



Porównanie europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych w ocenie środowiska fizycznogeograficznego na podstawie charakterystycznych gatunków roślin muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea*

Comparison of European scales of ecological indicator values in assessing the natural environment on the basis of species characteristic for xerothermic grasslands of class Festuco-Brometea

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 skale ekologicznych liczb wskaźnikowych powstałe w różnych regionach geograficznych Europy środkowej: (1) w Niemczech – H. Ellenberga i innych (1991), (2) w Szwajcarii – E. Landolta (1977) i (3) w Polsce – K. Zarzyckiego i innych (2002). W analizie wykorzystano zbiór gatunków roślin naczyniowych charakterystycznych dla muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea*. Celem analizy jest odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu ekologiczne liczby wskaźnikowe trzech skal wywodzące się z różnych części Europy Środkowej, a dotyczące tych samych gatunków, są zgodne (lub odmienne) w diagnozach ekologiczno-siedliskowych środowiska fizycznogeograficznego. Wyrażone są one 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). Wyniki porównania trzech skal wskazują zarówno na wyraźne różnice, jak i zgodności. Zwłaszcza różni się od pozostałych skala Landolta, według której większość gatunków, to wskaźniki: umiarkowanego światła oraz gleb skrajnie suchych, słabo kwaśnych i słabo zasadowych, natomiast wedle pozostałych skal – odpowiednio: pełnego światła, gleb suchych i zasadowych.

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

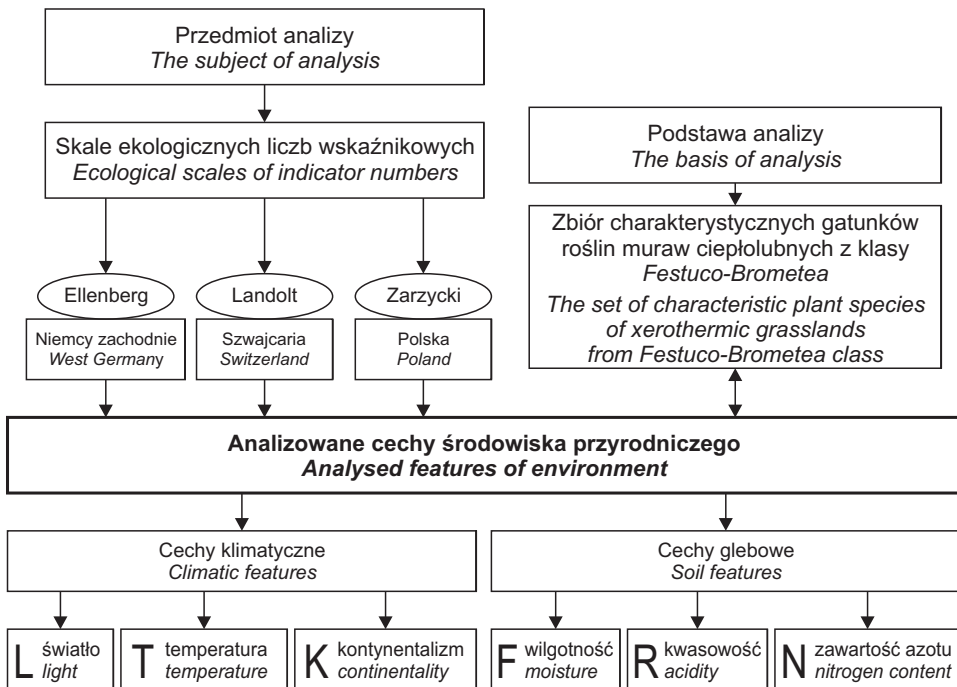
Wstęp

Budowa anatomiczna oraz fizjologia gatunków roślin, między innymi budowa kwiatu i jego barwa, okres kwitnienia i budowa diaspor¹ związana ze sposobem rozprzestrzeniania się (Podbielkowski, 1991; Falińska, 1997; Motyka, 1962;

¹ Utwory służące do rozsiewania i rozprzestrzeniania się roślin, m.in.: zarodniki, nasiona, owoce (Szweykowsky, 1993, s. 123).

Kershaw, 1978; Remmert, 1985), determinuje określone spektra ekologiczne i zasięgi występowania gatunków roślin w środowisku fizycznogeograficznym. Z tego powodu gatunki roślin (zwłaszcza roślin naczyniowych warstwy runa) mogą być wskaźnikami warunków środowiska, w których bytują. Wymagania te opisują i definiują różne skale ekologiczne opracowane dla wielu gatunków roślin.

W prezentowanym opracowaniu przedmiotem analizy porównawczej są trzy skale ekologicznych liczb wskaźnikowych powstałe w różnych regionach geograficznych Europy środkowej: (1) w Niemczech – H. Ellenberga i innych (1991), (2) w Szwajcarii – E. Landolta (1977) i (3) w Polsce – K. Zarzyckiego i innych (2002) – rycina 1. Porównanie to było możliwe, ponieważ skale te cechuje zbliżona koncepcja określająca wymagania 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).



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

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). Koncepcja gatunków charakterystycznych wynika z faktu, że gatunki roślin wykazują różnice pod względem tolerancji ekologicznej. Jest to bowiem jednocześnie kategoria gatunków diagnostycznych, które mogą być subtelnymi wskaźnikami ekologii zbiorowiska roślinnego. Grupy ekologiczne gatunków, związane z siedliskami skrajnymi pod jakimś względem (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 (Matuszkiewicz W., 2001).

Niniejszy artykuł jest już trzecim, w którym autorka porównuje wymienione ekologiczne skale liczb wskaźnikowych. Za każdym razem jednak „narzędziem” analizy porównawczej są gatunki charakterystyczne roślin naczyniowych runa należące do różnych klas fitosocjologicznych. Najpierw były to gatunki charakterystyczne łąk z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (Roo-Zielińska, 2004), potem – lasów liściastych z klasy *Quercu-Fagetea* (Roo-Zielińska, 2009). W prezentowanym opracowaniu wykorzystano listę gatunków roślin naczyniowych charakterystycznych dla muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* znajdującą się, podobnie jak poprzednie, w *Przewodniku do oznaczania zbiorowisk roślinnych* W. Matuszkiewicza (2001).

Wybór gatunków charakterystycznych łąk z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* oraz lasów liściastych z klasy *Quercu-Fagetea* jako „narzędzi” służących porównaniu skal był podyktowany tym, że nie tylko są to klasy bogate pod względem liczby gatunków roślin naczyniowych, ale także cechują się dużym wewnętrznym zróżnicowaniem wymagań ekologiczno-siedliskowych – zwłaszcza wilgotnościowo-żywnościowych (Matuszkiewicz J.M., 2001; Matuszkiewicz W., 2001). Jak można było się spodziewać, autorzy trzech skal liczb wskaźnikowych różnie ocenili rolę tych dwóch zbiorów gatunków jako indykatorów wybranych warunków ekologiczno-siedliskowych (Roo-Zielińska, 2004, 2009).

Murawy ciepłolubne z klasy *Festuco-Brometea* – to zbiorowiska, w przeciwieństwie do poprzednich, o zdecydowanie wąskiej amplitudzie ekologiczno-siedliskowej. Jak pisze W. Matuszkiewicz (2001), murawy kserotermiczne o charakterze stepowym występują na obszarach, gdzie lato jest ciepłe i suche, poza tym zaś ekstrazonalnie w miejscach o szczególnej kombinacji warunków orograficznych, glebowych i lokalnoklimatycznych. Zbiorowiska omawianej kla-

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

sy mają niezwykle bogaty i urozmaicony skład florystyczny, z udziałem wielu rzadkich, reliktowych gatunków (fot. 1). Warunkiem ich występowania jest suche podłoże o odczynie zasadowym, zasobne w wapń. Założono zatem, że w przypadku tych zbiorowisk zgodność trzech skal powinna być zdecydowanie większa niż we wcześniej analizowanych.

Dokładną charakterystykę florystyczno-ekologiczną jednostek fitosocjologicznych muraw kserotermicznych z klasy *Festuco-Brometea* znajdzie czytelnik we wspomnianym *Przewodniku* W. Matuszkiewicza (2001).



