Wskaźnik zmieszania  $M$  oblicza się według następującego wzoru:

$$M_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_{ij},$$

gdzie:

- $v_{ij} = 0$ , jeżeli  $j$ -ty sąsiad należy do tego samego gatunku, co drzewo  $i$ ,
- $v_{ij} = 1$ , jeżeli  $j$ -ty sąsiad reprezentuje inny gatunek drzewa.

Przy obliczaniu wskaźnika zmieszania dla  $i$ -tego drzewa uwzględnia się trzy najbliższe drzewa ( $n = 3$ ) w sąsiedztwie. Wynika stąd, że wskaźnik zmieszania może przyjąć jedną z czterech wartości: 0; 0,33; 0,67; 1. Wartość maksymalna równa 1 jest otrzymywana wówczas, gdy wszyscy sąsiedzi danego drzewa reprezentują inne gatunki niż to drzewo. Wartość minimalna równa 0 odpowiada sytuacji, w której cała grupa składa się z drzew

jednego gatunku. W celu scharakteryzowania formy zmieszania dla całego drzewostanu wykorzystuje się rozkład częstości wskaźników zmieszania.

## Przestrzenne zróżnicowanie pierśnic

Miarą zróżnicowania grubości drzew, bezpośrednio sąsiadujących ze sobą w drzewostanie, jest parametr, określany mianem przestrzennego zróżnicowania pierśnic (Füldner, 1995, za Nagel 1999). Wzór na obliczanie tego parametru jest następujący:

$$T_i = 1 - r_{ij},$$

gdzie:

$$r_{ij} = d_j / d_i, \text{ jeżeli } d_i \geq d_j,$$

$$r_{ij} = d_i / d_j \text{ w przeciwnym razie.}$$

Parametr  $T_i$  przyjmuje wartości w zakresie od 0 do 1. Im większa jest wartość parametru  $T_i$ , tym większa jest różnica grubości dwóch sąsiadujących ze sobą drzew. W celu scharakteryzowania stopnia zróżnicowania całego drzewostanu pod względem grubości drzew występujących obok siebie wykorzystuje się rozkład wartości parametru  $T_i$ , obliczonych dla wszystkich drzew występujących w drzewostanie.

## Dominacja wymiarowa (pozycja biosocjalna)

Parametr "przestrzenne zróżnicowanie pierśnic"  $T_i$  opisuje stosunek pierśnic dwóch sąsiadujących ze sobą drzew, ale nie mówi nic o tym, które drzewo jest większe. W celu scharakteryzowania pozycji danego drzewa względem jego najbliższego sąsiedztwa można wykorzystać parametr o nazwie "dominacja wymiarowa" (Albert, 1999, za Nagel 1999). Przewagę grubości  $i$ -tego drzewa względem  $n$  najbliższych sąsiadów definiuje się jako różnicę pomiędzy średnią wartością parametru  $T_{Gi}$  obliczoną dla  $i$ -tego drzewa i tych sąsiadów, którzy mają mniejsze pierśnice od danego drzewa, oraz średnią wartością parametru  $T_{Ki}$  obliczoną dla danego drzewa i tych jego sąsiadów, których pierśnice są większe od danego drzewa:

