

PRZEMYSŁAW TROJAN

Prognoza zmian różnorodności fauny bezkręgowej lasów Polski dla dwóch scenariuszy zmian klimatycznych*

An Attempt to Forecast the Changes of Invertebrate Fauna Diversity
in Polish Forests for Two Scenarios of Climatic Changes

Dyskusja nad globalnymi zmianami klimatu

Współczesna dyskusja nad zmianami klimatu Ziemi obejmuje szeroki wachlarz zagadnień. Dla prognoz różnorodności fauny mają znaczenie:

- przewidywany wzrost temperatury globalnej Ziemi o ponad 1°C już w 2010 roku, jako wynik emisji dwutlenku węgla oraz metanu;
- Wyjaśnienie cykliczności ochłódzeń i ociepleń klimatu czwartorzędu na podstawie hipotezy termohalinowego obiegu wody w oceanach;
- pochodne ocieplenia klimatu zmiany poziomu wód oceanów i przebiegu linii brzegowych, zmiany zasięgu i grubości lodowców oraz zmiany położenia stref przyrodniczych Ziemi w czwartorzędzie;
- ocena wpływu zmiany warunków życia na rośliny (3), a szczególnie na lasy (18) i różnorodność zgrupowań zwierząt (13).

Badaniom prognostycznym towarzyszy ostra krytyka zarówno założeń, koncepcji a niekiedy również materiału faktycznego. Powoduje to znaczną niepewność przy określaniu mechanizmów, trendów i skutków zmian klimatu (17), stawia też biologa wobec trudnego wyboru wariantu zmiany klimatu.

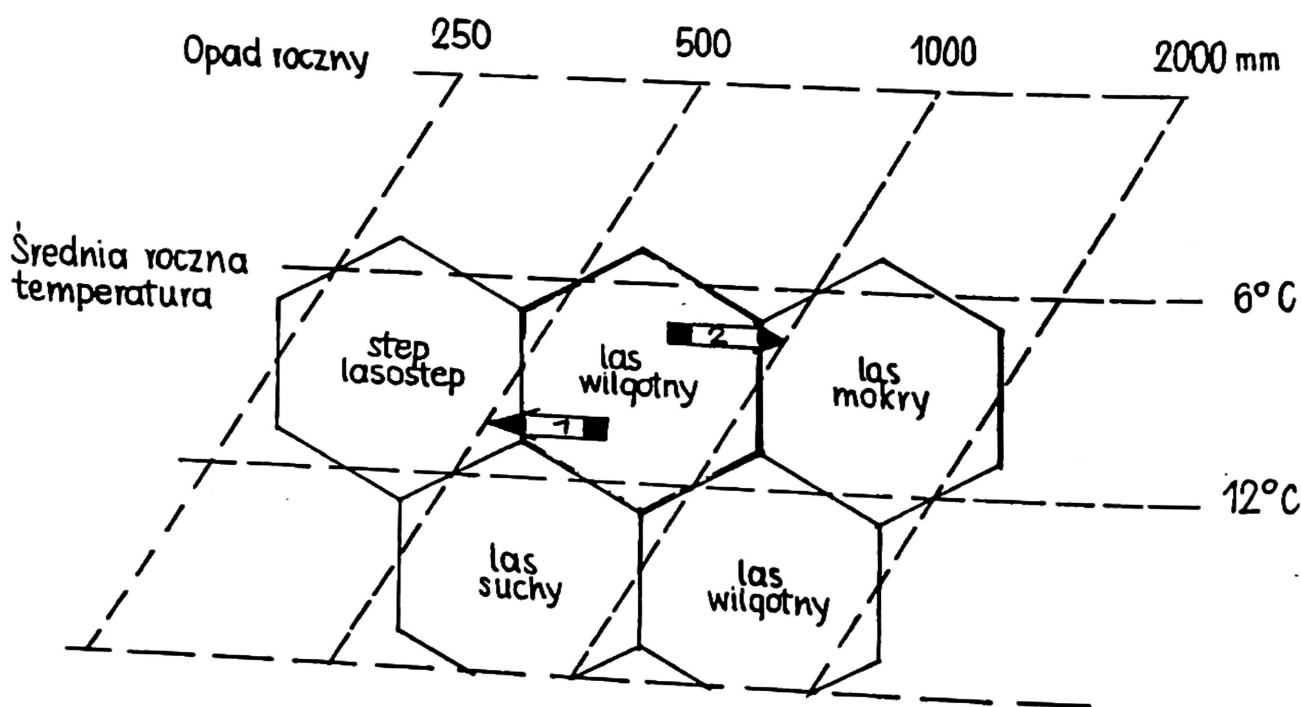
*Referat wygłoszony na seminarium pt. "Ekosystemy leśne w obliczu globalnych zmian klimatu", Białowieża, grudzień 1993 r.

Scenariusze zmian klimatu Polski

Określenie kierunku zmian klimatu Polski jest zadaniem szczególnie trudnym, ponieważ często w kolejnych latach następują po sobie przemiennie układy meteorologiczne typu morskiego i kontynentalnego. Każdy z nich stwarza odmienne warunki wegetacji roślin i życia zwierząt, stąd adaptacje większości naszych gatunków wyrażają się w szerokim spektrum życiowym i geograficznym.

Klimat Polski wg schematu Holdridge'a mieści się w obrębie strefy klimatu lasu wilgotnego. Jest to strefa dość obszerna (ryc. 1) z temperaturami rocznymi 7–12°C i opadami 500–1000 mm. Prognozowany wzrost temperatury nawet o 3°C nie zmieni środowiska Polski tak dalece, aby na nasz obszar wkroczyła nowa formacja roślinna. Decydujące znaczenie dla przyszłego, cieplejszego klimatu będą miały opady atmosferyczne. Przy przewadze wpływów klimatu kontynentalnego i zmniejszeniu ilości opadów może nastąpić arydyzacja klimatu i przybliżenie szaty roślinnej do formacji lasostepu, z pogorszeniem warunków rozwoju lasów. Przy przewadze wpływów klimatu morskiego i zwiększeniu ilości opadów nastąpi humidyzacja klimatu i przybliżenie szaty roślinnej do formacji lasu mokrego. Warunki rozwoju lasów i produkcji roślinnej powinny ulec poprawie, ponieważ główny czynnik ją limitujący stanowi woda.

Przy opracowaniu tej prognozy przyjęto założenie oparte na przesłankach zoogeograficznych. Wynika z nich, że w okresie polodowcowym formowanie się fauny na obszarze Europy na północ od Alp i Karpat odbyło się przez przesunięcia zasięgów, bądź migracje gatunków, niejednokrotnie z daleko położonych obszarów źródłowych. Toteż prognozowanie fauny dla założonych scenariuszy zmian klimatycznych oparto na porównaniu bogactwa i struktury kompleksów faunistycznych występujących aktualnie w lasach Polski z tymi, które odpowiadają warunkom zmienionym.



RYC. 1. Dwa możliwe kierunki zmian klimatu Polski naniesione na system klimatów Holdridge'a

Bioróżnorodność i jej miary w odniesieniu do fauny

Programy poświęcone bioróżnorodności obejmują tematykę od molekularnej do krajobrazowej. W odniesieniu do flory i fauny bogactwo gatunkowe stanowi zasadniczą część modelu ilustrującego powiązania układów znajdujących się pod wpływem człowieka (5). Zachowanie a nawet powiększanie różnorodności stanowi czynnik poprawiający funkcjonowanie ekosystemów i krajobrazu oraz zachowanie równowagi ekologicznej.

W badaniach faunistycznych obiektem analiz jest różnorodność gatunkowa fauny, rozumiana też jako jej bogactwo. Pojęcie to bywa definiowane nader rozmaicie, bardzo odmienne są też miary służące do jego oceny (22). W niniejszej prognozie posłużono się trzema miarami różnorodności gatunkowej.

- Liczba gatunków zwierząt (S) zasiedlających określony ekosystem. Wielkość ta jest względnie łatwa do uzyskania na podstawie publikacji faunistycznych. Trudniejsza jest ocena takich liczb, które są obciążone dużym błędem subiektywnym o charakterze systematycznym. Liczba gatunków może być przyjmowana jedynie jako przybliżona miara surowa bogactwa gatunkowego badanego układu.
- Probabilistyczna miara różnorodności (H') Shannona i Weavera dająca charakterystykę różnorodności wynikającą ze stopnia skośności rozkładu frekwencji gatunków.
- Miara względna różnorodności (J') określa stosunek różnorodności aktualnej (H') do różnorodności potencjalnej, charakteryzującej pojemność gatunkową badanego środowiska, ekosystemu lub obszaru.