Fot. 1. Murawa ciepłolubna z szalwią łąkową (*Salvia pratensis*) w okolicy Kazimierza Dolnego nad Wisłą w województwie lubelskim (fot. J. Solon)
Xerothermic grasslands with *Salvia pratensis* close to Kazimierz Dolny, along the Vistula Valley in Lubelskie voivodship (photo J. Solon)

Podstawowym celem analizy jest odpowiedź na pytanie, w jakim stopniu ekologiczne liczby wskaźnikowe trzech skal wywodzących się z różnych części Europy Środkowej, a dotyczące tych samych gatunków, są zgodne (lub odmienne) w diagnozach ekologiczno-siedliskowych środowiska. Dotyczy to sześciu cech środowiska geograficznego: trzech klimatycznych – światła L, temperatury T i stopnia kontynentalizmu K oraz trzech glebowych: wilgotności F, kwasowości R oraz zawartości azotu N.

Interpretacja wyników polegała na:

- 1) próbie wyjaśnienia przyczyn zgodności i różnic trzech autorskich europejskich skal liczb wskaźnikowych w diagnozach siedliskowych gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych – wskaźników cech środowiska fizycznogeograficznego;
- 2) sformułowaniu prawidłowości wynikających ze zgodności i różnic tych skal na podstawie trzech zbiorów gatunków z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, *Quercu-Fageteta* i *Festuco-Brometea*.

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

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).

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).

Analizowane skale ekologiczne, mimo że oparte na tej samej koncepcji i myśli przewodniej, różnią się liczbą stopni. Ellenberg (1991) szacuje wymagania ekologiczno-siedliskowe gatunków w skali 9-stopniowej (przy czym dla wilgotności gleb [F] – 12-stopniowej), pozostali dwaj 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: oman wąskolistny (*Inula ensifolia*) przy zakresie wilgotności W 1–2 otrzymał wartość W 1,5.

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. Warto podkreślić, że wszystkie gatunki charakterystyczne muraw ciepłolubnych są diagnostyczne, tzn. mają walor wskaźnikowy.

Pełny opis skal wymagań gatunków roślin–wskaźników warunków środowiska fizycznogeograficznego znajduje się w pracach E. Roo-Zielińskiej (2004) oraz E. Roo-Zielińskiej i innych (2007). Na potrzeby tego artykułu podano je w wersji zmodyfikowanej, po sprowadzeniu do jednej wspólnej – jak w systemie Landolta – 5-stopniowej skali (tab. 1).

Tabela 1. Sposób sprowadzenia skal Ellenberga i Zarzyckiego do jednej – 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

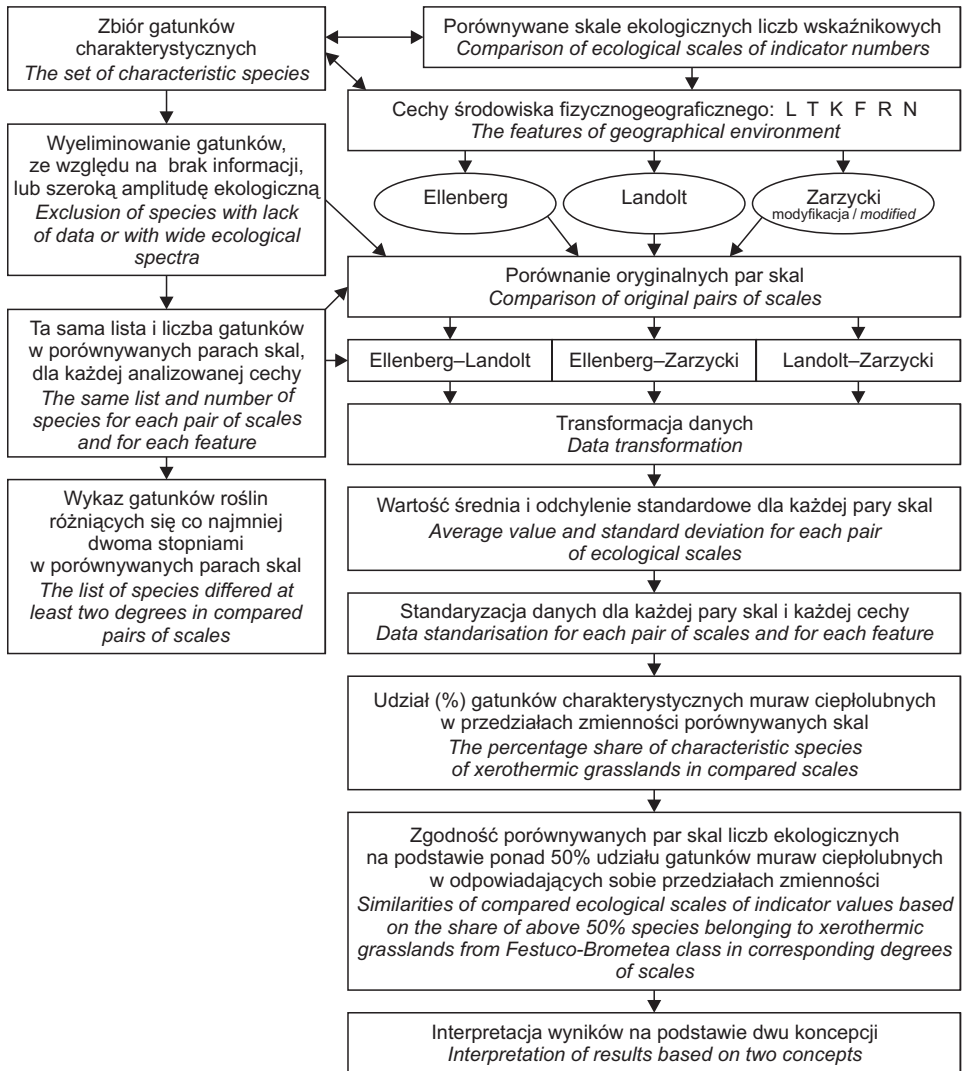
Skala Landolta <i>Landolt scale</i>	Skala Ellenberga <i>Ellenberg scale</i>		Skala Zarzyckiego <i>Zarzycki scale</i>
L T K F R N	L T F R N	K	L T K F R N
1	1	1–2	1
2	2–3	3–4	1,5–2
3	4–5	5	2,5–3
4	6–7	6–7	3,5–4
5	8–9	8–9	4,5–5

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.

W kolejnych etapach analizy każda z sześciu cech środowiska przyrodniczego została porównana w następujących kombinacjach systemów: Ellenberga i Landolta, Ellenberga i Zarzyckiego, Landolta i Zarzyckiego. Nie brano pod uwagę gatunków o szerokiej amplitudzie ekologicznej oraz tych, o których brakowało informacji. Zostały one usunięte także z systemu porównywanego, toteż w „parach” systemów porównywana była ta sama liczba gatunków (choć była różna między poszczególnymi cechami) – rycina 2.

Porównanie trzech oryginalnych skal o różnej rozpiętości było możliwe dzięki sprowadzeniu liczb wskaźnikowych do pewnego wspólnego „mianownika” (tab. 1). W tym celu wobec każdej porównywanej pary systemów zastosowano następujące kroki (ryc. 2):

- 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.



Ryc. 2. Schemat porównania trzech skal ekologicznych liczb wskaźnikowych: Ellenberga, Landolta i Zarzyckiego na podstawie zbioru charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* 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 for the comparison of the three (Ellenberg, Landolt and Zarzycki) scales of ecological indicator values. Values are compared in respect of characteristic species of class *Festuco-Brometea*, with reference made to six features of the geographical environment, i.e. light (L), temperature (T), continentality of climate (K), soil moisture (F), soil acidity (R) and nitrogen content in the soil (N)

Otrzymano zbiór o powtarzających się wartościach bezwzględnych różnic standaryzowanych cech (liczb wskaźnikowych), co pozwoliło na porównanie każdej pary systemów ekologicznych w stosunku do sześciu cech środowiska przyrodniczego. Przyjęto, że pary liczb wskaźnikowych porównywanych systemów są zgodne wówczas, gdy udział zbioru gatunków w odpowiadających sobie stopniach skal przekracza 50% (ryc. 2).

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). Interpretację uzyskanych wyników przeprowadzono na podstawie zmodyfikowanej skali 5-stopniowej (tab. 3).

