

## Zooindykacja w badaniach krajobrazowych: relacje między wskaźnikami faunistycznymi a właściwościami gleb i fragmentacją pól uprawnych Polski północno-wschodniej

Zooindication in landscape research: relations among faunistic indicators and soil properties and fragmentation of arable lands North-East Poland

Edyta Regulska, Jerzy Solon, Bogusława Kruczkowska

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego PAN  
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa  
e-mail: eregulska@twarda.pan.pl, j.solon@twarda.pan.pl, b.przewozna@twarda.pan.pl

---

**Abstract:** The aim of our study was to determine the nature of the relationships among the characteristics of earthworm assemblages, selected soil properties and the degree of landscape fragmentation against seasonal changes. The study area was located near Rogajny in the Suwałki Lake District, where 54 permanent study plots were established in a homogeneous field (Dd) and in a mosaic of small fields and balks (Dm). The earthworms were collected in spring and autumn over a two-year period (2007–2008), from blocks of soil measuring 25×25×30 cm. Soil samples were collected from the same sampling points as the earthworms.

Both, qualitative and quantitative parameters of earthworm assemblages showed the same trends, thus appearing to be equally reflective. The complex arable landscape site supported higher earthworm diversity, abundance and biomass than the homogeneous arable landscape. The spring and autumn earthworm sampling campaigns revealed very different patterns.

We conclude that species richness is determined mostly by spatial structure of agrocenosis mosaics, whilst abundance and biomass of earthworm community is mainly influenced by soil conditions. Comparisons between data and formulating conclusions should be made with great care, as these relations depend on the temporal scales to a large extent.

**Słowa kluczowe:** bioindykacja, krajobraz rolniczy, cechy fizyczno-chemiczne gleb, dżdżownice

**Key words:** bioindication, arable landscape, soil physico-chemical properties, earthworms

### Wprowadzenie

Wykorzystanie podejścia bioindykacyjnego w analizie i ocenie stanu środowiska przyrodniczego i jego komponentów weszło do zestawu standardowych metod badawczych. Stosowane jest w odniesieniu do

różnych poziomów szczegółowości przestrzennej, od poszczególnych ekosystemów (w tym agrocenoz) do krajobrazów w całości. Metody bioindykacyjne, bazujące na gruntownej wiedzy o reakcji organizmów na warunki zewnętrzne, w tym na zakłócenia i stres, mogą być wykorzystywane w ciągłych obserwacjach o charakterze monitoringowym oraz w badaniach naukowych, ukierunkowanych na rozwiązanie konkretnych problemów badawczych (Szujewski red. 2001; Roo-Zielińska i in. 2007). Bioindykacja jest niewątpliwie bardzo efektywną metodą analizy wpływu czynników środowiskowych na stan krajobrazu, czy też wybranych obiektów różniących się natężeniem oddziaływującego nań czynnika. Jednak jak każda metoda posiada również pewne ograniczenia. Najczęściej spotykanym problemem jest określenie rzeczywistych przyczyn zaobserwowanych lub zmierzonych stanów bioindykatora, ponieważ nawet kompleksowe ujęcie wybranych elementów ekosystemu może nie uwzględniać wielu specyficznie działających mechanizmów (Markert i in. 2012).

Bioindykatory mogą być stosowane do oceny stanu całego krajobrazu lub jego wybranych komponentów czy elementów, ale ich zastosowanie wymaga dyscypliny metodycznej. W metodologii badań krajobrazowych należy uwzględnić różne płaszczyzny zmienności, w tym między innymi różne skale przestrzenne i czasowe, które łącznie oddziałują na stan analizowanych obiektów. Porównywanie między regionami wymaga zatem np. przeprowadzania badań w tym samym czasie i zbliżonym typie układu przestrzennego. Proste porównywanie „informacji” uzyskanej dla jednego sezonu z dwóch różnych obszarów (bez uwzględnienia zróżnicowania przestrzennego) może być obarczone błędami interpretacyjnymi, gdyż niemożliwe jest rozróżnienie między wpływem klimatu a wpływem specyfiki wewnątrzregionalnej. Podobnie, zestawiając wyniki dotyczące sezonu wiosennego z wynikami jesiennymi w obrębie jednego badanego obszaru uzyskamy jedynie obraz zmiany na skutek czynników wewnątrzpopulacyjnych i/lub klimatycznych.

Celem prezentowanej pracy jest poznanie współzależności między charakterystykami zgrupowań dżdżownic a właściwościami podłoża glebowego i stopnia fragmentacji krajobrazu rolniczego na tle zmian sezonowych. W badaniu uwzględniono zagęszczenie, biomasę i bogactwo gatunkowe zgrupowania *Lumbricidae*. Jak przedmiot badań wybrano tę grupę systematyczną bezkręgowców, gdyż jest jedną z częściej wykorzystywanych grup organizmów glebowych w wielostronnych ocenach stanu środowiska i poziomu presji antropogenicznej. Dżdżownice wykorzystuje się także w testach toksykologicznych i pomiarach monitoringowych. Ponadto dżdżownice spełniają kryteria dobrego indykatora (sensu Roo-Zielińska i in. 2007), gdyż zasady ich wykorzystywania w badaniach są wyraźnie określone i łatwe do zastosowania (Römbke i in. 2005; ISO 1999, 2004). Informacja o kondycji poszczególnych gatunków czy zgrupowania gatunków określa reakcję na zakłócenia zachodzące w środowisku ich występowania. Przejawiać się to może: (a) zmianą składu gatunkowego, w tym również zastępowanie gatunków rodzimych egzotycznymi; (b) zmianami ilościowymi w obrębie grup ekologicznych, struktury dominacji, struktury wiekowej,

ogólnej liczebności czy różnorodności gatunkowej; (c) zmianami cech osobniczych, takimi jak np. modyfikacja biomasy czy długości ciała (Regulska 2008, 2011).

