

Metodyczne i techniczne innowacje w badaniach fitosocjologicznych

J. ZARZYCKI

*Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie*

Methodological and technical innovation in phytosociological research

Abstract. Wykorzystanie metod numerycznych jest coraz powszechniejsze w badaniach nad roślinnością. Duża liczba zdjęć fitosocjologicznych niezbędna jest dla właściwego scharakteryzowania zbiorowisk roślinności łąkowej i powiązanych z nimi czynników siedliskowych. Gromadzenie i klasyfikowanie takich danych ułatwiają obecnie programy komputerowe. W pracy dokonano ogólnego przeglądu metod statystycznych i wykorzystujących je programów stosowanych do gromadzenia, klasyfikacji i porządkowania zdjęć fitosocjologicznych. Zaprezentowano także na wybranych przykładach możliwości wykorzystania najczęściej stosowanego oprogramowania.

K e y w o r d s: classification, numerical analysis, ordination, phytosociology

1. Wstęp

Łąkarstwo jest dyscypliną naukową zajmującą się łąkami i pastwiskami, których głównym celem jest produkcja paszy o wysokich wartościach pokarmowych. Obecnie odbywa się ona głównie na intensywnie użytkowanych powierzchniach o uproszczonym składzie gatunkowym. Zróżnicowanie florystyczne ma jednak wpływ na możliwości produkcyjne użytków zielonych. W ostatnim czasie coraz większą uwagę przywiązuje się do wartości przyrodniczych i krajobrazowych użytków zielonych. Pod tym względem największą rolę odgrywają półnaturalne, trwałe zbiorowiska łąkowe. Badaniami zróżnicowania składu botanicznego i tworzenia się powtarzalnych układów (zespołów) zajmuje się fitosocjologia łąkarska. Wyniki badań fitosocjologicznych są wykorzystywane do oceny produktywności, waloryzacji przyrodniczych i oceny warunków siedliskowych. Służą do opracowywania planów zagospodarowania przestrzennego, ocen oddziaływania na środowisko czy planów ochrony. W początkowym okresie rozwoju fitosocjologii opracowywanie materiałów opierało się w dużej mierze na intuicji i doświadczeniu (MUCINA, 1997). Cały czas poszukuje się metod obiektywnego i szybkiego sposobu analizy danych. Możliwości takie stwarza zastosowanie analizy numerycznej. Pierwsze próby zastosowania metod matematycznych rozpoczęto już w początkach XX wieku, także w Polsce (KULCZYŃSKI, 1928), jednak na większą skalę wprowadzono metody numeryczne do badań fitosocjologicznych w początkach lat 70.

ubiegłego wieku. Szersze ich stosowanie spowodowane zostało powszechną dostępnością komputerów osobistych (MUCINA, 1997). Obecnie w szeroko pojętych badaniach nad roślinnością stosuje się wiele różnych metod matematycznych i szeroko dostępne jest oprogramowanie oparte o te metody.

2. Koncepcja pracy

Celem pracy jest ogólny przegląd podstawowych metod stosowanych w fitosocjologicznych badaniach łąkarskich. Obejmuje on głównie takie zagadnienia jak gromadzenie danych, klasyfikację zdjęć fitosocjologicznych oraz porządkowanie zdjęć w powiązaniu do zmiennych środowiskowych. Praca nie jest szczegółowym przedstawieniem matematycznych podstaw metod numerycznych ani spisem wykorzystywanych metod. Ma ona stanowić wprowadzenie do metod numerycznych i zapoznać z możliwościami zastosowania wybranych programów komputerowych w badaniach łąkarskich. Celowi temu ma służyć przedstawienie przykładów praktycznego wykorzystania niektórych programów. Jako materiał pokazowy wykorzystano 26 zdjęć fitosocjologicznych wykonanych przez autora na użytkach zielonych Beskidu Sądeckiego (ZARZYCKI, 2008), dokonano jednak takiego wyboru zdjęć, by lepiej pokazać działanie poszczególnych programów. Jako zmienne środowiskowe uwzględniono: wysokość nad poziomem morza, odczyn, ekspozycję i nachylenie. W pracy przedstawiono następujące oprogramowanie: TURBOVEG (HENNEKENS i SCHAMINEÉ, 2001), TWINSPAN (HILL i ŠMILAUER, 2005), MULVA (WILDI i ORLOCI, 1996), CANOCO (TER BRAAK i SMILAUER, 2002).

3. Metodyczne i techniczne innowacje w badaniach fitosocjologicznych

3.1. Gromadzenie danych

Badania fitosocjologiczne związane są z pozyskiwaniem dużej liczby danych w postaci zdjęć fitosocjologicznych i często powiązanych z nimi zmiennych środowiskowych. Narodowe bazy danych mogą liczyć dziesiątki tysięcy zdjęć. Nawet w przypadku regionalnych opracowań fitosocjologicznych liczba zebranych zdjęć liczy setki pozycji. Archiwizacja zdjęć fitosocjologicznych może odbywać się przy użyciu wielu programów ogólnego przeznaczenia takich jak: Access czy Excel. Mają one jednak ograniczone pojemności i możliwości przetwarzania danych. Dlatego też opracowano różne oprogramowanie specjalne dla wykorzystania w celu gromadzenia danych fitosocjologicznych. Głównym pakietem tego typu jest TURBOVEG stosowany w Europie jako standardowy. Informacje zawarte w typowym zdjęciu fitosocjologicznym umieszcza się w odpowiednich polach, co umożliwia łatwą wymianę danych pomiędzy różnymi użytkownikami. Program umożliwia zapisanie zarówno składu gatunkowego i udziału gatunków (w kilku powszechnie stosowanych skalach) jak i innych danych opisujących wykonane zdjęcie fitosocjologiczne. Wprowadzanie danych do programu jest łatwe i może odbywać się na dwa sposoby: poprzez ręczne wpisywanie lub import

danych zgromadzonych w innych programach. Zgromadzone zdjęcia fitosocjologiczne mogą być selekcjonowane według wielu kryteriów i eksportowane do innych programów (np. CANOCO, MULVA, JUICE, SYNTAX).