Klimat i różnorodność fauny

Prognozowanie zmian fauny rzadko stanowi przedmiot analiz faunistycznych. Zasadniczym celem faunistyki jest badanie zasiedlenia przez zwierzęta określonych obszarów lub typów środowisk, zwykle naturalnych lub mało odkształconych. Niekiedy podejmowane są badania poświęcone ocenie przemian fauny związanych z urbanizacją, rolnictwem i industrializacją. Dają one obraz kierunków i rozmiar zmian jakie zachodzą w układach faunistycznych.

Próbie syntezy wpływu klimatu na różnorodność fauny przedstawiono (12) na przykładzie *Sternorrhyncha*, grupy obejmującej cztery rzędy pluskwiaków równoskrzydłych. Zwrócono uwagę, że klimaty umiarkowane ze względu na bardziej równomiernie rozłożoną presję selekcyjną mają większy wpływ na formowanie się szerokiej różnorodności, niż klimaty ekstremalne z bardzo skośnym rozkładem presji selekcyjnej. W przyrodzie znane są dwa warianty rozwiązań, pierwszy to ograniczona liczba gatunków o dużej zmienności genetycznej, drugi to duża liczba gatunków o wąskim zakresie zmienności wewnątrzgatunkowej. Wariant pierwszy charakteryzuje środowiska o warunkach zmiennych, wariant drugi — o środowiskach ustabilizowanych. Tym samym obszary klimatu zmiennego powinny być uboższe w gatunki niż klimatu stałego, w którym ma miejsce węższa specjalizacja. Znany jest jednak gradient wzrostu liczby gatunków na lądach od obszarów zimnej północy, ubogich w gatunki do wilgotnych tropików, gdzie bogactwo gatunków jest największe. Wskazuje on na działanie czynników klimatycznych wg innego układu zależności.

Dla celów tej prognozy znaczenie mają głównie dane wskazujące na wzbogacanie, względnie ubożenie fauny w związku ze zmianami klimatu, zgromadzono je z piśmiennictwa oraz wyników badań nad strukturą fauny typowych siedlisk Polski prowadzonych w Instytucie Zoologii PAN do końca 1990 r. Ich obecne zaniechanie uniemożliwiło postęp w analizie bogactwa fauny oraz przyczyn jakie leżą u jego podstawy. Oparte na metodach ilościowych rokowały interesujące wyniki zarówno w rozpoznaniach fauny ekosystemów leśnych jak i procesów formowania się kompleksów faunistycznych.

Uwarunkowania środowiskowe różnorodności fauny

Lokalne różnice bogactwa fauny są łatwo dostrzegane. Ocena wielkości różnic oraz analiza ich przyczyn są trudniejsze metodycznie i podejmowane w szerszym zakresie dopiero w ostatnim dwudziestolecu. Rozmieszczenie różnorodności gatunkowej zgrupowań pszczołowych w obrębie krajobrazu przeanalizował Banaszak (1). Wyróżnił on trzy typy ekosystemów. Najbogatsze zgrupowania pszczołowych występują w obrębie ekosystemów naturalnych (tab. 1). Na murawach kserotermicznych są one dwukrotnie bogatsze niż w pozostałych. Zgrupowania borów i lasów zajmują pod względem bogactwa gatunkowego ostatnie miejsce. Większość upraw rolnych jest odwiedzana przez większą liczbę gatunków pszczołowych niż lasy naturalne. Jednak różnorodność gatunkowa (H') ich zgrupowań w ekosystemach antropogenicznych jest niższa niż w ekosystemach naturalnych, w których różnorodność gatunkowa jest bliższa potencjalnej niż w uprawach rolnych.

TABELA 1
Różnorodność gatunkowa pszczołowych *Apidae* (wg Banaszaka, 1)

Ekosystemy	S	H'	H_{max}	J %
NATURALNE				
Murawy kserotermiczne	65	2,69	4,17	64
Dąbrowy (<i>Quercetum</i>)	21	2,77	3,05	90
Brzegi dąbrów	30	2,08	3,40	61
Bory mieszane (<i>Querco-Pinetum</i>)	13	2,04	2,57	79
Lasy grądowe (<i>Querceto-Carpinetum</i>)	11	1,70	2,40	68
ANTROPOGENICZNE				
Zadrzewienia śródpolne	26	2,96	3,26	91
Aleje topolowe	24	2,56	3,18	81
Brzeg drogi	15	1,43	2,71	52
Brzeg drogi	30	1,81	3,40	53
UŻYTKI ROLNE				
Koniczyna czerwona	16	1,34	2,77	48
Słonecznik	10	0,83	2,30	36
Łubin żółty	7	0,44	1,45	22
Rzepak ozimy	19	0,66	2,94	22
Len	15	0,51	2,71	19
Lucerna	11	0,12	2,40	5
Łąka	18	0,44	2,89	15

Przedstawiony obraz nie może jednak stanowić podstawy dla szerszych uogólnień. Wśród bzygów (*Syrphidae*), bogatej w gatunki i zróżnicowanej ekologicznie rodzinie muchówek opisane wyżej relacje są akurat odwrotne (2). Najbogatsze w gatunki są lasy grądowe (128 gatunków), nieco uboższe bory mieszane (111 gatunków), najuboższe zaś murawy ksero-termiczne (54 gatunki).

Omówione przykłady wskazują, jak odmienne mogą być reakcje różnych grup fauny na działanie tych samych czynników.

Dokładniejsze rozpoznanie zróżnicowania gatunkowego dostarczają dane dotyczące składu gatunkowego wybranych grup bezkręgowców w czterech głównych typach ekosystemów leśnych, położonych na obrzeżu Warszawy (14). Lasy te, podobnie jak inne lasy podmiejskie znajdują się pod presją populacji ludzkiej i nie odzwierciedlają w pełni stosunków zachodzących w dużych kompleksach leśnych oddalonych od aglomeracji miejsko-przemysłowych. Dają jednak obraz różnic w bogactwie gatunków zasiedlających te ekosystemy (tab. 2). Wśród analizowanych grup zwierząt dominują saprofagi glebowe, jednak pod względem bogactwa faunistycznego trzy zaprezentowane grupy troficzne: saprofagi, fitofagi i zoofagi są zbliżone do siebie. Najbogatszym w gatunki ekosystemem jest las grądowy, nieco tylko uboższym bór mieszany. Żyzne łągi są w mniejszym stopniu zasiedlone przez faunę. Najuboższy pod względem faunistycznym jest bór świeży.

TABELA 2
Liczby gatunków występujących w lasach naturalnych Białoleki Dworskiej
(wg danych Garbarczyka i Pisarskiej [ed.], 14)

