

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia siarkowe, makrobezkęgowce, bioindykatory, zakwaszenie

Justyna RYBAK*

WPŁYW ZANIECZYSZCZEŃ SIARKOWYCH NA MAKROBEZKRĘGOWCE NA OBSZARZE KARKONOSZY (SUDETY, POLSKA)

Praca przedstawia badania nad wpływem zanieczyszczeń siarkowych na bezkręgowce (siarka ogólna i siarka siarczanowa). Podstawowym celem było znalezienie taksonów, które mogą pełnić funkcje bioindykacyjne w stosunku do tego typu zanieczyszczeń. Na badanym obszarze wyznaczono 13 stanowisk badawczych, różniących się poziomem zanieczyszczenia (od średniego poziomu po bardzo wysokie). W wyniku badań stwierdzono, że zanieczyszczenia siarkowe mają największy wpływ na przedstawicieli *Lumbricidae*, zaobserwowano również zmiany liczebności u przedstawicieli *Linyphiidae* i *Carabidae*. Pozostałe grupy występowały na obydwu typach stanowisk. Mięczaki stwierdzono jedynie na stanowiskach znacznie zanieczyszczonych. Prawdopodobnie pająki z rodziny *Linyphiidae* i chrząszcze z rodziny *Carabidae* mogą być wykorzystywane jako bioindykatory skażeń siarkowych, jednakże moje badania wymagają kontynuacji.

1. WSTĘP

Związki siarki są jednym z najczęściej spotykanych zanieczyszczeń, które przyczyniają się do zakwaszenia gruntów tym samym stanowiąc poważne zagrożenie dla równowagi całego ekosystemu [5]. W Sudetach zanieczyszczenia siarkowe pochodzą głównie z przemysłowych emisji dwutlenku siarki. Są to tak zwane zanieczyszczenia antropogeniczne, pochodzące głównie ze spalania węgla brunatnych formacji burowęglowych Polski, Czech i Niemiec [7] oraz w mniejszym stopniu z lokalnych kotłowni i palenisk. Wynikiem zintensyfikowanych emisji przemysłowych było wielkoobszarowe zamieranie lasów oraz obniżenie pH gleby. Liczne badania wykazywały wpływ zakwaszenia gleby na różne komponenty ekosystemu, ale dotychczas zaledwie kilka prac poświęcono bezkręgowcom, które są kluczowym czynnikiem, decydującym o bioróżnorodności środowiska leśnego.

* Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Zakładu Biologii i Ekologii,
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, email: justyna.rybak@pwr.wroc.pl

Celem niniejszej pracy jest wykazanie wpływu zanieczyszczeń siarkowych na faunę epigeiczną w warunkach naturalnych (badania terenowe) oraz ewentualne wskazanie taksonów, które mogą być w przyszłości wykorzystywane jako bioindykatory tego typu zanieczyszczeń. Do gatunku lub rodziny oznaczono jedynie grupy, u których już wcześniej odnotowano wrażliwość na zanieczyszczenia powietrza [3,4], pozostałe grupy zostały zidentyfikowane jedynie do wyższej jednostki taksonomicznej.

2. MATERIAŁ I METODY

1.1. OBSZAR BADAŃ

Badania przeprowadzono w rejonie Szrenicy (1362 m n.p.m) oraz Mumławskiego Wierchu (1240 m n.p.m) i w obrębie doliny rzeki Kamienna (900 m n.p.m) (Karkonosze, Sudety) w latach 2007–2008. Obszar Mumławskiego Wierchu jest zaliczany do jednego z najbardziej dotkniętych klęską ekologiczną rejonu Karkonoszy. Podłoże stanowisk badawczych stanowiły tzw. skała macierzysta (granit biotytowy) i gleba (bielicowo- torfowa) [1,6]. Charakterystyka obszaru badań została przedstawiona w tabeli 1. Drzewostan dominujący na obszarze Mumławskiego Wierchu i Szrenicy położony jest w strefie górnoreglowej świerczyny sudeckiej, jednakże stanowiska badawcze zostały wyznaczone głównie w strefach, gdzie można obserwować jedynie pozostałości boru świerkowego regła górnego i dolnego (stanowiska 11–13 w okolicy Mumławskiego Wierchu oraz stanowiska 1–6 w okolicy Szrenicy).