3.2. Transformacje danych

Surowe dane są rzadko bezpośrednio wykorzystywane w analizach numerycznych, zwykle poddawane są różnorodnym przekształceniom. Dotyczy to zarówno danych dotyczących występowania gatunków jak i mierzonych zmiennych środowiskowych. Udział gatunków w zdjęciu fitosocjologicznym podawany jest zwykle w zaproponowanej przez BRAUN-BLANQUETA (1964) sześciostopniowej kombinowanej skali ilościowości – pokrycia. W analizach numerycznych stosuje się transformacje tej skali na przeciętny procent pokrycia (PAWŁOWSKI, 1972), skalę porządkową (DZWONKO, 2007; VAN DER MAAREL, 1998) lub skalę opartą na braku lub obecności gatunku (skala 0, 1). Dane dotyczące udziału gatunków mogą być również standaryzowane. Najczęściej stosowane to np. obliczanie procentowego udziału poszczególnych gatunków w całkowitym pokryciu powierzchni zdjęcia. Przekształcenie to jednak może prowadzić do zwiększenia wagi gatunków rzadszych i zmniejszenia wagi gatunków dominujących (MAAREL, 1998). Zmienne środowiskowe mogą być także transformowane. Najczęściej stosowaną jest transformacja logarymiczna. PALMER (1998) na przykład zaleca jej stosowanie w przypadku zawartości składników pokarmowych w glebie. W przypadku niektórych metod może ona także być stosowana dla spełnienia warunków normalności rozkładu. Niektóre rodzaje zmiennych mogą być „kołowe” – duże wartości sąsiadują z małymi (np. ekspozycja w stosunku do stron świata, dzień w roku), co także wymaga odpowiednich przekształceń (ROBERTS, 1986). W analizie wielowymiarowej nie można stosować bezpośrednio zmiennych nominalnych, dlatego zmienne takie jak sposób użytkowania czy typ gleby przedstawia się w postaci tzw. zmiennych fikcyjnych; przybierają one wartość 1, jeśli punkt należy do danej kategorii, i 0 gdy nie należy. Różnego rodzaju transformacje danych są częścią wielu procedur zawartych w programach statystycznych.

3.3. Metody wielocechowe (wielozmienne)

Stosowane są do analizy obiektów mających wiele atrybutów, mogą to być np.: organizmy (cechy morfologiczne, fizjologiczne), siedliska (cechy klimatyczne, glebowe) czy zdjęcia fitosocjologiczne (skład gatunkowy). Umożliwiają one statystyczną analizę zmienności pomiędzy obiektami poprzez obiektywne, hierarchiczne grupowanie obiektów kierując się wieloma cechami łącznie, a także ocenę wpływu zmiennych środowiskowych na skład gatunkowy. Metody statystyki wielocechowej mogą być stosowane do opisu rzeczywistości (eksploracja danych) jak i wyjaśniania zjawisk (stawianie i testowanie hipotez) (PALMER, 1998). Wzajemne relacje między badanymi obiektami opierają się na określeniu, w jakim stopniu porównywane zdjęcia pokrywają

się pod względem składu gatunkowego. Wykorzystuje się do tego celu liczbowe wartości podobieństw obliczonych za pomocą formuł matematycznych. W zależności od celu i przedmiotu badań można stosować wiele różnych współczynników podobieństwa lub odległości (DZWONKO, 2007, LEGENDRE i LEGENDRE, 1998, LORO, 1998) dla stworzenia macierzy podobieństw, będącej podstawą dalszych analiz.

3.4. Klasyfikacja

Fitosocjologia jest nauką o zbiorowiskach roślinnych, a więc analiza zebranych zdjęć fitosocjologicznych polega przede wszystkim na ułożeniu ich w taki sposób by tworzyły grupy zdjęć o dużym podobieństwie do siebie i małym do pozostałych zdjęć. W klasycznym podejściu osiąga się to poprzez kolejne sortowanie zdjęć i gatunków. W metodach numerycznych wykorzystuje się macierze podobieństwa i następnie grupuje zdjęcia. W zależności jednak od zastosowanych współczynników podobieństwa i metod grupowania wyniki będą się różnić od uzyskanych metodą tradycyjną. Różnice te mogą być wywołane także wykorzystaniem przez badaczy posiadanych informacji o zróżnicowanym znaczeniu pewnych gatunków. Metody klasyfikacji można podzielić na skupiające i dzielące. Metody skupiające polegają na tworzeniu skupień zdjęć zaczynając od pojedynczego zdjęcia. Następnie są one łączone w skupienia wyższego rzędu, aż do stworzenia jednego wielkiego skupienia zawierającego wszystkie zdjęcia (VAN DER MAAREL 1998). Najczęściej stosowanymi metodami skupiającymi są: prostych połączeń, zupełnych połączeń, średnich połączeń nieważonych (UPGMA), średnich połączeń ważonych (WPGMA). Przydatność poszczególnych metod zależy głównie od struktury zróżnicowania zdjęć. Programy komputerowe wykorzystujące tę metodę to np. SYNTAX, JUICE, MULVA. Metody dzielące polegają na rozpoczęciu procedury od jednego skupienia zawierającego wszystkie zdjęcia i podziału go na dwa mniejsze i bardziej homogeniczne skupienia. Każde z nich jest dalej kolejno dzielone, aż do uzyskania jednozdjęciowych skupień. Metodę tę zastosowano w programie TWINSPAN. Wynikiem klasyfikacji jest zwykle dendrogram będący ilustracją połączeń między zdjęciami i skupieniami zdjęć oraz ich układu hierarchicznego. Niektóre programy komputerowe (MULVA, TWINSPAN) umożliwiają także otrzymanie uporządkowanej tabeli fitosocjologicznej.