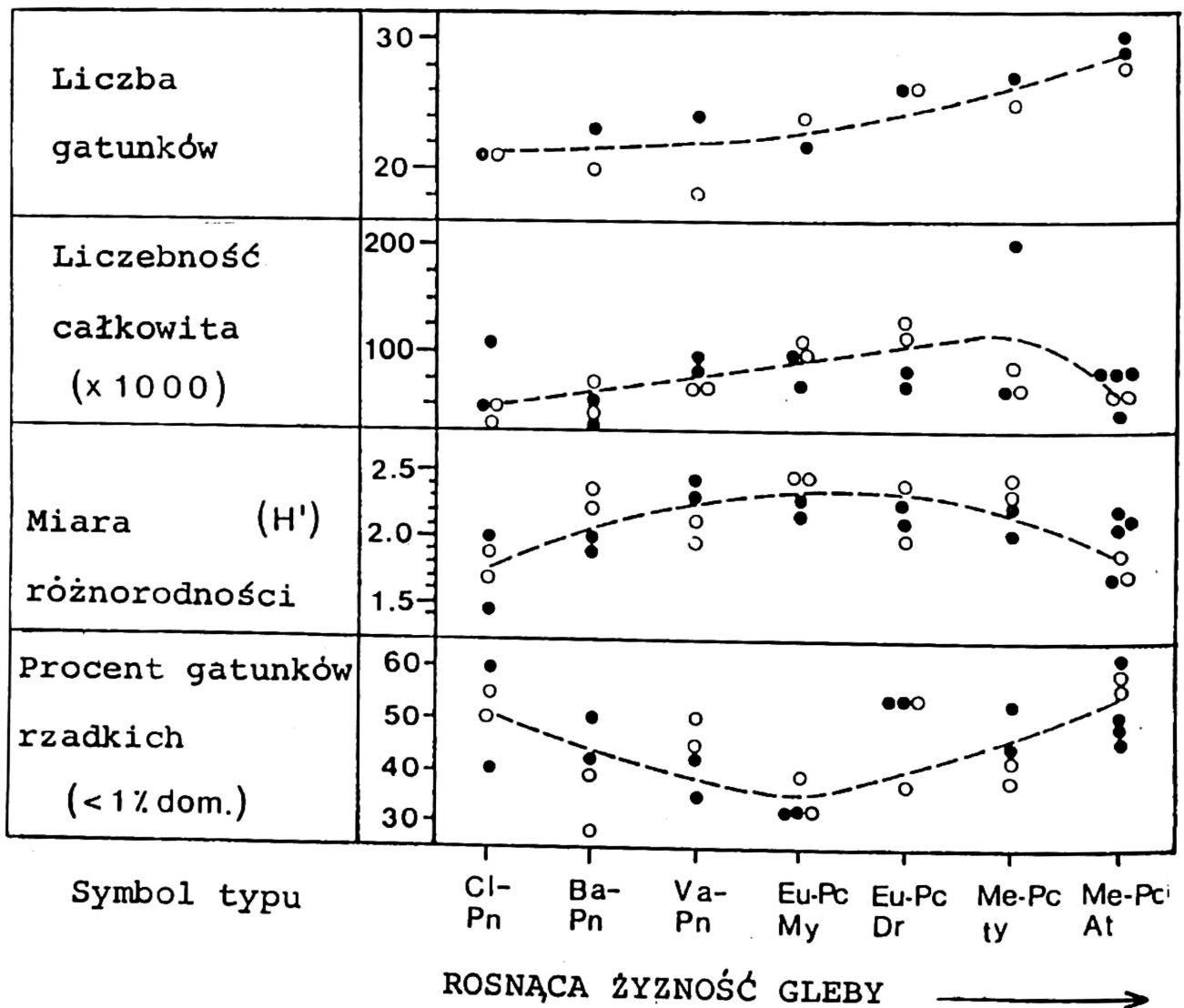
Grupa zwierząt	Grąd <i>Tilio-Carpin.</i>	Łęg <i>Circaeo-Aln.</i>	Bór mieszany <i>Pino-Querc.</i>	Bór świeży <i>Peucedano-Pin.</i>
<i>Lumbricidae</i>	3	5	4	2
<i>Enchytraeidae</i>	6	1	3	9
<i>Collembola</i>	20	20	21	12
<i>Scarabeidae</i>	12	11	11	5
<i>Elateridae</i>	11	10	10	4
<i>Homoptera Auchenorrh.</i>	38	39	33	21
<i>Curculionidae</i>	39	40	58	25
<i>Carabidae</i>	37	28	21	12
<i>Tachinidae</i>	55	22	54	52
Razem	221	176	215	142

Czynniki wpływające na różnorodność fauny borów niżowych

Różnorodność gatunkowa fauny znajduje się pod wpływem czynników działających obecnie w środowisku, które ograniczają lub powiększają różnorodność oraz historycznych, związanych z losami obszarów niżowych. Do analizy prognostycznej mają zastosowanie

cztery grupy czynników działających na faunę. Pierwszy to żyzność siedliska, w przypadku lasów liściastych wyrażona ich typem fitosocjologicznym. Drugim jest wiek drzewostanu i związana z nim sukcesja fauny. Trzecim — położenie geograficzne i ostatnim wpływ antropopresji na różnorodność gatunkową. Czynniki te mają rosnące znaczenie.

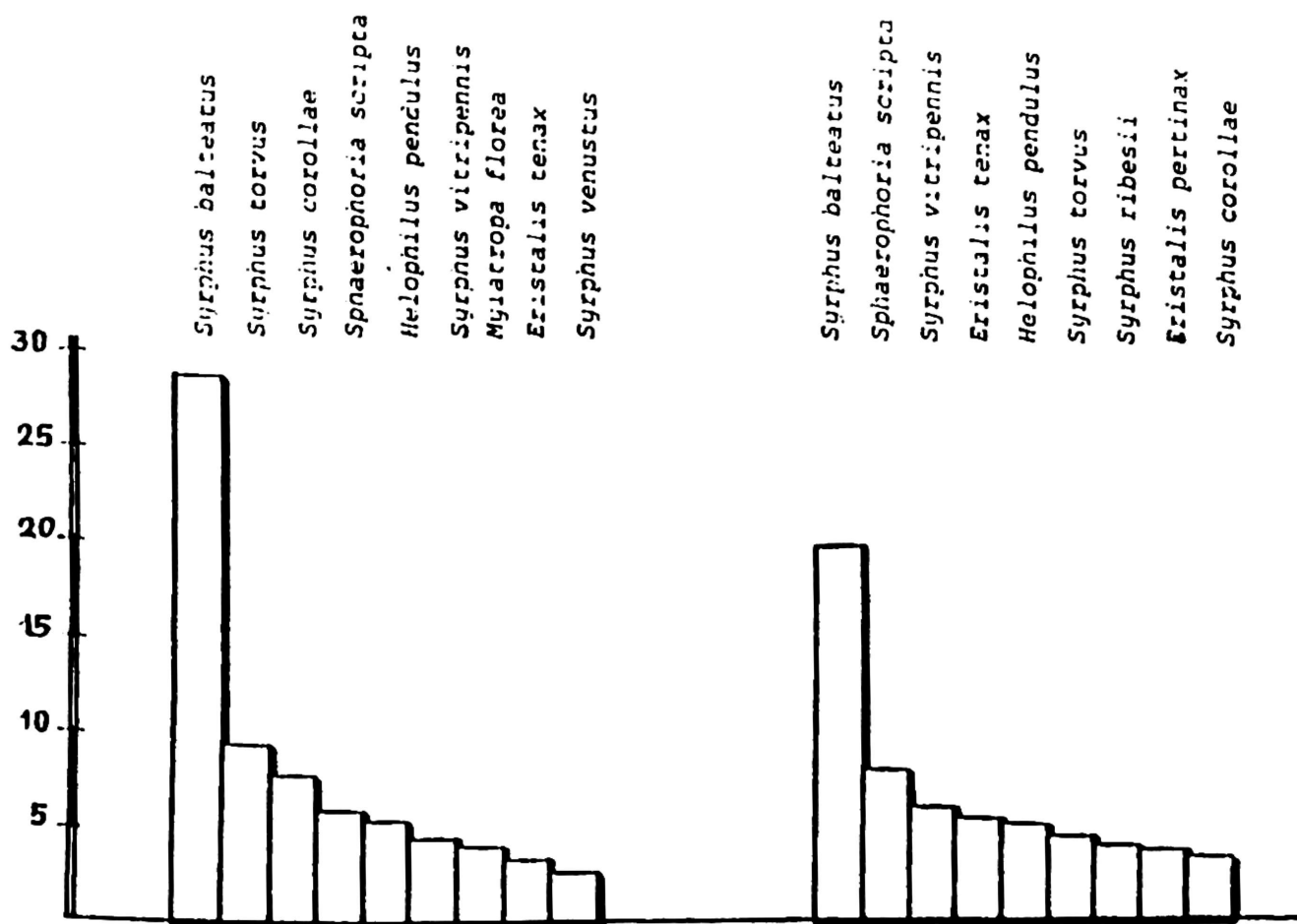
Żyzność siedliska, jako czynnika kształtującego bogactwo fauny borów, najlepiej przeanalizowano (15) na przykładzie skoczogonków (*Collembola*). Zasiedlają one 7 typów borów Norwegii od najuboższego i najsuchszego *Cladonio-Pinetum*, do najżyźniejszego i najwilgotniejszego *Melico-Piceetum*. Wszystkie te typy fitosocjologiczne borów występują również w Polsce, co pozwala na wykorzystanie danych, mimo odrębności geograficzno-klimatycznej obu krajów. Hågvar (15) zbadał wartości czterech parametrów charakteryzujących faunę (ryc. 2). Liczba gatunków rośnie umiarkowanie wraz z żyznością siedliska. Wartość siedliska dla *Collembola* jest określona przez ich liczebność. Ta rośnie od boru suchego do typowego boru świeżego. W najżyźniejszym borze *Melico-Piceetum* następuje zahamowanie, a nawet spadek liczebności skoczogonków. Różnorodność gatunkowa wykazuje tylko nieznaczną zmienność w zbadanych ekosystemach boru sosnowego. Przeciętne wartości najwyższe osiąga ona w borach świeżych, zarówno z przewagą borówki w



