

## MATEUSZ OKRUTNIAK, IRENA M. GRZEŚ, ZBIGNIEW BONCZAR

Zakład Zoologii Środowiskowej, Instytut Nauk o Zwierzętach  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
e-mail: [m.okrutniak@ur.krakow.pl](mailto:m.okrutniak@ur.krakow.pl)

### FAUNA DŹDŹOWNIC SKŁADOWISK KOPALNI CYNKU I OŁOWIU

*Badano hałdy odpadów poflotacyjnych kopalni cynku i ołowiu „Trzebionka” i „Bolesław” w celu sprawdzenia czy będące w różnym stopniu rekultywacji hałdy są środowiskiem występowania dżdżownic oraz jaka jest ich różnorodność gatunkowa i biomasa. Odlów bezkręgowców przeprowadzono metodą formalinową w latach 2010 i 2011. Na hałdach „Trzebionka” i „Bolesław” stwierdzono występowanie odpowiednio 6 oraz 2 gatunków dżdżownic zaliczanych do pospolitych w kraju. Istotnie większą biomasę dżdżownic wykazano na hałdzie „Trzebionka”, co jest wynikiem pozytywnego wpływu obecności gatunku *Lumbricus terrestris*.*

**Słowa kluczowe:** dżdżownice, różnorodność gatunkowa, biomasa, hałdy, metale śladowe

#### I. WSTĘP

Od XIV w. w rejonie Olkusza (Małopolska) trwa działalność górnictwa rud cynku i ołowiu [Mucha i Szuwarzyński 2004]. Spowodowała ona znaczne deformacje powierzchni ziemi m.in. osiadanie gruntu. Ubocznym efektem tej działalności było utworzenie wielu znacznych rozmiarów składowisk [Grodzińska i Szarek-Lukaszewska 2002, Siuta 2009]. Właściwości fizyko-chemiczne gromadzonych przez stulecia odpadów doprowadziły w tym regionie do silnego zanieczyszczenia gleb metalami śladowymi. Na najbardziej skażonych stanowiskach zawartość Zn, Pb i Cd w warstwie humusu wynosi odpowiednio: 9600 mg/kg, 1500 mg/kg oraz 80 mg/kg przekraczając nawet do kilkuset razy średnie zawartości tych pierwiastków notowane w nie zanieczyszczonych glebach Polski [Stone i in. 2001, Kabata Pendias i Pendias 1999]. Możliwość dalszego rozprzestrzeniania metali śladowych na skutek erozji eolicznej sprawia, że tereny te powinny zostać poddane rekultywacji [Tordoff i in. 2000]. Na erozję w szczególności podatne są współcześnie składowane drobnoziarniste odpady z procesu flotacji służącego wzbogacaniu rud. Erozję skutecznie hamuje okrywa roślinna [Kabała i in. 2009] lecz proces spontanicznej sukcesji roślin na hałdach cynkowo ołowiowych może trwać dziesięciolecia lub nawet stulecia [Karczewska 2012]. Przyspieszyć go mogą znacznie zabiegi rekultywacyjne. Odpady poflotacyjne rud cynkowo ołowiowych są przykładem skrajnie trudnych warunków siedliskowych dla roślin [Tordoff i in. 2000, Krzaklewski i Pietrzykowski 2002, Ryszka i Turnau 2007]. Ich rekultywacja wymaga odtworzenia profilu glebowego, który można uzyskać jedynie pokrywając odpady warstwą nieskażonej gleby i wprowadzając odpowiednie gatunki roślin. Funkcjonowanie tak sztucznie stworzonego ekosystemu wymaga zazwyczaj

dodatkowych nakładów finansowych oraz prac związanych np. z nawożeniem czy irygacją. W efekcie końcowym, często ekosystemy te okazują się być niestabilne i przekształcają się we wtórne nieużytki [Wójcik i in. 2014].

