

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

Rozprawy
nr 99

ANDRZEJ KLIMEK

WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ EMITOWANYCH
PRZEZ WYBRANE ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE
NA ROZTOCZE (ACARI) GLEBOWE
MŁODNIKÓW SOSNOWYCH, ZE SZCZEGÓLNYM
UWZGLĘDNIENIEM MECHOWCÓW (ORIBATIDA)

2/504

ek, Andrzej
yw zanieczyszczeń emito

BYDGOSZCZ - 2000

AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY

Rozprawy
nr 99

ANDRZEJ KLIMEK

WPŁYW ZANIECZYSZCZEŃ EMITOWANYCH
PRZEZ WYBRANE ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE
NA ROZTOCZE (ACARI) GLEBOWE
MŁODNIKÓW SOSNOWYCH, ZE SZCZEGÓLNYM
UWZGLĘDNIENIEM MECHOWCÓW (ORIBATIDA)

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



000000078613

BYDGOSZCZ - 2000

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
dr hab. inż. Janusz Prusiński, prof. nadzw. ATR

OPINIODAWCY

prof. dr hab. Jan Boczek
prof. dr hab. Zbigniew Prusinkiewicz

REDAKTOR NAUKOWY

prof. dr hab. Stanisław Seniczak

OPRACOWANIE REDAKCYJNE I TECHNICZNE

mgr Elżbieta Rudzińska, Ewa Olawińska



Wydano za zgodą Rektora
Akademii Techniczno-Rolniczej
w Bydgoszczy

2000

ISSN 0209-0597

WYDAWNICTWA UCZELNIANE
AKADEMII TECHNICZNO-ROLNICZEJ W BYDGOSZCZY

Wyd. I. Nakład 150 egz. Ark.aut. 4,7. Ark. druk. 5,9. Papier druk. kl. III.
Oddano do druku i druk ukończono w grudniu 2000 r.
Zakład Poligraficzny Kubik & Krause
85-184 Bydgoszcz, ul. Cmentarna 84, tel. 3484-334

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP.....	5
2. PRZEGLĄD LITERATURY	8
3. OPIS TERENU BADAŃ	14
4. MATERIAŁ I METODY	21
5. WYNIKI.....	23
5.1. Skazenie gleby	23
5.2. Analiza liczebności roztoczy	25
5.3. Pionowe rozmieszczenie roztoczy w glebie	27
5.4. Analiza zgrupowań mechowców.....	29
5.4.1. Skład gatunkowy	29
5.4.2. Struktura dominacji	37
5.4.3. Analiza różnorodności gatunkowej i podobieństwa zgrupowań	37
5.4.4. Struktura troficzna	40
5.5. Charakterystyka ekologiczna wybranych gatunków	43
5.5.1. <i>Adoristes ovatus</i> (C.L. Koch)	43
5.5.2. <i>Chamobates schuetzi</i> (Oudemans)	48
5.5.3. <i>Eupelops torulosus</i> (C.L. Koch)	50
5.5.4. <i>Metabelba pulverulenta</i> C.L. Koch.....	50
5.5.5. <i>Oppiella minus</i> (Paoli).....	51
5.5.6. <i>Oppiella nova</i> (Oudemans)	52
5.5.7. <i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet).....	53
5.5.8. <i>Quadroppia quadricarinata</i> (Michael)	54
5.5.9. <i>Scheloribates latipes</i> (C.L. Koch)	58
5.5.10. <i>Tectocephus velatus</i> (Michael).....	59
6. DYSKUSJA	61
7. WNIOSKI.....	68
LITERATURA	69
STRESZCZENIA	90

1. WSTĘP

Pierwsze wzmianki o szkodliwym wpływie zanieczyszczeń przemysłowych na lasy na ziemiach polskich pochodzą z końca XIX wieku [14]. Powstające wtedy zakłady przemysłowe, szczególnie w rejonach Katowic i Mysłowic, emitowały do atmosfery toksyczne gazy pochodzące ze spalania węgla kamiennego, które powodowały uszkodzenia drzewostanów [60]. Początkowo zjawisko to miało charakter lokalny i ograniczało się do bezpośredniego otoczenia poszczególnych zakładów. Poważne zagrożenie dla lasów pojawiło się w drugiej połowie XX wieku w dobie ogromnego rozwoju przemysłu ciężkiego, energetyki i motoryzacji.

Zagrożenie środowiska leśnego w Polsce należy do najwyższych w Europie [62, 171]. Nasze lasy to przeważnie monokultury sosnowe o pochodzeniu antropogenicznym, które są podatne na działanie czynników ograniczających, takich jak: szkodliwe owady, choroby grzybowe czy zanieczyszczenia przemysłowe [14, 91, 122, 145, 245]. Lasy zajmują ponad 28 % powierzchni Polski, a ich stan charakteryzuje duży udział siedlisk borowych (62,1 %) oraz dominacja drzewostanów w II klasie wieku (21-40 lat) [171, 194]. Jednym z groźniejszych czynników antropogenicznych, który zagraża naszym lasom, jest zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego przez przemysł. Stan skażenia powietrza w ostatnich latach uległ pewnej poprawie, jednak związki chemiczne dostające się do atmosfery - zwłaszcza SO_2 i NO_x - nadal negatywnie wpływają na ekosystemy leśne i często inicjują procesy chorobowe lasów.

W Polsce w 1985 roku rozpoczęto tworzenie systemu oceny środowiska leśnego na stałych powierzchniach obserwacyjnych [262]. Najpierw utworzono system pomiarów zanieczyszczeń powietrza - monitoring techniczny. W 1989 roku zapoczątkowano monitoring biologiczny, który był w następnych latach stopniowo rozszerzany. Monitoring ten obejmuje większość parametrów świadczących o stanie zdrowotnym lasów: uszkodzenie koron drzew, jakość nasion, skład florystyczny runa i podrostu oraz ocenę gęstości populacji niektórych szkodliwych owadów. W 1994 roku w zakres monitoringu lasu weszły badania właściwości fizycznych i fizykochemicznych gleb.

Znaczenie gleby w ekosystemie lasu jest szczególnie ważne. Zaopatruje ona biocenozę leśną w niezbędne składniki odżywcze, a sama stanowi złożone laboratorium, w którym przy udziale edafonu przebiegają skomplikowane procesy biochemiczne umożliwiające obieg materii i przepływ energii w ekosystemie.

W skład edafonu gleb leśnych wchodzi zróżnicowane gatunkowo i liczne grupy zwierząt, wśród których często dominują roztocze (Acari). Około 70 % roztoczy żyjących w tych glebach stanowią mechowce (Oribatida). Mechowce są w większości saprofagami i dlatego odgrywają znaczącą rolę w procesach mineralizacji oraz humifikacji materii organicznej. Przyspieszają one proces

mineralizacji materii, głównie przez jej rozdrabnianie, częściowy rozkład podczas trawienia, a także przez napowietrzanie i mieszanie gleby. Dzięki obecności w przewodzie pokarmowym symbiotycznej mikroflory posiadają zdolność rozkładu trudno strawnych składników pokarmu: celulozy, ligniny i chityny [182, 210]. Badania nad aktywnością stadiów dorosłych i młodocianych Oribatida wykazały, że te ostatnie szybciej rozkładają materię organiczną niż okazy dorosłe, dzięki liczniejszej i bardziej aktywnej mikroflorze przewodu pokarmowego [182, 208]. Dlatego uwzględnienie w badaniach ekologicznych form młodocianych - nie zawsze łatwych do oznaczenia - daje pełniejszy obraz gatunków i możliwość rozpatrywania struktury wiekowej, jednej z najważniejszych właściwości każdej populacji.

Od wielu lat przy okazji badań nad wpływem zanieczyszczeń antropogenicznych na środowisko przyrodnicze poszukuje się organizmów wskaźnikowych, które będą czytelnie reagowały na zmiany w środowisku. Szereg ośrodków naukowych w Polsce i na świecie zajmowało się wpływem zanieczyszczeń przemysłowych na różne grupy bezkręgowców. Do monitorowania zmian w środowisku leśnym najczęściej proponuje się stosunkowo dobrze poznane owady [51, 83, 148, 173, 202, 235]. W literaturze można też spotkać wiele prac dotyczących wpływu różnych imisji przemysłowych na roztocze [15-18, 30-38, 41, 89, 90, 126, 127]. W większości tych prac zaprezentowano zachęcające wyniki, przemawiające za możliwością wykorzystania wskaźnikowej wartości tej grupy stawonogów. Wśród fauny glebowej za szczególnie dobre bioindykatory uważane są saprofagi [3, 24, 39, 93]. Saprofagiczne mechowce tworzą liczne zgrupowania o dużym bogactwie gatunkowym, są ściśle uzależnione od warunków środowiska, mają niewielkie rozmiary, ponadto są szeroko rozpowszechnione w ekosystemach lądowych [166]. Przedstawione cechy mechowców mogą wskazywać na większą wartość bioindykacyjną tej grupy w porównaniu z innymi roztoczami. Dotychczas Oribatida okazały się dobrymi wskaźnikami stopnia rozkładu i biologicznych właściwości próchnic leśnych [208-210], etapów sukcesji biocenoz [187] i wielu oddziaływań antropogenicznych [58, 104, 166, 212, 216, 220, 226, 232].

Analizując badania ekologiczne akarofauny glebowej borów sosnowych często, zadajemy sobie pytanie, jakie mikrośrodowisko dna boru należy wybrać do badań. Wyniki uzyskane we wcześniejszych pracach [99-101, 219] - w których rozpatrywano przydatność różnych płatów dna lasu do badań nad wartością wskaźnikową grup i gatunków roztoczy - przemawiają za płatami bez runa, gdyż roztocze w glebie w obrębie tych płatów zareagowały najwyraźniej na zanieczyszczenia przemysłowe. Przypuszcza się, że porastające glebę rośliny runa, szczególnie mchy, przez kształtowanie korzystnego mikroklimatu łagodzą negatywny wpływ zanieczyszczeń przemysłowych na roztocze [226].

Celem pracy jest porównanie wpływu różnych zanieczyszczeń przemysłowych na zagęszczenie roztoczy oraz na różne właściwości zgrupowań mechowców zasiedlających gleby młodników sosnowych, a także lepsze poznanie ekologii gatunków Oribatida. Rozpoczynając ten temat badawczy, zakładano, że

wyniki badań uzyskane przy poszczególnych emitatorach zanieczyszczeń będą publikowane, natomiast synteza wszystkich badań będzie dokonana w osobnej pracy. Niniejsza praca stanowi efekt koncepcji twórczej autora i powstała na bazie badań interdyscyplinarnych, w których uczestniczyli botanicy, chemicy i gleboznawcy [32-38, 54, 114-116]. Przy wszystkich emitatorach zanieczyszczeń autor miał największy udział w opracowaniu akarofauny glebowej [102, 103, 105-116], z wyjątkiem okolic Huty Miedzi „Głogów”, gdzie większy udział miał dr inż. Grzegorz Gackowski [53-55].

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Literatura dotycząca wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na środowisko glebowe jest bardzo bogata. W Polsce temat ten stał się szczególnie modny na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych, w których nasiliło się chemiczne zanieczyszczenie gleb, a za bardzo niebezpieczne ekologicznie uznano nagromadzanie metali ciężkich [86]. Gleboznawcy określają na ogół poziom skażenia gleb na podstawie składu chemicznego. Prusinkiewicz i in. [177] są zdania, że wyniki laboratoryjnych analiz gleb nie zawsze są źródłem materiałów łatwych do ekologicznej interpretacji. Ponadto, dzięki istniejącym w glebach systemom buforującym, wiele ujemnych skutków oddziaływania imisji nie ujawnia się od razu, lecz dopiero po przełamaniu kolejnych barier buforowych [181]. Próchnica nadkładowa gleb leśnych wykazuje dużą zdolność sorbowania niektórych zanieczyszczeń (np. metali ciężkich), co w rezultacie objawia się zanikiem roślinności i silnym zatruciem organizmów glebowych.

Badania nad wpływem zanieczyszczeń antropogenicznych na zwierzęta glebowe są prowadzone w dwóch głównych kierunkach. Pierwszy kierunek stanowią badania terenowe na skażonych zanieczyszczeniami przemysłowymi obszarach [10, 12, 15-18, 30-38, 41, 57, 89, 103, 104, 113, 127, 174, 184-186, 224-227, 263, 269-271]. Do tego kierunku badań zaliczyć można również doświadczenia terenowe polegające na sztucznym dawkowaniu różnych polutantów [1, 5, 7, 64, 66, 139, 150, 212, 216, 232]. W badaniach tych rozpatruje się właściwości zgrupowań, zespołów i populacji. Drugim głównym kierunkiem są badania laboratoryjne. Dotyczą one poziomu toksyczności różnych zanieczyszczeń, ich akumulacji w organizmach, biomagnifikacji i detoksykacji [125], strategii adaptacyjnych zwierząt do skażonego środowiska [155] czy też wpływu polutantów na zmiany w morfologii i ontogenezie bezkręgowców [79-81, 203-206].

W warunkach terenowych problem wpływu różnych zanieczyszczeń na bezkręgowce glebowe jest niezwykle złożony. Zakłady przemysłowe emitują bowiem obok głównych zanieczyszczeń szereg związków chemicznych, które mogą oddziaływać synergicznie, potęgując lub osłabiając negatywny wpływ głównych imisji [30, 156]. Na przykład wspólne oddziaływanie SO_2 i NO_2 na mechowca *Humerobates rostroramellatus* Grandjean powodowało zwiększoną jego śmiertelność [2]. Stwierdzono też, że toksyczny wpływ SO_2 nasila się przy małej wilgotności powietrza [134]. Iganatowicz [79] analizował wpływ wybranych soli mineralnych przy zróżnicowanej wilgotności na płodność i długość życia rozkruszka drobnego. Autor ten doszedł do wniosku, że roztoc przy wysokiej wilgotności powietrza wydalał dużo wody i pozbywał się wraz z nią nadmiaru soli, obniżając w ten sposób ich efekt toksyczny. W warunkach obniżonej wilgotności stwierdzono silniejszy wpływ soli mineralnych na płodność i długość życia rozkruszka. Z przytoczonych przykładów wynika, że warunki

klimatyczne mogą w znacznym stopniu modyfikować wpływ imisji przemysłowych na zwierzęta glebowe.

Następnym istotnym problemem, pojawiającym się w badaniach terenowych i dyskutowanym w literaturze, jest pośredni lub bezpośredni sposób oddziaływania zanieczyszczeń na faunę glebową. Wpływ pośredni imisji na stawonogi może polegać na kształtowaniu liczebności ich drapieżców, pasożytów, patogenów lub konkurentów pokarmowych albo na zmianach w mikrośrodoisku, np. w ilości i jakości pokarmu [75]. U roztoczy glebowych fluktuacje liczebności pod wpływem zanieczyszczeń przemysłowych mogą być efektem zmian w mikroflorze glebowej [49, 50, 99, 191, 243]. Przemysłowe zanieczyszczenia powietrza zawierają często pierwiastki biogenne powodujące eutrofizację środowiska glebowego, zwłaszcza wtedy gdy do gleby dostają się umiarkowane ilości związków azotu, fosforu i siarki, powodując efekt nawozowy [27, 130, 179]. Od dawna znane jest toksyczne oddziaływanie wielu zanieczyszczeń atmosferycznych działających bezpośrednio na zwierzęta glebowe. Szczególnie toksyczne dla Oribatida oraz Gamasida okazały się amoniak i dwutlenek siarki [133, 135, 161, 162, 258].

Oddziaływanie zanieczyszczeń siarkowych na środowisko jest najczęściej utożsamiane z kwaśnymi deszczami. Spadek zagęszczenia roztoczy stwierdzono na skutek dużych dawek roztworów symulujących kwaśne deszcze w uprawie sosnowej w Borach Tucholskich [216] oraz w borze świerkowym w Norwegii [66]. Saprofagiczne Oribatida w borze w Norwegii przy wysokim poziomie dawek wykazały wzrost liczebności. W uprawie sosnowej wzrost liczebności tych roztoczy odnotowano przy średnich dawkach kwaśnych deszczów. Różną reakcję na siarkę wykazano u drapieżnych Gamasida: negatywnie na ten czynnik zareagowały *Arctoseius cetratus* Sellnick i *Rhodacarellus silesiacus* Willmann, odporność stwierdzono u *Sejus borealis* (Berlese), *Alliphis siculus* (Oudemans), *Parasitus eta* Oud. et Voigts i roztoczy z rodziny Rhodacaridae [120]. Kaczmarek i Seniczak [90] stwierdzili negatywny wpływ imisji związków siarki na Gamasida, a do gatunków wrażliwych na ten rodzaj zanieczyszczeń zaliczyli *Zercon peltatus* C.L. Koch i *Pergamasus misellus* Berlese.

W literaturze można spotkać szereg opracowań na temat wpływu na faunę gleb imisji azotowych oraz nawożenia związkami azotu. Badania prowadzone od powstania Zakładów Azotowych w Puławach wskazują na znaczny wpływ imisji azotowych na środowisko przyrodnicze. Postępujący w tym rejonie w kolejnych latach proces degradacji środowiska zbiegał się ze spadkiem liczebności i różnorodności gatunkowej fauny glebowej i nadglebowej [186]. Notowano też wzrost liczebności zwierząt przy niewielkich imisjach zarówno fauny glebowej (roztoczy i skoczogonków) [58], jak i drapieżnej fauny nadglebowej [184, 185]. Spadek liczebności roztoczy i różnorodności gatunkowej Oribatida oraz Gamasida stwierdzono w glebie [220, 226] i na drzewach [213] w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych „Włocławek”.

Wpływ nawożenia NPK na gleby leśne badali Axelsson i in. [6]. Wykazali po tym zabiegu spadek liczebności wazonkowców, skoczogonków i mechowców. U roztoczy z grup Oribatida, Prostigmata i Astigmata, a także u nicieni

odnotowano ujemną reakcję na nawożenie azotem amonowym [197, 237]. Reakcję dodatnią mechowców, polegającą na wzroście zagęszczenia i zróżnicowania gatunkowego, stwierdziły w glebach łąkowej oraz torfowej po intensywnym nawożeniu gnojowicą Bielska i Paszewska [18]. Z danych z literatury wynika, że umiarkowane nawożenie NPK łąk i lasów wpływa korzystnie na liczebność zwierząt glebowych [48, 57, 192, 193, 250, 259]. Natomiast intensywne nawożenie gleby tymi składnikami może powodować spadek liczebności fauny glebowej na skutek tzw. toksycznego efektu amonowego i efektu soli, które polegają na wzroście potencjału osmotycznego w roztworze glebowym [77, 78, 139, 271].

Fosfor w roztworze glebowym występuje przeważnie w formie fosforanów wapnia, magnezu, żelaza i glinu [268]. Związki te, podobnie jak związki azotu, mogą prowadzić do eutrofizacji środowiska glebowego. W literaturze jest niewiele doniesień na temat wpływu imisji związków fosforu na organizmy zwierzęce. Nie wykazano zdecydowanej reakcji roztocza *Tetranychus urticae* C.L. Koch na fosfor [244], a intensywne nawożenie fosforowe agrocenoz w niewielkim stopniu wpłynęło na liczebność innego roztocza *Oligonychus pratensis* (Banks) [5].

Więcej miejsca w literaturze poświęcono szkodliwemu wpływowi fluoru na zwierzęta. Toksyczne oddziaływanie fluoru na organizmy żywe może polegać m.in. na zakłóceniu przebiegu cyklu Krebsa i gromadzeniu się kwasu cytrynowego w sercu i nerkach [45]. U bydła znane są fluorozy występujące w pobliżu emitorów zanieczyszczeń, u pszczoł zatrucie fluorem objawia się porażeniem nerwów i mięśni [82]. W warunkach laboratoryjnych toksyczny efekt oddziaływania fluoru na fitofagiczne bezkręgowce odnotowano już przy niskiej zawartości tego pierwiastka w roślinach [52, 158, 257]. Maden i Fox [144] stwierdzili wrażliwość mrówek na fluor, natomiast roztocze wykazały wzrost liczebności wraz ze wzrostem stężenia fluoru.

W okolicach zakładów cementowych i wapienniczych osadzają się białe alkaiczne pyły [45]. W skład tych pyłów wchodzi przeważnie duże ilości tlenków wapnia i potasu. Pod presją imisji pyłów zawierających 20 % CaO stwierdzono w glebach borów sosnowych spadek zagęszczenia nicieni [10]. Podobny efekt u wazonkowców [7] i skoczogonków [63, 76] wywołało wapnowanie gleb. Wyraźnie negatywnie na wapnowanie reagowały też mechowce [66, 76, 123], jednak dopiero po upływie 1-2 lat lub później od rozpoczęcia zabiegu. Formy młodociane Oribatida wykazują spadek liczebności już w krótkim czasie po tym zabiegu [72].

Największe skażenie gleb metalami ciężkimi występuje w okolicach hut metali nieżelaznych i w tych rejonach zagrożenie dla środowiska przyrodniczego jest najpoważniejsze [181, 246]. Badania lasów w otoczeniu huty cynku w Palmerton (USA) wykazały negatywną korelację liczebności stawonogów glebowych ze stężeniem takich pierwiastków, jak Zn, Fe, Pb, Cd, Cu i S [241]. W odległości 1 km od huty zagęszczenie tych stawonogów wynosiło zaledwie 18 % w porównaniu z obszarem kontrolnym. Również w lasach w okolicach huty brązu w Guzum (Szwecja) spadek zagęszczenia i liczby gatunków bezkrę-

gowców był ujemnie skorelowany z zawartością w glebie miedzi i cynku [12]. Obniżenie zagęszczenia i liczby gatunków roztoczy pod wpływem ołowiu w glebie lasów iglastych stwierdzili Hågvar i Abrahamsen [65]. Nie zawsze jednak notowano ujemny wpływ emisji metali ciężkich na zagęszczenie fauny glebowej. Na przykład u skoczogonków stwierdzono dodatnią korelację między ich liczebnością i różnorodnością gatunkową a stężeniem w glebie miedzi [13]. Pozytywnie na wzrost zawartości metali ciężkich zareagowały też dżdżownice [143] i roztocze [12].

W celu określenia wpływu na organizmy zwierząt konkretnych czynników, np. różnych metali ciężkich, prowadzono eksperymenty laboratoryjne. Seniczak i in. [203-205] karmili mechowca *Archezogetes longisetosus* Aoki glonami skażonymi w różnym stopniu miedzią lub ołowiem. Umiarkowane stężenie miedzi w pożywieniu powodowało niewielkie wydłużenie czasu rozwoju badanego gatunku i zwiększenie płodności. Natomiast znaczna koncentracja tego pierwiastka wpłynęła na wydłużenie czasu rozwoju wymienionego mechowca, obniżenie jego płodności i zwiększenie śmiertelności. Duże stężenie ołowiu powodowało zmiany morfologiczne u stadiów młodocianych w czwartej parze nóg.

Ignatowicz [80] oraz Ignatowicz i Pankiewicz-Nowicka [81] stwierdzili, że fosforan trójwapniowy dodany do pokarmu rozkruszków nieznacznie wpływał na płodność, długość życia i rozwój rozkruszka drobnego, a wyraźnie na płodność i długość życia rozkruszka mącznego. Różną wrażliwość na te same stężenia roztworów CuSO_4 i $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ w warunkach laboratoryjnych w badaniach nad populacjami *Rhizoglyphus echinopus* (Fumouze et Robin) i *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) stwierdzili też Dziuba i Dębowska [40]. Wynika z tego, że spokrewnione gatunki roztoczy mogą wykazywać różną reakcję na ten sam poziom skażenia.

Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich zostało wykazane u większości grup bezkręgowców [155]. Metale biogenne potrzebne organizmowi, takie jak miedź i cynk, są pobierane z pokarmem. Problem toksyczności tych pierwiastków pojawia się, gdy występuje ich nadmiar [125]. Natomiast metale ksenobiotyczne (np. Pb i Cd) nie mają dolnej wartości progowej, a po przekroczeniu górnej strefy tolerancji organizmu stają się toksyczne. Metale ciężkie przenikają do ciała bezkręgowców lądowych głównie przez nabłonek przewodu pokarmowego oraz cewki Malpighiego. Mogą one powodować zaburzenia m.in. procesów wzrostu, rozrodu, przemian metabolicznych, procesów linienia [125, 155]. Roztocze potrafią chronić się przed szkodliwym wpływem metali ciężkich i pozbywać się ich z organizmu [127, 140, 141]. Jest to jednak proces energochłonny [85, 154, 157].

Zwierzęta bezkręgowce wykształciły szereg mechanizmów adaptacyjnych, umożliwiających tolerowanie wysokich stężeń metali ciężkich. Podobne strategie adaptacyjne zostały wykształcone niezależnie u wielu grup stawonogów morskich i lądowych [45, 125, 155]. Obejmują one behawioralne mechanizmy unikania, mechanizmy nasilonego wydalania metali z organizmu, a także detoksykacji polegającej na wiązaniu metalotioneinami, odkładaniu w lizosomach

oraz magazynowaniu w postaci metabolicznie nieczynnej w granulach zewnętrznych i wewnątrzkomórkowych.

