

Porównanie europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych w ocenie środowiska fizycznogeograficznego na podstawie charakterystycznych gatunków roślin lasów liściastych z klasy *Quercio-Fagetea*

*Comparison of European scales of ecological indicator values in assessing the natural environment on the basis of species characteristic for deciduous forest of class *Quercio-Fagetea**

EWA ROO-ZIELIŃSKA

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN,
00-818 Warszawa, ul. Twarda 51/55; e.roo@twarda.pan.pl

Zarys treści. Przedmiotem analizy porównawczej są trzy oryginalne europejskie skale ekologicznych liczb wskaźnikowych powstałe w różnych regionach geograficznych środkowej Europy: (1) H. Ellenberga i innych (1991) – w Niemczech, (2) E. Landolta (1977) – w Szwajcarii i (3) K. Zarzyckiego i innych (2002) – w Polsce. Wykorzystano zbiór gatunków roślin naczyniowych charakterystycznych dla lasów liściastych z klasy *Quercio-Fagetea*. Celem analizy jest odpowiedź na pytanie, na ile skale liczb ekologicznych wywodzące się z różnych części Europy Środkowej są zgodne (lub odmienne) w diagnozach ekologicznych tych samych gatunków wyrażonych przez trzy liczby wskaźnikowe (odpowiadające trzem skalom) dla każdej z sześciu cech środowiska geograficznego: trzech klimatycznych (światła L, temperatury T, stopnia kontynentalizmu K) i trzech glebowych (wilgotności F, kwasowości R oraz zawartości azotu N). Uzyskany wynik analizy porównawczej trzech europejskich skal wskazuje na wyraźne różnice: (1) Ellenberg ocenia większość gatunków jako wskaźniki obszarów suboceanicznych, a Landolt i Zarzycki jako przejściowych; (2) Zarzycki – jako wskaźniki gleb zasobnych, a pozostali autorzy skal – jako umiarkowanie zasobnych.

Słowa kluczowe: ekologiczne skale liczb wskaźnikowych, charakterystyczne gatunki roślin, środowisko fizycznogeograficzne, cechy klimatyczne, właściwości gleb.

„...koncepcja gatunków charakterystycznych wynika z przeświadczenia, że gatunki roślin wykazują różnice w zakresie tolerancji ekologicznej i na tej koncepcji opiera się uzasadnienie fitosocjologicznej metody fitoindykacji...”

Władysław Matuszkiewicz (1981)

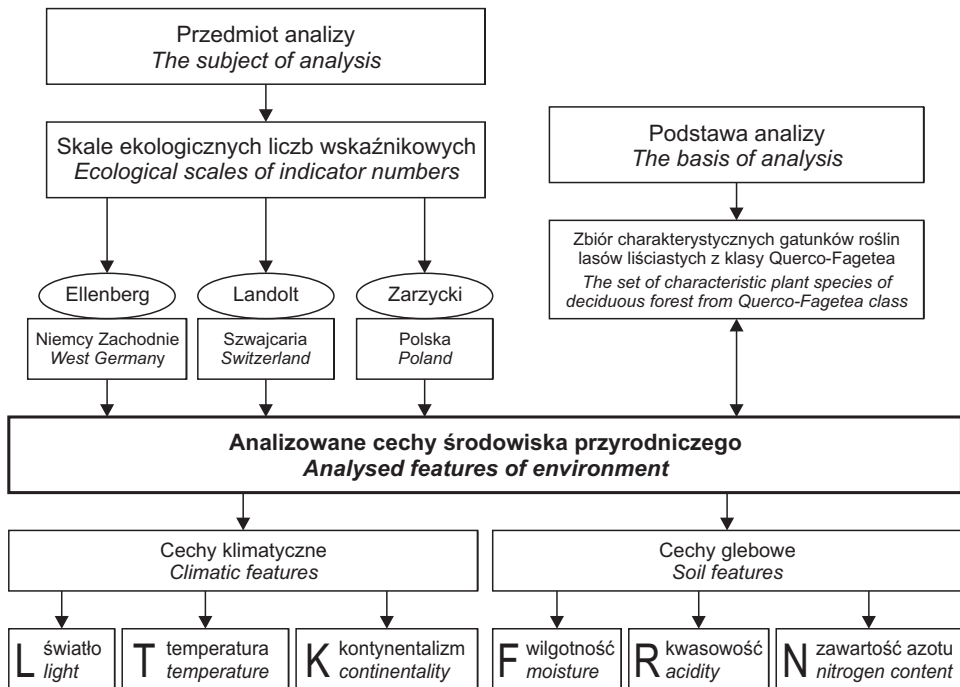
Wstęp

Różne przystosowania gatunków roślin do środowiska, zwłaszcza anatomiczno-fizjologiczne – budowa kwiatu i jego barwa, okres kwitnienia, budowa diaspor¹ związana ze sposobem rozprzestrzeniania się (Podbielkowski, 1991; Falińska, 1997; Motyka, 1962; Kershaw, 1978; Remmert, 1985) – powodują, że gatunki roślin mają określone spektra występowania w środowisku fizycznogeograficznym i dzięki temu mogą być wskaźnikami warunków środowiska, w których bytują. Opisują i definiują te wymagania różne skale ekologiczne opracowane dla wielu gatunków roślin (Ellenberg i inni, 1991; Landolt, 1977; Zarzycki i inni, 2002).

W prezentowanym opracowaniu przedmiotem analizy porównawczej są trzy oryginalne europejskie skale ekologicznych liczb wskaźnikowych powstałe w różnych regionach geograficznych środkowej Europy: (1) H. Ellenberga i innych (1991) – w Niemczech, (2) E. Landolta (1977) – w Szwajcarii i (3) K. Zarzyckiego i innych (2002) – w Polsce (ryc. 1). Porównanie to było możliwe, ponieważ skale te cechuje zbliżona koncepcja dotycząca oceny wymagań flory roślin naczyniowych względem tych samych sześciu czynników środowiska fizycznogeograficznego: trzech klimatycznych (światła – L, temperatury – T, stopnia kontynentalizmu – K) i trzech glebowych (wilgotności – F, kwasowości – R oraz zawartości azotu – N). Do analizy porównawczej trzech wymienionych skal wykorzystano zbiór gatunków roślin naczyniowych charakterystycznych dla lasów liściastych z klasy *Querco-Fagetea* znajdujący się w *Przewodniku do oznaczania zbiorowisk roślinnych* W. Matuszkiewicza (2001). O wyborze tych gatunków jako „narzędzia” służącego porównaniu trzech skal przesądziło to, że jest to bogata pod względem liczby gatunków klasa o dużym zróżnicowaniu wewnętrznym – zwłaszcza wilgotnościowo-żyźnościowym (fot. 1). Dokładną charakterystykę florystyczno-ekologiczną jednostek fitosocjologicznych zbiorowisk leśnych z klasy *Querco-Fagetea* znajdzie czytelnik we wspomnianym *Przewodniku...* (Matuszkiewicz W., 2001) oraz w *Zespołach leśnych Polski* (Matuszkiewicz J.M., 2001).

¹ Utwory służące do rozsiewania i rozprzestrzeniania się roślin, np. zarodniki, nasiona, owoce (Szwejkowscy, 1993, s. 123)

Zróznicowane położenie geograficzne i cechy klimatu krajów, z których wywodzą się poszczególne skale fitoindykacyjne znalazły wyraz w odmiennym szacowaniu przez wymienionych autorów tych samych gatunków roślin jako wskaźników autekologicznych warunków środowiska fizycznogeograficznego (Roo-Zielińska, 2004; Roo-Zielińska i inni, 2007).



Ryc. 1. Trzy skale ekologicznych liczb wskaźnikowych jako przedmiot analizy porównawczej i wykorzystane w tym celu elementy

The three scales of ecological indicator values (after Ellenberg, Landolt and Zarzycki), providing the basis for the comparative analysis

Przyjęto tezę, że najważniejsze elementy środowiska: klimat, podłoże, stonunki wodne i gleby są wyznaczone przez położenie geograficzne. Celem analizy jest zatem odpowiedź na pytanie, na ile skale liczb ekologicznych wywodzące się z różnych części Europy Środkowej są zgodne (lub odmienne) w diagnozach ekologicznych (klimatycznych i glebowych) tych samych gatunków wyrażonych przez trzy liczby wskaźnikowe (odpowiadające trzem skalom) dla każdej cechy środowiska geograficznego.

Porównania trzech skal liczb ekologicznych podjęto się z kilku powodów: (1) brak jest w literaturze tego typu porównań, a jeśli są, to dotyczą najwyższej

dwóch systemów (Dzwonko i Loster, 2000; Kozłowska, 1991; Roo-Zielińska, 2004); (2) wszystkie skale pochodzą z Europy Środkowej; (3) charakteryzują te same czynniki środowiska przyrodniczego – klimatyczne i glebowe oraz (4) podają skale ekologiczne, których podstawą jest zbliżona idea; (5) podobną analizę porównawczą przeprowadzono już dla charakterystycznych gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (Roo-Zielińska, 2004), dzięki temu będzie możliwe porównanie wyników otrzymanych na podstawie dwóch zbiorów gatunków oraz sformułowanie pewnych prawidłowości i wniosków.

Przyjęte założenie, że „gatunek charakterystyczny jakiejś jednostki fitosocjologicznej (syntaksonu)² jest to taki gatunek, który na pewnym terytorium ma punkt ciężkości występowania w danym syntaksonie”, pozwala traktować te jednostki, z właściwym im zestawem gatunków charakterystycznych, jako wzorcowe – „reperowe” wskaźniki warunków środowiska fizycznogeograficznego (Matuszkiewicz W., 2001). Jest to bowiem jednocześnie kategoria gatunków diagnostycznych, które mogą być subtelnymi wskaźnikami ekologii zbiorowiska roślinnego. Warto również podkreślić, że grupy ekologiczne gatunków, związane z siedliskami pod jakimś względem skrajnymi (np. gatunki kalcyfilne, acydofilne, hydrofilne, nitrofilne itp.) pokrywają się w dużej mierze z grupami gatunków charakterystycznych i wyróżniających jednostek fitosocjologicznych, które mają swoją wyraźną charakterystykę ekologiczną.

W opracowaniu uwzględniono tylko gatunki roślin naczyniowych – dla nich bowiem istnieją pełne bazy danych dysponujące różnorodnymi diagnozami ekologicznymi. Niestety pozostałe grupy roślin, takie jak mchy i porosty, takich opracowań nie mają (lub są one bardzo niekompletne).