Czynnikiem wspomagającym właściwe funkcjonowanie rekultywowanych ekosystemów są bezkręgowce glebowe. Szczególnie istotną rolę w początkowych etapach remediacji przemysłowych środowisk pełnią dżdżownice (Lumbricidae). Zaliczane do grupy tzw. inżynierów ekosystemowych poprawiają ich właściwości fizyko-chemiczne [Roubickova i in. 2009, Boyer i in. 2011]. Uwidacznia się to w ich lepszym napowietrzeniu i nawodnieniu, co jest szczególnie ważne dla przesuszonych odpadów poflotacyjnych [Topp i in. 2001]. Dżdżownice poruszając się w glebie aktywnie uczestniczą w przemieszczaniu warstw ziemi mieszając je z własnymi ekstramentami zawierającymi więcej substancji organicznej, węgla organicznego i azotu ogólnego niż otaczająca gleba [Makulec i in. 1994]. Trudno przyswajalne przez rośliny związki po przejściu przez przewód pokarmowy dżdżownic są zamienione na frakcje łatwo przyswajalne [Bonkowski i Schaefer 1998, Doube i Brown 1998]. Wciągając do korytarzy martwy materiał organiczny dżdżownice przyspieszają jego rozkład i zamianę na próchnicę [Edwards i Bohlen 1996]. Wytworzony w ten sposób humus jest doskonałym źródłem składników odżywczych na składowiskach odpadów poflotacyjnych [Blakemore 1997]. W efekcie końcowym dżdżownice przyczyniają się do zwiększenia zarówno gęstości jak i stabilności okrywy roślinnej, a tym samym do ograniczenia erozji gleb [Topp i in. 2001]. Wszystkie te cechy sprawiają, że dżdżownice mogą stanowić ważny element kompleksowej rekultywacji. Znajomość parametrów zespołów dżdżownic umożliwia także wykorzystanie tej grupy systematycznej jako wskaźnika stanu środowiska glebowego ekosystemów zdegradowanych jak i rekultywowanych [Kostecka i in. 2004].

W dostępnej literaturze brak jest danych na temat fauny dżdżownic występujących na hałdach odpadów poflotacyjnych. Celem prezentowanych badań było więc sprawdzenie, czy będące w różnym stopniu rekultywacji składowiska „Trzebieńka” i „Bolesław” znajdujące się w rejonie olkuskim, są środowiskiem występowania dżdżownic oraz jaka jest ich różnorodność gatunkowa i biomasa. Uzyskane wyniki mogą być pomocne w planowaniu zabiegów rekultywacyjnych hałd z wykorzystaniem fauny dżdżownic, jako ważnego elementu tego procesu.

## II. MATERIAŁ I METODY

### *Charakterystyka terenów badawczych*

#### *a) Składowisko ZG „Trzebieńka”*

Składowisko Zakładów Górniczych „Trzebieńka” znajduje się w miejscowości Trzebień (50°09' N, 19°25' E). Podstawowe właściwości chemiczne odpadów tego składowiska zamieszczono w tab. 1.

**Tabela 1 – Table 1**

Podstawowe właściwości chemiczne odpadów poflotacyjnych rud cynku i ołowiu z terenów badawczych [za Trafas i Eckes 2007] / *Chemical properties of postflotation zinc-lead dumps of the study areas*

Cecha / Attribute		„Trzebieńka”	„Bolesław”
pH	H <sub>2</sub> O	8,5	7,85
	KCL	8,4	7,83
Stężenie składników rozpuszczalnych w 60% HClO <sub>4</sub> [mg/kg] <i>Concentration of compounds dissolved in 60% HClO<sub>4</sub> [mg/kg]</i>	Zn	13453	11358
	Pb	2936	2271
	Cd	91	64,4

Składowisko założono końcem lat 60. XX w. i było ono eksploatowane do 2009 r. Ma kształt trapezu, którego podstawa zajmuje powierzchnię około 64 ha, a wysokość przekracza 40 m. W trakcie bieżącej nadbudowy składowiska prowadzono rekultywację techniczną i biologiczną jego skarp. Faza techniczna rekultywacji polegała na wykonaniu drenażu skarp i ich stabilizacji poprzez pokrycie warstwą mielonego dolomitu. Podczas fazy biologicznej na umocnione skarpy nakładano dodatkową 30 cm warstwę humusu wymieszanego z komunalnymi osadami ściekowymi, a następnie wprowadzano gatunki traw, krzewów i drzew odporne na metale, suszę oraz niewielką ilość biogenów [Kłojzy-Karczmarczyk i in. 2009]. W okresie suszy, vegetacja roślin wspierana była zainstalowanym systemem zraszaczy. Wszystkie te zabiegi oraz proces kolonizowania składowiska przez gatunki naturalnie występujące w sąsiedztwie obiektu doprowadziły do powstania trwałej okrywy roślinnej będącej w różnych stadiach sukcesyjnych (najstarsze u podstawy składowiska, najmłodsze przy jego wierzcholinie).

#### *b) Składowisko ZGH „Bolesław”*

Składowisko Zakładów Górniczo-Hutniczych „Bolesław” znajduje się w miejscowości Bukowno (50°17' N, 19°29' E). Zostało założone na początku lat 60. XX w. i jest obiektem czynnym. Ma kształt trapezu, którego podstawa zajmuje powierzchnię ok. 110 ha, a wysokość przekracza 40 m [Bauerek i in. 2013]. Podstawowe właściwości fizyko-chemiczne gromadzonych tam odpadów są zbliżone do pochodzących z „Trzebionki” (tab. 1). Czynnikiem różnicującym te dwa obiekty jest stopień ich rekultywacji. Faza techniczna rekultywacji prowadzona dotychczas na składowisku „Bolesław” polegała na wzmocnieniu skarp składowiska poprzez nałożenie na nie warstwy utworów ilastych. Faza biologiczna polegała na dodatkowym pokryciu wzmocnionych skarp 20 cm warstwą humusu wymieszanego z komunalnymi osadami ściekowymi. Na tak przygotowane podłoże wprowadzono miejscowo odpowiednio dobrane gatunki traw, krzewów i drzew. Prawdopodobnie jednak niewielka liczba nasadzonych roślin oraz brak wspomagania ich vegetacji w okresach suszy stały się przyczyną braku trwałej okrywy roślinnej reprezentowanej przez różne stadia sukcesyjne. Na zboczach składowiska dominuje zespół wczesno-sukcesyjnej roślinności zielnej.

