

# Ocena stanu środowiska przyrodniczego krajobrazów z zastosowaniem wskaźników faunistycznych

## Quantifying landscapes environment by means of faunistic indicators

Edyta Regulska

Zakład Geoeologii i Klimatologii IGiPZ PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Polska  
e-mail: eregulska@twarda.pan.pl

---

**Abstract:** The aim of this paper was synthetic presentation of current state of theoretical knowledge and practical use of earthworms' species in environmental indication. Additionally, estimation of usefulness of these methods in landscapes researches was done. The search was conducted for publications of ISL Web of Science, between the years 2005 (January) and 2008 (March) by word "earthworm" for the first area and "indicator" for the second part and was generally limited to Elsevier and Kluvier publications. 106 out of 696 articles were chosen as fulfill demands: connected with earthworms and human activities and related to terrestrial space. Articles were classified to six groups (survey) – rural, forest, urban, suburban, mixed, and natural; moreover one group (theory) – review/theory. Most of ex situ examinations were not taken into account (e.g. with artificial soil, introduced species).

**Key words:** landscape, indication, earthworms (*Lumbricidae*), land use, habitat variables

**Słowa kluczowe:** krajobraz, indykacja, dżdżownice (*Lumbricidae*), użytkowanie ziemi, zmienne siedliskowe

### Wprowadzenie

Zmiany użytkowania ekosystemów (zmiana mozaiki krajobrazu, zabiegów agrotechnicznych, praktyk leśnych) silnie oddziałują na bioróżnorodność zarówno ich samych jak i terenów otaczających. W przypadku krajobrazów wiejskich, interakcje zachodzące między różnymi podsystemami agroekosystemu: ekonomicznymi (ceny płodów rolnych), socjalnymi (edukacja rolnicza) i środowiskowymi (elementy biotyczne i abiotyczne), wpływają na różnorodność typów siedlisk, rodzaj hodowanego plonu i inwentarza a w konsekwencji na dziko żyjące gatunki związane z krajobrazem wiejskim. Powstało wiele kompleksowych systemów oceny stanu środowisk wiejskich (m.in. projekty: IRENA, LUKAS, SUSAGRI „w opracowaniu (Aakkula 2000, OECD 2002)”). Jednakże przeważają w nich wskaźniki społeczno-ekonomiczne, a wskaźniki krajobrazowe i biologiczne stosowane są tylko w niewielkim zakresie. Wyraźnie odczuwalny jest brak indykacyjnych metod ocen krajobrazów, które mogą być stosowane i porównywane

w różnych skalach czasowych i przestrzennych (zarówno lokalnej jak i regionalnej). Istnieje jednocześnie przekonanie, że bioindykator, który w ujęciu biologicznym stanowi organizm, część organizmu lub zgrupowanie organi-zmów zawierające informację o stanie środowiska „w opracowaniu (Markert et al. 2003)”, poprzez przedstawienie zależności między czynnikami fizycznymi, komponentami biotycznymi i różnym sposobem użytkowania ziemi może być narzędziem ocen w zrównoważonym zarządzaniu środowiskiem przyrodniczym „w opracowaniu E. Roo-Zielińskiej et al. (2007)”. Jednym z najszybciej rozwijających się kierunków ocen środowiska (obok wskaźników florystycznych i geobotanicznych „w opracowaniu J. Solona (2004)”), jest wykorzystanie wskaźników faunistycznych a wśród nich liczne są prace z zastosowaniem dżdżownic (*Lumbricidae*), chrząszczy (*Carabidae*), pająków (*Araneae*) oraz innej fauny epigeicznej.

Celem prezentowanego opracowania jest syntetyczne przedstawienie aktualnego stanu wiedzy teoretycznej i zastosowań praktycznych indykacji środowiska przyrodniczego na podstawie gatunków dżdżownic. Praca bazuje na szerokim przeglądzie literatury z lat 2005-2008. Dodatkowym celem jest ocena przydatności tych metod indykacyjnych w badaniach na poziomie krajobrazu.

## Lumbricidae jako ważna grupa makrofauny glebowej

Pomysł zastosowania dżdżownic jako bioindykatorów jest bardzo stary, bo już w połowie ubiegłego stulecia Ghilarov, „w opracowaniu (Gilarov 1949)”, przedstawił publicznie te ideę, a nieco później Volz, „w opracowaniu (Volz 1962)”, ukazał całą koncepcję oceny środowiska glebowego w lesie. Jednakże, w tamtych czasach, me-tody te nie spotkały się z ogólną akceptacją i nie były szeroko stosowane. Według współczesnych poglądów wartość indykacyjna dżdżownic wynika z roli, jaką odgrywają w środowisku glebowym „w opracowaniu (Römbke et al.2005b)”: a) poprawiają strukturę gleby, b) dostarczają substancji odżywczych dla roślin lub zwiększają ich dostępność, c) przemieszczają materię organiczną, glebę i nasiona wzdłuż profilu glebowego, d) poprzez koprolity (produkty przemiany materii) zwiększają różnorodność i aktywność mikrobiologiczną, e) zmieniają właściwości gleby oraz kreują nowe siedliska dla innych organizmów.