Ze względu na powyższe właściwości dżdżownic wyniki badań prezentowane w tej pracy można interpretować co najmniej w dwóch płaszczyznach: (1) jako badania autoindykacyjne – dotyczące zmienności zgrupowań *Lumbricidae* w różnych warunkach środowiskowych, (2) jako przyczynek do opracowania skal indykacyjnych wiążących wartości wybranych charakterystyk zgrupowań dżdżownic z wybranymi zestawami cech krajobrazu. Co więcej – biorąc pod uwagę współwystępowanie dżdżownic z innymi organizmami glebowymi – bogactwo i różnorodność gatunkową zespołu można traktować także jako zastępczy (surrogate) indykator różnorodności gatunkowej fauny glebowej.

## Teren badań

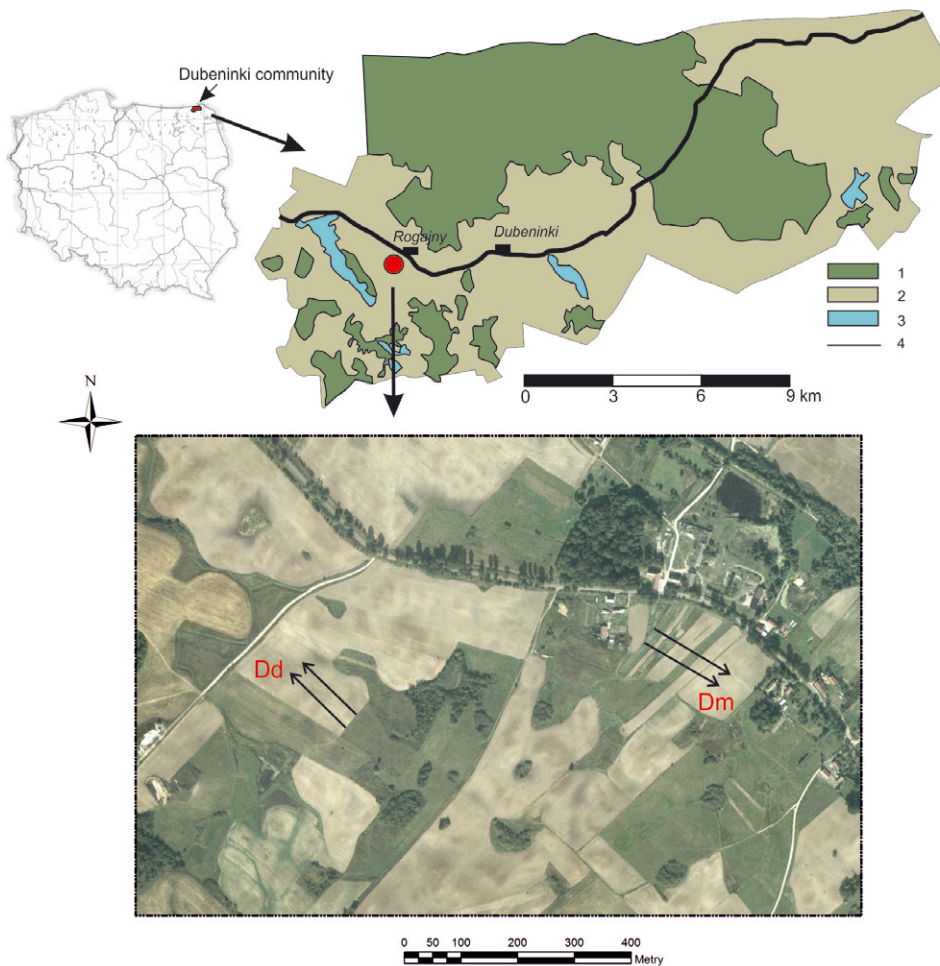
Obszar badań zlokalizowany jest w krajobrazie młodoglacjalnym, którego współczesna powierzchnia została ukształtowana ostatecznie dzięki deformującej, glacitektonicznej działalności lądolodu zlodowacenia Wisły (Ber 1999). Zgodnie z regionalizacją fizycznogeograficzną (Kondracki 2002) znajduje się on w obrębie podprowincji Pojezierze Wschodniobałtyckie, w północno-zachodniej części makroregionu Pojezierze Litewskie w mezoregionie Pojezierze Zachodniosuwalskie, który stanowi strefę przejściową pomiędzy Pojezierzem Mazurskim a Litewskim.

Badany obszar charakteryzuje się klimatem o cechach kontynentalnych, różniących go od innych regionów kraju. Następstwem wpływów kontynentalnych są krótkie i opóźnione pory przejściowe – przedwiośnie i przedzimy oraz duża liczba dni mroźnych w roku (Okołowicz 1978). Na podstawie danych z lat 1991-2009 ze stacji w Suwałkach średnia miesięczna temperatura wynosiła 13,7°C w sezonie ciepłym (kwiecień-wrzesień) i 0,2°C w sezonie zimnym (październik-marzec); średnia roczna temperatury wynosiła 7,0°C a suma opadów – 632 mm.

Ważnym kryterium wyboru stanowisk badawczych było niedalekie sąsiedztwo dwóch różnych układów pól, a mianowicie: (a) z utrwaloną przez dziesięciolecia i kontynuowaną obecnie wielkoobszarową gospodarką rolną; (b) kompleksu pól drobnopowierzchniowych od dekad należących do prywatnych właścicieli.

Badania szczegółowe prowadzono w gminie Dubeninki, w województwie warmińsko-mazurskim, gdzie wytypowano dwa stanowiska badawcze we wsi Rogajny (54°17'N, 22°30'E; UTM: EF91): kompleks pól małych (Dm) o ogólnej powierzchni 3,2 ha i średniej powierzchni pola 0,27 ha oraz średnim współczynnikiem kształtu (MSI – McGarigal, Marks 1995) 3,37 i pole duże (Dd) o powierzchni 19,98 ha i MSI równym 1,11 (ryc. 1-3).

Na stanowiska Dm dominują gleby brunatne zbudowane z gliny lekkiej, zaś na Dd gleby płowe zbudowane z piasku gliniastego mocnego. W obu kompleksach pól w uprawach zbożowych występuje zbiorowisko chwastów ze skrytkiem polnym z podzwiazku *Aphanenion arvensis* [R.Tx. et J.Tx. 1960].