Opisane wyżej zbiorowiska charakteryzuje różny stopień odkształcenia roślinności od roślinności naturalnej (od stanowisk z zachowaną warstwą drzew, poprzez środowiska gdzie drzewostan został całkowicie zniszczony, a w runie dominują trawy *Deschampsia flexuosa*, *Calamagrostis villosa*, do samorzutnych odnowień świerkowych). Obszerniejsze informacje na temat obszaru badań są dostępne w licznych pracach poświęconych klęsce ekologicznej w Sudetach [1,6,7]. Na analizowanym obszarze wyznaczono 13 stanowisk badawczych, które różniły się pod kątem zawartości siarki w podłożu. Wybrano stanowiska gdzie odnotowano znaczne przekroczenia: zawartości siarki ogólnej powyżej 100 mg/100 g, oraz takie, gdzie zawartość siarki ogólnej nieznacznie przekraczała normy (do 100 mg /100 g). Dane zebrane z tych stanowisk zostały wykorzystane do oceny potencjalnego wpływu siarki na bezkręgowce.

1.2. METODYKA BADAŃ

Badania ograniczono do analizy zgrupowań makrobezkręgowców zasiedlających warstwę ziół i mniejszych krzewinek oraz przedstawicieli fauny epigeicznej. Do odławiania bezkręgowców zastosowano pułapki Barbera, które były eksponowane w terenie przez 5 miesięcy, od maja do końca września. Na każdym siedlisku zainstalowano po 5 pułapek. Pułapki (słoiki o pojemności 0,33 l i średnicy otworu 56 mm) zostały wkopane równo z powierzchnią gruntu i osłonięte daszkami. Jako płynu konserwującego użyto roztworu glikolu etylowego. próbki zbierano 3 razy w sezonie 2007 (maj, lipiec, wrzesień) i 3 razy w sezonie 2008 (maj, czerwiec, lipiec). Do przyżyciowego łowienia okazów wykorzystano czepak entomologiczny oraz sito entomologiczne (owady były potem wypłaszane w aparacie Tullgrena). Uzupełnieniem badań było również zastosowanie tzw. metody „na upatrzonego“, polegającą na penetracji różnorodnych środowisk i potencjalnych miejsc występowania bezkręgowców.

Na wytypowanych stanowiskach pobrano próbki wykonano analizy laboratoryjne: pH potencjometrycznie w INKCI, siarkę ogólną nefelometrycznie i siarkę siarczanową turbidymetrycznie. Oznaczenia zawartości siarki zostały wykonane przez Okręgową Stację Chemiczno-Rolniczą we Wrocławiu.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie.

3. WYNIKI

Zawartość siarki na poszczególnych stanowiskach badawczych przedstawia tabela 1. Najbardziej zanieczyszczone stanowiska, gdzie zawartość siarki w podłożu była bardzo wysoka, a także stwierdzono najniższe pH to stanowiska 1, 6 i 13. Są to stanowiska zlokalizowane na Mumławskim Wierchu (stanowisko 13), Szrenicy (stanowisko 6) oraz na Hali Szrenickiej (stanowisko 1). Z kolei stanowiska, które charakteryzowały stosunkowo najmniejsze przekroczenia to stanowiska 3, 7, 10. Stanowiska 7 i 10 to stanowiska znajdujące się u podnóża Szrenicy (w pobliżu dolnej stacja kolki linowej, oraz niedaleko nartostrady Puchatek), z kolei stanowisko 3 jest zlokalizowane w obrębie doliny rzeki Kamienna. Zaobserwowano wpływ na liczebność i skład zwierząt bezkręgowych. Do bezkręgowców, których w ogóle nie zaobserwowano na stanowiskach o największej zawartości siarki należeli przedstawiciele *Lumbricidae* (Skąposzczety) (tab. 2a–c), ich obecności na tych stanowiskach nie stwierdzono również analizując próby zebrane za pomocą sita entomologicznego.

Tab. 1 Charakterystyka stanowisk badawczych. Wytłuszczonym drukiem zawartość siarki ogólnej i siarczanowej przekraczająca wartości graniczne.