Metody analizy – ekologiczne skale liczb wskaźnikowych

Klasyfikacje (rangowania) gatunków roślin na podstawie ich amplitudy ekologicznej można określić jako pseudoilościowe. Nie mierzalne, a szacunkowe diagnozy siedliskowe gatunków roślin wyrażone są przez liczby wskaźnikowe – przypisane im pewnego rodzaju „etykiety” w postaci liczb. Skale ekologicznych liczb wskaźnikowych mogą być różne, zależnie od przyjętej arbitralnie przez autora rozpiętości (liczby stopni).

W opracowaniu wykorzystano: (1) bazę danych PHANART *Database of Centralearopean Vascular Plants* (Lindacher, red., 1995), w której znajdują się ekologiczne skale gatunkowe H. Ellenberga i innych (1991) i E. Landolta (1977) oraz (2) wykaz liczb wskaźnikowych K. Zarzyckiego (Zarzycki i inni, 2002).

Skale ekologiczne trzech autorów, mimo że cechuje je ta sama koncepcja i myśl przewodnia, różnią się liczbą stopni. Ellenberg (1991) szacuje wymaga-

² Jednostka syntaksonomiczna (syntakson) – jednostka systematyczna bez względu na rangę w hierarchicznie ujętym florystyczno-fitosocjologicznym systemie zbiorowisk roślinnych według zasad J. Brauna-Blanqueta (Matuszkiewicz W., 2001).



Fot. 1. Zespoły leśne należące do klasy *Querceto-Fagetea*

A – świetlista dąbrowa *Potentillo albae-Quercetum* w Korytowie (środkowa Polska) (fot. J.M. Matuszkiewicz), B – grąd *Tilio-Carpinetum* w środkowej Polsce (fot. J. Hereźniak)
 C – zespół żyźnej buczyny (*Galio odorati-Fagetum*) na Pomorzu (fot. J.M. Matuszkiewicz), D – acydofilna buczyna (*Luzulo pilosae-Fagetum*) w okolicach Kartuz (fot. J.M. Matuszkiewicz)

Forest communities belonging to class *Querceto-Fagetea*:

A – subxero-thermophilous oak and pine-oak forest (*Potentillo albae-Quercetum*) at Korytów (central Poland), *Campanula persicifolia* in the foreground (photo J.M. Matuszkiewicz), B – oak-lime-hornbeam forest (*Tilio-Carpinetum*) in central Poland (photo J. Hereźniak), C – forb-rich beech forest (*Galio odorati-Fagetum*) in Pomerania (photo J.M. Matuszkiewicz), D – acidophilous beech forest (*Luzulo pilosae-Fagetum*) in the Kartuzy area (photo J.M. Matuszkiewicz)

nia ekologiczno-siedliskowe gatunków w skali 9-stopniowej (dla wilgotności gleb F – 12-stopniowej), natomiast Landolt i Zarzycki w skali 5-stopniowej (Landolt, 1977; Zarzycki i inni, 2002) – wszystkie wyrażone są wzrostem natężenia danego czynnika.

Skala K. Zarzyckiego i innych (2002), choć opisana 5 stopniami, w wielu przypadkach określa amplitudę wymagań gatunków zakresem liczb wskaźnikowych. Po konsultacji twórca skali zaproponował, aby w takich przypadkach przyjąć wartość średnią zakresu wartości liczb wskaźnikowych; na przykład: miodunka ćma (*Pulmonaria obscura*) przy zakresie wilgotności W 4-5 otrzymała wartość W4,5.

System Ellenberga określa tzw. „liczbą 0” szeroką amplitudę ekologiczną gatunków, które nie mają wartości wskaźnikowej. E. Landolt (1977) dla zdecydowanej większości z nich podaje wartości przeciętne, a K. Zarzycki i inni (2002) – przeciętne lub szeroki zakres liczb wskaźnikowych. Na przykład pierwiosnek wyniosły (*Primula elatior*), dla którego podany został zakres T 4-1 może występować zarówno w umiarkowanie ciepłych (T4) jak i najzimniejszych obszarach kraju (T1), a to oznacza, że gatunek ten nie jest wskaźnikiem warunków termicznych (Zarzycki i inni, 2002).

Pełny opis skal wymagań gatunków roślin-wskaźników warunków środowiska fizycznogeograficznego znajdzie czytelnik w pracy E. Roo-Zielińskiej (2005) oraz E. Roo-Zielińskiej i innych (2007). Na potrzeby tego artykułu podano je w wersji zmodyfikowanej, po sprowadzeniu skal do jednej wspólnej – jak w systemie Landolta – 5-stopniowej skali (tab. 1).

Tabela 1. Sposób sprowadzenia dwóch skal – Ellenberga i Zarzyckiego do jednej wspólnej – jak w systemie Landolta – 5-stopniowej skali

The way of modification scales of Ellenberg and Zarzycki to common as in Landolt system – 5-degree scale

Skala Landolta <i>Landolt scale</i>	Skala Ellenberga <i>Ellenberg scale</i>		Skala Zarzyckiego <i>Zarzycki scale</i>
L T K F R N	L T F R N	K	L T K F R N
1	1	1-2	1
2	2-3	3-4	1,5-2
3	4-5	5	2,5-3
4	6-7	6-7	3,5-4
5	8-9	8-9	4,5-5

Cechy środowiska fizycznogeograficznego: L światło, T temperatura, K kontynentalizm, F wilgotność gleb, R kwasowość gleb, N zawartość azotu w glebie.

Features of geographical environment: L light, T temperature, K continentality, F soil moisture, R soil acidity, N soil nitrogen.

Kolejne etapy analizy porównawczej ilustruje rycina 2. Każdy analizowany czynnik środowiska przyrodniczego został porównany w następujących kombinacjach systemów: Ellenberga i Landolta, Ellenberga i Zarzyckiego, Landolta i Zarzyckiego. Nie brano pod uwagę gatunków o szerokiej amplitudzie ekologicznej oraz tych, dla których brakowało informacji. W tych przypadkach zostały one usunięte także z systemu porównywanego, toteż w „parach” systemów porównywana była ta sama liczba gatunków (choć była różna między cechami i parami systemów).

Porównanie trzech oryginalnych skal o różnej rozpiętości było możliwe przez sprowadzenie liczb wskaźnikowych do pewnego wspólnego „mianownika” (por. tab. 1). W tym celu dla każdej porównywanej „pary” systemów zastosowano następujące kroki:

- 1) obliczono wartości średnie (\bar{x}) i odchylenie standardowe (s);
- 2) przeprowadzono standaryzację liczb wskaźnikowych według wzoru $u = (x - \bar{x})/s$;
- 3) dla każdego gatunku obliczono różnice wartości cech standaryzowanych, które następnie zamieniono na wartości bezwzględne;
- 4) cały zbiór uporządkowano według wzrastającej wartości bezwzględnej różnicy cech.

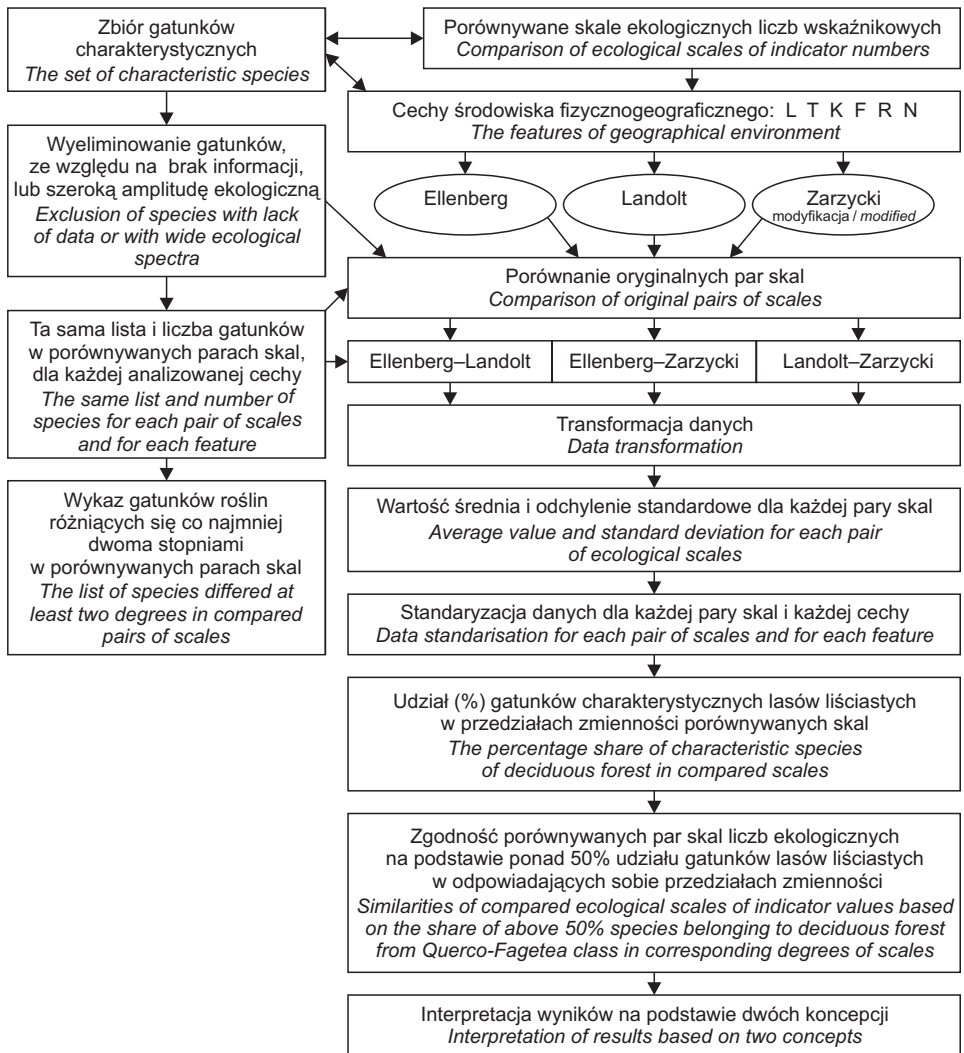
W ten sposób otrzymano zbiór o powtarzających się wartościach bezwzględnych różnic standaryzowanych cech (liczb wskaźnikowych), co pozwoliło na porównanie każdej pary systemów ekologicznych w stosunku do sześciu charakterystyk środowiska przyrodniczego (ryc. 2). Natomiast dla każdej analizowanej cechy środowiska przyrodniczego i każdej „pary” porównywanych systemów podano: liczbę gatunków oraz zakresy ich wymagań według oryginalnych skal liczb wskaźnikowych (tab. 2).

Przyjęto, że pary liczb wskaźnikowych porównywanych systemów są zgodne wówczas, gdy udział procentowy zbioru gatunków w odpowiadających sobie stopniach skal przekracza 50%.