$$DD_i = T_{Gi} - T_{Ki},$$

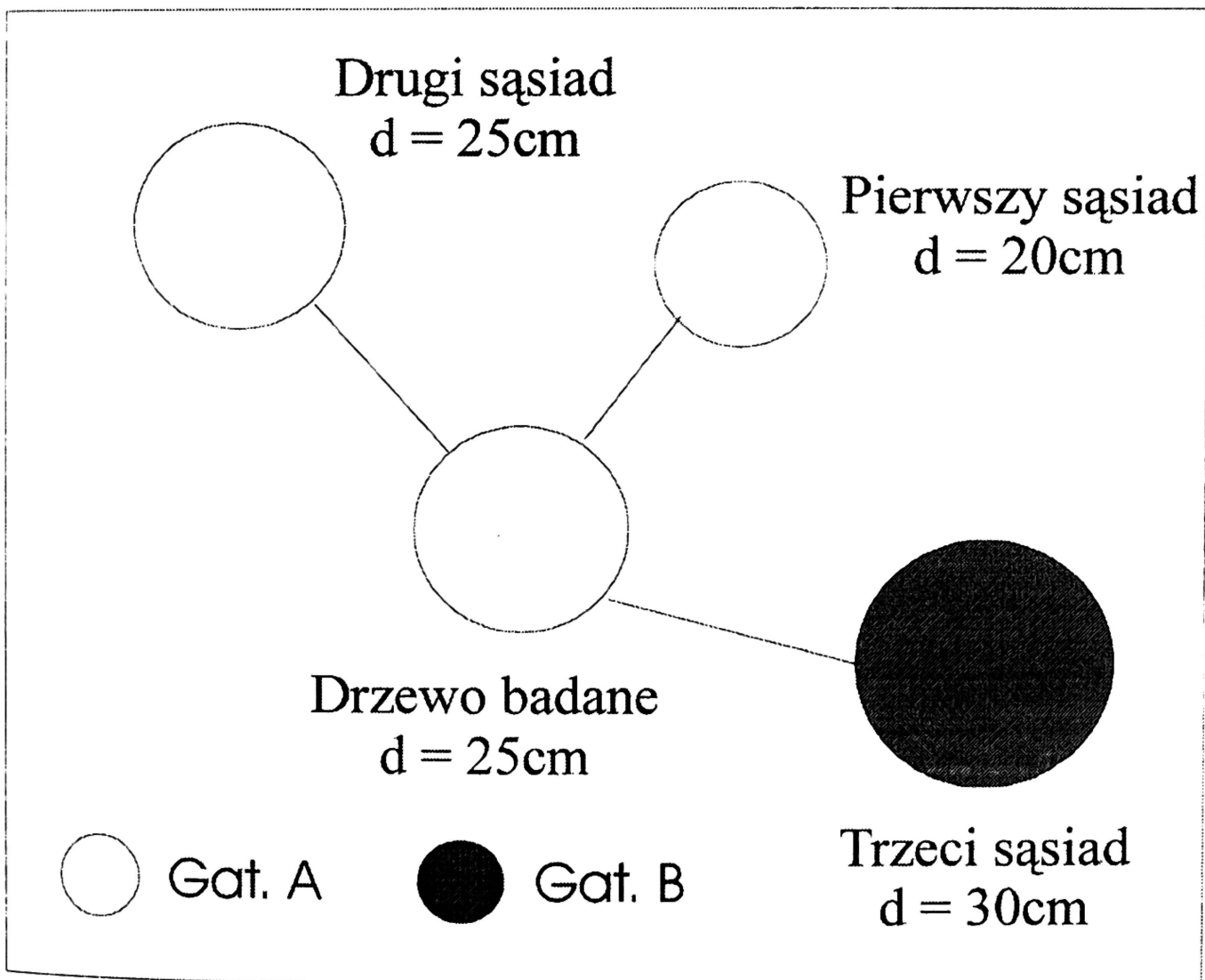
przy czym:

$$\text{jeżeli } d_i \geq d_j, \text{ wówczas } T_{Gi} = 1 - d_j / d_i, \text{ oraz } 0 \leq T_{Gi} \leq 1,$$

$$\text{jeżeli } d_i \leq d_j, \text{ wówczas } T_{Ki} = 1 - d_i / d_j, \text{ oraz } 0 \leq T_{Ki} \leq 1, \text{ a ponadto}$$

$$\bar{T}_{Gi} = \frac{\sum_{k=1}^l T_{Gi}}{l} \text{ i analogicznie } \bar{T}_{Ki} = \frac{\sum_{k=1}^{n-1} T_{Ki}}{(n-l)}$$