Ponadto, *Lumbricidae* spełniają formalne kryteria dobrego indykatora - zasady ich wykorzystywania w badaniach są czytelne i łatwe do zastosowania: a) pozyskanie osobników nie sprawia trudności, b) istnieją klucze do ich oznaczania, c) są szeroko rozprzestrzenione na świecie, d) istnieją standardowe metody opracowane przez OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) i ISO (International Organization for Standarization), dotyczące wielu poziomów badań z wykorzystaniem *Lumbricidae*, „w opracowaniu (ISO 1999)”, e) reakcja na stres jest mierzalna w sposób ilościowy i jakościowy na różnych poziomach organizacji, f) są uznawanymi organizmami testowymi w badaniach z zakresu ekotoksykologii.

## Źródła danych i metody analizy

Źródłem informacji o badaniach z zastosowaniem *Lumbricidae* była baza artykułów naukowych ISL Web of Science. Przeszukania ograniczono do prac w języku angielskim, ukazujących się w czasopiśmie dwóch wiodących wydawnictw - El-sevier i Klavier. Z całej bazy wybrano artykuły spełniające następujące kryteria: a) przedział czasowy styczeń 2005 - marzec 2008, b) hasła – „earthworm” and/or „indicator” w abstrakcie, słowach kluczowych lub tekście artykułu. 696 publikacji spełniło powyższe warunki wyszukiwania. W wyniku przeglądu uzyskanych artykułów do dalszych analiz wybrano 106 prac, które uznano za zgodne z tematem opracowania, czyli związane z zastosowaniem *Lumbricidae*, powiązane z działalnością człowieka i odnoszące się do przestrzeni, pominięto natomiast badania ex situ (np. ze

sztuczną ziemią, czy introdukowanymi osobnikami). Wybrane artykuły poddano szczegółowej analizie pod kątem głównej tematyki, terenu i metod badań, zastosowań, powtarzalności zbioru danych.

## Wyniki analizy

### Rezultaty analizy grup tematycznych

Z ogólnej liczby 106 artykułów, 65% stanowią artykuły dotyczące konkretnych badań, 35% to podsumowania badań w postaci przeglądów, bądź koncepcji teoretycznych. Prace podzielono na 7 grup - wiejska, leśna, miejska, podmiejska, naturalne, mieszana oraz przegląd/teoria (która zawiera także artykuły podsumowujące wyniki i wnioski z prac zaliczonych uprzednio do pozostałych grup). Biorąc pod uwagę tylko pierwsze 6 grup, zdecydowanie dominują prace poświęcone obszarom wiejskim (53%), następnie grupa „naturalne” (13%) zawierająca artykuły poświęcone okresowo zalewanym terenom przyrzecznym, kolejno grupa mieszana (12%), która zawiera prace badawcze realizowane w różnych krajobrazach (np. wiejskim - leśnym) i grupy: leśna, podmiejska i miejska (odpowiednio 9%, 7%, 6%). Grupę podmiejską w całości tworzą prace związane z terenami przemysłowymi, natomiast grupy leśną i miejską zgodnie z nazwą, artykuły związane z kompleksami leśnymi i obszarami miejskimi.

### Tematyka prac w przeglądach grupowych

#### *Grupa wiejska*

Tematyka prac związanych z krajobrazem wiejskim jest bardzo różnorodna. Najczęściej dotyczą sposobu użytkowania ziemi - historii upraw „w opracowaniu (Kukkonen et al. 2006)”, upraw organicznych a konwencjonalnych „w opracowaniu (Ivask et al. 2007)”, intensywnych a ekstensywnych „w opracowaniu (Sepp et al. 2005)”, zabiegów rolniczych - nawożenia „w opracowaniu (Price, Voroney 2008)”, mulczowania (umieszczenie pokrywy ochronnej na powierzchni gleby, głównie w celu zniwelowania niekorzystnych oddziaływań czynników siedliskowych) „w opracowaniu (Brévault et al. 2007)”, zastosowania środków chemicznych, rodzaju wykonywanych zabiegów mechanicznych i rotacji plonów „w opracowaniu (Blackshaw et al. 2007, Riley et al. 2008, Ouellet et al. 2008)”, oraz transferu zanieczyszczeń w środowisku glebowym „w opracowaniu (Zhao et al. 2006)”. Wyszczególniona jest także zmienna „typ gleby”, w której badane są zależności między typem gleby i jej właściwościami fizyczno-chemicznymi a występowaniem i/lub bogactwem gatunkowym zgrupowania *Lumbricidae* „w opracowaniu (Joschko et al. 2006)”. W celu poznania wpływu poszczególnych zmiennych siedliskowych zawartych w tematyce artykułów grupy wiejskiej (sposób użytkowania ziemi, praktyki rolnicze, typu gleby i oceny zanieczyszczeń) wykorzystano różne charakterystyki zgrupowanie *Lumbricidae* (Tab.1).

