

**Bogdan Brzeziecki**  
Katedra Botaniki Leśnej  
Wydział Leśny SGGW-AR  
ul. Rakowiecka 26/30  
02-528 Warszawa

## Zastosowanie metody „wzajemnego uśredniania” Hilla do porządkowania danych fitosocjologicznych

The use of Hill's method of "reciprocal  
averaging" for arranging phytosociological  
data

### 1. Wstęp

Celem opracowań fitosocjologicznych określonego obiektu lub obszaru jest na ogół wyróżnienie typów zespołów roślinnych występujących na badanym terenie lub identyfikacja fitocenozy w kategoriach typów zdefiniowanych wcześniej. Nierzadko autorzy takich opracowań usiłują także podać interpretację ekologiczną uzyskanych wyników, która polega na wykazaniu korelacji między wyróżnionymi jednostkami syntaksonomicznymi a warunkami ich występowania w terenie.

Realizacja powyższych celów wymaga odpowiedniego uporządkowania wyjściowej tabeli danych. Sprowadza się ono do ustalenia takiej kolejności zdjęć i gatunków w tabeli, przy której zgrupowania zdjęć podobnych i gatunków o podobnym typie rozmieszczenia dają się łatwo wyodrębnić. Otrzymana kolejność powinna ponadto odzwierciedlać dominujące trendy w zmienności siedlisk zajmowanych przez badane fitocenozy.

Uporządkowanie tabeli danych spełniające te warunki stosunkowo łatwo można uzyskać za pomocą odpowiednich metod statystycznych. W Polsce wykorzystywane są zwykle dwie takie metody: diagram Czekanowskiego oraz dendryt wrocławski, wprowadzone do fitosocjologii odpowiednio przez Kulczyńskiego (1927) oraz Matuszkiewiczą i Polakowską (1955). Zarówno diagram Czekanowskiego, jak i dendryt wrocławski mają już więc długą historię zastosowania w analizie danych fitosocjologicznych. Tym niemniej obie techniki obok niewątpliwych zalet mają także pewne braki (Vasilevič 1969, Grabiński, Wydimus i Zeliaś 1982), z których najważniejsze są wymienione poniżej.

#### 1. W przypadku diagramu Czekanowskiego:

— duża pracochłonność (nawet przy wykorzystaniu maszyny cyfrowej), istotna szczególnie w przypadku materiału zawierającego dużą liczbę obiektów,

— ograniczenie porządkowania tylko do jednego wymiaru, co może prowadzić do nadmiernych zniekształceń rzeczywistych stosunków między obiektami,

— brak kryteriów jednoznaczności i efektywności ostatecznego porządku obiektów w diagramie.

2. W przypadku dendrytu:

— możliwość występowania rozgałęzień, wskutek czego kolejność zdjęć (lub gatunków) w tabeli nie jest wyznaczana jednoznacznie,

— wykorzystanie tylko części współczynników podobieństwa do określania położenia obiektów w systemie dendrytu, co jest związane z utratą informacji, jaką zawierają pozostałe współczynniki.

Braków tych jest pozbawiona, jak się wydaje, metoda „wzajemnego uśredniania”, wprowadzona do fitosocjologii przez Hilla (1973). „Wzajemne uśrednianie” wyróżnia się szczególnie częstymi zastosowaniami w porównaniu z wieloma metodami statystycznymi analizy wielu zmiennych, jakie w ostatnich kilkunastu latach zostały zaproponowane do opracowywania danych fitosocjologicznych. Ponieważ metody te nie spotkały się, jak dotąd, z większym zainteresowaniem ze strony fitosocjologów w Polsce (Kwiatkowska 1980), to również i z tego względu uznano za celowe podjęcie bliższych badań nad metodą „wzajemnego uśredniania” wraz ze sprawdzeniem jej praktycznej stosowalności na własnym materiale florystycznym.

## 2. Podstawowe założenia metodyczne „wzajemnego uśredniania”

Szczegółowy opis podstaw matematyczno-statystycznych metody „wzajemnego uśredniania” (w oryginale: reciprocal averaging, w skrócie RA) zawierają publikacje Hilla (1973, 1974). W celu ilustracji głównych idei metody wykorzystano przykład zamieszczony w Dodatku 2 w pracy Hilla (1973). Jest to prostokątna macierz zero-jedynkowa przedstawiona w lewym górnym rogu tabeli I. Można ją interpretować jako nieuporządkowaną tabelę danych obecności lub braku gatunków na kwadratach próbnym. Wiersze odpowiadają gatunkom, kolumny — kolejnym kwadratami próbnym. Jedynka na przecięciu  $i$ -tego wiersza i  $j$ -tej kolumny oznacza fakt wystąpienia  $i$ -tego gatunku w  $j$ -tym kwadracie, zero — jego brak.

Założmy, że czynnikiem ekologicznym mającym największy wpływ na zróżnicowanie danych z tabeli I jest wilgotność gleby oraz że gatunki dają się podzielić umownie na „ksero-” i „hygrofilne” na podstawie występowania w różnych warunkach wilgotności. Gatunkom „hygrofilnym” można przydzielić wstępnie wskaźnik 100, gatunkom „kserofilnym” wskaźnik 0 (kolumna (1)), a następnie obliczyć wskaźniki dla kwadratów jako średnie arytmetyczne wskaźników gatunków (wiersz (1)). Przy obliczaniu średniej brane są pod uwagę tylko gatunki znajdujące się w danym kwadracie próbnym. Tak więc jeżeli na kwadracie wystąpiły wyłącznie gatun-

Tab. I. Przykład obliczeń metodą „wzajemnego uśredniania” (Hill 1973) (objaśnienia w tekście) (*R*) — liczba wystąpień *i*-tego gatunku na kwadratach próbnym, (*C*) — liczba gatunków w *j*-tym kwadracie próbnym  
 An example of calculations, where the method of „reciprocal averaging” (Hill 1973) is used (see the text for explanations)  
*R* — number of occurrences of *i*-species on sample quadrats, (*C*) — number of species in *j*-sample quadrat