Analiza porównawcza ekologicznych skal liczb wskaźnikowych na podstawie udziału charakterystycznych gatunków z klasy *Festuco-Brometea* 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 muraw ciepłolubnych – wskaźników intensywności światła jest stosunkowo wąska i waha się według skali Ellenberga (L_E) i Zarzyckiego (L_Z) w zakresie 4–5, tzn. od wskaźników stanowisk umiarkowanego światła do pełnego światła; tylko dwa gatunki według tych skal wskazują na stanowiska umiarkowanego cienia (L 3). Są to według skali Ellenberga – marzanka barwierska (*Asperula tinctoria*), a według Zarzyckiego – dąbrówka kosmata (*Ajuga genevensis*). Według skali Landolta udział gatunków wskazuje na szersze spektrum liczby L – od wskaźników stanowisk umiarkowanego cienia do stanowisk pełnego światła (L 3–5). Według Zarzyckiego zdecydowana większość gatunków muraw ciepłolubnych – to wskaźniki stanowisk w pełni naświetlonych L_Z – 80,5%, natomiast według skali Landolta około 68% – to wskaźniki siedlisk umiarkowanie naświetlonych (L 4), a aż blisko 20% – umiarkowanego cienia (L 3). Warto podkreślić, że według tego autora tylko 12% stanowią gatunki pełnego światła. Według skali Ellenberga znaczący udział mają gatunki-wskaźniki zarówno umiarkowanego (L 4), jak i pełnego światła (L 5), w skali Landolta zaś te ostatnie stanowią tylko 12%. W zbiorze charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* według diagnoz ekologicznych trzech autorów brak jest gatunków wskazujących na siedliska zacienione (L 1–2), co jest zgodne ze specyfiką tych zbiorowisk (tab. 4).

Tabela 2. Liczba gatunków oraz amplituda ekologiczna zbioru charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* w parach porównywanych oryginalnych liczb wskaźnikowych
 Number and ecological spectra of species characteristic for class *Festuco-Brometea* 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 Landolta	106	5-9 3-5	90	2-8 2-5	102	2-8 2-5	106	1-5 1-3	100	5-9 3-5	101	1-5 1-4
Ellenberg Zarzyckiego	106	5-9 3-5	90	2-8 2,5-5	102	2-8 2-5	106	1-5 1-3	100	5-9 3-5	101	1-5 1-4
Landolta Zarzyckiego	106	3-5 3-5	90	2-5 2,5-5	102	2-5 2-5	106	1-3 1-3	100	2-4 3-5	101	1-4 1-4

Skróty cech środowiska fizycznogeograficznego – zob. Tabela 1.
 Symbols of geographical environment features – see Table 1.

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

Rozpiętość skal <i>The range of scales</i>	Gatunki – wskaźniki / Species as indicators of					
	L	T	K	F	R	N
	stanowisk / sites	obszarów / regions			gleb / soils	
1	głębokiego cienia <i>deep shade</i>	najzimniejszych <i>coldest</i>	oceanicznych <i>atlantic</i>	skrajnie suchych <i>extremely 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>	przejściowych <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>	siłabo kwaśnych i siłabo 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>

Tabela 4. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników intensywności światła L w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of light intensity L in compared scales

Stanowiska <i>Sites of</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		L_E	L_L	L_Z
Głębokiego cienia <i>Deep shade</i>	1	0,0	0,0	0,0
Cienia <i>Moderate shade</i>	2	0,0	0,0	0,0
Umiarkowanego cienia <i>Half-shade</i>	3	0,9	20,3	0,9
Umiarkowanego światła <i>Moderate light</i>	4	42,6	67,6	18,5
Pełnego światła <i>Full light</i>	5	56,5	12,0	80,5

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

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

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

Amplituda gatunków–wskaźników warunków termicznych jest stosunkowo wąska, zwłaszcza w przypadku skali Zarzyckiego (T 4–5), w której większość około 78%) – to wskaźniki obszarów najcieplejszych (T 5). Według skali Ellenberga aż blisko 85% stanowią gatunki obszarów umiarkowanie ciepłych, a tylko dwa – ostnica powabna (*Stipa pulcherrima*) i perlówka siedmiogrodzka (*Melica transsilvanica*) – są wskaźnikami obszarów najcieplejszych (T 5). Przedział zmienności skali Landolta jest szeroki – od wskaźników obszarów zimnych (T 2 – choć tylko jeden gatunek, ostrożeń krótkołodygowy *Cirsium acaule*, na nie wskazuje) do obszarów najcieplejszych (T 5). Znaczącą grupę według tej skali stanowią gatunki obszarów umiarkowanie ciepłych (T 4 – około 57%). Według trzech autorów brak jest w badanym zbiorze gatunków wskazujących na obszary najzimniejsze (T 1), a według dwóch (Ellenberga i Zarzyckiego) – wskazujących na obszary zimne (tab. 5).

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

Amplituda gatunków–wskaźników stopnia kontynentalizmu jest najszersza w przypadku skali Ellenberga i mieści się w zakresie 1–5, tj. od gatunków oceanicznych do kontynentalnych (choć te skrajne wartości skal są reprezentowane przez niewielki procent gatunków), natomiast skale K Landolta i Zarzyckiego

Tabela 5. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników warunków termicznych T w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of temperature T in compared scales

Obszary <i>Regions</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		T_E	T_L	T_Z
Najzimniejsze <i>Coldest</i>	1	0,0	0,0	0,0
Zimne <i>Moderately cold</i>	2	0,0	1,1	0,0
Umiarkowanie chłodne <i>Moderately cool</i>	3	13,0	16,3	0,0
Umiarkowanie ciepłe <i>Moderately warm</i>	4	84,8	56,5	21,7
Najcieplejsze <i>Warmest</i>	5	2,2	26,1	78,3

Skale temperatury: T_E – Ellenberga, T_L – Landolta, T_Z – Zarzyckiego.

Temperature scale T after: T_E – Ellenberg, T_L – Landolt, T_Z – Zarzycki.

nie wskazują na obecność gatunków oceanicznych (K 1). Według skali Ellenberga dominują dwie grupy gatunków (po około 36%) – suboceaniczne (K 2) i subkontynentalne (K 4). Według skali Landolta największą grupę tworzą gatunki-wskaźniki obszarów subkontynentalnych (K 4 – 53%), a bardzo niewielką – gatunki suboceaniczne (K 2 – ok. 4%). Warto podkreślić, że Landolt ocenia najwięcej gatunków jako kontynentalne (K 5 – blisko 13%). Na podstawie skali Zarzyckiego z kolei niemal 70% to gatunki-wskaźniki obszarów o przejściowym charakterze klimatu (K3), a tylko jeden gatunek – traganek długokwiatowy (*Astragalus onobrychis*) – jest wskaźnikiem obszarów o klimacie kontynentalnym (K 5) – tabela 6.

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

Amplituda gatunków-wskaźników wilgotności gleb mieści się w zakresie F 1–3, tzn. od skrajnie sucholubnych (F 1) do wskaźników gleb świeżych (F 3). Skale Ellenberga i Zarzyckiego szacują większość gatunków jako wskaźniki gleb suchych (F 2) – odpowiednio 76% i około 67%, natomiast według Landolta największą grupę tworzą gatunki skrajnie suchych siedlisk (F 1 – ok. 57%), a tylko około 3% – to wskaźniki gleb świeżych (F 3), przy czym pozostali autorzy skal oceniają w ten sposób blisko 20% gatunków. Według diagnoz ekologicznych wszystkich autorów w zbiorze analizowanych gatunków brak jest wskaźników siedlisk wilgotnych (F 4) i mokrych (F 5), co wynika ze specyfiki muraw ciepłolubnych (tab. 7).