U bezkręgowców lądowych wyróżnia się cztery typy granul: A, B, C i D [73]. Pierwsze trzy typy tworzą się wewnątrz komórki, natomiast typ D pozakomórkowo. W procesie detoksykacji miedzi i ołowiu duże znaczenie mogą mieć granule typu B. Ich rozmiary zwiększają się z wiekiem zwierzęcia [155], u zwierząt pochodzących z terenów skażonych tworzą się większe granule przez fuzję drobniejszych jednostek. Metale są wiązane przez dezaktywujące nośniki - niskocząsteczkowe białka metalotioneiny [156]. Metale ciężkie nie są jednak magazynowane w całym organizmie, lecz w specyficznych organach lub tkankach [28]. Najczęściej zwierzęta odkładają metale w układach pokarmowym i wydalniczym [125]. Szkodliwe metale mogą być łatwo wiązane i dezaktywowane przez tkanki mające bezpośredni kontakt z zawartością jelita. W ten sposób inne organy są chronione przed ich szkodliwym wpływem. Następnie metale związane z nośnikami mogą być usuwane wraz z odchodami. Dallinger [28] uważa, że jest to najważniejszy sposób pozbywania się metali ciężkich z organizmu zwierząt bezkręgowych.

Migula [155] jest zdania, że zdolność do tolerowania wysokich stężeń metali w komórkach zależy od genetycznych uwarunkowań do syntezy metalotioneiny, zdolności do tworzenia granul oraz sprawności mechanizmów ich usuwania. Nie zostało jeszcze wyjaśnione, dlaczego gatunki pokrewne o zbliżonych wymaganiach pokarmowych wykazują tak znaczne zróżnicowanie w koncentracji metali w tkankach i dlatego tempo detoksykacji u tych gatunków jest różne. Wspomniany autor sugeruje, że w procesach detoksykacji metali ciężkich istotną rolę spełniają mikroorganizmy symbiotyczne przewodu pokarmowego. Bakterie mogą ograniczać przyswajalność metali, wydzielając do soków trawiennych gospodarza substancje chelatujące. Jest oczywiste, że w grupie organizmów prokariotycznych ewolucja tolerancji dużego stężenia metali przebiega szybciej niż u ich gospodarzy.

Szczegółowe badania przewodu pokarmowego niektórych gatunków mechowców [182, 238, 239] dowodzą, że żyje tam bogata mikroflora bakteryjna różniąca się od mikroflory środowiska żerowania roztoczy. Seniczak [208] twierdzi, że mechowce odżywiają się mikroflorą i uczestniczą w przenoszeniu jej na różnorodne substraty. Zwierzęta te, migrując i wydalając wraz z kałem mikroorganizmy, zaszczipiają nimi różne podpoziomy glebowe. Rozwijają się tylko te szczepy mikroflory, które natrafiają na sprzyjające warunki ekologiczne. Mechowce mogą więc przyczyniać się do rozprzestrzeniania mikroorganizmów, które dostosowują się szybciej niż gospodarze do życia w skażonej glebie.

Metody fizyczno-chemiczne oceny środowiska dostarczają danych o ilości specyficznych związków chemicznych w określonym czasie i miejscu [198]. Metody te nie dostarczają jednak żadnej informacji o zagrożeniu organizmów. Greszta [60] uważa, że wszystkie organizmy żywe są w specyficzny sposób bardziej lub mniej zależne od czynników środowiska i dlatego mogą być

wskaźnikami (indykatorami) warunków panujących w danym miejscu. Autor ten prezentuje podział bioindykatorów na testowe, monitorujące i wskaźnikowe.

W literaturze można spotkać wiele podziałów organizmów stosowanych w metodzie bioindykacji. Van Straalen [255] klasyfikuje bioindykatory glebowe pod względem ich czułości na czynniki oraz reakcji na liczbę czynników. Wyróżnia cztery różne grupy bioindykatorów. Do pierwszej grupy (general stress indicators) zalicza te, które wykazują niską czułość na wiele czynników. Drugą grupę (specific indicators) stanowią bioindykatory silnie reagujące na jeden czynnik, trzecią (serious effect indicators) reagujące dopiero na serię czynników i rozległe zmiany środowiska. Do czwartej grupy (sensitive indicators) zaliczył bioindykatory wrażliwe już na niewielkie zmiany w środowisku.

Podział na indykatory i monitory proponują Martin i Coughtrey [152]. Do grupy indykatorów zaliczają te gatunki, które silnie reagują na zanieczyszczenia i giną na skażonym terenie. Natomiast monitory to gatunki pozwalające śledzić zmiany stopnia degradacji środowiska. Najprostszym podziałem bioindykatorów jest podział na wskaźniki sensytywne (wrażliwe) i odporne (niewrażliwe) [45].

Poglądy zoologów na temat wartości bioindykacyjnej różnych jednostek taksonomicznych są podzielone. Według van Straalena [255] bioindykacja u stawonogów przejawia się między innymi przez: reakcję pojedynczych gatunków, zależności pomiędzy gatunkami, różnorodność gatunkową, strukturę dominacji, strukturę troficzną, grupy funkcjonalne. Inni autorzy rozpatrują ponadto na poziomie zgrupowania, populacji i organizmu biomasę, struktury płciową i wiekową, anomalie morfologiczne, płodność, długość ontogenezy oraz zawartość polutantów w organizmach [2, 24, 84, 89, 128, 204-206]. Koehler [121] jest zdania, że bioindykacja jest zjawiskiem biologicznym, które może realizować się na poziomach populacji, gildii, zgrupowania, zoocenozy, biocenozy i ekosystemu. Autor ten wyróżnia glebowe systemy bioindykacyjne: mikrotroficzny, mezotroficzny i makrotroficzny. Są one oparte na powiązaniach pokarmowych organizmów w połączeniu z mikrośrodkami glebowymi. System mikrotroficzny reaguje na czynniki środowiskowe, głównie poprzez zmiany zachodzące w roztworze glebowym. Składnikami tego systemu są bakterie, ich konsumenci i drapieżniki (Protozoa, Rotatoria, Nematoda). W systemie mezotroficznym występuje szerokie spektrum grzybów oraz ich konsumenci i żerujące na tych konsumentach drapieżniki należące do mezofauny. Na system makrotroficzny składają się z kolei zwierzęta aktywnie tworzące przestwory glebowe, żywiące się mikroflorą, mikrofauną i detrytusem oraz drapieżcy tych zwierząt.

Bioindykacja więc, jako metoda oceny panujących w danym środowisku warunków życia [175] i jako zjawisko biologiczne, stanowi zagadnienie bardzo złożone. Uważa się, że jest ona pomocna w rozwiązywaniu problemów dotyczących wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na organizmy żywe, ale nie może stanowić jedynej metody badania skutków zanieczyszczeń [198].

3. OPIS TERENU BADAŃ

Powierzchnie doświadczalne zostały założone w młodnikach sosnowych w różnych rejonach Polski w okolicach siedmiu dużych zakładów przemysłowych (rys. 1):

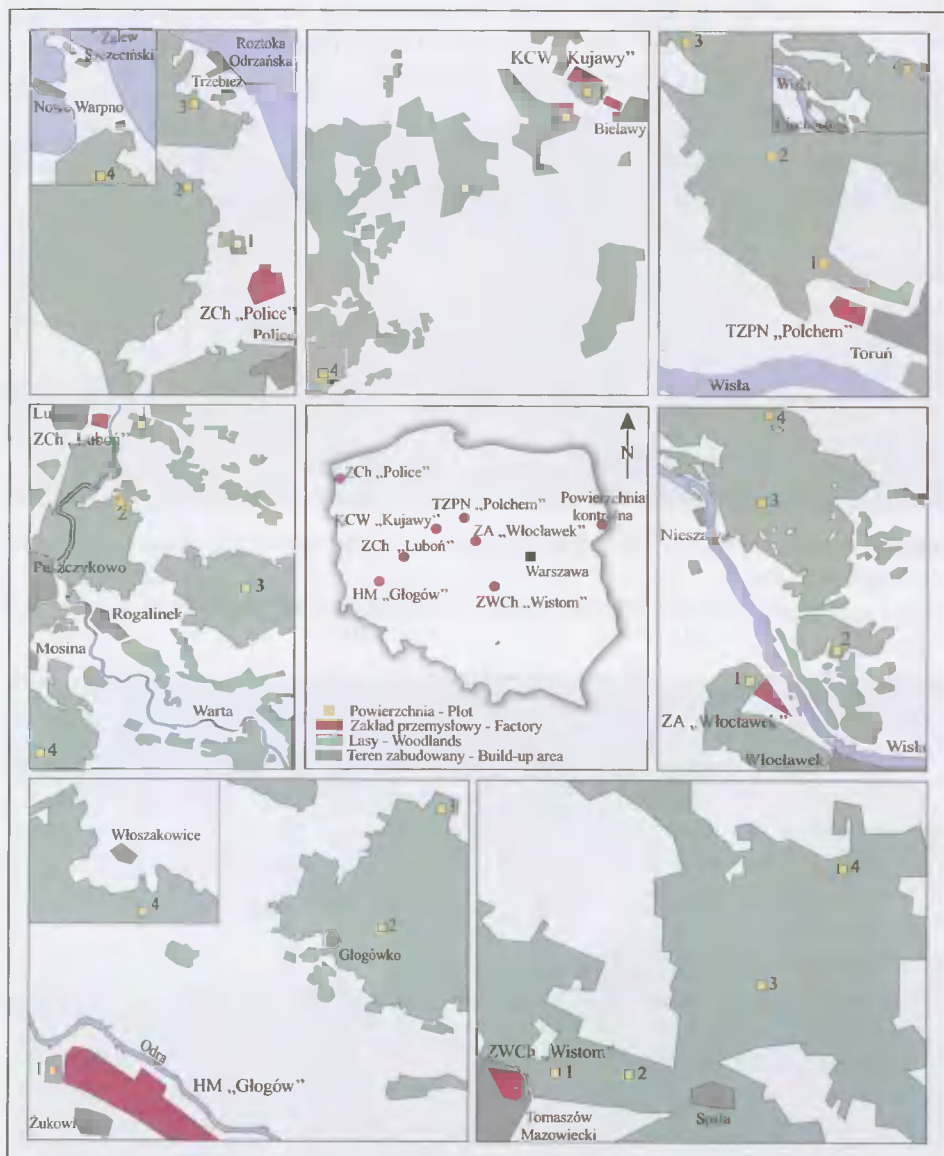
- Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem” (TZPN „Polchem”),
- Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom” w Tomaszowie Mazowieckim (ZWCh „Wistom”),
- Zakładów Azotowych „Włocławek” (ZA „Włocławek”),
- Zakładów Chemicznych „Police” (ZCh „Police”),
- Zakładów Chemicznych „Luboń” (ZCh „Luboń”),
- Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy” w Bielawach (KCW „Kujawy”),
- Huty Miedzi „Głogów” (HM „Głogów”).

W emisjach TZPN „Polchem” i ZWCh „Wistom” wyraźnie dominowały związki siarki, a zwłaszcza dwutlenek siarki (tab. 1). W przypadku TZPN „Polchem” (rys. 2) kominy emitujące zanieczyszczenia są niskie (do 40 m), a technologicie stosowane w okresie badań były przestarzałe. Zakłady włókien celulozowych (ZWCh „Wistom”) charakteryzują się dużą uciążliwością dla środowiska przyrodniczego, a także zdrowia ludzi. Poziom emisji tych zakładów był wielokrotnie większy niż TZPN „Polchem”. Szczególnie toksycznymi zanieczyszczeniami emitowanymi do atmosfery i decydującymi o uciążliwości ZWCh „Wistom” są dwusiarczki węgla i siarkowodor. W mniejszych ilościach do atmosfery dostają się też takie substancje, jak: węglowodory, octany, toluen, benzo- α -piren i chlor [29].

ZA „Włocławek” (rys. 3) i ZCh „Police” są głównie producentami nawozów mineralnych, a emitują do atmosfery - poza dwutlenkiem siarki - duże ilości związków azotu. ZCh „Police” emitowały też pyły fosforytów oraz w mniejszej ilości toksyczny dla środowiska fluor [266].

Jednym z najgroźniejszych źródeł zanieczyszczeń przemysłowych okolic Poznania są ZCh „Luboń”. Zakłady te produkują m.in. superfosfat, sole fosforowe, kwas siarkowy, fluorowodorowy i fluorek glinu. W emisjach tego zakładu dominuje dwutlenek siarki, emitowane są też tam znaczne ilości pyłów pochodzących z kotłowni grzewczej oraz pyłu fosforytowego. Wykazana emisja fluoru nie jest wysoka, jednak z uwagi na dużą toksyczność fluorków może mieć znaczący wpływ na środowisko. Kominy ZCh „Luboń” są niskie (do 65 m), dlatego zanieczyszczenia mogą koncentrować się w pobliżu zakładów.

Specyficzny charakter mają emisje KCW „Kujawy”, w których przeważają pyły zawierające głównie związki wapnia. Są to białe alkaliczne pyły pokrywające roślinność oraz glebę w otoczeniu emitora zanieczyszczeń (rys. 4).



Rys.1. Rozmieszczenie powierzchni doświadczalnych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig.1. Experimental plot locations in the vicinity of the factories studied

Tabela 1. Średnia wielkość emisji głównych zanieczyszczeń (Mg/rok) wybranych zakładów przemysłowych w latach 1988-1992 (dane udostępnione przez działy ochrony środowiska poszczególnych zakładów)

Table 1. Average quantity of main pollutants (Mg per year) emitted by the factories studied over 1988-1992 (data available from respective departments of environmental protection)

Zanieczyszczenia Pollutant	Zakład - Factory						
	TZPN „Polchem”	ZWCh „Wistom”	ZA „Włocławek”	ZCh „Police”	ZCh „Luboń”	KCW „Kujawy”	HM „Głogów”
Pył Dust	61	152	441	1508	253	5472	1698
Popiół lotny Fly ash		2361	53				
Dwutlenek siarki Sulphur dioxide	774	3314	5755	6353	283	1493	34572
Dwusiarczek węglu Carbon disulphide		1605					435
Siarkowodór Hydrogen sulphide		271					
Kwas siarkowy Sulphuric acid	103			107			792
Tlenek węgla Carbon monoxide		1286	109	454		1500	75119
Tlenki azotu Nitrogen oxides	35	867	2586	1217	40	753	144
Amoniak Ammonia			145	2350			
Fluor Fluorine	7			27	10		
Chlorek winylu Vinyl chloride			531				

Inny charakter mają zanieczyszczenia HM „Głogów”. W tym przypadku emisja mniejszych ilości pyłów, w porównaniu z KCW „Kujawy”, może być znacznie groźniejsza dla środowiska. Pyły te zawierają bowiem duże ilości metali ciężkich - głównie miedzi i ołowiu [54]. HM „Głogów” jest ponadto emitorem dużych ilości dwutlenku siarki i tlenku węgla

Zanieczyszczenia przedstawionych zakładów przemysłowych są zróżnicowane pod względem ilości i składu chemicznego, wszystkie łączy duży udział dwutlenku siarki.



Rys. 2. Zdegradowany teren w pobliżu Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”

Fig. 2. Area degraded in the vicinity of the Toruń ‘Polchem’ Chemical Factory



Rys. 3. Okolice Zakładów Azotowych „Włocławek”

Fig. 3. Vicinity of the ‘Włocławek’ Nitrogen Fertilizer Factory



Rys. 4. Sosna uszkodzona przez alkaliczne pyły pochodzące z Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy”

Fig. 4. Scots pine damaged by alkaline dust emitted by the ‘Kujawy’ Cement and Lime Factory



Rys. 5. Młody sosnowy las na siedlisku boru świeżego w okolicach Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”

Fig. 5. Young Scots pine forest in the vicinity of the Toruń ‘Polchem’ Chemical Factory

Przy analizie wpływu tych zanieczyszczeń na środowisko należy pamiętać o emisjach, które często nie były wykazywane, a miały miejsce podczas awarii lub pochodziły z nieszczelności instalacji, transportu czy źle zabezpieczonych składowisk. Ta część emisji mogła mieć duży wpływ na szkody powstałe w środowisku przyrodniczym w najbliższym otoczeniu zakładów.

Badane tereny znacząco nie różniły się warunkami meteorologicznymi. Wiatr wiał najczęściej z kierunku zachodniego, a średnia jego prędkość nie przekraczała 5 m/s. Średnia roczna temperatura powietrza z wielolecia w okolicach analizowanych zakładów przemysłowych wahała się od 7,4 do 8,8 °C. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych zawierała się w przedziale od 483 do 624 mm. Szczegółową charakterystykę klimatu badanych obszarów zawierają prace Dąbrowskiego i in. [32-38].

W okolicach każdego z wymienionych zakładów przemysłowych wytypowano transekt złożony z czterech powierzchni doświadczalnych, które usytuowano w różnych strefach uszkodzenia przemysłowego drzewostanów. Strefy te zostały wytyczone wcześniej przez pracowników Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych. Podstawą do oceny stopnia uszkodzenia drzewostanów sosnowych były zmiany w koronach drzew, głównie stopień defoliacji oraz odbarwienia aparatu asymilacyjnego. Powierzchnie 1, 2, 3 i 4 leżały w kolejnych strefach uszkodzenia drzewostanów: uszkodzeń silnych (redukcja aparatu asymilacyjnego powyżej 60 %), uszkodzeń średnich (26-60 %), uszkodzeń słabych (11-25 %) i w strefie bez uszkodzeń drzew (do 10 %). W rejonie TZPN „Polchem” w transekcie powierzchni w kierunku północno-zachodnim od zakładów, w strefie bez uszkodzeń drzew nie znaleziono odpowiedniego stanowiska spełniającego warunki siedliskowe. Stanowisko to usytuowano na południowy wschód od Torunia i było ono jednocześnie powierzchnią 4 dla ZA „Włocławek”. Odległość stanowisk 1 od źródła emisji wahała się od 0,2 do 1,5 km, powierzchnie 4 były odległe od zakładów od 14 do 37 km, a pomiędzy nimi znajdowały się stanowiska 2 i 3 (tab. 2). Powierzchnię kontrolną zlokalizowano w dwudziestoletnim młodniku sosnowym na terenie Puszczy Białowieskiej w Nadleśnictwie Browsk. W tym przypadku przy wyborze powierzchni, poza warunkami siedliskowymi, kierowano się niskim skażeniem środowiska w tym rejonie [137, 138, 260, 261].

Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej [253] badane tereny leżą w obrębie następujących krain: I. Bałtyckiej (ZCh „Police”), II. Mazursko-Podlaskiej (powierzchnia kontrolna), III. Wielkopolsko-Pomorskiej (TZPN „Polchem”, ZA „Włocławek”, ZCh „Luboń”, KCW „Kujawy”), V. Śląskiej (HM „Głogów”) oraz VI. Małopolskiej (ZWCh „Wistom”). Do badań wybrano młodniki sosnowe w wieku około 20 lat w typie siedliskowym boru świeżego (rys. 5). Tylko transekt w rejonie KCW „Kujawy” został wyznaczony na siedlisku boru mieszanego świeżego. Młodniki pod względem fitosocjologicznym zaliczono w większości do zespołu *Leucobryo-Pinetum* Mat. (1962) 1973 [153]. Młodniki w rejonie KCW „Kujawy” należały do klasy *Vaccinio-Piceetea*, a układ gatunków roślin na powierzchni kontrolnej był charakterystyczny dla zespołu *Peuce-*

dano-Pinetum Mat. (1962) 1973. Dokładny opis roślinności i zdjęcia fitosocjologiczne znaleźć można w pracach Dąbrowskiego i in. [32-38].

Tabela 2. Odległość powierzchni doświadczalnych od źródeł zanieczyszczeń (w km)

Table 2. Distance between the polluter and the plots studied (km)

Zakład - Factory	Powierzchnia - Plot			
	1	2	3	4
Toruńskie Zakłady Przemysłu Nieorganicznego „Polchem” Toruń ‘Polchem’ Chemical Factory	1,0	2,0	3,8	32,0
Zakłady Włókien Chemicznych „Wistom” ‘Wistom’ Synthetic Fibre Factory	1,0	3,8	9,0	14,0
Zakłady Azotowe „Włocławek” ‘Włocławek’ Nitrogen Fertilizer Factory	1,0	5,5	14,0	22,0
Zakłady Chemiczne „Police” ‘Police’ Chemical Factory	1,5	5,0	8,0	19,0
Zakłady Chemiczne „Luboń” ‘Luboń’ Chemical Factory	1,5	3,5	8,0	14,0
Kombinat Cementowo-Wapienniczy „Kujawy” ‘Kujawy’ Cement and Lime Factory	0,2	1,7	7,5	17,5
Huta Miedzi „Głogów” ‘Głogów’ Copperworks	1,0	11,0	16,0	37,0

Gleby wszystkich młodników zaliczono do typu gleb rdzawych i podtypu gleb biellicowo-rdzawych. Średnia miąższość poziomu organicznego (O) w badanych glebach wynosi 5 cm. W poziomie tym wyróżniono podpoziom surowinowy (Ol - 3 cm) i podpoziom butwinowo-epihumusowy (Of/h - 2 cm). Pod poziomem próchnicy nadkładowej występuje poziom mineralny przejściowy AEes (średnio 0-16 cm), a poniżej zalega charakterystyczny dla tego typu gleb poziom rdzawienia Bv (średnio 16-39 cm). W rejonach TZPN „Polchem”, ZWCh „Wistom” i ZA „Włocławek” wyróżniono poziom BvC (średnio 37-59 cm), w rejonach pozostałych zakładów poziom Bv przechodzi w skałę macierzystą (średnio C > 50 cm). Szczegółowy opis profilów glebowych badanych stanowisk przedstawiono wcześniej [54, 107, 111, 112, 114-116].

4. MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań zebrano w latach 1990-1994. Glebę pobierano na każdej powierzchni doświadczalnej z płatów bez runa w czterech kolejnych terminach badań przez dwa lata - zawsze w pierwszych dekadach maja i października - każdorazowo po 10 prób. Wiosenny i jesienny termin pobrania prób jest uważany w akarologii za porównywalny, gdyż zagęszczenie osiągnięte w tych sezonach przez roztocze jest wysokie i na zbliżonym poziomie [132, 189]. Pobranie prób w tym okresie daje możliwość, przy relatywnie niskim nakładzie pracy, stwierdzenia występowania większości populacji roztoczy.

Na każdej powierzchni doświadczalnej pobrano ogółem 40 prób gleby o wymiarach $17 \text{ cm}^2 \times 20 \text{ cm}$ głębokości. Każdą próbę podzielono na 4 części: poziom organiczny na podpoziomy OI (5-2 cm) i Of/h (2-0 cm), a poziom AEes na AEes' (0-7,5 cm) i AEes'' (7,5-15 cm).

Roztocze poddano ekstrakcji w aparatach Tullgrena przez 7 dób. Konserwowano je w 70 % alkoholu etylowym, a następnie preparowano i oznaczano. Wszystkie mechowce zostały określone do gatunku lub rodzaju z uwzględnieniem ich stadiów młodocianych. Oznaczanie stadiów młodocianych, nie opisanych dotąd w literaturze, konsultowano z prof. dr. hab. Stanisławem Seniczakiem.

Przedmiotem analizy było 366,2 tys. roztoczy, w tym 271,7 tys. Oribatida. Mechowce scharakteryzowano za pomocą wskaźników zagęszczenia (A), dominacji (D) i stałości występowania (C). W przypadku wskaźnika D zastosowano klasy dominacji zaproponowane przez Seniczaka [208]. Zróznicowanie zgrupowań Oribatida określano liczbą gatunków (S), średnią liczbą gatunków w próbie (s) oraz wskaźnikami różnorodności gatunkowej Shannona (H) i równomierności (E) [146]. Strukturę troficzną sporządzono w oparciu o informacje z literatury [23, 71, 142, 166, 201, 234]. Zgrupowania mechowców porównano za pomocą wskaźników podobieństwa gatunków Jaccarda (Ja) i podobieństwa dominacji Renkonena (Re) [247]. Na podstawie liczb Ja i Re obliczono wskaźnik Va ($Va = Ja \times Re / 100$) [249]. Ocenę różnic średniego zagęszczenia grup roztoczy i populacji mechowców oraz średniej liczby gatunków (s) przeprowadzono z zastosowaniem analizy wariancji ANOVA/MANOVA programu Statistica, za pomocą testu Tukeya. Statystyczną istotność różnic między wartościami wskaźnika H określano testem t Studenta [146].

Zdjęcia w technikach mikroskopii elektronowej TEM (transmission electron microscopy) i SEM (scanning electron microscopy) wykonano na Uniwersytecie w Heidelbergu (Niemcy) pod kierunkiem prof. dr. Gerda Albertiego w 1995 roku podczas stażu naukowego w ramach stypendium DAAD. Obraz okazów spod mikroskopu świetlnego utrwalono za pomocą kamery Videotronic GmbH CC20P i programu komputerowego MultiScan.

Odczyn gleb oznaczono metodą potencjometryczną w H₂O [87]. Siarkę ogólną oznaczano metodą nefelometryczną [170], fosfor, azot amonowy i azotanowy metodą kolorymetryczną [21, 170], fluor metodą spektrofotometryczną [22], a metale ciężkie (miedź, ołów i wapń) metodą ASA [170]. Analizy chemiczne zostały wykonane w laboratoriach ATR w Bydgoszczy.