**Tab. 1.** Charakterystyki zgrupowania *Lumbricidae* wykorzystane w badaniach krajobrazów wiejskich (Tabela ukazuje w ilu pracach wykorzystano daną charakterystykę zgrupowania *Lumbricidae* dla danej zmiennej siedliskowej. Wartości po zsumowaniu nie będą równe ogólnej liczbie prac, gdyż niemal w każdej z nich analizowano zależności między więcej niż jedną zmienną siedliskową oraz kilkoma charakterystykami zgrupowania, podobnie w Tab. 3,5,7)

**Tab. 1.** Characteristics of *Lumbricidae* community used in the rural landscapes researches. (Table shows in how many articles characteristic of *Lumbricidae* community was used for relevant habitat variable. Value after summation will not equal to numbers of all articles, because were analyzed more than one relation among habitat variables and characteristic of *Lumbricidae* community in almost all of works, alike in Tab. 3,5,7)

Charakterystyki zgrupowania dżdżownic	Analizowane zmienne siedliskowe			
	Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania praktyki rolnicze	Typ gleby	Zanieczyszczenia
Biomasa	3	16	7	0
Inne policzalne (li-czebność i in.)	4	15	6	0
Bioakumulacja	0	0	0	3
Gatunki	3	6	6	1
Wyższe taksony	1	5	0	1
Grupy ekologiczne	1	4	4	1
Koprolity	0	3	0	0

W większości przypadków analizie związku zgrupowania dżdżownic ze zmiennymi siedliskowymi towarzyszyły także analizy innych zależności (Tab.2). Najczęściej stosowane w poszczególnych charakterystykach środowiska były parametry: a) glebowe: pH, C, N, stosunek C/N, wilgotność oraz uziarnienie gleby, b) klimatyczne: średnie miesięczne i/lub roczne opady i temperatury, c) dotyczące roślinności: biomasa korzeni, występowanie i kompozycja roślin na polach i krawędziach pól, d) inne organizmy: mikroorganizmy, nicienie, roztocza, mrówki, skoczogonki, wazonkowce, chrząszcze i pająki, e) metryki krajobrazowe: różnorodność płatów i typ płatów, wielkość pola i długość granic.

**Tab. 2.** Charakterystyki środowiska wykorzystane w badaniach krajobrazów wiejskich

(Tabela pokazuje w ilu pracach wykorzystano daną charakterystykę środowiska dla danej zmiennej siedliskowej. Wartości po zsumowaniu nie będą równe ogólnej liczbie prac, gdyż niemal w każdej z nich analizowano zależności między więcej niż jedną zmienną siedliskową oraz kilkoma charakterystykami środowiska, podobnie w Tab. 4,6,8).

**Tab. 2.** Characteristics of environment used in rural landscapes researches (Table shows in how many articles relevant characteristic of environment was used for relevant habitat variable. Value after summation will not equal to total number of articles, because were analyzed more than one relation among habitat variable and a number characteristic of environment in almost all of works, alike in Tab. 4,6,8)

Charakterystyki środowiska	Analizowane zmienne siedliskowe				
	Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania praktyki rolnicze	Typ gleba	Zanieczyszczenia	
Klimat	1	4	4	0	
Gleba	Fizyczne	5	14	9	3
	Chemiczne	3	12	8	4
Dotyczące roślinności	1	2	0	0	
Inne organizmy	4	13	1	2	
Metryki krajobrazowe	2	2	1	0	

*Grupa naturalna*

W grupie naturalnej znalazły się artykuły poświęcone trzem problemom badawczym: a) ocena stopnia zanieczyszczeń gleby metalami ciężkimi na terenach przybrzeżnych „w opracowaniu (Hobbelen et al. 2006a)” i okresowo zalewanych „w opracowaniu (Van Vliet et al. 2005, 2006)” oraz, b) zależności między długością okresu zalewania wody i/lub okresem suszy na terenach okresowo zalewanych a zgrupowaniem Lumbricidae „w opracowaniu (Plum, Fliser 2005, Zorn et al. 2005)”, c) wpływ czynników fizyczno-chemicznych i biologicznych (w tym Lumbricidae) na formowanie się gleb aluwialnych (formy humusu), „w opracowaniu (Bullinger-Weber et al. 2007)”.

Do rozpoznania wpływu poszczególnych zmiennych siedliskowych zawartych w tematyce artykułów grupy naturalnej (ocena zanieczyszczeń, stadium formowania gleby, wpływ okresów zalania/suszy) posłużono się różnymi charakterystykami zgrupowania *Lumbricidae* (Tab.3). Podobnie jak w przypadku grupy wiejskiej, analizie związku zgrupowania dżdżownic ze zmiennymi siedliskowymi towarzyszyły także analizy innych zależności, a) parametrów glebowych: najczęściej pH, C, zawartość materii organicznej, uziarnienie gleby oraz zawartość metali ciężkich, b) inne organizmy: najczęściej wazonkowce, c) dotyczące roślinności: typ roślinności, gatunki i wiek drzew, typ liści (Tab.4).