Gatunki Species	Kwadraty Quadrats								(1)	(2)	(2a)	...	(12)	(12a)	
	1	2	3	4	5	6	7	8							
I	1	0	0	1	1	0	0	1	100	52,5	55	...	23,5	5	
II	0	1	1	0	0	1	0	0	0	37,5	0	...	55,9	73	
III	1	1	0	0	0	1	0	0	100	65,0	100	...	68,6	100	
IV	1	1	1	1	1	0	0	1	0	43,3	21	...	33,2	26	
V	1	1	0	1	0	0	0	1	100	56,7	70	...	35,1	30	
VI	1	0	0	0	1	0	0	0	0	46,7	33	...	20,9	0	
(C)	5	4	2	3	3	2	1	4							
(1)	60,0	50,0	0,0	66,7	33,3	50,0	100,0	50,0							
(2)	55,8	47,8	10,5	48,7	36,3	50,0	100,0	36,5							
...	...	...	...	...	...	...	...	...							
(11)	31,8	56,5	48,4	19,7	10,0	86,0	100,0	32,7							
(11a)	24	52	42	11	0	84	100	25							

ki uznane za „hygrofilne” (kwadrat nr 7), to wskaźnik dla niego wyniesie 100, kwadraty zawierające połowę gatunków „hydrofilnych” i połowę „kserofilnych” (kwadraty nr 2, 6 i 8) otrzymają wskaźnik 50 i wreszcie kwadrat zawierający tylko gatunki „kserofilne” uzyska wskaźnik 0 (kwadrat nr 3). Wskaźniki kwadratów po przeskalowaniu tak, żeby zakres ich zmienności wynosił od 0 do 100 (w tym przypadku w pierwszej iteracji nie jest to potrzebne, ponieważ obliczone wartości w wierszu (1) (zmie-

niają się od 0 do 100) są teraz wykorzystywane do otrzymania nowej, ulepszonej w stosunku do wyjściowej, kalibracji gatunków (kolumna (2)). Nowe wskaźniki dla gatunków oblicza się analogicznie, jako średnie arytmetyczne wskaźników tych kwadratów, na których dany gatunek wystąpił. Przykładowo wskaźnik dla pierwszego gatunku (52,5) obliczono jako średnią z czterech liczb (60,0; 66,7; 33,3; 50,0), które są wskaźnikami tych kwadratów, na których zanotowano gatunek pierwszy (1, 4, 5, 8).

Nowy zbiór wskaźników dla gatunków (kolumna (2)) zostaje teraz przeskalowany do zakresu od 0 do 100 (kolumna (2a)). Wartości w kolumnie (2a) powstały według następującego wzoru:

kolumna (2a) =  $100 \cdot (\text{kolumna (2)} - 37,5) : 27,5$ , gdzie 37,5 jest najmniejszą wartością w kolumnie (2), natomiast 27,5 jest różnicą między wartością maksymalną i minimalną (65,0 - 37,5). Cały proces powtarza się od początku tak długo, aż wszystkie wskaźniki przestaną się zmieniać. W tym przykładzie nastąpiło to po 12 cyklach iteracyjnych (kolumny (12) i (12a) oraz wiersze (11) i (11a)).

Opisana procedura prowadzi do takich dwóch zbiorów końcowych wartości wskaźników (gatunków i kwadratów), pomiędzy którymi korelacja (wyrażona współczynnikiem korelacji prostoliniowej) jest maksymalna dla danego układu danych (Orłóci 1975).

Ważną cechą algorytmu RA jest to, że końcowe wartości wskaźników nie zależą od wartości początkowych. Wybór wartości początkowych wpływa jedynie na liczbę cykli iteracyjnych potrzebnych do ustalenia wartości końcowych.

Wartości liczbowe wskaźników gatunków i kwadratów otrzymane tą drogą pozwalają na jednoznaczne wyznaczenie kolejności kwadratów i gatunków w uporządkowanej tabeli danych (tab. II). Porządek kwadratów

Tab. II. Dane z tabeli I uporządkowane metodą „wzajemnego uśredniania” (objaśnienia w tekście)

Data from Table I arranged by the "reciprocal averaging" method (explanations in the text)

$W_g$  — wskaźniki gatunków — species scores,  $W_k$  — wskaźniki kwadratów — quadrat scores

Gatunki Species	Kwadraty Quadrats								$W_g$
	5	4	1	8	3	2	6	7	
VI	1	0	1	0	0	0	0	0	0
I	1	1	1	1	0	0	0	0	5
IV	1	1	1	1	1	1	0	0	26
V	0	1	1	1	0	1	0	0	30
II	0	0	0	1	1	1	1	0	73
III	0	0	1	0	0	1	1	1	100
$W_k$	0	11	24	25	42	52	84	100	

odzwierciedla ich położenie na hipotetycznym gradiencie czynnika wilgotności gleby, a kolejność gatunków wynika ze stopnia ich „hygro-” lub „kserofilności”. W przedstawionym przykładzie skrajne pozycje na gradiencie wilgotności zajmują kwadrat piąty (warunki najsuchsze) i kwadrat siódmy (warunki najwilgotniejsze). Najbardziej „kserofilnym” gatunkiem okazał się gatunek nr VI, najbardziej „hygrofilnym” — gatunek nr III.

Algorytm RA prowadzi zawsze do tego samego zbioru końcowych wartości wskaźników bez względu na wybór wartości początkowych. Niemniej jednak istnieją jeszcze inne rozwiązania spełniające warunek „wzajemnego uśredniania” (Hill 1973), które pozwalają na różne sposoby porządkowania tabeli danych odpowiadające niezależnym kierunkom zmienności. Daje to możliwość porządkowania obiektów w przestrzeni wielowymiarowej (ordynacja wielowymiarowa). W modelu RA zakłada się, że osie tej przestrzeni odpowiadają niezależnym czynnikom środowiska. Jakie to są konkretne czynniki — tego próbuje się dociec poprzez badanie korelacji parametrów siedliskowych z ułożeniem obiektów na osiach porządkowania.