5. WYNIKI

5.1. Skażenie gleby

Na powierzchni kontrolnej zawartość siarki ogólnej w podpoziomach próchnicy nadkładowej była wyrównana - 121 mg/100 g (tab. 3). Na tym stanowisku w glebie mineralnej zawartość siarki wynosiła 46 mg/100 g. W pobliżu TZPN „Polchem” największą koncentrację siarki odnotowano w poziomie mineralnym AEes - 278 mg/100 g. Zawartość tego pierwiastka w glebie mineralnej blisko zakładów była sześciokrotnie większa niż w glebie powierzchni kontrolnej. Wysoką koncentrację siarki, w porównaniu ze stanowiskiem kontrolnym, stwierdzono w rejonie ZWCh „Wistom”, szczególnie na powierzchni 1 w podpoziomie Of/h - 376 mg/100 g.

W transekcie powierzchni w rejonie ZA „Włocławek” w próchnicy nadkładowej zawartość azotu amonowego wahała się od 46 do 192 mg/100 g gleby i była wyraźnie wyższa niż na powierzchni kontrolnej. Zawartość tej formy azotu rosła w kierunku emitora zanieczyszczeń. W rejonie ZCh „Police” ilość azotu amonowego w glebach była znacznie większa niż w okolicach ZA „Włocławek”. Imisje te w największym stopniu kumulowały się w podpoziomie surowinowym. W tym podpoziomie w pobliżu ZCh „Police” zawartość azotu amonowego była czterokrotnie wyższa niż w pobliżu ZA „Włocławek”.

Zawartość fosforu ogólnego na stanowisku kontrolnym w podpoziomach próchnicy nadkładowej Ol i Of/h wynosiła odpowiednio 29 i 27 mg/100 g gleby. W pobliżu ZCh „Luboń” tego pierwiastka było czterokrotnie więcej niż na stanowisku kontrolnym. Zawartość fluoru była w rejonie ZCh „Luboń” na stanowiskach 1-4 bardziej wyrównana niż fosforu. Największą ilość fluoru stwierdzono na stanowisku 1 w podpoziomie Of/h - 15 mg/100 g.

Stanowiska 1 i 2 w rejonie KCW „Kujawy” były silnie zanieczyszczone wapniem. Największą koncentrację tego pierwiastka stwierdzono w podpoziomie surowinowym. W pobliżu emitora zanieczyszczeń wapnia było prawie siedmiokrotnie więcej niż na powierzchni kontrolnej. Największą zawartość miedzi i ołowiu w podpoziomie Of/h (odpowiednio 249 i 156 mg/100 g) stwierdzono w pobliżu HM „Głogów”. Stosunkowo dużą ilość obydwu pierwiastków odnotowano na stanowisku 3, czyli już w znacznej odległości od HM „Głogów”. W podpoziomie Of/h miedzi było na tym stanowisku czterokrotnie więcej niż na powierzchni kontrolnej.

Na powierzchni kontrolnej w kolejnych podpoziomach i poziomach genetycznych gleby (Ol, Of/h i AEes) pH wynosiło odpowiednio: 4,76; 4,66 i 3,79. Wysoką, nietypową dla borów sosnowych, wartość pH stwierdzono na stanowiskach 1 i 2 w rejonie KCW „Kujawy”: od 6,36 do 7,54 (tab. 4). Na pozostałych

stanowiskach imisje nie wpłynęły wyraźnie na pH. Gleby występujące tam można zaliczyć do silnie kwaśnych i bardzo silnie kwaśnych [183].

Tabela 3. Zawartość głównych zanieczyszczeń w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych i na powierzchni kontrolnej (w mg/100 g)

Table 3. Content of major pollutants in soils of young Scots pine forests in the vicinity of factories studied and of the control plot (mg/100g)

Zakład Factory	Zanieczyszczenia Pollutant	Poziom Horizon	Powierzchnia - Plot				Kontrolna Control
			1	2	3	4	
TZPN „Polchem”	S	Ol	256	145	77	81	121
		Of/h	190	240	166	67	121
		AEes	278	71	79	35	46
ZWCh „Wistom”	S	Ol	326	234	250	267	121
		Of/h	376	330	174	158	121
		AEes	80	148	118	87	46
ZA „Włocławek”	N-NH ₄ ⁺	Ol	192	168	147	111	4
		Of/h	177	100	46	53	6
		AEes	1	4	4	2	0,1
ZCh „Police”	N-NH ₄ ⁺	Ol	771	316	480	257	4
		Of/h	176	150	96	50	6
		AEes	20	3	4	2	0,1
ZCh „Luboń”	P	Ol	114	98	73	63	29
		Of/h	112	46	54	26	27
		AEes	37	17	9	6	14
	F	Ol	11	11	11	10	-
		Of/h	15	11	8	9	-
		AEes	2	1	2	0,3	-
KCW „Kujawy”	Ca	Ol	5648	3735	468	368	834
		Of/h	3878	2712	98	70	178
		AEes	2317	1118	3	1	11
HM „Głogów”	Cu	Ol	79	31	8	2	13
		Of/h	249	94	28	4	7
		AEes	10	8	3	2	3
	Pb	Ol	45	20	9	6	10
		Of/h	156	54	21	12	15
		AEes	11	10	8	7	2

Tabela 4. Kwasowość gleb w młodnikach sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych (pH w H₂O)Table 4. Soil pH (in H₂O) in young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied

Zakład Factory	Poziom Horizon	Powierzchnia - Plot			
		1	2	3	4
TZPN „Polchem”	Ol	4,01	4,01	3,86	3,92
	Of/h	3,62	3,33	3,77	4,09
	AEes	3,89	3,70	4,02	4,16
ZWCh „Wistom”	Ol	4,21	3,87	4,08	3,74
	Of/h	4,42	3,60	4,11	3,80
	AEes	4,77	4,10	4,38	4,28
ZA „Włocławek”	Ol	4,77	4,54	4,59	4,44
	Of/h	3,90	3,96	4,25	4,03
	AEes	4,14	4,01	4,46	4,07
ZCh „Police”	Ol	4,89	4,51	4,89	4,70
	Of/h	4,23	4,06	3,88	3,42
	AEes	4,11	4,16	3,80	3,40
ZCh „Luboń”	Ol	3,96	4,06	4,13	4,18
	Of/h	3,92	3,37	3,77	3,91
	AEes	4,21	3,78	3,78	3,85
KCW „Kujawy”	Ol	6,54	6,36	4,57	4,47
	Of/h	7,54	6,53	3,86	4,01
	AEes	7,31	6,89	3,88	3,93
HM „Głogów”	Ol	4,26	4,05	4,07	4,15
	Of/h	4,16	3,82	3,93	4,01
	AEes	4,33	3,86	3,77	4,21

5.2. Analiza liczebności roztoczy

W badanych młodnikach sosnowych zagęszczenie roztoczy wahało się od 67,28 do 413,26 tys. osobn./m² (tab. 5). Na oddalonych od emitatorów zanieczyszczeń powierzchniach 4 oraz na stanowisku kontrolnym liczebność tych pajączaków była dość wyrównana. Nie odnotowano istotnych statystycznie różnic między wymienionymi stanowiskami. Wyjątkowo wysokie zagęszczenie omawianych stawonogów stwierdzono blisko TZPN „Polchem”, które powodowały umiarkowane skażenie gleby siarką. Natomiast silne imisje siarkowe w pobliżu ZWCh „Wistom” wpłynęły na spadek liczebności roztoczy w porównaniu z powierzchnią kontrolną.

Tabela 5. Zagęszczenie roztoczy (w tys. osobn./m²) w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych oraz na powierzchni kontrolnej

Table 5. Abundance (1000 individuals per m²) of mites in the soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied and the control

Zakład Factory	Powierzchnia Plot	Oribatida	Inne Others	Acari razem Total Acari
TZPN „Polchem”	1	322,87 ^{x*}	90,39	413,26 ^{x*}
	2	303,70 ^{x*}	65,88	369,58 ^{x*}
	3	286,23 ^{x*}	61,09	347,32 ^{x*}
	4	104,63	52,05	156,68
ZWCh „Wistom”	1	62,63 ^x	26,38	89,01 [*]
	2	91,07	26,62	117,69
	3	99,78	30,44	130,22
	4	131,56	31,18	162,74
ZA „Włocławek”	1	81,59	38,37	119,96
	2	131,90	65,80	197,70
	3	96,63	56,43	153,06
	4	104,63	52,05	156,68
ZCh „Police”	1	111,27	38,52	149,79
	2	146,41	50,32	196,73
	3	79,07	45,08	124,15
	4	115,21	50,51	165,72
ZCh „Luboń”	1	57,32 ^{x*}	59,96	117,28 ^x
	2	118,42 ^x	42,65	161,07 [^]
	3	83,96 ^x	31,47	115,43 ^x
	4	194,71 [*]	66,07	260,78
KCW „Kujawy”	1	31,74 [*]	35,54	67,28 [*]
	2	118,50	110,42	228,92
	3	68,42	40,23	108,65 [*]
	4	97,23	45,25	142,48
HM „Głogów”	1	49,22 ^{x*}	19,41	68,63 ^{^*}
	2	148,76	30,93	179,69
	3	258,81 ^{x*}	43,32	302,13 ^{^*}
	4	152,80	41,61	194,41
Powierzchnia kontrolna Control		125,50	77,20	202,70

[^] istotność różnic między powierzchniami 1-3 a powierzchniami 4, p = 0,05 - differences between plots 1-3 and plots 4 are significant at p = 0.05

^{*} istotność różnic między powierzchniami 1-4 a powierzchnią kontrolną, p = 0,05 - differences between plots 1-4 and the control are significant at p = 0.05

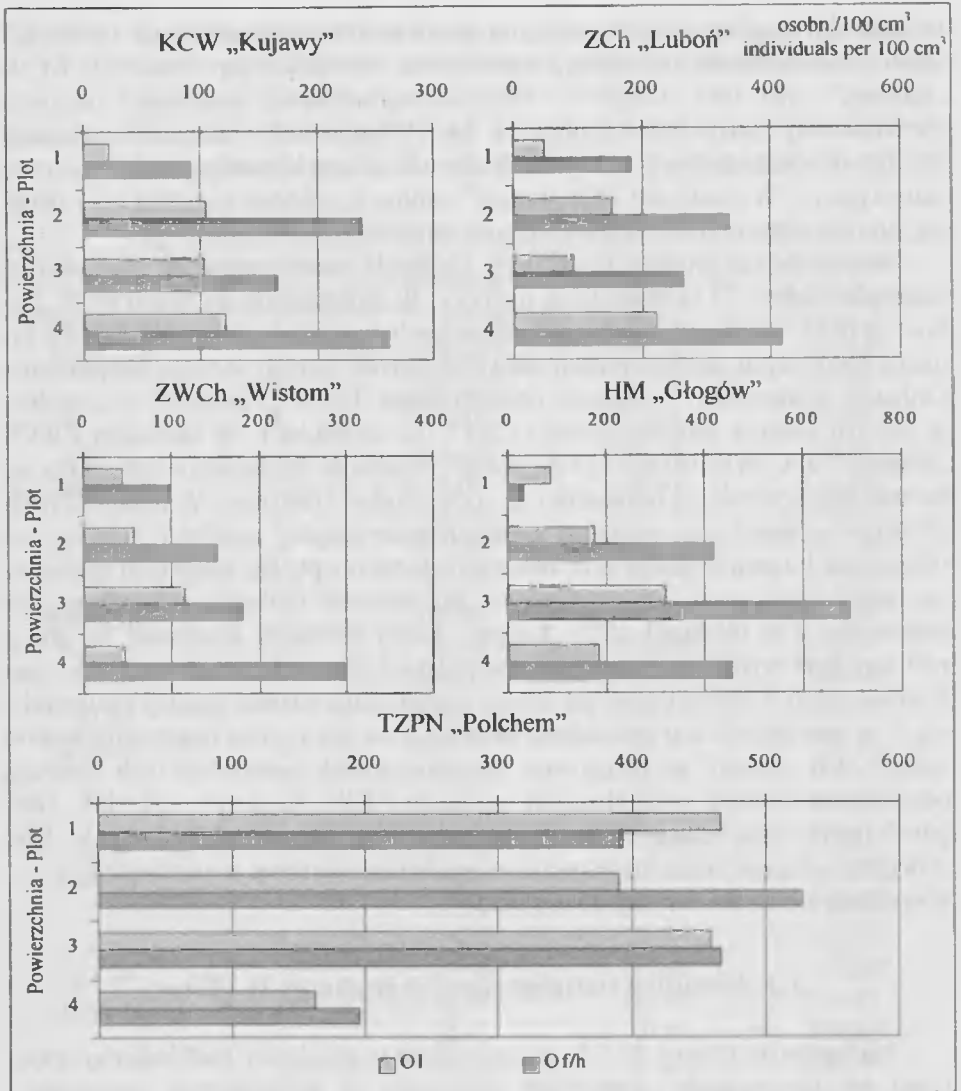
Bardzo wyraźny spadek zagęszczenia omawianych pajęczaków, do około 1/3 stanu z powierzchni kontrolnej, stwierdzono w najbliższym otoczeniu KCW „Kujawy” oraz HM „Głogów”. Mniejsze ograniczenie liczebności roztoczy spowodowały imisje ZCh „Luboń” i ZA „Włocławek” - różnice liczebności między stanowiskami w tych rejonach a powierzchnią kontrolną nie były istotne statystycznie. W okolicach ZCh „Police” ogólna liczebność roztoczy nie różniła się istotnie statystycznie od stwierdzonej na powierzchni kontrolnej.

Najliczniejszą grupą roztoczy były Oribatida, które stanowiły w zbadanym materiale średnio 73 % wszystkich roztoczy. W najbliższych okolicach ZCh „Luboń” oraz KCW „Kujawy” udział mechowców był wyraźnie niższy (47,2 - 48,9 %) niż na pozostałych powierzchniach doświadczalnych. Bardzo wysokie zagęszczenie Oribatida stwierdzono w rejonie oddziaływania TZPN „Polchem”, szczególnie w pobliżu emitora zanieczyszczeń (322,87 tys. osobn./m²). W okolicach ZWCh „Wistom”, ZA „Włocławek” i ZCh „Police” liczebność mechowców nie różniła się istotnie statystycznie od liczebności na powierzchni kontrolnej. W rejonie ZWCh „Wistom” stwierdzono natomiast istotne różnice między najsilniej skażoną powierzchnią 1 a powierzchnią 4, co może świadczyć o wpływie imisji tych zakładów na zagęszczenie mechowców. Wysokie zagęszczenie Oribatida odnotowano na stanowisku 4 w okolicach ZCh „Luboń”. Bliżej zakładów liczebność tej grupy roztoczy była wyraźnie niższa, a na stanowisku 1 stanowiła zaledwie 29 % stanu z powierzchni 4. Stwierdzono też istotne statystycznie różnice między powierzchnią 1 w tym rejonie a powierzchnią kontrolną, co potwierdza negatywny wpływ imisji ZCh „Luboń” na mechowce. Wyraźny spadek liczebności tych roztoczy odnotowano również w najbliższym otoczeniu KCW „Kujawy” oraz HM „Głogów”. Interesującą reakcję Oribatida stwierdzono na stanowisku 3 w rejonie HM „Głogów”. Zagęszczenie mechowców wzrosło tam wyraźnie w porównaniu z powierzchnią 4 oraz powierzchnią kontrolną.

5.3. Pionowe rozmieszczenie roztoczy w glebie

Na badanym terenie 93,5 % roztoczy żyło w próchnicy nadkładowej. Pajęczaki te występowały przeważnie najliczniej w podpoziomie butwinowo-epihumusowym [54, 107, 111, 112, 114-116]. Na powierzchniach doświadczalnych na pionowe rozmieszczenie roztoczy rzutowały głównie Oribatida. Na stanowisku kontrolnym proporcje ilościowe tych roztoczy w kolejnych podpoziomach i poziomach gleby (Ol, Of/h, AEes', AEes'') wynosiły odpowiednio 1 : 1,21 : 0,08 : 0,02.

W przypadku pięciu zakładów przemysłowych: KCW „Kujawy”, ZCh „Luboń”, ZWCh „Wistom”, HM „Głogów” i TZPN „Polchem” odnotowano wpływ imisji na pionowe rozmieszczenie mechowców (rys. 6). Zanieczyszczenia pierwszego z wymienionych emitatorów spowodowały w jego pobliżu największe ograniczenie ich liczebności w podpoziomie surowinowym.



Rys. 6. Pionowe rozmieszczenie mechowców w próchnicy nadkładowej w młodnikach sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig. 6. Vertical distribution of Oribatida in organic horizon of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied

W tym podziumie zanieczyszczenie gleby związkami wapnia było największe. Również w najbliższym otoczeniu ZCh „Luboń” ograniczenie liczebności mechowców było największe w surowinie gleby. Imisje ZWCh „Wistom” i HM „Głogów” powodowały natomiast największe ograniczenie liczebności w podziumie Of/h.

Jest interesujące, że właśnie w tej warstwie gleby w największym stopniu kumulowały się polutanty. Siarkowe zanieczyszczenia TZPN „Polchem” wyraźnie stymulowały liczebność Oribatida, a w pobliżu emitora roztocze te najliczniej występowały w podpoziomie Ol. Odnotowano tam więc inwersję ich pionowego rozmieszczenia w próchnicy nadkładowej, w porównaniu z pozostałymi powierzchniami w tym rejonie oraz powierzchnią kontrolną.

5.4. Analiza zgrupowań mechowców

5.4.1. Skład gatunkowy

W badanych młodnikach sosnowych stwierdzono występowanie 104 taksonów mechowców (tab. 6). Na powierzchni kontrolnej odnotowano 49 gatunków tych roztoczy (tab. 7), nieco większą ich liczbę stwierdzono tylko na powierzchniach 4 w rejonach ZWCh „Wistom” i KCW „Kujawy” (50).

Tabela 6. Lista gatunków Oribatida w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych oraz na powierzchni kontrolnej

Table 6. Oribatida species in soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied and of the control

Liczebność (A) w tys. osobn./m² - Abundance (A) 1000 individuals per m²:

■ - $A > 10,0$; ● - $5,0 < A \leq 10,0$; ○ - $1,0 < A \leq 5,0$; + - $A \leq 1,0$; Pow. - Powierzchnia

Gatunek Species	Pow. Plot	Zakład - Factory							Pow kontrol- na Control
		TZPN „Pol- chem”	ZWCh „Wi- stom”	ZA „Wło- clawek”	ZCh „Poli- ce”	ZCh „Lu- boń”	KCW „Kuja- wy”	IIM „Gło- gów”	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Achipteria coleoptrata</i> (L.)	2						+		
	3		+				+		
	4						+		+
<i>Adoristes ovatus</i> (C.L. Koch)	1	○	○	○	●		+		
	2	○	○	○	○	●	○	●	
	3	●	●	○	○	●	○	■	
	4	●	●	●	○	■	●	●	●
<i>Atropacarus striculus</i> (C.L. Koch)	2		+				+		
	4		+						+
<i>Autogneta longilamellata</i> Michael	1			+					
	2							+	
	4							+	
<i>Autogneta traegardhi</i> Forsslund	1		+						
	2	+	●						
	3	●		+					
	4	+		+			+		

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Banksinoma lanceolata</i> (Michael)	2						+			
	4						+	+	+	+
	3	☐	+	○	○	○	○	○	+	
	4	●	○	●	○	○	○	○	+	○
<i>Camisia hiurus</i> (C.L. Koch)	1	+	+	+	+					
	2	●	+	+	+	+			+	
	3	○	+	+	+	+			○	
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	○
<i>Camisia horrida</i> (Hermann)	1						+			
	2	+						+		
	3	○							+	
	4								+	
<i>Camisia segnis</i> (Hermann)	1	+	+					+		
	2	+		+				+		
	3		+			+				
<i>Camisia spinifer</i> (C.L. Koch)	1	+	+	+	+					
	2	+	+	+	+	+	+	+	+	
	3	○	○	+	+	+	○	+	+	
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Carabodes coriaceus</i> C.L. Koch	3		+				+	+	+	
	4		+			+		+		
<i>Carabodes femoralis</i> (Nicolet)	2						+		+	
	3	○							+	
	4	+	+	+				+		+
<i>Carabodes forsslundi</i> Sellnick	1		+							
	2		+	+				+		
	3		+	+			+	+	+	
	4	+	+	+	+	+	+		+	+
<i>Carabodes labyrinthicus</i> (Michael)	1		+	+						
	2	○	○	○	+	+				
	3	○	+	+	+	+			+	
	4	+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Carabodes marginatus</i> (Michael)	2		+	+						
	4	+	+	+	+					
<i>Carabodes mmusculus</i> Berlese	1	+								
	2	☐		+	+					
	3			+						
	4		+							+
<i>Carabodes subarcticus</i> Trägårdh	1	○	+	+						
	2	+	○	+	+	○			○	
	3	☐	○	○	+	+	+	+	○	
	4	+	●	+	+	○	+	+	☐	○
<i>Cepheus cepheiformis</i> (Nicolet)	2	○						+		
	3		+				+			
	4		+				+	+		+
<i>Cepheus dentatus</i> (Michael)	3				+					
<i>Ceratoppia bipilis</i> (Hermann)	2							+		
	3						+	+		
	4	+		+	+			+		

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ceratoppia quadridentata</i> (Haller)	1			+						
	2									
	3								+	
	4		+			+				+
<i>Ceratozetes cisalpinus</i> Berlese	3							+		
<i>Ceratozetes sellnicki</i> (Rajski)	2			+						+
	3									+
	4						+			
<i>Chamobates cuspidatus</i> (Michael)	3			+		+				
	4					○				
<i>Chamobates schuetzi</i> (Oudemans)	1	☐	☐	○	●	+	+		●	
	2	○	●	+	●	☐	+	+	☐	
	3	+	○	●	+	+	○	+	○	
	4	+	●	+	+	+	☐	+	☐	+
<i>Chamobates spinosus</i> Sellnick	4							+		
<i>Cosmochthonius lanatus</i> Michael	3							+		
<i>Cultrorbula bicultrata</i> Berlese	2					+				
<i>Cultrorbula juncta</i> (Michael)	1	+								+
	2						+			+
	3			+		+	+	+		+
	4					+	+			
<i>Cymbaeremaeus cymba</i> (Nicolet)	1		+	+						
	2		+	+	+					
	3		+	+	+	+	+	+		
	4	+	+	+				+		
<i>Damaeobelba</i> 1	2									+
<i>Damaeus clavipes</i> (Hermann)	1	○				○		+	○	
	2	+		+	+	+	+	+	+	
	3		+	+	+	+	+	○	+	
	4	+	+	+	+	+		○	+	+
<i>Damaeus verticilipes</i> (Nicolet)	1				+	○		○		
	2		+	+			+	○		
	3		+	+			+	+		
	4	○			○		+	+		
<i>Diapterobates humeralis</i> (Hermann)	1	○				+				
	2	+	+	+	+	+		+		
	3	○	○	+	+	+	+		+	
	4	+	○	○	+	+	+	○		+
<i>Entochthonius mmutissimus</i> (Berlese)	2									+
<i>Eporibatula rauschenensis</i> (Sellnick)	1		+							
	2						+		+	
	3					+	+			
	4	+			+					
<i>Eremaeus oblongus</i> C.L. Koch	1		○	○						
	2	+	○				+		○	
	3		○	○			+	+	●	
	4	+	●	+			+	+	●	○

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Eulohmannia ribagai</i> Berlese		1	+	+	+		+			
		2	○	+	+	+			+	
		3						+		
		4				+	+			
<i>Eupelops occultus</i> (C.L. Koch)		1						○		
		2						○		
<i>Eupelops subuliger</i> (Berlese)		3				+				+
<i>Eupelops torulosus</i> (C.L. Koch)		1	+	○	+					
		2	+	+	+	+	+	○	○	
		3	+	○	+	+	+	○	○	
		4	+	+	+	+	○	○	●	○
<i>Euphthiracarus reticulatus</i> (Berlese)		4	+		+					
<i>Galumna</i> 1		1					+			
		2		+						
		3		+						
		4	+	+	+					
<i>Galumna lanceata</i> Oudemans		1			+			+	+	
		2		+	+	+	+	○	+	
		3				+	+	+	+	
		4	+	+	+	+		+	+	+
<i>Gymnodamaeus bicostatus</i> (C.L. Koch)		1	+	+						
		2			+			+	+	
		3			○		+			
		4	+		+			+		
<i>Hemileius initialis</i> (Berlese)		1	+		+	+				
		2		+	+	○		+	○	
		3			+	+		+		
		4	■	+	■	■				
<i>Hemnothrus peltifer</i> (C.L. Koch)		1			+	+	+	+		
		2				+	+	+	+	
		3	+		+	+	+	■		
		4						○		+
<i>Hermanniella granulata</i> (Nicolet)		4						+		
<i>Hermanniella septentrionalis</i> Berlese		4						+		
<i>Hypochthoniella minutissima</i> (Berlese)		4				●	+			
<i>Hypochthonus rufulus</i> C.L. Koch		4		+						+
<i>Latilamellobates incisellus</i> (Kramer)		1		+						
<i>Liacarus coracinus</i> (C.L. Koch)		1	+	+	+					
		2	+		+					
		3	+	+	+			+		
		4	+	+	+	+		+		+
<i>Licnodamaeus</i> 1		1		○						
		2		+						
		4		+						
<i>Licneremaeus licnophorus</i> (Michael)		1			+					
		2	+						+	
		3						+	+	
		4		+						+
<i>Liebstadia similis</i> (Michael)		2						●	+	
		3	+					+		