Parametr  $DD_i$  przyjmuje wartości w zakresie od  $-1$  do  $1$ . Im większa jest wartość parametru dominacji wymiarowej  $DD$ , tym większa jest przewaga grubości danego drzewa nad jego mniejszymi sąsiadami. Innymi słowy, im bardziej dane drzewo odgrywa w swojej grupie rolę drzewa panującego, tym większa jest wartość parametru  $DD$ . I odwrotnie, ujemne wartości parametru  $DD$  oznaczają, że dane drzewo należy do kategorii opanowanych.



Parametr strukturalny	Przykład obliczeń	Interpretacja dla drzewa i
Wskaźnik zmieszania $M$	$M_i = (0 + 0 + 1) / 3 = 0,33$	Jeden z sąsiadów drzewa i reprezentuje inny gatunek niż to drzewo
Przestrzenne zróżnicowanie pierśnic $T$	$T_{i1} = 1 - 20/25 = 0,2$ $T_{i2} = 1 - 25/25 = 0$ $T_{i3} = 1 - 25/30 = 0,17$	Rozpatrywane drzewo ma pierśnicę grubszą o 20% od sąsiada o numerze 1, jest równe co do grubości względem sąsiada o numerze 2 oraz o 17% cieńsze od sąsiada o numerze 3
Dominacja wymiarowa $DD$	$T_{Gi} = (0,2 + 0) / 2 = 0,1$ $T_{Ki} = (0 + 0,17) / 2 = 0,085$ $DD_i = 0,1 - 0,085 = 0,015$	Pozycja danego drzewa względem jego otoczenia jest obojętna, co wynika ze zrównoważenia wpływu sąsiada 1 oraz 3

RYC. 1. Przykład obliczania wybranych wskaźników zróżnicowania strukturalnego drzewostanu ( $M$ ,  $T$  oraz  $DD$ )

Wartości parametru  $DD$  zbliżone do zera wskazują na wyrównaną pozycję danego drzewa względem najbliższych sąsiadów. Nie wiadomo jednak, czy wartość parametru  $DD$  zbliżona do zera wynika z podobnej wielkości drzew w rozpatrywanej grupie, czy też z wyrównania różnic wielkości pomiędzy mniejszymi i większymi sąsiadami.

Ilustracją zasad obliczania wskaźnika zmieszania  $M$ , przestrzennego zróżnicowania pierśnic  $T$  oraz dominacji wymiarowej  $DD$  jest rycina 1.

Badając rozkład częstości wyżej opisanych parametrów strukturalnych, obliczonych z uwzględnieniem wszystkich drzew występujących w drzewostanie, można stosunkowo dokładnie opisać strukturę drzewostanu.

## Sposób rozmieszczenia drzew w przestrzeni: indeks Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego

Sposób przestrzennego występowania drzew w drzewostanie można opisać za pomocą indeksu Clarka i Evansa (1954, za Nagel 1999). Wyróżnia się trzy podstawowe wzorce przestrzennego rozmieszczenia drzew w drzewostanie: losowy, skupiskowy i równomierny. Idea wskaźnika Clarka i Evansa polega na porównaniu obliczonej średniej odległości od wybranych drzew do ich najbliższych sąsiadów z analogiczną wartością obliczoną przy założeniu losowego rozmieszczenia. Obliczanie wskaźnika Clarka i Evansa w modyfikacji Donnelly'ego można podzielić na kilka etapów (por. także Bolibok 2001).

- Obliczenie średniej odległości empirycznej:

$$\overline{r_A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i,$$

gdzie:

$N$  – liczba drzew,

$r_i$  – odległość od drzewa  $i$  do jego najbliższego sąsiada.