Ostatnio powstała udoskonalona wersja metody RA, tzw. detrended correspondence analysis (DCA) (Hill i Gauch 1980). Jest ona warta polecenia w tych przypadkach, gdy pożądanym jest otrzymanie ordynacji wielowymiarowej obiektów. Porządkowanie obiektów według pierwszej, najbardziej znaczącej osi dokonuje się identycznie obiema metodami, tj. RA i DCA.

Algorytm „wzajemnego uśredniania” można stosować zarówno do danych jakościowych, jak i ilościowych; w tym ostatnim przypadku wskaźniki oblicza się na podstawie liczebności gatunków jako średnie ważone.

Obliczenia metodą „wzajemnego uśredniania” najdogodniej jest przeprowadzić za pomocą maszyny cyfrowej przy użyciu odpowiedniego programu. W tej pracy obliczenia wykonano na podstawie własnego programu napisanego w Fortranie dla następującego algorytmu:

1. Utworzyć macierz  $U$  o wym.  $p \times s$  na podstawie macierzy danych  $A$  o wym.  $p \times s$  według wzoru

$u_{ij} = a_{ij} / \sqrt{(a_{i.} \cdot a_{.j})}$ , gdzie  $p$  — liczba gatunków,  $s$  — liczba kwadratów próbnych,  $a_{i.}$  — suma elementów  $i$ -tego wiersza macierzy  $A$ ,  $i = 1, \dots, p$ ,  $a_{.j}$  — suma elementów  $j$ -tej kolumny macierzy  $A$ ,  $j = 1, \dots, s$ .

2. Utworzyć macierz  $S$  o wym.  $p \times p$  iloczynów skalarnych, określoną jako  $S = UU'$ , w której  $s_{hi} = \sum_j u_{hj} u_{ij}$ , gdzie  $j = 1, \dots, s$ ;  $h = 1, \dots, p$ ;  $i = 1, \dots, p$ .

3. Znaleźć wartości własne  $\lambda_1, \dots, \lambda_t$  i odpowiadające im wektory własne  $X_1, \dots, X_t$  macierzy  $S$ . Elementy wektorów własnych po transformacji  $x_{ij} = x_{ij} / \sqrt{a_{i.}}$ , gdzie  $j = 1, \dots, t$ ;  $i = 1, \dots, p$  stanowią poszukiwane wartości wskaźników gatunków.

4. Obliczyć zbiory wartości wskaźników kwadratów  $Y_1, \dots, Y_t$  według wzoru  $y_{hj} = \sum_i a_{ij} X_{hi} / (\sqrt{\lambda_h} a_{\cdot j})$ , gdzie  $y_{hj}$  — wartość wskaźnika  $j$ -tego kwadratu próbnego obliczona na podstawie  $h$ -tego zbioru wartości wskaźników gatunków (odpowiadającego  $h$ -tej wartości własnej),  $i = 1, \dots, p$ ;  $j = 1, \dots, s$ ;  $h = 1, \dots, t$ .

Wartości własne obliczane są w kolejności od największej do najmniejszej. Pierwsza wartość własna otrzymana według tego algorytmu jest równa 1; odpowiadające jej zbiory wskaźników gatunków i kwadratów nie są brane pod uwagę jako „trywialne” rozwiązanie problemu RA (Hill 1973, 1974). Druga i kolejne wartości własne i odpowiadające im zbiory wskaźników służą do uszeregowania obiektów względem pierwszej i dalszych osi wielowymiarowego porządkowania. Pierwiastek kwadratowy z wartości własnej jest miarą korelacji między zbiorami wartości wskaźników gatunków i kwadratów.

Powyższy algorytm jest bardzo zbliżony do algorytmu, jaki przedstawił Orłóci (1975). Różnica polega na braku standaryzacji danych w pierwszym kroku algorytmu wprowadzonej przez Orłóciego, której uwzględnienie powoduje, że wartości wskaźników gatunków nie spełniają warunku „wzajemnego uśredniania”. Algorytm bez standaryzacji danych jest natomiast zgodny z opisem metody zamieszczonym przez Hilla w Dodatku 1 w pracy: Hill (1973) oraz w pracy: Hill (1974).

Przy pisaniu programu wykorzystano standardową procedurę obliczania wartości i wektorów własnych macierzy z biblioteki komputera Riad znajdującego się w Centrum Obliczeniowym SGGW-AR, gdzie zostały przeprowadzone obliczenia.

### 3. Przykład praktycznego zastosowania metody RA

#### 3.1. Obiekt badań

Do przeprowadzenia przykładowej analizy wykorzystano materiały zebrane w roku 1980 na Wyspie Okrągłej położonej na jeziorze Oświn (ok. 20 km na północny zachód od Węgorzewa). Wyspa ma charakterystyczny kształt stosunkowo regularnego stożka o ściętym wierzchołku wznoszącym się na wysokość 7—8 m nad poziom lustra wody. Linia brzegowa kształtem jest zbliżona do elipsy o długościach osi ok. 100 i 80 m. Niemal całą powierzchnię wyspy pokrywa fitocenoza, którą zidentyfikowano jako łąg wiązowy (*Ficario-Ulmetum campestris* Knapp 1942). W strefie przybrzeżnej fragmentarycznie wykształca się łąg olchowo-jesionowy (*Circaeo-Alnetum* Oberd. 1953). W 120-letnim drzewostanie dominuje *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior* i *Ulmus campestris*, rzadziej występuje *Carpinus betulus*, *Acer platanoides* i *Tilia cordata*. Na obrzeżach wyspy w więk-