Interpretacja wyników dotyczyła dwóch zagadnień:

- 1) próby wyjaśnienia przyczyn zdecydowanych różnic trzech skal autorskich w diagnozach siedliskowych gatunków – wskaźników cech środowiska fizycznogeograficznego, choć w różnej ich liczbie, zależnie od analizowanego czynnika środowiska fizycznogeograficznego; uwzględniono tylko gatunki różniące się co najmniej (i najczęściej) dwoma stopniami skali;
- 2) próby wyjaśnienia przyczyn zgodności i różnic między porównywanymi skalami europejskimi.

Aby uprościć procedury, interpretację uzyskanych wyników przeprowadzono na podstawie zmodyfikowanej skali 5-stopniowej (tab. 3).



Ryc. 2. Schemat porównania trzech skal ekologicznych liczb wskaźnikowych: Ellenberga, Landolta i Zarzyckiego na podstawie zbioru charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* dla każdej z sześciu cech środowiska fizycznogeograficznego: światła (L), temperatury (T), stopnia kontynentalizmu (K), wilgotności gleb (F), ich kwasowości (R) oraz zawartości azotu (N)

Scheme comparing the three ecological indicator values scales after Ellenberg, Landolt and Zarzycki. Ecological indicator values are compared for species characteristic of class *Quercus-Fagetea*. The six features of the geographical environment referred to were:

- (a) climatic (light L, temperature T and continentality K) and (b) soil related (moisture F, acidity R and nitrogen content N)

Tabela 2. Liczba gatunków oraz amplituda ekologiczna zbioru charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetum* w parach porównywanych oryginalnych skal liczb wskaźnikowych

Number and ecological spectra of species characteristic for class *Quercus-Fagetum* in compared pairs of original indicator scales

Pary skal <i>Pairs of scales</i>	Cechy środowiska fizycznogeograficznego <i>Features of geographical environment</i>											
	L		T		K		F		R		N	
	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max	liczba gatunków <i>species number</i>	min-max
Ellenberg Landolfa	101	2-7 1-4	83	4-9 2-5	105	1-9 1-4	98	2-9 2-5	93	2-9 2-4	95	2-9 2-4
Ellenberg Zarzyckiego	101	2-7 1-4	83	4-9 1,5-5	105	1-9 1,5-4	98	2-9 2,5-5	93	2-9 2,5-5	95	2-9 2,5-5
Landolfa Zarzyckiego	101	1-4 1-4	83	2-5 1,5-5	105	1-4 1,5-4	97	2-5 2,5-5	93	2-4 2,5-5	95	2-4 2,5-5

Tabela 3. Zmodyfikowane skale wymagań gatunków roślin-wskaźników sześciu cech środowiska przyrodniczego
 Modified scales of ecological requirements of plant species as indicators of six features of natural environment

Rozpiętość skal <i>The range of scales</i>	Gatunki-wskaźniki / <i>Species as indicators of</i>					
	L	T	K	F	R	N
	stanowisk / <i>sites</i>	obszarów / <i>regions</i>		gleb / <i>soils</i>		
1	głębokiego cienia <i>deep shade</i>	najzimniejszych <i>coldest</i>	oceanicznych <i>atlantic</i>	skrajnie suchych <i>very dry</i>	silnie kwaśnych <i>highly acidic</i>	skrajnie ubogich <i>extremely poor</i>
2	cienia <i>moderate shade</i>	zimnych <i>moderately cold</i>	suboceanicznych <i>subatlantic</i>	suchych <i>dry</i>	kwaśnych <i>acidic</i>	ubogich <i>poor</i>
3	półcienia <i>half-shade</i>	umiarkowanie chłodnych <i>moderately cool</i>	przejęciowych <i>no continentality preference</i>	świeżych <i>fresh</i>	umiarkowanie kwaśnych <i>moderately acidic</i>	umiarkowanie zasobnych <i>moderately poor</i>
4	naświetlonych <i>moderate light</i>	umiarkowanie ciepłych <i>moderately warm</i>	subkontynentalnych <i>subcontinental</i>	wilgotnych <i>moist</i>	słabo kwaśnych i słabo zasadowych <i>neutral</i>	zasobnych <i>rich</i>
5	w pełni naświetlonych <i>full light</i>	najcieplejszych <i>warmest</i>	kontynentalnych <i>continental</i>	mokrych <i>wet</i>	zasadowych <i>alkaline</i>	bardzo zasobnych <i>very rich</i>

Analiza porównawcza ekologicznych skal liczb wskaźnikowych na podstawie udziału charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* w przedziałach zmienności porównywanych skal

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników intensywności światła [L]

Udziały procentowe w przedziałach zmienności porównywanych skal wskazują, że amplituda gatunków charakterystycznych lasów liściastych – wskaźników intensywności światła jest stosunkowo szeroka i waha się według skali Ellenberga (L_E) w zakresie 2–4, natomiast według skal Landolta (L_L) i Zarzyckiego (L_Z) 1–4, tzn. od wskaźników stanowisk głębokiego cienia do stanowisk umiarkowanego światła. Według skal Ellenberga i Zarzyckiego większość gatunków lasów liściastych – to wskaźniki stanowisk umiarkowanie zacienionych (L3): odpowiednio L_E około 62%, L_Z około 56%, natomiast według skali Landolta 61% to wskaźniki siedlisk zacienionych (L2), a 5% głęboko zacienionych (L1). Według skali Zarzyckiego znaczący udział (ponad 20%) stanowią gatunki wskaźniki umiarkowanego światła (L4), podczas gdy według skali Landolta stanowią one 1% (jeden gatunek – złoć mała, *Gagea minima*). Zdaniem wszystkich trzech autorów w zbiorze charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* brak gatunków wskazujących na siedliska w pełni naświetlone (L5) – tabela 4.

Tabela 4. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* – wskaźników intensywności światła L w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of species characteristic for class *Quercus-Fagetea* as indicators of light intensity L in compared scales

Stanowiska <i>Sites of</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	L_E	L_L	L_Z
		% gatunków/species (%)		
Głębokiego cienia <i>Deep shade</i>	1	0,0	5,0	2,0
Cienia <i>Moderate shade</i>	2	26,7	61,4	21,8
Umiarkowanego cienia <i>Half-shade</i>	3	62,4	32,7	55,5
Umiarkowanego światła <i>Moderate light</i>	4	10,9	1,0	20,8
Pełnego światła <i>Full light</i>	5	0,0	0,0	0,0

Skale światła L: L_E – Ellenberga, L_L – Landolta, L_Z – Zarzyckiego.

Light scales L after: L_E – Ellenberg, L_L – Landolt, L_Z – Zarzycki.

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników warunków termicznych [T]

Udziały procentowe w przedziałach zmienności porównywanych skal wskazują, że amplituda gatunków lasów liściastych – wskaźników warunków termicznych jest stosunkowo wąska w przypadku skali Ellenberga (T3–5). Można tu wyróżnić dwie grupy wskaźników: obszarów umiarkowanie chłodnych (T3 około 58%) oraz umiarkowanie ciepłych (T4, 41%) – tylko jeden gatunek, dąb omszony (*Quercus pubescens*), jest według skali Ellenberga wskaźnikiem obszarów najcieplejszych (T5). Rozpiętość skal Landolta i Zarzyckiego jest szersza o jeden stopień (T2–5) i dominują także wskaźniki obszarów umiarkowanie chłodnych i umiarkowanie ciepłych, jednak według skali Zarzyckiego zdecydowana większość gatunków to wskaźniki obszarów umiarkowanie ciepłych (T4, około 68%), znaczący udział mają też gatunki obszarów umiarkowanie chłodnych (T2) i najcieplejszych (T5) – po około 16%. Według skali polskiego autora jeden gatunek – jarzianka większa (*Astrantia major*) może być wskaźnikiem obszarów zimnych, zwłaszcza w górach (T2). Według skali Ellenberga natomiast takich wskaźników brak. Według diagnozy ekologicznej trzech autorów w zbiorze charakterystycznych gatunków lasów liściastych nie ma gatunków wskazujących na obszary najzimniejsze (T1) – tabela 5.

Tabela 5. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* – wskaźników warunków termicznych T w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of species characteristic for class *Quercus-Fagetea* as indicators of temperature T in compared scales

Obszary <i>Regions</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	T_E	T_L	T_Z
		% gatunków/species (%)		
Najzimniejsze <i>Coldest</i>	1	0,0	0,0	0,0
Zimne <i>Moderately cold</i>	2	0,0	8,4	1,2
Umiarkowanie chłodne <i>Moderately cool</i>	3	57,8	43,4	15,7
Umiarkowanie ciepłe <i>Moderately warm</i>	4	41,0	39,8	67,5
Najcieplejsze <i>Warmest</i>	5	1,2	8,4	15,7

Skale temperatury T: T_E – Ellenberga, T_L – Landolta, T_Z – Zarzyckiego.
Temperature scales T after: T_E – Ellenberg, T_L – Landolt, T_Z – Zarzycki.

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników kontynentalizmu klimatu [K]

Udziały procentowe w przedziałach zmienności porównywanych skal wskazują, że amplituda gatunków charakterystycznych lasów liściastych – wskaźników stopnia kontynentalizmu jest najszersza w przypadku skali Ellenberga i waha się w zakresie K_E 1–5, tzn. od gatunków oceanicznych do kontynentalnych. Skale K Landolta i Zarzyckiego nie wskazują na gatunki kontynentalne (K5), a Zarzyckiego – także na oceaniczne (K1). Według skali K Ellenberga przeważają gatunki suboceaniczne (K2, 68%), znaczący udział mają też gatunki oceaniczne (około 18%), a niewielki – subkontynentalne (K4) i kontynentalne (K5). Jeden gatunek według tego autora – miodunka ćma (*Pulmonaria obscura*) – jest wskaźnikiem obszarów subkontynentalnych (K4) i jeden – trzmielina brodawkowata (*Euonymus verrucosus*) – kontynentalnych (K5). Natomiast według skali Landolta dominują gatunki przejściowe (K3, 48,6%), znaczącą grupę stanowią także gatunki suboceaniczne (K2), a jeden tylko gatunek, turzycza zgrzeblowata (*Carex strigosa*), jest wskaźnikiem obszarów oceanicznych (K1). Z analizy skali Zarzyckiego jednoznacznie wynika, że dominują gatunki przejściowe (K3 – około 85%), brak natomiast gatunków o skrajnych wymaganiach względem kontynentalizmu klimatu – oceanicznych (K1) i kontynentalnych (K5). Według trzech autorów skal gatunkiem wybitnie oceanicznym jest turzycza zgrzeblowata (*Carex strigosa*) – K1-2. Warto zwrócić uwagę, że wedle Zarzyckiego i Landolta większość gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* – to wskaźniki obszarów o klimacie przejściowym (K3), natomiast według Ellenberga – o klimacie suboceanicznym (K2) – tabela 6.