#### *Stanowiska badawcze*

Badaniami objęto wyłącznie skarpy hałd. Na terenie składowiska „Trzebionka” wyznaczono łącznie 12 stanowisk. Na każdym ze stoków, o ekspozycji północnej, południowej, wschodniej i zachodniej wyznaczono po trzy stanowiska (przy podstawie składowiska reprezentujące najstarsze ok. 40-50 letnie osady, w połowie jego wysokości reprezentujące ok. 20-30 letnie osady oraz przy jego wierzcholinie najmłodsze około 10 letnie osady). Na terenie składowiska „Bolesław” wyznaczono łącznie 7 stanowisk. Na stoku o ekspozycji północnej trzy, południowej oraz wschodniej po dwa (reprezentujące najstarsze i najmłodsze osady). Stok zachodni został wyłączony z badań ze względu na prowadzone na jego terenie prace techniczne. Zrezygnowano ze stanowiska środkowego na stanowiskach południowym i wschodnim ze względu na miejscowe obsuwanie się skarp.

#### *Odlów dżdżownic*

Odlów dżdżownic celem zbadania różnorodności gatunkowej i ich biomasy przeprowadzono w oparciu o metodę formalinową [Satchell 1969] w latach 2010 i 2011. Na każdym z wyznaczonych stanowisk w odstępach miesięcznych od czerwca do października przeprowadzono po dwa odlowy (S1 i S2). Dżdżownice wyplaszano roztworem formaldehydu z powierzchni 0,25 m<sup>2</sup> wyznaczonej metalową obręczą. Łącznie na terenie hałdy „Trzebionka” odlów dżdżownic wykonano 240 razy, a na terenie hałdy „Bolesław” 140 razy. Odlowione okazy ważono na przenośnej wadze terenowej (model

OHAUS SC2020, max 200g,  $d = 0,01$  g) i następnie konserwowano w 70% alkoholu. Oznaczenia odłowionych osobników wykonano przy użyciu lupy binokularnej marki Olympus, w oparciu o klucze Plisko [1973] oraz Kasprzak [1986].

#### Analiza statystyczna

Celem przeprowadzonych analiz statystycznych było testowanie hipotez o wpływie zmiennych niezależnych: teren badawczy („Trzebieńka”, „Bolesław”), ekspozycja słoneczna (północna, południowa, wschodnia, zachodnia), stanowisko (najstarsze, pośrednie i najmłodsze osady), numer odłowu (S1, S2) oraz sezon (2010, 2011) na zmienne zależne: liczbę gatunków i liczbę osobników dżdżownic. Testowano również hipotezę o wpływie zmiennych niezależnych: teren badawczy, stanowisko oraz sezon na zmienną zależną – średnią biomasa dżdżownic na stanowisko. Jeśli zmienne zależne spełniały warunki rozkładu normalnego, testowane poprzez obliczenie wartości standaryzowanego skewness i standaryzowanego kurtosis, stosowano wieloczynnikową analizę wariancji- ANOVA z wsteczną selekcją czynników (ang. *backward selection*). W przypadku, gdy rozkład zmiennych zależnych nie spełniał warunków rozkładu normalnego, stosowano test Kruskala-Wallisa, testując wyłącznie wpływ terenu badawczego na zmienne zależne. Obliczenia statystyczne wykonano w programie Statgraphics Centurion ver. XVI (Statpoint Technologies).

### III. WYNIKI

Łącznie odłowiono 273 dżdżownice, 230 na hałdzie „Trzebieńka” oraz 43 na hałdzie „Bolesław”. Należały one do 4 rodzajów, reprezentowanych przez 6 gatunków. Procentowy udział poszczególnych gatunków stwierdzonych na terenach badawczych w sezonach 2010 i 2011 zamieszczono w tab. 2.