- Obliczenie wartości oczekiwanej średniej odległości przy losowym rozmieszczeniu drzew:

$$\overline{r_E} = \frac{1}{2\sqrt{\rho}},$$

gdzie:

$\rho$  – zagęszczenie drzewostanu (liczba drzew / powierzchnia drzewostanu).

- Obliczenie indeksu Clarka i Evansa:

$$R = \frac{\overline{r_A}}{\overline{r_E}}$$

przy czym:

$R = 1$ , w przypadku pełnej losowości rozmieszczenia;  $R < 1$ , w przypadku tendencji w kierunku skupiskowości;  $R > 1$ , w przypadku tendencji w kierunku równomierności.

- Dokonanie korekty tzw. efektu brzegowego, zaproponowanej przez Donnellyego (Nagel 1999):

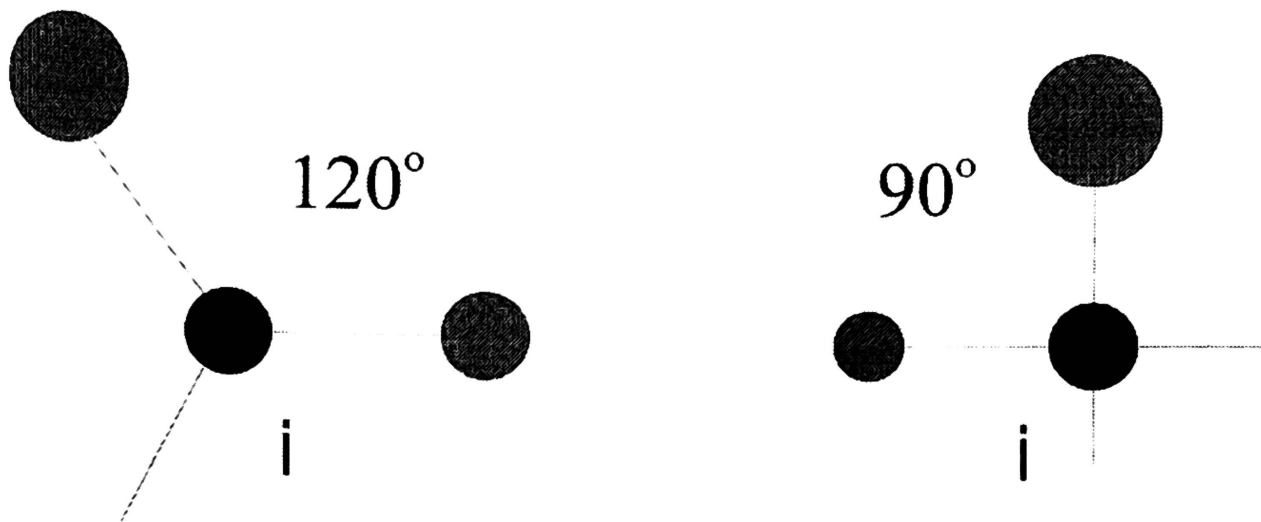
$$E(\overline{r_E}) = 0,5 \sqrt{A/N} + 0,0514 \cdot P/N + 0,041 \cdot P/N^{3/2},$$

gdzie:

- $A$  – wielkość powierzchni próbnej ( $m^2$ ),  
 $N$  – liczba drzew występujących na powierzchni próbnej,  
 $P$  – długość granic powierzchni próbnej (m).