Tabela 6. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* – wskaźników stopnia kontynentalizmu K w przedziałach zmienności porównywanych skal
The share of species characteristic for class *Quercus-Fagetea* as indicators of climate continentality K in compared scales

Obszary <i>Regions</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	K_E	K_L	K_Z
		% gatunków/species (%)		
Oceaniczne <i>Atlantic</i>	1	18,1	1,0	0,0
Suboceaniczne <i>Subatlantic</i>	2	67,6	41,9	7,6
Przejściowe <i>No continentality preference</i>	3	12,4	48,6	84,8
Subkontynentalne <i>Subcontinental</i>	4	1,0	8,6	7,7
Kontynentalne <i>Continental</i>	5	1,0	0,0	0,0

Skale kontynentalizmu K: K_E – Ellenberga, K_L – Landolta, K_Z – Zarzyckiego.
Continentality scales K after: K_E – Ellenberg, K_L – Landolt, K_Z – Zarzycki.

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników wilgotności gleb [F]

Udziały procentowe w przedziałach zmienności porównywanych skal wskazują, że amplituda gatunków lasów liściastych – wskaźników wilgotności gleb mieści się w przypadku skal Ellenberga i Landolta w zakresie F2–5, czyli od gatunków sucholubnych (F2) do gatunków-wskaźników gleb mokrych (F5), natomiast w przypadku skali Zarzyckiego zakres jest węższy: od wskaźników gleb świeżych (F3) do mokrych (F5). Według trzech porównywanych skal wśród charakterystycznych gatunków lasów liściastych przeważają wskaźniki siedlisk świeżych (F3 – F_E około 59%; F_L 50%; F_Z 55%), choć liczne (zwłaszcza w przypadku skali Zarzyckiego) są też wskaźniki gleb wilgotnych (F4). Znaczną grupę w przypadku skali Landolta stanowią także gatunki – indykatory gleb suchych (22%), w tejże skali tylko jeden gatunek – śledziennica skrętołista (*Chrysosplenium alternifolium*) jest wskaźnikiem gleb mokrych (F5). Ellenberg zaledwie dwa gatunki – groszek czerniejący (*Lathyrus niger*) oraz dąb omszony (*Quercus pubescens*) ocenił jako wskaźniki siedlisk suchych (F2 – około 2%). Według diagnoz ekologicznych wszystkich autorów w zbiorze charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Querco-Fagetea* brak jest gatunków wskazujących na siedliska skrajnie suche (F1) – tabela 7.

Tabela 7. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Querco-Fagetea* – wskaźników wilgotności gleb F w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of species characteristic for class *Querco-Fagetea* as indicators of soil moisture F in compared scales

Gleby Soils	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	F_E	F_L	F_Z
		% gatunków/species (%)		
Skrajnie suche <i>Very dry</i>	1	0,0	0,0	0,0
Suche <i>Dry</i>	2	2,1	22,3	0,0
Świeże <i>Fresh</i>	3	58,7	50,0	54,6
Wilgotne <i>Moist</i>	4	31,6	26,5	41,2
Mokre <i>Wet</i>	5	7,6	1,2	4,1

Skale wilgotności F: F_E – Ellenberga, F_L – Landolta, F_Z – Zarzyckiego.

Moisture scales F after: F_E – Ellenberg, F_L – Landolt, F_Z – Zarzycki.

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników kwasowości gleb [R]

Udziały procentowe w przedziałach zmienności porównywanych skal wskazują, że amplituda gatunków lasów liściastych – wskaźników kwasowości gleb jest zróżnicowana i mieści się w zakresie: skali Ellenberga – R2-5, tzn. od gatunków – wskaźników gleb kwaśnych do zasadowych, skali Landolta R2-4, tzn. od wskaźników gleb kwaśnych do słabo kwaśnych i słabo zasadowych, a skali Zarzyckiego w przedziale R3-5, tj. od wskaźników gleb umiarkowanie kwaśnych do zasadowych. Trzy porównywane skale wskazują, że optimum występowania większości charakterystycznych gatunków lasów liściastych to siedliska słabo kwaśne i słabo zasadowe (R4). Drugą dość znaczącą grupę stanowią według skal: Ellenberga – wskaźniki gleb zasadowych (R5, około 22%), Landolta – gleb umiarkowanie kwaśnych (R4, 43%), a Zarzyckiego – gleb zasadowych (R5, 42%). Według skali Ellenberga tylko jeden gatunek, kosmatka gajowa (*Luzula luzuloides*), jest wskaźnikiem gleb kwaśnych (R2, 1,1%). W skali Zarzyckiego natomiast dwa gatunki: czartawa drobna (*Circaea alpina*) i kosmatka gajowa (*Luzula luzuloides*) są wskaźnikami gleb umiarkowanie kwaśnych (R3). Według diagnozy ekologicznej trzech autorów w badanym zbiorze nie ma gatunków wskazujących na siedliska silnie kwaśne (R1) – tabela 8.

Tabela 8. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetum* – wskaźników kwasowości gleb R w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of species characteristic for class *Quercus-Fagetum* as indicators of soil acidity R in compared scales

Gleby Soils	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	R_E	R_L	R_Z
		% gatunków/species (%)		
Silnie kwaśne <i>Highly acidic</i>	1	0,0	0,0	0,0
Kwaśne <i>Acidic</i>	2	1,1	10,8	0,0
Umiarkowanie kwaśne <i>Moderately acidic</i>	3	11,8	43,0	2,2
Słabo kwaśne i słabo zasadowe <i>Neutral</i>	4	65,6	46,2	55,9
Zasadowe <i>Alkaline</i>	5	21,5	0,0	41,9

Skale kwasowości R: R_E – Ellenberga, R_L – Landolta, R_Z – Zarzyckiego.

Acidity scales Rafer: R_E – Ellenberg, R_L – Landolt, R_Z – Zarzycki.

Porównanie skal wymagań gatunków roślin – wskaźników zawartości azotu w glebach [N]

Rozpiętość skali N Ellenberga jest najszersza, tzn. wskazuje zarówno na gatunki oligotroficzne (N2), jak i wskaźniki siedlisk bardzo zasobnych (N5). Skala Landolta jest węższa – od gatunków oligotroficznych (N2) do wskaźników gleb zasobnych (N4). Zarzycki wskazuje na dwie grupy wskaźników: gleb umiarkowanie zasobnych (Tr3), a najliczniejszą tworzą wskaźniki gleb żyznych, zasobnych w mineralne związki azotowe (Tr4 – około 82%). Na podstawie skali zawartości azotu N Ellenberga także stwierdzono przewagę grupy gatunków siedlisk zasobnych w azot (N około 43%), a według Landolta – siedlisk umiarkowanie zasobnych (N3, 54%). Następne co do wielkości grupy, to według skal Ellenberga i Zarzyckiego wskaźniki gleb umiarkowanie zasobnych w azot (N3 – odpowiednio 39% i 16%), według skali Landolta – indykatory gleb zasobnych (N4, 26%), znaczącą grupę według tego autora stanowią też gatunki oligotroficzne (N2, 20%). Według skali Zarzyckiego tylko dwa gatunki – perz psi (*Agropyron caninum*) oraz ziarnopłon (jaskier) wiosenny (*Ranunculus ficaria*) są wskaźnikami gleb bardzo zasobnych Tr5 – około 2%). Według wszystkich autorów brak gatunków wskazujących na siedliska skrajnie ubogie (N1) w zbiorze charakterystycznych gatunków lasów liściastych – tabela 9.

Tabela 9. Udział gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* – wskaźników zawartości azotu w glebach N w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of species characteristic for class *Quercus-Fagetea* as indicators of nitrogen content in the soil N in compared scales

Gleby Soils	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	N_E	N_L	N_Z
		% gatunków/species (%)		
Skrajnie ubogie <i>Extremely poor</i>	1	0,0	0,0	0,0
Ubogie <i>Poor</i>	2	10,5	20,0	0,0
Umiarkowanie zasobne <i>Moderately poor</i>	3	38,9	53,7	15,8
Zasobne <i>Rich</i>	4	43,2	26,3	82,1
Bardzo zasobne <i>Very rich</i>	5	7,4	0,0	2,1

Skale zawartości azotu N: N_E – Ellenberga, N_L – Landolta, N_Z – Zarzyckiego.

Nitrogen scales N after: N_E – Ellenberg, N_L – Landolt, N_Z – Zarzycki.

Zgodności i różnice trzech porównywanych skal w diagnozie siedliskowej gatunków lasów liściastych – wskaźników warunków środowiska fizycznogeograficznego

W wyniku przeprowadzonej analizy porównawczej trzech systemów liczb ekologicznych na podstawie zbioru 95 gatunków charakterystycznych lasów liściastych wykazano, że wśród nich jest aż 52, których wymagania siedliskowe zostały zdecydowanie różnie określone przez trzech autorów skal, zależnie od każdego z sześciu czynników siedliskowych. Różnice te przedstawiono w zmodyfikowanych skalach 5-stopniowych Ellenberga i Zarzyckiego, dla których podano również oryginalne liczby wskaźnikowe. Uwzględniono tylko gatunki różniące się co najmniej (i najczęściej) dwoma stopniami skali (tab. 10).

Dziewięć gatunków różni się pod względem wymagań względem intensywności światła, a dotyczy to przede wszystkim skal Landolta i Zarzyckiego. Landolt ocenia te gatunki przeważnie o 2 stopnie skali niżej, tzn. jako wskaźniki stanowisk cienistych (L_L2)³, lub wybitnie cienistych (L_L1), a Zarzycki – umiarkowanie naświetlonych (L_Z 3,5–4) i umiarkowanego cienia (L_Z 2,5–3). Jeden gatunek, czartawa drobna (*Circaea alpina*), to według skali Zarzyckiego wskaźnik stanowisk głębokiego cienia (L_Z1) – tabela 10.

Osiem gatunków różni się rolą wskaźnikową względem warunków termicznych i dotyczy to skal trzech autorów. Landolt ocenia gatunki przeważnie o dwa stopnie niżej niż Ellenberg, a zwłaszcza Zarzycki. Pięć gatunków to u Landolta wskaźniki obszarów zimnych (T_L2), a według Zarzyckiego umiarkowanie ciepłych (T_Z3,5). Trzy gatunki to u Landolta wskaźniki obszarów umiarkowanie chłodnych (T_L3), a u Zarzyckiego – najcieplejszych (T_Z 4,5–5). Systemy liczb wskaźnikowych Ellenberga, Landolta i Zarzyckiego odmiennie oceniają dwa gatunki jako wskaźniki warunków termicznych. Przyłuszczkę pospolitą (*Hepatica nobilis*) i jaskier kosmaty (*Ranunculus lanuginosus*) Landolt uważa za wskaźniki obszarów zimnych (T_L2), Ellenberg – umiarkowanie ciepłych (T_E6-7), a Zarzycki – najcieplejszych (Z4,5) – tabela 10.

