

MAŁGORZATA SŁAWSKA, MARCIN SMOLEŃSKI

## Zastosowanie zoindykacji synekologicznej do waloryzacji ekosystemów leśnych

The synecological zoindication as a tool for the assessment of forest ecosystems

### ABSTRACT

This paper gives methodological proposal of natural value valorisation by synecological zoindication. The usefulness of indices based on invertebrate communities in forest ecosystem valorisation was proved. Two groups of invertebrate were chosen for zoindication: *Collembola (Apterygota)* and *Staphylinidae (Coleoptera)*. The following indices were used for description of staphylinid communities:

- the index of community natural quality  $B_c$ ,
- the index of community abundance  $B_{RC}$ ,
- the index of species diversity  $H'$ ,
- the share of relict species  $D_R$ .

Collembolan communities were described using the index of faunal value WF. All this indices were applied to valorisation of the pine forest of Białowieża Primeval Forest. As a result, 17 of studied forest units were classified into the three groups: I – the best preserved pine forests, which can serve as a model for forest management, II – properly managed forests and III – degraded forests with simplified structure of epigeic-soil fauna.

### KEY WORDS

zoindication, indices, communities, *Collembola*, *Staphylinidae*

### Wstęp

Obecnie, w warunkach degradacji środowiska i narastającego zagrożenia żywych zasobów przyrody, coraz większą wagę przywiązuje się do rozsądnego ich użytkowania, świadomego kształtowania i ochrony. Podstawą do racjonalnych działań w tej dziedzinie, obok monitoringu podstawowych elementów środowiska, jest rzetelna waloryzacja zasobów przyrodniczych oraz ocena zaburzeń zachodzących w ekosystemach w wyniku zmian klimatycznych i gospodarczej działalności człowieka. Jedną z metod diagnozy ekologicznej środowiska, oceniającej zarówno zmiany warunków siedliska, jak i stopień natężenia oddziaływań antropogenicznych, jest bioindykacja.

Bioindykacja to metoda diagnozy i oceny warunków środowiska oraz zachodzących w nim zmian za pomocą wskaźników roślinnych (fitoindykacja) lub zwierzęcych (zoindykacja). Wyróżnia się bioindykację autekologiczną, gdy wskaźnikami są pojedyncze organizmy lub poszczególne gatunki, oraz bioindykację synekologiczną, w której wartość wskaźnikową mają

#### MAŁGORZATA SŁAWSKA

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW  
ul. Rakowiecka 26/30  
02-528 Warszawa  
e-mail: les-kolic@delta.sggw.waw.pl

#### MARCIN SMOLEŃSKI

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW  
ul. Rakowiecka 26/30  
02-528 Warszawa  
e-mail: les-kolic@delta.sggw.waw.pl

grupy gatunków lub zbiorowiska traktowane jako całość (Matuszkiewicz 2001). Ponieważ, zarówno w przypadku roślin jak i zwierząt, amplituda ekologiczna (czyli zakres tolerancji) zgrupowań jest z reguły węższa niż poszczególnych gatunków, te właśnie zgrupowania są czulszymi wskaźnikami warunków środowiska.

Historia badań fitoindykacyjnych ma wieloletnią tradycję i dopracowane metody. Tymczasem zoindykacja, mimo pewnych osiągnięć, znajduje się w początkowym okresie rozwoju, w okresie poszukiwania skutecznych zoindykatorów oraz wygodnych w stosowaniu i dobrze interpretujących wskaźników (Szujewski 1998, 2001). Wiele nowych rozwiązań w tej dziedzinie powstało w Katedrze Ochrony Lasu i Ekologii, która od wielu lat zajmuje się zoindykacją ekosystemów leśnych przy użyciu zespołów bezkręgowców (m.in. Mazur i in. 1997, Mazur, Tracz 1999, Sławska 2001, Smoleński 2000, Smoleński i Szujewski 2001, Szujewski 2001).

Przedstawiona praca jest propozycją metodyczną zastosowania zoindykacji do oceny wartości przyrodniczej borów sosnowych świeżych Puszczy Białowieskiej. Waloryzacji poddano bory sosnowe, ponieważ ten typ lasu dominuje w krajobrazie Polski i tym samym obejmuje zdecydowaną większość krajowych zasobów przyrody. Ze względu na naturalny charakter ekosystemów leśnych Puszczy Białowieskiej wynik waloryzacji puszczańskich borów może stanowić punkt odniesienia tj. wzorzec do oceny stanu zachowania zasobów przyrodniczych innych borów Niżu Polskiego.