## Sposób rozmieszczenia drzew w przestrzeni: miara kątowa

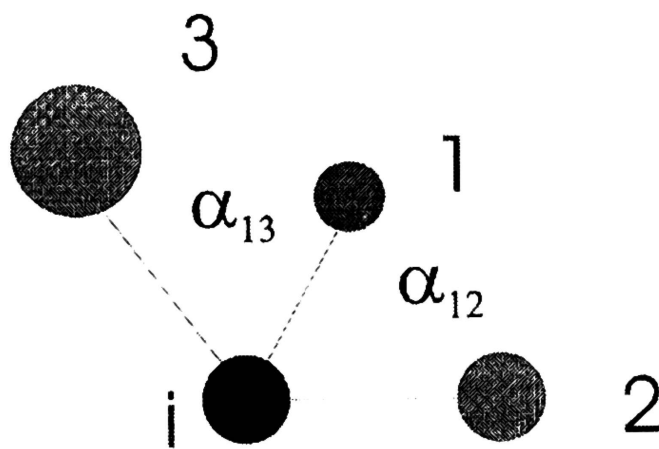
Miara kątowa  $W_i$  (Gadow i in. 1998; Albert 1999; za Nagel 1999) opisuje równomierność rozmieszczenia drzew sąsiadujących z danym drzewem. W przypadku uwzględniania  $n$  najbliższych sąsiadów i równomiernego rozmieszczenia, oczekiwana wartość kąta pomiędzy dwoma znajdującymi się obok siebie sąsiadami danego drzewa wynosi  $360^\circ/n$ . W przypadku trzech sąsiadów, oczekiwana wartość kąta wynosi  $360^\circ/3 = 120^\circ$ , w przypadku czterech sąsiadów  $360^\circ/4 = 90^\circ$ . Kąt ten określa się jako kąt standardowy  $\alpha_0$  ( $\alpha_0 = 360^\circ/n$ ) – rycina 2.



RYC. 2. W przypadku równomiernego rozmieszczenia drzew sąsiadujących z danym drzewem ( $i$ ), oczekiwana wartość kąta pomiędzy dwoma kolejnymi sąsiadami tego drzewa wynosi dokładnie  $360^\circ/n$  (z lewej strony przy uwzględnieniu trzech sąsiadów i z prawej przy uwzględnieniu czterech najbliższych sąsiadów)

Na rycinie 3 przedstawiono przykładowe, hipotetyczne rozmieszczenie trzech najbliższych sąsiadów danego drzewa. Można zauważyć, że pomiędzy dwoma znajdującymi się obok siebie sąsiadami, biorąc dane drzewo za punkt odniesienia, dają się wyróżnić dwa kąty,  $\alpha$  i  $\beta$ , przy czym  $\alpha + \beta = 360^\circ$ . Przy obliczaniu miary kątowej bierze się pod uwagę zawsze wartość mniejszego kąta.

Pomiędzy sąsiadami 1 oraz 3 danego drzewa, przedstawionymi na rycinie 3, występuje kąt, którego wartość można oznaczyć jako  $\alpha_{13}$ , między sąsiadami 1 oraz 2 kąt  $\alpha_{12}$ , oraz między



$$\beta_{23} = 360^\circ - \alpha_{23}$$

RYC. 3. Przykładowe przedstawienie kilku wybranych kątów pomiędzy sąsiadami danego drzewa  $i$ , przy założeniu, że  $n = 3$

sąsiadami 2 oraz 3 kąt  $\alpha_{23}$ . Z tego wynika, że  $\beta_{23} = 360^\circ - \alpha_{23}$ . Miarę kątową definiuje się jako udział tych kątów  $\alpha$ , które są mniejsze, niż teoretyczna wartość standardowa  $\alpha_0$ :

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j,$$

gdzie:

$z_j = 1$ , w przypadku, gdy  $j$ -ty kąt jest mniejszy lub równy kątowi  $\alpha_0$ ,