Sześć gatunków jest różnie ocenionych pod względem stopnia kontynentalizmu. Cztery spośród nich według Zarzyckiego, a dwa wg Landolta wskazują na obszary subkontynentalne (K_Z 3,5-4; K_L4). U Ellenberga i Landolta trzy – choć różne – gatunki, wskazują na obszary suboceaniczne (K_E2-3; K_L2) – tabela 10.

Tylko w przypadku jednego gatunku, złoci małej (*Gagea minima*), stwierdzono różnice określenia wymagań względem wilgotności gleb; według Lan-

³ Pierwsza litera oznacza cechę, która podlega analizie (L – światło, T – temperatura, K – kontynentalizm, F – wilgotność, R – kwasowość, N – zawartość azotu w glebie), druga litera oznacza pierwszą literę nazwiska autora skali (E – Ellenberg, Z – Zarzycki, L – Landolt); cyfry oznaczają zakres zmienności skali.

dolta gatunek ten jest wskaźnikiem gleb suchych (F_L2), według Zarzyckiego zaś – wilgotnych (F_Z4). Zdaniem Ellenberga jest to wskaźnik gleb świeżych (tabela 10).

Twórcy skal różnie oceniają rolę wskaźnikową aż 25 gatunków względem kwasowości gleb. Najwięcej różnic stwierdzono między skalą Landolta i Zarzyckiego. Według Landolta są to w większości gatunki wskazujące na gleby kwaśne i umiarkowanie kwaśne (R_L2-3), natomiast według Zarzyckiego – na słabo kwaśne i słabo zasadowe (R_Z3,5), a nawet zasadowe (R_Z3,5-5). Jaskrawe różnice (aż trzy stopnie) dotyczą skal kwasowości Landolta i Zarzyckiego względem trzech gatunków: paprotnika Brauna (*Polystichum braunii*), pióropusznika strusiego (*Matteucia struthiopteris*) oraz szczawiu gajowego (*Rumex sanguineus*). Według skali Landolta są to wskaźniki gleb kwaśnych (R_L2), a według Zarzyckiego – zasadowych. U Ellenberga są to wskaźniki gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (R_E6-7) – tabela 10.

Czternaście gatunków roślin różni się pod względem skal wymagań odnośnie do zawartości azotu w podłożu. Różnice te w większości dotyczą skal Landolta i Zarzyckiego. Dziesięć spośród nich Landolt kwalifikuje jako wskaźniki siedlisk ubogich w azot (N_L2), a Zarzycki siedlisk zasobnych (N_Z3,5-4). Trzy gatunki: zawilec żółty (*Anemone ranunculoides*), dzwonek pokrzywolistny (*Campanula trachelium*) oraz czosnek niedźwiedzi (*Allium ursinum*) są w skali Ellenberga wskaźnikami gleb bardzo zasobnych w azot (N_E8) – tabela 10.

Interpretacja „niezgodności” diagnoz siedliskowych grupy 52 gatunków według trzech systemów liczb wskaźnikowych jest trudna i nie może być jednoznaczna. Różnice te można tłumaczyć przesunięciem spektrum (optimum) ekologicznego gatunków w różnych częściach arealu – jest to hipoteza przyrodnicza wynikająca z odmienności flory lokalnej i innego układu konkurencyjnego, który może zmieniać tolerancję ekologiczną gatunków. Każdy gatunek ma bowiem w odniesieniu do poszczególnych czynników środowiskowych, takich jak dostęp do światła, temperatura powietrza, stopień kontynentalizmu, wilgotność podłoża, zasobność pokarmowa gleby i inne, określone granice, w obrębie których jest zdolny do życia. Granice tolerancji w stosunku do każdego z czynników środowiska geograficznego mogą się zmieniać pod wpływem innych czynników środowiskowych. Na przykład wyższe temperatury letnie mogą niejednokrotnie osłabiać ujemny wpływ temperatur zimowych, a dobre zaopatrzenie w związki azotowe może podnosić odporność wielu gatunków lasów liściastych na suszę. Fakty te są odbiciem ogólnej zasady, że na każdy organizm działa zawsze kompleks czynników środowiskowych, wzajemnie się modyfikujących. Takie całościowe oddziaływanie środowiska ogromnie utrudnia analizę roli, jaka przypada w nim pojedynczym czynnikom (Strain i Bilings, 1974).

Nie można także wykluczyć, że wśród tych 52 gatunków mogą być podgatunki czy odmiany, które w Polsce, Niemczech czy Szwajcarii mogą mieć zupełnie różną amplitudę ekologiczną. Należy też pamiętać, że gatunki roślin mogą tworzyć

różnego typu ekotypy⁴, co może być także przyczyną odmiennych ocen ich waloru wskaźnikowego przez trzech autorów skal wykazanych w tabeli 10.

Mimo wyraźnych różnic w diagnozach siedliskowych dla około 53% analizowanego zbioru gatunków charakterystycznych lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea*, analiza porównawcza systemów liczb wskaźnikowych: H. Ellenberga i innych (1991), E. Landolta (1977) oraz K. Zarzyckiego i innych (2002) wskazała na zgodność trzech porównywanych skal w ocenie pięciu cech środowiska geograficznego (tab. 11).

1. Zgodność systemów Ellenberga i Zarzyckiego dotycząca tolerancji gatunków względem intensywności naświetlenia stanowisk (L) – wynosi 53,5% (tab. 11) i dotyczy przede wszystkim gatunków-wskaźników stanowisk umiarkowanego cienia (por. tab. 4);
2. Skale Landolta i Zarzyckiego są najbardziej zgodne (54, 2% charakterystycznych gatunków lasów liściastych) w ocenie gatunków jako wskaźników klimatycznego czynnika temperatury T; tylko nieznacznie mniejszą zgodność wykazują skale Ellenberga i Landolta (51,8%), a w ponad 40% zgodne są też systemy Landolta i Zarzyckiego (tab. 11) i wskazują przede wszystkim na obszary umiarkowanie chłodne, ale także umiarkowanie ciepłe (por. tab. 5);

Tabela 11. Zgodności i różnice porównywanych systemów ekologicznych liczb wskaźnikowych na podstawie ponad 50% udziału gatunków lasów liściastych z klasy *Quercus-Fagetea* w odpowiadających sobie przedziałach zmienności skal

Similarities and differences of compared ecological scales of indicator values based on the share of above 50% species of class *Quercus-Fagetea* in corresponding degrees of scales

Cechy środowiska geograficznego <i>Features of geographical environment</i>	Porównywane pary skal <i>Compared pairs of scales</i>		
	E+L	E+Z	L+Z
	% gatunków/species (%)		
L światło/ <i>light</i>	36,6	53,5	29,7
T temperatura/ <i>temperature</i>	51,8	42,2	54,2
K stopień kontynentalizmu/ <i>continentality</i>	31,4	14,3	50,5
F wilgotność gleb/ <i>soil moisture</i>	58,2	80,4	54,6
R kwasowość gleb/ <i>soil acidity</i>	38,7	46,2	25,8
N zawartość azotu w glebie/ <i>soil nitrogen</i>	54,7	45,3	30,5

Skale: E+L – Ellenberga i Landolta, E+Z – Ellenberga i Zarzyckiego, L+Z – Landolta i Zarzyckiego. Wartości wytłuszczone oznaczają zgodność systemów.

Scales: E+L – Ellenberg and Landolt, E+Z – Ellenberg and Zarzycki, L+Z – Landolt and Zarzycki. Bold values mean scales similarities.

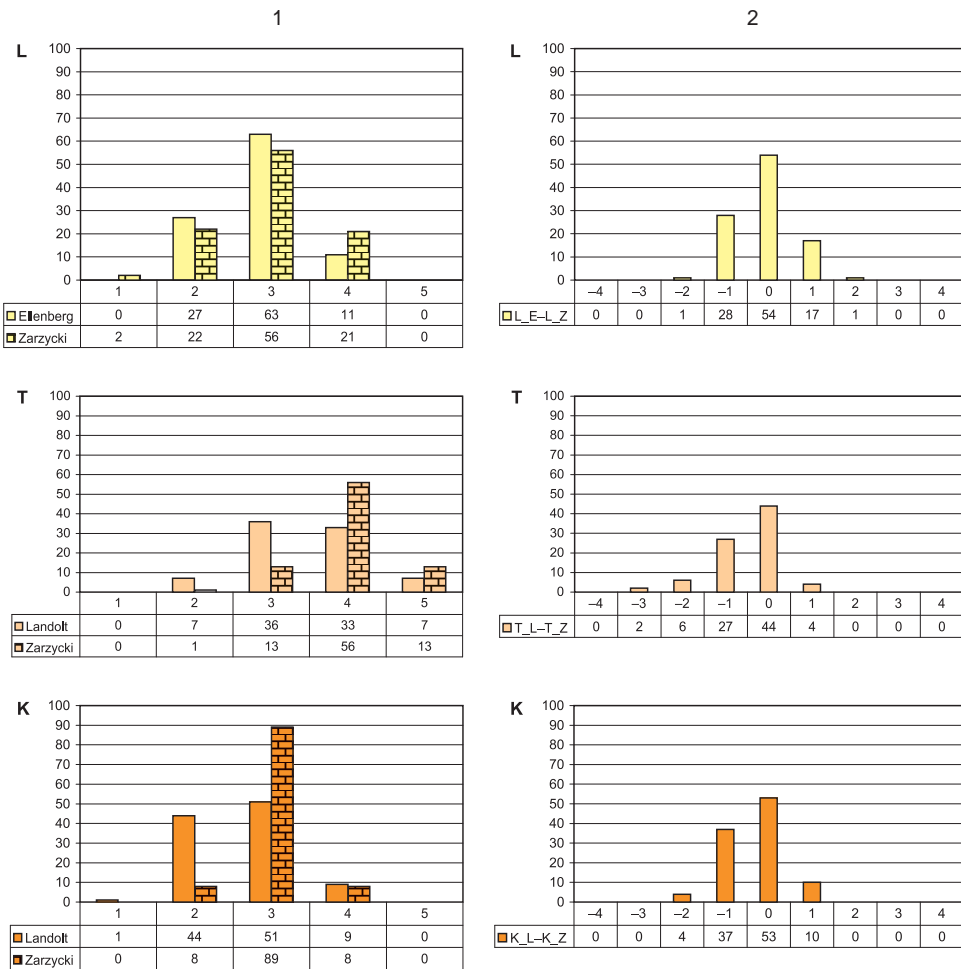
⁴ Ekotyp jest to populacja w obrębie gatunku przystosowana w wyniku ewolucji do specyficznych warunków środowiskowych (Falińska, 1997).