**Tab. 3.** Charakterystyki zgrupowania *Lumbricidae* wykorzystane w badaniach grupy naturalnej**Tab. 3.** Characteristics of *Lumbricidae* community used in natural group researches

Charakterystyki zgrupowania dżdżownic	Analizowane zmienne siedliskowe		
	Zanieczyszczenia	Stadium formowania gleby	Okres suszy /zalania
Biomasa	2	1	2
Inne policzalne (liczebność i in.)	2	1	2
Bioakumulacja	5	0	0
Gatunki	4	1	2
Wyższe taksony	1	0	1
Grupy ekologiczne	2	1	1
Koprolity	0	0	0

**Tab. 4.** Charakterystyki środowiska wykorzystane w badaniach grupy naturalnej**Tab. 4.** Characteristics of environment used in natural group researches

Charakterystyki środowiska		Analizowane zmienne siedliskowe		
		Zanieczyszczenia	Stadium formowania gleby	Okres suszy/zalania
Gleba	Fizyczne	5	1	3
	Chemiczne	5	1	3
Dotyczące roślinności		1	1	3
Inne organizmy		3	1	1

*Grupa mieszana*

W grupie mieszanej umieszczono artykuły dotyczące, a) oszacowania stopnia zanieczyszczenia w zależności od typu krajobrazu „w opracowaniu (Suthara et al. 2008)”, lub wzdłuż gradientu (odległość od źródła) natężenia oddziaływania zanieczyszczeń metalami ciężkimi „w opracowaniu (Nahmani et al.

2006)", b) wpływu różnego wykorzystania ziemi i sposobu zarządzania na zgrupowanie *Lumbricidae* „w opracowaniu (Huerta et al. 2007)" i na żyzność gleby „w opracowaniu (Geissen, Guzman 2006)". W celu poznania wpływu poszczególnych zmiennych siedliskowych zawartych w tematyce artykułów grupy mieszanej (sposób użytkowania ziemi, sposób zarządzania czy ocena zanieczyszczeń) zastosowano następujące charakterystyki zgrupowania *Lumbricidae* (Tab.5). Analizie związku zgrupowania dżdżownic ze zmiennymi siedliskowymi towarzyszyły analizy innych zależności, najczęściej, a) parametrów glebowych: pH, C, N, zawartość materii organicznej, uziarnienie gleby, typ gleby, wilgotność, b) struktura podłoża: grubość pokładu ściółki, resztki drzewne po wycince, c) dotyczące roślinności: typ roślinności, d) inne organizmy: najczęściej wazonkowce (Tab.6).

**Tab. 5.** Charakterystyki zgrupowania *Lumbricidae* wykorzystane w badaniach grupy mieszanej

**Tab. 5.** Characteristics of *Lumbricidae* community used in natural group researches

Charakterystyki zgrupowania dżdżownic	Analizowane zmienne siedliskowe		
	Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania	Zanieczyszczenia
Biomasa	6	3	1
Inne policzalne (liczebność i in.)	6	4	1
Bioakumulacja	0	0	1
Gatunki	5	1	2
Wyższe taksony	2	2	1
Grupy ekologiczne	4	2	1
Koprolity	1	0	1

**Tab. 6.** Charakterystyki środowiska wykorzystane w badaniach grupy mieszanej

**Tab. 6.** Characteristics of environment used in mixed group researches

Charakterystyki środowiska		Analizowane zmienne siedliskowe		
		Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania	Zanieczyszczenia
Klimat		2	1	0
Gleba	Fizyczne	5	3	1
	Chemiczne	5	3	1
Struktura podłoża		3	3	0
Dotyczące roślinności		3	2	1
Inne organizmy		3	1	1

### Grupa leśna

Prace zaliczone do grupy leśnej dotyczyły: a) tempa rozkładu materii organicznej np. w korelacji z *Lumbricidae* „w opracowaniu (Dechaine et al. 2007)" lub na terenach zanieczyszczonych „w opracowaniu (Vandecasteele et al. 2005)", b) oszacowania praktyk leśnych „w opracowaniu (Negrete-Yankelevich et al. 2007)", wpływu właściwości gleby na dystrybucję gatunków drzew „w opracowaniu (Romanya et al. 2005)". W celu poznania wpływu poszczególnych zmiennych siedliskowych zawartych w tematyce artykułów grupy leśnej (sposób użytkowania ziemi, sposób zarządzania – praktyki leśne, funkcji lasu i oceny zanieczyszczeń) zastosowano różne charakterystyki zgrupowania dżdżownic

(Tab. 7). W większości przypadków analizie związku zgrupowania dżdżownic ze zmiennymi siedliskowymi towarzyszyły analizy innych zależności: charakterystyki glebowe i struktura podłoża podobnie jak w grupie mieszanej, dotyczące roślinności: typ i struktura roślinności i inne organizmy: wazonkowce, mrówki i ptaki (Tab. 8).

**Tab. 7.** Charakterystyki zgrupowania *Lumbricidae* wykorzystane w badaniach grupy leśnej  
**Tab. 7.** Characteristics of *Lumbricidae* community used in forest group researches

Charakterystyki zgrupowania dżdżownic	Analizowane zmienne siedliskowe			
	Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania praktyki leśne	Funkcje lasu	Zanieczyszczenia
Biomasa	1	1	2	1
Inne policzalne (liczebność i in.)	1	2	3	0
Bioakumulacja	1	0	1	1
Gatunki	0	1	1	0
Wyższe taksony	0	1	0	0
Grupy ekologiczne	0	0	1	0
Koprolity	0	0	0	0

**Tab. 8.** Charakterystyki środowiska wykorzystane w badaniach grupy leśnej  
**Tab. 8.** Characteristics of environment used in forest group researches