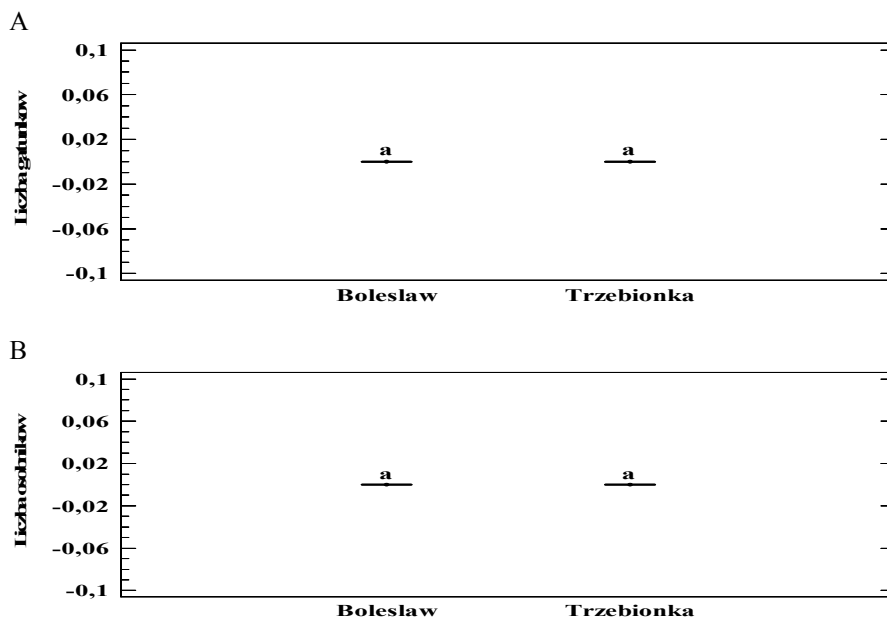
**Tabela 2 – Table 2**

Procentowy udział poszczególnych gatunków dżdżownic hałd „Trzebieńka” i „Bolesław” w sezonach 2010 i 2011 [%] / *Relative abundance of earthworms in the study areas „Trzebieńka” and „Bolesław” collected in the seasons 2010 and 2011 [%]*

Gatunek / Species	„Trzebieńka”		„Bolesław”	
	Sezon / Season			
	2010	2011	2010	2011
<i>Aporectodea caliginosa</i> (SAVIGNY, 1826)	6	0	0	0
<i>Aporectodea rosea</i> (SAVIGNY, 1826)	43	25	95	0
<i>Dendrobena octaedra</i> (SAVIGNY, 1826)	27	15	0	0
<i>Lumbricus rubellus</i> (HOFFMEISTER, 1843)	18	39	5	0
<i>Lumbricus terrestris</i> (LINNAEUS, 1758)	3	19	0	0
<i>Octolasion lacteum</i> (ORLEY, 1885)	3	2	0	0

Gatunkami dominującymi na hałdzie „Trzebieńka” w obydwu sezonach były *A. rosea*, *D. octaedra* oraz *L. rubellus*. Na terenie hałdy „Bolesław” obecność dżdżownic wykazano jedynie w sezonie 2010. Pośród dwóch stwierdzonych tam gatunków dominantem był *A. rosea*. Ponieważ liczba gatunków jak i liczba osobników dżdżownic nie spełniała warunków rozkładu normalnego w celu porównania stanowisk „Trzebieńka” i „Bolesław” wykonano test Kruskala-Wallisa. Porównanie 95% przedziałów ufności wokół mediany liczby gatunków (rys. 1. A) jak i liczby osobników (rys. 1. B) wykazało brak statystycznie istotnych różnic pomiędzy terenami badawczymi.

Średnie wartości biomasy dżdżownic dla stanowisk reprezentujących różny wiek osadów hałd „Trzebieńka” i „Bolesław” w sezonach 2010 i 2011 zamieszczono w tab. 3.



**Rys. 1.** Porównanie mediany liczby gatunków (A) oraz liczby osobników (B) dżdżownic hałd „Bolesław” i „Trzebieonka”. Tymi samymi literami zaznaczono brak statystycznie istotnych różnic wykazany porównaniem 95% przedziałów ufności wokół mediany

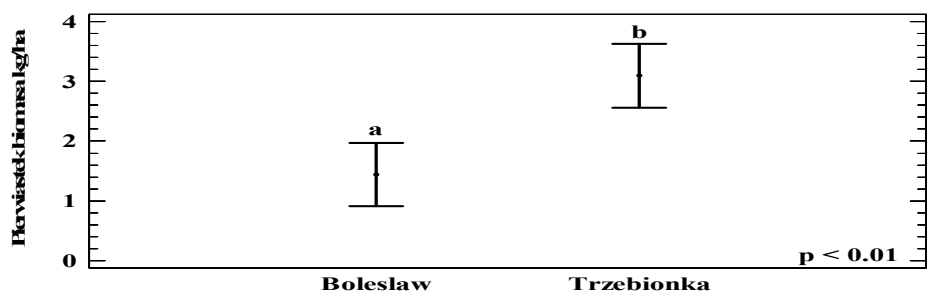
**Fig. 1.** The comparison of median value calculated for the number of species (A) and abundance (B) based on the data for „Trzebieonka” and „Bolesław”. Similar letters indicate the lack of significant difference obtained based on comparing of 95% confidence level