Tabela 6. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników stopnia kontynentalizmu K w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of climate continentality K in compared scales

Obszary <i>Regions</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		K_E	K_L	K_Z
Oceaniczne <i>Atlantic</i>	1	5,8	0,0	0,0
Suboceaniczne <i>Subatlantic</i>	2	35,6	3,8	10,5
Przejściowe <i>No continentality preference</i>	3	19,2	30,7	68,3
Subkontynentalne <i>Subcontinental</i>	4	35,6	53,0	20,2
Kontynentalne <i>Continental</i>	5	3,8	12,5	1,0

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

Tabela 7. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników wilgotności gleb F w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of soil moisture F in compared scales

Gleby <i>Soils</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		F_E	F_L	W_Z
Skrajnie suche <i>Extremely dry</i>	1	3,7	56,5	12,0
Suche <i>Dry</i>	2	76,0	40,7	66,7
Świeże <i>Fresh</i>	3	20,3	2,8	21,3
Wilgotne <i>Moist</i>	4	0,0	0,0	0,0
Mokre <i>Wet</i>	5	0,0	0,0	0,0

Skale wilgotności: F_E – Ellenberga, F_L – Landolta, F_Z – Zarzyckiego.
Moisture scale F after: F_E – Ellenberg, F_L – Landolt, F_Z – Zarzycki.

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

Zakres wymagań gatunków muraw ciepłolubnych wskaźników kwasowości gleb według trzech autorów jest stosunkowo wąski i wynosi 3–5, tzn. od gatunków–wskaźników gleb umiarkowanie kwaśnych (R 3) do indykatorów gleb zasadowych (R 5). Według skali Zarzyckiego, także Ellenberga, największe grupy stanowią gatunki–wskaźniki gleb zasadowych (R 5) – odpowiednio około 80% i 58%. Na podstawie skali Landolta większość gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych to indykatory gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (R 4 – ok. 66%), a tylko jeden gatunek – szypłin jedwabisty (*Dorycnium sericeum*) – jest wskaźnikiem siedlisk zasadowych (R 5). Według diagnoz ekologicznych wszystkich autorów w badanym zbiorze gatunków brak jest wskaźników siedlisk silnie kwaśnych (R 1) i kwaśnych (R 2) – tabela 8.

Tabela 8. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników kwasowości gleb R w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of soil acidity R in compared scales

Gleby <i>Soils</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		R_E	R_L	R_Z
Silnie kwaśne <i>Highly acidic</i>	1	0,0	0,0	0,0
Kwaśne <i>Acidic</i>	2	0,0	0,0	0,0
Umiarkowanie kwaśne <i>Moderately acidic</i>	3	2,9	33,4	4,0
Słabo kwaśne i słabo zasadowe <i>Neutral</i>	4	39,2	65,7	15,7
Zasadowe <i>Alkaline</i>	5	57,9	1,0	80,3

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

Acidity scale R after: R_E – Ellenberg, R_L – Landolt, R_Z – Zarzycki.

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

Amplituda gatunków–wskaźników zawartości azotu w glebach jest dość wąska, zwłaszcza w przypadku skali Ellenberga: od skrajnie oligotroficznych (N 1) do wymagających umiarkowanie zasobnych siedlisk (N 3). Nieco szer-

sza rozpiętość dotyczy skal Zarzyckiego i Landolta, bowiem niewielki procent gatunków autorzy szacują również jako wskaźniki gleb zasobnych (N 4). Diagnozy ekologiczne Ellenberga i Landolta określają większość gatunków ze zbioru charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych jako wskaźniki gleb ubogich w mineralne związki azotowe (N 2) – odpowiednio 65% oraz około 76%. Natomiast skala Zarzyckiego określa większość gatunków w tym zbiorze (ok. 60%) jako indykatory gleb umiarkowanie zasobnych (N 3). Ellenberg szacuje blisko 23% gatunków jako wskaźniki siedlisk skrajnie oligotroficznych (N 1), zaś pozostali autorzy oceniają w ten sposób odpowiednio około 2 i 5%; w przypadku skali polskiego autora jest to tylko jeden skrajnie oligotroficzny gatunek – ostnica Jana (*Stipa joannis*) – tabela 9.

Tabela 9. Udział gatunków charakterystycznych – wskaźników zawartości azotu w glebach N w przedziałach zmienności porównywanych skal

The share of characteristic species as indicators of nitrogen content in soils N in compared scales

Gleby <i>Soils</i>	Skala zmodyfikowana <i>Modified scale</i>	% gatunków <i>Species (%)</i>		
		N_E	N_L	Tr_Z
Skrajnie ubogie <i>Extremely poor</i>	1	23,3	4,8	1,9
Ubogie <i>Poor</i>	2	65,0	75,7	31,1
Umiarkowanie zasobne <i>Moderately poor</i>	3	11,7	16,5	60,3
Zasobne <i>Rich</i>	4	0,0	3,0	6,9
Bardzo zasobne <i>Very rich</i>	5	0,0	0,0	0,0

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

Nitrogen scale N after: N_E – Ellenberg, N_L – Landolt, Tr_Z – Zarzycki.

Zgodności i różnice trzech porównywanych skal w diagnozie siedliskowej gatunków muraw ciepłolubnych – wskaźników warunków środowiska fizycznogeograficznego

W wyniku przeprowadzonej analizy porównawczej trzech systemów liczb ekologicznych zbioru gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych, których liczba wynosiła od 90 (w przypadku skali T) do 106 (w przypadku skal L i F), wykazano, że wśród nich jest aż 61, których wymagania siedliskowe zostały zdecydowanie różnie określone przez trzech autorów skal, zależnie od każdego

z sześciu czynników siedliskowych. Dla uproszczenia 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).

Siedemnaście gatunków (mniej więcej 16% całego zbioru) różni się liczbą L wg skali Landolta i Zarzyckiego. Landolt ocenia je o 2 stopnie skali niżej, tzn. jako wskaźniki stanowisk umiarkowanego cienia (L_L 3)³, a Zarzycki – w pełni naświetlonych (L_Z 5). Także Ellenberg uznaje pięć gatunków za indykatory stanowisk w pełni naświetlonych (L_E 5) – tabela 10.

Pięć gatunków (około 6% całego zbioru) różni się liczbą T wg Landolta i Zarzyckiego. Landolt cztery z nich uznaje za wskaźniki obszarów umiarkowanie chłodnych (T_L 3), a Zarzycki – najcieplejszych (T_Z 5). W przypadku jednego – ostrożnia krótkolodygowego (*Cirsium acaule*) różnica sięga aż trzech stopni skali: Landolt wskazuje na obszary zimne (T_L 2), a Zarzycki na najcieplejsze (T_Z 4,5) – tabela 10.

Aż 18 gatunków (18% całego zbioru) różni się liczbą K, w tym jeden w ocenie wszystkich autorów. Oman szlachtawa (*Inula conyza*) jest według Ellenberga wskaźnikiem obszarów oceanicznych (K_E 1), według Zarzyckiego – gatunkiem o charakterze przejściowym (K_Z 3), a według Landolta – subkontynentalnym (K_L 4). Kolejne cztery gatunki to – także według Ellenberga – indykatory obszarów oceanicznych (K_E 1), a według skal Landolta i Zarzyckiego – obszarów przejściowych (K_L 3 i K_Z 3). Łącznie 12 gatunków to według Zarzyckiego wskaźniki obszarów przejściowych (K_Z 3), przy czym Landolt siedem, a Ellenberg cztery z nich ocenia jako kontynentalne (K_L 5 i K_E 5). Cztery gatunki Zarzycki uważa za wskaźniki obszarów suboceanicznych (K_Z 2), a Landolt – subkontynentalnych (K_L 4) – tabela 10.

Tylko sześć gatunków (ok. 6% całego zbioru) różni się liczbą F według Landolta i Zarzyckiego. Według szwajcarskiego autora skali gatunki te są wskaźnikami gleb skrajnie suchych (F_L 1), a według polskiego – świeżych (F_Z 3) – tabela 10.

Aż 28 gatunków (28% całego zbioru) różni się liczbą R, przy czym 24 z nich zostały różnie ocenione przez Landolta i Zarzyckiego. Ten pierwszy uznaje większość za nich za gatunki wskazujące na gleby umiarkowanie kwaśne (R_L 3), drugi zaś – na zasadowe (R_Z 5). Według Ellenberga, tak samo jak według Zarzyckiego, 11 gatunków jest indykatorami gleb zasadowych. W przypadku dwóch z nich te same różnice dotyczą tylko dwóch skal – Ellenberga i Landolta (tab. 10).