Stanowisko nr	S og. mg/100g	S-SO ₄ mg/100g	pH	Uśrednione bogactwo roślinności/m ²
1	190.50	10.96	3.1	6.2
2	182.38	5.56	3.4	6.8
3	55.36	1.48	5.29	8.9
4	192.68	7.64	4.60	5.8
5	195.26	5.36	4.0	4.5
6	165.46	17.76	4.6	4.6
7	86.50	3.67	5.9	3.2
8	37.52	5.33	6.3	3.6
9	187.62	4.74	4.9	3.5
10	29.08	1.00	5.6	8.9
11	225	5.67	5.45	6.7
12	193.8	1.06	4.5	6.8
13	335.8	16	3.5	4.5

Inne organizmy występowały na zanieczyszczonych stanowiskach w zmniejszonej liczebności. Liczebność pajaków z rodziny *Linyphiidae* różniła się statystycznie (DF=7, 3, F= 90, 9; P<0,05) na stanowiskach znacznie zanieczyszczonych liczebność przedstawicieli tej rodziny Araneae była obniżona. Odnośnie rodziny chrząszczy *Carabidae*, oprócz fluktuacji liczebności istotnych statystycznie (zaobserwowano istotne różnice między występowaniem chrząszczy na stanowiskach zanieczyszczonych i mniej skażonych; DF=7, 3, F=16,7; P<0.05) zaobserwowano różny skład gatunkowy, na stanowiskach o dużej zawartości tylko raz spotkano gatunek biegacza *Carabus irregularis*, natomiast stosunkowo często występował dzier włochaty *Harpalus rufipes*. W przypadku innych organizmów różnice w zawartości siarki w podłożu nie wpływały znacząco na liczebność (*Staphylinidae*, *Opiliones*, *Formicidae*, *Collembola*, *Acarina*). Bardzo interesujące są obserwacje dotyczące mięczaków (Mollusca: Gastropoda, *Limacidae* - Pomrowcowate), ich obecność bowiem nie została odnotowana w środowiskach o niższej zawartości związków siarkowych, natomiast były one zawsze obecne na stanowiskach znacznie zanieczyszczonych.

Tab. 2a. Występowanie poszczególnych taksonów na stanowiskach badawczych 1–4. Próby zbierano trzy razy w sezonie, na jedno stanowisko przypadało 5 pułapek. Wyniki są uśrednionymi wartościami, podano również wartości odchylenia standardowego (SD)

Jednostka taksonomiczna	Stanowisko 1		Stanowisko 2		Stanowisko 3		Stanowisko 4	
	Średnia	/SD	Średnia	/SD	Średnia	/SD	Średnia	/SD
Collembola	263,5	112,5	32,3	7,40	260,6	108,1	50,6	41,2
<i>T. bielanensis</i>	190,5	39,5	24	0	76,3	94,7	11	0
<i>Onychus</i> sp.	146	0	0	0,0	84,3	82,5	30,8	42,1
Staphylinidae	19	11	8	0,0	11,3	0,2	0	0
Carabidae	60	0	23,5	0,35	24	0	12	0
Opiliones	11	0,8	0	0,0	24	0,7	0	0
Heteroptera	20,1	0,07	0	0,0	0	0	0	0
Formicidae	59,5	39,5	44	0,70	84	58,6	69	33
Araneidae	11,3	0,9	0	0	0	0	0	0
Linyphiidae	22,3	15,3	0	0	21	0	12	9,8
Mollusca	13,4	0,3	0	0	0	0	0	0
Acarina	36,5	20,5	0	0	38	5	0	0
Curculionidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Lumbricidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Elateridae	0	0	0	0	0	0	0	0
Lycosidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Homoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Diplopoda	0	0	0	0	0	0	0	0
Agelenidae	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 2b. Występowanie poszczególnych taksonów na stanowiskach badawczych 5–9. Próby zbierano trzy razy w sezonie, na jedno stanowisko przypadało 5 pułapek. Wyniki są uśrednionymi wartościami, podano również wartości odchylenia standardowego (SD)