**Tabela 3 – Table 3**

Średnie wartości biomasy dżdżownic [kg/ha] dla stanowisk reprezentujących różny wiek osadów hałd „Trzebieonka” i „Bolesław” w sezonach 2010 i 2011 / Averaged values of biomass [kg/ha] of earthworms in the study areas „Trzebieonka” and „Bolesław” obtained in the seasons 2010 and 2011

Teren badawczy / Study area	Wiek osadów / Age of wastes	Sezon/ Season	
		2010	2011
„Trzebieonka”	40-50 lat / years	13,1	6,9
	20-30 lat / years	2,3	1,4
	10 lat / years	17,6	1,2
„Bolesław”	40-50 lat / years	0,4	0
	20-30 lat / years	0,2	0
	10 lat / years	2,5	0

Analizą wariancji testowano hipotezę o wpływie zmiennych niezależnych na biomase dżdżownic. Wartości biomasy dżdżownic transformowano poprzez wyliczenie pierwiastka kwadratowego celem uzyskania rozkładu normalnego. Zmienna stanowisko i sezon okazały się być nieistotne ( $p > 0,05$ ), dlatego zgodnie z procedurą wstecznej selekcji czynników zostały usunięte z analizy. Po ich usunięciu pozostały czynnik tj. teren badawczy był istotny ( $p < 0,01$ ). Różnice między terenami badawczymi testowano post hoc przy pomocy testu LSD. Biomasa dżdżownic była istotnie wyższa na terenie hałdy „Trzebieonka” (rys. 2).



**Rys. 2.** Porównanie średniej biomasy dżdżownic hałd „Trzebieńka” i „Bolesław”. Różnymi literami zaznaczono statystycznie istotne różnice wykazane testem LSD

**Fig. 2.** The comparison of averaged biomass of earthworms in the area of „Trzebieńka” and „Bolesław”. Different letters indicate significant difference based on LSD test

#### IV. DYSKUSJA

W niniejszych badaniach wykazano, że liczba gatunków jak i liczba osobników dżdżownic jest porównywalna między hałdami „Trzebieńka” i „Bolesław”. Pomimo, że na hałdzie „Trzebieńka” stwierdzono 6 gatunków dżdżownic, a na hałdzie „Bolesław” 2, brak statystycznie istotnej różnicy wynika z różnic między sezonami oraz heterogeniczności siedlisk. Brak stwierdzenia dżdżownic w sezonie 2011 na hałdzie „Bolesław” (tab. 1) może wskazywać na niestabilność zespołu dżdżownic związaną prawdopodobnie z labilnością jak i heterogenicznością tamtejszych siedlisk. Obecność dżdżownic wykazano tam zaledwie na jednym stoku w pierwszym sezonie, co może wskazywać na miejscowe lepsze warunki glebowe. Miejsca takie mogą stanowić jedyne dogodne siedliska dla dżdżownic. Lavelle i in. [1999] potwierdzają funkcjonowanie odrębnych, często różnogatunkowych zbiorowisk dżdżownic w niesynchronizowanych ze sobą płatach tzw. „patches” o niewielkiej średnicy 20-40 m. Ten typ rozmieszczenia był również obserwowany przez Toszę i in. [2010] na stanowiskach skażonych metalami śladowymi jak i Pośpiech [2002] na osadnikach zakładów sodowych i hałdach elektrociepłowni.

Ogólnie najliczniej występującymi gatunkami były *A. rosea*, *L. rubellus* i *D. octaedra*. Wszystkie stwierdzone w niniejszych badaniach gatunki, za wyjątkiem *A. rosea* występują na innych terenach zanieczyszczonych metalami śladowymi [Spurgeon i Hopkin 1996, Łapiński i Rościszewska 2003, Van Gestel i in. 2009, Tosza i in. 2010]. Gatunki te zaliczane są do grupy tzw. megaporeutycznych, pospolitych na terenie całego kraju. *A. rosea* cechuje się dużymi zdolnościami adaptacyjnymi, zasiedla różne gleby, głównie łąkowe. Toleruje zarówno środowiska podmokłe jak i bardzo suche [Plisko 1973, Kasprzak 1986]. Dworschak [1997] zalicza *A. rosea* do gatunków pionierskich na terenach zdegradowanych działalnością górnictwem, a Piżł [1999] do kolonizatorów piaszczystych ubogich w biogeny nieużytków, co może tłumaczyć jego obecność na osadnikach poflotacyjnych. *L. rubellus* występuje zarówno na łąkach, polach uprawnych, lasach iglastych i liściastych i uznawany jest za gatunek pionierski w zasiedlaniu terenów zdegradowanych i liczny na obszarach skażonych metalami ciężkimi [Eijsackers 2011]. Skuteczność w kolonizacji nowych obszarów wynika z szybkiego tempa jego reprodukcji oraz rozprzestrzeniania się [Curry i Cotton 1983]. Sukces, jaki odnosi w niesprzyjającym środowisku osadników odpadów poflotacyjnych wynika prawdopodobnie z wyjątkowej odporności na suszę osobników dorosłych oraz ich kokonów [Jensen i Holmstrup 1997]. Ponadto, jak potwierdzają obserwacje innych autorów [Morgan i Morgan 1991,