W celu uzyskania bardziej obiektywnych wyników w zoindykacji posłużono się dwiema różnymi grupami taksonomicznymi *Collembola (Apterygota)* i *Staphylinidae (Coleoptera)*. Obie grupy to drobne bezkręgowce występujące bardzo licznie we wszystkich typach lasu zwłaszcza w środowisku ściółkowo-glebowym, gdzie tworzą bogate w gatunki i bardzo liczne zgrupowania. Ze względu na niewielkie rozmiary ciała, mało spektakularny wygląd i skryty tryb życia żaden reprezentant tych grup nie podlega ochronie gatunkowej.

## Metodyka

Do przetestowania wybranych wskaźników zoindykacyjnych wybrano 17 wydziełów borów sosnowych świeżych nadleśnictw Hajnówka i Browsk oraz rezerwatu ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego. Niejednakowa liczba powierzchni wybranych do waloryzacji z poszczególnych nadleśnictw wynika z różnego udziału siedlisk borowych w różnych częściach puszczy. Wszystkie wybrane do badań bory to dojrzałe, ponad stuletnie drzewostany.

Materiał faunistyczny został zebrany w sezonie wegetacyjnym w roku 1999. Skoczogonki zostały wypłoszone z pobranych wiosną i jesienią prób glebowych, kusakowate odłowiono przy użyciu pułapek Barbera. Dokładne terminy zbioru i liczby zebranych prób zawiera praca pod redakcją Szujewskiego (Sławska 2001, Szujewski 2001).

Do oceny stanu epigeiczno-glebowych zgrupowań *Collembola* waloryzowanych borów zastosowano wskaźnik wartości faunistycznej  $WF$ , natomiast w odniesieniu do zgrupowań *Staphylinidae* zastosowano następujące wskaźniki:

- wskaźnik jakości przyrodniczej zgrupowania  $B_c$ ,
- wskaźnik zasobności zgrupowania  $B_{RC}$ ,
- wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Weavera  $H'$ ,
- udział gatunków reliktowych  $D_R$ .

WSKAŹNIK WARTOŚCI FAUNISTYCZNEJ  $WF$  (Sławska, 2001)

$$WF = \frac{SR + 1}{S} * \log N$$

gdzie:

$SR$  – liczba gatunków rzadkich;

$S$  – liczba gatunków;

$N$  – liczebność zgrupowania.

Wzór opiera się na założeniu, że o wartości przyrodniczej ekosystemu decyduje obecność w zgrupowaniach gatunków rzadkich, które współwystępując razem z gatunkami pospolitymi tworzą cenozy bogatsze, bardziej zróżnicowane i funkcjonalnie sprawniejsze w porównaniu z układami uproszczonymi takimi, jak ekosystemy użytkowane gospodarczo np. monokultury sosnowe. Wzór składa się z dwóch czynników, z których pierwszy to udział gatunków rzadkich w składzie gatunkowym zgrupowania, a drugi to logarytm dziesiętny liczebności tego zgrupowania. Aby uniknąć wartości zero w liczniku do liczby gatunków rzadkich  $SR$  dodano wartość 1 dzięki czemu wzór można stosować również do zgrupowań, w których nie wystąpił ani jeden rzadki gatunek. Liczebność zgrupowań  $N$  została włączona do wzoru w postaci logarytmu aby wahania liczebności populacji gatunków w zgrupowaniach, wpływające na ogólną liczebność zgrupowań nie miały decydującego wpływu na wartość wskaźnika. Z drugiej strony uwzględnienie we wzorze zlogarytmizowanej liczebności pozwala zgrupowaniom liczącym bardzo wiele osobników uzyskać większą wartość wskaźnika  $WF$ . Za rzadkie ( $SR$ ) uznano gatunki, które można zaliczyć do jednej z następujących pięciu kategorii:

BA – element borealno-górski,

P – element północny (do którego zaliczono gatunki arktyczne i borealne),

G – element górski,

U – gatunki unikalne o niesprecyzowanym jeszcze zasięgu, znane z niewielu stanowisk, czasem tylko *locus typicus*,

Z – gatunki zanikające czyli stenobionty coraz radsze z powodu drastycznego zmniejszania się powierzchni ich habitatów np. gatunki torfowiskowe.