Charakterystyki środowiska		Analizowane zmienne siedliskowe				
		Sposób użytkowania ziemi	Sposób zarządzania praktyki leśne	Funkcje lasu	Zanieczyszczenia	Typ
gleby						
Klimat		1	1	1	0	1
Gleba	Fizyczne	2	3	2	1	1
	Chemiczne	2	2	2	1	1
Struktura podłoża		2	1	2	0	1
Dotyczące roślinności		1	3	0	0	0
Inne organizmy		1	2	1	0	0

### *Grupa podmiejska i miejska*

W grupie podmiejskiej dominowały prace związane z terenami przemysłowymi, które dotyczyły oszacowania skażenia gleby i organizmów „w opracowaniu (Di Lella et al. 2005)” oraz skuteczności różnych sposobów rekultywacji uprzednio zanieczyszczonych obszarów „w opracowaniu (Pośpiech, Skalski 2006)”. W grupie tej, w niemal każdej z prac, zastosowano inne wskaźniki zgrupowania *Lumbricidae*: biomasę, parametry policzalne i jakościowe, aktywność oraz badania izotopowe i bioakumulacyjne. W grupie miejskiej badano wpływ zanieczyszczeń (metali ciężkich) na glebę i organizmy ją zamieszkujące „w opracowaniu (Hsu et al. 2006)”, wpływ intensywności praktyk w parkach miejskich „w opracowaniu (Smetak et al. 2007)”. W pracach mierzono akumulację metali ciężkich zarówno w glebie jak i w badanych organizmach lub zastosowano parametry: biomasę, inne policzalne (liczebność, zagęszczenie i in.) a tylko sporadycznie -

jakościowe (gatunki). Analizie związku zgrupowania dżdżownic ze zmiennymi siedliskowymi towarzyszyły analizy innych zależności: a) charakterystyki glebowe: C, N, struktura gleby, wilgotność i zawartość metali ciężkich, b) dotyczące roślinności: typ i struktura roślinności oraz c) inne organizmy: mrówki, małe ssaki, ptaki.

## Charakter badań

Badania z zastosowaniem Lumbricidae idą w dwóch kierunkach: 1) badanie zależności - co wpływa na organizmy i w jaki sposób się przejawia (62% artykułów ale warto podkreślić, że wśród nich 17% stanowi poznanie zależności z wysnuciem wskazań intrykacyjnych) oraz 2) ocena/intrykacja wybranych aspektów środowiska za pomocą organizmów - znamy reakcje organizmów na stres i za ich pomocą wnioskujemy (38% artykułów).

### *Skala badań i powtarzalność zbioru danych*

Najwięcej przeanalizowanych artykułów dotyczy badań przeprowadzanych na więcej niż jednym stanowisku/polu, ale w obrębie jednego regionu (54%), następnie prace w zakresie jednego stanowiska/pola (33%), najmniej prac dotyczy więcej niż jednego regionu (13%).

Najliczniej jako metodę badań przyjęto jednorazowe/jednosezonowe (jako sezon przyjęto porę roku) pozyskanie informacji o zgrupowaniu *Lumbricidae* (48%), kolejno więcej niż jeden sezon, ale w jednym roku badań (27%) i więcej niż jeden rok badań (25%).

## Wnioski

W ostatnim czasie zauważalny jest trend badań z nastawieniem intrykacyjnym, (jeśli nie badania ściśle wskaźnikowe, to badania zależności pod kątem przydatności do intrykacji). Większość prac z grupy przegląd/teoria również skupia się na omówieniu przydatności organizmów żywych jako biointrykatorów w badaniach krajobrazowych. Intrykacja rozwija się w dwóch kierunkach a) jednorazowe (najczęściej poprzez badania ekotoksykologiczne na glebie i organizmach) lub jednosezonowe określenie aktualnego stanu ekosystemu, b) monitoring i ocena stanu środowiska (najczęściej wielosezonowa) za pomocą organizmów żywych (poprzez znane reakcje na stres i wymagania siedliskowe, mające odzwierciedlenie w zmianach wartości poszczególnych charakterystyk zgrupowania – jakościowych lub/i ilościowych w zależności od postawionego założenia badawczego). Stosowano przy tym bardzo różne podejścia metodyczne przy pozyskiwaniu danych (Tab. 9).

W pracach poświęconych ocenie zanieczyszczeń metalami ciężkimi, najczęściej wykorzystywaną charakterystyką zgrupowania Lumbricidae był pomiar ich akumulacji w organizmach i glebie. We wszystkich grupach tematycznych w przypadku analizy sposobu zarządzania (praktyki rolnicze, leśne i in.), dominowało zastosowanie biomasy, parametrów policzalnych (liczebności, zagęszczenia i in.) a w mniejszym stopniu przyporządkowywano osobniki do gatunków, wyższych taksonów i grup ekologicznych. Natomiast przy analizie zmiennych siedliskowych – sposób użytkowania czy typ gleby również często wykorzystywano biomasę i inne policzalne ale niemal na równi z oznaczaniem osobników do gatunków (wyjątek grupa leśna). W przypadku pozostałych zmiennych siedliskowych (okres zalania/suszy czy stadium formowania się gleby) wykorzystanie wspomnianych charakterystyk zgrupowania Lumbricidae układało się w dość równomierny sposób.