Spurgeon i Hopkin 1996], jest bardziej tolerancyjny względem wysokiego stężenia metali ciężkich. *D. octaedra* występuje w ściółce, w pniach i zmurszałych szczątkach drzewnych [Pilipiuk 1981]. Jak podaje Plisko [1973] może być notowany na styku środowisk leśnych i ugorów. Ma i Eijsackers [1989] wymieniają gatunek ten jako jeden z pierwszych pojawiających się na rekultywowanych terenach skażonych metalami ciężkimi, a Eijsackers [2010] na suchych, piaszczystych glebach. Na terenie hałdy „Trzebionka” stwierdzono więc gatunki należące do grupy dżdżownic ściółkowych (*D. octaedra*), średnio kopiących (*L. rubellus*, *A. rosea*, *A. caliginosa*, *O. lacteum* jak i głęboko kopiących (*L. terrestris*), na hałdzie „Bolesław” natomiast gatunki zaliczane do kategorii średnio kopiących (*A. rosea*, *L. rubellus*). Jak podaje Eijsackers [2011] w zależności od typu gleby na rekultywowanych terenach w początkowych etapach ich rewitalizacji obserwuje się dżdżownice epigeiczne (*Lumbricus*) i endogeiczne (*Allolobophora* i *Aporectodea*), a jako ostatnie anecigeiczne (*Lumbricus*). W tym ujęciu sukcesji gatunków *Lumbricidae*, zespoły z hałdy „Bolesław” odpowiadają jej najwcześniejszym stadium, a z „Trzebionki” pośrednim (choć pojawiają się tam również pojedyncze osobniki z grupy anecigeicznych).

Pomimo tego, że zarówno liczba gatunków jak i osobników dżdżownic była porównywalna między hałdami „Trzebionka” i „Bolesław” większa biomasa dżdżownic została stwierdzona na terenie „Trzebionki” niż na terenie hałdy „Bolesław” (rys. 2). Wynika to z obecności na „Trzebionce” *L. terrestris*, który jest największym krajowym gatunkiem dżdżownicy. Wielkość biomasy dżdżownic na terenach badawczych (tab. 3.) odpowiada wartościom wykazanim także w rejonie olkuskim przez Łapińskiego i Rościszewską [2003], którzy podają ją na poziomie 7 kg/ha. Jest ona natomiast znacznie niższa od notowanej przez van Gestel’a i in. [2009] w rejonie przemysłowym skażonym Zn i Cd, gdzie mieściła się w zakresie 37,4-330 kg/ha. Liczne badania połączone z eksperymentami terenowymi wykazały, że występowanie i biomasa dżdżownic jest zależne od ilości dostępnej materii organicznej, która jest podstawowym czynnikiem określającym wielkość zespołów tych bezkręgowców [Kasprzak 1996]. W szczególności słaba okrywa roślinna hałdy „Bolesław” może nie stanowić wystarczającej bazy pokarmowej dla tej grupy zwierząt.

Aby porównać zgrupowania dżdżownic na powierzchniach hałd „Trzebionka” oraz „Bolesław” w kontekście przemian środowiska glebowego jak i ciągu sukcesyjnego związanego z odtwarzaniem się tych terenów, stanowiska badawcze wyznaczono na osadach reprezentujących różny ich wiek. Taki dobór stanowisk badawczych miał odpowiedzieć na pytanie czy biomasa dżdżownic na nich występujących odzwierciedla ten szereg sukcesyjny? Czy raczej na strukturę badanych zespołów większy wpływ mają parametry mikrosiedlisk i ich heterogeniczność? Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała jednak istotności wieku stanowiska na wielkość biomasy dżdżownic.

Niska biomasa dżdżownic świadczy o trudnych warunkach siedliskowych, które poprawia przeprowadzony na „Trzebionce” kompleksowy program rekultywacyjny. Aby wykorzystać potencjał dżdżownic w rekultywacji hałd kopalni cynku i ołowiu należy najpierw zapewnić im podstawowe warunki do bytowania, co wiąże się przede wszystkim z równomiernym przykryciem odpadów warstwą dobrej jakości gleby, ponieważ jak dowiodły obserwacje w terenie wyspowa pokrycie odpadów prawdopodobnie uniemożliwia ich dyspersję. W przypadku podjęcia próby introdukcji dżdżownic na składowiska odpadów poflotacyjnych górnictwa rud metali najwłaściwszym gatunkiem wydaje się być najliczniej reprezentowany na terenach badawczych – *A. rosea*.