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych: kompleks pól małych (Dm) i pole duże (Dd) (ortofotomapa z [www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)). Strzałki oznaczają transekty badawcze, 1 – lasy, 2 – pola uprawne, 3 – jeziora, 4 – główne drogi (autor: E. Regulska).

Fig. 1. The location of the study areas: complex of arable fields (Dm) and homogeneous arable field (Dd) (orthophoto from [www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl)). The arrows indicate the research transects, 1 – forests, 2 – arable lands, 3 – lakes, 4 – main roads (author: E. Regulska).

W kompleksie pól drobnopowierzchniowych uprawy podlegały sezonowym zmianom, a ich rotacja roczna miała miejsce w przypadku 3 z 7 pól. Na polu dużym w sezonach wiosennych uprawiano zboże w trakcie dwuletnich badań jak i dwa lata przed ich rozpoczęciem, zaś w sezonach jesiennych najczęściej pole zaorywano (tab. 1).





Ryc. 2. Stanowisko badawcze Dm – pola rozdzielone drogą polną (autor: E. Regulska).  
Fig. 2. Dm study areas – fields cut by midfield track (author: E. Regulska).



Ryc. 3. Stanowisko badawcze Dd (autor: E. Regulska).  
Fig. 3. Dd study area (author: E. Regulska).

Tabela 1. Charakterystyka stanowisk badawczych Dm <sup>(a)</sup> i Dd <sup>(b)</sup>.Table 1. Characteristics of the study sites Dm <sup>(a)</sup> i Dd <sup>(b)</sup>.

Powierzchnia pola (ha)	Uprawa			
	2007		2008	
	Wiosna	Jesień	Wiosna	Jesień
0.41 <sup>a</sup>	ziemniaki	pole zaorane	zboże	rżysko
0.02 <sup>a</sup>	miedza			
0.14 <sup>a</sup>	ziemniaki	pole zaorane	pole zaorane	rżysko
0.02 <sup>a</sup>	miedza			
0.17 <sup>a</sup>	truskawki			
0.03 <sup>a</sup>	miedza			
0.28 <sup>a</sup>	zboże	pole zaorane	zboże	pole zaorane
0.18 <sup>a</sup>	łąka			
0.03 <sup>a</sup>	miedza			
0.26 <sup>a</sup>	zboże	pole zaorane	zboże	pole zaorane
0.04 <sup>a</sup>	droga			
1.64 <sup>a</sup>	zboże			pole zaorane
20.00 <sup>b</sup>	zboże	rżysko	zboże	Pole zaorane

## Metodyka badań

Na każdym stanowisku wytyczono po dwa prostoliniowe transekty, każdy o długości ok. 200 m. Początek pierwszego transektu wybrano drogą losową zaś początek drugiego transektu ustanowiono w odległości 20 metrów od pierwszego. Oba transekty poprowadzono w taki sposób, aby jednocześnie uchwycić maksymalne zróżnicowanie struktury przestrzennej kompleksu pól małych i ograniczyć wpływ ukształtowania terenu na wyniki badań.

Na polu dużym transekty znajdowały się w obrębie jednego, homogenicznego pola, natomiast w układzie heterogenicznym były zorientowane poprzecznie w stosunku do poszczególnych pól przecinając także miedze i drogi polne. Wzdłuż transektów założono stałe powierzchnie badawcze, z których pobierano próby faunistyczne i glebowe. Ich liczba była uzależniona od wielkości i zróżnicowania badanych jednostek przestrzennych. W celu wykluczenia efektu brzegowego w strefie kontaktowej (Levin, Simon 2009) nie pobierano prób w odległości poniżej 2,5 m od krawędzi pola gdy w sąsiedztwie był inny typ pokrycia terenu (droga polna, miedza) – tab. 1.

Zbiór materiału faunistycznego dokonano w sezonach wiosennych (maj) i jesiennych (wrzesień/październik) w 2007 i 2008 roku. Za pomocy łopaty, delikatnie pobierano próby z powierzchni 25 cm x 25 cm i 30 cm w głąb profilu a następnie ręcznie przebierano i przesiewano na sitach. Taka wielkości próby wydaje się być optymalna przy dużej ilości osobników i powtórzeń, co znajduje potwierdzenie w literaturze (Rundgren 1975).

W celu oszacowania zagęszczenie dżdżownic uwzględniono osobniki

oznaczone do gatunku lub rodzaju, natomiast dla określenia biomasy ogólnej wykorzystano również materiał, którego nie można było zaseregować do tych kategorii systematycznych. Próby glebowe pobierano w tej samej lokalizacji co próby faunistyczne. W celu określenia parametrów fizycznych gleb pobierano próby w każdym sezonie i roku badań z poziomów 0–15 i 15–30 cm w głąb profilu. Natomiast do oznaczeń chemicznych, próby pobrano jednokrotnie w sezonie jesiennym 2008 roku z głębokości 0-30 cm. W tak zebranych materiale określono zawartość węgla organicznego (C) i azotu ogółem (N), a także określono odczyn (pH), przewodność właściwą (EC) i wilgotność aktualną (MC).

Do analiz statystycznych wykorzystano programy Statistica 7.0, SAS 9.2 i Past 2.03. Istotności różnic między charakterystykami ilościowymi zgrupowania dżdżownic na poszczególnych typach pól ustalono za pomocą wieloczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), na poziomie istotności ( $p=0,05$ ). Istotność różnic między charakterystykami glebowymi określono testem t Studenta i U Manna-Whitneya. W celu określenia siły oraz kierunku związku korelacyjnego pomiędzy charakterystykami zgrupowań dżdżownic a fizycznymi i chemicznymi właściwościami gleby zastosowano współczynnik korelacji rang Spearmana.

## Wyniki

### **Charakterystyki zgrupowań Lumbricidae badanych stanowisk**

Pola różniły się pod względem składu gatunkowego i liczby gatunków. Łącznie zarejestrowano obecność 8 gatunków, z czego 8 w kompleksie pól małych (Dm) i 5 na polu dużym (Dd). Stwierdzono 5 gatunków wspólnych dla omawianych pól - *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826), *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826), *Allolobophora chlorotica* (Savigny 1826), *Lumbricus castaneus* (Savigny, 1826) i *Lumbricus terrestris* (Linnaeus, 1758) oraz 3 gatunki występujące tylko w kompleksie pól małych – *Lumbricus rubellus* (Hoffmeister, 1843), *Dendrodrilus rubidus* (Savigny, 1826) i *Octolasion lacteum* (Örley, 1885). Wszystkie gatunki były liczniej reprezentowane w układzie pól małych.