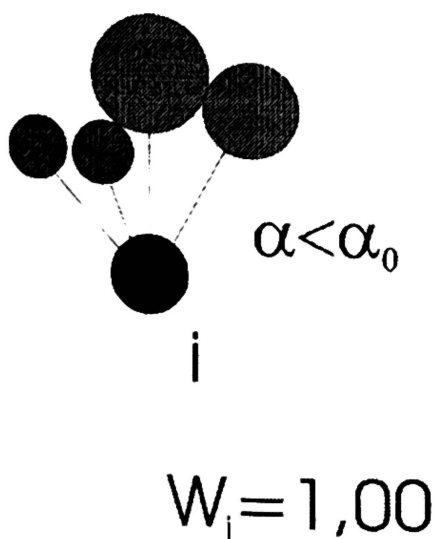
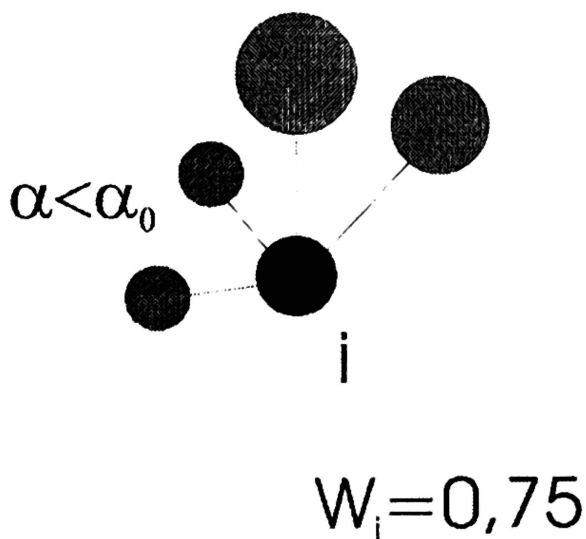
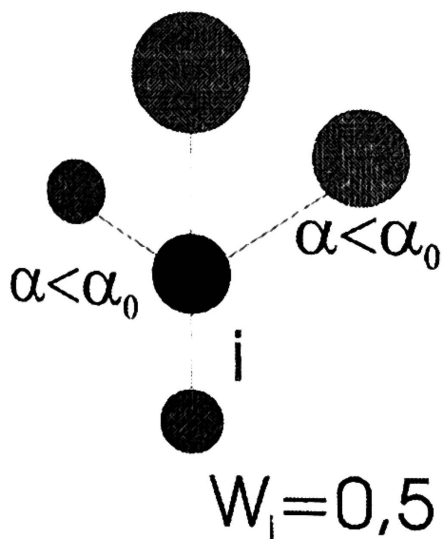
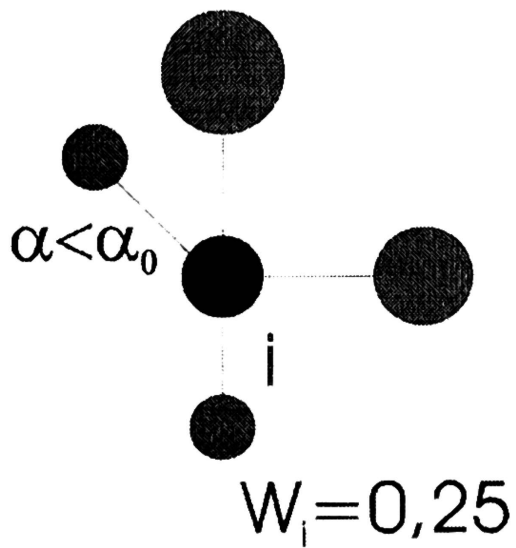
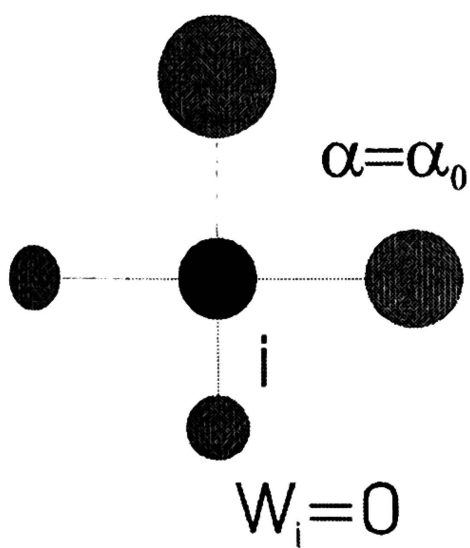
$z_j = 0$ , w przeciwnym wypadku.