3. Systemy liczb wskaźnikowych Landolta i Zarzyckiego cechują się największą zgodnością pod względem oceny gatunków jako wskaźników stopnia kontynentalizmu klimatu (K) – 50,5% (tab. 11). Autorzy tych skal oceniają większość gatunków jako wskaźniki obszarów przejściowych (por. tab. 6);
4. Wszystkie porównywane „pary” systemów określają tą samą liczbą wskaźnikową wilgotności F ponad 50% gatunków roślin lasów liściastych, przy czym najwyższa zgodność dotyczy skal Ellenberga i Zarzyckiego (80, 4%) – tabela 11. Według wszystkich porównywanych skal dominują w lasach liściastych wskaźniki gleb świeżych (por. tab. 7);
5. Spośród porównywanych par skale Ellenberga i Landolta są najbardziej zgodne jeśli chodzi o wymagania ekologiczne gatunków w stosunku do zawartości azotu w podłożu N – 54,7% (tab. 11) i dotyczy to szerokiego spektrum ich wymagań względem tego czynnika. System Landolta ocenia o jeden stopień niżej większość charakterystycznych gatunków lasów liściastych – jako wskaźniki gleb umiarkowanie zasobnych (N3), przy czym zwłaszcza Zarzycki większości nadaje walor wskaźników gleb zasobnych (por. tab. 9).
6. W przypadku kwasowości gleb wszystkie pary są „niezgodne” (nie stwierdzono ponad 50% udziału gatunków lasów liściastych w odpowiadających sobie przedziałach zmienności tych skal) – tabela 11. Oznacza to, że większość gatunków klasy *Quercus-Fagetum* różni się pod względem oceny ich roli wskaźnikowej względem tego czynnika. Warto podkreślić, że według autorów porównywanych skal R wśród gatunków lasów liściastych przeważają wskaźniki gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (por. tab. 8).

Skala Ellenberga wykazuje zgodność oceny wymagań siedliskowych zbioru charakterystycznych gatunków lasów liściastych z systemami Landolta lub Zarzyckiego w przypadku pięciu spośród sześciu analizowanych cech środowiska geograficznego: z systemem Zarzyckiego co do światła L i wilgotności F, z systemem Landolta zaś odnośnie do temperatury, także wilgotności gleb oraz zawartości azotu w glebach N. W przypadku dwóch czynników klimatycznych: temperatury T i stopnia kontynentalizmu K wyraźna zgodność występuje między skalami gatunkowymi Landolta i Zarzyckiego. Jaskrawo niską zgodność wykazują skale kontynentalizmu Ellenberga i Zarzyckiego (tylko 14,3%) – tabela 11: ten pierwszy większość gatunków ocenia jako suboceaniczne, drugi jako przejściowe (por. tab. 6).

Interpretacja wyników zgodności i różnic porównywanych skal

Uzyskane wyniki zgodności i różnic porównywanych skal (ryc. 3 i ryc. 4) nie pozwalają na jednoznaczne ich wyjaśnienie, a interpretacja może być przeprowadzona na podstawie dwóch przeciwstawnych hipotez. Pierwsza zakłada, że porównywane skale są zbliżone w tym sensie, że poszczególnym stopniom



Ryc. 3. Histogramy frekwencji gatunków w przedziałach zmienności porównywanych par skal według koncepcji I

L – skale natężenia światła Ellenberga i Zarzyckiego (L_E-L_Z)

T – skale temperatury Landolta i Zarzyckiego (T_L-T_Z)

K – skale stopnia kontynentalizmu Landolta i Zarzyckiego (K_L-K_Z)

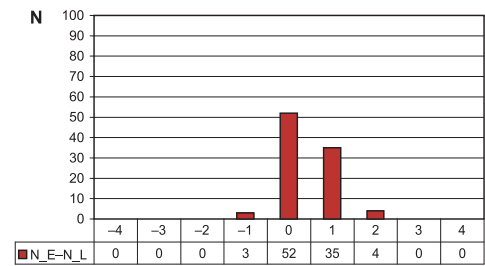
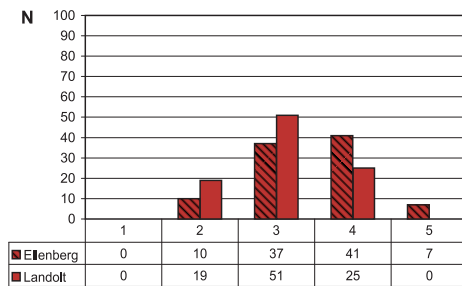
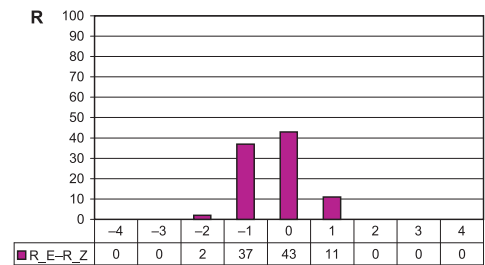
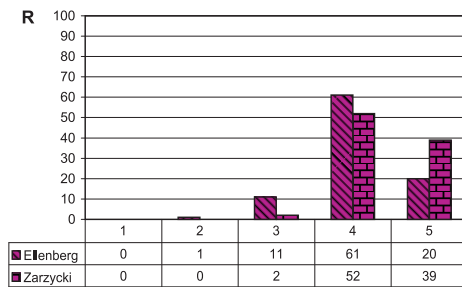
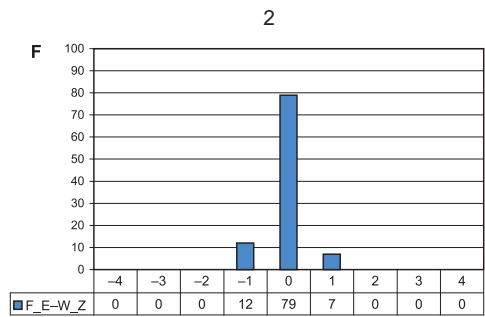
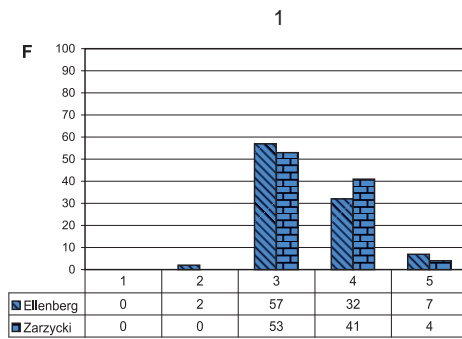
F – skale wilgotności gleb Ellenberga i Zarzyckiego (F_E-W_Z)

R – skale kwasowości gleb Ellenberga i Zarzyckiego (R_E-R_Z)

N – skale zawartości azotu w glebie Ellenberga i Landolta (N_E-N_L)

Wyjaśnienie 1. Oś X – przedziały (stopnie) porównywanych skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach porównywanych par skal.

Wyjaśnienie 2. Oś X – przedziały wartości różnic między porównywanymi parami skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach wartości różnic między porównywanymi parami skal.



Histograms for distributions of numbers of species between the classes.

The ecological scales are compared pairwise in line with concept I

L – the Ellenberg and Zarzycki scales of light intensity (L_{E-L_Z})

T – the Landolt and Zarzycki scales of temperature (T_{L-T_Z})

K – the Landolt and Zarzycki scales of continentality (K_{L-K_Z})

F – the Ellenberg and Zarzycki scales of soil moisture (F_{E-W_Z})

R – the Ellenberg and Zarzycki scales of soil acidity (R_{E-R_Z})

N – the Ellenberg and Landolt scales of nitrogen content in soil (N_{E-N_L})

The figure gives two explanations (nos. 1 and 2)

Explanation 1. X axis – classes of compared scales, below the number of species observed; Y axis – numbers of species in the classes of the compared pair of scales.

Explanation 2. X axis – differences between classes in the compared pair of scales, below the number of species observed; Y axis – number of species as regards the difference in value between pairs of scales.

odpowiadają te same zakresy rzeczywistych pomiarów, a różnice dotyczą oceny wymagań gatunków jako wskaźników warunków środowiskowych. Alternatywna hipoteza dopuszcza następujące wyjaśnienie otrzymanych wyników – skale są różne (przesunięte najczęściej o 1 stopień, ale także więcej), a wymagania gatunków względem analizowanych cech środowiska geograficznego – zbliżone. Brak rzeczywistych pomiarów (poza odczynem gleby – pH), które pozwoliłyby na bardziej jednoznaczne wyjaśnienie uzyskanych wyników narzucił konieczność szukania rozwiązań pośrednich.

Analiza histogramów frekwencji poszczególnych kategorii gatunków pokazuje, że jednoznaczными przykładami pierwszej koncepcji są:

- skale natężenia światła L – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 3L),
- skale temperatury T – Ellenberga i Landolta (ryc. 3T),
- skale stopnia kontynentalizmu K – Landolta i Zarzyckiego (ryc. 3K),
- skale wilgotności gleb F – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 3F),
- skale kwasowości gleb R – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 3R),
- skale zawartości azotu w glebie N – Ellenberga i Landolta (ryc. 3N).

Według drugiej koncepcji rozkład frekwencji kategorii gatunków na histogramach pozwala jednoznacznie wyjaśnić różnice (przesunięcia) następujących porównywanych par skal:

- temperatury T – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 4T),
- kontynentalizmu K Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 4K),
- kwasowości gleb R – Ellenberga i Landolta oraz Landolta i Zarzyckiego (ryc. 4R),
- zawartości azotu w glebie N – Landolta i Zarzyckiego (ryc. 4N).

Położenie Polski we wschodniej części Europy Środkowej oraz rzeźba i budowa geologiczna Szwajcarii, znalazły, jak się wydaje, odzwierciedlenie w zgodności systemów liczb wskaźnikowych Landolta i Zarzyckiego względem stopnia kontynentalizmu klimatu (K) – por. tabela 11. Obaj autorzy zakwalifikowali większość badanych gatunków jako wskaźniki przejściowych warunków klimatycznych (K 3) – por. tabela 6, a histogramy frekwencji gatunków w stopniach skali K wskazują nie tylko na dość podobną konstrukcję skal obu autorów, ale także na zbliżony walor gatunków jako wskaźników kontynentalizmu (ryc. 3K).