Zagęszczenie dżdżownic było również wyższe na stanowisku Dm i mieściło się w przedziale 0–1296 os.m<sup>-2</sup> (średnia 276,5 os.m<sup>-2</sup>) w porównaniu do stanowiska Dd gdzie wahało się w granicach 16–672 os.m<sup>-2</sup> (średnio 185,3 os.m<sup>-2</sup>). Biomasa wyniosła odpowiednio 0–330,08 g.m<sup>-2</sup> (średnio 56,7 g.m<sup>-2</sup>) i 0,8–136,16 g.m<sup>-2</sup> (średnio 37,5 g.m<sup>-2</sup>), (tab. 2-3.)

Z danych zawartych w tabelach 2 i 3 wynikają istotne statystycznie zależności między strukturą przestrzenną (stopniem fragmentacji) obszaru polnego a zagęszczeniem i biomasa zgrupowania *Lumbricidae*, zarówno w ujęciu łącznym, jak i w poszczególnych latach badań. Różnice te, uśrednione dla całego roku, są konsekwencją odmienności zgrupowań w okresie jesiennym ( $p<0,001$ ), gdyż sezony wiosenne, znacznie mniej obfite w dżdżownice, nie różnią się istotnie między badanymi obszarami. Wpływ



struktury przestrzennej kompleksu pól na charakter zgrupowań *Lumbricidae* podkreślają jeszcze różnice w odchyleniach standardowych, które (poza sezonami wiosennymi) były od półtora do prawie dwukrotnie wyższe w kompleksie pól małych niż na polu dużym.

Tabela 2. Średnie wartości zagęszczenia (os.m<sup>-2</sup>) zgrupowań *Lumbricidae*. (Dm – kompleks pól małych, Dd – pole duże, wiosny – wiosny 2007 i 2008 roku łącznie, jesień – jesień 2007 i 2008 roku łącznie).

Table 2. The mean values of the density (ind.m<sup>-2</sup>) of earthworms community. (Dm – mosaic of small fields, balks and field tracks, Dd – large, homogenous field, springs – spring 2007 and 2008 cumulatively, autumns – autumn 2007 and 2008 cumulatively).

	Średnia		Odchylenie standardowe		p(ANOVA)
	Dm	Dd	Dm	Dd	
Okres badawczy 2007-2008	276,5	185,3	15,14	8,48	< 0,0001
2007	288,6	216,0	18,51	9,35	0,0099
2008	264,4	154,7	10,84	7,13	< 0,0001
Wiosny	146,3	121,3	7,52	6,33	0,1695
Jesień	406,7	249,3	16,45	8,53	< 0,0001

Tabela 3. Średnie wartości biomasy (g.m<sup>-2</sup>) zgrupowań *Lumbricidae*. Objaśnienia: tab. 2.

Table 3. The mean values of the biomass (g.m<sup>-2</sup>) of earthworms community. Explanations: tab. 2.

	Średnia		Odchylenie standardowe		p(ANOVA)
	Dm	Dd	Dm	Dd	
Okres badawczy 2007-2008	56,7	37,5	3,65	1,87	< 0,0001
2007	66,1	43,6	4,61	1,94	0,0029
2008	47,3	31,5	2,20	1,75	0,0026
Wiosny	25,1	20,0	1,49	0,92	0,2360
Jesień	88,3	55,1	4,08	1,95	0,0001

### **Właściwości chemiczne i fizyczne gleb badanych stanowisk**

Gleby kompleksu Dm charakteryzowały się wyższą zawartością węgla organicznego ( $p=0,02$ ) i azotu ogólnego ( $p<0,01$ ) w porównaniu do gleb Dd. Jednakże nie różniły się w sposób statystycznie istotny stosunkiem C/N. Kompleks pól małych charakteryzował się również wyższym odczynem gleby na poziomie 15–30 cm ( $p<0,001$ ) i wyższymi wartościami przewodności właściwej (EC) na poziomie 0–15 cm ( $p=0,02$ ). Wartości pozostałych fizycznych i chemicznych właściwości gleby zestawiono w tabelach 4 i 5. Interesujące jest przy tym, że zmienność wewnętrzna pH w warstwie 0-15 cm, oraz zmienność C i N (określone na podstawie odchylenia standardowego, rozstępu między wartościami minimalnymi i maksymalnymi oraz rozstępu między percentylem 25 i 75) była większa na polu dużym (Dd) niż w kompleksie pól małych (Dm).



Tabela 4. Charakterystyki chemiczne i fizyczne gleb kompleksu pól małych (Dm). Objasnienia skrótów parametrów glebowych w tekście.

Table 4. Chemical and physical characteristics of mosaic of small fields (Dm). Explanations of soil parameters abbreviations in the text.

Charakterystyka	(0-15 cm)			(15-30 cm)			(0-30 cm)		
	pH (w H <sub>2</sub> O)	MC (%)	EC ( $\mu\text{cm}^{-1}$ )	pH (w H <sub>2</sub> O)	MC (%)	EC ( $\mu\text{cm}^{-1}$ )	C (%)	N (%)	C:N
Liczba próbek	152	152	152	152	152	152	38	38	38
Minimum	5,14	3,7	14,9	2,0	14,9	16,8	0,82	0,084	9,0
Maksimum	7,66	22,6	202,1	20,9	202,1	166,0	1,82	0,171	11,0
Średnia	6,16	12,9	64,9	11,4	64,9	59,1	1,31	0,130	10,0
Błąd standardowy	0,0	0,3	3,1	0,2	3,1	2,6	0,0	0,0	0,1
Wariancja	0,31	13,00	1497,53	8,76	1497,53	1032,08	0,07	0,00	0,37
Odchyl. stand.	0,55	3,61	38,70	2,96	38,70	32,13	0,27	0,02	0,60
Mediana	6,16	13,2	53,1	11,4	53,1	49,6	1,27	0,128	10,0
25 percentyl	5,74	10,5	36,6	9,4	36,6	36,7	1,12	0,116	10,0
75 percentyl	6,64	15,6	82,0	13,4	82,0	76,8	1,52	0,150	10,0

Tabela 5. Charakterystyki chemiczne i fizyczne gleb dla pola dużego (Dd).