Czternaście gatunków roślin (mniej więcej 14% całego zbioru) różni się liczbą N – zwłaszcza według Ellenberga i Zarzyckiego. Dwanaście spośród nich Ellenberg diagnozuje jako wskaźniki siedlisk skrajnie ubogich w azot (N_E 1),

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); liczby oznaczają zakres zmienności skali.

Zarzycki zaś (a także dwa gatunki Landolt) – umiarkowanie zasobnych (N_Z 3, N_L 3). Krwawnik szczecinkolistny (*Achillea setacea*) i ostnica powabna (*Stipa pulcherrima*) są według polskiego autora wskaźnikami gleb bardzo zasobnych w azot (N_Z 4) – tabela 10.

Wyraźnie odmienne, co najmniej o dwa stopnie skali, diagnozy siedliskowe wszystkich autorów dotyczą różnej liczby gatunków zależnej od analizowanego czynnika środowiska fizycznogeograficznego. Dziewięć gatunków różni się wyłącznie wymaganiami względem intensywności światła (liczba L), 2 – wymaganiami termicznymi (liczba T), 6 – wyłącznie stopniem kontynentalizmu (liczba K), 2 tylko pod względem wilgotności siedlisk (liczba F), 14 – kwasowością siedlisk (liczba R), a 7 – zasobnością siedlisk w związki azotowe (liczba N). Zaledwie trzy gatunki wyraźnie różnią się trzema cechami środowiska fizycznogeograficznego, którym odpowiadają trzy liczby wskaźnikowe. W przypadku przelota pospolitego (*Anthyllis vulnelaria*) są to liczby L, F i R, a w przypadku strzępicy piramidalnej (*Koeleria pyramidata*) i ostnicy Jana (*Stipa joannis*) – T, K oraz R (tab. 10).

Interpretacja niezgodności diagnoz siedliskowych grupy 61 gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych według trzech systemów liczb wskaźnikowych jest trudna i nie może być jednoznaczna. Warto zauważyć, że ekstrakonalne zbiorowiska roślinne należące do klasy *Festuco-Brometea* występują w regionach wąsko określonych, o słabo zróżnicowanych wewnątrz lokalnych warunkach klimatycznych i glebowych (Matuszkiewicz W., 2001). Należałoby zatem oczekiwać, że diagnozy ekologiczne trzech autorów dotyczące charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych powinny być zgodne. Jak wyżej przedstawiono, tak jednak nie jest, a uzyskane różnice można tłumaczyć przesunięciem spektrum (optimum) ekologicznego gatunków w różnych częściach areału – jest to hipoteza przyrodnicza wynikająca z odmienności flory lokalnej i innego układu konkurencyjnego, który może zmieniać tolerancję ekologiczną gatunków. Każdy gatunek ma 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. 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 – przede wszystkim temperatury, ciśnienia i wilgotności (Strain i Bilings, 1974).

Nie można wykluczyć, że wśród tych 61 gatunków mogą być podgatunki bądź odmiany, które w Polsce, Niemczech czy Szwajcarii mogą mieć nieco inną amplitudę ekologiczną. Należy też pamiętać, że gatunki roślin mogą tworzyć różne

ekotypy⁴, i to także może być przyczyną odmiennych ocen ich waloru wskaźnikowego przez trzech autorów skal (tab. 10).

Mimo różnych diagnoz siedliskowych analizowanego zbioru gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea*, analiza porównywanych systemów liczb wskaźnikowych wskazała na zgodność trzech porównywanych par skal w odniesieniu do pięciu cech środowiska geograficznego (tab. 11).

Zgodność systemów Ellenberga i Landolta dotyczy:

- 1) **liczby T** (czynnika temperatury) z udziałem 58,7% gatunków (tab. 11); wśród nich są przede wszystkim wskaźniki obszarów umiarkowanie ciepłych (T4); Zarzycki natomiast większość z nich ocenił o jeden stopień wyżej, jako wskaźniki obszarów najcieplejszych (T5) – tabela 5;
- 2) **liczby N** (zawartości azotu w glebie) (N) z udziałem 60,2% gatunków (tab. 11); wśród nich są przede wszystkim wskaźniki gleb ubogich w związki azotowe (N2). Zarzycki większość z nich ocenił o jeden stopień wyżej – jako umiarkowanie zasobnych (N3) – tabela 9.

Zgodność systemów Ellenberga i Zarzyckiego dotyczy:

- 1) **liczby L** (intensywności naświetlenia) z udziałem 63,9% gatunków (tab. 11); wśród nich są przede wszystkim wskaźniki stanowisk w pełni naświetlonych (L5); Landolt natomiast większość z nich ocenił o jeden stopień niżej, jako wskaźniki stanowisk umiarkowanie naświetlonych (L4) – tabela 4;
- 2) **liczby F** (wilgotności gleb) z udziałem 60,2% gatunków (tab. 11); wśród nich są przede wszystkim wskaźniki gleb suchych (F2); Landolt większość z nich ocenił jako wskaźniki gleb skrajnie suchych (F1) – tabela 7;
- 3) **liczby R** (kwasowości gleb) z udziałem 59,8% gatunków (tab. 11); wśród nich są przede wszystkim wskaźniki gleb zasadowych (R5); Landolt większość z nich ocenił o jeden stopień niżej, jako wskaźniki gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (R4) – tabela 8.

Warto podkreślić, że w przypadku gatunków muraw ciepłolubnych skale Landolta i Zarzyckiego nie osiągnęły 50% zgodności w przypadku żadnego z sześciu czynników siedliskowych, a tylko 9,8% zgodności osiągnęły te skale w przypadku diagnoz ekologicznych gatunków roślin względem kwasowości gleb (R). Stopień kontynentalizmu (K) okazał się czynnikiem klimatycznym, w przypadku którego żadna z trzech par skal nie osiągnęła 50% zgodności (tab. 11).

Skala Ellenberga wykazuje zgodność oceny wymagań siedliskowych zbioru charakterystycznych gatunków muraw ciepłolubnych z systemami Landolta lub Zarzyckiego w przypadku pięciu spośród sześciu analizowanych cech środowiska geograficznego: z systemem Zarzyckiego odnośnie do światła (liczby L), wilgotności (liczby F) i kwasowości gleb (liczby R), zaś z systemem Landolta – odnośnie do temperatury (liczby T) oraz zawartości azotu w glebach (liczby N) – tabela 11.

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

Tabela 11. Zgodność i różnice porównywanych systemów ekologicznych liczb wskaźnikowych na podstawie ponad 50% udziału gatunków muraw ciepłolubnych *Festuco-Brometea* 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 *Festuco-Brometea* 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 <i>species (%)</i>		
L światło / <i>light</i>	33,0	63,9	26,9
T temperatura / <i>temperature</i>	58,7	17,4	14,2
K stopień kontynentalizmu / <i>continentality</i>	32,7	34,6	44,2
F wilgotność gleb / <i>soil moisture</i>	24,1	60,2	37,0
R kwasowość gleb / <i>soil acidity</i>	24,5	59,8	9,8
N zawartość azotu w glebie / <i>soil nitrogen</i>	60,2	26,3	37,9