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Liochthonus</i> spp	1	☐	○	○	○	○	+	●		
	2	☐	+	☐	○	☐	+	●		
	3	☐	+	○	+	●	○	☐		
	4	○	○	○	○	●	☐	○	○	
<i>Liodes theleproctus</i> (Hermann)	4							+		
<i>Metabelba pulverulenta</i> C.L. Koch	1	○	○	○	+	○	○	○	+	
	2	○	○	●	○	○	○	○	+	
	3	○	○	+	●	○	○	○	+	
	4	○	○	○	+	+	+	+	+	+
<i>Microeremus brevipes</i> (Michael)	1	+	+	+	+			+		
	2	+	+	+	+	+	+	+		
	3	+	+	+	+	+	+	+	+	
	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Microtritia minuta</i> (Berlese)	1	○	+	+				+		
	2	☐	+				+		○	
	3	+		+	+	+	+	+	+	
	4	+	○	+	○	○	+	+	●	+
<i>Multopbia glabra</i> Mihelčič	1				+					
	4	○			○			+		
<i>Nanhermannia nanus</i> (Nicolet)	3		+							
	4		+					+		+
<i>Nothrus palustris</i> C.L. Koch	2							+		
<i>Nothrus silvestris</i> Nicolet	1	+	+	+						
	2	○		+	+	+	+	+	+	
	3	+		○	+	+	+	+	+	
	4	+		+	○	+	+	+	+	○
<i>Odontocepheus elongatus</i> (Michael)	3						+			
	4						+		+	
<i>Oppiella</i> 1	1	+					+			
	2	+								
	3	+								
<i>Oppiella</i> 2	4					+				
<i>Oppiella bicarinata</i> Paoli	1	+								
<i>Oppiella clavipectinata</i> Michael	2	+								
	3	+						+		
<i>Oppiella minus</i> (Paoli)	1	☐	+	+	+	○	○			
	2	☐		○	+	+	○	●		
	3	☐	+	●		+	+	○		
	4	●	☐	●	☐	☐	○	○	○	○
<i>Oppiella neerlandica</i> (Oudemans)	1	+		○						
	2	+		+	+				○	
	3	+	+	+	+	+	+	○	+	
	4	+		+	+	+			+	
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans)	1	☐	○	○	+	●	○	+		
	2	☐	○	+	+	☐	●	○	○	
	3	☐	○	☐	+	○	+	☐	☐	
	4	○	●	○	●	☐	+	☐	☐	☐

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Oppiella ornata</i> (Oudemans)	1						+			
	2			+			+	⊗		
	3			⊗		+	+		⊗	
	4			○		○			⊗	●
<i>Oppiella subpectinata</i> (Oudemans)	1	+				+			+	
	2							+	○	
	3								+	
	4			+		⊗			+	○
<i>Oppiella translamellata</i> (Willmann)	1			+						
	2			+					○	
	4			+						
<i>Oribatella calcarata</i> (C.L. Koch)	1					+				
	2					+				
	3				+	+				
	4						+			+
<i>Oribatula</i> 1	2							○		
	3						+	+		
	4	+			+			+		
<i>Oribatula tibialis</i> (Nicolet)	1			○	+	●	+	○	⊗	
	2			●	⊗	+	●	⊗	●	
	3	+		○	⊗	+	●	⊗	⊗	
	4	●		+	●	+	⊗	⊗	●	
<i>Palaeacarus hystericus</i> Trägårdh	1	+			+					
	2				+				+	
	3							+		
	4					+				+
<i>Parachipteria willmanni</i> Hammen	1							+		
	3							+		+
<i>Pergalumna nervosa</i> (Berlese)	1	○	+		+					
	2	○	+						+	
	3	+	+		+				+	
	4	+	+		+					+
<i>Phthiracarus</i> 1	3	+								
<i>Phthiracarus borealis</i> Trägårdh	1	○	+		○			+		
	2	○	○				○	+		
	3	+	○		+		+	+		
	4	○	●		○	+	●	+	+	+
<i>Pilogalumna tenuiclava</i> (Berlese)										+
<i>Protoribates</i> 1	4			+						
<i>Protoribates pannonicus</i> Willmann										+
<i>Punctoribates</i> 1	4			+						
<i>Punctoribates punctum</i> (C.L. Koch)	2							+		
<i>Quadroppia quadricarinata</i> (Michael)	1	+	○		○	+	●	○		
	2	+	+		○		●	○	+	
	3	+	○		○	+	○	○		
	4	○	+		○	+	+	○		
<i>Rhysotritia duplicata</i> (Grandjean)	1	○	+					○		
	2	+	+		+		+	+	○	
	3	○			+		+			
	4	+	○		+	○	○	○		+

Tabela 6 cd.
Table 6 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Scheloribates</i> 1		2		+						
		3							+	
		4				+				
<i>Scheloribates laevigatus</i> (C.L. Koch)	1				+					
	2			+				○		
	3			○		+			○	
	4			+					+	
<i>Scheloribates latipes</i> (C.L. Koch)	1	●	○	○			+	+		
	2	⊗	⊗	+			●	+	+	
	3	⊗	●	○	○	○			●	
	4	●	⊗	●	○	⊗	○	○	●	●
<i>Scutovertex sculptus</i> Michael	2				+					
<i>Suctobelba</i> spp.	1	⊗	⊗	⊗	○	●	○	+		
	2	●	●	●	○	○	●	○	○	
	3	○	⊗	⊗	●	⊗	⊗	⊗	⊗	
	4	●	●	●	●	●	○	○	○	⊗
<i>Tectocephus velatus</i> (Michael)	1	⊗	●	⊗	⊗	⊗	○	+		
	2	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	
	3	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	○	○	○	
	4	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
<i>Trhypochothomus tectorum</i> (Berlese)	2								+	
	3							+	+	
	4							+	+	+
<i>Trichoribates trimaculatus</i> (C.L. Koch)	1	+	+	+	+	○	○			
	2	+		+	+		○	+		
	3	+		+	+	+	+			
	4		+					+	+	
<i>Tropacarus carinatus</i> (C.L. Koch)	1	+								
	3	+	+			+				
	4		+					+		
<i>Xenillus tegeocranus</i> (Hermann)	1							+		
	2							+		
	3							+		
	4							+		
<i>Zetorchestes micronychus</i> (Berlese)	1							+		
<i>Zygoribatula exilis</i> (Nicolet)	1		+	+		●				
	2			+	+			+		
	3						+	+		
	4		+		+	+	+	+		

Wyjątkowo niską liczbą taksonów charakteryzowała się powierzchnia usytuowana w najbliższym otoczeniu HM „Głogów” (11). Małą liczbę gatunków stwierdzono też w pobliżu ZCh „Police”, ZCh „Luboń” oraz KCW „Kujawy” (19-25). W pobliżu pozostałych zakładów przemysłowych liczba taksonów była wyraźnie większa, jednak w każdym przypadku była ona mniejsza niż na oddalonych od emitorów zanieczyszczeń stanowiskach 4 i powierzchni kontrolnej.

Tabela 7. Liczba gatunków Oribatida (S), średnia liczba gatunków (s), wskaźniki różnorodności gatunkowej Shannona (H), równomierności (E), podobieństwa gatunków Ja i podobieństwa dominacji Re w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych oraz na powierzchni kontrolnej

Table 7. Number of Oribatida species (S), average number of species (s), Shannon (H), evenness (E), Jaccard's (Ja) and Renkonen's (Re) indices calculated for soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied and of the control

Zakład Factory	Powierzchnia Plot	Wskaźnik - Index					
		S	s	H	E	Ja	Re
TZPN „Polchem”	1	37	14,7*	2,14 ^{x*}	0,59	48,3	47,3
	2	37	16,8	2,33 ^x	0,65	53,6	61,7
	3	36	15,8	2,30 ^x	0,64	51,8	58,4
	4	44	17,0	2,59	0,68	50,0	51,1
ZWCh „Wistom”	1	38	13,3 ^{x*}	2,44	0,67	45,0	47,9
	2	40	14,4 ^{x*}	2,55	0,69	48,3	60,9
	3	39	18,0	2,65	0,72	51,7	63,2
	4	50	18,8	2,67	0,68	62,3	64,3
ZA „Włocławek”	1	38	14,0 ^{x*}	2,32	0,64	47,5	71,4
	2	38	13,8 ^{x*}	2,08 ^{x*}	0,57	45,0	54,3
	3	38	15,3*	2,69	0,74	58,2	63,0
	4	44	17,0	2,59	0,69	50,0	51,1
ZCh „Police”	1	22	8,1 ^{x*}	1,19 ^{x*}	0,39	36,5	51,9
	2	29	10,0 ^{x*}	0,91 ^{x*}	0,27	41,8	43,6
	3	36	10,1 ^{x*}	1,37 ^{x*}	0,38	44,1	54,1
	4	43	16,5	2,65	0,71	48,4	51,3
ZCh „Luboń”	1	19	6,9 ^{x*}	2,05 ^{x*}	0,70	23,6	60,4
	2	32	13,4*	2,23	0,64	52,8	65,4
	3	43	14,9*	2,53	0,67	50,8	66,1
	4	36	14,9*	2,38	0,67	49,1	64,0
KCW „Kujawy”	1	25	11,1 ^{x*}	2,57	0,80	34,5	46,0
	2	43	15,4*	2,54	0,68	43,8	56,7
	3	44	12,9 ^{x*}	2,29	0,59	43,1	45,0
	4	50	15,7*	2,26	0,57	52,3	61,3
HM „Głogów”	1	11	6,5 ^{x*}	1,08 ^{x*}	0,45	20,0	10,0
	2	44	18,8	2,30	0,61	47,6	62,4
	3	38	17,9	2,00 ^{x*}	0,55	52,6	71,2
	4	32	17,2	2,39	0,69	44,6	64,1
Powierzchnia kontrolna Control		49	18,1	2,48	0,64	-	-

^x istotność różnic między powierzchniami 1-3 a powierzchniami 4, $p = 0,05$ - differences between plots 1-3 and plots 4 are significant at $p = 0.05$

^{*} istotność różnic między powierzchniami 1-4 a powierzchnią kontrolną, $p = 0,05$ - differences between plots 1-4 and control plot are significant at $p = 0.05$

5.4.2. Struktura dominacji

W badanych młodnikach sosnowych w zgrupowaniach Oribatida na 22 stanowiskach dominował *Tectocephus velatus* [55, 102, 105, 106, 108-110]. Poza nim na pierwszym miejscu w hierarchii zgrupowań występowały: *Chamobates schuetzi*, *Hemileius initialis*, *Oppiella minus* i *Oribatula tibialis*.

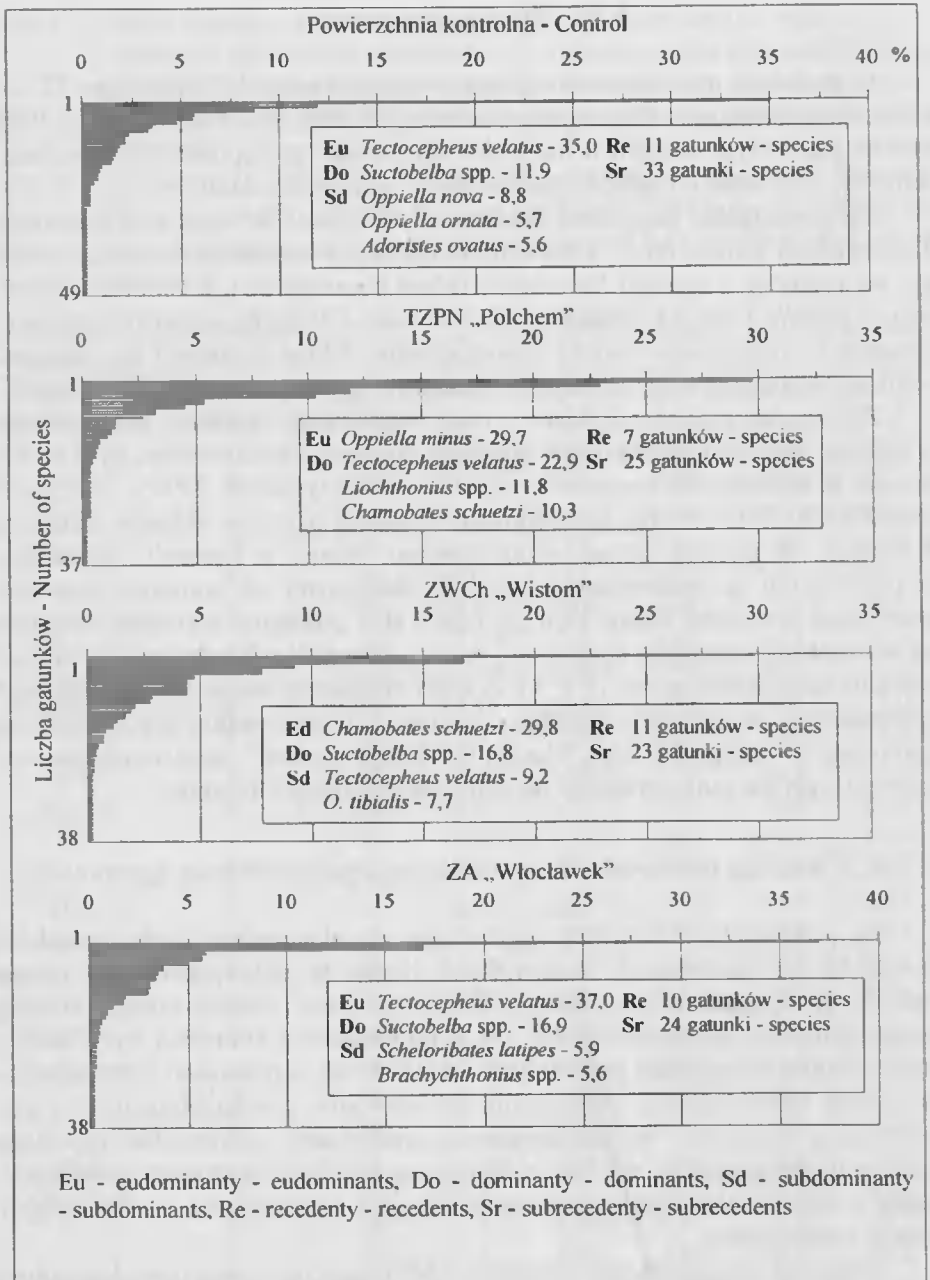
Na powierzchni kontrolnej dominował zaliczony do klasy eudominantów *Tectocephus velatus* (rys. 7). Na drugim miejscu w hierarchii dominacji znalazły się roztocze z rodzaju *Suctobelba* (klasa dominantów), a subdominantami były: *Oppiella nova*, *O. ornata* i *Adoristes ovatus*. Ponadto stwierdzono występowanie 11 recedentów oraz 33 subrecedentów. Układ dominacji tego zgrupowania można uznać więc za dość równomierny i typowy dla borów sosnowych.

Zanieczyszczenia emitowane przez analizowane zakłady przemysłowe w różnym stopniu modyfikowały strukturę dominacji mechowców, było to widoczne w najbliższym otoczeniu emitorów zanieczyszczeń. TZPN „Polchem” oraz ZWCh „Wistom” nie spowodowały zmian w ogólnym układzie struktury dominacji. W pobliżu zakładów odnotowano zmiany w hierarchii gatunków, w porównaniu ze stanowiskami bardziej oddalonymi od emitorów oraz powierzchnią kontrolną. Imisje ZCh „Police” i HM „Głogów” wyraźnie wpłynęły na wyostrzenie struktury dominacji - w obu przypadkach odnotowano występowanie superdominantów (rys. 8). Z kolei alkaliczne imisje KCW „Kujawy” spowodowały wyrównanie struktury dominacji w porównaniu z powierzchnią kontrolną. W przypadku ZA „Włocławek” i ZCh „Luboń” nie stwierdzono wyraźnego wpływu zanieczyszczeń na strukturę dominacji Oribatida.

5.4.3. Analiza różnorodności gatunkowej i podobieństwa zgrupowań

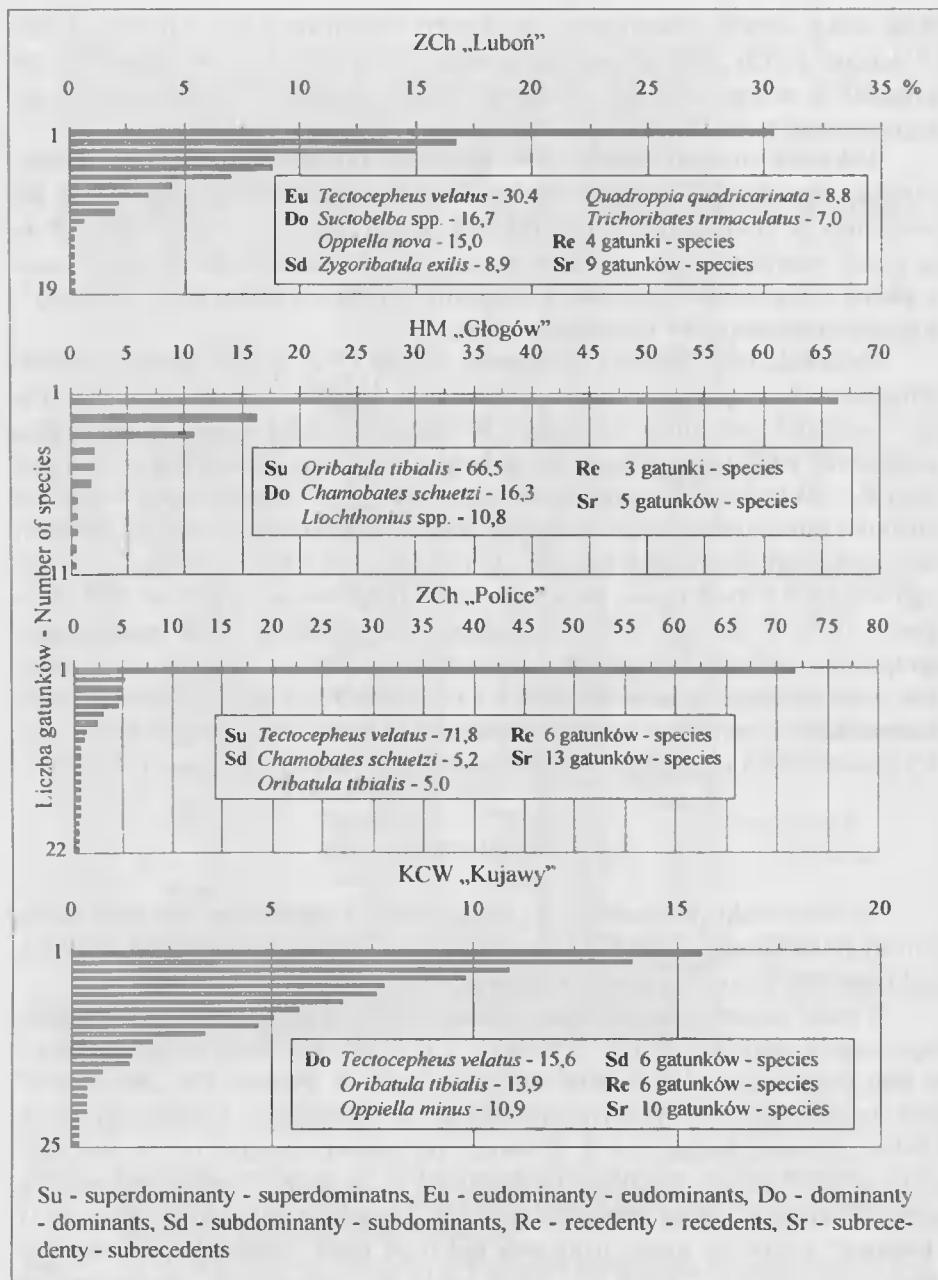
Na powierzchni kontrolnej odnotowano wysoką średnią liczbę gatunków ($s = 18,1$), na pozostałych stanowiskach liczba ta była przeważnie niższa (tab. 7). W rejonach ZCh „Luboń” i KCW „Kujawy” różnice między średnią liczbą gatunków na stanowiskach 1-4 a powierzchnią kontrolną były istotne statystycznie. W rejonach pozostałych zakładów nie odnotowano istotnych statystycznie różnic między oddalonymi od emitorów powierzchniami 4 a powierzchnią kontrolną. W analizowanych transektach powierzchni najniższą średnią liczbę gatunków notowano zawsze na najsilniej skażonych powierzchniach 1, różnice pomiędzy tymi stanowiskami a powierzchnią kontrolną były istotne statystycznie.

Wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona na powierzchni kontrolnej wynosił 2,48. Wartość tę można uznać za typową dla zgrupowania mechowców boru sosnowego. Wyjątkowo niską wartość wskaźnika H stwierdzono na powierzchni 1 w rejonie HM „Głogów” (1,08) oraz na powierzchniach 1-3 w okolicach ZCh „Police” (0,91-1,37).



Rys. 7. Struktura dominacji Oribatida w glebach młodników sosnowych na powierzchni kontrolnej oraz na stanowiskach I w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig. 7. Oribatida dominance structures in soils of young Scots pine forests of the control and plots I in the vicinity of the factories studied



Rys. 8. Struktura dominacji Oribatida w glebach młodników sosnowych na stanowiskach I w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig. 8. Oribatida dominance structures in soils of young Scots pine forests of plots I in the vicinity of the factories studied

Dość niską wartość omawianego wskaźnika odnotowano też w pobliżu TZPN „Polchem” i ZCh „Luboń” oraz na powierzchni 2 przy ZA „Włocławek” i stanowisku 3 w rejonie HM „Głogów”. Różnice między wymienionymi powierzchniami a stanowiskiem kontrolnym były istotne statystycznie.

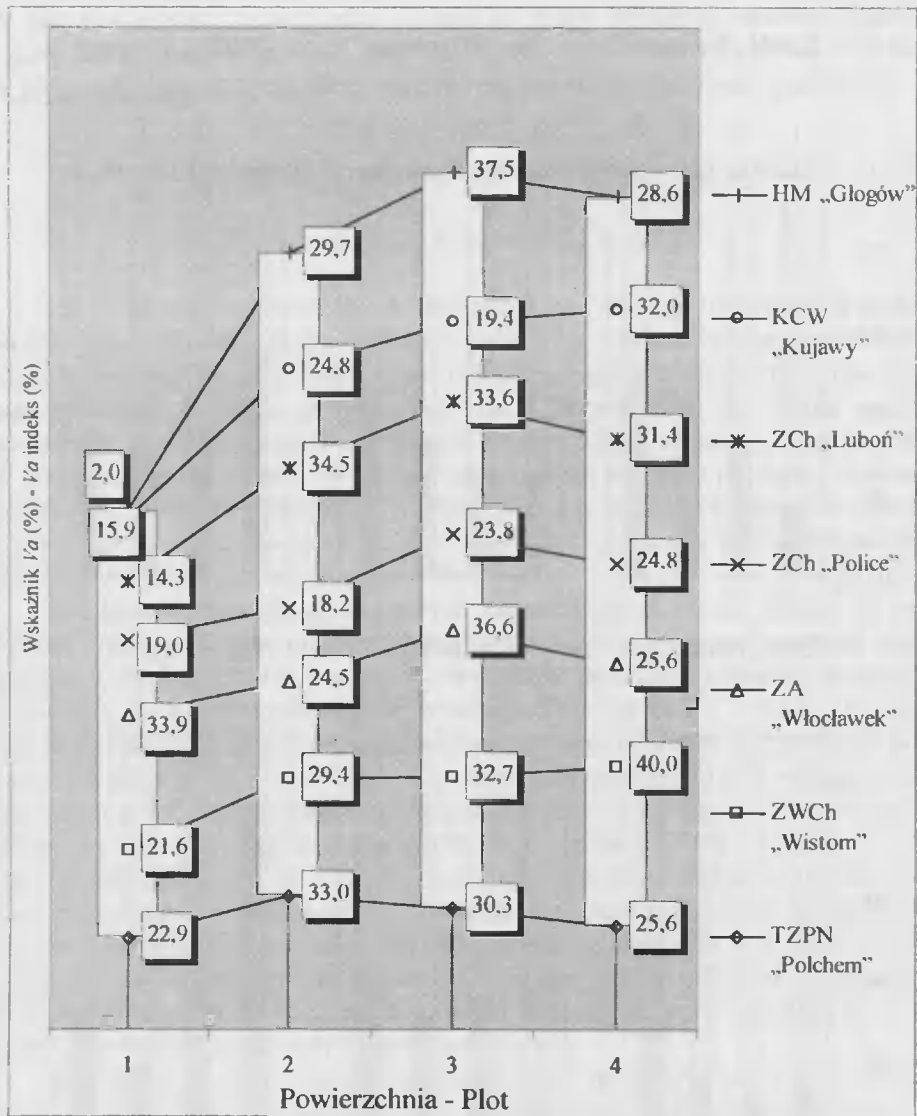
Wskaźnik równomierności E w badanych młodnikach był zróżnicowany i wahał się od 0,27 do 0,80. Niską wartość tego wskaźnika, podobnie jak wskaźnika H , stwierdzono w pobliżu HM „Głogów” oraz w rejonie ZCh „Police”. Jest interesujące, że wyraźny wzrost wartości wskaźnika E zanotowano w glebie silnie zanieczyszczonej związkami wapnia w pobliżu KCW „Kujawy”, pomimo dużego spadku liczby gatunków.