Table 5. Chemical and physical characteristics of large fields (Dd).

Charakterystyka	(0-15 cm)			(15-30 cm)			(0-30 cm)		
	pH (w H <sub>2</sub> O)	MC (%)	EC ( $\mu\text{cm}^{-1}$ )	pH (w H <sub>2</sub> O)	MC (%)	EC ( $\mu\text{cm}^{-1}$ )	C (%)	N (%)	C:N
Liczba próbek	72	72	72	72	72	72	18	18	18
Minimum	4,80	6,3	19,6	4,80	6,0	18,5	0,58	0,062	9,0
Maksimum	7,60	31,2	130,8	7,80	66,0	140,0	2,06	0,173	12,0
Średnia	5,66	11,1	61,0	5,65	12,8	60,5	1,14	0,109	10,2
Błąd standardowy	0,1	0,5	3,5	0,1	0,9	3,4	0,1	0,0	0,2
Wariancja	0,49	16,84	887,48	0,51	53,65	832,68	0,17	0,00	1,09
Odchyl. stand.	0,70	4,10	29,79	0,71	7,32	28,86	0,42	0,03	1,04
Mediana	5,40	10,1	55,7	5,45	11,7	52,6	0,94	0,098	10,0
25 percentyl	5,10	8,1	37,2	5,10	10,1	37,9	0,90	0,092	9,0
75 percentyl	6,20	13,1	77,6	6,10	13,4	78,8	1,32	0,125	11,0

### **Relacje między charakterystykami zgrupowań dżdżownic a chemicznymi i fizycznymi właściwościami gleb**

Dżdżownice kompleksu Dm występowały w glebach o bardzo zróżnicowanym odczynie, od kwaśnego do zasadowego, ale większość stanowiły gleby o odczynie obojętnym (tab. 4). Kwasowość gleb na stanowiskach w obrębie kompleksu Dm nie była jednak czynnikiem statystycznie istotnie skorelowanym z charakterystykami zgrupowania dżdżownic w oddzielnie analizowanych okresach wiosennych i jesiennych. Natomiast w ujęciu

łącznym, odczyn gleby na poziomie 15–30 cm był istotnie ujemnie skorelowany z ich zagęszczeniem i biomasa (tab. 6). Wilgotność aktualna w obu warstwach gleby była czynnikiem istotnie skorelowanym z zagęszczeniem i biomasa zgrupowania w sezonach wiosennych. Z kolei wilgotność na głębokości 0–15 cm miała istotny związek z bogactwem gatunków w obu analizowanych sezonach badawczych, przy czym w sezonach jesiennych powiązania były znacznie słabsze. Przewodność elektrolityczna na obu omawianych głębokościach gleby również wykazywała istotny związek z zagęszczeniem i biomasa dżdżownic niezależnie od ujęcia czasowego, z wyjątkiem zagęszczenia i EC na głębokości 15–30 w sezonie jesiennym. W sezonach jesiennych korelacje miały charakter ujemny.

Zgrupowania dżdżownic w obrębie pola homogenicznego (Dd) występowały w glebie o odczynie od kwaśnego do zasadowego, przy czym zdecydowaną większość stanowiły gleby lekko kwaśne (tab. 5). Podobnie jak w przypadku kompleksu pól małych, nie stwierdzono statystycznie istotnych relacji między omawianymi charakterystykami zgrupowania *Lumbricidae* a odczynem gleby tego stanowiska w ujęciu sezonowym. Jedynie odczyn w górnej warstwie substratu glebowego był istotnie skorelowany z biomasa dżdżownic w sezonach jesiennych (tab. 6). Stwierdzono brak współzależności między analizowanymi charakterystykami dżdżownic a wilgotnością aktualną w obu warstwach gleby w sezonach wiosennych. W sezonach jesiennych zaznaczyła się korelacja między wilgotnością na głębokości 0–15 cm a zagęszczeniem i biomasa. Zmienna ta miała również statystycznie istotne powiązanie z bogactwem gatunków, ale tylko w ujęciu łącznym (tab. 6).

Uzyskane wyniki wskazują, że, podobnie jak w przypadku zgrupowań dżdżownic w kompleksie pól małych, na polu dużym zmienną o najliczniejszych i najsilniejszych korelacjach z cechami zgrupowania *Lumbricidae* była przewodność elektrolityczna. Miała ona statystycznie istotny związek z biomasa dżdżownic w sezonie wiosennym oraz zagęszczeniem i biomasa w ujęciu łącznym na obu analizowanych głębokościach glebowych. Z kolei na głębokości 15–30 cm wykazała związek z liczbą gatunków w ujęciu łącznym. W obrębie pól małych stwierdzono współzależność między bogactwem gatunków, zagęszczeniem i biomasa dżdżownic a zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego w glebach. Natomiast w przypadku zgrupowania dżdżownic na polu dużym takich zależności nie stwierdzono (tab. 7).

## Dyskusja i wnioski

Stan zgrupowania dżdżownic na obszarach polnych zależy od wielu czynników, których działanie przejawia się w różnych skalach przestrzennych i czasowych. W pracy wykazano wpływ trzech grup czynników, których oddziaływanie można uogólnić jako: zmienność sezonowa, różnice międzyobiektowe i zmienność wewnątrzobiektowa.

Zmienność sezonowa przejawia się niskimi liczebnościami i biomasa na wiosnę i ponad dwukrotnie wyższą liczebnością i około trzykrotnie wyższą biomasa dżdżownic na jesieni. Należy przy tym zauważyć, że choć zależność

Tabela 6. Współczynniki korelacji Spearmana dla parametrów glebowych oznaczanych w każdym sezonie badawczym i charakterystyk zgrupowania *Lumbricidae* (statystycznie istotne korelacje oznaczono: \*\* p < 0,05; \* p < 0,1).