RYC. 2. Zależności między typem roślinności i żyznością gleby a czterema parametrami charakteryzującymi zespoły skoczogonków (*Collembola*) (wg Hågvara 15)

runie, jak też paproci. W żyzniejszych borach: *Melico-Piceetum* różnorodność gatunkowa jest mała, podobnie jak w borze chrobotkowym. Odwrotny przebieg ma krzywa obrazująca udział w zgrupowaniu gatunków rzadkich, o małej liczebności. Najwięcej takich gatunków występuje w borach o skrajnych warunkach siedliskowych, najuboższych i najżyźniejszych. Dane te wskazują również na specyfikę strukturalną zgrupowań skoczogonków w borach. W ich wariantach skrajnych dominacja jest wyrażona dużo ostrzej, niż w wariantach pośrednich, co wpływa na obniżenie wartości miary H' oraz ograniczenie liczebności gatunków akcesorycznych. Podobny wynik uzyskała Bańkowska (2) porównując strukturę zgrupowania bzygów boru świeżego i mieszanego (ryc. 3). Pierwszy z nich, uboższy, ma ostrzej wyrażoną strukturę dominacyjną. Podobne zjawiska towarzyszą zarówno uproszczeniu, jak i ujednoliceniu warunków w ekosystemie. Zgrupowania fauny reagują na takie zmiany zwiększeniem dominacji jednego z gatunków zgrupowania i obniżeniu liczebności pozostałych.

Wiek drzewostanu stanowi drugi, istotny czynnik kształtujący różnorodność fauny. Kwestia ta ma bezpośredni związek z teorią sukcesji ekologicznej oraz równowagi ekosystemów. Przyjmuje się, że drzewostany stare o w pełni wykształconej strukturze pionowej i wiekowej mają lepiej uporządkowane stosunki biocenotyczne, niż drzewostany młode. Zgodnie z tą koncepcją starodrzewy to układy ustabilizowane i względnie zrównoważone.



RYC. 3. Struktura dominacji zespołów bzygów (*Syrphidae*) w borze sosnowym (po lewej) i borze mieszanym (po prawej) (wg Bańkowskiej 2)

TABELA 3

Różnorodność gatunkowa ryjkowców (*Coleoptera, Curculionidae*) runa borów Polski w trzech fazach rozwoju drzewostanu runa (wg Cholewickiej 6)

Wskaźnik	Miejsce	Wiek drzewostanu		
		młodnik	drągowina	starodrzew
Liczebność (n)	Puszcza Białowieska	11,1	14,4	11,4
	Puszcza Biała	7,0	30,3	16,3
	Bory Tucholskie	3,6	7,5	5,3

	Bory świeże średnio	7,2	17,4	11,0

Liczba gatunków (S)	Puszcza Białowieska	35	26	28
	Puszcza Biała	21	21	20
	Bory Tucholskie	18	26	16

Różnorodność (H')	Puszcza Białowieska	2,995	2,797	2,775
	Puszcza Biała	2,613	1,280	1,697
	Bory Tucholskie	3,274	2,396	2,494
	Bory świeże razem	3,164	2,162	2,422

Nie wchodząc w dyskusję podstaw teoretycznych tych poglądów należy stwierdzić, że porządkowaniu organizacji wraz z wiekiem drzewostanu towarzyszy zmniejszenie różnorodności fauny. Na materiale epigeicznych biegaczy borów świeżych wykazano (21) spadek liczby gatunków od 109 w młodnikach do 75 w drzewostanach starych. Podobny wynik uzyskała Cholewicka-Wiśniewska (7) badając ryjkowce runa borów świeżych (tab. 3). Najbardziej przydatnym dla nich środowiskiem są drągowiny. Tu osiągają największą liczebność. Jednak liczba gatunków jest największa w młodnikach i wraz z wiekiem drzewostanu spada. Również różnorodność gatunkowa jest najwyższa w młodnikach, najniższa w drągowinie. Na wartość miary Shannona mają wpływ zmieniające się struktury dominacyjne zgrupowań ryjkowców.

Utrzymanie wysokiej różnorodności faunistycznej borów zależy więc od udziału różnych klas drzewostanu, szczególnie od udziału drzewostanów młodych.

Położenie geograficzne kompleksu leśnego stanowi trzeci ważny czynnik kształtujący różnorodność fauny. Cztery polskie puszcze różnią się znacznie pod względem różnorodności gatunkowej zasiedlających je ryjkowców (tab. 4). W Borach Tucholskich ich liczebność jest prawie trzy razy mniejsza niż w puszczech położonych na wschodzie Polski. Mniejsza też jest tam liczba gatunków. Wysoka różnorodność zgrupowania wskazuje na równomierność rozkładu liczebności gatunków zbliżoną do tej, jaka występuje w Puszczy Białowieskiej. Tam jednak liczba gatunków i jej pochodna, różnorodność potencjalna, są znacznie wyższe niż w Borach Tucholskich. W gradiencie geograficznym od zachodu na wschód liczba gatunków ryjkowców w borach rośnie, choć różnorodność gatunkowa aktualna wynosi około połowę potencjalnej. Podobny obraz nie potwierdza się jednak przy analizie innych grup owadów. Dane Czechowskiwej (8) oparte na dużym materiale biedronek (*Coccinellidae*) zasiedlających korony i runo borów świeżych od lasów babimojskich

TABELA 4

Ryjkowce (*Curculionidae*) runa i koron borów świeżych (*Peucedano-Pinetum* i *Leucobryo-pinetum*) Polski (wg Cholewickiej 6)

Wskaźniki	Symbol	Bory	Puszcza	Roztocz.	Puszcza	Bory
		Tucholskie	Biała	Park Nar.	Białowieska	razem
Liczebność	(<i>n</i>)	7,63	20,61	23,24	23,68	75,10
Liczba gatunków	(<i>S</i>)	31	44	52	67	103
Różnorodność gatunkowa potencjalna	H_{\max}	4,95	5,46	5,70	6,05	6,69
Różnorodność gatunkowa aktualna	H'	3,17	2,58	2,69	3,34	3,22
Wskaźnik Pielou	$J = 100 \frac{H'}{H_{\max}}$	64,04	47,25	47,19	51,38	48,13

do Puszczy Białowieskiej, nie wykazują podobnych prawidłowości. Największą liczbę gatunków (i różnorodność potencjalną) zgrupowanie osiągnęło w koronach sosen Lasu Bielańskiego w Warszawie (4). Puszcza Białowieska jest zasiedlona przez połowę gatunków występujących w Lesie Bielańskim. Dane te wskazują na istnienie dodatkowego czynnika kształtującego różnorodność fauny: jej migracyjności. Wyspa leśna jaką jest śródmiejski kompleks Lasu Bielańskiego stanowi swoisty magnes. Przyciąga do siebie łatwo przemieszczające się gatunki biedronek ze zróżnicowanego krajobrazu zawierającego enklawy leśne, zieleni miejskiej, uprawy ogrodnicze i rolne wraz z całym bogactwem gatunków mszyc, które je zasiedlają. Czynniki migracyjności należy jednak do trudniej poddających się ocenie.

Antropopresja stanowi kolejny czynnik wpływający na różnorodność fauny. I w tym przypadku jednoznaczna ocena tego wpływu jest trudna. Skibińska (19) w trakcie badań drapieżnych grzebaczy (*Sphecidae*) w lasach podwarszawskich wykazała, że w borze świeżym, przekształconym w wyniku silnej penetracji ludzi, liczba gatunków grzebaczy jest dużo większa niż w analogicznym borze naturalnym. Jednak różnorodność gatunkowa wskazuje na to, że tylko nieliczne gatunki w lasach poddanych presji uzyskują wysoką liczebność, pozostałe występują w bardzo niskich liczebnościach. Bór mieszany poddany antropopresji zmniejsza zarówno liczbę, jak różnorodność gatunkową grzebaczy (tab. 5).