**Tab. 9.** Najczęściej wykorzystywane metody pozyskiwania danych  
**Tab. 9.** The most often used methods of data collecting

Procedura	Metoda	Przykładowe prace
Pobór próby	- kopanie i ręczne przebieranie - ekstrakcja formalinowa i ręczne przebieranie - ekstrakcja formalinowa - ekstrakcja musztardowa	Joschko i in. 2006 Valckx i in. 2006 Metzke i in. 2007 Ouellet i in. 2008
Pomiar biomasy	- świeża - po konserwacji - po wysuszeniu (24h - 60°C)	Sepp i in. 2005 Ouellet i in. 2008 Kukkonen i in. 2006
Oznaczanie osobników	- wszystkie - dorosłe i subdorosłe bez juvenilnych - dorosłe	Chan, Barchia 2007 Kukkonen i in. 2006 Hobbelen i in. 2006
Struktura wewnętrzna zgrupowania	- gatunki - wyższe taksony - grupy ekologiczne - grupy funkcjonalne	Kamitani, Kaneko 2007 Blanchart i in. 2006 Van Vliet i in. 2007 Brévault i in. 2007
Koprolity	- sucha masa (105°C) - liczenie	Miura i in. 2008 Blanco-Canqui i in. 2007

Nie stwierdzono wyraźnej relacji między celem pracy a doбором parametrów charakteryzujących zgrupowanie *Lumbricidae*. Jednakże, zaznacza się nieco większe wykorzystanie biomasy zagęszczenia/liczebności i/lub grupowanie organizmów do wyższych taksonów/grup ekologicznych/funkcyjnych w pracach poświęconych doskonaleniu wykorzystania organizmów w monitoringu. W tego typu badaniach istotną sprawą jest uproszczenie technik pozyskiwania informacji a także zmniejszenie czasochłonności opracowania danych (przez nie-ekspertów). Mimo wykazanego w trakcie analizy mniejszego wykorzystania parametru przyporządkowania osobników do gatunków, wielu autorów uważa, że w badaniach dla celów konserwacyjnych oraz biologicznej oceny jakości gleby, obok zmiennych w czasie i przestrzeni parametrów policzalnych, takich jak występowanie czy biomasa, dobrym rozwiązaniem jest dołączenie analizy kompozycji gatunków (różnorodności gatunkowej, grup ekologicznych, struktury dominacji) jako parametrów najmniej zależnych od sezonowych zmian i warunków klimatycznych.

Uwzględnienie poszczególnych czynników naturalnych oddziałujących na zgrupowanie dżdżownic zależne jest od skali badania. W większych skalach głównie klimat i typ gleby determinują kompozycję i zagęszczenie *Lumbricidae*. Klimat może wpływać bezpośrednio (na procesy życiowe) i pośrednio (poprzez wpływ na środowisko, w którym występują i dostępność pokarmu), „w opracowaniu (Valckx et al. 2006)”. W mniejszych skalach większe oddziaływanie mają właściwości fizyczno-chemiczne gleby, sposób wykorzystania ziemi i praktyki rolnicze. Jeśli chodzi o parametry glebowe, w pracach najczęściej uwzględniano: pH, C, N, stosunek C/N, zawartość materii organicznej, wilgotność i strukturę gleby jako czynniki glebowe o największym znaczeniu dla dżdżownic. Jednakże „w opracowaniu (Ashwini, Sridhar 2006)” stwierdzono, że w lesie warunki fizyczne mają większy wpływ na biomasa *Lumbricidae* niż warunki chemiczne gleby, a „w opracowaniu (Huerta et al. 2007)” nie znaleziono żadnych zależności

Analiza artykułów potwierdza szerokie możliwości zastosowania *Lumbricidae* jako bioindykatorów, informujących przede wszystkim o jakości środowiska glebowego (stopieniu skażenia, żyzności) a także kierunku procesów w nim zachodzących (dążących do poprawy lub pogorszenia kondycji gleby). Znajdują zastosowanie w wielu skalach, zarówno lokalnej jak i regionalnej. Potwierdzają to

także liczne przykłady efektywnego wykorzystania dżdżownic w programach realizowanych na terenie całej Europy m.in.: BBSK (Soil biological site classification) - Niemcy, BISQ (Biological Indicator of Soil Quality) - Holandia, POCER (Pesticide Occupational and Environmental Risk Indicator) - Belgia. Należy jednak zachować dużą rozwagę przy doborze charakteru i metod badań do celu, jaki chcemy osiągnąć a także przy interpretacji zebranych danych. Jednorazowe/jednosezonowe badania (najczęściej przeprowadzane jak wynika z analizowanych artykułów - 48%) poprzez ich ograniczenie w czasie, mogą pokazać przede wszystkim chwilowy stan zgrupowania organizmów (a przez to ekosystemu). Istnieje ryzyko, że nie zdiagnozują rzeczywistego stanu środowiska a chwilową odpowiedź na czynnik stresogenny. Zaletą tych badań jest duży wkład w rozpoznaniu zależności między badanym czynnikiem a zgrupowaniem Lumbricidae (najczęściej w skali pola eksperymentalnego) „w opracowaniu (Regulska 2007)”. Także wyniki uzyskane w warunkach laboratoryjnych, nie zawsze można przełożyć na warunki polowe, gdzie organizm poddany jest wpływom szeregu czynników, których interakcje mogą się znosić lub potęgować. Dlatego też badania długookresowe, monitoringowe, obejmujące co najmniej jeden sezon, w obrębie więcej niż jednego pola eksperymentalnego i uwzględniające szereg niezbędnych parametrów (od charakterystyk środowiska po sposób zarządzania ziemią) co więcej, rozszerzające pole badawcze również o inne organizmy mogą być cennym narzędziem indykacji środowiska glebowego z wykorzystaniem zgrupowania Lumbricidae, przewyższającym niedoskonałości wynikające z pozostałych metod.