3.5. Porządkowanie

Głównym celem porządkowania jest ułożenie zdjęć wzdłuż osi zmienności, bazując na podstawie ich składu gatunkowego. Możliwe jest określenie głównych kierunków zmienności w zbiorze danych przy pominięciu przypadkowej zmienności. Porządkowanie nie umożliwia bezpośredniego grupowania zdjęć fitosocjologicznych, może być jednak wykorzystane jako graficzny obraz podobieństwa pomiędzy poszczególnymi zdjęciami. Analiza głównych kierunków zmienności w relacji z czynnikami środowiska umożliwia także (np. w połączeniu z klasyfikacją) określenie warunków siedliskowych, w jakich występują poszczególne zbiorowiska roślinne. W porządkowaniu stosuje się

dwie główne grupy metod: pośrednie i bezpośrednie. Pośrednie (PCA, DCA, CA) – obiekty ułożone są tylko względem składu gatunkowego, a o wpływie zmiennych środowiskowych wnioskuje się na podstawie trendów w składzie gatunkowym. Pozwala ona na zmniejszenie liczby możliwych uporządkowań przez zastąpienie wielu cech tylko kilkoma głównymi składowymi, przedstawiającymi liniowe kombinacje silnie skorelowanych cech oryginalnych. Wynikiem analizy jest zbiór nieskorelowanych z sobą, prostopadłych osi, które wyznaczają główne kierunki zmienności badanych obiektów. Powiązanie poszczególnych osi z konkretnymi czynnikami środowiska można określić pośrednio przez korelacje współrzędnych zdjęć ze zmierzonymi wartościami czynników lub przez wykorzystanie liczb wartości wskaźnikowej.

Bezpośrednie (RDA, CCA, DCCA) – obiekty odnoszone są bezpośrednio do zmiennych środowiskowych. Wymagają one zmierzenia wartości zmiennych środowiskowych dla każdego zdjęcia. Metoda ta pozwala uporządkować zdjęcia w sposób, który najlepiej wyjaśniają uwzględnione zmienne środowiskowe. Wynikiem analizy jest zbiór nieskorelowanych z sobą, prostopadłych osi, które są liniowymi kombinacjami zmiennych środowiskowych. Może być wyliczonych tyle osi ile jest zmiennych środowiskowych.

3.6. Przykładowe wykorzystanie programów komputerowych

TWINSPAN (Two-way indicator species analysis) program umożliwia stworzenie uporządkowanej tabeli poprzez identyfikacje gatunków wskaźnikowych. Podczas analizy można wykorzystać proponowane ustawienia lub modyfikować działanie programu poprzez zmianę parametrów dokonywania podziałów. Układ tabeli jest taki, że gatunki wskaźnikowe dla pierwszej grupy przedstawione są na samej górze tabeli, a gatunki wskaźnikowe dla ostatniej grupy na samym dole. Zastosowanie programu do wybranych zdjęć fitosocjologicznych (tab. 1) pozwoliło podzielić zdjęcia na trzy grupy. Pierwsza charakteryzuje się dużym udziałem *Nardus stricta*, *Pimpinella saxifraga* i *Potentilla erecta*. W pracy (ZARZYCKI, 2008) została ona zaklasyfikowana do zespołu *Hieracio-Nardetum*. Ostatnia grupa wiąże się z występowaniem *Ranunculus repens*, *Taraxacum officinale* i *Holcus lanatus*. Została ona zaklasyfikowana do zespołu *Arrhenatheretum elatioris*. Środkowa grupa zawiera zarówno gatunki wskaźnikowe dla pierwszej i trzeciej grupy. Odróżnia się od nich jednak występowaniem *Briza media*, *Centaurea jacea*, *Primula elatior* i *Astrantia major*. Zdjęcia te zostały zaklasyfikowane do zespołu *Gladiolo-Agrostietum*.

MULVA-5 – struktura programu ma postać modułową. Przeprowadzenie analiz składa się zwykle z kilku oddzielnie wykonywanych kolejnych zadań. Dotyczą one importu danych, transformacji i różnych procedur statystycznych. Wyniki takich zadań wykorzystywane są w kolejnych zadaniach. W poszczególnych zadaniach można wybierać pomiędzy różnymi opcjami (np. wybór współczynników podobieństwa czy metod skupiania). Program umożliwia zarówno klasyfikację metodą skupiającą jak i uporządkowanie według różnych metod. Dostępne są także gotowe procedury klasyfikacji zdjęć przy zastosowaniu różnych sposobów transformacji i różnych miar podobieństwa, dobranych przez autorów programu w sposób empiryczny na podstawie wielu

Tabela 1. Uporządkowana tabela fitosocjologiczna wykorzystująca zdjęcia łąkowe z Beskidu Sądeckiego. Program TWINS PAN
 Table 1. Sorted phytosociological table with relevé from Beskid Sądecki Mts. Program TWINS PAN