TABELA 5

Wpływ przekształcania środowiska leśnego na bogactwo zgrupowania grzebaczy (*Sphecidae*) (wg danych Skibińskiej, 19)

Wskaźnik bogactwa fauny	Bór świeży		Bór mieszany	
	naturalny	przekształcony	naturalny	przekształcony
Liczba gatunków (<i>S</i>)	36	46	46	41
Różnorodność gatunkowa (H')	2,67	1,61	2,74	2,26

Podobnie niejednoznaczne wyniki uzyskano przy badaniu innych grup fauny w borach podmiejskich. Wskazują one na obniżanie różnorodności gatunkowej fauny w wyniku antropopresji. Jednocześnie zróżnicowanie środowiska w skali mikro, związane z przebudową środowiska przez człowieka, otwiera możliwości bytowania różnych gatunków nie występujących w ekosystemach naturalnych.

Czynniki wpływające na różnorodność fauny lasów

Naturalne lasy liściaste Polski zaliczane są do czterech głównych typów fitosocjologicznych. Z nich najbardziej rozpowszechnione i zróżnicowane geograficznie są lasy grądowe. Olsy związane są z siedliskami silnie wilgotnymi i są mniej powszechne. Buczyny występują w dwóch grupach, pomorskiej i karpackiej. Lasy wiązowe stanowią rzadkość i występują w postaci niewielkich płątów w obrębie kompleksów lasów liściastych.

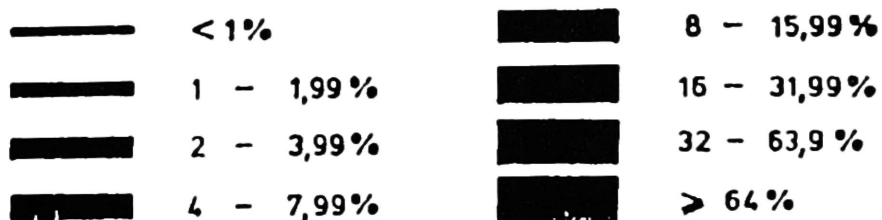
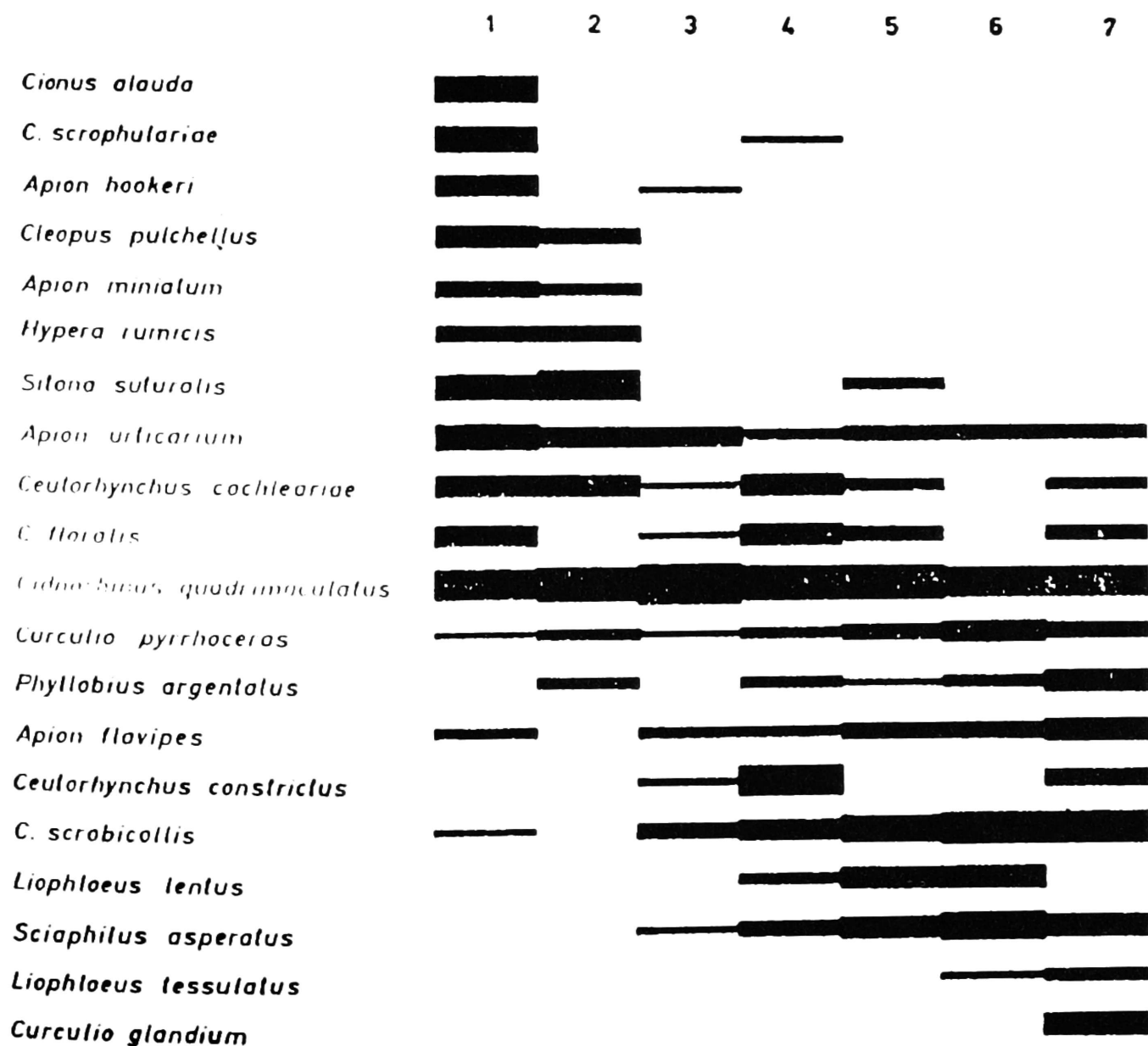
Ocena wpływu typu lasu na skład gatunkowy i różnorodność fauny jest utrudniona ze względu na brak danych porównawczych. Do wyjątków należy opracowanie Dzieczkowskiego (11) poświęcone mięczakom (tab. 6) występującym we wszystkich wymienionych typach lasu. Liczba gatunków i różnorodność gatunkowa mięczaków wykazują największą zmienność w lasach grądowych. Największe wartości osiągają te miary w Puszczy Białowieskiej, minimum w rezerwacie Dębina pod Wągrowcem. Nieco mniejszą zmienność wykazuje różnorodność malakofauny buczyn. Na trzecim miejscu znajdują się olsy. Najbogatsze ich zgrupowania stwierdzono w rezerwacie Buki nad Jez. Lutomskim w Wielkopolsce, najuboższą w rez. Ruda-Chlebacz w dolinie Rawki. Najmniejsze zróżnicowanie składu i różnorodności gatunkowej wykazują lasy wiązowe spotykane na obszarze Wielkopolski.

TABELA 6
Liczba gatunków mięczaków (S) i ich różnorodność gatunkowa w lasach liściastych Polski (tylko warianty skrajne) (wg danych Dzieczkowskiego 11)

Typ lasu	Maximum		Minimum	
	S	H'	S	H'
<i>Carpinetum</i>	29	3,56	10	2,07
<i>Ficario-Ulmetum</i>	21	3,20	13	2,85
<i>Alnetum</i>	24	3,66	12	3,03
<i>Fagetum</i>	21	3,22	4	1,93

Stopień zróżnicowania faunistycznego w rezerwatach lasów liściastych jest tak duży, że liczba gatunków może różnić się w nich siedmiokrotnie, zaś różnorodność gatunkowa aktualna dwukrotnie. Należy więc przypuszczać, że środowisko lasów liściastych jest bardzo zróżnicowane, choć czynnik różnicujący je dla fauny nie jest dotąd określony. Należy jednak oczekiwać, że prognozowane zmiany fauny powinny pomieścić się w przedstawionym tu zakresie zmienności miar bioróżnorodności fauny lasów.