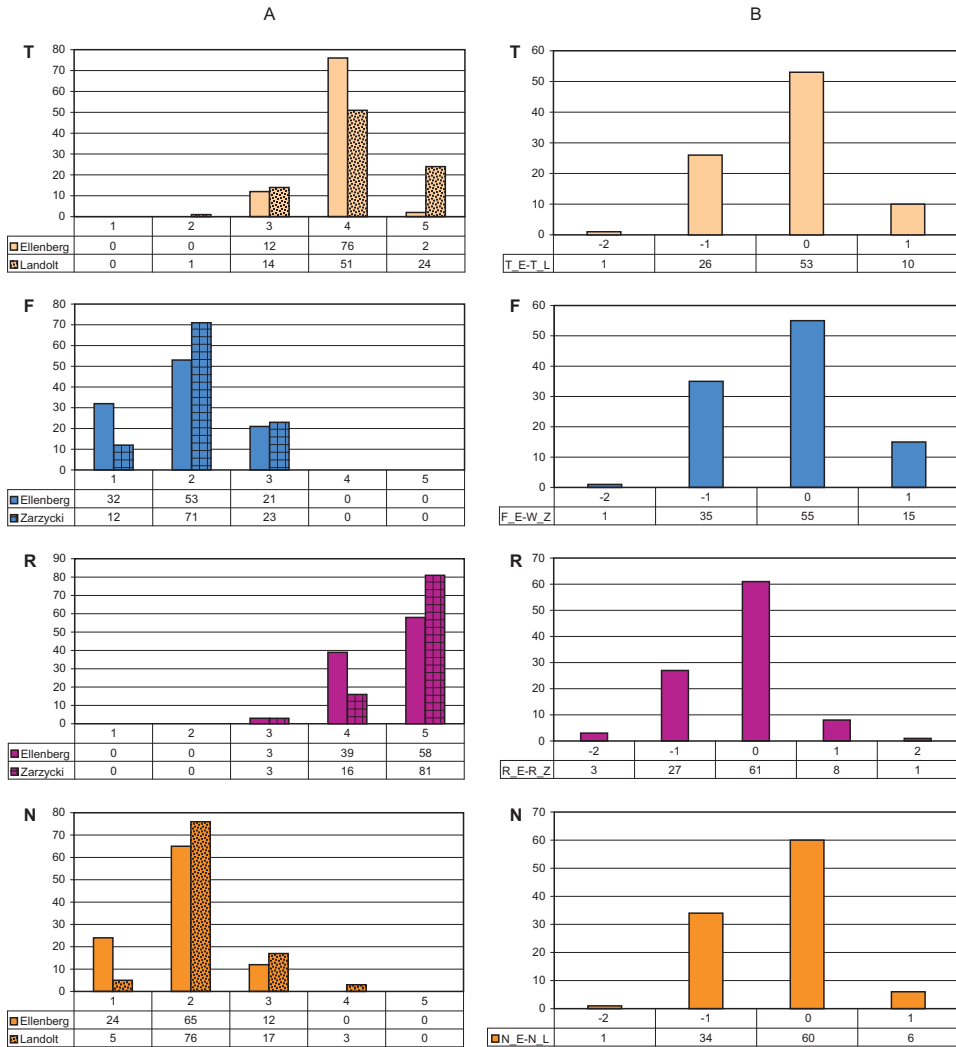
Skale: E-L – Ellenberga i Landolta, E-Z – Ellenberga i Zarzyckiego, L-Z – Landolta i Zarzyckiego. Wartości wytłuszczone oznaczają zgodność systemów.

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

Interpretacja wyników zgodności i różnic porównywanych skal na podstawie zbioru gatunków charakterystycznych muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea*

Uzyskane wyniki zgodności i różnic porównywanych skal nie pozwalają na jednoznaczne ich wyjaśnienie, a interpretacja może być przeprowadzona na podstawie dwu przeciwstawnych hipotez (ryc. 3 i ryc. 4). Zgodnie z założeniem pierwszej porównywane skale są zbliżone w tym sensie, że poszczególnym stopniom odpowiadają te same zakresy rzeczywistych pomiarów, a różnice dotyczą oceny wymagań gatunków jako wskaźników warunków środowiskowych (ryc. 3). 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 (ryc. 4). Brak rzeczywistych pomiarów (poza odczytnym gleby – pH), które pozwoliłyby na bardziej jednoznaczne wyjaśnienie uzyskanych wyników, narzucił konieczność szukania rozwiązań pośrednich.

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



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

T – skale temperatury Ellenberga i Landolta (T_{E-T_L})

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})

Ad A: oś X – przedziały (stopnie) porównywanych skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach porównywanych par skal;

Ad B: oś X – przedziały wartości różnic między porównywanymi parami skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach wartości różnic między porównywanymi parami skal

- skale temperatury T – Ellenberga i Landolta (ryc. 3T),
- 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:

- światła L – Landolta i Zarzyckiego (ryc. 4L),
- temperatury T – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 4T),
- wilgotności F – Ellenberga i Landolta (ryc. 4F),
- kwasowości gleb R – Ellenberga i Landolta oraz Landolta i Zarzyckiego (ryc. 4R),
- zawartości azotu w glebie N – Ellenberga i Zarzyckiego (ryc. 4N).

Nie wykazano ponad 50% zgodności w przypadku liczby K (stopnia kontynentalizmu) w żadnej z porównywanych par skal. Wynika to prawdopodobnie z tego, że zbiorowiska roślinne należące do muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea* są ekstrapozycyjne, tzn. niezwiązane z konkretną strefą klimatyczno-roślinną, a o ich lokalnym występowaniu decydują przede wszystkim specyficzne warunki siedliskowe.

Według skal Ellenberga i Landolta większość gatunków muraw ciepłolubnych to wskaźniki gleb ubogich w związki azotowe, natomiast według skali Zarzyckiego – umiarkowanie zasobnych (por. tab. 9). Choć odniesienie geograficzne skal może mieć wpływ na tę ocenę, to dość istotna wydaje się 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. żyźność (*nutrient value*), według Zarzyckiego natomiast jest to liczba trofizmu Tr (*trophy value*).

Wyniki doświadczeń wielu autorów zajmujących się metodami fitoindykcyjnymi i rolą gatunków roślin jako indyktorów zasobności gleb wskazują, że



Histograms for frequency distributions of numbers of species between classes.

Ecological scales are made subject to pairwise comparisons in line with concept 1

T – Ellenberg and Landolt scales for temperature (T_L-T_Z)

F – Ellenberg's and Zarzycki scales for soil moisture (F_E-W_Z)

R – Ellenberg's and Zarzycki scales for soil acidity (R_E-R_Z)

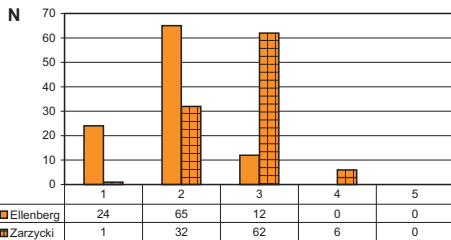
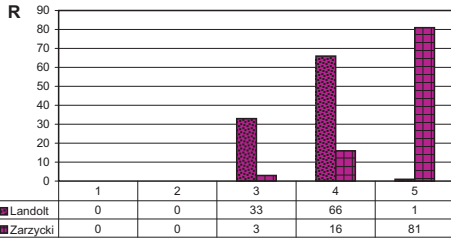
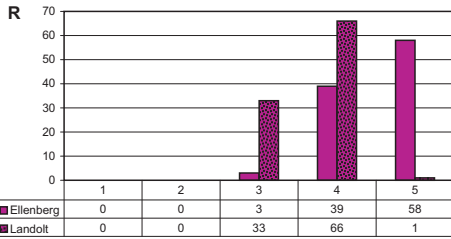
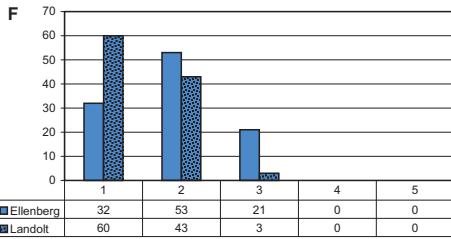
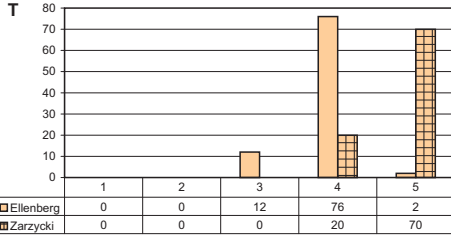
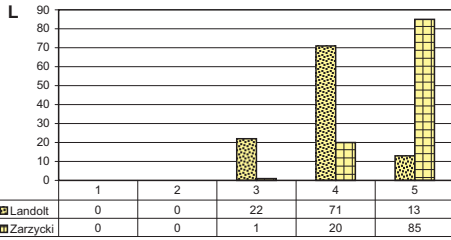
N – Ellenberg's and Landolt scales for nitrogen content in soil (N_E-N_L)

The figure gives two explanations (A and B)