Gatunek Species	Numer zdjęcia – Relevé number																											
	19	10	11	14	23	17	18	21	22	1	3	29	32	12	5	8	9	15	28	24	31	4	25	26	30	27		
<i>Nar str</i>	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*000001
<i>Pim sax</i>	2	-	-	1	1	2	2	1	2	-	1	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*000001
<i>Pot ere</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*000010
<i>Cru gla</i>	2	1	1	-	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	-	-	-	-	-	*00011
<i>Luz luz</i>	2	2	-	1	2	-	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*00011
<i>Bri med</i>	-	-	-	1	-	1	-	1	-	2	1	2	2	1	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*00110
<i>Pri ela</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*01000
<i>Cen jac</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*01000
<i>Ast maj</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-	2	2	3	2	1	1	2	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	*010010
<i>Leu vul</i>	1	-	-	1	-	1	-	1	-	1	1	1	1	1	1	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*010011
<i>Hyp mac</i>	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	-	-	1	1	-	1	-	2	*011001
<i>Agr cap</i>	-	1	2	2	-	1	1	1	-	2	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2	1	2	1	-	-	-	-	*011001
<i>Fes rub</i>	-	2	-	2	2	1	-	1	-	1	2	2	-	2	1	1	2	2	1	2	2	-	-	-	-	-	-	*011001
<i>Luz mul</i>	-	1	1	2	1	2	1	-	1	2	1	-	2	2	-	-	-	2	-	1	1	1	-	-	-	-	-	*011001
<i>Rum ace</i>	1	2	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	*100
<i>Ste gra</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	1	1	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	*1010
<i>Ant odo</i>	1	1	-	1	-	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	-	2	2	2	*101100
<i>Pla lan</i>	1	-	-	1	-	2	1	1	-	2	1	-	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	*101100
<i>Ran acr</i>	-	1	1	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	-	1	-	-	*101100
<i>Ver cha</i>	-	1	1	-	1	-	1	-	1	-	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	*101100
<i>Fes pra</i>	-	-	-	-	1	-	1	-	-	2	-	1	1	1	2	1	1	-	2	1	-	-	2	-	-	-	-	*101100
<i>Dac glo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1	2	1	-	2	1	1	1	1	1	1	1	*1100
<i>Cam pat</i>	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	2	-	1	2	2	1	1	-	-	2	2	2	1	2	2	2	2	*110100

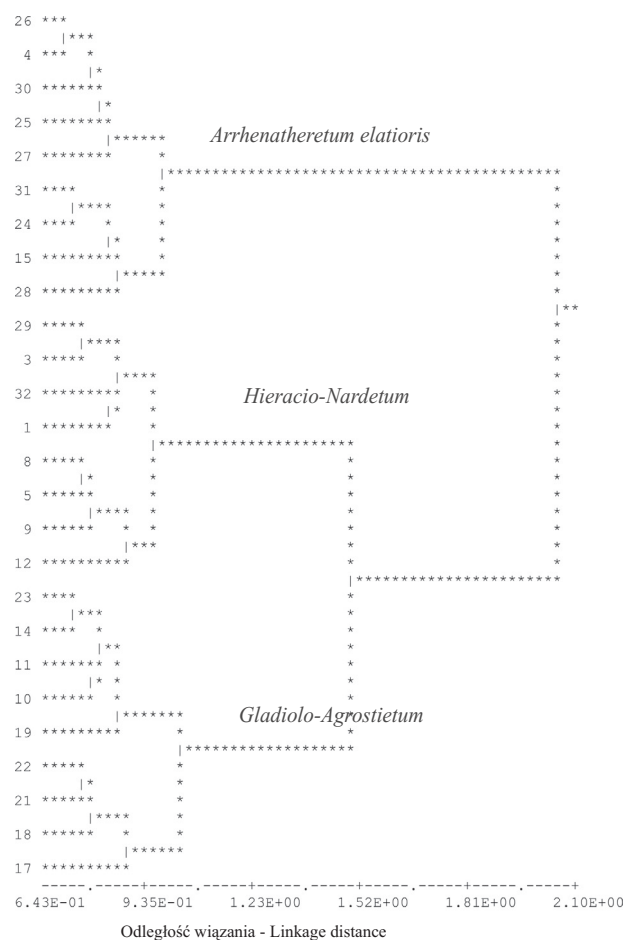
Gatunek Species	Numer zdjęcia – Relevé number																														
	19	10	11	14	23	17	18	21	22	1	3	29	32	12	5	8	9	15	28	24	31	4	25	26	30	27					
<i>Tri rep</i>	1	1	1	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2	*110101				
<i>Ach mil</i>	1	–	–	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–	–	1	–	1	–	1	2	2	1	1	2	1	*110101				
<i>Tri pra</i>	–	–	–	–	–	–	1	–	–	1	–	–	–	2	1	1	–	1	–	2	1	2	2	2	2	2	*110101				
<i>Her sph</i>	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	1	1	1	–	1	–	1	2	2	1	1	1	–	*110101				
<i>Hol lan</i>	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	1	2	2	2	–	2	2	2	*111010				
<i>Tar off</i>	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–	1	1	2	–	1	2	2	2	2	*111011				
<i>Ran rep</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	2	2	2	2	2	2	2	*111011				
	0000*	1000*	1000*	1000*	1000*	100*	100*	100*	100*	0010*	0010*	0010*	0010*	1010*	110*	110*	110*	01*	110*	011*	110*	0111*	0111*	0111*	0111*	1111*					

Przedstawiono tylko 30 gatunków o największej roli wskaźnikowej. Ostatnia kolumna przedstawia klasyfikację gatunków, a ostatni wiersz klasyfikację zdjęć fitosocjologicznych.