STANOWISKO



RYC. 4. Zmiany w udziale dominujących gatunków ryjkowców w szeregu sukcesyjnym lasu grądowego (wg Witkowskiego i Mazura 23)

Zmiany różnorodności gatunkowej ryjkowców (*Curculionidae*) w procesie sukcesji ekologicznej po wyrębie lasu grądowego zbadali w Puszczy Niepołomickiej Witkowski i Mazur (23). Szereg sukcesyjny objął drzewostany w wieku 2–150 lat. Zgrupowanie ryjkowców w drzewostanach 15–38 lat zostało zdominowane przez *Cidnorhinus quadrimaculatus* (L.), co wywarło wyraźny wpływ na wartości parametrów charakteryzujących zgrupowanie. Atrakcyjność środowiskowa mierzona liczbą osobników ryjkowców spada wraz z wiekiem lasu. Najwyższą wartość osiąga ona w drugim roku sukcesji wtórnej, by po 150 latach obniżyć się do 1/4. Przyczyna tego zjawiska leży w zmniejszającej się w tym samym czasie do 1/3 liczbie gatunków roślin runa. Natomiast liczba gatunków ryjkowców grądu największa w drugim roku sukcesji stabilizuje się w dalszych latach na poziomie 24 gatunków. Jedynie lata dominacji *C. quadrimaculatus* (L.) wykazują zmniejszenie liczby gatunków o około 20%. W trakcie sukcesji autorzy wyróżnili dwie fazy. Pierwsza, do 15 lat rozwoju posiada kompleks ryjkowców charakterystycznych dla terenów otwartych. Później wytwarza się zespół charakterystyczny dla runa lasu grądowego (ryc. 4). Stąd przy najwyższej liczbie gatunków (38) zanotowanej na początku sukcesji, ich liczba całkowita, w pełnym cyklu sukcesyjnym (69) jest prawie dwukrotnie wyższa. Należy jednak zwrócić uwagę, że Kuśka (16) badając ryjkowce w dwóch rezerwach Śląska dla jednego stadium sukcesji wykazuje dwukrotnie większe (76) liczby gatunków niż w Puszczy Niepołomickiej. Na wartości te może wywierać wpływ odmienność warunków klimatycznych, szczególnie wielkość opadów.

Zachowanie wysokiej różnorodności fauny jest więc związane z występowaniem różnych stadiów sukcesji lasu, przy tym największą różnorodność fitofagów obserwuje się w pierwszych stadiach sukcesji, w których różnorodność roślin jest też największa.

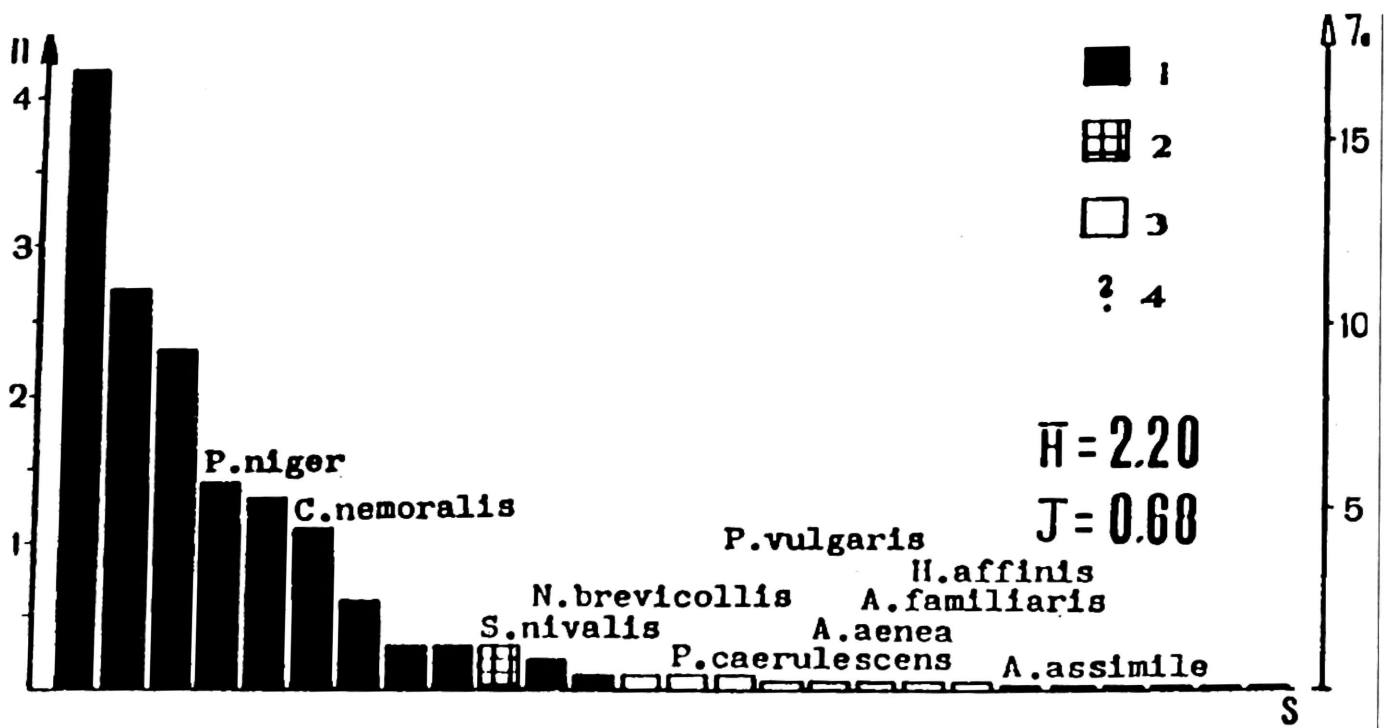
Różnorodność fauny wykazuje również związek z położeniem zbiorowiska roślinnego względem granicy jego zasięgu. Zależność taką można prześledzić w zgrupowaniach mięczaków buczyn. Buk osiąga na obszarze Polski wschodnią granicę swego zasięgu. Buczyny pomorskie są reprezentowane przez trzy, zaś karpackie przez jeden odrębny zespół fitosocjologiczny. Poza obszarem przybrzeżnym i Karpat buczyny występują w postaci izolowanych lasów na pogórzu i niżu. Pozwala to badać skład i różnorodność gatunkową fauny zarówno w głębi i na skraju zasięgu buka. Analizę składu gatunkowego i liczebności mięczaków buczyn przedstawił Dzieczkowski (11). Najbogatsze w gatunki zgrupowania mięczaków występują na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego (tab. 7). W położonych w rejonie Kołobrzegu buczynach są one już o 20% uboższe. Położony w pobliżu granicy zasięgu w Wielkopolsce rezerwat "Buczyna" (Nadl. Kąty) ma połowę malakofauny Wolińskiej. Mazowiecki Bukowiec jest zasiedlony tylko przez 4 gatunki mięczaków. Podobnie w rezerwacie "Buczyna na Cyrance" położonym w Kotlinie Sandomierskiej i reprezentującej zespół buczyny karpackiej liczba gatunków mięczaków jest 4 razy mniejsza niż w zgrupowaniu bieszczadzkiem. Przy tym skład gatunkowy zgrupowania izolowanego jest silnie zmieniony w porównaniu do górskiego.

Antropopresja, jako czynnik kształtujący różnorodność fauny, w siedliskach grądowych odgrywa bardzo dużą rolę. Ten typ siedliska bardziej niż borowy ulegał przekształceniom w związku z zamianą lasów na pola uprawne, osadnictwem i industrializacją. Działanie antropopresji jest też w odniesieniu do siedlisk grądowych najlepiej zbadane.

TABELA 7
Różnorodność gatunkowa mięczaków buczyn (*Fagetum*) Polski (wg danych Dzięzkowskiego, 11)

Zespoły buczyn pomorskich — <i>Fagetum</i>	Stanowiska			Kołobrzeg			Wielkopolska			Mazowsze		
	Wolin			S			S			S		
	H'	J'	S	H'	J'	S	H'	J'	S	H'	J'	S
<i>Cephalanthero rubrae</i>	16	3,18	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Luzulo pilosae</i>	10	3,05	0,92	8	2,66	0,99	-	-	-	4	1,93	0,97
<i>Melico</i>	14	3,02	0,79	11	2,96	0,86	7	1,84	0,66	-	-	-
Zespół buczyn karpackich — <i>Fagetum</i>	Stanowiska			Kotlina Sandomierska								
	S			S			S			S		
	H'			H'			H'			H'		
	J'			J'			J'			J'		
<i>Dentario glandulosae</i>	21	3,22	0,73	5	1,86	0,80						

S — liczba gatunków,
H' — miara Shannona,
J' — stopień równomierności rozkładu gatunków.