Jednostka taksonomiczna	Stanowisko 5 Średnia/ SD		Stanowisko 6 Średnia/ SD		Stanowisko 7 Średnia/ SD		Stanowisko 8 Średnia/ SD		Stanowisko 9 Średnia/ SD	
Collembola	201	120	86	0	0	0	32,3	7,36	19,3	5,2
<i>T. bielanensis</i>	201	120	86	0	0	0	37	4	12,2	0,1
<i>Onychus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	23	1
Staphylinidae	11,5	0,5	12,1	0,07	0	0	12	0	0	0
Carabidae	0	0	0	0	22	1	33	0,7	0	0
Opiliones	16	5	43,2	0,1	11	0	0	0	8	4,9
Heteroptera	0	0	32	20	0	0	15	7	0	0
Formicidae	59,3	32,06	26	9,2	0	0	90,5	19,5	0	0
Araneidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Linyphiidae	19,3	9,6	12,5	0,3	45	0	46	0	0	0
Mollusca	22,5	0,5	11	0	0	0	0	0	12,5	0,3
Acarina	21,6	8,2	17,5	5,5	0	0	0	0	11,2	0,1
Curculionidae	12	0	0	0	32,2	0,1	11	0	0	0
Lumbricidae	0	0	0	0	11,1	0,0	22	15,5	0	0
Elateridae	0	0	0	0	0	0	8,1	0,07	0	0
Lycosidae	12,1	0,07	0	0	0	0	12,2	0,14	0	0
Homoptera	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0
Diplopoda	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
Agelenidae	0	0	12	0	0	0	8,3	0,2	0	0

4. DYSKUSJA I WNIOSKI

Pomimo znacznego ograniczenia lub całkowitej niwelacji źródeł przemysłowych emisji, w glebach Gór Izerskich i Karkonoszy wciąż utrzymuje się stosunkowo wysokie zanieczyszczenie siarką, co znacząco wpływa na vegetację oraz na faunę bezkręgowców. Największy wpływ mają tego typu zanieczyszczenia na występowanie przedstawicieli skąposzczetów, co również potwierdzają inni badacze [2]. Inne taksony reagują na podwyższoną zawartość siarki fluktuacjami liczebności (*Linyphiidae*, *Carabidae*), a dodatkowo w przypadku chrząszczy z rodziny *Carabidae* – nastąpiła wymiana gatunkowa, a nie wycofanie z zajmowanego obszaru. Podobną obserwację, odnośnie wymiany gatunkowej odnotował Carcamo i inni [2]. Inne grupy zwierząt zdają się być mniej lub wcale niewrażliwe na skażenie gleby siarką. Osobną kwestię stanowi możliwość wykorzystania przedstawicieli Araneae w bioindykacji.

Tab. 2c. Występowanie poszczególnych taksonów na stanowiskach badawczych 11–13. Próby zbierano trzy razy w sezonie, na jedno stanowisko przypadało 5 pułapek. Wyniki są uśrednionymi wartościami, podano również wartości odchylenia standardowego (SD)

Jednostka taksonomiczna	Stanowisko 10 Średnia/ SD		Stanowisko 11 Średnia/ SD		Stanowisko 12 Średnia/ SD		Stanowisko 13 Średnia/ SD	
Collembola	41,6	41,2	263,1	0,07	202	23,8	56,8	0,5
<i>T. bielanensis</i>	100	57,7	102,4	0,2	127,5	20,6	56,8	0,5
<i>Onychus</i> sp.	12,5	1,5	151,6	0,4	89,2	29,7	0	0
Staphylinidae	17,3	9,8	23,6	0,4	26,3	12,2	9	3
Carabidae	23	0	0	0	15,3	5,4	17	6
Opiliones	12	4,9	0	0	0	0	23,4	0,2
Heteroptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Formicidae	16	5	31,5	0,3	44,3	18,8	77	43
Araneidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Linyphiidae	44	11	26,08	0,6	26,2	10,5	12,5	0,3
Mollusca	0	0	41,3	0,2	32	5,1	44,7	0,4
Acarina	105	0	100,3	0,2	71,5	40	0	0
Curculionidae	0	0	0	0	0	0	13,5	0,3
Lumbricidae	23	0	0	0	0	0	0	0
Elateridae	0	0	0	0	0	0	0	0
Lycosidae	0	0	0	0	11	0	27	4
Homoptera	0	0	0	0	0	0	10,5	2,5
Diplopoda	44	0	0	0	0	0	0	0
Agelenidae	11	0	0	0	0	0	0	0