Table 6. Correlation coefficients (Spearman's rho) for earthworm assemblages and soil parameters, marked in any season (values significant at: \* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,1).

Charakterystyki zgrupowania	Zmienna	Dm			Dd		
		Wiosny	Jesienie	Łącznie	Wiosny	Jesienie	Łącznie
Liczba gatunków	PH 0-15 cm	0,031	-0,001	-0,028	0,026	0,203	0,156
	PH 15-30 cm	-0,034	-0,013	-0,116	-0,037	0,273	0,073
	MC 0-15 cm	0,342**	0,191*	0,218**	-0,188	-0,027	0,030
	MC 15-30 cm	0,178	-0,019	0,058	-0,277	-0,023	-0,201*
	EC 0-15 cm	0,105	0,003	0,239**	-0,095	0,090	0,180
	EC 15-30 cm	0,087	0,108	0,302**	0,265	-0,028	0,281**
Zagęszczenie	PH 0-15 cm	-0,085	0,001	-0,135*	0,208	-0,161	0,104
	PH 15-30 cm	-0,103	-0,059	-0,238**	0,207	0,025	0,019
	MC 0-15 cm	0,568**	-0,015	0,171**	-0,121	-0,441**	-0,004
	MC 15-30 cm	0,216*	-0,138	-0,005	-0,014	-0,175	-0,148
	EC 0-15 cm	0,327**	-0,270**	0,338**	0,130	-0,269	0,234**
	EC 15-30 cm	0,276**	-0,188	0,434**	0,204	-0,214	0,292**
Biomasa	PH 0-15 cm	-0,019	-0,024	-0,119	0,188	-0,373**	0,016
	PH 15-30 cm	0,047	-0,076	-0,175**	0,200	-0,214	-0,100
	MC 0-15 cm	0,475**	-0,096	0,100	0,129	-0,401**	0,159
	MC 15-30 cm	0,514**	-0,109	0,123	0,199	0,017	0,005
	EC 0-15 cm	0,303**	-0,286**	0,361**	0,421**	-0,169	0,405**
	EC 15-30 cm	0,202*	-0,200*	0,451**	0,349**	-0,272	0,397**

Tabela 7. Współczynnik Spearmana dla parametrów glebowych oznaczonych dla sezonu jesiennego 2008 roku i charakterystyk zgrupowania *Lumbricidae* (statystycznie istotne korelacje zaznaczono: \*\* p < 0,05; \* p < 0,1).

Table 7. Correlation coefficients (Spearman's rho) for earthworm assemblages and soil parameters, marked in autumn 2008 (values significant at: \* p ≤ 0,05; \*\* p ≤ 0,1).

Charakterystyki zgrupowania	Parametry glebowe	Sezon jesienny 2008	
		Dm	Dd
Liczba gatunków	C	0,499**	0,0023
	N	0,509**	0,0012
	C/N	0,312*	0,1679
Liczebność	C	0,391**	-0,3307
	N	0,420**	-0,3052
	C/N	0,240	-0,3833
Biomasa	C	0,343**	-0,1966
	N	0,375**	-0,1841
	C/N	0,224	-0,3272

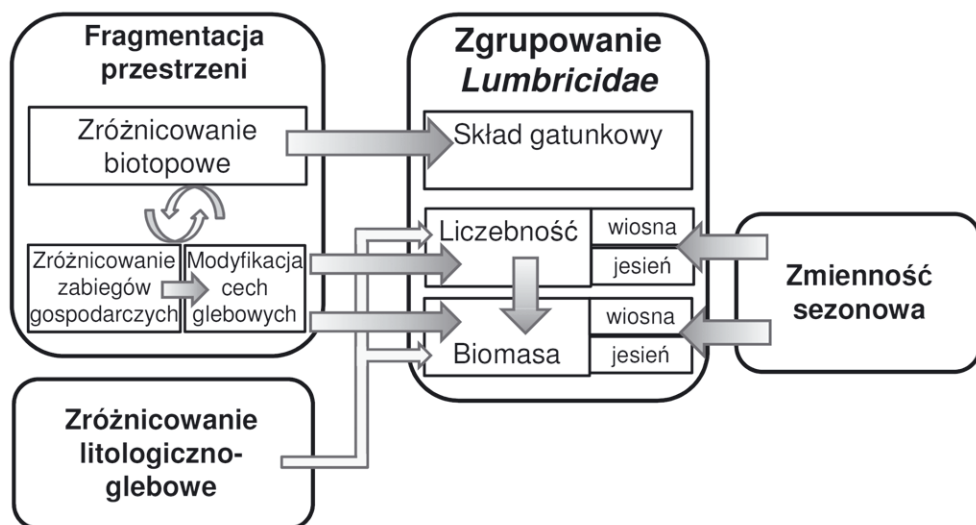
wiosna-jesień jest wspólna dla obu powierzchni i powszechnie stwierdzona również w badaniach różnych autorów w odniesieniu do innych obszarów (Fraser, Piercy 1998; Eisenhauer et al. 2009; Lenart, Sławiński 2010), to istotne różnice między obszarami Dd i Dm w okresie jesiennym wynikają już z modyfikacji ogólnej zależności przez różnice międzyobiektywne.