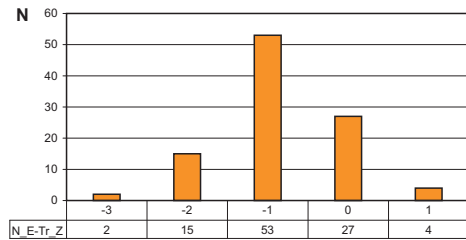
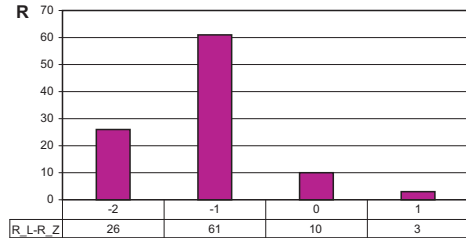
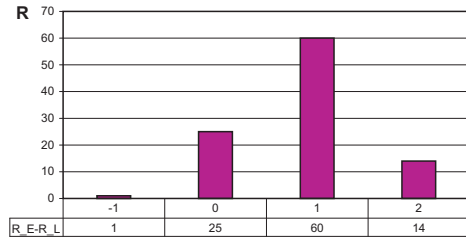
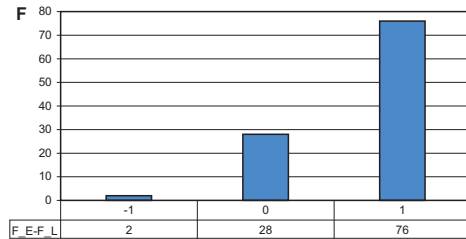
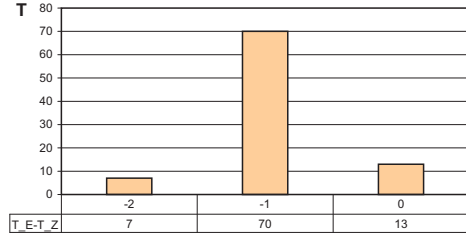
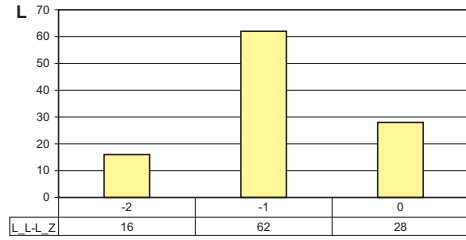
A: X axis – classes of compared scales, with number of species observed below; Y axis – numbers of species in classes of compared pair of scales.

B: X axis – differences between classes in compared pairs of scales, with number of species observed below; Y axis – number of species as regards differences in values between compared pairs of scales

A



B



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 Carey, 1997; Diekmann, 2003; Schaffers i Sykora, 2000). Inne składniki odżywcze, 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” (*productivity values*). Trudności w interpretacji „liczby azotowej N” w pewnym tylko stopniu wyjaśniają różnice w wycechowaniu gatunków jako wskaźników zawartości azotu (żyźności, trofizmu).

Warto odnotować, że Ellenberg i Zarzycki większość gatunków muraw ciepłolubnych oceniają jako wskaźniki gleb zasadowych, a Landolt – jako słabo kwaśnych i słabo zasadowych (por. tab. 8 i 11). Te różnice mogą wynikać z większego zakwaszenia gleb Szwajcarii niż Polski i Niemiec. Zdaniem holenderskich autorów A. Schaffersa i K. Sykory (2000) liczby kwasowości R lepiej korelują z całkowitą zawartością wapnia niż z mierzonym odczynem gleby – pH. Wydaje się, że jest to także powód, dla którego aż 28 gatunków (28% całego zbioru) różni się liczbą R (nawet o dwa stopnie), w trzech porównywanych skalach (por. tab. 10).

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

L – skale natężenia światła Landolta i Zarzyckiego (L_L-L_Z)

T – skale temperatury Ellenberga i Zarzyckiego (T_E-T_Z)

F – skale wilgotności gleb Ellenberga i Landolta (F_E-F_L)

R – skale kwasowości gleb Ellenberga i Landolta (R_E-R_L)

R – skale kwasowości gleb Landolta i Zarzyckiego (R_L-R_Z)

N – skale zawartości azotu w glebie Ellenberga i Zarzyckiego (N_E-Tr_Z)

Ad 1: oś X – przedziały (stopnie) porównywanych skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach porównywanych par skal;

Ad 2: oś X – przedziały wartości różnic między porównywanymi parami skal; oś Y – liczba gatunków w przedziałach wartości różnic między porównywanymi parami skal

Histograms for frequency distributions of numbers of species between the classes.

Ecological scales are made subject to pairwise comparisons in line with concept II

L – Landolt and Zarzycki scales for light intensity (L_L-L_Z)

T – Ellenberg and Zarzycki scales for temperature (T_E-T_Z)

F – Ellenberg and Landolt scales for soil moisture (F_E-F_L)

R – Ellenberg and Landolt scales for soil acidity (R_E-R_L)

R – Landolt and Zarzycki scales for soil acidity (R_L-R_Z)

N – Ellenberg and Zarzycki scales for nitrogen content in the soil (N_E-Tr_Z)

A: X axis – classes of the compared scales, with number of species observed below; Y axis – number of species in the classes of the compared pair of scales

B: X axis – differences between classes in compared pairs of scales, with number of species observed below; Y axis – number of species exhibiting differences in value between compared pairs of scales

**Porównanie różnic i zgodności trzech skal
w diagnozie trzech zbiorów charakterystycznych gatunków:
łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea*, lasów liściastych
z klasy *Quercu-Fagetea* oraz muraw ciepłolubnych
z klasy *Festuco-Brometea***

Jak wspomniano we wstępie, podobna analiza porównawcza trzech autorskich skal ekologicznych na podstawie zbioru gatunków muraw ciepłolubnych z klasy *Festuco-Brometea*, została wcześniej przeprowadzona dla gatunków łąkowych z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (Roo-Zielińska, 2004) oraz lasów liściastych z klasy *Quercu-Fagetea* (Roo-Zielińska, 2009). Łącznie zatem analizie poddano około 320 gatunków roślin naczyniowych (dla łąk około 130, dla lasów liściastych blisko 90 i dla muraw ciepłolubnych około 100 – w zależności od analizowanego czynnika środowiska fizycznogeograficznego), czyli ponad 15% liczby taksonów flory polskiej znajdujących się na liście K. Zarzyckiego i innych (2002).

Trzy zbiory klas: *Molinio-Arrhenatheretea*, *Quercu-Fagetea* i *Festuco-Brometea* są bogate pod względem liczby gatunków charakterystycznych, różnią się natomiast wymaganiami ekologiczno-siedliskowymi. Pierwsze dwa zbiory są zróżnicowane wewnątrznie, zwłaszcza pod względem wilgotnościowo-żywnościowym, natomiast trzeci cechuje się wąską amplitudą ekologiczną. Pozwala to na sformułowanie prawidłowości wynikających ze zgodności i różnic ekologicznych skal europejskich na podstawie trzech analizowanych zbiorów gatunków (tab. 12, 13).

Tabela 12. Zgodność porównywanych systemów ekologicznych liczb wskaźnikowych na podstawie ponad 50% udziału gatunków charakterystycznych należących do trzech klas fitosocjologicznych w odpowiadających sobie przedziałach zmienności skal
Similarities of compared ecological scales of indicator values based on the share of above 50% species characteristic for three phytosociological classes in corresponding degrees of scales

Klasa / Class	Liczby wskaźnikowe / Indicator figures																	
	L		T				K		F				R		N			
Murawy <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)	E	Z	E	L					E	Z					E	Z	E	L
Łąki <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)	E	Z	E	L	E	Z	L	Z	E	Z	L	Z			E	Z	E	L
Lasy liściaste <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)	E	Z	E	L	L	Z	L	Z	E	L	E	Z	L	Z			E	L

Symbole i skróty jak w tabeli 1 i następnych.
Symbols and abbreviations as In Table 1 and others.