WSKAŹNIK JAKOŚCI PRZYRODNICZEJ ZGRUPOWANIA  $B_c$  (Smoleński 2000)

$$B_c = \sqrt[4]{J' N_c D_k D_E}$$

gdzie:

$J'$  – wskaźnik równomierności;

$N_c$  – wskaźnik stabilności zgrupowania;

$D_k$  – udział [%] w strukturze dominacyjnej zgrupowania gatunków charakteryzujących dostępność pokarmu w środowisku;

$D_E$  – udział [%] w strukturze dominacyjnej zgrupowania gatunków charakteryzujących wartość ekosystemu dla zachowania form lokalnych.

WSKAŹNIK RÓWNOMIERNOŚCI PIELOU  $J'$  (Pielou 1969)

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

gdzie:

$H'$  – wskaźnik ogólnej różnorodności gatunkowej

$S$  – liczba gatunków w zgrupowaniu.

WSKAŹNIK STABILNOŚCI  $N_c$  (Smoleński 2000)

$$N_c = \frac{F_{32} \log F_3}{f' \log(F_{10} + 1,1)}$$

gdzie:

- $F$  – procentowy udział liczebności w strukturze dominacyjnej zgrupowania;
- $F_3$  – gatunków charakterystycznych wyłącznych,
- $F_{32}$  – łącznie gatunków charakterystycznych (wyłącznych + wybierających),
- $F_{10}$  – łącznie gatunków towarzyszących i obcych,
- $f'$  – współczynnik właściwy dla danego zgrupowania w danym typie ekosystemu

Wskaźnik jakości przyrodniczej operuje czterema cechami:

- wykorzystaniem potencjalnej reprezentacji nisz ekologicznych; oceny dokonano za pomocą wskaźnika równomierności Pielou  $J'$ ,
- stabilnością; oceny dokonano za pomocą wskaźnika stabilności zgrupowania  $N_c$ ,
- dostępnością pokarmu; do oceny wykorzystano udział gatunków detritofilnych  $D_k$ , charakteryzujący stopień dostępności stezuryzowanej materii organicznej oraz złożoność sieci troficznych w ekosystemie,
- reprezentatywnością form lokalnych; do oceny wykorzystano udział gatunków o zasięgu ograniczonym do jednego regionu zoogeograficznego – europejskiego  $D_E$ , który w pełni charakteryzuje wartość ekosystemu dla zachowania form lokalnych.

Im większa wartość wskaźnika jakości przyrodniczej  $B_c$  tym zgrupowanie bogatsze gatunkowo, bardziej dojrzałe i stabilne, w większym stopniu zawierające cenne formy lokalne oraz funkcjonujące w warunkach obfitości dostępnego pokarmu (Smoleński, Szujewski 2001).

WSKAŹNIK RÓŻNORODNOŚCI GATUNKOWEJ SHANNONA WEAVERA  $H'$  (Pielou 1969)

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

gdzie:

- $P_i$  – stosunek liczby ( $n_i$ ) osobników i-tego gatunku do liczby ( $N$ ) osobników całego zgrupowania złożonego z ( $S$ ) gatunków.

Z proponowanych w literaturze charakterystyk wskaźnik [ $H'$ ] jest najbardziej popularny i uniwersalnie stosowany do oceny różnorodności gatunkowej zarówno przez botaników jak i zoologów a jednocześnie najmniej wrażliwy na wielkość próby.

Idea wskaźnika wywodzi się z teorii informacji. Jest miarą prawdopodobieństwa losowego trafienia konkretnego elementu (osobnika) zgrupowania, który przynależy do danego gatunku. Wartość liczbowa wskaźnika zależy w takim samym stopniu od równomierności rozłożenia osobników pomiędzy gatunkami (równomierność) oraz od liczby gatunków w zgrupowaniu (bogactwo gatunkowe). Im większa jest wartość wskaźnika, tym większa nasza niepewność trafienia osobnika z danego gatunku, czyli tym większa różnorodność gatunkowa zgrupowania.