Wskaźniki podobieństwa zgrupowań (Ja , Re i Va) liczone między powierzchnią kontrolną a powierzchniami 1-4. W rejonach ZWCh „Wistom” i ZCh „Police” wielkość wskaźnika Ja spadała w kierunku źródeł emisji. W przypadku pozostałych emitorów tendencja ta nie była tak wyraźna, jednak zawsze z wyjątkiem ZA „Włocławek”, najniższą wartość wskaźnika Ja stwierdzono w glebach najsilniej zanieczyszczonych. Wskaźnik Renkonena dla oddalonych od emitorów zanieczyszczeń stanowisk 4 był dość wysoki (51,1-64,3 %). Najmniejszą wartość tego wskaźnika stwierdzono dla zgrupowania mechowców w pobliżu HM „Głogów” - 10 %. Wskaźnik Va (rys. 9) wskazuje na stosunkowo duże podobieństwo zgrupowań mechowców między powierzchnią kontrolną a odległymi od zakładów przemysłowych powierzchniami 3 i 4 (średnio 30,5 i 29,7 %), niższe między stanowiskiem kontrolnym a powierzchniami 2 (27,7 %), zaś wyraźnie niższe między powierzchnią kontrolną a najsilniej skażonymi powierzchniami 1 (18,5 %).

5.4.4. Struktura troficzna

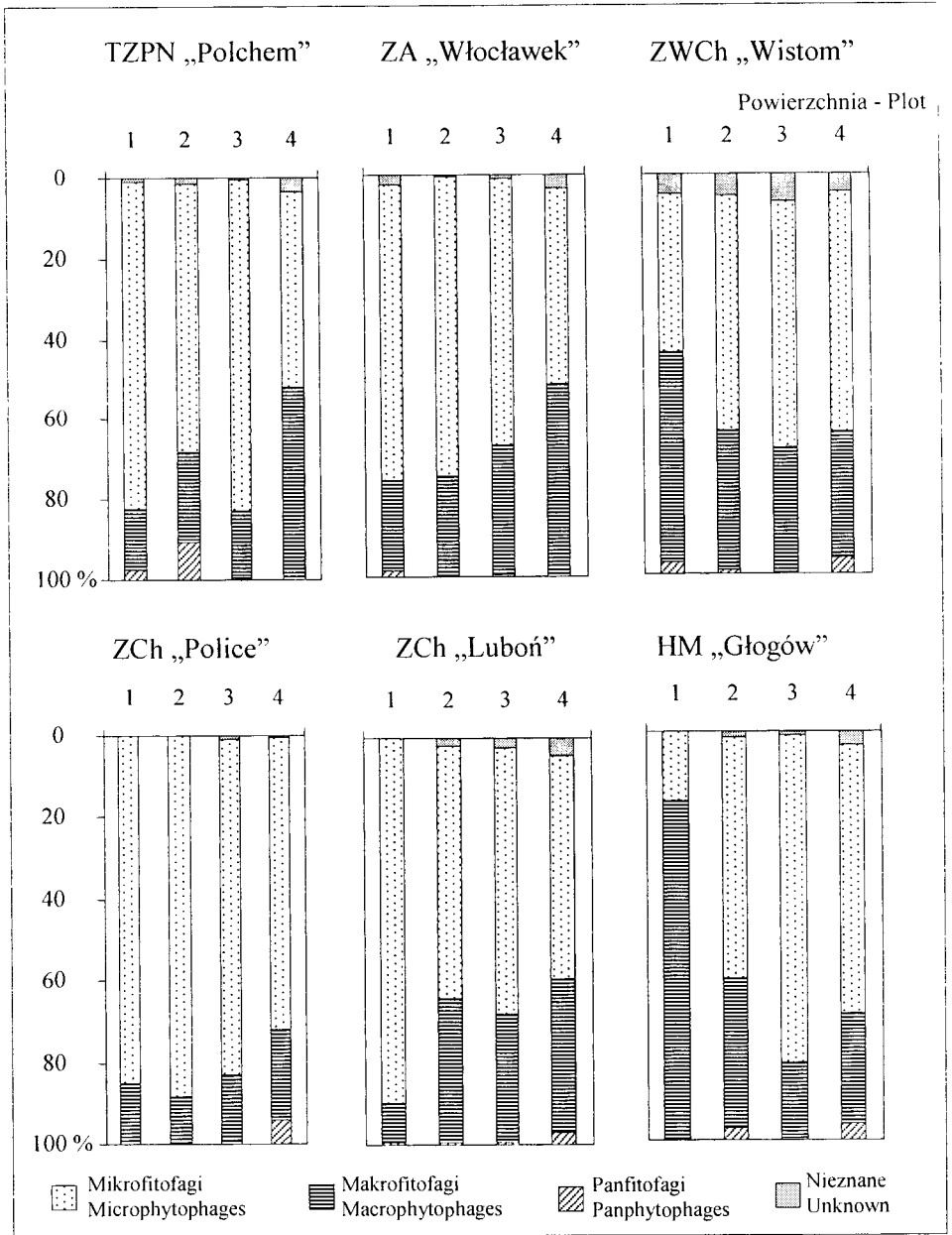
Na stanowisku kontrolnym w zgrupowaniu mechowców wyraźnie dominowały mikrofitofagi (75,3 %), mniej licznie występowały panfitofagi (20,9 %), nieliczne były natomiast makrofitofagi (3,2 %).

Wysoki udział mikrofitofagów zanotowano w pobliżu emitujących zanieczyszczenia siarkowe TZPN „Polchem” (81,2 %), ale także na stanowisku 3 w tym rejonie (rys. 10). Udział mikrofitofagów w pobliżu ZA „Włocławek” oraz na stanowisku 2 był wyraźnie wyższy, w porównaniu z odległymi od zakładów powierzchniami 3 i 4. Również na powierzchniach 1-3 w okolicach ZCh „Police” oraz w najbliższym otoczeniu ZCh „Luboń” udział mikrofitofagów był większy niż na stanowiskach 4. W transekcie powierzchni przy KCW „Kujawy” udział tej grupy troficznej był dość niski, szczególnie na stanowiskach 1 (57,4 %) i 3 (44,3 %). Niski udział mikrofitofagów odnotowano też w pobliżu ZWCh „Wistom”, gdzie najliczniejsze były panfitofagi (52,9 %). Na szczególną uwagę zasługuje układ struktury troficznej mechowców w transekcie powierzchni w rejonie HM „Głogów”. Na stosunkowo oddalonej od emitora zanieczyszczeń powierzchni 3 w zgrupowaniu stwierdzono wysoki udział mikrofitofagów (80,2 %).



Rys. 9. Wskaźnik podobieństwa zgrupowań mechowców V_a między powierzchnią kontrolną a stanowiskami 1-4 w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig. 9. V_a index similarity measures of Oribatida community between control and plots 1-4 in soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied



Rys. 10. Struktura troficzna Oribatida w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig. 10. Oribatida trophic structure in soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied

W kierunku emitora zanieczyszczeń udział tej grupy troficznej raptownie spadał i przy hucie osiągnął niespotykany na innych stanowiskach poziom 16,9%. W glebie najsilniej skażonej metalami ciężkimi wyraźnie dominowały panfitofagi.

5.5. Charakterystyka ekologiczna wybranych gatunków

5.5.1. *Adoristes ovatus* (C.L. Koch)

Jest to mechowiec zaliczany do gatunków leśnych. Optymalnym dla niego środowiskiem są gleby lasów iglastych [149, 188, 240]. *Adoristes ovatus* zaliczany jest do panfitofagów [201]. Lions i Gourbiere [136] obserwowali żerowanie tego gatunku na martwym igliwiu, a Seniczak [208] stwierdził jego liczne występowanie w świeżo opadłych szczątkach roślinnych. Z literatury wynika, że *A. ovatus* występuje głównie w przypowierzchniowej warstwie próchnicy nadkładowej [159, 209]. Van Straalen i Verhoef [256] w badaniach laboratoryjnych wykazali jego acydofilność. W ściółce brzozonej *A. ovatus* okazał się jednak wrażliwy na wzrost zakwaszenia gleby [67].

W badanych młodnikach sosnowych zagęszczenie *A. ovatus* wahało się od 0,06 do 16,84 tys. osobn./m² (tab. 8). Na powierzchni kontrolnej liczebność tego gatunku wynosiła 7,06 tys. osobn./m². Wskaźniki dominacji i stałości występowania były na tej powierzchni dość wysokie - $D = 5,6\%$ i $C = 93\%$ (tab. 9). Między oddalonymi od emitorów zanieczyszczeń stanowiskami 4 a powierzchnią kontrolną przeważnie nie stwierdzano istotnych statystycznie różnic w zagęszczeniu gatunku. Jedynym wyjątkiem była powierzchnia 4 w rejonie ZCh „Police”, gdzie gatunek ten występował nielicznie. W przypadku TZPN „Polchem”, ZA „Włocławek”, ZCh „Luboń” i KCW „Kujawy” w lokalnych układach liczebności stwierdzono istotne statystycznie różnice między stanowiskami 4 a powierzchniami leżącymi bliżej zakładów. W najbliższym otoczeniu ZCh „Luboń” i HM „Głogów” nie stwierdzono obecności omawianego gatunku. Spadek liczebności *A. ovatus* w kierunku emitora zanieczyszczeń odnotowano w rejonie ZWCh „Wisłom”, jednak różnice nie były istotne statystycznie.

Wrażliwość *A. ovatus* na imisje przemysłowe może wynikać z jego preferencji do wierzchniej warstwy gleby. Na badanym terenie gatunek ten najliczniej występował w podpoziomie surowinowym [55, 102, 105, 106, 108-110], a średnie proporcje ilościowe w kolejnych warstwach profilu glebowego Ol, Of/h, AEes' i AEes" wynosiły odpowiednio 1 : 0,32 : 0,01 : 0,002. Przypowierzchniowa warstwa gleby jest z reguły najsilniej narażona na bezpośrednie oddziaływanie szkodliwych imisji. *Adoristes ovatus* jest ponadto gatunkiem żerującym na martwym igliwiu [138], które może być w dużym stopniu skażone. Wśród zebranego materiału przeważały formy dorosłe mechowca, które stanowiły 71,8 % wszystkich okazów.

Tabela 8. Zagęszczenie niektórych gatunków mechowców (w tys. osobn./m²) w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych oraz na powierzchni kontrolnej
 Table 8. Abundance (1000 individuals per m²) of some Oribatida species in young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied and of the control

Gatunek Species	Powierzchnia Plot	Zakład - Factory										Powierzchnia kontrolna Control		
		TZPN „Polchem”	ZWCh „Wiśtom”	ZA „Włocławek”	ZCh „Police”	ZCh „Luboń”	KCW „Kujawy”	HM „Głogów”	9	8	7			
<i>A. ovatus</i>	1	2,38 ^x	2,77	2,76 ^x	5,11						0,06 ^{x*}			-
	2	1,65 ^{x*}	4,26	2,62 ^x	2,88	5,19 ^x					1,85*	5,43		-
	3	9,47	7,83	3,56 ^x	1,94*	7,91 ^x					3,94	16,84 ^{x*}		-
	4	9,19	6,32	9,19	1,76*	11,34					5,49	5,94		7,06
<i>C. schuetzi</i>	1	33,39 ^{x*}	18,66 ^{x*}	2,38	5,77	0,09 ^x						8,02		-
	2	3,96	5,91	0,42	7,15	20,62*					0,31	35,52 ^{x*}		-
	3	0,04	1,32	8,95	0,16	4,27 ^x					0,01	3,74		-
	4	0,21	6,12	0,21	0,81	15,79*					0,11	11,92*		0,03
<i>E. torulosus</i>	1	0,49	2,75 ^x	0,39										-
	2	0,03*	0,47	0,37	0,07	0,74					2,21	1,85 ^x		-
	3	0,22	4,30 ^{x*}	0,47	0,89	0,96					1,09	2,17		-
	4	0,80	0,75	0,80	0,36	1,08					2,44	5,10*		1,89
<i>M. puberulenta</i>	1	1,83	1,79	3,03	0,09	1,21					2,42			-
	2	4,70 ^{x*}	3,32	6,93 ^{x**}	4,85 ^{x*}	1,20					4,22 ^{x**}	0,54		-
	3	3,42	2,64	0,85	6,66 ^{x*}	2,07					2,74	0,05		-
	4	1,12	1,99	1,12	0,38	0,06					0,83	0,54		0,45
<i>O. minus</i>	1	95,98*	0,72	0,32	0,05	1,95					3,45			-
	2	37,08*	7,10	1,41	0,04	0,41					4,22	7,27		-
	3	35,63*	0,86	6,20		0,75					0,26	1,03		-
	4	7,04	10,03	7,04	20,86	14,54					2,29	2,47		2,74

Tabela 8 cd.
Table 8 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>O. nova</i>										
1		14.72 [^]		2.97	2.49*	0.27*	8.59 [^]	3.11	0.83 [^] *	-
2		22.20 [^] *		3.06	0.46*	0.37*	10.93	6.80	3.71 [^]	-
3		16.70 [^]		2.58*	12.97 [^]	0.76*	1.53*	0.38*	12.53	-
4		2.70*		7.12	2.70*	6.38	17.10	0.22*	12.54	11.01
<i>O. tibialis</i>										
1		4.84		4.84	0.65	5.57	0.33 [^]	4.42 [^]	32.71 [^] *	-
2		5.28		5.28	20.72 [^] *	0.12	8.54 [^]	13.03	5.37	-
3		0.04		4.03	11.47	0.96	5.91 [^]	6.65 [^]	10.32	-
4		5.66		0.97	5.66	0.90	17.83*	16.38*	6.18	4.44
<i>Q. quadricarinata</i>										
1		0.02 [^]		1.74	2.44	0.01	5.06 [^] *	2.16	0.12	-
2		0.08 [^]		0.16	3.19	0.04	5.23 [^] *	1.84	-	-
3		0.01 [^]		2.93	2.17	0.04	4.41 [^]	0.66	-	-
4		2.73		0.64	2.73	0.36	0.06	2.24	-	2.09
<i>S. latipes</i>										
1		8.67		1.28 [^]	4.78		0.04 [^]	0.02	0.65 [^]	-
2		21.60 [^] *		10.94	0.03		5.53 [^]	0.07	-	-
3		27.64 [^] *		7.04 [^]	1.52	1.77	2.81 [^]	7.26	-	-
4		6.37		14.54*	6.37	3.98	26.78*	1.85	9.42	6.00
<i>T. velatus</i>										
1		74.07 [^]		5.79*	30.17	79.86 [^] *	17.42	4.95 [^] *	0.04 [^] *	-
2		102.24 [^] *		23.64	42.72	119.03 [^] *	36.69	28.78	50.99	-
3		87.15 [^] *		17.50	15.12	54.09	22.26	8.34	94.41 [^] *	-
4		12.98		34.81	12.98	21.62	52.04	34.39	40.43	43.88

[^] istotność różnic między powierzchniami 1-3 a powierzchniami 4, p = 0.05 - differences between plots 1-3 and plots 4 are significant at p = 0.05
* istotność różnic między powierzchniami 1-4 a powierzchnią kontrolną, p = 0.05 - differences between plots 1-4 and control are significant at p = 0.05

Tabela 9. Wskaźniki dominacji (D) i stałości występowania (C) dla niektórych gatunków mechowców w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych oraz na powierzchni kontrolnej

Table 9. Dominance (D) and constancy (C) indices calculated for some Oribatida species in soils of young Scots pine forests in the vicinity of the factories studied and of the control

Gatunek Species	Pow. Plot	Zakład - Factory																		Powierzchnia kontrolna Control		
		TZPN „Polchem”		ZWCh „Wistom”		ZA „Wrocławek”		ZCh „Police”		ZCh „Luboń”		KCW „Kujawy”		HM „Głogów”		D	C	D	C			
		D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
<i>A. ovatus</i>	1	0,7	80	4,4	88	3,4	85	4,6	95			0,2	10									
	2	0,5	78	4,7	100	2,0	78	2,0	90	4,4	83	1,6	78	3,7	60							
	3	3,3	95	7,8	100	3,7	98	2,5	73	9,4	98	5,8	80	6,5	98							
	4	8,8	93	4,8	100	8,8	93	1,5	83	5,8	98	5,6	100	3,9	98	5,6	93					
<i>C. schuetzi</i>	1	10,3	100	29,8	100	2,9	80	5,2	93	0,2	5			16,3	53							
	2	1,3	95	6,5	93	0,3	20	4,9	98	17,4	90	0,3	20	23,9	100							
	3	+	3	1,3	38	9,3	85	0,2	20	5,1	100	+	3	1,4	75							
	4	0,2	23	4,7	50	0,2	23	0,7	75	8,1	100	0,1	10	7,8	100	+	5					
<i>E. torulosus</i>	1	0,2	28	4,4	83	0,5	48															
	2	+	3	0,5	48	0,3	33	+	13	0,6	55	1,9	58	1,2	88							
	3	0,1	33	4,3	98	0,5	28	1,1	58	1,1	73	1,6	50	0,8	88							
	4	0,8	50	0,6	58	0,8	50	0,3	38	0,6	63	2,5	80	3,3	83	1,5	80					
<i>M. puberulenta</i>	1	0,6	50	2,9	85	3,7	63	0,1	5	2,1	53	7,6	90									
	2	1,5	98	3,6	95	5,3	95	3,3	95	1,0	78	3,6	95	0,4	40							
	3	1,2	88	2,6	95	0,9	48	8,4	90	2,5	88	4,0	95	+	5							
	4	1,1	63	1,5	80	1,1	63	0,3	35	+	8	0,8	68	0,4	48	0,4	43					

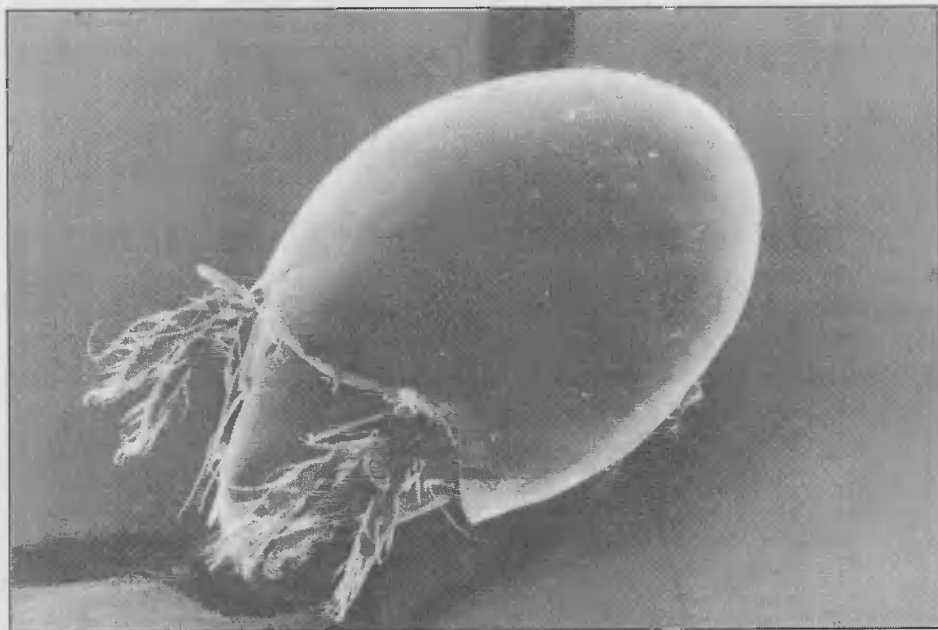
Tabela 9 cd.
Table 9 continued

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>O. minus</i>	1	29,7	83	1,2	33	0,4	20	+	5	3,4	28	10,9	58					
	2	12,2	75	7,8	65	1,1	35	+	3	0,3	25	3,6	23		4,9	38		
	3	12,4	75	0,9	23	6,4	68			0,9	23	0,4	13		0,4	18		
	4	6,7	43	7,6	70	6,7	43	18,1	80	7,5	53	2,4	35		1,6	48	2,2	15
<i>O. nova</i>	1	4,6	100	4,7	88	3,1	60	0,2	28	15,0	50	9,8	80		1,7	63		
	2	7,3	98	3,4	55	0,3	25	0,3	33	9,2	90	5,7	83		2,5	70		
	3	5,8	90	2,6	73	13,4	98	1,0	43	1,8	48	0,6	33		4,8	100		
	4	2,6	73	5,4	88	2,6	73	5,5	88	8,8	100	0,2	15		8,2	90	8,8	98
<i>O. tibialis</i>	1			7,7	95	0,8	38	5,0	65	0,6	18	13,9	100		66,5	100		
	2			5,8	98	15,7	100	0,1	18	7,2	78	11,0	98		3,6	98		
	3	+	5	4,0	100	11,9	75	1,2	45	7,0	100	9,7	98		4,0	98		
	4	5,4	93	0,7	70	5,4	93	0,8	48	9,2	100	16,8	100		4,0	55	3,5	100
<i>Q. quadricarinata</i>	1	+	3	2,8	63	3,0	70	+	3	8,8	73	6,8	63					
	2	+	8	0,2	20	2,4	83			4,4	90	1,6	55		0,1	18		
	3	+	3	2,9	68	2,2	78	+	8	5,3	90	1,0	60					
	4	2,6	88	0,5	33	2,6	88	0,3	38	+	13	2,3	83			1,7		80
<i>S. latipes</i>	1	2,7	100	2,0	65	5,9	98			0,1	3	+	3					
	2	7,1	98	12,0	100	+	5			4,7	98	0,1	13		0,4	23		
	3	9,7	100	7,1	100	1,6	28	2,2	83	3,3	75				2,8	90		
	4	6,1	100	11,0	100	6,1	100	3,5	93	13,8	100	1,9	75		6,2	83	4,8	95
<i>T. velatus</i>	1	22,9	100	9,2	88	37,0	98	71,8	100	30,4	95	15,6	88		0,1	5		
	2	33,7	100	26,0	100	32,4	98	81,3	100	31,0	100	24,3	100		34,3	100		
	3	30,4	100	17,5	100	15,6	100	68,4	98	26,5	100	12,2	93		36,5	98		
	4	12,4	100	26,5	100	12,4	100	18,8	93	26,7	100	35,4	98		26,5	100	35,0	100

+ $D < 0,1$; Pow. - Powierzchnia

5.5.2. *Chamobates schuetzi* (Oudemans)

Seniczak i Solhøy [232] stwierdzili, że *C. schuetzi* (rys. 11) jest mechowcem pospolitym na terenie Polski, który nie był wcześniej wykazywany na skutek mylnego zaliczania go do innych gatunków. Usher [254] zaliczył ten gatunek do grupy mechowców boru sosnowego występujących w podpoziomach O1 i Of. Jego obecność stwierdzono ponadto w płatach porostów i mchów na wrzosowiskach, płatach porostów na wydmach, ściółce iglastej pod samotnie rosnącymi jodłami, ściółce lasów świerkowych, a więc w środowiskach suchych [68]. W płatach z runem mszystym *C. schuetzi* występował liczniej niż w płatach bez runa [101, 233]. Gatunek ten tolerował zanieczyszczenia siarkowe [67] oraz herbicydy [232].