Tabela 13. Maksymalny udział gatunków charakterystycznych należących do trzech klas fitosocjologicznych w przedziałach zmienności porównywanych skal

The highest share of species characteristic for three phytosociological classes in degrees of compared scales

	Ellenberg					Landolt					Zarzycki				
	L światło / light														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)					■				■						■
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)				■					■					■	
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)			■				■						■		
	T temperatura / temperature														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)				■					■						■
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)				■					■					■	
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)			■				■						■		
	K stopień kontynentalizmu / continentality														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)		■		■					■				■		
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)		■						■					■		
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)		■						■					■		
	F wilgotność gleb / soil moisture														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)		■					■					■			
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)				■				■					■		
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)			■					■					■		
	R kwasowość gleb / soil acidity														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)					■				■						■
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)				■				■						■	
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)				■				■						■	
	N zawartość azotu w glebach / soil nitrogen content														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Murawy / <i>Xerothermic grasslands</i> (<i>Festuco-Brometea</i>)		■					■						■		
Łąki / <i>Meadows</i> (<i>Molinio-Arrhenatheretea</i>)			■					■					■		
Lasy liściaste / <i>Deciduous forests</i> (<i>Quercu-Fagetea</i>)				■				■					■		

Dla wszystkich trzech zbiorów roślinności zgodność dotyczy:

- 1) **liczby L** (intensywności naświetlenia stanowisk) – wg Ellenberga i Zarzyckiego (tab. 12); diagnozują w większości gatunki łąkowe jako wskaźniki umiarkowanego światła (L4), gatunki lasów liściastych – umiarkowanego cienia (L3), a muraw ciepłolubnych – pełnego światła (L5); tabela 13;
- 2) **liczby T** (czynnika temperatury) – Ellenberga i Landolta (tab. 12); autorzy ci uznają większość gatunków łąk i muraw ciepłolubnych za wskaźniki obszarów umiarkowanie ciepłych (T4), a gatunki lasów liściastych – umiarkowanie chłodnych (T3) – tabela 13;
- 3) **liczby N** (zawartości azotu w podłożu) – Ellenberga i Landolta (tab. 12). Dotyczy to w przypadku gatunków łąkowych – wskaźników gleb umiarkowanie zasobnych w mineralne związki azotowe (N3), w przypadku muraw – wskaźników gleb ubogich (N2) – tabela 13, natomiast w przypadku zbioru gatunków lasów liściastych – szerokiego spektrum ich wymagań względem tego czynnika (por. Roo-Zielińska, 2009, tab. 11).

Dla dwóch zbiorów gatunków charakterystycznych zgodność dotyczy:

- 1) **liczby K** (stopnia kontynentalizmu klimatu) – skale Landolta i Zarzyckiego (tab. 12); autorzy uznają większość gatunków charakterystycznych łąk i lasów liściastych za wskaźniki obszarów przejściowych (K3) – tabela 13;
- 2) **liczby F** (wilgotności siedlisk) – Ellenberga i Zarzyckiego, na podstawie gatunków charakterystycznych łąk i muraw (tab. 12); większość charakterystycznych gatunków łąkowych traktują jak wskaźniki gleb wilgotnych (F4), a gatunki muraw – siedlisk suchych (F2) – tabela 13.
- 3) **liczby R** (kwasowości siedlisk) – Ellenberga i Zarzyckiego na podstawie gatunków charakterystycznych łąk i muraw (tab. 12); większość charakterystycznych gatunków łąkowych uznali oni za wskaźniki gleb słabo kwaśnych i słabo zasadowych (R4), a gatunki muraw – gleb zasadowych (R5) – tabela 13.

Już na podstawie stosunkowo niewielkiej próby (około 15% 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, wskazująca na większość analizowanych charakterystycznych gatunków roślin jako suboceaniczne (K2), nie odpowiada przejściowemu warunkom klimatycznym Polski, natomiast właściwa jest tu liczba K Zarzyckiego, która zdecydowanej większości analizowanych gatunków (nawet należących do ekstrazonalnych muraw ciepłolubnych) nadaje walor wskaźników obszarów o klimacie przejściowym między suboceanicznym i subkontynentalnym (K3) – tabela 13.

Warto również podkreślić, że ocena w skali Landolta istnieje w większości przypadków różni się o jeden stopień od pozostałych w diagnozie wymagań gatunków względem warunków glebowych. Dotyczy to liczby F – wskazującej na gleby suchsze, liczby R – wskazującej na gleby bardziej kwaśne i liczby N – wska-

zującej na gleby mniej zasobne w mineralne związki azotowe, w porównaniu z pozostałymi skalami (tab. 13).

Dzięki uzyskanym wynikom i interpretacji zgodności i różnic w diagnozach siedliskowych trzech popularnych w środkowej Europie ekologicznych skal liczb wskaźnikowych na podstawie trzech różnorodnych zbiorów gatunków charakterystycznych stało się możliwe wskazanie na pewne powtarzające się prawidłowości. Autorka uważa za celowe prowadzenie dalszych badań (ujmujących wszystkie zespoły roślinne i ich gatunki charakterystyczne) przy zastosowaniu europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych i opracowanie na tej podstawie skali najbardziej 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.
- 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.
- 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.
- , 2009, *Porównanie europejskich skal ekologicznych liczb wskaźnikowych w ocenie środowiska fizycznogeograficznego na podstawie charakterystycznych gatunków roślin lasów liściastych z klasy Quercio-Fagetea*, Przegląd Geograficzny, 81, 3, s. 317–345.
- 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, IGiPZ PAN, 9, 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.
- Szweykowscy A. i J. (red.), 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: czerwiec; poprawiono: październik 2011 r.]

EWA ROO-ZIELIŃSKA

COMPARISON OF EUROPEAN SCALES OF ECOLOGICAL INDICATOR VALUES IN ASSESSING THE NATURAL ENVIRONMENT ON THE BASIS OF SPECIES CHARACTERISTIC FOR XEROTHERMIC GRASSLANDS OF CLASS *FESTUCO-BROMETEA*

Comparative analysis was performed in regard to the ecological scales of 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, from the point of view of six environmental features, both climatic (light intensity [L], temperature [T] and continentality [K]) and soil-related (moisture [F], acidity [R] and nitrogen content [N]). Species characteristic for xerothermic grasslands of class *Festuco-Brometea* were used as the "tool" underpinning the comparison. The number of species involved differed from 90 to 106 depending on which environmental feature was being addressed. A basis for the work was in turn an assumption that pairs of ecological scales were similar where the percentage share of species is above 50% in corresponding degrees of scales. The main aim of the analysis was thus to determine if compared scales originating in different parts of Central Europe are similar (or distinct) in the ecological (climatic and soil) diagnosis they are able to offer, in each case as expressed by values for three indicators (corresponding to three scales) for each given feature of the geographical environment.

Results were interpreted with regard to two opposing hypotheses, i.e. (a) that the scales compared are similar, with particular degrees conforming to the same ranges of actual measurements and with differences concerning the assessment of requirements of species being indicative of environmental conditions, or (b) that the scales differ (most often in line with a one-degree shift), while the ecological requirements of the species are similar.

Analysis of histograms for frequency of occurrence of particular species categories shows the first hypothesis to be sustained by by: (1) the temperature [T] indices of Ellenberg and Landolt; (2) soil moisture [F] of Ellenberg and Zarzycki; (3) soil acidity [R] of Ellenberg and Zarzycki; and (4) nitrogen content in the soil [N] of Ellenberg and Landolt.

Where the second hypothesis is concerned, the distribution of frequencies for species categories in the histograms allows for an explanation concerning differences (shifts) in regard to: (1) light [L] indicator values of Landolt and Zarzycki; (2) temperature [T] of Ellenberg and Zarzycki; (3) soil moisture [F] of Ellenberg and Landolt; (4) soil acidity of both Ellenberg v Landolt, and Landolt v Zarzycki; and (5) nitrogen content in the soil [N] of Ellenberg and Zarzycki.

It is worth noting how similar results and conclusions were obtained with a comparison of the same ecological scales of indicator values as used here, albeit in regard to meadow species of class *Molinio-Arrhenathereta* (Roo-Zielinska, 2004) and deciduous forest of class *Quercus-Fagetum* class. This means that some 320 species in total (of meadows, deciduous forests and xerothermic grasslands) have now been evaluated. While this is still only 15% of the Polish flora listed by K Zarzycki (Zarzycki *et al.*, 2002), the ecological spectra and tolerance of three groups (with a large number of species in each) are clearly seen to differ markedly. Such results point to a necessity for such comparative analyses of European ecological scales to be continued with, in relation to groups of characteristic species belonging to different phytosociological units/associations. The ultimate aim here from the Polish point of view will be to determine the “proper” ecological indicator values for the country’s overall flora and plant communities.