WSKAŹNIK ZASOBNOŚCI ZGRUPOWANIA  $B_{RC}$  (Smoleński, 2001)

$$B_{RC} = \sum_{i=1}^S B_{RP_i} = \sum_{i=1}^S n_i B_{RS_i} = \sum_{i=1}^S n_i T_{BS_i} \left( \frac{I_i}{I_{Pd}} \right)^3$$

gdzie:

$B_{RPI}$  – wskaźnik pojemności populacji obliczony dla  $i$ -tego gatunku;

$B_{RPI} = n_i B_{RSi}$ ;

$n_i$  – liczba osobników  $i$ -tego gatunku;

$B_{RSi}$  – współczynnik przeliczeniowy przeciętnej objętości ciała osobnika  $i$ -tego gatunku;

$B_{RSi} = T_{BSi} L_{RBI}^3$ ;

$T_{BSi}$  – współczynnik kształtu ciała charakterystyczny dla  $i$ -tego gatunku;

$L_{RBI}$  – przeliczeniowa długość ciała osobnika  $i$ -tego gatunku;

$$L_{RBI} = \frac{l_i}{l_{pd}}$$

$l_i$  – średnia długość ciała osobnika  $i$ -tego gatunku;

$l_{pd}$  – średnia długość ciała osobnika gatunku standardowego.

Dla *Staphylinidae* gatunkiem standardowym jest *Philonthus decorus* (Gravenhorst, 1802), którego przeciętna długość ciała wynosi 12,0 mm.

Wskaźnik  $B_{RC}$  stosuje się w badaniach porównawczych, do prostej klasyfikacji analizowanych ekosystemów pod względem zasobności ich siedlisk. W środowiskach naturalnych i żyźniejszych wartości  $B_{RC}$  są dużo większe niż w środowiskach antropogenicznych i uboższych. Duża czułość wskaźnika  $B_{RC}$  uniemożliwia traktowanie go w sposób charakterystyczny dla wartości bezwzględnych. Wskaźnik operuje abstrakcyjnymi jednostkami nie posiadającymi własnego miana (w odróżnieniu chociażby od biomasy przedstawianej w gramach). Powinien być zawsze odnośny do określonej jednostki przestrzenno-czasowej (Smoleński, Szujewski 2001).

UDZIAŁ GATUNKÓW RELIKTOWYCH  $D_R$ . Wskaźnikiem jest procentowy udział w zgrupowaniu gatunków leśnych i higrofilnych, będących relikdami lasów pierwotnych. Gatunki te w zasadzie nie występują w lasach gospodarczych.

## Wyniki

W tabeli zestawiono wartości wskaźników obliczonych dla 17 wydzieli borów świeżych nadleśnictw Hajnówka i Browsk oraz rezerwatu ścisłego Białowieskiego Parku Narodowego.

Dla uzyskania syntetycznej oceny waloryzowanych wydzieli otrzymane wyniki zestawiono graficznie w sposób następujący:

- na osi X odłożone zostały wartości wskaźnika wartości faunistycznej  $WF$  obliczonego dla zgrupowań *Collembola*,
- na osi Y ilość punktów reprezentującą wartości wskaźników ( $B_C$ ;  $B_{RC}$ ;  $H$ ;  $D_R$ ) obliczonych dla zgrupowań *Staphylinidae*.

Wykonana przy użyciu programu Statistica analiza rozrzutu obu charakterystyk wykazała istotną statystycznie korelację między nimi ( $y=35,2+3,5 x$ ).

Na podstawie wykresu rozrzutu, po wyeliminowaniu trzech powierzchni (6H, 8B i 9B) wyraźnie odbiegających od pozostałych, wyróżniono 3 grupy borów (rycina).

GRUPA I, obejmująca powierzchnie znajdujące się w górnym prawym rogu wykresu. Należy zauważyć, że grupa ta składa się zaledwie z trzech wydzieli, w których zarówno dla zgrupowań *Collembola* jak i *Staphylinidae* wartości użytych wskaźników są największe. Na tej podstawie można stwierdzić, że bory te mają najlepiej, spośród wszystkich badanych, zachowaną faunę. Wartości wskaźników świadczą o bogatych w gatunki, zróżnicowanych i stabilnych zgrupowaniach a wytypowane ekosystemy borowe można uznać za sprawnie funkcjonujące układy ekolo-

Tabela

Wartości wskaźników dla zgrupowań *Collembola* i *Staphylinidae* w poszczególnych wydzieleniach borów sosnowych Nadleśnictw Hajnówka i Browsk oraz Białowieckiego Parku Narodowego