Only 30 best fitted species is presented. The last column shows species classification and the last row relevé classification.

analiz testowych (metoda ekspercka). Wynikiem mogą być dendrogramy przedstawiające hierarchiczny układ podobieństwa zdjęć jak i uporządkowane tabele.

Dendrogram (ryc. 1) będący wynikiem analizy przykładowych zdjęć powstał w oparciu o zaproponowane ustawienia. W zależności od przyjętego poziomu podobieństwa (przedstawionemu na osi jako odległość wiązania) można wyróżnić kilka grup zdjęć. Główny podział oddziela zdjęcia przedstawiające zespół *Arrhenatheretum elatioris* od pozostałych zdjęć, które z kolei na niższym poziomie podobieństwa dzielą się na zdjęcia zaklasyfikowane do *Gladiolo-Agrostietum* i *Hieracio-Nardetum*. Układ hierarchiczny sugeruje większe podobieństwo zespołu *Gladiolo-Agrostietum* do *Hieracio-Nardetum* niż do *Arrhenatheretum elatioris*. Dendrogram umożliwia także dalsze podziały wyodrębnionych grup.



Ryc. 1. Dendrogram i klasyfikacja zdjęć wykonana przy pomocy programu MULVA-5
Fig. 1. Dendrogram and classification of relevè according to MULVA-5

Dalsze działanie programu umożliwiło otrzymanie uporządkowanej tabeli fitosocjologicznej (tab. 2). Powstała ona przy wstępnym założeniu o podziale zdjęć na 3 grupy. Wynik analizy jest zbliżony do uzyskanego w programie TWINSPAN, co wynika głównie ze znacznego zróżnicowania danych spowodowanego subiektywnym wyborem zdjęć. Inne są nieco główne gatunki różnicujące, co spowodowane jest zastosowaniem innych algorytmów i miar podobieństwa. W przypadku wystąpienia wielu zdjęć o charakterze przejściowym wyniki analiz mogą się znacznie różnić. Zawsze więc przed sporządzeniem końcowej klasyfikacji niezbędna jest weryfikacja uzyskanych wyników poprzez doświadczonego fitosocjologa.

CANOCO – program umożliwia zastosowanie wielu metod porządkowania w celu (ter BRAAK i SMILAUER, 2002):

- opisu struktury zróżnicowania zbioru danych (np. zdjęć fitosocjologicznych),
- opisu struktury jednego zbioru danych przez drugi zbiór danych (np. składu gatunkowego w zależności od zmiennych środowiskowych),
- opisu struktury jednego zbioru danych przez drugi zbiór danych po odjęciu wpływu trzeciego zbioru danych (np. składu gatunkowego w zależności od zmiennych środowiskowych po odjęciu wpływu wahań sezonowych).

W ramach tych zagadnień można wybierać z szeregu metod stosowanych w zależności od rozkładu danych (liniowy czy jednomodalny). Wynikiem są diagramy przedstawiające graficznie uporządkowanie prób (zdjęć), gatunków i zmiennych środowiskowych. Uzyskuje się także informacje o wielkości zmienności danych oraz procencie zmienności wyjaśnianej przez poszczególne osie. W niektórych modelach możliwa jest także statystyczna ocena istotności wpływu poszczególnych zmiennych przy użyciu testów permutacyjnych.

Do przykładowej analizy wybranych zdjęć fitosocjologicznych zastosowano nietendancyjną analizę zgodności (DCA), jako jedną z najczęściej stosowanych technik do porządkowania prób roślinności (DZWONKO, 2007). Sugerowana jest ona także (LEPS i SMILAUER, 2005) jako wstępna analiza dla wyboru metod dalszego postępowania w zależności od wielkości zróżnicowania danych. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Na podstawie wyników analizy widać, że długość pierwszego gradientu (oś 1) jest największa (3,197 odchylenia standardowego) i objaśnia 19,1% całej zmienności gatunkowej, podczas gdy drugi gradient jest znacznie krótszy. Dwie pierwsze osie objaśniają łącznie 25,4% zmienności. Obie osie są wysoko skorelowane ze zmiennymi środowiskowymi ($r = 0,985$ i $r = 0,800$ kolejno). Sporządzenie diagramów umożliwia graficzne przedstawienie wyników. Dla zwiększenia przejrzystości wykonano 3 diagramy – osobno dla gatunków, zdjęć i zmiennych środowiskowych. Uporządkowanie zdjęć przedstawiono na rycinie 2. Poszczególne zdjęcia zostały zaklasyfikowane do odpowiedniego zespołu na podstawie wcześniej dokonanej klasyfikacji i oznaczone różnymi symbolami. Odległość pomiędzy punktami odzwierciedla podobieństwo składu gatunkowego zdjęć – np. zdjęcie nr 23 jest najbardziej podobne pod względem składu gatunkowego do zdjęcia nr 11, a najmniej podobne do zdjęcia nr 25.