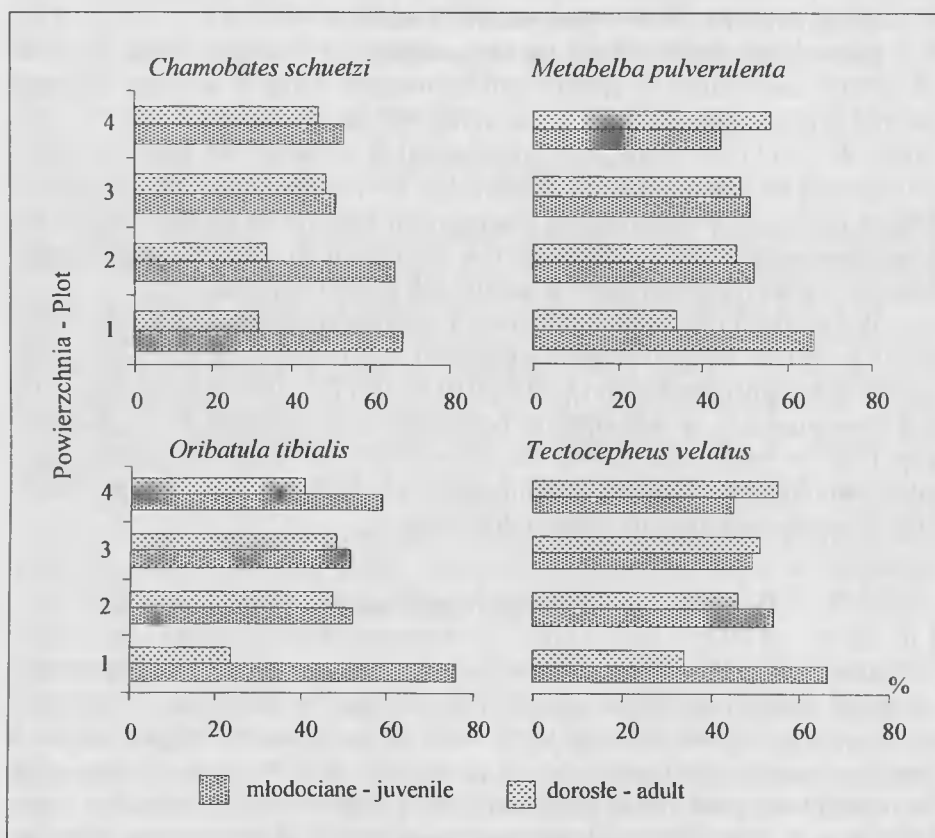


Rys. 11. *Chamobates schuetzi* - fotografia SEM ($\times 225$)

Fig. 11. *Chamobates schuetzi* - SEM photograph ($\times 225$)

Na stanowisku kontrolnym zagęszczenie tego mechowca było niskie - 0,03 tys. osobn./m² (tab. 8). Na oddalonych od emitatorów zanieczyszczeń powierzchniach 4 liczebność wahała się od 0,11 do 15,79 tys. osobn./m², bliżej emitatorów zanieczyszczeń osiągała niekiedy bardzo wysoki poziom. Wysoką liczebność *C. schuetzi* osiągnął w pobliżu TZPN „Polchem” i ZWCh „Wistom”, a więc w glebie skażonej głównie związkami siarki. Wysokie zagęszczenie omawianej populacji odnotowano też na powierzchniach 2 w okolicach ZCh „Luboń” i HM „Głogów”.

Pionowe rozmieszczenie *C. schuetzi* w poziomie organicznym na badanym terenie było dość zróżnicowane. Gatunek w zależności od stanowiska preferował podpoziomy surowinowy lub butwinowo-epihumusowy [55, 102, 105, 106, 108-110]. Średnie proporcje ilościowe w kolejnych podpoziomach i poziomach gleby O1, Of/h, AEes' i AEes'' wynosiły odpowiednio 1 : 0,9 : 0,01 : 0,004. W zbadanym materiale 63,1 % osobników *C. schuetzi* stanowiły formy młodociane. Na oddalonych od emitorów zanieczyszczeń powierzchniach 3 i 4 udział tych form był wyraźnie niższy niż bliżej emitorów zanieczyszczeń (rys. 12). Szczególnie wysoką liczebność okazów młodocianych odnotowano w pobliżu TZPN „Polchem” (22,84 tys. osobn./m²) [108] i ZWCh „Wistom” (11,78 tys. osobn./m²) [106] oraz na stanowiskach 1 i 2 w okolicach HM „Głogów” (odpowiednio 7,27 i 21,17 tys. osobn./m²) [53].



Rys. 12. Struktura wiekowa niektórych gatunków mechowców w glebach młodników sosnowych w okolicach wybranych zakładów przemysłowych

Fig 12. Age structure of some Oribatida species in young Scots pine forest soils in the vicinity of the factories studied

5.5.3. *Eupelops torulosus* (C.L. Koch)

Jest to mechowiec występujący głównie w glebach kwaśnych, szczególnie w lasach iglastych [44, 188, 240], jego występowanie notowano również w ściółce bukowej [11, 265]. Kratzmann [126] uważa, że *E. torulosus* - pomimo relatywnie niskiej liczebności - może być dobrym indykatorem gleb o niskim pH.

Na badanym terenie występowanie *E. torulosus* odnotowano wszędzie, z wyjątkiem najbliższych okolic ZCh „Police”, ZCh „Luboń”, KCW „Kujawy” i HM „Głogów” (tab. 8). Średnie zagęszczenie tego gatunku wynosiło 1,31 tys. osobn./m². Najwyższa wartość wskaźnika *D* to 4,4 %, natomiast wskaźnik stałości występowania wahał się od 3 do 98 % (tab. 9). Układ wskaźników *A*, *D* i *C* na powierzchniach doświadczalnych może wskazywać na wrażliwość omawianego gatunku na imisje wymienionych zakładów.

Interesująco przedstawiała się zagęszczenie *E. torulosus* w rejonie KCW „Kujawy”, szczególnie w świetle spokrewnionego z nim *E. occultus*. Obydwa gatunki występowały w tym rejonie wyłącznie na stanowisku 2 (tab. 6), przy czym *E. torulosus* nieznacznie zdominował *E. occultus*. Na najsilniej zanieczyszczonej związkami wapnia powierzchni 1 występował już tylko ten ostatni. Należy dodać, że *E. occultus* jest mechowcem częstym na łąkach, rzadkim natomiast w lasach i preferującym gleby o pH od 4,6 do 7,5 [188]. Jego zasadoлюбność została też stwierdzona w warunkach laboratoryjnych [256].

W badanych młodnikach sosnowych średnie proporcje ilościowe *E. torulosus* w kolejnych podpoziomach i poziomach profilu glebowego Ol, Of/h, AEes' i AEes" wynosiły odpowiednio 1 : 0,6 : 0,01 : 0,004 [55, 102, 105, 106, 108-110]. Jest interesujące, że na wspomnianej powierzchni 2 w okolicach KCW „Kujawy” populacja ta migrowała głębiej, do podpoziomu butwinowo-epihumusowego, gdzie odnotowano mniejsze skażenie gleby. Na badanym terenie 54 % osobników *E. torulosus* stanowiły formy młodociane.

5.5.4. *Metabelba pulverulenta* (C.L. Koch)

Metabelba pulverulenta uważana jest za gatunek leśny, występujący również na łąkach śródleśnych, wrzosowiskach i torfowiskach [69]. Gatunek ten notowano na żyznych siedliskach leśnych, jak również na uboższych siedliskach borowych [208], w grądzie był liczniejszy niż na łąkach [187]. W Borach Tucholskich *M. pulverulenta* preferowała strefę ekotonową między borem sosnowym a łąką [228]. Jest to gatunek wykazujący pozytywną reakcję na zakwaszenie gleby, ale także tolerujący wyższe wartości pH [187].

W badanych młodnikach sosnowych średnia liczebność omawianego gatunku wynosiła 2,18 tys. osobn./m² (tab. 8). *Metabelba pulverulenta* przeważnie występowała najliczniej w glebach, gdzie poziom imisji był umiarkowany. W dojrzałym borze sosnowym w okolicach ZA „Włocławek” gatunek ten pod wpływem umiarkowanych imisji zanieczyszczeń wielokrotnie zwiększył liczebność

w porównaniu z powierzchnią kontrolną, co wiązano z eutrofizacją środowiska glebowego oraz zarastaniem dna boru trawami [101]. Omawiany gatunek dobrze dostosował się do gleby silnie zanieczyszczonej wapniem w pobliżu KCW „Kujawy”, uzyskując tam wysoki wskaźnik dominacji (tab. 9).

Metabelba pulverulenta w podpoziomie Of/h była prawie dwukrotnie liczniejsza niż w podpoziomie Ol (Ol : Of/h : AEes' : AEes" = 1 : 1,84 : 0,02 : 0,002) [102, 105, 106, 108-110]. W przeanalizowanym materiale około połowę osobników gatunku stanowiły formy młodociane. W rejonie KCW „Kujawy” na odległej od emitora powierzchni 4 w populacji dominowały formy dorosłe. Udział stadiów młodocianych wzrastał wyraźnie w kierunku emitora zanieczyszczeń i na najsilniej skażonej powierzchni I wynosił 74,1 % . Wysoki udział okazów młodocianych *M. pulverulenta* odnotowano też w pobliżu TZPN „Polchem” i ZA „Włocławek”. Na podstawie przeanalizowanego materiału można stwierdzić, że udział form preimaginalnych gatunku wzrastał wraz ze stopniem skażenia gleb (rys. 12).

5.5.5. *Oppiella minus* (Paoli)

Jest to gatunek o małych rozmiarach zamieszkujący przeważnie głębsze warstwy gleby [149, 159, 199, 240]. Był notowany w różnorodnych środowiskach: w różnych typach siedlisk leśnych [188, 208], na łąkach [18, 188, 227, 229], torfowiskach [188, 208], solnisku [104] oraz skarpie osadnika zakładów sodowych [117]. Znana jest jego wyraźna preferencja gleb kwaśnych, ale także tolerancja na średnie wartości pH [159, 188, 240]. Jest to zatem gatunek o dość szerokiej walencji ekologicznej, występujący najliczniej w glebach borów sosnowych [208].

Na powierzchni kontrolnej *O. minus* występowała nielicznie - 2,74 tys. osobn./m² (tab. 8). Między powierzchnią kontrolną a większością powierzchni doświadczalnych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w liczebności omawianego gatunku. Jedynie na stanowiskach 1-3 w rejonie TZPN „Polchem” odnotowano bardzo wysoką liczebność *O. minus* (35,63 - 95,98 tys. osobn./m²). Na najsilniej skażonej w tym rejonie powierzchni I wskaźniki *D* i *C* osiągnęły najwyższą wartość (tab. 9), co może świadczyć o tolerancji gatunku na umiarkowane zanieczyszczenia siarkowe. Jest interesujące, że mechowiec ten szczególnie licznie występował w mineralnej części gleby, tam gdzie koncentracja siarki była największa. Pionowe rozmieszczenie gatunku jest specyficzne, wyraźnie różniące go od pozostałych mechowców (Ol : Of/h : AEes' : AEes" = 1 : 5,4 : 15,9 : 10,6) [55, 102, 105, 106, 108-110]. Formy młodociane należące do gatunków z rodziny Oppiidae występowały w analizowanym materiale rzadko. Tłumaczy się to niską efektywnością ich wypłaszania metodą Tullgre-na, gdyż roztocze te są wrażliwe na wysychanie [208].



5.5.6. *Oppiella nova* (Oudemans)

Oppiella nova jest gatunkiem pospolitym w Polsce i na świecie. Stanowiska występowania tego gatunku stwierdzono od strefy klimatu tropikalnego [8, 70] do arktycznego [231, 240]. Na terenie Polski *O. nova* występowała w glebach różnych biotopów: leśnych [100, 188, 208], zadrzewień śródpolnych [164, 217, 218, 221], torfowisk [187, 208], łąk [16-18, 41, 104, 188, 269, 270] i hałd [15, 117]. Na terenach zasolonych mechowiec ten żył w glebie i na roślinach [224], a w borach sosnowych na korze drzew występował nielicznie [30, 163, 213]. *Oppiella nova* jest uważana za gatunek eurytopowy [119, 240, 263, 264], preferujący biotopy leśne [188].

Doświadczenia ze sztucznymi kwaśnymi deszczami wskazują na odporność omawianego gatunku na ten czynnik [64, 67, 216]. Gatunek wykazał też wysoki wskaźnik dominacji w zdegradowanych biotopach okolic Katowic [41]. Ponadto Bielska [17] zaliczyła go do mechowców mogących przystosować się do niekorzystnych warunków, jakie stwarzają silne zanieczyszczenia przemysłowe. Hågvar i Abrahamsen [65] stwierdzili natomiast wrażliwość *O. nova* na skażenie gleby ołowiem, czego nie potwierdziły badania Kratzmanna [126]. W badaniach akarofauny dojrzałego boru sosnowego w okolicach ZA „Włocławek” omawiany gatunek zaliczono do grupy mechowców wrażliwych na imisje związków azotu [101].

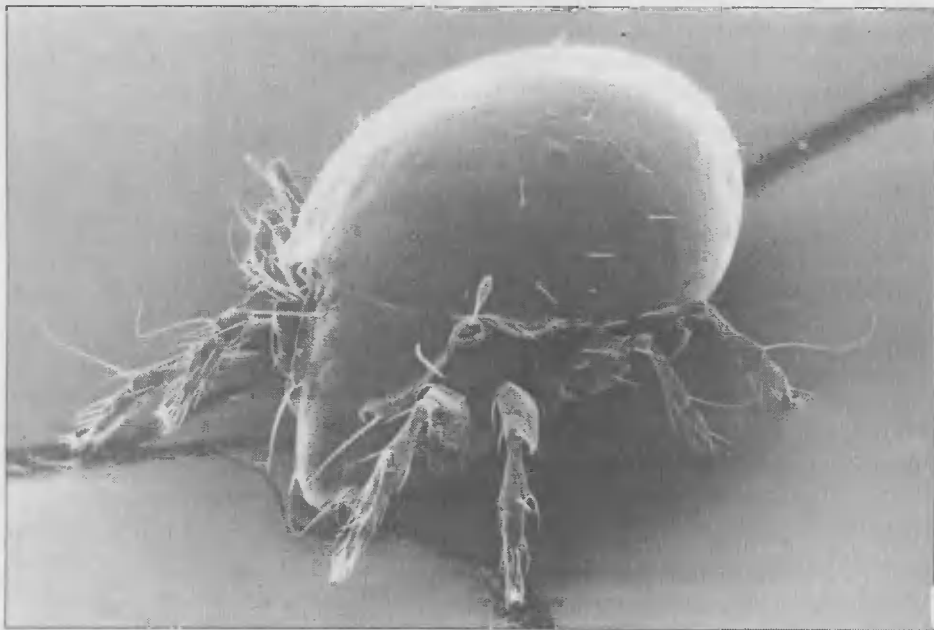
Średnia liczebność tego mechowca w badanych młodnikach sosnowych wynosiła 6,47 tys. osobn./m² (tab. 8). Występowanie *O. nova* stwierdzono na wszystkich stanowiskach doświadczalnych. Gatunek ten był szczególnie liczny na stanowisku 2 w rejonie TZPN „Polchem” - 22,2 tys. osobn./m². W tym rejonie jego zagęszczenie na stanowiskach 1-3 było wyraźnie wyższe, w porównaniu z odległą od emitora powierzchnią 4, a różnice te były istotne statystycznie. Wskaźnik dominacji gatunku na powierzchniach 1-3 był dość wysoki, wielkość wskaźnika *C* wyraźnie rosła w kierunku emitora zanieczyszczeń (tab. 9).

Niską liczebność *O. nova* odnotowano na stanowiskach 1-3 w rejonie ZCh „Police”, wartości wskaźników *D* i *C* spadały w kierunku emitora zanieczyszczeń. Gatunek ten okazał się też wrażliwy na imisje HM „Głogów”. Wskaźniki *A*, *D* i *C* spadały wyraźnie w tym rejonie wraz z rosnącym skażeniem gleby. W przypadku pozostałych zakładów przemysłowych nie udało się wykazać jednoznacznej reakcji *O. nova* na imisje zanieczyszczeń.

Pionowe rozmieszczenie omawianego mechowca w profilu glebowym wskazuje na wyraźną preferencję podpoziomu butwinowo-epihumusowego (Ol : Of/h : AEes' : AEes" = 1 : 5,8 : 0,7 : 0,1) [55, 102, 105, 106, 108-110], co jest zgodne z badaniami innych autorów [132, 208] oraz własnymi obserwacjami [101].

5.5.7. *Oribatula tibialis* (Nicolet)

Zdaniem większości autorów *O. tibialis* (rys. 13) jest gatunkiem eurytopowym [119, 240, 263, 264]. Rajski [188] zalicza jednak ten gatunek do mechowców leśnych, gdyż najliczniejsze jego występowanie odnotował w borze sosnowym. Inni autorzy stwierdzili jego obecność na wysokich torfowiskach [172], stepach [9], porostach i mchach naskalnych [252]. *Oribatula tibialis* występowała także na korze drzew [30, 163, 213]. Według Rajskiego [188] zagęszczenie oraz wskaźnik stałości występowania tego gatunku są większe w środowiskach suchych i o niskim pH gleby, co jest typowe dla siedlisk borowych.



Rys. 13. *Oribatula tibialis* - fotografia SEM ($\times 160$)

Fig. 13. *Oribatula tibialis* - SEM photograph ($\times 160$)

Na powierzchni kontrolnej liczebność *O. tibialis* wynosiła 4,44 tys. osobn./m² (tab. 8). Wielokrotnie liczniejsze populacje tego gatunku, w porównaniu z powierzchnią kontrolną, stwierdzono na stanowisku 2 w rejonie ZA „Włocławek”, stanowiskach 4 w rejonach ZCh „Luboń” i KCW „Kujawy” oraz w pobliżu HM „Głogów”. Interesujący jest wzrost liczebności tego gatunku w glebie o największym poziomie skażenia metalami ciężkimi - głównie miedzią i ołowiem. W glebie tej *O. tibialis* wyraźnie dominowała w zgrupowaniu mechowców, uzyskując wyjątkowo wysoki wskaźnik dominacji $D = 66,5\%$ (tab. 9, rys. 8). Wynika z tego, że gatunek ten dobrze dostosował się do życia w skażonej glebie, co znalazło odbicie w wyjątkowo wysokiej liczebności (32,71 tys. osobn./m²).

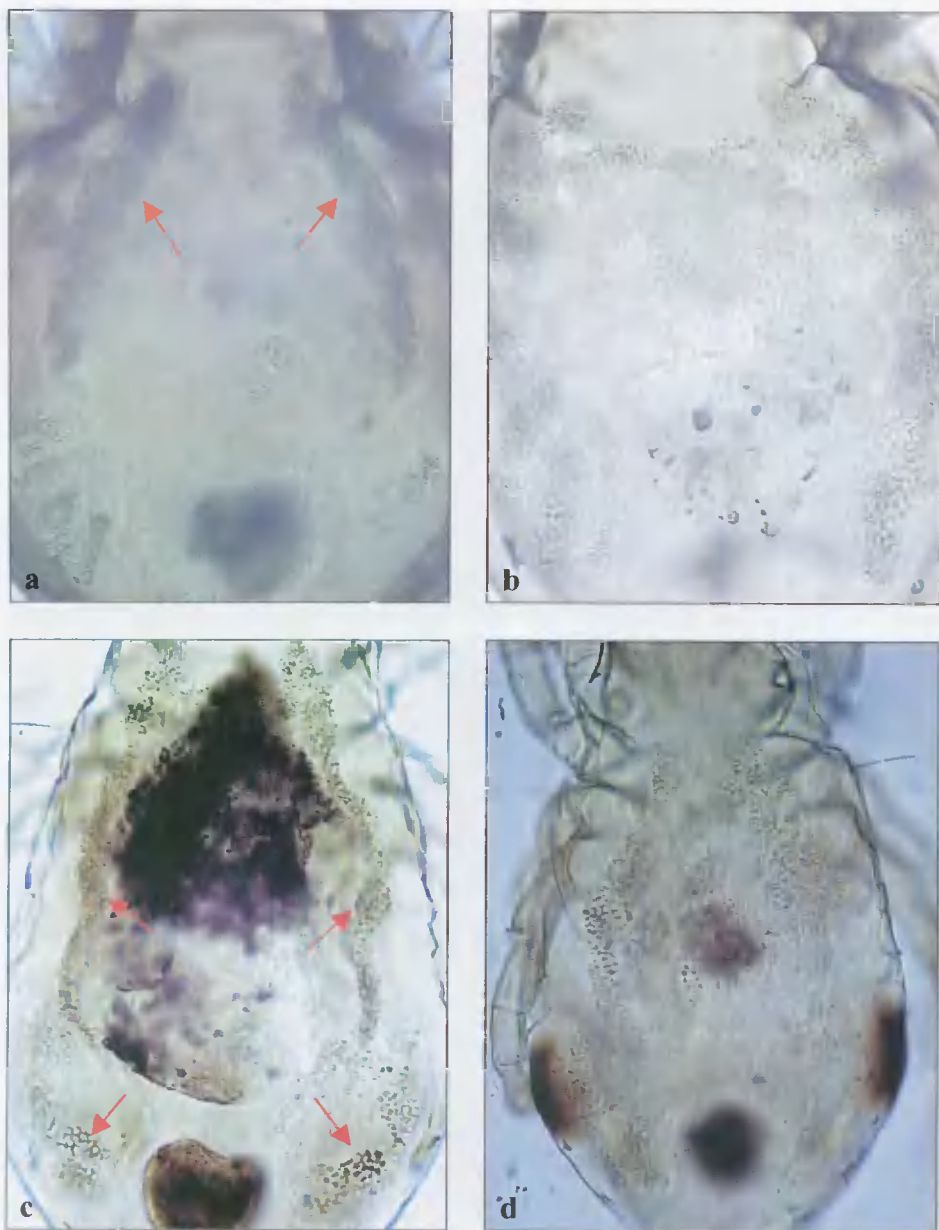
Oribatula tibialis jest mechowcem dość dużym z jasnobrązowym oskórkiem. Łatwa była zatem obserwacja organów wewnętrznych osobników dorosłych i młodocianych za pomocą mikroskopu świetlnego. U wszystkich osobników dorosłych pochodzących z powierzchni 1 położonej w pobliżu HM „Głogów” zaobserwowano w świetle mikroskopu biologicznego duże ilości charakterystycznych granul, które detoksykują i magazynują w formie nieszkodliwej metale ciężkie [125, 127, 141, 155]. Największe skupiska granul obserwowano w okolicach przedżołądka (proventriculus) i caecum (rys. 14a). U mechowców granule te były opisywane jako tzw. „gruczoly prowentrykularne” (organes recémiformes) [59, 127, 141]. Niektóre okazy *O. tibialis* posiadały granule prawie w całej części notogastralnej (rys. 14b). Granule były też dobrze widoczne u form młodocianych (rys. 14c, d). Natomiast u większości okazów pochodzących z powierzchni kontrolnej granul nie stwierdzono (rys. 15a). Na tym stanowisku niewielkie i nie-liczne granule odnotowano tylko u 5 % populacji *O. tibialis* (rys. 15b).

Specjalnie spreparowane okazy *O. tibialis* pochodzące z otoczenia HM „Głogów” obserwowano też pod mikroskopem elektronowym (TEM). Preparowanie okolic „gruczolu prowentrykularnego” okazało się bardzo trudne, ze względu na dużą twardość granul, których w tych okolicach było najwięcej (rys. 16a). Liczne granule obserwowano też w nabłonku jelita środkowego (16b). Wydaje się, że liczne występowanie opisanych granul u *O. tibialis* może świadczyć o dużych możliwościach adaptacyjnych populacji i wyjaśnić tolerancję tego gatunku na metale ciężkie.

Oribatula tibialis na badanym terenie najczęściej preferowała podpoziom butwinowo-epihumusowy [55, 102, 105, 106, 109, 110]. Średnie proporcje ilościowe w kolejnych podpoziomach i poziomach gleby Ol, Of/h, AEes' i AEes'' wynosiły odpowiednio 1 : 1,23 : 0,03 : 0,01. W pobliżu HM „Głogów” mechowce te w podpoziomie surowinowym były ponad trzykrotnie liczniejsze niż w butwinowo-epihumusowym. Na pozostałych stanowiskach w tym rejonie *O. tibialis* wyraźnie preferowała podpoziom Of/h. Inwersja pionowego rozmieszczenia populacji na najsilniej skażonej powierzchni 1, może wynikać ze zróżnicowania skażenia w profilu glebowym. Największą koncentrację metali ciężkich odnotowano bowiem w podpoziomie Of/h. W zbadanym materiale 60 % osobników omawianego gatunku stanowiły formy młodociane. W pobliżu HM „Głogów” udział tych form był większy (85 %). Znaczny udział form preimaginalnych *O. tibialis* stwierdzono też w pobliżu ZCh „Police”. Ogólnie można stwierdzić, że formy młodociane w pobliżu emitorów zanieczyszczeń były znacznie liczniejsze niż dalej od nich (rys. 12).

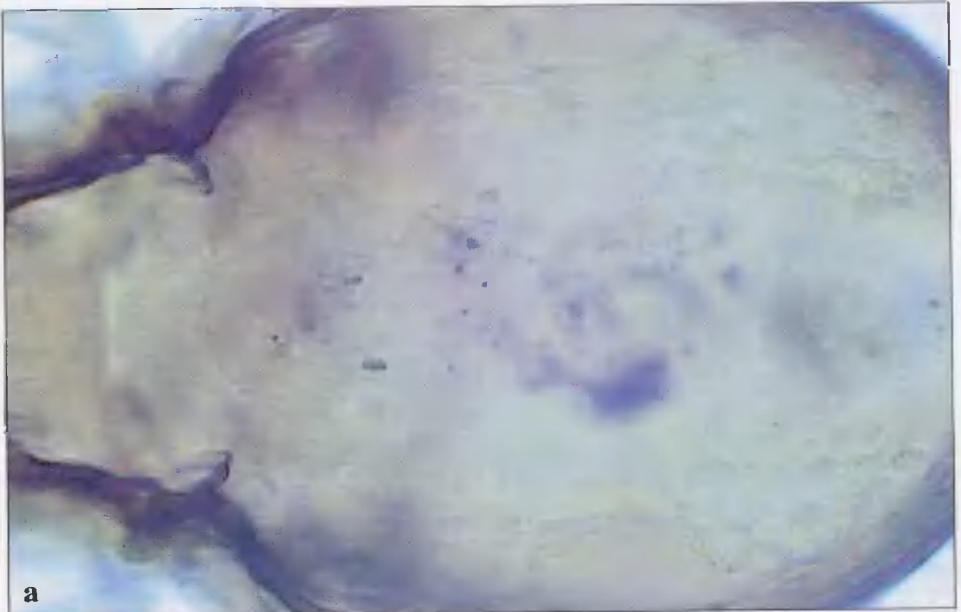
5.5.8. *Quadropia quadricarinata* (Michael)

Rajski [188] odnotował liczne występowanie *Q. quadricarinata* na torfowiskach, w olsie oraz grądzie. Mniej liczną populację tego gatunku stwierdził w borze sosnowym.