Różnice międzyobiektywne obejmują: (a) odmienny poziom fragmentacji terenu, (b) różnice w przeciętnych warunkach glebowych, wynikających z charakteru substratu glebowego. Różnice we fragmentacji siedlisk były oczywiste. Obszar Dd to duże jednorodne pole, podlegające w każdym miejscu takiemu samemu cyklowi upraw i zabiegów. Natomiast obszar Dm to ułożone pasowo wąskie pola pokryte różnymi uprawami i poprzedzielane miedzami i drogami. W wyniku różnych cykli płodozmianu na obszarze Dm wykształcił się uporządkowany przestrzennie układ odrębnych biotopów. Mniej oczywiste są różnice w przeciętnych warunkach glebowych, wynikających z charakteru substratu glebowego. Na stanowiska Dm dominują gleby brunatne zbudowane z gliny lekkiej, zaś na Dd gleby płowe zbudowane z piasku gliniastego mocnego. Jednocześnie gleby kompleksu Dm charakteryzują się przeciętnie wyższym odczynem gleby na poziomie 15–30 cm, wyższą zawartością węgla organicznego i azotu ogólnego oraz wyższymi wartościami przewodności właściwej (EC) na poziomie 0–15 cm w porównaniu do gleb pola dużego Dd. Różnice te, statystycznie istotne nie mają jednak większego znaczenia ekologicznego, gdyż w zasadzie cała zmienność warunków mieści się w przedziałach tolerancji dla zgrupowań *Lumbricidae*. Przy czym interesujące jest, a nierozstrzygnięte pytanie, na ile różnice te wynikają z wpływu zróżnicowanego użytkowania (zróżnicowanych biotopów) w kompleksie pól małych w porównaniu z polem dużym, a na ile z cech litologicznych substratu glebowego. Pośrednią odpowiedź, wskazującą na decydującą rolę użytkowania w podwyższeniu wartości C i N sugeruje analiza zmienności cech glebowych wewnątrz obiektów.

Różnice w warunkach ekologicznych między obiektami Dm i Dd spowodowały odmienność charakterystyk zgrupowań dżdżownic. W kompleksie pól małych (Dm) zarejestrowano obecność 8 gatunków, a na polu dużym – jedynie 5 gatunków. Również sumaryczne zagęszczenie i biomasa dżdżownic były wyższe na stanowisku Dm. Stwierdzone różnice w charakterystykach zgrupowania dżdżownic dobrze odpowiadają sytuacjom w innych regionach. Zwykle w systemach rolnych odnotowuje się nie więcej niż siedem gatunków (Cluzeau i in. 2012; Kovács-Hostyánszki i in. 2013). Jak podaje Paoletti (1999) oraz Curry i in. (2002) zagęszczenie i różnorodność dżdżownic w większości przypadków jest niższa na obszarach narażonych na znaczną antropopresję. Ponadto występowanie w kompleksie pól małych (Dm) gatunków o szerokim zakresie tolerancji (tj. *A. caliginosa*, *A. rosea*, *L. rubellus*) w towarzystwie gatunków najbardziej wrażliwych (tj. *A. chlorotica*, *L. castaneus*) wskazuje na stosowanie mniej intensywnej praktyki rolniczej oraz na bardziej zróżnicowane warunki ekologiczne - np. obecność wysp śródpolnych, miedz, dróg śródpolnych, roślinności ruderalnej i zagajników (Paoletti 1999; Ivask i in. 2007).



O różnicach w zmienności wewnątrzobiektywnej między kompleksem pól małych a polem dużym świadczy między innymi z jednej strony fakt, iż zmienność wewnętrzna pH w warstwie 0-15 cm, oraz zmienność C i N (określone na podstawie odchylenia standardowego, rozstępu między wartościami minimalnymi i maksymalnymi oraz rozstępu między percentylem 25 i 75) była większa na polu dużym (Dd) niż w kompleksie pól małych (Dm). Z drugiej strony – co warto podkreślić - różnice w odchyleniach standardowych biomasy i zagęszczenia, były (poza sezonami wiosennymi) od półtora do prawie dwukrotnie wyższe w kompleksie pól małych niż na polu dużym. Większa zmienność warunków siedliskowych na polu dużym i większa zmienność charakterystyk dżdżownic w kompleksie pól małych wyraźnie świadczą o odrębności mechanizmów sterujących zależnościami między cechami chemicznymi podłoża a cechami zgrupowań *Lumbricidae* w układach o różnej strukturze przestrzennej. Stwierdzenie powyższe potwierdza również fakt, iż w kompleksie pól małych (Dm) zarejestrowano znacznie więcej istotnych statystycznie (choć słabych) korelacji między charakterystykami *Lumbricidae* a cechami gleby niż na polu dużym (Dd). Powyższe wraz z obserwacjami polowymi świadczy, że na polu dużym zmienność cech gleby miała charakter losowy i nie wpływała na zróżnicowanie przestrzenne zgrupowań dżdżownic. Natomiast na obszarze kompleksu pól małych zmienność cech glebowych odpowiadała zmienności sekwencji biotopów, co łącznie wpłynęło na występowanie korelacji między cechami gleby i cechami zgrupowań dżdżownic. Omówione wyżej zależności w schematyczny sposób przedstawiono na ryc. 4.



Ryc. 4. Schemat zależności między strukturą przestrzenną (stopniem fragmentacji) pól, zróżnicowaniem podłoża i cyklem pór roku, a cechami zgrupowania dżdżownic (opracowanie J. Solon).

Fig. 4. Interdependences between the spatial structure (degree of fragmentation) of fields, soil differentiation, seasonal changes, and features of Lumbricidae assemblages (elaborated by J. Solon).

Zgodnie z tym schematem i uogólniając otrzymane wyniki można stwierdzić, że na skład gatunkowy dżdżownic najsilniej wpływa struktura przestrzenna mozaiki agrocenoz, natomiast liczebność i biomasa są determinowane przede wszystkim przez warunki podłoża, przy czym modyfikacja cech glebowych, wynikająca z przestrzennie uporządkowanych różnic w zabiegach silnie wpływa na lokalne różnice w zagęszczeniach i biomacie *Lumbricidae*.

Otrzymane wyniki i wypływające z nich wnioski mają szerszy charakter niż tylko lokalny. Podobne zależności stwierdzono również dla okolic Potęgowa na Pomorzu (Regulska 2012). Są one także zgodne z wieloma, publikowanymi pracami o podobnym charakterze. Wynika z nich m.in. że zagęszczenie i biomasa dżdżownic jest większa na polach mniejszych (między 5 a 10 ha) w porównaniu do pól większych (między 10 a 20 ha) i to niezależnie od typu uprawy tj. konwencjonalnej czy konserwacyjnej (Roarty, Schmidt 2013).