Tabela 2. Uporządkowana tabela fitosocjologiczna wykorzystująca zdjęcia łąkowe z Beskidu Sądeckiego. Program MULVA-5

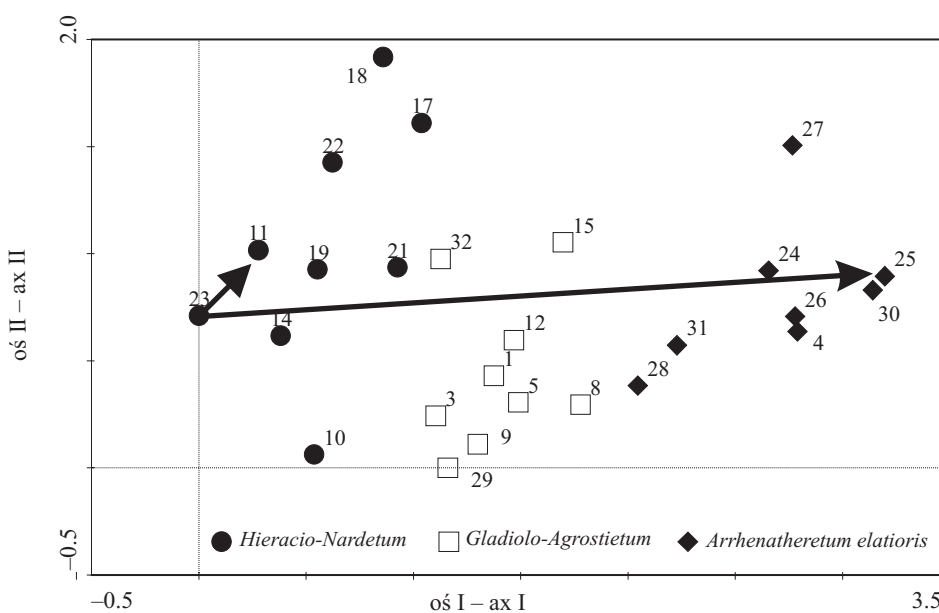
Table 2. Sorted phytosociological table with relevè from Beskid Sądecki Mts. Program MULVA-5

RELEVE NO.	111111222	1 23	223 12223
	197084213	31852992	570454861
RELEVE GROU	333333333	22222222	111111111
Hie pil	15	1+1.12...	.....
Vac myr	15	+2+2.1++2	...+....
Des fle	15	+1.+3+.1	...+....
Car pil	19	211+2...2+
Pot ere	3	231213222	12++1132
Nar str	3	535444555	3+...3
Leu vul	8	...+...+	++1++++
Pol vul	8	...+...+	+++1.+1
Ran pol	8	...+...+	...+111
Bri med	8	...+...+	+3+2+.12
Lat prat	22	.....	.1++1...
Gen asc	13	+...+...+	+++2.+
Fes pra	1	...+...+	.1+1++++
Ast maj	1	...+...+	233++342
Cre mol	12	.....	+2++++1+
Cen jac	12	.....	133+2211
Pri ela	12	.....	11121+1.
Cam glo	12	.....	+1...+.+
Tri pra	2	...+...+	+++1...|2121+1.1+
Dac glo	2	...+...+	+1+++.|++++.2.++
Her sph	2	...+...+	+...+.+.|+.1+.+.1
Ver cha	2	+...+...+	++11+11+|2+++123+
Bro mol	10	.....	...2+.+.+
Poa tri	10	.....	|2.33.1+3+
Ran rep	10	.....	|1211+1+31
Hol lan	10	...+...+	..1.....|313.3+11
Cer hol	10	..1.....	...+...|++11+1.++
Tar off	10	...+...+	...+...|112++2+2.
Rum obt	17	.....	.....|21...1.++
Poa pra	17	.....	...+...|1...1+++.

Przedstawiono tylko 30 gatunków o największej roli wskaźnikowej.
Only 30 best fitted species is presented.

Tabela 3. Zmienność objaśniana przez cztery pierwsze osie DCA
 Table 3. Variance explained by first four DCA axes

Osie – Axes	1	2	3	4	Suma wszystkich wartości własnych Sum of all eigenvalues
Wartość własna – Eigenvalue	0,425	0,141	0,091	0,058	2,228
Długość gradientu – Length of gradient	3,197	1,918	1,565	1,130	
Korelacja skład gatunkowy – zmienne środowiskowe Species-environment correlations	0,985	0,800	0,561	0,762	
Skumulowany procent zmienności roślinności (%) Cumulative percentage variance of species data (%)	19,1	25,4	29,5	32,1	
Współdziałania roślinności i zmiennych środowiskowych Species-environment relation	32,2	41,5	0,0	0,0	

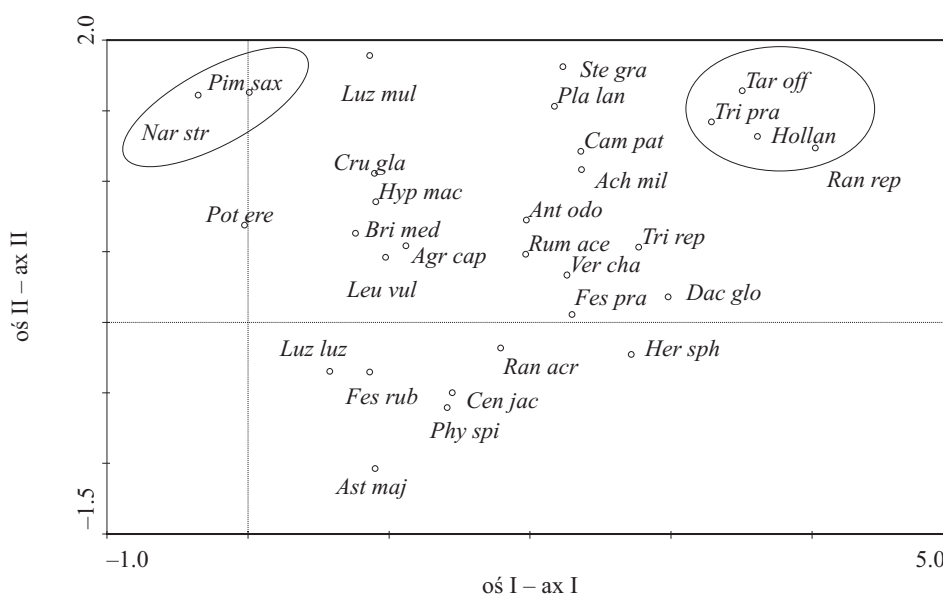


Ryc. 2. Diagram uporządkowania zdjęć fitosocjologicznych względem I i II osi DCA. Program CANOCO