Wcześniejsze badania [2,4] z jednej strony sugerują przydatność pajaków z rodziny *Linyphiidae* jako bioindykatorów, z drugiej strony wykazują jednak brak jasnej zależności pomiędzy ich liczebnością a zanieczyszczeniem gleby. Moim zdaniem, przy ocenie czy dany takson może pełnić funkcję bioindykacyjną należy zwrócić szczególną uwagę na habitat, w którym zamieszkuje. Liczebność bowiem może być przede wszystkim skorelowana ze specyfiką wymagań ekologicznych danego taksonu. Pewne gatunki jak na przykład występujący na Mumławskim Wierchu stosunkowo licznie *Lepthyphanets mughi*, są gatunkami wysokogórkimi a tym samym mogą być znacznie bardziej odporne na niekorzystne warunki środowiskowe. Prawdopodobnie jedynie szczegółowa analiza składu gatunkowego mogłaby przynieść skuteczne rozwiązanie tego dylematu. Jednakże, taka analiza może być wykonana jedynie przez doświadczonych arachnologów (skomplikowana identyfikacja systematyczna), co jednocześnie wyklucza powszechne wykorzystanie *Linyphiidae* do bioindykacji. Pożądane byłoby także przeanalizowanie sieci pajęczych pod kątem zawartości siarki

i dopiero wtedy rozważenie czy te organizmy mogą być efektywnie wykorzystywane w bioindykacji środowiska.

Należy również kontynuować badania dotyczące innych stwierdzonych na analizowanym obszarze bezkręgowców i ich wrażliwości na związki siarki, ponieważ istnieją sprzeczne doniesienia o wrażliwości, w szczególności chrząszczy, na tego typu zanieczyszczenia [2,3,4]. Moje badania potwierdzają wrażliwość *Carabidae*. Jako końcową konkluzję należy potraktować wniosek, że wykorzystanie bezkręgowców epigeicznych w bioindykacji jest możliwe ale wciąż wymaga badań i rzetelnej oceny ich przydatności.

LITERATURA

- [1] Andrzejewska L., 1993. Zespoły zwierząt bezkręgowych gleby i warstwy zielnej w kilku zdegradowanych środowiskach Karkonoszy. I Konferencja. Wojnowice, 3-4 grudnia 1992. Oficyna Wydawnicza Instytutu PAN, Dziekanów Leśny, 251-267.
- [2] Cárcamo H., A., Parkinson D., Volney J.W. A., 1998. *Effects of sulphur contamination on macroinvertebrates in Canadian pine forests*. Appl. Soil Ecol., 9: 459-464.
- [3] Freitag R., Hastings L., Mercer W. R., Smith A., 1973. *Ground beetle population near a kraft mill*. Can. Ent., 105: 299-310.
- [4] Gunnarson B. 1988. *Spruce-living spiders and forest decline; the importance of needle-loss*. Biol. Conserv., 43: 309-319.
- [5] Knabe W. 1976. *Effects on sulphur dioxide on terrestrial vegetation*. Ambio 5: 213-217.
- [6] Skiba S., Drewnik M. 1993. *Gleby zdegradowanych ekosystemów wybranych rejonów Karkonoszy*. W: (Red.) Fisher Z. "Karkonoskie badania ekologiczne" I Konferencja. Wojnowice, 3-4 grudnia 1992. Oficyna Wydawnicza Instytutu PAN, Dziekanów Leśny, 93-102.
- [7] Zwoździak J., Zwoździak A., Kmieć G., Kasperczyk K. 1993. *Przyczyny zanieczyszczenia atmosfery w wyższych partiach Sudetów* W: (Red.) Fisher Z. "Karkonoskie badania ekologiczne" I Konferencja. Wojnowice, 3-4 grudnia 1992. Oficyna Wydawnicza Instytutu PAN, Dziekanów Leśny, 19-32.

EFFECTS ON SULPHUR CONTAMINATION ON MACROINVERTEBRATES IN THE AREA OF KARKONOSZE MOUNTAINS (SUDETY, POLAND)

Objectives were to assess the sensitivity of various epigeic macroinvertebrates to sulphur contamination and to identify taxa that may serve as bioindicators of sulphur-related anthropogenic stresses in forested, mountainous ecosystems. Invertebrates were sampled using continuous pitfall tramping and core sampling and were identified to at least family level. The determinal effect of sulphur pollution was found only on overall numbers of earthworms. Molluscs were present only at highly polluted sites. The densities of carabids and linyphiids were lower in sites with higher levels of sulphur in soil. Probably these groups may have potential as early bioindicators of industrial pollution in forest environments. Our results needs further studies.