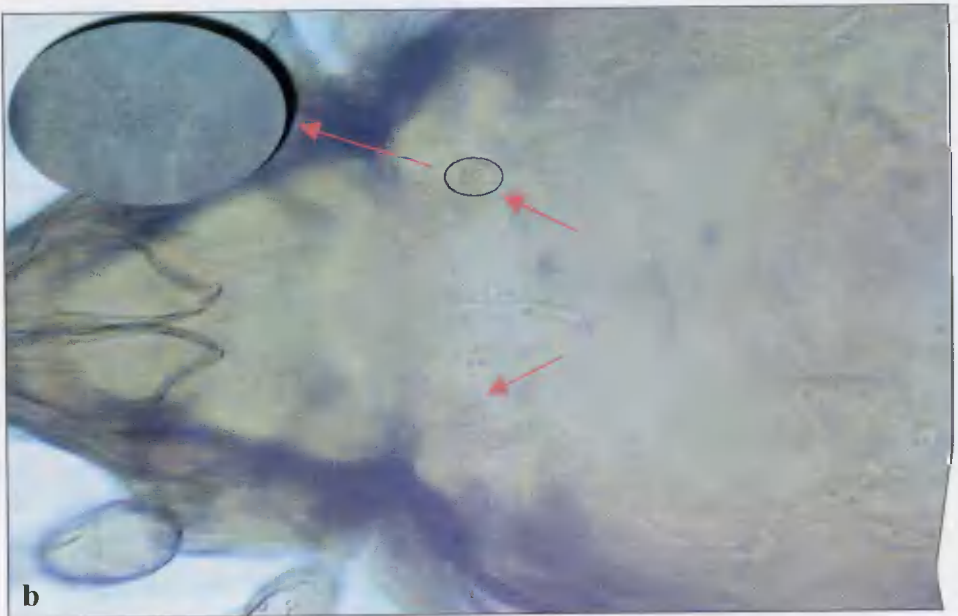


Rys. 14. *Oribatula tibialis* - okazy zebrane na powierzchni 1 przy HM „Głogów”, a - forma dorosła z licznymi granulami w okolicach przedżołądka i caecum ($\times 230$), b - forma dorosła z granulami w całej części notogastralnej ($\times 230$), c-d - formy młodociane z licznymi dużymi granulami ($\times 280$ i 230)

Fig. 14. *Oribatula tibialis* - specimens collected from plot 1 in the vicinity of the 'Głogów' Copperworks, a - adult with numerous granules in the proventriculus and caecum ($\times 230$), b - adult with granules in the notogaster ($\times 230$), c-d - juvenile with numerous relatively large granules ($\times 280$ and 230)



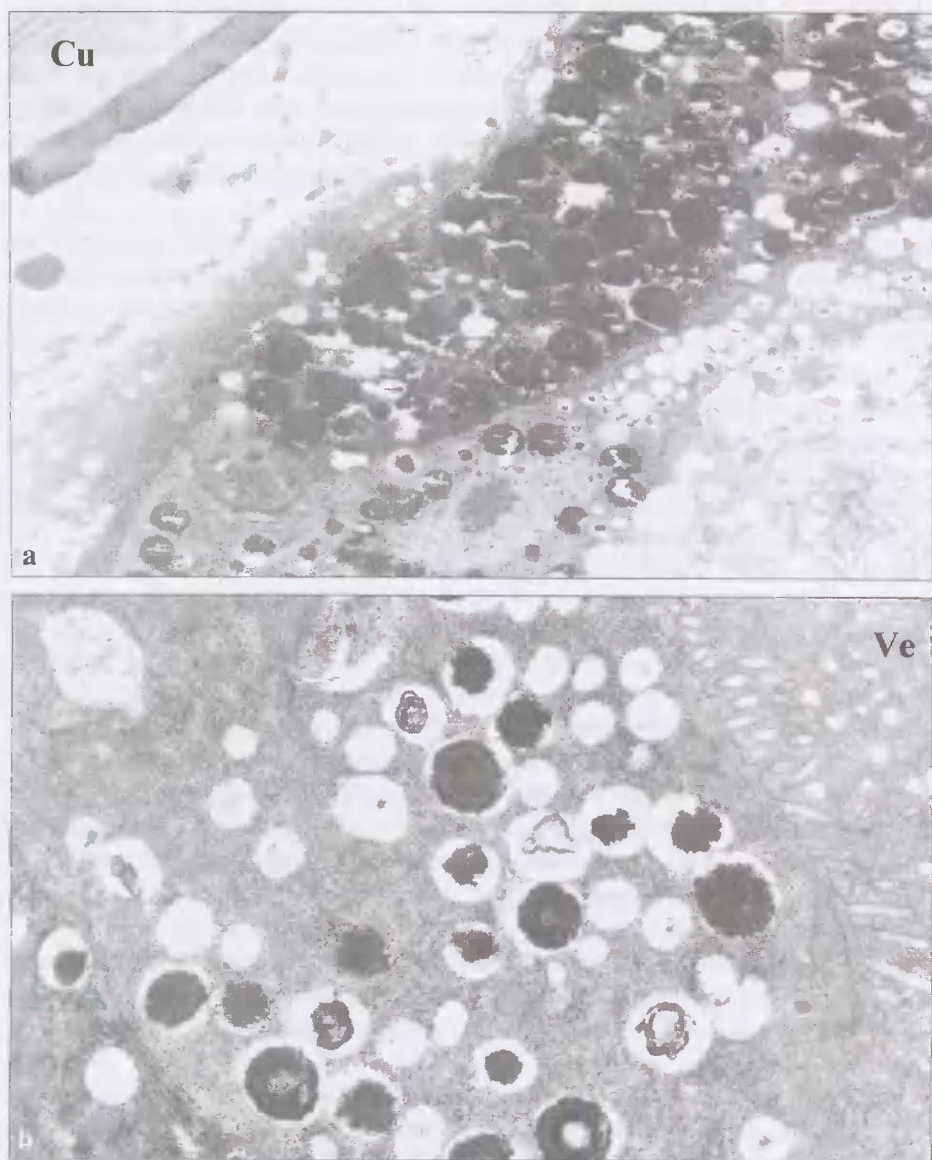
a



b

Rys. 15. *Oribatula tibialis* - okazy dorosłe z powierzchni kontrolnej ($\times 340$), a - okaz bez widocznych granul, b - okaz z niewielkimi skupiskami granul w okolicach przedżołądka

Fig. 15. *Oribatula tibialis* - adult specimens from the control plot ($\times 340$), a - specimen without visible granules, b - specimen with small groups of granules in the area of the proventriculus



Rys. 16. *Oribatula tibialis* z powierzchni 1 przy HM „Głogów” - fotografia TEM, a - skupisko granul w okolicy przedżołądka („organes recémiformes”) ($\times 3800$), Cu - kutikula, b - granule w nabłonku jelita środkowego ($\times 12000$), Ve - światło jelita środkowego

Fig. 16. *Oribatula tibialis* from plot 1 in the vicinity of the ‘Głogów’ Copperworks - TEM photograph, a - group of granules in the area of proventriculus (‘organes recémiformes’) ($\times 3800$), Cu - cuticle, b - granules in the epithelium of the ventriculus ($\times 12000$), Ve - lumen of ventriculus

W badaniach mikrośrodków dna lasu wokół dębu, buka i sosny wykazano, że *Q. quadricarinata* skupia się wokół dębów i buków [200]. W dojrzałym borze sosnowym w okolicach ZA „Włocławek” *Q. quadricarinata* tolerowała imisje azotowe [101], szczególnie w okresie wiosny, kiedy inne mechowce na skutek oddziaływania zanieczyszczeń występowały nielicznie. Gatunek ten uzyskał wysoki wskaźnik dominacji na pastwisku w Knurowie, które znajdowało się pod dużą presją zanieczyszczeń przemysłowych [16].

W badanych młodnikach sosnowych liczebność *Q. quadricarinata* wahała się od 0,01 do 5,23 tys. osobn./m² (tab. 8). Niskie zagęszczenie tego gatunku odnotowano na stanowiskach 1-3 w okolicach TZPN „Polchem” oraz w rejonie ZCh „Police”. W transekcie powierzchni przy HM „Głogów” jego obecność stwierdzono tylko na stanowisku 2. W okolicach ZCh „Luboń” *Q. quadricarinata* występowała stosunkowo licznie, a na najsilniej skażonej powierzchni 1 wskaźnik dominacji uzyskał najwyższą wartość - 8,8 % (tab. 9). Wysoki wskaźnik *D* stwierdzono też w pobliżu KCW „Kujawy”. Układ pionowego rozmieszczenia *Q. quadricarinata* w glebie (Ol : Of/h : AEes' = 1 : 6,6 : 0,03) wskazuje na wyraźną preferencję podpoziomu butwinowo-epihumusowego [102, 105, 106, 109].

5.5.9. *Scleribates latipes* (C.L. Koch)

Gatunek ten został zaliczony do roztoczy łąkowo-leśnych [188]. Seniczak [208] stwierdził jego występowanie w różnych typach siedliskowych lasu, przy czym był on najliczniejszy w borze wilgotnym. Występował też na stepach [9], pastwiskach [4, 16, 160], łąkach [41, 188, 214, 230, 232] i hałdach przemysłowych [18, 117]. Hågvar i Kjondal [67] stwierdzili, że analizowany gatunek był wrażliwy na wzrost zakwaszenia i nie tolerował wysokiej koncentracji zanieczyszczeń siarkowych.

Na powierzchni kontrolnej zagęszczenie *S. latipes* wynosiło 6 tys. osobn./m² (tab. 8). Znacznie wyższą liczebność niż na powierzchni kontrolnej stwierdzono na stanowiskach 2 i 3 w rejonie TZPN „Polchem” oraz na powierzchniach 4 w okolicach ZWCh „Wistom” i ZCh „Luboń”. W rejonie ZWCh „Wistom” najniższą liczebność omawianego gatunku odnotowano w pobliżu emitora zanieczyszczeń, różnice między powierzchniami 1 a 4 były istotne statystycznie. Podobny układ liczebności jak w rejonie ZWCh „Wistom” stwierdzono w transekcie powierzchni przy ZCh „Luboń”. W rejonie ZCh „Police” gatunek ten występował tylko na oddalonych od zakładów stanowiskach 3 i 4. Z kolei w rejonie HM „Głogów” na stanowiskach 2-4 zagęszczenie spadało w kierunku emitora zanieczyszczeń, a na najsilniej skażonej powierzchni 1 nie stwierdzono *S. latipes*. Na powierzchniach w okolicach KCW „Kujawy” najwyższą liczebność stwierdzono na stanowisku 4, zaś bliżej emitora gatunek był nieliczny lub nie odnotowano go.

Przedstawione wyniki wskazują na wrażliwość omawianego gatunku na imisje większości analizowanych zakładów przemysłowych. Takiej reakcji nie udało się wykazać tylko w przypadku ZA „Włocławek”. Jednak we wcześniejszych badaniach, gdy skażenie gleby było większe, *S. latipes* w pobliżu zakładów występował nielicznie [101]. Generalnie można stwierdzić, że imisje przemysłowe powodowały ograniczenie liczebności *S. latipes*, jedynie umiarkowane zanieczyszczenia siarkowe stymulowały liczebność tego gatunku.

Pionowe rozmieszczenie omawianego mechowca w profilu glebowym (Ol : Of/h : AEes' : AEes" = 1 : 0,41 : 0,005 : 0,001) wskazuje na preferencję do podpoziomu surowinowego gleby [55, 105, 106, 108-110]. Na badanym terenie 56.7 % osobników *S. latipes* stanowiły formy młodociane.

5.5.10. *Tectocephus velatus* (Michael)

Tectocephus velatus jest pospolitym mechowcem glebowym występującym w różnych biotopach [264]. Jego szeroka walencja ekologiczna wyraża się też zasiedlaniem bardzo różnorodnych stanowisk pozaglebowych, takich jak: pnie drzew [43, 95, 174, 207, 213], żerowiska korników [97], gniazda ptaków [88, 215], mrowiska [94, 96], mchy naskalne [165], halofity [224] i inne. Szczególnie duże zagęszczenie tego gatunku notowano w glebach borów sosnowych z warstwą kwaśnej próchnicy nadkładowej [187, 211]. W borach sosnowych *T. velatus* często dominował w zgrupowaniach mechowców, szczególnie w ściółce iglastej [100, 211]. Liczny był też w zadrzewieniu śródpolnym [217, 218, 222, 223] i ekosystemach trawiastych [16-18, 41, 214, 222, 229]. Opanował również tereny rekultywowane oraz hałdy przemysłowe [15, 18, 117]. Z danych literaturowych [168] oraz szeregu własnych obserwacji wynika, że jest to jeden z najpospolitszych i najliczniejszych mechowców w Polsce.

Tectocephus velatus okazał się tolerancyjny na sztuczne kwaśne deszcze [66, 67, 216], natomiast po wapnowaniu gleb wielokrotnie notowano spadek jego liczebności [64, 66, 123, 150]. Seniczak [212] obserwował w młodniku sosnowym wzrost liczebności tego mechowca pod wpływem nawożenia mineralnego.

Zagęszczenie *T. velatus* w badanych młodnikach sosnowych wahało się od 0,04 do 119,03 tys. osobn./m² (tab. 8). Gatunek ten występował na wszystkich stanowiskach doświadczalnych i przeważnie dominował w zgrupowaniach mechowców. Wskaźnik stałości występowania na 17 stanowiskach był maksymalny (tab. 9). Wysoka liczebność *T. velatus* nawet w strefach o najwyższym poziomie zanieczyszczeń w okolicach TZPN „Polchem”, ZCh „Police” oraz ZA „Włocławek” może świadczyć o jego tolerancji na imisje tych zakładów. Omawiany gatunek okazał się wrażliwy na alkaliczne imisje KCW „Kujawy”. Równie wyraźną negatywną reakcję tego gatunku stwierdzono w glebach silnie skażonych miedzią i ołowiem. W strefie, gdzie poziom oddziaływania tych zanieczyszczeń był mniejszy, odnotowano wzrost liczebności *T. velatus*.

Ponadto mechowiec ten negatywnie zareagował na zanieczyszczenia ZWCh „Wistom”, które podobnie jak TZPN „Polchem” emitują głównie związki siarki. W rejonie ZWCh „Wistom” poziom skażenia gleby był jednak znacznie wyższy niż w okolicach TZPN „Polchem”, gdzie reakcja gatunku była inna. W transekcji powierzchni w rejonie ZCh „Luboń” najniższą liczebność *T. velatus* stwierdzono w pobliżu emitora zanieczyszczeń. W tym przypadku spadek zagęszczenia nie był tak wyraźny jak w okolicach ZWCh „Wistom”, KCW „Kujawy” i HM „Głogów”, a odnotowane różnice nie były istotne statystycznie.

Na badanym terenie *T. velatus* przeważnie preferował podpoziom Of/h [55, 102, 105, 106, 108-110]. Proporcje ilościowe w kolejnych warstwach gleby OI : Of/h : AEes' : AEes" wynosiły odpowiednio 1 : 1,67 : 0,04 : 0,004. W zebranym materiale 53,5 % wszystkich okazów stanowiły formy młodociane. Interesująco przedstawia się struktura wiekowa *T. velatus* w glebach różniących się poziomem skażenia. Udział form młodocianych w populacjach wyraźnie rośnie w kierunku emitatorów zanieczyszczeń (rys. 12).

6. DYSKUSJA

Wybrane do badań zakłady przemysłowe charakteryzuje szerokie spektrum zanieczyszczeń gazowych i pyłowych. Zakłady te, ze względu na uciążliwość dla miejscowych społeczności, zlokalizowano poza centrami miejskimi w lasach lub ich pobliżu. W otoczeniu tak usytuowanych emitorów zanieczyszczeń najczęściej już po niedługim czasie od ich powstania zaczynają występować szkody w drzewostanach [25, 26, 29, 56, 91, 92, 98, 130, 267]. Szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia są jednogatunkowe i jednowiekowe drzewostany pochodzące ze sztucznych nasadzeń [14].

Zanieczyszczenia przemysłowe po dostaniu się do atmosfery kumulują się w różnych mikrośrodkach ekosystemu leśnego. Wiadomo, że zdolność akumulowania zanieczyszczeń atmosferycznych mają epifity i kora drzew [60, 61, 169, 248]. W substratach tych, w pobliżu analizowanych zakładów przemysłowych, stwierdzono wyraźnie większe stężenie siarki, metali ciężkich, fosforu, fluoru oraz azotu amonowego, w porównaniu ze stanowiskami oddalonymi od zakładów [30]. Pod wpływem zanieczyszczeń udział porostów i glonów epifitycznych ulegał dużym zmianom. W pobliżu KCW „Kujawy” i ZCh „Police” porosty na strzałach sosny w ogóle nie występowały, blisko ZA „Włocławek” były bardzo mocno zredukowane. Z kolei w pobliżu zakładów emitujących głównie związki siarki (TZPN „Polchem” i ZWCh „Wistom”) odnotowano duże pokrycie kory porostami.

Szczególnie ważną częścią ekosystemu leśnego jest gleba. Warunkuje ona prawidłowy przebieg jednego z najważniejszych procesów ekologicznych, jakim jest krążenie materii. Głównym magazynem materii organicznej w glebach leśnych jest poziom organiczny, który jednocześnie jest środowiskiem życia licznej mikroflory oraz fauny glebowej. Gleba jest złożonym układem trójfazowym, w którym zachodzą bardzo skomplikowane interakcje między fazami stałą, ciekłą i gazową [181]. Dlatego też nie do końca poznano jeszcze, na czym polega destabilizacja ekosystemów leśnych, związana ze zmianami warunków edaficznych wywołanych emisjami przemysłowymi. Prusinkiewicz i Pokojaska [181] są zdania, że dzięki istniejącym w glebach systemom buforującym wiele ujemnych skutków zanieczyszczeń przemysłowych ujawnia się dopiero po pewnym czasie, po przełamaniu barier buforowych.

Na badanych terenach duże znaczenie miały zakwaszające środowisko imisje siarkowe, zwłaszcza w rejonach TZPN „Polchem” i ZWCh „Wistom”. Imisje te nie wpłynęły jednak wyraźnie na pH gleb młodników sosnowych. Znany jest pogląd, że kwaśne deszcze powodują mniejszy spadek pH w glebach z natury silnie kwaśnych niż w glebach o odczynie zbliżonym do obojętnego [181, 183]. Stwierdzono też, że nawet przy równych i rytmicznie wprowadzanych dawkach kwasów do gleby, spadki odczynu nie postępują konsekwentnie, lecz

z nawrotami do wyższych wartości pH [180]. Nie wolno jednak zapominać, że pod wpływem imisji siarkowych wzrasta w glebie stężenie toksycznych jonów i metali ciężkich, zwłaszcza glinu. Glin wpływa bardzo toksycznie na sosnę [129, 178] i może być również toksyczny dla zwierząt [45]. Prusinkiewicz i in. [180] podali, że znaczna część niekorzystnych przemian zachodzących w glebie pod wpływem kwaśnych deszczów ma charakter zjawisk nieodwracalnych lub bardzo trudno odwracalnych, np. zniszczenie kompleksu sorpcyjnego lub bezpowrotne wymycie z gleby niektórych składników odżywczych.

Wyraźną zmianę odczynu gleb spowodowały jedynie pyły cementowo-wapniowe w rejonie KCW „Kujawy”. Odnotowano tam wysoką wartość pH (6,36-7,54), nietypową dla borów sosnowych. Oddziaływanie imisji alkalicznych na gleby bardzo przypomina skutki wapnowania gleb: zwiększa aktywność biologiczną, przyspiesza rozkład materii organicznej i powoduje wzrost przyswajalności różnych kationów [181]. W miarę przedłużającego się oddziaływania imisji związków wapnia zaczynają jednak przeważać zjawiska ujemne, analogiczne do skutków przepapnowania gleb. Na stanowiskach leżących blisko KCW „Kujawy” stwierdzono pojawienie się gatunków roślin znamienych dla siedlisk zasobnych w węglan wapnia i zanikanie warstwy mszystej [33].

W glebach młodników sosnowych w rejonach ZA „Włocławek” i ZCh „Police” odnotowano dość wysoką zawartość mineralnych form azotu, zwłaszcza azotu amonowego. Efekt oddziaływania zanieczyszczeń azotowych w glebach jest podobny, do występującego po nawożeniu związkami azotu - po przejściowym wzroście pH następuje jego powrót do stanu pierwotnego lub może wystąpić nawet zakwaszenie gleby [176, 236]. W kwaśnych glebach siedlisk borowych rośliny pobierają wprowadzony do gleby azot amonowy, wymieniając go na jony wodorowe i obniżają w ten sposób pH [181]. W tej sytuacji, na skutek pogorszenia się fizykochemicznych i biologicznych właściwości gleby, następuje jej degradacja [124].

Zawartość fluoru w glebach lekkich w nieskażonych rejonach Polski jest zróżnicowana i wynosi najczęściej 7 mg/100 g, a w glebach skażonych może wynosić nawet 320 mg/100g [268]. W badanych młodnikach sosnowych najwyższą zawartość tego pierwiastka odnotowano w pobliżu ZCh „Luboń” (15 mg/100g). W świetle literatury zawartość tego pierwiastka nie jest wysoka. Jest interesujące, że również Dziubek i Fiksiński [42], badając rejon ZCh „Luboń” w 1957 roku, wykazali w glebie małą ilość fluoru, pomimo znacznych przekroczeń norm tego pierwiastka w powietrzu atmosferycznym, śniegu oraz na roślinach. Być może dlatego, że fluor nie ulega kumulacji w części organicznej gleby [268], a jego zawartość szybko maleje po ograniczeniu emisji [45]. Skutki oddziaływania tego pierwiastka na środowisko są jednak bardzo groźne. W rejonach przemysłowych związki fluoru przedostają się do gleb w postaci gazów i pyłów lub wraz z opadami atmosferycznymi [180]. Prowadzą do degradacji gleb, m.in. przez niszczenie struktur krystalicznych minerałów glebowych, destrukcję kompleksów organomineralnych oraz zaburzenia właściwości powierzchniowych i zdolności sorpcyjnych gleby [118].

Próchnica nadkładowa gleb leśnych wykazuje dużą zdolność sorbowania metali ciężkich, co powoduje zakłócenia w przebiegu rozkładu i humifikacji materii organicznej [181]. W rejonie HM „Głogów”, która jest emitorem pyłów zawierających duże ilości miedzi i ołowiu, największą zawartość tych metali stwierdzono w podpoziomie butwinowo-epihumusowym. Szerszeń i in. [246] stwierdzili, że w tym samym rejonie wymienione metale ulegają kumulacji w wierzchnich warstwach gleb i nie przemieszczają się w głąb profilu glebowego. Działanie metali ciężkich na środowisko może być dodatkowo spotęgowane przez kwaśne deszcze [181], co jest szczególnie niebezpieczne w okolicach HM „Głogów”, która emituje też duże ilości związków siarki.

Do sprawnego i prawidłowego rozkładu materii organicznej w glebach przyczyniają się liczne grupy mikroorganizmów i saprofitów. Zanieczyszczenia przemysłowe, wpływając na skład ilościowy i jakościowy edafonu, w różnym stopniu zakłócają prawidłowe funkcjonowanie całego ekosystemu. W badanych młodnikach sosnowych imisje HM „Głogów” spowodowały duże ograniczenie liczebności roztoczy zarówno w glebie, jak i na strzałach drzew [30].

Znaczny spadek liczebności roztoczy spowodowały też zanieczyszczenia z dużym udziałem związków siarki w pobliżu ZWCh „Wistom” oraz alkaliczne pyły pochodzące z KCW „Kujawy”. Spadek zagęszczenia tych pajęczaków na skutek dużych dawek roztworów symulujących kwaśne deszcze stwierdzono w lesie iglastym w Norwegii [66] oraz w Borach Tucholskich w uprawie sosnowej [216]. W przypadku imisji związków wapnia, główną przyczyną spadku liczebności Acari mogą być zmiany kwasowości gleby i związane z tym pogorszenie się warunków troficznych, szczególnie dla Oribatida. Największy ubytek mechowców w zgrupowaniu roztoczy stwierdzono w glebie najsilniej zakalizonowanej. Wielu autorów wyraża pogląd, że zmiany liczebności stawonogów glebowych na skutek alkalizacji gleb mogą wynikać ze zubożenia mikroflory grzybowej [49, 50, 191, 243].