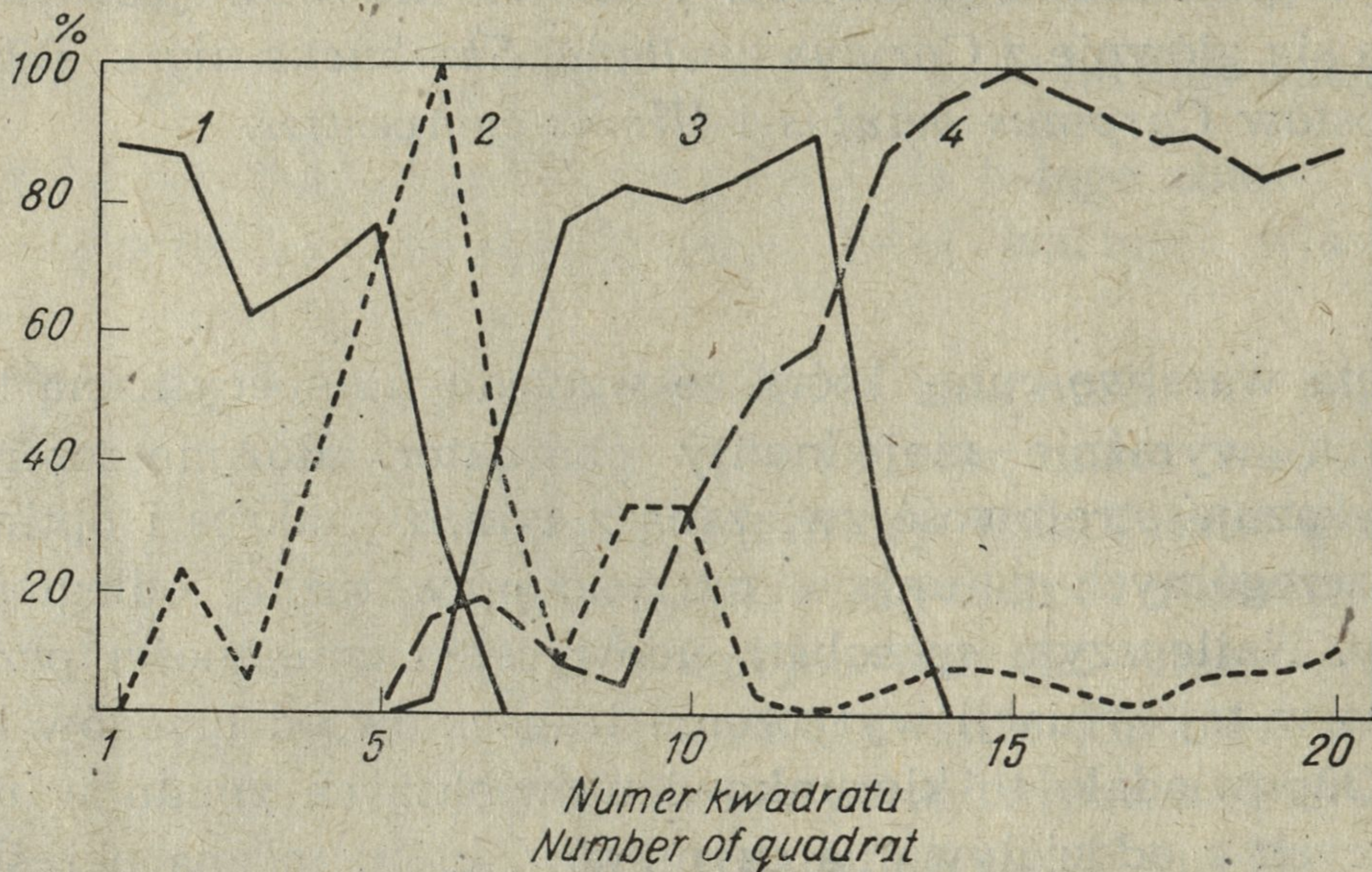
szych ilościach występuje *Alnus glutinosa*. Warstwa krzewów jest słabo rozwinięta i składa się głównie z *Corylus avellana*, *Sambucus nigra*, *Ribes nigrum* oraz podrostów *Carpinus betulus* i *Ulmus campestris*.

### 3.2. Dane

Badaniami objęto warstwę runa, która ze względu na specyficzną topografię wyspy ma wyraźnie niejednolity charakter. Rozmieszczenie gatunków runa wykazuje strefowość związaną z tym, że zakres i optima występowania poszczególnych gatunków przypadają w różnej odległości od brzegów wyspy. Najlepszym sposobem uchwycenia zmienności przestrzennej runa było w tej sytuacji wytyczenie transektów od brzegów ku środkowi wyspy. Odpowiadało to kierunkowi największych zmian w roślinności wynikających z oddziaływania czynników, które można określić umownie jako „odległość od brzegu wyspy” (zmiany wilgotności, warunków retencji wody w glebie, materiału glebowego itp.). Założono cztery transekty odpowiadające czterem rodzajom ekspozycji zboczy: południowej, północnej, wschodniej i zachodniej. Każdy transekt składał się z pewnej liczby przylegających kwadratów próbnych o pow. 4 m<sup>2</sup>. W obliczeniach wykorzystano dane z pierwszych 20 kwadratów z każdego transektu (numerację kwadratów rozpoczynano od brzegu). Odrzucono końcowe kwadraty z transektów wschodniego i zachodniego znajdujące się na płaskim wierzchołku, gdzie zmiany roślinności były bardzo nieznaczne. Podstawowe jednostki badawcze stanowiły kwadraty o powierzchni 4 m<sup>2</sup>, które dzielono na 64 podjednostki (subkwadraty o boku 0,25 m) w celu określenia frekwencji gatunków. Każdy subkwadrat przeglądano notując obecność gatunków, a następnie obliczano frekwencję gatunków na kwadratach próbnych ( $F$ ) jako procentowy udział liczby subkwadratów, w których zanotowano dany gatunek ( $n$ ) w całkowitej liczbie subkwadratów (64);  $F = (n/64) \cdot 100\%$ .

Badania na transektach przeprowadzono wiosną (przełom kwietnia i maja) oraz latem (koniec lipca i początek sierpnia). W obu terminach na wszystkich transektach wystąpiło ogółem 68 gatunków, z których 7 zanotowano tylko na wiosnę (*Ficaria verna*, *Gagea lutea*, *Corydalis solida*, *C. cava*, *Adoxa moschatellina*, *Anemone ranunculoides*, *A. nemorosa*), 36 gatunków pojawiło się dopiero w aspekcie letnim (głównie ze strefy przybrzeżnej), pozostałe wystąpiły wiosną i latem.

Wykresy frekwencji kilku przykładowo wybranych gatunków dominujących na transekcie zachodnim przedstawiono na rysunku 1. Pełna dokumentacja danych znajduje się w pracy Brzezieckiego (1981). Dane obecności lub braku z transektu zachodniego zamieszczone w tabeli III i tabeli IV (po uporządkowaniu metodą RA) można uważać za reprezentatywne dla całego materiału, ponieważ zmienność między transektami była niewielka.