Ocena tego samego zbioru gatunków przez system Ellenberga dla flory Niemiec różni się od przeprowadzonej dla Szwajcarii, a zwłaszcza dla Polski i ich zgodność dotyczyła odpowiednio 31,4% i 14,3% zbioru analizowanych gatunków (por. tab. 11). Wyniki analizy porównawczej pokazały, że większość z nich została przez niemieckiego autora oceniona jako wskazująca na obszary suboceaniczne (por. tab. 6), co może być związane z umiarkowanym klimatem Niemiec z przewagą morskich mas powietrza i łagodnymi zimami.

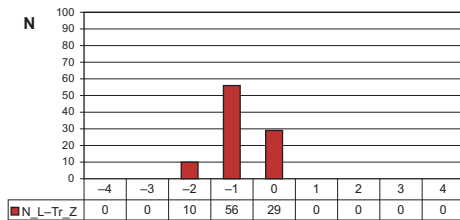
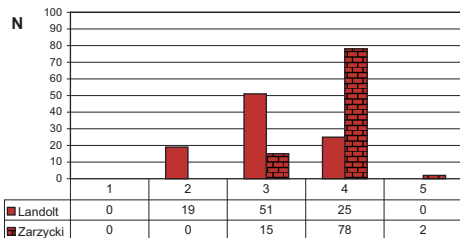
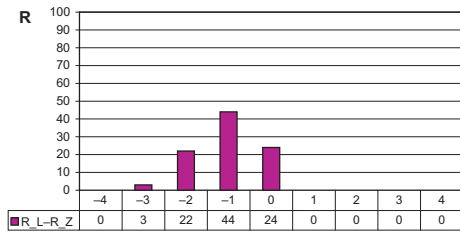
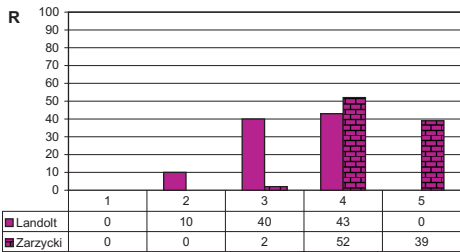
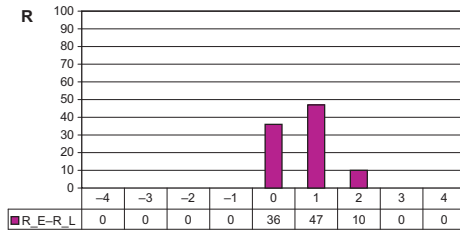
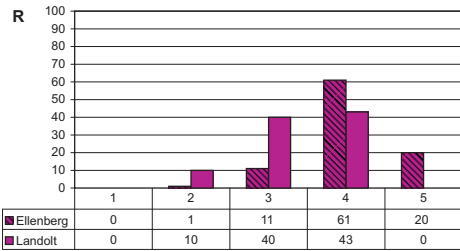
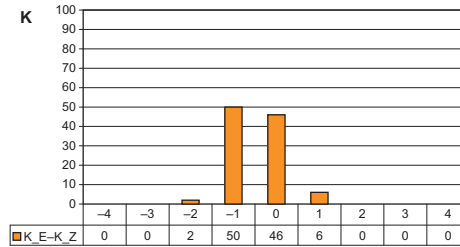
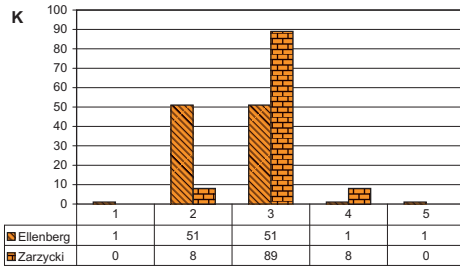
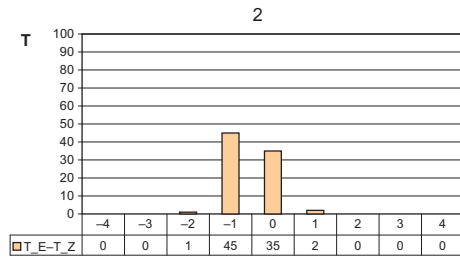
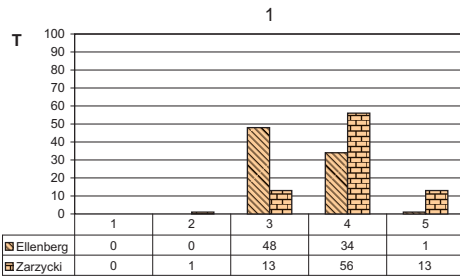
Według skal Ellenberga, a zwłaszcza Zarzyckiego, większość gatunków lasów liściastych to wskaźniki gleb zasobnych w azot, natomiast w skali Landolta – umiarkowanie zasobnych (por. tab. 9). Choć odniesienie geograficzne skal

może mieć wpływ na tę ocenę, to wydaje się nie bez znaczenia interpretacja liczby azotu N przez trzech autorów. Według Ellenberga jest to liczba azotowa N (*nitrogen figure*) i poprzez nią oceniana jest zawartość w glebie przyswajalnych dla roślin związków azotowych; według Landolta jest to koncentracja składników pokarmowych, tzw. żywność (*nutrient value*), według Zarzyckiego natomiast jest to liczba trofizmu Tr (*trophy value*).

Wyniki doświadczeń wielu autorów zajmujących się metodami fitoindykacyjnymi i rolą gatunków roślin jako indykatorów zasobności gleb wskazują, że całkowita zawartość mineralnych związków azotowych (NO_3^- i NH_4^+) jest w wielu przypadkach słabo indykowana przez gatunki roślin o określonej liczbie N (Hill i Carem, 1997; Diekmann, 2003; Schaffers i Sykora, 2000). Inne składniki odżywcze, a przede wszystkim fosfor i potas są równie dobrze, a czasem lepiej indykowane przez gatunki roślin. A. Schaffers i K. Sykora (2000) wykazali silną korelację liczby azotowej Ellenberga N z produkcją biomasy i proponują, aby liczbę N zastąpić „liczbą produktywności/wydajności” (*productivity values*). Trudności w interpretacji „liczby azotowej N” w pewnym tylko stopniu wyjaśniają różnice w wycechowaniu gatunków jako wskaźników zawartości azotu (żywności, trofizmu).

Warto odnotować, że choć nie stwierdzono 50% zgodności skal w diagnozie gatunków jako wskaźników kwasowości gleb (por. tab. 11) to trzej autorzy wykazali, że większość analizowanego zbioru gatunków – to indykatory gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (por. tab. 8). Dodać należy, że według holenderskich autorów A. Schaffersa i K. Sykory (2000) liczby kwasowości R lepiej korelują z całkowitą zawartością wapnia, a nie z mierzonym odczynem gleby – pH.

Analizowane są trzy skale autorskie, opracowane i dostosowane do określonych regionów geograficznych Europy Środkowej, między którymi mogą istnieć rozbieżności interpretacyjne dotyczące nie tylko samych liczb ekologicznych (na przykład liczby azotu N), ale także poszczególnych stopni skali (ryc. 4). O ile skrajne stopnie „1” i „5” skal (zmodyfikowanych) nie budzą zastrzeżeń, ponieważ zakres natężenia analizowanych cech w tych stopniach skal autorzy szacują podobnie, o tyle problem pojawia się, gdy rozpatruje się środkowe stopnie „3” i „4”. Tak jest na przykład przy porównaniu skal kwasowości R (*reaction figure*). Diagnozy kwasowości siedlisk wyrażone przez liczby R przypisane gatunkom odzwierciedlają nieco różne zakresy pH (Roo-Zielińska, 2004)). Sugeruje to możliwość przesunięcia skal ekologicznych, zależnego być może od rzeczywistych pomiarów analizowanych cech w trzech regionach geograficznych Europy Środkowej (ryc. 4R).



Porównanie różnic i zgodności trzech skal w diagnozie dwóch zbiorów – charakterystycznych gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* i charakterystycznych gatunków lasów liściastych z klasy *Quercu-Fagetea*

Jak już wspomniano we wstępie, podobna analiza porównawcza trzech autorskich skal ekologicznych na podstawie zbioru gatunków lasów liściastych z klasy *Quercu-Fagetea* została już przeprowadzona dla gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (Roo-Zielińska, 2004). Analizie poddano wówczas około 130 gatunków roślin naczyniowych. Grupa charakterystycznych gatunków lasów liściastych to mniej więcej 90 gatunków. Łącznie analizie poddano więc ponad 200 gatunków roślin naczyniowych, co stanowi około 10% liczby taksonów flory polskiej znajdujących się na liście K. Zarzyckiego i innych (2002). Jest to wprawdzie niewielka próba, ale ze względu na to, że oba zbiory są bogate pod względem liczby gatunków charakterystycznych, a jednocześnie zróżnicowane pod względem wymagań siedliskowych, pozwala na sformułowanie wniosków wynikających ze zgodności i różnic analizowanych skal i podobnych prawidłowości dla dwóch analizowanych zbiorów (por. tab. 11 i 12).



Ryc. 4. Histogramy frekwencji gatunków w przedziałach zmienności porównywanych par skal według koncepcji II

T – temperatury Ellenberga i Zarzyckiego (T_{E-T_Z})
 K – stopnia kontynentalizmu Ellenberga i Zarzyckiego (K_{E-K_Z})
 R – kwasowości gleb R – Ellenberga i Landolta (R_{E-R_L})
 – kwasowości gleb R – Landolta i Zarzyckiego (R_{L-R_Z})
 N – zawartości azotu w glebie N Landolta i Zarzyckiego (N_{L-Tr_Z})

Wyjaśnienie 1. Oś X – przedziały (stopnie) porównywanych skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach porównywanych par skal.

Wyjaśnienie 2. Oś X – przedziały wartości różnic między porównywanymi parami skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach wartości różnic między porównywanymi parami skal.

Histograms for the distributions of numbers of species between the classes. The ecological scales are compared pairwise in line with concept II

T – the Ellenberg and Zarzycki scales of temperature (T_{E-T_Z})
 K – the Ellenberg and Zarzycki scales of continentality (K_{E-K_Z})
 R – the Ellenberg and Landolt scales of soil acidity (R_{E-R_L})
 R – the Landolt and Zarzycki scales of soil acidity (R_{L-R_Z})
 N – the Landolt and Zarzycki scales of nitrogen content in soil (N_{L-Tr_Z})

The figure gives two explanations (numbers 1 and 2)

Explanation 1. X axis – the classes of the compared scales, below the number of species observed; Y axis – the number of species in the classes of the compared pairs of scales.

Explanation 2. X axis – differences between classes of compared pairs of scales, below the number of species observed; Y axis – the number of species belonging to each value for differences.