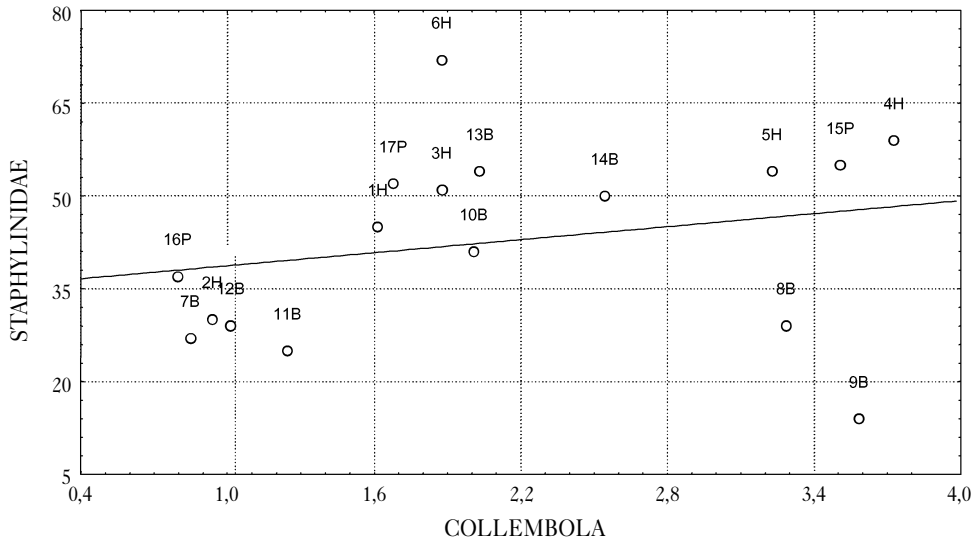
Index values for the *Collembola* and *Staphylinidae* in pine stands in the Hajnówka and Browsk Forest Districts and in the Białowieża National Park

Nadleśnictwo	Hajnówka						Browsk		
Wydzielenie	519 Bb	539 Cc	669 Ad	329 Bc	356 Dn	666 Df	2 Cj	84 Bb	84 Dc
nr powierzchni	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7B	8B	9B
WF	1,6	0,9	1,9	3,7	3,2	1,9	0,8	3,3	3,6
Bc	4,93	7,97	8,36	8,09	6,70	7,28	5,44	5,68	5,79
BRC	126,45	31,08	84,73	464,64	77,5	316,17	77,24	84,21	28,77
H	4,12	3,68	3,69	3,09	4,80	4,13	3,95	3,87	3,20
DR	1,28	0	0,73	1,77	1,15	1,82	0	0	0
Suma pkt. dla Staphylinidae	45	30	51	59	54	72	27	29	14

Nadleśnictwo	Browsk					Białowiecki Park Narodowy		
Wydzielenie	742 Db	740 Cp	740 Bj	9 Df	44 Ab	256 B	319 Ab	318 A
nr powierzchni	10B	11B	12B	13B	14B	15P	16P	17P
WF	2,0	1,2	1,0	2,0	2,5	3,5	0,8	1,7
Bc	5,60	5,85	5,37	4,81	6,99	7,30	7,21	5,93
BRC	6,33	13,92	5,86	129,63	66,69	80,07	182,88	44,67
H	3,88	3,92	3,84	3,26	3,98	4,30	3,36	4,06
DR	3,81	0	1,3	1,58	1,45	0,35	0	1,98
Suma pkt. dla Staphylinidae	41	25	29	54	50	55	37	52

Wykres rozrzutu  
 $y=1,408+0,016*x+eps$



Ryc.

Synteza zoindykacyjna waloryzowanych borów w oparciu o wartości wskaźników obliczonych dla zgrupowań *Collembola* i *Staphylinidae*

Zoindication synthesis for coniferous forests under assessment based on index values calculated for the *Collembola* and *Staphylinidae* assemblages

giczne. Jako takie mogą stanowić wzorzec dla gospodarki leśnej przy podejmowaniu decyzji z zakresu hodowli i użytkowania lasu.

GRUPA II, obejmuje sześć wydzielei położonych w środku wykresu. Charakteryzują się one przeciętnymi wartościami wskaźników zoindykacyjnych. Można przyjąć, że są to ekosystemy borowe, w których gospodarka leśna nie prowadzi do zubożenia zasobów przyrodniczych ekosystemu, czyli są prawidłowo zagospodarowane.