**Rys. 1.** Frekwencja wybranych gatunków roślin na transekcje zachodnim (aspekt letni)

Frequency of chosen plant species in the western transect (summer aspect)

1 — *Carex riparia*, 2 — *Glechoma hederacea*, 3 — *Aegopodium podagraria*, 4 — *Stellaria holostea*

### 3.3. Omówienie wyników

Rezultaty porządkowania kwadratów próbných metodą RA przedstawiono graficznie za pomocą histogramów. Obliczenia wykonano oddzielnie dla każdego transektu na podstawie danych aspektu wiosennego (rys. 2) i aspektu letniego (rys. 3) w dwóch wariantach: dane jakościowe (obecność lub brak — rys. 2A, 3A) oraz dane ilościowe (frekwencja — rys. 2B, 3B).

Literami S, N, E, W oznaczono rodzaje wystawy odpowiadające poszczególnym transektom. Na osi odciętych zaznaczono kwadraty próbne zgodnie z ich kolejnością w transektach. Na osi rzędnych zostały odłożone wartości wskaźników uzyskane w porządkowaniu przez poszczególne kwadraty próbne. Wartości te, jeżeli pominąć drobne nieregularności, układają się w ciągi niemalejące. Jest to wynik, jakiego można było oczekiwać przy założeniu, że kolejność kwadratów w transektach odzwierciedla ich „naturalne uporządkowanie” wg dominującego czynnika zmienności runa — „odległość od brzegu wyspy”. Na wiosnę jego wyraźny wpływ sięga do 7—8 kwadratu, przy czym różnice w wartościach wskaźników kwadratów początkowych są duże, podczas gdy na dalszych kwadratach są bardzo małe. Jedynie histogram transektu północnego odbiega od pozostałych, ale tylko dla danych frekwencji.

W histogramach aspektu letniego przebieg zmian wartości wskaźników jest łagodniejszy, za to wpływ „odległości od brzegu” sięga głębiej, bo do 14—15 kwadratu. Wskazywałoby to na istnienie pewnej dynamiki sezonowej czynnika „odległości od brzegu wyspy”.



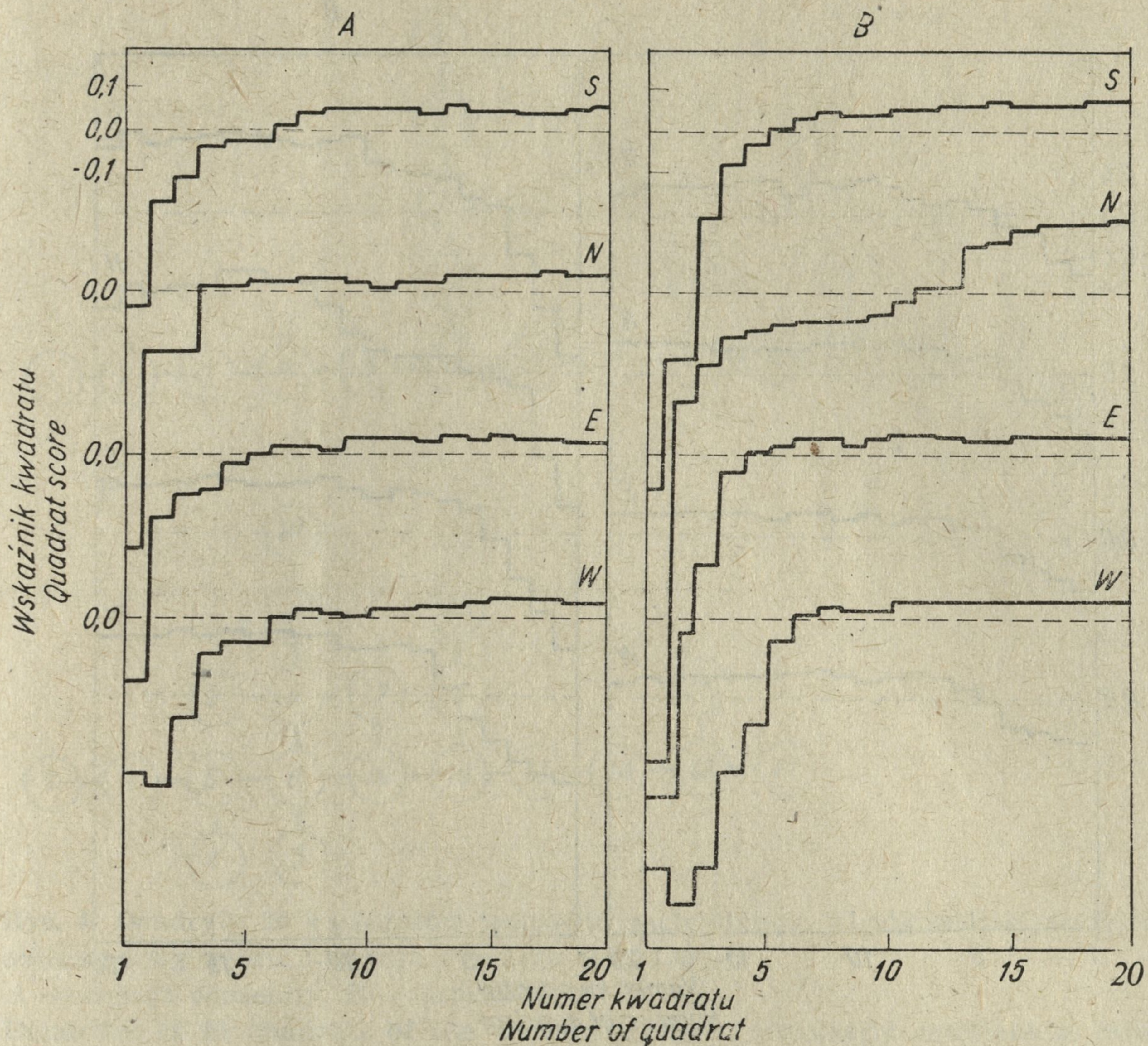
Tab. III. Dane z transektu zachodniego uporządkowane metodą „wzajemnego uśredniania” (aspekt wiosenny)