## V. WNIOSKI

1. Dżdżownice występujące na hałdach „Trzebionka” i „Bolesław” należą do pospolitych gatunków o dużych zdolnościach adaptacyjnych.
2. Bardziej zaawansowany stopień rekultywacji hałdy „Trzebionka” nie powoduje istotnego zwiększenia liczby występujących na niej gatunków ani osobników dżdżownic.
3. Różnica w wielkości biomasy między badanymi hałdami wynika z różnego składu gatunkowego badanych zespołów.

*Projekt sfinansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, DS. 3247/ZZŚ.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Bauerek A., Bebek M., Sracek O., Smieja-Król B. 2013. Chemical composition of surface runoff from flotation wastes of Zn-Pb ore formation of the Mississippi Valley-type, Olkusz, Southern Poland. *Journal of Geochemical Exploration*. 132. 54-62.
2. Blakemore R. J. 1997. Agronomic potential of earthworms in brigalow soils of south - east Queensland. *Soil Biology and Biochemistry*. 29. 603-608.
3. Bonkowski M., Schaefer M. 1998. Interactions between earthworms and soil protozoa: a trophic component in the soil food web. *Soil Biology and Biochemistry*. 29. 499-502.
4. Boyer S., Wratten S., Pizey M., Weber P. 2011. Impact of soil stockpiling and minig rehabilitation on earthworm communities. *Pedobiologia*. 54. 99-102.
5. Curry J. P., Cotton D. C. F. 1983. Earthworms and land reclamation. In: Satchell J. E. (ed.). *Earthworm Ecology from Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall. London. 215-228.
6. Dworschak U. R. 1997. Earthworm populations in a reclaimed lignite open – cast mine of the Rhineland. *European Journal of Soil Biology*. 33. 75-81.
7. Edwards C. A., Bohlen P. 1996. *Biology of earthworms*. Chapman and Hall. New York.
8. Eijsackers H. 2010. Earthworms as colonisers: Primary colonisation of contaminated land, and sediment and soil waste deposits. *Science of the total Environment*. 408. 1759-1769.
9. Eijsackers H. 2011. Earthworms as colonizers of natural and cultivated soil environments. *Applied Soil Ecology*. 50. 1-13.
10. van Gestel C. A. M., Koolhaas J. E., Hamers T., van Hoppe M., van Roover M., Korsman C., Reinecke S. A. 2009. Effects of metal pollution on earthworm communities in a contaminated floodplain area: Linking biomarker, community and functional responses. *Environmental Pollution*. 157. 895-903.
11. Grodzińska K., Szarek-Lukaszewska G. 2002. Hałdy cynkowo-olowiowe w okolicach Olkusza-przeszłość, teraźniejszość i przyszłość. *Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych*. 51 (2). 127-138.
12. Jensen K. S., Holmstrup M. 1997. Estimation of earthworm cocoon development time and its use in studies of in situ reproduction rates. *Applied Soil Ecology*. 7. 73-82.
13. Kabała C., Chodak T., Szerszeń L., Karczevska A., Szopka K., Frątczak U. 2009. Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment garden in the city of Wrocław, Poland. *Fresenius Environmental Bulletin*. 18 (7). 1118-1124.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN Warszawa.
15. Karczevska A. 2012. *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*. WUP. Wrocław. 70-357.
16. Kasprzak K. 1986. *Skąposzczety glebowe III, dżdżownice (Lumbricidae). Klucz do oznaczania bezkręgowców Polski*. PWN. Warszawa.