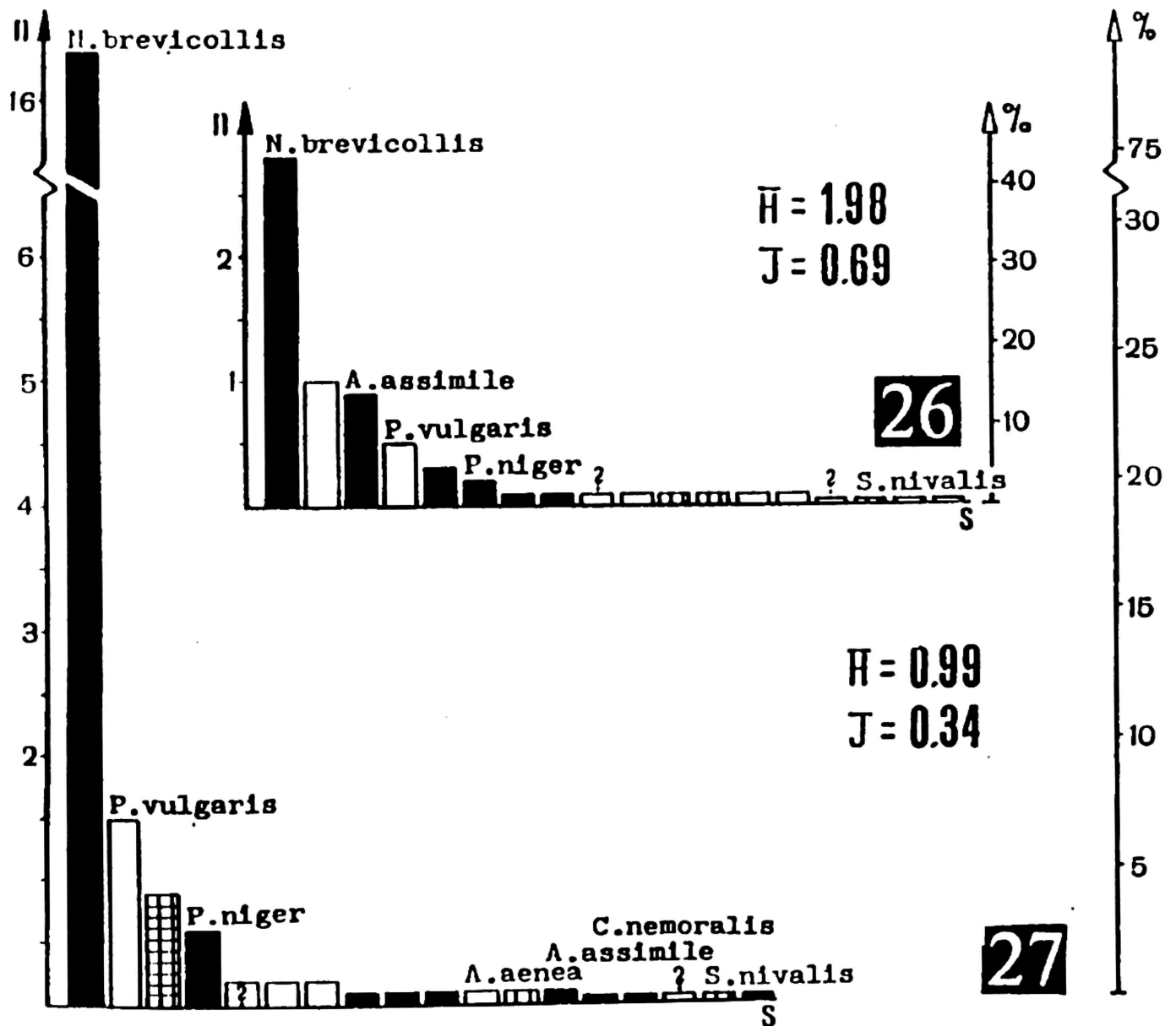


RYC. 5. Struktura dominacji zespołu biegaczy (*Carabidae*) w naturalnym lesie grądowym rez. Hamernia (wg Czechowskiego 10)

Analizę reakcji zgrupowania biegaczowatych (*Carabidae*) na zmiany zachodzące w lasach grądowych pod wpływem antropopresji przeprowadził Czechowski (9, 10). W lasach Mazowsza najbardziej regularny obraz struktury tego zgrupowania stwierdził on w rezerwacie "Hamernia" (ryc. 5). Dziewięć najliczebniejzych gatunków budujących zgrupowanie to formy leśne, przy czym pierwszy z nich liczy 27,5% osobników zgrupowania. W środowisku leśnym zantropogenizowanym (grądy lasów Młochowskich) pierwszy dominant liczy 42,4% osobników zgrupowania. Natomiast w parku leśnym w Radziejowicach aż 78,4% (ryc. 6, 7). Takie zmiany strukturalne, charakterystyczne dla wpływu człowieka na ekosystemy mają duży wpływ na wartości miary różnorodności gatunkowej Shannona.

Odmienny obraz różnorodności fauny siedlisk grądowych przedstawiają wyniki badań nad skoczogonkami (20). Liczba gatunków *Collembola* jest największa w rezerwacie Dębina (44) na stanowisku grądu niskiego. W grądach wysokich jest ona średnio o 20 gatunków mniejsza. Bogatsze zgrupowania skoczogonków występują w glebach parków miejskich (średnio 30,4 gatunki). Te same wielkości są charakterystyczne dla zieleni osiedlowej. Natomiast łączna liczba gatunków *Collembola* występujących w przesuszonym i zatrutym lecz mozaikowatym środowisku grądowym Warszawy (75) jest znacznie większa niż w mało przekształconych lasach grądowych Mazowsza.

Drapieżne grzebaczki (*Sphecidae*) osiągają szczyt różnorodności gatunkowej w znajdujących się pod wpływem antropopresji podmiejskich lasach grądowych. Liczba gatunków w lasach Białoleki Dworskiej (48) jest ponad dwa razy większa niż w rezerwacie leśnym "Hamernia" (23). Parki warszawskie mają też większą liczbę gatunków (26–39), chociaż miara różnorodności gatunkowej wykazuje w nich mniejsze wartości niż w rezerwacie. Wyjątek pod tym względem stanowi Park Łazienkowski.



RYC. 6-7. Struktura dominacji zespołu biegaczy (*Carabidae*) w lasach Młochowa (26) i Radziejowic (27) (wg Czechowskiego 10)

Warunki zachowania różnorodności fauny

Przedstawione informacje o reakcjach różnych grup zwierząt na zmiany zachodzące w środowisku prowadzą do następujących wniosków.

- Obserwowane pod wpływem zmian środowiskowych przekształcenia fauny polegają na:
 - a. zasiedleniu lub opuszczeniu środowiska,
 - b. wzroście lub spadku liczebności,
 - c. zmianie pozycji w strukturze dominacji zgrupowania.

- Prognozowanie tych reakcji jest możliwe tylko w odniesieniu do nielicznych, lepiej poznanych grup zwierząt lub pospolitszych gatunków. Dla większości gatunków zasiedlających lasy nie ma dostatecznej informacji dla oceny ich reakcji pod wpływem zmian środowiska.
- Różnorodność gatunkowa fauny, oceniana za pomocą miar ilościowych, jest nieprzewidywalna. Zmiany wprowadzane do środowiska wywołują w jednych grupach zwierząt drastyczne obniżenie różnorodności gatunkowej, w innych znaczny rozwój różnorodności. Procesy te mogą mieć charakter kompensacyjny, choć niekiedy prowadzą do pogorszenia warunków funkcjonowania ekosystemów.
- Użytkowanie środowiska leśnych zarówno pod względem gospodarczym jak rekreacyjnym nie jest samo w sobie czynnikiem niszczącym różnorodność gatunkową fauny jako całości. Na jedne grupy oddziałuje negatywnie, na inne pozytywnie.
- Do zachowania bogactwa gatunkowego fauny lasów prowadzą:
 - Zróżnicowanie środowiskowe lasów, szczególnie pod względem ich żyzności.
 - Ustalenie właściwych proporcji między drzewostanami o różnym wieku. Pełen cykl sukcesyjny lasu pozwala na rozwinięcie większej różnorodności niż kompleksy starodrzewu.
 - Zróżnicowanie eksploatacji gospodarczej i wykorzystania pozaprodukcyjnego lasu stwarza warunki do rozwoju większej różnorodności lasu niż wyłączenie ingerencji człowieka z biegu wydarzeń w lesie.
 - Zróżnicowanie przestrzenne krajobrazu leśnego pozwala na rozwinięcie większej różnorodności w obrębie mozaiki ekosystemów. Efekt ten dodatkowo wzmacniają zjawiska ekotonowe.

Prognoza fauny leśnej Polski

Zasada nieprzewidywalności kierunku zmian różnorodności gatunkowej zwierząt ogranicza możliwości ustalenia prostych zależności między fauną a klimatem. Podstawą prognoz faunistycznych mogą być głównie dane dotyczące zmian struktury kompleksów faunistycznych oraz informacje o wybiórczości środowiskowej gatunków. Na ich podstawie można przewidywać następującą przebudowę fauny bezkręgowej lasów Polski.