Rozkład wartości  $W_i$  dostarcza informacji, użytecznych z punktu widzenia oceny wzorca rozmieszczenia drzew w drzewostanie. Wyniki dają się dobrze interpretować wtedy, gdy bierze się pod uwagę czterech sąsiadów. W przypadku, gdy  $n = 4$ ,  $W_i$  może przyjmować jedną z pięciu wartości:

0	żaden z kątów $\alpha$ nie jest mniejszy niż $\alpha_0$ , innymi słowy wszystkie cztery kąty $\alpha$ równe są $\alpha_0$ (drzewa są rozmieszczone bardzo równomiernie)
0,25	jeden z kątów $\alpha$ jest mniejszy od $\alpha_0$ (drzewa rozmieszczone są równomiernie)
0,50	dwa spośród kątów $\alpha$ są mniejsze od $\alpha_0$ (drzewa rozmieszczone są w sposób przypadkowy)
0,75	trzy spośród kątów $\alpha$ są mniejsze od $\alpha_0$ (drzewa rozmieszczone są w sposób nieregularny, zbliżony do skupiskowego)
1	wszystkie cztery kąty $\alpha$ są mniejsze od $\alpha_0$ (drzewa rozmieszczone są w sposób bardzo nieregularny, skupiskowy)

Przeciętna wartość ( $\bar{W}$ ) miary kątowej może służyć jako podstawa klasyfikacji typów rozmieszczenia drzew:





- 0,00 - żaden z kątów  $\alpha$  nie jest większy od  $\alpha_0$   
(rozmieszczenie bardzo równomierne)
- 0,25 - jeden z kątów  $\alpha$  jest mniejszy niż  $\alpha_0$   
(rozmieszczenie równomierne)
- 0,50 - dwa spośród kątów  $\alpha$  są mniejsze niż  $\alpha_0$   
(rozmieszczenie przypadkowe)
- 0,75 - trzy spośród kątów  $\alpha$  są mniejsze niż  $\alpha_0$   
(rozmieszczenie skupiskowe)
- 1,00 - wszystkie cztery kąty  $\alpha$  są mniejsze niż  $\alpha_0$   
(rozmieszczenie bardzo skupiskowe)

RYC. 4. Przykłady możliwych wartości miary kątowej w przypadku uwzględnienia czterech najbliższych sąsiadów danego drzewa ( $n = 4$ )

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i.$$

Przy obliczaniu parametru  $W_i$  bierze się pod uwagę wszystkie drzewa występujące w drzewostanie, z wyjątkiem drzew zlokalizowanych w pobliżu granic powierzchni próbnej, tworzących tzw. strefę buforową. W przypadku drzewostanów, możliwe jest wystąpienie trzech typów rozkładu wartości  $W_i$ , odpowiadających rozmieszczeniu losowemu, równomiernemu oraz skupiskowemu. Jako wartość graniczną, pozwalającą na oddzielenie rozmieszczenia losowego od rozmieszczenia skupiskowego przyjmuje się wartość  $\bar{W} = 0,6$  (Nagel, 1999). Innymi słowy, jeżeli wartość  $\bar{W} < 0,6$ , to można przyjąć, że rozmieszczenie jest skupiskowe. Jako wartość graniczną, oddzielającą rozmieszczenie losowe od rozmieszczenia równomiernego, przyjmuje się natomiast wartość  $\bar{W} = 0,5$ . Jeżeli  $\bar{W} < 0,5$ , to można przyjąć, że rozmieszczenie jest równomierne (Nagel, 1999).