Tabela 12. Zgodności i różnice porównywanych systemów ekologicznych liczb wskaźnikowych na podstawie ponad 50% udziału gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* w odpowiadających sobie przedziałach zmienności skal

Similarities and differences of compared scales of ecological indicator values based on the share of above 50% meadow species of class *Molinio-Arrhenatheretea* in corresponding degrees of scales

Cechy środowiska geograficznego <i>Features of geographical environment</i>	Porównywane pary skal <i>Compared pairs of scales</i>		
	E+L	E+Z	L+Z
	% gatunków/species (%)		
L światło/light	33,2	65,5	47,7
T temperatura/temperature	64,9	63,6	49,9
K stopień kontynentalizmu/continentality	37,4	25,0	74,2
F wilgotność gleb/soil moisture	45,5	60,6	51,3
R kwasowość gleb/soil acidity	28,9	53,0	9,8
N zawartość azotu w glebie/soil nitrogen	53,1	31,6	39,0

Skale: E+L – Ellenberga i Landolta, E+Z – Ellenberga i Zarzyckiego, L+Z – Landolta i Zarzyckiego. Wartości wytłuszczone oznaczają zgodność systemów.

Scales: E+L – Ellenberg and Landolt, E+Z – Ellenberg and Zarzycki, L+Z – Landolt and Zarzycki. Bold values mean scales similarities.

1. Zgodność skal Ellenberga i Zarzyckiego dotycząca tolerancji gatunków względem intensywności naświetlenia stanowisk (L), choć ze względu na specyfikę zbiorów – gatunki łąkowe autorzy skal oceniają w większości jako wskaźniki umiarkowanego światła (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 102), a gatunki lasów liściastych jako wskaźniki umiarkowanego cienia (por. tab. 4).
2. Zgodność skal Ellenberga i Landolta w ocenie gatunków jako wskaźników klimatycznego czynnika temperatury T; przy czym gatunki łąkowe autorzy skal uznawają w większości za wskaźniki obszarów umiarkowanie ciepłych (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 104), a gatunki lasów liściastych jako – umiarkowanie chłodnych (por. tab. 5).
3. Zgodność skal Landolta i Zarzyckiego w ocenie gatunków jako wskaźników stopnia kontynentalizmu klimatu (K), przy czym autorzy tych skal oceniają większość gatunków dwóch zbiorów jako wskaźniki obszarów przejściowych (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 109 oraz tab. 6 w tym artykule).
4. Trzy porównywane skale określają tą samą liczbą wskaźnikową wilgotności F ponad lub około 50% gatunków roślin łąkowych i lasów liściastych, przy czym większość gatunków łąkowych to wskaźniki gleb wilgotnych (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 110–120, a lasów liściastych – świeżych (por. tab. 7);

najwyższa zgodność na podstawie dwóch zbiorów dotyczy skal Ellenberga i Zarzyckiego (por. tab. 11 i 12);

5. Zgodność skal Ellenberga i Landolta względem wymagań ekologicznych gatunków w stosunku do zawartości azotu w podłożu N i dotyczy to w przypadku gatunków łąkowych – wskaźników gleb umiarkowanie zasobnych w mineralne związki azotowe (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 116), a w przypadku zbioru gatunków lasów liściastych szerokiego spektrum ich wymagań względem tego czynnika (por. tab. 9). Natomiast Zarzycki w przypadku dwóch zbiorów większości – nadaje walor wskaźników gleb zasobnych (por. Roo-Zielińska, 2004, s. 117–118 oraz tab. 9 w tym artykule).

Trzeba też zaakcentować stwierdzenie wyraźnych różnic, a mianowicie:

- Ellenberg ocenia większość gatunków jako wskaźniki obszarów suboceanicznych, a Landolt i Zarzycki jako przejściowych;
- Zarzycki uznaje większość gatunków za wskaźniki gleb zasobnych, a pozostali autorzy skal – umiarkowanie zasobnych.

Już na podstawie małej próby (około 10% flory roślin naczyniowych Polski) można przeprowadzić krytyczną analizę liczb wskaźnikowych opracowanych przez różnych autorów dla Europy Środkowej w celu zastosowania ich do oceny siedlisk w warunkach klimatyczno-edaficznych Polski. Na przykład liczba kontynentalizmu [K] Ellenberga oceniająca większość analizowanych charakterystycznych gatunków roślin jako suboceaniczne [K2], nie odpowiada przejściowym warunkom klimatycznym Polski, natomiast właściwa jest tu liczba [K] Zarzyckiego, która zdecydowanej większości gatunków (blisko 85%) nadała walor wskaźników obszarów o klimacie przejściowym między suboceanicznym i subkontynentalnym [K3].

Próba interpretacji wyników została przeprowadzona wyżej i choć są one zbliżone dla dwóch porównywanych zbiorów, to jednak dowodzą potrzeby dalszych badań ujmujących inne – niż łąkowe i lasów liściastych – grupy gatunków charakterystycznych należących do różnych jednostek fitosocjologicznych, przy zastosowaniu europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych i znalezienie odpowiedniej dla zbiorowisk roślinnych Polski.

Piśmiennictwo

- Diekmann M., 2003, *Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review*, Basic and Applied Ecology, 4, s. 1–14.
- Dzwonko Z., Loster S., 2000, *Testing of Ellenberg and Zarzycki indicator values as predictors of soil and light conditions in woodlands*, [w:] Kazimierz Zarzycki: Festschrift, red. J. Wójcicki, J. Wołek, U. Korzeniak, Fragmenta Floristica et Geobotanica Annaler, 45, 1–2, s. 49–62.
- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D., 1991, *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*, Scripta Geobotanica, 18, Göttingen.

- Falińska K., 1997, *Ekologia roślin. Podstawy teoretyczne, populacja, zbiorowisko, procesy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Hill M.O., Carey P.D., 1997, *Prediction of yield in the Rothamsted Park grass experiment by Ellenberg indicator values*, Journal of Vegetation Science, 8, s. 579–586.
- Kershaw K.A., 1978, *Ilościowa i dynamiczna ekologia roślin*, PWN, Warszawa.
- Kozłowska A., 1991, *Comparative analysis of ecological indicative values (according to Ellenberg and Zarzycki)*, Wiadomości Botaniczne, 35, 1, s. 11–21.
- Landolt E., 1977, *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*, Veröffentlichungen Geobotanisches Institut der ETH Stiftung Rübel, 64, Zürich.
- Lindacher R. (red.), 1995, *Phanart Datenbank der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, Erklärung der Kennzahlen, Aufbau und Inhalt (Phanart, Database of Centraleuropean Vascular Plants, Explanation of codes, Structure and Contents)*, Veröffentlichungen Geobotanischen Institut der ETH Stiftung Rübel, 125, Zürich.
- Matuszkiewicz J.M., 2001, *Zespoły leśne Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Matuszkiewicz W., 2001, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Motyka J., 1962, *Ekologia roślin. Część ogólna i analityczna*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Podbielkowski Z., 1991, *Geografia roślin*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Remmert H., 1985, *Ekologia*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Roo-Zielińska E., 2004, *Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizycznogeograficznego. Podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 199, Warszawa.
- Roo-Zielińska E., Solon J., Degórski M., 2007, *Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, krajobrazowych i glebowych (Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań)*, Monografie, 9, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Schaffers A.P., Sykora K.V., 2000, *Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements*, Journal of Vegetation Science, 11, s. 225–244.
- Strain B.R., Billings D.W. (red.), 1974, *Vegetation and environment*, Handbook of Vegetation Science, 6, W. Junk, The Hague.
- Szwejkowscy A. i J., 1993, *Słownik botaniczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Zarzycki K., Trzcńska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U., 2002, *Ecological Indicator Values of Vascular Plants of Poland. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych Polski*, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

[Wpłynęło: maj; poprawiono: lipiec 2009 r.]

EWA ROO-ZIELIŃSKA

COMPARISON OF EUROPEAN SCALES OF ECOLOGICAL INDICATOR VALUES
IN ASSESSING THE NATURAL ENVIRONMENT ON THE BASIS OF SPECIES
CHARACTERISTIC FOR DECIDUOUS FOREST OF CLASS *QUERCO-FAGETEA*

Comparative analysis was performed using the scales of ecological indicator values for plant species proposed by: (1) Ellenberg for the flora of Germany, (2) Landolt for the flora of Switzerland and (3) Zarzycki for the flora of Poland, in relation to six environmental features concerned with climate (i.e. light intensity [L], temperature [T] continentality [K]) and soil (moisture [F], acidity [R] and nitrogen content [N]). Species characteristic for deciduous forest of class *Quercus-Fagetea* were used as the "tool" in the comparison. Numbers of species differ – from 83 to 105 depending on environmental feature. It was assumed that pairs of ecological scales are similar if the percentage share of species is above 50% in corresponding degrees of scales. The main aim of the analysis is to determine if compared scales originating from different parts of Central Europe are similar (or distinct) in the ecological diagnosis (climatic and soil) diagnosis as expressed by the three indicator values (corresponding to the three scales) for each feature of the geographical environment.

Results were interpreted in respect of two opposing hypotheses. The first of these assumes that the scales compared are similar, with the particular degrees conforming to the same ranges of actual measurements, while differences concern the assessment of the requirements of species as indicators of environmental conditions. The second, alternative hypothesis assumes that the scales are different (most often shifted by one degree), while the ecological requirements of the species are similar.

The analysis of histograms of frequency of the particular species categories shows that support for the first of the two hypotheses is provided by the pairs of scales for: (1) light intensity [L] of Ellenberg and Zarzycki; (2) temperature [T] of Ellenberg and Landolt; (3) degree of continentality [K] of Landolt and Zarzycki; (4) moisture of the soil [F] of Ellenberg and Zarzycki; (5) acidity of the soil [R] of Ellenberg and Zarzycki; and (6) nitrogen content in the soil [N] of Ellenberg and Landolt. As regards the second hypothesis, the distribution of frequencies for species categories in the histograms allows for the explanation of differences (shifts) within the following pairs of scales compared: (1) temperature [T] of Ellenberg and Zarzycki; (2) climate continentality [K] of Ellenberg and Zarzycki, (3) soil acidity [R] of Ellenberg and Landolt, and of Landolt and Zarzycki; and (4) nitrogen content in the soil [N] of Landolt and Zarzycki.

It is worth noting that similar results and conclusions were achieved when the same ecological scales of indicator values were compared, albeit on the basis of species from meadows in class *Molinio-Arrhenathereta* (Roo-Zielinska, 2004). This means that a total of c. 200 species (of meadow and deciduous forest) were evaluated. However it is only 10% of K Zarzycki list of Polish flora (Zarzycki et al., 2002), but ecological spectra and tolerance of both groups (with large number of species) are very different. The obtained results suggest a need to continue with such comparative analyses of European ecological scales for groups of characteristic species belonging to different phytosociological units, and to find proper ecological indicator values for the Polish flora and plant communities.