Fig. 2. Ordination diagram of relevè in relation to first and second ax of DCA. CANOCO program

Na rycinie 3 przedstawiono uporządkowanie wybranych gatunków. Punkty położone na diagramie w pobliżu siebie odpowiadają gatunkom zwykle występującym razem. Np. *Taraxacum officinale*, *Trifolium pratense* i *Holcus lanatus* pojawiają się najczęściej w tych samych zdjęciach, z kolei *Nardus stricta* i *Pimpinella saxifraga* również razem,

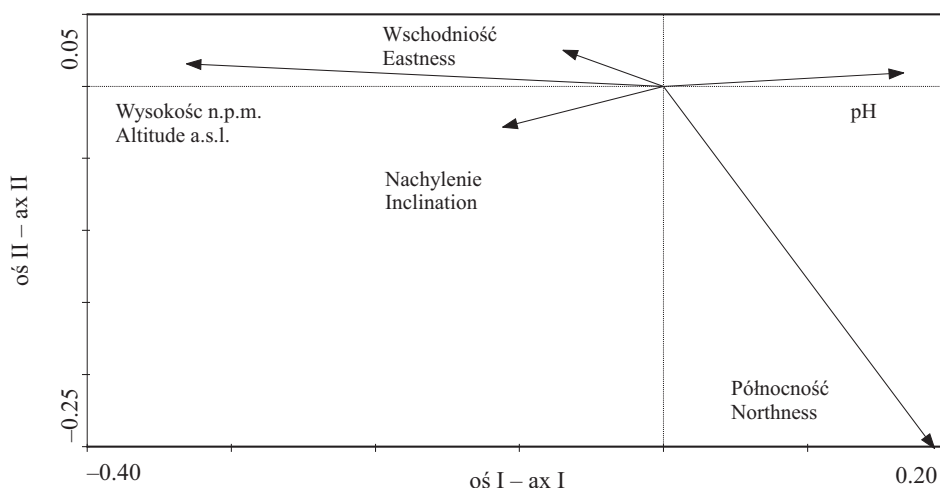
ale w zupełnie innych zdjęciach. Obie grupy sytuują się na przeciwległych końcach osi, a więc w najbardziej różniących się zdjęciach.



Ryc. 3. Diagram uporządkowania gatunków względem I i II osi DCA. Przedstawiono tylko 30 gatunków o największej wadze. Program CANOCO

Fig. 3. Ordination diagram of species in relation to first and second ax of DCA. Only 30 best fitted species is presented

DCA jest metodą pośrednią, a więc o wpływie zmiennych środowiskowych na skład gatunkowy możemy wnioskować sporządzając diagram przedstawiający uwzględnione zmienne środowiskowe (ryc. 4). Kierunek strzałki wskazuje kierunek największego zróżnicowania w składzie gatunkowym, związanego z daną zmienną środowiskową, a jej długość jest proporcjonalna do roli tej zmiennej. W przedstawionym przykładzie wysokość nad poziomem morza jest bardzo silnie ujemnie skorelowana z odczynem gleby (pH) i obie zmienne skorelowane z pierwszą osią. Diagramy mogą przedstawiać jednocześnie uporządkowanie zdjęć, gatunków oraz zawierać zmienne środowiskowe. Punkty (zdjęcia lub gatunki) mogą być rzutowane prostokątnie na strzałki obrazujące poszczególne zmienne. Umożliwia to ocenę wpływu zmiennych środowiskowych na występowanie gatunków i zbiorowisk roślinnych. Obliczając korelacje między zmierzonymi wartościami zmiennych środowiskowych i wartościami współrzędnych prób (względem osi), można wnioskować, które czynniki odpowiadają za zróżnicowanie badanych zbiorowisk.



Ryc. 4. Diagram zmiennych środowiskowych i ich powiązania z dwoma pierwszymi osiami DCA. Wschodniość – ekspozycja w stosunku do wschodu, północność – ekspozycja w stosunku do północy. Program CANOCO

Fig. 4. Diagram of environmental variables and their relation to first and second DCA axes. Eastness – exposition in relation to East, northness – exposition in relation to North. Program CANOCO

4. Podsumowanie

Metody numeryczne we współczesnych badaniach nad roślinnością odgrywają bardzo dużą rolę. Mogą być wykorzystywane na wszystkich etapach gromadzenia i przetwarzania danych. Szczególnie przydatne są przy analizie dużej liczby zdjęć fitosocjologicznych. Umożliwiają badanie wpływu czynników środowiskowych na występowanie gatunków i zbiorowisk roślinnych. Zawsze jednak niezbędne jest odpowiednie postawienie problemu i dostosowanie właściwych metod. Nie istnieje jedna, uniwersalna i obiektywna technika numeryczna, która idealnie mierzy i prezentuje zróżnicowanie roślinności. Stosowanie różnych metod transformacji, wybór współczynników prawdopodobieństwa czy metod skupiających powoduje, że metody numeryczne nie mogą być obiektywne (MUCINA i VAN DER MAAREL, 1989). W zależności od przyjętych założeń i zastosowanych metod rezultaty będą się różnić. Zaletą technik numerycznych, w zestawieniu z klasyczną analizą, jest przede wszystkim to, że wszystkie badane zdjęcia są porównywane i grupowane lub porządkowane dokładnie w ten sam sposób, który może być wielokrotnie powtórzony, dając w przypadku tych samych danych takie same rezultaty (DZWONKO, 2007).