## Podsumowanie

W pracy przedstawiono zasady konstrukcji kilku wybranych wskaźników, które można wykorzystywać przy kompleksowej ocenie stopnia zróżnicowania struktury drzewostanu. Przedstawione wskaźniki pozwalają m.in. na ilościową ocenę stopnia zróżnicowania składu gatunkowego drzewostanu, formy zmieszania drzew różnych gatunków, sposobu przestrzennego rozmieszczenia drzew w drzewostanie. Biorąc pod uwagę, że obecnie przykładą się bardzo dużą wagę do zagadnienia kształtowania zróżnicowanej struktury drzewostanów, m.in. z wykorzystaniem naturalnych procesów sukcesyjnych, wydaje się, że opisane tutaj wskaźniki mogą znaleźć szerokie zastosowanie w nauce i praktyce leśnej. Przy pomocy tych wskaźników można dokonywać np. analizy porównawczej różnych kategorii drzewostanów, przeprowadzać ocenę wpływu zabiegów pielęgnacyjnych na wybrane parametry struktury drzewostanów, oceniać skutki spontanicznych lub kierowanych procesów renaturalizacyjnych itp. Przykłady takich zastosowań, z wykorzystaniem programu BWINPro (Nagel, 1999), zostaną przedstawione w kolejnych pracach.

## Literatura

1. **Albert M.:** Analyse der eingriffsbedingten Strukturveränderung und Durchforstungsmodellierung in Mischbeständen. 1999. Dissertation Universität Göttingen. Hainholz-Verlag, Band 6: 201 S.
2. **Bernadzki E., Brzeziecki B.:** Wpływ metod odnowienia na różnorodność biologiczną lasów zagospodarowanych w Polsce. W: Rykowski K., Matuszewski G., Lenart E. (red.) Ocena wpływu praktyki leśnej na różnorodność biologiczną w lasach w Europie Środkowej. 1999. IBL. Warszawa. Str. 21-38.
3. **Bolibok L.:** Analiza prawidłowości przestrzennego rozmieszczenia drzew w drzewostanach naturalnych Białowieckiego Parku Narodowego. Praca doktorska w Katedrze Hodowli Lasu SGGW. Warszawa. 2001.
4. **Brzeziecki B.:** Model BWINPro: instrukcja obsługi programu. Maszynopis. KHL. Wydział Leśny SGGW. Warszawa. 2000.
5. **Clark P. J., Evans F. C.:** Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. 1954. Ecology, Vol. 35: 445-453.
6. **Füldner K.:** Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz-Mischwäldern. 1995. Dissertation Universität Göttingen. Cuvillier Verlag. Göttingen. S. 146.

7. **Gadow K. v., Hui G. Y., Albert M.:** Das Winkelmaß – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. 1998. Cbl f.d.ges.Forstw., 115 Jg., Heft 1: 1-10.
8. **Nagel J.:** Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumkundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt. 1999. Band 128, J.D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a.M., Str. 122.
9. **Zajączkowski J.:** Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu. 1991. Wydawnictwo "Świat". Warszawa.

*Katedra Hodowli Lasu  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
02-528 Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30*

## **Summary**

### **Indices of stand structural diversity**

In the paper, the rationale and development of several indices of stand structural diversity are presented. The described indices are part of the model BWINPro (Nagel 1999), which provides a very efficient and ready-to use tool for conducting comprehensive silvicultural and ecological analyses of diversified forest stand. The great advantage of the model is the possibility to analyse and visualize the structure of multispecies uneven-aged tree stands. Among most important indices provided by the model BWINPro are: Shannon index, Evenness, Segregation index, Mixture index, Diameter spatial diversity index, Dimension dominance index, Clark and Evans index, Angle measure index. Designing diversified and complex stand structures is an important goal of a contemporary silviculture, which is increasingly aiming at improving mechanical and ecological stability of forest stands as well as at increasing biodiversity values of forest ecosystems. An array of different indices of stand structural diversity provide a useful tool which can be used, among others, to evaluate the results of such activities and measures.