Badania bioindykacyjne, w tym zooindykacyjne mają długą tradycję (por. Regulska 2008). Równoległe długą tradycję mają badania wpływu obecności poszczególnych elementów krajobrazu (miedze, zadrzewienia) na obfitość występowania przedstawicieli różnych grup bezkręgowców (Kajak, Oleszczuk 2004; Sobczyk 2007; Ryszkowski, Karg, Glura 2009). Prezentowane w artykule wyniki wykraczają poza te tradycje i w sposób łączny uwzględniają wpływ różnych aspektów zróżnicowania krajobrazowego na charakter zgrupowań *Lumbricidae*. Stanowią one przykład współcześnie rozwijanych metod kompleksowych bioindykacyjnej oceny stanu środowiska oraz prac przyczyniających się do pełniejszego modelowania zależności między zróżnicowaniem przestrzennym składników abiotycznych, biotycznych i antropogenicznych w krajobrazie a bogactwem i różnorodnością gatunkową.

## Podziękowanie

Przeprowadzenie badań było możliwe dzięki wsparciu finansowemu udzielonemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2008-2011 (grant promotorski nr N305 0837 35).

## Literatura

- Ber A., 1999. Glacitektonika Pojezierza Suwalsko-Augustowskiego w nawiązaniu do neotektoniki oraz struktur tektonicznych fundamentu krystalicznego. *Przegląd Geologiczny* 47, s. 831-839.
- Cluzeau D., Guernion M., Chaussod R., Martin-Laurent F., Villenave C. i in., 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: Baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *European Journal of Soil Biology* 49, s. 63-72.
- Curry J.P., Byrne D., Schmidt O., 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology* 38, s. 127-130.

- Eisenhauer N., Milcu A., Sabais A.C.W., Bessler H., Weigelt A. i in., 2009. Plant community impacts on the structure of earthworm communities depend on season and change with time. *Soil Biology and Biochemistry* 41 (12), s. 2430-2443.
- Fraser P.M., Piercy J.E., 1998. The effects of cereal straw management practices on lumbricid earthworm populations. *Applied Soil Ecology* 9, s. 369-373.
- International Organisation for Standardisation (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.
- International Organisation for Standardisation (ISO), 2004. *Soil quality: Sampling of Soil Invertebrates. Part 1: Hand-Sorting and Formalin Extraction of Earthworms*, ISO 23611-1. ISO, Geneva.
- Ivask M., Kuu A., Sizov E., 2007. Abundance of earthworm species in Estonian arable soils. *European Journal of Soil Biology* 43 (1), s. 39-42.
- Kajak A., Oleszczuk M., 2004. Effect of shelterbelts on adjoining cultivated fields: patrolling intensity of carabid beetles (Carabidae) and spiders (Araneae). *Polish Journal of Ecology* 52 (2), s. 155-172.
- Kondracki J., 2002. *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kovács-Hostyánszki A., Elek Z., Balázs K., Centeri C., Falusi E. i in., 2013. Earthworms, spiders and bees as indicators of habitat quality and management in a low-input farming region – A whole farm approach. *Ecological Indicators* 33, s. 111-120.
- Lenart S., Sławiński P., 2010. Wybrane właściwości gleby oraz występowanie dżdżownic w warunkach siewu bezpośredniego i płużnej uprawy roli. *Fragmenta Agronomica* 27 (4), s. 86-93.
- Levin S.A., Carpenter S.R., Godfray H.C.J., Kinzig A.P., Loreau M. i in. (red.), 2009. *The Princeton Guide to Ecology*. Princeton University Press.
- Markert B., Wünschmann S., Diatta J., Chudzińska E., 2012. Innowacyjna obserwacja środowiska – bioindykatory i biomonitoring: definicje, strategie i zastosowania. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 53, Warszawa, IOŚ-BIP, s. 115-152.
- McGarigal K., Marks B.J., 1995. FRAGSTAT: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service. Technical Reports, PNW-351, Portland.
- Okolowicz W., 1973-1978, *Regiony klimatyczne*. [w:] *Narodowy Atlas Polski*, IG PAN, Ossolineum.
- Paoletti M.G., 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. [w:] M.G. Paoletti (red.), *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, s. 137-155.
- Regulska E., 2008. Ocena stanu środowiska przyrodniczego krajobrazów z zastosowaniem wskaźników faunistycznych. [w:] T.J. Chmielewski (red.), *Struktura i funkcjonowanie systemów krajobrazowych: meta-analizy, modele, teorie i ich zastosowania*. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 21. Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, Lublin, s. 193-206.
- Regulska E., 2011. Carabidae in landscape research on the basis of literature, 2005-08. *Polish Journal of Environmental Studies* 20 (3), s. 733-741.
- Regulska E., 2012. Wskaźniki zoologiczne i krajobrazowe oraz ich przydatność do oceny rozwoju zrównoważonego krajobrazu wiejskiego (na przykładzie wybranych obszarów). Praca doktorska. Maszynopis. Centralna Biblioteka Geografii i Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Roarty S., Schmidt O., 2013. Permanent and new arable field margins support large earthworm communities but do not increase in-field populations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 170, s. 45-55.
- Römbke J., Jänsch S., Didden W., 2005. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62, s. 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, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- Rundgren S., 1975. Vertical distribution of lumbricids in southern Sweden. *Oikos* 26, s. 299-306.
- Ryszkowski L., Karg J., Glura M., 2009. Influence of agricultural landscape structure on diversity of insect communities. *Polish Journal of Ecology* 57 (4), s. 749-765.
- Sobczyk D., 2007. Wpływ różnowiekowych pasów leśnych na ekosystemy pól uprawnych – zawartość materii organicznej, bogactwo gatunkowe wybranych grup zwierząt i grzybów oraz możliwości migracji fauny. 5. Penetracja zadrzewień śródpolnych i przyległych upraw przez Carabidae. [w:] A. Kędziora, J. Horabik (red.), *Jakość środowiska, surowców i żywności. Materiały sympozjum naukowego*. Instytut Agrofizyki, Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, Sieć Agrogaz, Lublin, s. 174-175.
- Szujecki A. (red.), 2001. *Próba szacunkowej waloryzacji lasów Puszczy Białowieskiej metodą zooindykacyjną*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.