17. Kasprzak K. 1996. Zgrupowania dżdżownic (Lumbricidae) środowisk antropogenicznych. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie. 47. 125-130.
18. Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., Chobot C., Makoudi S, Żółtek J., Kurek T. 2009. Dokumentacja określająca techniczny sposób zamknięcia i rekultywacji składowiska odpadów poflotacyjnych Z.G. „Trzebieńka” S. A. w likwidacji. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Pracownia Badań Środowiskowych i Gospodarki Odpadami. 1-95.
19. Kostecka J., Pączka G., Mastalerczyk A. 2004. Ocena procesu rekultywacji terenów po kopalni siarki w Jeziórku, na podstawie stanu fauny dżdżownic. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych. 498. 135-145.
20. Krzaklewski W., Pietrzykowski M. 2002. Selected physico-chemical properties of zinc and lead ore tailings and their biological stabilization. Water, Air and Soil Pollution. 141. 125-142.
21. Lavelle P., Pashanasi B., Charpentier F., Gilot C., Rossi J. P., Derouard L., Andre J., Ponge J. F., Bernier N. 1999. Large – Scale Effects of Earthworm on Soil Organic Matter and Nutrient Dynamics. In Edwards C. A. (ed.). Earthworm Ecology. St. Lucie Press, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington, D. C. 103-122.
22. Łapiński S, Rościszewska M. 2003. Różnice w kumulacji metali ciężkich u *Lumbricus rubellus* (Hoffm.) i *Dendrobena octaedra* (Sav.). Rocznik Nauk Zootechnicznych. 17. 751- 754.
23. Ma W-C., Eijsackers H. 1989. The influence of substrate toxicity on soil fauna return in reclaimed land. In: Majer J. D., (ed.). Animals in primary succession: The role of fauna in reclaimed land. Cambridge: Cambridge University Press. 223-243.
24. Makulec G., Chmielewski K., Kusińska A. 1994. Znaczenie *Lumbricus rubellus* w transformacji materii organicznej i kształtowaniu składu i liczebności mikroflory gleb łąkowych. Zeszyty Naukowe 292. AR Kraków. 51-60.
25. Morgan J. E., Morgan A. J. 1991. Differences in the accumulated metal concentrations in two epigeic earthworm species (*L. rubellus* and *D. rubidus*) living in contaminated soils. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 47. 296-301.
26. Mucha J., Szuwarzyński M. 2004. Sampling errors and their influence on accuracy of zinc and lead content evaluation in ore from the Trzebieńka mine (Silesian-Cracow Zn-Pb ore district, Poland). Chemometrics and intelligent laboratory systems. 74. 165-170.
27. Pilipiuk J. 1981. Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) of Warsaw and Mazovia. Memorabilia Zool. 34. 69-77.
28. Pižl V. 1999. Earthworm succession in abandoned fields – a comparison of deductive and sequential approaches to study. Pedobiologia. 43. 705-712.
29. Plisko J. D. 1973. Fauna Polski, Lumbricidae, dżdżownice (Annelida: Oligochaeta). PWN. Warszawa.
30. Pośpiech N. 2002. Dynamika i sukcesja makrofauny edafonu rekultywowanych terenów przemysłowych. Manuskrypt AR. Kraków.
31. Roubickova A., Mudrak O., Frouz J. 2009. Effect of earthworm on growth of late succession plant species in postmining sites under laboratory and field conditions. Biology and Fertility of Soils. 45. 769-774.
32. Ryszka P., Turnau K. 2007. Arbuscular mycorrhiza of introduced and native grasses colonizing zinc wastes: implications for restoration practices. Plant and Soil. 298. 219-229.
33. Satchell J.E. 1969. Method of sampling earthworm populations. Pedobiologia. 9. 20-25.
34. Siuta J. 2009. Degradacja i rekultywacja powierzchni ziemi w Polsce. Zesz. Nauk. PTIE i PTG Oddz.w Rzeszowie. 11. 235-241.

35. Spurgeon D.J., Hopkin S.P. 1996. The effects of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: quantifying species effects. *Applied Soil Ecology*. 4. 147-160.
36. Stone D., Jepson P., Kramarz P., Laskowski R. 2001. Time to death response in carabid beetles exposed to multiple stressors along a gradient of heavy metal pollution. *Environmental Pollution*. 113. 239-244.
37. Topp W., Simon M., Kautz G., Dworschak U., Nicolini F., Pruckner S. 2001. Soil fauna of reclaimed lignite open - cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. *Ecological Engineering*. 17. 307-322.
38. Tordoff G. M., Baker A. J. M., Willis A. J. 2000. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*. 41. 219-228.
39. Tosza E., Dumnicka E., Niklińska M., Rożen A. 2010. Enchytraeid and earthworms communities along a pollution gradient near Olkusz (southern Poland). *European Journal of Soil Biology*. 46. 218-224.
40. Trafas M., Eckes T. 2007. Glebotwórcze aspekty oceny utworów sztucznych na przykładzie odpadów po flotacji rud cynku i ołowiu. *Geomatics and Environmental Engineering*. 11 (2). 97-110.
41. Wójcik M., Sugier P., Siebielec G. 2014. Metal accumulation strategies in plants spontaneously inhabiting Zn-Pb waste deposits. *Science of the Total Environment*. 487. 313-322.

## FAUNA OF EARTHWORMS OF ZINC-LEAD WASTE DUMPS

### Summary

*The present study was conducted in the area of post flotation dumps contaminated with zinc and lead. The aim of the study was to test if the dumps being at different stage of reclamation are inhabited by earthworms and to asses their species diversity and biomass. Invertebrates were collected using Satchel's method during the seasons 2010 and 2011. In the area of "Trzebionka" and "Bolesław" waste dumps 2 and 6 species of earthworms were found, respectively. Significantly higher biomass was found for "Trzebionka", that can be explained by positive effect of Lumbricus terrestris.*

**Keywords:** earthworms, species diversity, biomass, waste dumps, trace metals