## Literatura

- Aakkula, J. (ed.) 2000. Sustainable Development in Agriculture: Indicators, Agrienviromen-tal Programmes and Demonstrations, Final Report of the SUSAGRI-project, Agricultural Research Centre of Finland, Helsinki, Finland.
- Ashwini, K.M., Sridhar, K.R. 2006. Seasonal abundance and activity of pill millipedes (*Arthrosphaera magna*) in mixed plantation and semievergreen forest of southern India. *Acta Oecologica* 29, p. 27-32.
- Blackshaw, R.P., Donovan, S.E., Hazarika, S., Bol, R., Dixon, E.R. 2007. Earthworm responses to long term agricultural management practices: Spatial relationships with soil properties. *European Journal of Soil Biology* 43, p. 171-175.
- Blanchart, E., Villenave, C., Viallatoux, A., Barthès, B., Girardin, C. et al. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *European Journal of Soil Biology* 42, p. 136-144.
- Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W.M., Izaurralde, R.C., Shipitalo, M.J. 2007. Soil hydraulic properties influenced by corn stover removal from no-till corn in Ohio. *Soil & Tillage Re-search* 92, p. 144-155.
- Brévault, T., Bikay, S., Maldés, J.M., Naudin, K. 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil & Tillage Research* 97, p. 140- 149.
- Bullinger-Weber, G., Le Bayon, R-C., Guenat, C., Gobat, J-M. 2007. Influence of some physicochemical and biological parameters on soil structure formation in alluvial soils. *Euro-pean Journal of Soil Biology* 43, p. 57-70.
- Chan, K.Y., Barchia, I. 2007. Soil compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south - eastern Australia. *Soil & Tillage Re-search* 94, p. 75-82.
- Dechaine, J., Ruan, H., Sanchez-de Leon, Y., Zou, X. 2005. Correlation between earthworms and plant litter decomposition in a tropical wet forest of Puerto Rico. *Pedobiologia* 49, p. 601- 607.

- Di Lella, L.A., Nannoni, F., Protano, G., Riccobono, F. 2005. Uranium contents and <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U atom ratios in soil and earthworms in western Kosovo after the 1999 war. *Science of the Total Environment* 337, p. 109-118.
- Geissen, V., Guzman, G.M. 2006. Fertility of tropical soils under different land use systems—a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 31, p. 169-178.
- Ghilarov, M.S. 1949. Die Besonderheiten des Bodens als Lebensraum und seine Bedeutung für die Evolution der Insekten. Moskau, Leningrad (in Russian).
- Hobbelen, P.H.F., Koolhaas, J.E., van Gestel, C.A.M. 2006. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. *Environmental Pollution* 144, p. 639- 646.
- Hsu, M.J., Selvaraj, K., Agoramoorthy, G. 2006. Taiwan's industrial heavy metal pollution threatens terrestrial biota. *Environmental Pollution* 143, p. 327- 334.
- Huerta, E., Rodriguez-Olan, J., Evia-Castillo, I., Montejo-Meneses, E., De la Cruz - Mondragon M. et al. 2007. Earthworms and soil properties in Tabasco, Mexico. *European Journal of Soil Biology* 43, p. 190- 195.
- ISO 1999. Soil Quality: Effects of Pollutants on Earthworms. Part 3: Guidance on the Determination of Effects in Field Situations. ISO 11268-3. ISO, Geneva.
- Ivask, M., Kuu, A., Sizov, E. 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology* 43, p. 39-42.
- Joschko, M., Fox, C.A., Lentzsch, P., Kiesel, J., Hierold, W. et al. 2006. Spatial analysis of earthworm biodiversity at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, p. 367-380.
- Kamitani, T., Kaneko, N. 2007. Species-specific heavy metal accumulation patterns of earthworms on a floodplain in Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 66, p. 82-91.
- Kukkonen, S., Palojärvi, A., Rääköläinen, M., Vestberg, M. 2006. Cropping history and peat amendment-induced changes in strawberry field earthworm abundance and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry* 38, p. 2152-2161.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. 2003. Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. In: Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. (eds) *Bioindicators and biomonitors*. Elsevier, Amsterdam, p. 3–39.
- Metzke, M., Potthoff, M., Quintern, M., Heß, J., Joergensen, R.G. 2007. Effect of reduced tillage systems on earthworm communities in a 6-year organic rotation. *European Journal of Soil Biology* 43, p. 209-215.
- Miura, F., Nakamoto, T., Kaneda, S., Okano, S., Nakajima, M., Murakami, T. 2008. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices. *Soil Biology & Biochemistry* 40, p. 406-414.
- Nahmani, J., Lavelle, P., Rossi, J-P. 2006. Does changing the taxonomical resolution alter the value of soil macroinvertebrates as bioindicators of metal pollution? *Soil Biology & Biochemistry* 38, p. 385-396.
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A.C., Heal, O.W. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest. *Applied Soil Ecology* 35, p. 340-355.
- OECD 2002. The development of agri-environmental indicators in the EU: The IRENA project.
- Ouellet, G., Lapen, D.R., Topp, E., Sawada, M., Edwards, M. 2008. A heuristic model to pre-dict earthworm biomass in agroecosystems based on selected management and soil properties. *Applied Soil Ecology* 39, p. 35- 45.
- Plum, N., Fliser, J. 2005. Floods and drought: Response of earthworms and potworms (Oligochaeta: Lumbricidae, Enchytraeidae) to hydrological extremes in wet grassland. *Pedobiologia* 49, p. 443-453.