Data from the western transect arranged by the „reciprocal averaging” method (spring aspect)

Wg — Wskaźniki gatunków — Species scores. Wskaźniki kwadratów — Quadrat scores: 2: -0,410, 1: -0,381, 3: -0,254, 4: -0,091, 5: -0,059, 6: -0,055, 7: 0,004, 10: 0,005, 9: 0,012, 11: 0,015, 8: 0,019, 12: 0,022, 14: 0,033, 13: 0,035, 15: 0,037, 19: 0,041, 20: 0,041, 16: 0,046, 18: 0,047, 17: 0,050

Gatunki Species	Wg	Kwadraty Quadrats																			
		2	1	3	4	5	6	7	10	9	11	8	12	14	13	15	19	20	16	18	17
<i>Scrophularia nodosa</i> L.	-0,324	1		1			1														
<i>Carex riparia</i> Curt.	-0,282	1	1	1	1	1	1														
<i>Urtica dioica</i> L.	-0,117			1	1			1	1												
<i>Agrostis capina</i> L.	-0,075						1														
<i>Ulmus campestris</i> c L.	-0,030			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
<i>Pulmonaria obscura</i> Dum.	-0,007						1	1	1	1		1									
<i>Moehringia trinervia</i> L.	-0,007						1	1	1	1		1									
<i>Glechoma hederacea</i> L.	-0,006				1	1	1	1	1	1	1	1					1	1			
<i>Fraxinus excelsior</i> c L.	0,006								1												
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	0,008						1	1	1	1	1	1	1		1						
<i>Ficaria verna</i> Huds.	0,015				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Corydalis solida</i> Sm.	0,015				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Gagea lutea</i> Ker. — Gaw.	0,024					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Tilia cordata</i> c Mill.	0,025										1										
<i>Adoxa moschatellina</i> L.	0,031						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stellaria holostea</i> L.	0,032						1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Dactylis glomerata</i> L.	0,034						1	1			1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
<i>Anemone ranunculoides</i> I.	0,045							1		1		1			1	1	1	1	1	1	1
<i>Anemone nemorosa</i> L.	0,054													1	1	1			1		1
<i>Corydalis cava</i> Schw. et K.	0,056													1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Poa nemoralis</i> L.	0,060															1	1			1	1





**Rys. 2.** Histogramy wskaźników uporządkowania kwadratów próbnych na podstawie danych aspektu wiosennego

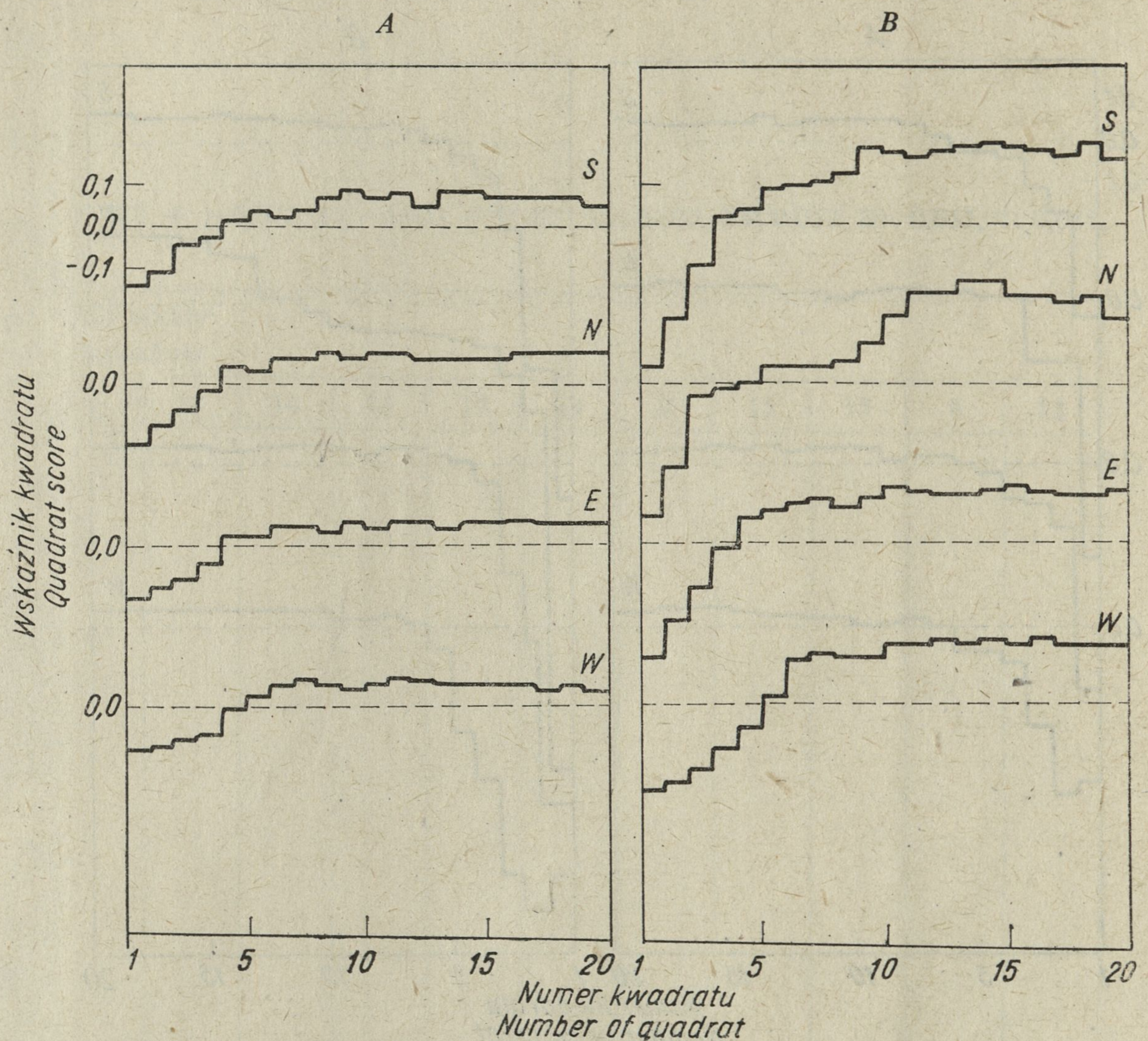
A — dane obecności lub braku, B — dane frekwencji