- **Wariant kontynentalny**, powodujący zwiększenie amplitud temperatury, zmniejszenie opadów i produkcji pierwotnej lasów przyniesie:
 - a. Przesunięcie zespołów roślinnych borów w kierunku ich form sucholubnych, związanych z ubogimi siedliskami. Zespoły leśne przejdą w różne formy łąk.
 - b. Fauna borów ulegnie generalnemu zubożeniu, fauna lasów powinna zachować swe składy gatunkowe.
 - c. W strukturze zespołów zwierząt nastąpią zmiany polegające na zwiększaniu udziału pierwszego dominanta z około 25% do około 50%. Struktura dominacyjna zgrupowań ulegnie wyostreniu.
 - d. Liczba gatunków akcesorycznych ulegnie ograniczeniu. Wyparte zostaną formy

ombro- i higrofilne, wyraźnie wzrośnie liczba ksero- i termofilów.

e. Różnorodność gatunkowa bezkręgowców w lasach grądowych nie ulegnie większym zmianom.

- **Wariant atlantycki** spowoduje zmniejszenie amplitud temperatury, zwiększenie ilości opadów oraz zwiększeniu produkcji pierwotnej lasu. Przyniesie on:
 - a. Przesunięcie zespołów roślinnych i borów i lasów w kierunku ich form związanych z większą wilgotnością siedliska. Nastąpi też zwiększenie żyzności lasów.
 - b. Fauna borów ulegnie generalnemu wzbogaceniu, fauna lasów zachowa składy gatunkowe z wyjątkiem olsów, których fauna będzie uboższa.
 - c. W strukturze zespołów zwierząt nastąpią zmiany polegające na zmniejszeniu udziału pierwszego dominanta poniżej 25% i przejściu struktur w kierunku rozkładów o większym stopniu równomierności.
 - d. Liczba gatunków akcesorycznych ulegnie zwiększeniu, szczególnie o formy ombro- i higrofilne. Kserotermy przesuną się na tereny otwarte.
 - e. Różnorodność gatunkowa bezkręgowców w borach ulegnie zwiększeniu.
 - f. Różnorodność gatunkowa fauny bezkręgowej lasów pozostanie bez zmian.

W obu wariantach zmian klimatu gatunki budujące zgrupowanie nie ulegną większym zmianom. Nastąpią jedynie przesunięcia w pozycjach dominacyjnych gatunków.

Literatura

1. **Banaszak J.** Ecology of Bees (*Apoidea*) of Agricultural Landscape. Pol. Ecol. Stud. 1983 T. 9.
2. **Bańkowska R.** Fly communities of the family *Syrphidae* in natural and anthropogenic habitats of Poland. Memorabilia Zool. 1980 T. 33.
3. **Bazzaz F.A., Fajer E.D.** Plant life in a CO₂-Rich World. Scientific Amer. 1992 nr 1.
4. **Bielawski R.** *Coccinellidae* (Coleoptera) w zbiorowisku roślin zielnych i młodnika sosnowego w Warszawie na Bielkach. Fragn. Faun. 1962 T. 8.
5. **di Castri F., Younes T.** Ecosystem Function of Biological Diversity. Biol. International, 1990 vol. 22.
6. **Cholewicka-Wiśniewska K.** Communities of weevils (*Coleoptera, Curculionidae*) in Polish pine forest of different age. Fragn. Faun. 1994 T. 37.
7. **Cholewicka-Wiśniewska K.** The structure of weevil communities (*Coleoptera, Curculionidae*) of some Polish pine forest. Fragn. Faun. 1994 T. 37.
8. **Czechowska W.** Biedronki (*Coleoptera, Coccinellidae*) borów świeżych Polski. Fragn. Faun. 1994 T. 37.
9. **Czechowski W.** Occurrence of Carabids *Coleoptera, Carabidae* in the urban greenery of Warsaw according to the land utilization and cultivation. Memorabilia Zool. 1982. T. 39.

10. **Czechowski W.** *Carabidae (Coleoptera)* of linden-oak-hornbeam and thermophilous oak forest of the Mazovia Lowland. *Fragm. Faun.* 1982. T. 32.
11. **Dzięczkowski A.** Zespoły ślimaków (*Gastropoda*) zbiorowisk leśnych Polski. *Prace Komisji Biologicznej PTPN.* 1982 T. 68.
12. **Eastop V.F.** Diversity of *Stenorrhyncha* within major climatic zones. *Symp. Roy. Entomol. Soc. of London, London,* 1978 vol. 9.
13. **Elkins N.** Species richness and the energy theory. *Nature.* 1989 vol. 340.
14. Garbarczyk H., Pisarska R. (eds.). *Zoocenologiczne podstawy kształtowania środowiska przyrodniczego osiedla mieszkaniowego Białoleka Dworska w Warszawie.* *Fragm. Faun.* 1981 T. 26.
15. **Hagvar S.** *Collembola* in Norwegian coniferous forests soils I. Relations to plant communities and soil fertility. *Pedobiologia.* 1982. vol. 24.
16. **Kuśka A.** Ryjkowce (*Coleoptera, Curculionidae*) rezerwatów przyrody Łęczzak koło Raciborza i Kopce koło Cieszyna — studium ekologiczno-faunistyczne. *Ochrona Przyrody,* 1982 R. 44.
17. **Lave L.B., Dowlatabadi H., McRae G.J., Morgan M.G., Rubin E.S.** Uncertainties of climate change. *Nature.* 1992 vol. 355.
18. **Overpeck J.T., Rind D., Goldberg R.** Climate -induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature.* 1990 vol. 343.
19. **Skibińska E.** Structure of *Sphecidae (Hymenoptera)* communities in urban green areas of Warsaw *Memorabilia Zool.* 1986 T. 41.
20. **Sterzyńska M.** Communities of *Collembola* in natural and transformed soils of the linden-oak-hornbeam sites of the Mazovian Lowland. *Fragm. Faun.* 1990 T. 34.
21. **Szyszko J.** State of *Carabidae (Col.)* fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment. *Treatises and Monographs, Warsaw Agric. Univ. Press.* Warsaw. 1983.
22. **Trojan P.** Analiza struktury fauny. *Memorabilia zool.* 1992, T. 47.
23. **Witkowski Z., Mazur M.** Rośliny i ryjkowce (*Coleoptera, Curculionidae*) warstwy zielnej w toku sukcesji wtórnej w grądzie Puszczy Niepołomickiej. *Studia Naturae, ser. A.* 1983, T. 27.

Summary

Predicted global changes of the Earth's climate may proceed in Poland according to two scenarios. This future climate will be a bit warmer than at present, either continental or atlantic. This means either aridization or humidization of our climate.

Four factors acting presently affect the diversity of forest fauna of the Polish lowland, and namely:

1. interconnection of site fertility and forest site,
2. stand age and the stage of successional series,
3. location of a site in regard to boundaries of forest type ranges,
4. impacts of human activities.

The changes occurring within the fauna consist in the inflow and vanishing of species, either increase or decrease of species numbers, changes of position in the structure of associations and the value of species diversity measures.

There is not any general trend of changes in the fauna as an entity. The changes in characteristics of specific diversity of the fauna are the least predictable ones. The following circumstances support the conservation of specific abundance of the fauna: environmental diversity in forests, the presence of tree stands of various age classes, diversification of economic exploitation forms, spatial mosaic diversity in forest landscape.

The following features may be predicted for the continental variant linked with the aridization of Polish climate:

1. impoverishment of species composition of coniferous forest fauna and the stability of this composition in broadleaved forests,
2. greater differentiation of domination structure in faunistic associations,
3. limitation of numbers of accessory species,
4. increasing share of xeric and termophilic forms,
5. decreasing species diversity in coniferous forest fauna and its preservation at the same level in broadleaved forests.

As for the Atlantic variant linked with humidization of the climate, one can predict an increase of species numbers in the coniferous forest fauna and this feature remaining stable in broadleaved forests, except for alderwood, the fauna of which will decline. The domination structure of associations will undergo to flattening, tending to a more even distribution. The numbers of accessory species will increase, especially ombro and hygrophilic ones. The specific diversity of coniferous forest fauna will increase, while that of broadleaved will stay without change.

In both variants of the climate change the group of species basic for the structure of associations will not change, but some shifts in position of individual species will however occur.