- Pośpiech, N., Skalski, T. 2006. Factors influencing earthworm communities in postindustrial areas of Krakow Soda Works. *European Journal of Soil Biology* 42, p. 278-283.
- Price, G.W., Voroney, R.P. 2008. Response to annual applications of deinked papermill biosolids by field earthworms on three agricultural soils. *Applied Soil Ecology* 38, p. 230-238.
- Regulska, E. 2007. Wskaźniki zoologiczne jako narzędzia ocen w badaniach ekologiczno-krajobrazowych obszarów wiejskich (w:) M. Strzyż, A. Świercz (red.). *Nauki Geograficzne w Badaniach Regionalnych*, Tom III, Kielce, p. 315-322.
- Riley, H., Pommeresche, R., Elton, R., Hansen, S., Korsaaeth, A. 2008. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting till-age, rotations, fertilizer levels and manure use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124, p. 275- 284.
- Romanya, J., Fons, J., Sauras-Yera, T., Gutiérrez, E., Vallejo, V.R. 2005. Soilplant relationships and tree distribution in old growth *Nothofagus betuloides* and *Nothofagus pumilio* forests of Tierra del Fuego. *Geoderma* 124, p. 169-180.
- Römbke, J., Jänsch, S., Didden, W. 2005b. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology Environmental Safety* 62, p. 249–265.
- Roo-Zielińska, E., Solon, J., Degórski, M. 2007. Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, krajobrazowych i glebowych. Monografie 9. IGiPZ PAN Warszawa.
- Sepp, K., Ivask, M., Kaasik, A., Mikk, M., Peepson, A. 2005, Soil biota indicators for monitor-ing the Estonian agri-environmental programme, *Agriculture, Ecosystems and Environ-ment* 108, p. 264-273.
- Smetak, K.M., Johnson-Maynard, J.L., Lloyd, J.E. 2007. Earthworm population density and diversity in differentaged urban systems. *Applied Soil Ecology* 37, p. 161-168.
- Solon, J. 2004. Ocena zrównowazenia krajobrazu – w poszukiwaniu nowych wskaźników. /w/: *Studia ekologiczno-krajobrazowe w programowaniu rozwoju zrównowazonego. Przegląd polskich doświadczeń u progu integracji z Unią Europejską*. Red. Kistowski M., *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 13, Gdańsk, UG, p. 49-58.
- Suthara, S., Singhb, S., Dhawanc, S. 2008. Earthworms as bioindicator of metals (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb and Cd) in soils: Is metal bioaccumulation affected by their ecological category? *Ecological Engineering* 32, p. 99-107.
- Valckx, J., Hermy, M., Muys, B. 2006. Indirect gradient analysis at different spatial scales of prorated and non-prorated earthworm abundance and biomass data in temperate agro-ecosystems. *European Journal of Soil Biology* 42, p. 341-347.
- Van Vliet, P.C.J., van der Stelt, B., Rietberg, P.I., de Goede, R.G.M. 2007. Effects of organic matter content on earthworms and nitrogen mineralization in grassland soils. *European Journal of Soil Biology* 43, p. 222-229.
- Van Vliet, P.C.J., van der Zee, S.E.A.T.M., Ma ,W.C. 2005. Heavy metal concentrations in soil and earthworms in a floodplain grassland. *Environmental Pollution* 138, p. 505-516.
- Van Vliet, P.C.J., Didden, W.A.M., Van der Zee, S.E.A.T.M., Peijnenburg ,W.J.G.M. 2006. Accumulation of heavy metals by enchytraeids and earthworms in a floodplain. *European Journal of Soil Biology* 42, p. 117-126.
- Vandecasteele, B., De Vos, B., Muys, B., Tack, F.M.G. 2005. Rates of forest floor decomposition and soil forming processes as indicators of forest ecosystem functioning on a pol-luted dredged sediment landfill. *Soil Biology & Biochemistry* 37, p. 761-769.
- Volz, H. 1962. Beiträge zu einer pedozoologischen Standortslehre. *Pedobiologia* 1, p. 242-290.

- Zhao, X., Zheng, M., Zhang, B., Zhang, Q., Liu, W. 2006. Evidence for the transfer of polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and polychlorinated dibenzofurans from soil into biota. *Science of the Total Environment* 368, p. 744-752.
- Zorn, M., van Gestel, S.A.M., Eijsackers, H. 2005. Species-specific earthworm population responses in relation to flooding dynamics in a Dutch floodplain soil. *Pedobiologia* 49, p. 189-198.