Histograms of ordination scores of sample quadrats on the basis of data collected in the spring

A — presence-absence data, B — frequency data

Zastosowanie danych obecności lub braku gatunków na kwadratach próbnych spowodowało „spłaszczenie” histogramów, szczególnie widoczne dla aspektu letniego (rys. 3A). Wartości wskaźników kwadratów obliczone na podstawie danych ilościowych są znacznie bardziej zróżnicowane (rys. 3B). Wynika to stąd, że przy stosunkowo niewielkiej zmianie warunków siedliskowych, jak to miało miejsce w tym przypadku, skład gatunkowy powierzchni próbnych zmieniał się powoli, podczas gdy zmiany ilościowości gatunków były z reguły duże. Stąd zastosowanie danych ilościowych wpłynęło na większe zróżnicowanie wartości wskaźników, obliczanych jako średnie ważone frekwencjami gatunków.

W tabelach III i IV zostały przedstawione dane obecności lub braku z transektu zachodniego (aspekt wiosenny i letni) uporządkowane według wskaźników obliczonych metodą „wzajemnego uśredniania”. Wyznaczają one w sposób jednoznaczny kolejność gatunków i kwadratów w tabeli.



**Rys. 3.** Histogramy wskaźników uporządkowania kwadratów próbnych na podstawie danych aspektu letniego

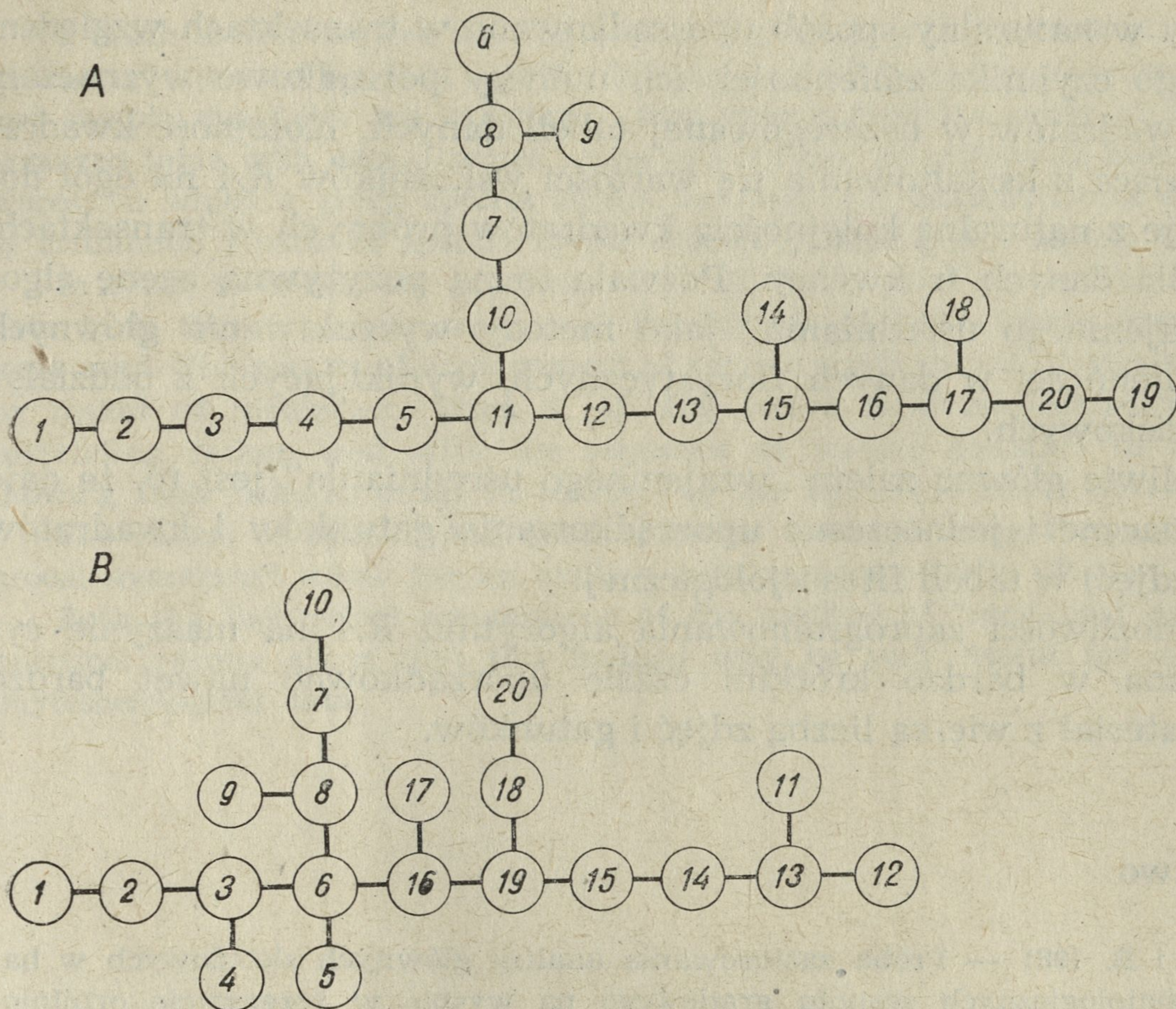
A — dane obecności lub braku, B — dane frekwencji

Histograms of ordination scores of sample quadrats on the basis of data collected in the summer

A — presence-absence data, B — frequency data

W tych przypadkach, gdy wskaźniki są jednakowe, wówczas albo dwa (lub więcej, jak np. *Malachium aquaticum*, *Lythrum salicaria*, *Cicuta virosa* i *Rumex hydrolapathum* w tab. IV) mają takie same rozmieszczenie na kwadratach próbnych, albo dwa (lub więcej) kwadraty mają identyczny lub bardzo zbliżony skład gatunkowy. Skonstruowane na podstawie tych samych danych dendryty nie dają takiej jednoznaczności ze względu na swe rozgałęzienia (rys. 4). Ponadto, aby uporządkować gatunki, należałoby dodatkowo zbudować analogiczne dendryty na podstawie współczynników skojarzenia gatunków.