Literatura

- BRAUN-BLANQUET J., 1964. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Auflage Springer Verlag, Wien.
- DZWONKO Z., 2007. Przewodnik do badań fitosocjologicznych. Sorus, Poznań – Kraków.
- HENNEKENS S.M., SCHAMINÉE J.H.J., 2001. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science*, 12, 589-591.
- HILL M.O., ŠMILAUER P., 2005. TWINSpan for Windows version 2.3. Centre for Ecology and Hydrology & University of Bohemia, Huntington & Ceske Budejovice.
- KULCZYŃSKI S., 1928. Die Pflanzenassoziationen der Pieninen. *Bulletin Academiae Poloniae Scientiae Cl.* 2, ser. B 2: 57-203.
- LEGENDRE P., LEGENDRE L., 1998. Numerical ecology. Elsevier Science, Amsterdam.
- LORO P.M., 1998. Dobór współczynników podobieństwa w badaniach zbiorowisk roślinnych. W: *Metody numeryczne w badaniach struktury i funkcjonowania szaty roślinnej – materiały pokonferencyjne*. V Szkoła i XLVI Seminarium geobotaniczne (red. E. Kaźmierczak, A. Nienartowicz, A. Piernik, J. Wilkoń-Michalska). Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, 119-132.
- MAAREL E. VAN DER, 1998. Multivariate analysis in plant ecology. W: *Metody numeryczne w badaniach struktury i funkcjonowania szaty roślinnej – materiały pokonferencyjne*. V Szkoła i XLVI Seminarium geobotaniczne (red. E. Kaźmierczak, A. Nienartowicz, A. Piernik, J. Wilkoń-Michalska). Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, 65-108.
- MUCINA L., 1997. Classification of vegetation: past, present and future. *Journal of Vegetation Science*, 8, 751-760.
- MUCINA L., MAAREL E. VAN DER, 1989. Twenty years of numerical syntaxonomy. *Vegetatio*, 81: 1-15.
- PALMER M. W., 1998. Canonical Correspondence Analysis: some advice and guidelines. W: *Metody numeryczne w badaniach struktury i funkcjonowania szaty roślinnej – materiały pokonferencyjne*. V Szkoła i XLVI Seminarium geobotaniczne (red. E. Kaźmierczak, A. Nienartowicz, A. Piernik, J. Wilkoń-Michalska). Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń, 171-187.
- PAWŁOWSKI B., 1977. Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania. W: W. Szafer, K. Zarzycki (red.) *Szata roślinna Polski*, t. I, PWN, Warszawa.
- ROBERTS D.W., 1986. Ordination on the basis of fuzzy set theory. *Vegetatio*, 66, 123-131.
- TER BRAAK C.J.F., ŠMILAUER P., 2002. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA).
- WILDI O., ORLÓCI W., 1996. Numerical exploration of community patterns. SPB Academic Publishing, The Hague.
- ZARZYCKI J., 2008. Roślinność łąkowa pasma Radziejowej (Beskid Sądecki) i czynniki wpływające na jej zróżnicowanie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie, Rozprawy*, 352.

Methodological and technical innovation in phytosociological research

J. ZARZYCKI

*Department of Ecology, Climatology and Air Protection, University of Agriculture
in Krakow***Summary**

The paper presents general overview of some statistical methods used in vegetation sciences, especially in phytosociology. The methods used in ecological research and in ecological data analysis are determined by the objectives of the project. They are mainly used for storage, classification and ordination of data. Phytosociological surveys are often connected with collecting, storing and selecting numbers of relevés and environmental variables. To manage them specialist computer programs are needed. In the paper short characteristic of TURBOVEG, the most commonly used one, is presented. For analyzing data multivariate methods are used. Multivariate analysis in plant ecology is the mathematical and statistical analysis of the variation of many plant-ecological variable, especially the plant species observed and environmental factors. The aim of classification is to obtain groups of relevés that are internally homogeneous and distinct from the other groups. Classification may be agglomerative or divisive. The result of classification is usually a dendrogram which in graphical way illustrates distance between relevés or clusters of relevés and their hierarchical structure. Some programs produce also ordered phytosociological table. Often used programs for classification are SYNTAX, JUICE, MULVA and TWINSpan. The aim of ordination is to order a set of relevés with respect to one or more axes, based on botanical composition. Two main groups of methods are used. In indirect ordination (PCA, DCA, CA), gradients are inferred from species composition data. In direct ordination (RDA, CCA, DCCA) gradients are known and relevés are related directly to measured environmental variables. The inspection of ordination may also lead to ideas about the possible classification of relevés. The most popular computer programs are CANOCO and SYNTAX. On the basis of results obtained with the data set included 26 phytosociological relevés from grasslands in Beskid Sądecki Mts. exemplary use of some computer software (TWINSpan, MULVA, CANOCO) for classification and ordination of relevés is presented.

Recenzent – Reviewer: *Piotr Goliński*

Adres do korespondencji – Address for correspondence:

Dr hab. inż. Jan Zarzycki

Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

tel. 12 662-40-67

e-mail: j.zarzycki@ur.krakow.pl