GRUPA III, położona najbliżej początku obu osi, obejmuje 5 powierzchni dla których wartości wszystkich wskaźników są najmniejsze. Grupa ta reprezentuje bory o uproszczonej strukturze faunistycznej. Przyczyną nadmiernie uproszczonej struktury ekosystemu może być zarówno wadliwa gospodarka leśna jak i inne oddziaływania antropogeniczne takie jak wypas bydła, grabienie ściółki, presja turystyczna, czy też zjawiska katastrofalne takie jak pożary, wiatrołomy lub gradacje szkodliwych owadów.

## Wnioski

1. Zgrupowania *Collembola* i *Staphylinidae* są dobrymi zoindykatorami środowiska.
2. Wskaźniki zoindykacyjne skonstruowane na podstawie składu i struktury epigeiczno-glebowych zgrupowań *Collembola* i *Staphylinidae* mają wysoką wartość waloryzacyjną. Na ich podstawie można wnioskować o aktualnym stanie zasiedlonego przez nie ekosystemu.
3. W wyniku waloryzacji sporządzono ranking kilkunastu borowych wydzielei Puszczy Białowieskiej. Wytypowano trzy kategorie wartości przyrodniczej: bory wzorcowe dla gospodarki leśnej (grupa I), bory prawidłowo zagospodarowane (grupa II) i przekształcone antropogenicznie bory o uproszczonej strukturze ekosystemu (grupa III).

## Literatura

- Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Mazur S., Skłodowski J., Wojciechowska A. 1997. VII Sympozjum ochrony ekosystemów leśnych. Waloryzacja ekosystemów leśnych metodami zoindykacyjnymi. Jedlnia 2-3 grudnia 1996, Warszawa.
- Mazur S., Tracz H. 1999. Zmiany w strukturze i różnorodności fauny borów sosnowych świeżych na terenach Puszczy Czuchowskiej w ciągu ostatnich 20 lat. Warszawa.
- Pielou E. C. 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York.
- Sławska M. 2001. Waloryzacja lasów Puszczy Białowieskiej metodą zoindykacji na podstawie epigeiczno-glebowych zgrupowań *Collembola*. W: Szujewski A. [red.], Próba szacunkowej waloryzacji lasów Puszczy Białowieskiej metodą zoindykacyjną, 35-71. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Smoleński M. 2000. Model naturalnego, epigeicznego zgrupowania kusakowatych (*Coleoptera: Staphylinidae*) w zastosowaniu do oceny wartości przyrodniczej borów bażynowych. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- Smoleński M., Szujewski A. 2001. Waloryzacja lasów Puszczy Białowieskiej na podstawie struktury zgrupowań *Staphylinidae* (*Coleoptera*). W: Szujewski A. [red.], Próba szacunkowej waloryzacji lasów Puszczy Białowieskiej metodą zoindykacyjną, 105-176. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Szujewski A. 1998. Przegląd osiągnięć ekologii owadów lądowych w Polsce. Wiad. Entom. 17: 76-136.
- Szujewski A. 2001. Podstawy metodyczne szacunkowej waloryzacji lasów Puszczy Białowieskiej metodą zoindykacyjną. W: Szujewski A. [red.], Próba szacunkowej waloryzacji lasów Puszczy Białowieskiej metodą zoindykacyjną, 7-31. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.

## SUMMARY

The synecological zoindication as a tool for the assessment of forest ecosystems

One of the most substantial tasks of the faunistical study is the assessment of the site's natural quality. The valorisation of the natural environment with the methods of zoindication is aimed

at the assessment of natural quality of the environment, direction and dynamics of the natural processes as well as direction, dynamics and degree of anthropogenic deformation of the environment.

This paper gives methodological proposal of natural value valorisation by synecological zooindeication. The usefulness of indices based on invertebrate communities in forest ecosystem valorisation was proved. Two groups of invertebrate were chosen for zooindeication: *Collembola (Apterygota)* and *Staphylinidae (Coleoptera)*.

The following indices were used for description of staphylinid communities:

- the index of community natural quality  $B_c$ ;
- the index of community abundance  $B_{RC}$ ;
- the index of species diversity  $H'$ ;
- the share of relict species  $D_R$ .

Collembolan communities were described using the index of faunal value  $WF$ .

All this indices were applied to valorisation of the pine forest of Białowieża Primeval Forest.

As a result, 17 of studied forest units were classified into the three groups:

- I – the best preserved pine forests, which can serve as a model for forest management,
- II – properly managed forests,
- III – degraded forests with simplified structure of epigeic-soil fauna.