Dla każdego transektu (w dwóch aspektach) obliczono współczynniki korelacji (jako pierwiastek kwadratowy odpowiedniej wartości własnej) pomiędzy zbiorami wskaźników gatunków i zbiorami wskaźników kwadratów na pierwszej osi porządkowania. Okazały się one stosunkowo wysokie (średnio 0,78), przy czym były przeciętnie wyższe dla aspektu let-



**Rys. 4.** Dendryty 20 kwadratów transektu zachodniego. Współczynniki podobieństwa obliczono wg wzoru Jaccarda  $P = 2c/(a + b) \cdot 100\%$

A — aspekt wiosenny, B — aspekt letni

Dendrites of 20 quadrats of the western transect. Similarity coefficients calculated acc. to Jaccard's equation  $P = 2c/(a + b) \cdot 100\%$

A — spring aspect, B — summer aspect

niego (0,86) niż dla aspektu wiosennego (0,70). Nie było natomiast większych różnic między danymi obecności lub braku i frekwencji (dla wiosny 0,71 i 0,70 oraz dla lata 0,84 i 0,88).

Nie analizowano tu dalszych osi porządkowania, ponieważ ich rozpatrywanie ma sens jedynie wówczas, gdy można dla nich znaleźć interpretację ekologiczną, o co było trudno w tym przypadku z uwagi na brak bardziej szczegółowych danych siedliskowych. Z założenia zmienność roślinności na transektach była uwarunkowana jednym czynnikiem — „odległością od brzegu wyspy”.

#### 4. Wnioski

Do sprawdzenia praktycznej użyteczności metody „wzajemnego uśredniania” wykorzystano dane dotyczące w zasadzie zmienności jednej, konkretnej fitocenozy. Tak więc są może one niezbyt typowe w kontekście podniesionego w tej pracy problemu, dzięki temu jednak, że kwadraty

próbne były w naturalny sposób uporządkowane w transektach względem dominującego czynnika zmienności, ich numery porządkowe wyznaczały kolejność kwadratów w uszeregowanej tabeli danych. Kolejność kwadratów wynikająca z kształtowania się wartości wskaźników *RA* na ogół dobrze koreluje z naturalną kolejnością kwadratów próbnych w transektach, zwłaszcza dla danych frekwencji. Pozwala to na pozytywną ocenę algorytmu „wzajemnego uśredniania” jako metody wyszukiwania głównych trendów zmienności w danych florystycznych, wynikających z oddziaływań środowiskowych.

Niewątpliwie główną zaletą „wzajemnego uśredniania” jest to, że daje ono jednoznaczne i jednoczesne uporządkowanie gatunków i kwadratów próbnych (zdjęć) w tabeli fitosocjologicznej.

Dzięki możliwości zaprogramowania algorytmu *RA* na maszynie cyfrowej można w bardzo krótkim czasie uporządkować nawet bardzo obszerny materiał z wielką liczbą zdjęć i gatunków.

## Piśmiennictwo

- Brzeziecki B. 1981 — Próba zastosowania analizy głównych składowych w badaniach fitosocjologicznych zespołu łąkowego na wyspie w rezerwacie ornitologicznym jeziora Oświn — SGGW-AR, Warszawa, ss. 57 (pr. mag.).
- Grabieński T., Wydymus S., Zeliaś A. 1982 — Metody doboru zmiennych w modelach ekonometrycznych — PWN, Warszawa, ss. 311.
- Hill M. O. 1973 — Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination — *J. Ecol.* 61: 237—249.
- Hill M. O. 1974 — Correspondence analysis: a neglected multivariate method — *Appl. Statist.* 23: 340—354.
- Hill M. O., Gauch M. G. jr 1980 — Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique — *Vegetatio*, 42: 47—58.
- Kulczyński S. 1927 — Pflanzenassoziationen der Pieninen — *Extrait Bull. Acad. pol. Sci. Sér. B, Biol.* 57—203.
- Kwiatkowska A. J. 1980 — Czekać na paradygmat (W: „Czy matematyka jest językiem ekologii?” (dyskusja)) — *Wiad. ekol.* 26: 292—293.
- Matuszkiewicz W., Polakowska M. 1955 — Materiały do fitosocjologicznej systematyki borów mieszanych w Polsce — *Acta Soc. Bot. Pol.* 24: 421—458.
- Orłóci L. 1975 — Multivariate analysis in vegetation research — Dr. W. Junk B. V. Publishers, The Hague, ss. 276.
- Vasilevič V. I. 1969 — Statističeskie metody v geobotanike — Nauka, Leningrad, ss. 231.

## Summary

Two methods of processing phytosociological data are used in Poland: Czekański's diagraphic method and dendrite ordination. The limitations of these methods for arranging phytosociological tables are due to the fact that they are labour consuming, susceptible of various interpretations of data sequences and there are no criteria of ordination efficiency.

A much more effective technique of arranging data is the method of "reciprocal averaging" adopted by Hill (1973). In this method two sets of scores (for species and sample quadrats) are calculated, thus determining the order of objects in an arranged table with data. Species scores are defined as arithmetic means of quadrat scores, on which a given species occurs. Analogously, quadrat scores are calculated as arithmetic means of species scores occurring on a given sample quadrat.

In order to check the practical value of the method of „reciprocal averaging” data from four transects on one of the islands of Lake Oświn near Węgorzewo were used. The results of arrangement of sample quadrats are illustrated graphically by means of histograms (Figs. 2, 3). The scores form non-decreasing sequences, correlating rather well with the sequence of sample quadrats in transects and showing their natural order in relation to the dominant factor of variation.

The values of species and quadrat scores obtained using the method of "reciprocal averaging" allow for an explicit arrangement of data (Tables III, IV).

Both the theoretical assumptions of the method of "reciprocal averaging" and practical results show that this method may be very useful for an analysis of phytosociological data.