Pionowe rozmieszczenie mechowców w profilu glebowym wskazuje, że poza pośrednim działaniem imisji, np. przez wpływ na ilość dostępnego pokarmu, polutanty wpływały też bezpośrednio na te pajęczaki. Najsilniejszy ograniczający wpływ imisji miał bowiem miejsce przeważnie tam, gdzie koncentracja zanieczyszczeń była największa. Na przykład pyły cementowe najmocniej ograniczyły liczebność Oribatida w wierzchnim podpoziomie O1 i spowodowały migrację niektórych mechowców w głąb profilu glebowego. Pyły te mogą łączyć się w odpowiednich warunkach wilgotnościowych z cząsteczkami wody, tworząc żrący wodorotlenek wapnia [60], który może powodować uszkodzenie tkanek. Roztocze migrowały w głąb gleby także pod wpływem nawożenia mineralnego [269] oraz imisji azotowych [99].

Interesującą reakcję roztoczy odnotowano w okolicach TZPN „Polchem” i w pewnej odległości od HM „Głogów”. W tych przypadkach umiarkowane imisje wpłynęły na wyraźny wzrost liczebności tych pajęczaków w porównaniu z powierzchnią kontrolną. Taka reakcja zgrupowań fauny glebowej jest znana w literaturze. Na przykład Seniczak i Górniak [216] po zastosowaniu średnich

dawek sztucznych kwaśnych deszczów stwierdzili wzrost liczebności Oribatida, Hopkin i Martin [74] wykazali 10-krotny wzrost liczebności roztoczy i 2,5-krotny skoczogonków pod wpływem metali ciężkich, a Madden i Fox [144] obserwowali przy wzroście stężenia fluoru zwiększenie się liczebności roztoczy i owadów.

Zmiany w biocenozach pod presją czynników antropogenicznych polegają najczęściej na zmniejszeniu się liczby gatunków i występowaniu jednego lub kilku gatunków o wysokim wskaźniku dominacji, co może świadczyć o degradacji układu ekologicznego [167, 190, 253]. Taką sytuację ekologiczną można interpretować zgodnie z tzw. biocenotycznymi zasadami Thienemanna [183, 190]. Badania strukturalne wielogatunkowych zgrupowań zwierzęcych opierają się na analizie porównawczej [253]. Na jej podstawie - z uwzględnieniem danych o środowisku - można określić kierunek i stopień zmian zachodzących w zgrupowaniach. Z przeprowadzonych badań wynika, że imisje wszystkich zakładów przemysłowych wpłynęły na strukturę zgrupowań mechowców, chociaż poziom tego wpływu i reakcja zgrupowań były różne. Najznaczący wpływ na Oribatida miały zanieczyszczenia pochodzące z HM „Głogów”, która spośród analizowanych zakładów emitowała największe ilości zanieczyszczeń. W pobliżu tego emitora zgrupowanie Oribatida charakteryzowało się wyjątkowo małą liczebnością, liczbą gatunków i niewielkim wskaźnikiem różnorodności gatunkowej Shannona. Wskaźniki podobieństwa zgrupowań między nim a zgrupowaniem na powierzchni kontrolnej były niskie. Do tej silnie skażonej metalami ciężkimi gleby dostosowała się *Oribatula tibialis*, która wysoko dominowała w zgrupowaniu mechowców, prawdopodobnie dzięki wykształceniu sprawnego mechanizmu detoksykacji metali ciężkich. W zbliżony sposób jak mechowce glebowe na imisje HM „Głogów”, zareagowały mechowce nadzwyczajne [31].

Silne ograniczenie liczby gatunków Oribatida spowodowały też zanieczyszczenia ZCh „Police”, ZCh „Luboń” i KCW „Kujawy”. W przypadku pierwszego z wymienionych zakładów szerokość strefy silnego oddziaływania wydaje się być większa niż w okolicach innych zakładów, bowiem spadek różnorodności gatunkowej i wyostrenie struktury dominacji odnotowano nawet na stanowisku 3. Również na drzewach w tym rejonie we wszystkich strefach uszkodzeń drzew Dąbrowski [30] stwierdził niską średnią liczbę gatunków Oribatida. Autor ten w młodniku w najbliższym otoczeniu zakładów nie odnotował występowania porostów, które wyraźnie reagują na skażenie powietrza. Dalej od emitora zanieczyszczeń dominował porost *Lecanora conizaeoides* Nyl. ex Cromb., który znany jest ze znacznej odporności na zanieczyszczenia powietrza [46, 47]. Wcześniejsze badania innych autorów [19, 20, 151] w Puszczy Wkrzańskiej świadczą o dużym skażeniu tego terenu związkami siarki, azotu i fluoru.

Małym emitorem zanieczyszczeń, w porównaniu z ZCh „Police”, są ZCh „Luboń”. Emitują one jednak bardzo groźny dla środowiska fluor, a także znaczne ilości pyłów fosforytowych. Zanieczyszczenia tych zakładów wyraźnie oddziaływały na zgrupowanie Oribatida tylko w najbliższym otoczeniu emitora.

Spowodowały one spadek ogólnej liczebności, liczby gatunków oraz różnorodności gatunkowej mechowców. Interesujący jest duży udział mikrofitofagów w tym zgrupowaniu (89,7 %). Na powierzchniach 1-3 w rejonie ZCh „Police” także wykazano bardzo wysoki udział tej grupy troficznej. Warto wspomnieć, że zakłady te poza związkami azotu emitują pyły fosforytów [266]. Być może związki azotu i pyły fosforytów wpływają na rozwój mikroflory, powodując tym samym zwiększenie się liczebności mikrofitofagów. Wzrost udziału tej grupy troficznej odnotowano również w rejonie ZA „Włocławek”. Dahm i in. [27] stwierdzili, że nawożenie mineralne mocznikiem i chlorkiem potasu stymuluje rozwój wielu grup fizjologicznych bakterii. W pewnym sensie emisje wymienionych zakładów przemysłowych można przecież traktować jako niekontrolowane nawożenie mineralne, prowadzące do eutrofizacji środowiska glebowego. Z kolei w pobliżu HM „Głogów” udział mikrofitofagów spadł do 17 %. Badania Rühlinga i in. [195] na terenach silnie skażonych miedzią i cynkiem wskazują na duże ograniczenie biomasy grzybów, którymi żywią się mikrofitofagi borów sosnowych.

Dość specyficznym na mechowce wpłynęły alkaliczne emisje pochodzące z KCW „Kujawy”. Na najsilniej skażonej powierzchni 1, pomimo spadku ogólnej liczebności zgrupowania i liczby gatunków, nie odnotowano spadku wartości wskaźnika różnorodności gatunkowej *H*. Wartość tego wskaźnika była nawet wyższa niż na oddalonej od cementowni powierzchni 4 i powierzchni kontrolnej. Struktura dominacji Oribatida była tam bardzo wyrównana. Taki układ struktury dominacji mechowców jest charakterystyczny dla żyznych gleb leśnych z próchnicą typu mull [208].

Wyraźną reakcję Oribatida na zanieczyszczenia odnotowano też w pobliżu ZWCh „Wistom”. Poza spadkiem ogólnej liczebności zgrupowania i liczby gatunków, stwierdzono zmiany w hierarchii dominacji. Nie zmienił się natomiast ogólny układ struktury dominacji. W zgrupowaniu tym dominował *Chamobates schuetzi*, który okazał się gatunkiem tolerującym zanieczyszczenia siarkowe. Nieco inaczej Oribatida zareagowały na zanieczyszczenia siarkowe w rejonie TZPN „Polchem”. W tym przypadku mniejsze niż w okolicach ZWCh „Wistom” emisje siarkowe spowodowały niemal trzykrotny wzrost liczebności Oribatida w porównaniu z powierzchnią kontrolną. W pobliżu zakładów średnia liczba gatunków i różnorodność gatunkowa były jednak wyraźnie niższe w porównaniu ze stanowiskami leżącymi dalej od emitora zanieczyszczeń i powierzchnią kontrolną.

W rejonie ZA „Włocławek” emisje nie wpłynęły wyraźnie na średnią liczebność mechowców. Interesujący jest jednak wzrost liczebności tych roztoczy w sezonie wegetacyjnym. Na powierzchni 2 jesienią odnotowano ponaddwukrotny wzrost zagęszczenia w porównaniu z wiosną [109]. Analogiczną reakcję Oribatida stwierdzono w rejonie ZCh „Police” [115]. Umiarkowane emisje azotowe powodują więc duże fluktuacje liczebności mechowców, co obserwowano również we wcześniejszych badaniach [99]. W rejonie ZA „Włocławek” stwierdzono obniżenie liczby gatunków Oribatida, jednak wpływ emisji

na inne właściwości zgrupowań nie był tak duży jak w pozostałych rejonach oddziaływania zanieczyszczeń. W latach 1986-87 w okolicach ZA „Włocławek” prowadzono badania akarofauny dojrzałego boru sosnowego [100]. Użyte w tym okresie wyniki świadczą o wyraźnym wpływie imisji na zgrupowania mechowców. Stwierdzono obniżenie ogólnej liczebności mechowców, różnorodności gatunkowej oraz duże zmiany w hierarchii dominacji. Zakłady emitowały wtedy dwukrotnie większą ilość zanieczyszczeń atmosferycznych niż w okresie niniejszych badań. W glebach w najbliższym otoczeniu emitora zanieczyszczeń odnotowano rekordową akumulację mineralnych form azotu - od 5 do 2052 mg N-NH₄⁺ i od 29 do 10876 mg N-NO₃⁻ w 100 g gleby [147]. Poprawa stanu akarofauny glebowej nastąpiła więc zaraz po zmniejszeniu się poziomu imisji. Wynika z tego, że mechowce mogą szybko i wyraźnie reagować na zmiany skażenia przemysłowego gleby.

Niniejsze badania wskazują na dużą wartość wskaźnikową zgrupowań mechowców. Każde zgrupowanie jest złożone z gatunków, które mogą posiadać cechy warunkujące ich adaptację do specyficznych warunków środowiskowych, jakie stwarzają skażone gleby. Gatunki takie najczęściej zalicza się do indykatorów odpornych (tolerancyjnych) na zanieczyszczenia [45]. Inną grupę stanowią gatunki sensytywne (wrażliwe) na imisje zanieczyszczeń. Ich liczebność pod presją zanieczyszczeń najczęściej spada i mogą wyginać na terenie zanieczyszczonym lub ich liczebność będzie tak niska, że stosowanymi metodami nie można stwierdzić ich obecności. Wielu badaczy wyróżnia gatunki bezkręgowców glebowych [1, 13, 89, 120, 139, 196], a wśród nich mechowców [17, 30, 64, 67, 123, 232] pozytywnie i negatywnie reagujących na różne czynniki antropogeniczne. Po przeanalizowaniu w badanych młodnikach sosnowych zagęszczenia oraz wskaźników dominacji i stałości występowania gatunków Oribatida okazało się, że *Adoristes ovatus* i *Schelorbitates latipes* wykazują wrażliwość na większość imisji przemysłowych. *Tectocephus velatus* jest wrażliwy na imisje alkaliczne, metale ciężkie i silne zanieczyszczenia z przewagą związków siarki. Gatunek ten toleruje imisje z przewagą związków azotu oraz umiarkowane zanieczyszczenia siarkowe. *Chamobates schuetzi* jest tolerancyjny na imisje z przewagą związków siarki, a *Oribatula tibialis* na metale ciężkie. Jest interesujące, że udział form młodocianych *Chamobates schuetzi*, *Metabelba pulverulenta*, *Oribatula tibialis* i *Tectocephus velatus* w glebach silnie skażonych był przeważnie wyższy niż na stanowiskach położonych dalej od emitatorów zanieczyszczeń. Abiotyczny czynnik ograniczający, jakim jest skażenie gleby, może więc powodować spłaszczenie piramidy wiekowej w populacjach mechowców. Podobną reakcję mechowców pod wpływem biologicznych czynników ograniczających zaobserwował Seniczak [208].

Poglądy na temat udziału różnych grup organizmów glebowych w rozkładzie glebowej materii organicznej są podzielone i znacznie się różnią [131]. Część naukowców uważa, że ważniejszą rolę w procesach rozkładu spełniają saprofagi, a inni wyżej oceniają wartość mikroorganizmów. Pewne jest, że do sprawnego przebiegu rozkładu materii organicznej potrzebna jest obecność wielu

grup zwierząt glebowych i mikroorganizmów. Im większa jest różnorodność gatunkowa, tym rozkład jest szybszy i pierwiastki biogenne są wcześniej włączone do obiegu. W glebach leśnych w pobliżu analizowanych zakładów przemysłowych doszło do naruszenia równowagi biologicznej na skutek obniżenia zagęszczenia i różnorodności gatunkowej mezofauny glebowej. Najlepiej było to widoczne w pobliżu HM „Głogów”, gdzie procesy rozkładu zostały wyraźnie spowolnione. W tym rejonie na powierzchni gleby akumulowała się grubsza niż na innych stanowiskach warstwa igieł sosnowych w niewielkim stopniu rozłożonych - miąższość podpoziomu surowinowego wynosiła aż 5 cm [54].

7. WNIOSKI

1. W glebach skażonych przez zakłady przemysłowe roztocze wyraźnie reagowały na zanieczyszczenia. Reakcja ta była zależna od stężenia imisji oraz ich składu chemicznego.
2. Roztocze jako grupa wykazały spadek zagęszczenia pod wpływem imisji alkalicznych oraz silnych zanieczyszczeń z udziałem metali ciężkich i siarki, natomiast umiarkowane imisje siarkowe oraz miedzi i ołowiu spowodowały wzrost liczebności tych pajęczaków.
3. Zanieczyszczenia przemysłowe wpłynęły na pionowe rozmieszczenie roztoczy w glebie - szczególnie saprofagicznych Oribatida - przeważnie najmocniej ograniczając ich zagęszczenie w tych podpoziomach glebowych, w których koncentracja imisji była największa.
4. Zanieczyszczenia emitowane przez zakłady przemysłowe powodowały w najbliższym ich otoczeniu spadek średniej liczby gatunków Oribatida. Większość z nich wpływała na obniżenie się wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona i zmiany w strukturze dominacji gatunków.
5. *Adoristes ovatus* i *Schelorbates latipes* były wrażliwe na większość imisji przemysłowych. *Tectocephus velatus* nie tolerował wysokiego poziomu zanieczyszczeń związkami siarki, imisji alkalicznych i metali ciężkich, odporny był natomiast na umiarkowane zanieczyszczenia siarkowe oraz imisje z przewagą związków azotu. *Chamobates schuetzi* tolerował imisje, w których przeważały związki siarki, zaś *Oribatula tibialis* - metale ciężkie.
6. Udział form młodocianych w populacjach *Chamobates schuetzi*, *Metabelba pulverulenta*, *Oribatula tibialis* i *Tectocephus velatus* w glebach silnie skażonych był najczęściej większy niż w glebach o niskim poziomie imisji.



LITERATURA

- [1] Alberti G., Kratzmann M., Błaszak Cz., Szeptycki A., 1989. Reaktion von Mikroarthropoden auf Waldkalkungen. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 7, 119-122.
- [2] André H.M., Lebrun Ph., Masson M., Sartor F., 1984. On the use of *Humerobates rostromellatus* (Acari) as an air pollution bioassay monitor. The incidence of SO₂-NO₂ synergism and of winter temperature. Sci. Total Environ. 39, 177-187.
- [3] Andrews S.M., Cooke J.A., Johnson M.S., 1989. Distribution of trace element pollutants in a contaminated ecosystem established on metalliferous fluorspar tailings. Fluoride Envir. Pollution 60, 165-179.
- [4] Aoki J., 1962. Distribution of oribatid mites in pasture soils of Japan. Jap. J. Sanit. Zool. 13, 11-15.
- [5] Archer T.L., Bynum Jr. E.D., Onken A.B., 1988. Abundance of Banks grass mites (Acari: Tetranychidae) on corn and sorghum fertilised with different rates of nitrogen and phosphorus. Jour. Economic Entomol. 81 (1), 300-303.
- [6] Axelsson B., Lohm U., Lundkvist H., Persson T., Sköglund J., Wiren A., 1973. Effects of nitrogen fertilisation on the abundance of soil fauna populations in a Scots pine stand. Research Notes, Royal Coll. of Forestry 14, 5-10.
- [7] Bååth E., Berg B., Lohm U., Lundgren B., Lundkvist H., Rosswall T., Söderström B., Wiren A., 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. Pedobiologia 20, 85-100.
- [8] Balogh J., Csiszár J., 1963. The zoological results of Gy. Topál's collectings in South Argentina. 5. Oribatei (Acarina). Ann. Hist. Nat. Mus. Hung. Budapest, 55, 463-485.
- [9] Bašhkirova E.J., 1958. Fauna kleščeij - oribatid celinnoj stepi jugovostoka evropejskoj časti SSR. Zool. Ž. Moskva, 37, 193-209.
- [10] Bassus W., 1968. Über Wirkungen von Industrieexhalaten auf den Nematodenbesatz im Boden von Kiefernwäldern. Pedobiologia 8 (3), 289-295.
- [11] Beck L., Woas S., 1991. Die Oribatiden Arten (Acari) eines südwestdeutschen Buchenwaldes. I. Caroleinea 49, 37-82.
- [12] Bengtsson G., Rundgren S., 1984. Ground-living invertebrates in metal-polluted forest soils. Ambio 13, 29-33.

- [13] Bengtsson G., Rundgren S., 1987. The Gusum case: a brass mill and the distribution of soil Collembola. *Can. Journal of Zool.* 66, 1518-1526.
- [14] Białobok S., 1989. Zagrożenie lasów w Polsce przez zanieczyszczenia powietrza. W: *Życie drzew w skażonym środowisku*. Red. S. Białobok. PWN Warszawa-Poznań, 9-48.
- [15] Bielska I., 1982. Communities of moss mites (Acari, Oribatei) of degraded and recultivated areas in Silesia. I. Communities of moss mites of mine dumps. *Pol. Ecol. Stud.* 8 (3-4), 499-510.
- [16] Bielska I., 1989. Communities of moss mites (Acari, Oribatei) of grasslands under the impact of industrial pollution. II. Communities of moss mites in pastures. *Pol. Ecol. Stud.* 15 (1-2), 89-99.
- [17] Bielska I., 1989. Communities of moss mites (Acari, Oribatei) of grasslands under the impact of industrial pollution. III. Communities of moss mites of wastelands. *Pol. Ecol. Stud.* 15 (1-2), 101-110.
- [18] Bielska I., Paszewska H., 1995. The Oribatida (Acari, Oribatida) communities of meadows fertilised and non-fertilised with liquid manure. *Pol. Ecol. Stud.* 21 (3), 277-292.
- [19] Borowiec S., Marska B., 1982. Bioindykacyjna ocena zmian czystości powietrza w latach 1976-1980 w okolicy Zakładów Chemicznych „Police” na podstawie reakcji porostu *Hypogymnia physodes* Nyl. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo* 29, 13-17.
- [20] Borowiec S., Zabłocki Z., 1984. Zawartość fluoru i siarki w roślinach w strefie oddziaływania Zakładów Chemicznych „Police”. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo* 34, 9-20.
- [21] Bremner J.M., 1965. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J. Agr. Sci.* 55, 1-123.
- [22] Buck M., Reusmann G., 1971. A new semi-automatic methods for fluoride determination in plant and air samples. *Fluoride* 4 (1), 5-15.
- [23] Butcher J.W., Snider R., Snider R.J., 1971. Bioecology of edaphic Collembola and Acarina. *Ann. Rev. Entomol.* 16, 249-288.
- [24] Butovsky R.O., 1996. Insects in bioindication of soil pollution. In: *Bioindicator System for Soil Pollution*. Eds. N.M. van Straalen, A.D. Krivolutsky. Kluwer Academic Publisher, 155-163.
- [25] Chudy B., 1985. Zmiany w geokompleksie okolic Włocławka wywołane uprzemysłowieniem. PWN Warszawa, 1-141.
- [26] Cieśla W., 1988. Przemiany w środowisku przyrodniczym okolic Włocławka na przykładzie terenów przyległych do Zakładów Azotowych (ZAW). *Mat. konf. nauk. Zagadnienia ochrony środowiska w woj. włocławskim z uwzględnieniem ostatnich badań naukowych*. Włocławek, 1-13.

- [27] Dahm H., Strzelczyk E., Prusinkiewicz Z., 1986. Wpływ nawożenia lasu mocznikiem i chlorkiem potasu na rozwój bakterii o określonych właściwościach fizjologicznych w glebie i strefie korzeniowej sosny *Pinus sylvestris* L. Roczn. Glebozn. 37, 139-152.
- [28] Dallinger R., 1993. Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates. In: Ecotoxicology of metals in invertebrates. Eds. R. Dallinger, P.S. Rainbow. Lewis Publ., Boca Raton, Ann. Arbor, London, 245-287.
- [29] Danielak D., Ebelt M., Lenart W., Liszkowska E., Parteka T., Sadurski A., Świątek H., Tyszecki A., Warchołowski A., 1993. Ocena oddziaływania na środowisko ZWCh „Wistom”. Fundacja Ecobaltic, Biuro Projektowo-Doradcze Eko-Konsult, Gdańsk, 1-78.
- [30] Dąbrowski J., 1999. Roztocze (Acari) nadrzewne młodników sosnowych w rejonach oddziaływania zanieczyszczeń wybranych zakładów przemysłowych. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rozprawy 94, 1-89.
- [31] Dąbrowski J., Seniczak S., 1997. Mechowce (Acari, Oribatida) nadrzewne młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Huty Miedzi Głogów. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 1, 17-25.
- [32] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Długosz J., Lipnicki L., Paczuska B., 1997. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Huty Miedzi Głogów. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 1, 5-15.
- [33] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Hermann J., Lipnicki L., 1997. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy” w Bielawach. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 1, 71-82.
- [34] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Lipnicki L., 1997. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Chemicznych „Police”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 29, 45-56.
- [35] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Lipnicki L., Hermann J., Paczuska B., 1996. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Chemicznych „Luboń”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 28, 63-75.
- [36] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Lipnicki L., Paczuska B., 1996. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 27, 115-126.

- [37] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Lipnicki L., Paczuska B., 1997. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 29, 67-78.
- [38] Dąbrowski J., Seniczak S., Dąbrowska B., Lipnicki L., Paczuska B., Romiński M., 1996. Roztocze (Acari) nadrzewne i epifity młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych Włocławek. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 28, 87-100.
- [39] Dewey J.E., 1973. Accumulation of fluorides by insects near an emission source in Western Montana. *Envir. Entomol.* 2, 179-182.
- [40] Dziuba S., Dębowska G., 1983. Wpływ $Zn(NO_3)_2$ i $CuSO_4$ na przeżywalność i płodność *Rhizoglyphus echinopus* (Fumouze et Robin) oraz *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini). *Acta Biol.* 12, Katowice, 203-217.
- [41] Dziuba S., Skubała P., Rostowska M., 1990. Zgrupowania mechowców (Oribatida) w zdegradowanych biotopach okolic Katowic. *Acta Biol. Sil.* 16, Katowice, 33, 122-137.
- [42] Dziubek T., Fiksiński R., 1961. Wpływ zakładów nawozów fosforowych na zanieczyszczenia środowiska związkami fluoru. *Prace Kom. Nauk. Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN* 10, Poznań, 143-158.
- [43] Eitminavičiute I., 1960. Rasprostranenie oribatidnych kleščej v chvojnom lesu. *Liet. TSR. Moksl. Akad. Darb. S. Vilnius*, 3, 69-77.
- [44] Engelmann H.D., 1972. Die Oribatidenfauna des Neißetals bei Ostritz (Oberlausitz). *Abh. Ber. Naturk. Mus. Görlitz* 47, 1-44.
- [45] Ernst W.H.O., Joosse-van Damme E.N.G., 1989. Zanieczyszczenie środowiska substancjami mineralnymi. Skutki biologiczne. PWRiL Warszawa, 1-320.
- [46] Fałtynowicz W., 1994. Monitoring powietrza. Porosty jako biowskaźniki zanieczyszczenia. Centrum Edukacji Ekologicznej Wsi. Krosno. 1-34.
- [47] Fałtynowicz W., Izydorek I., Budzbon E., 1991. The lichen flora as bioindicator of air pollution of Gdańsk, Sopot and Gdynia. *Monographiae Botanicae* 73, 1-52.
- [48] Franz H., 1953. Der Einfluss verschiedener Düngungsmaßnahmen auf die Bodenfauna. *Angev. Pflanzensoz.*, 11, 1-50.
- [49] Franz H., 1968. Der Einfluss von Düngemitteln auf die Bodenlebewelt. In: *Handbuch Pflanzenernährung und Düngung*. Hrsg. H. Linser. Band 2, 1715-1730.
- [50] Franz H., Loub W., 1959. Bodenbiologische Untersuchungen an Walddüngungsversuchen. *Cbl. ges. Forstwesen* 76, 129-162.
- [51] Führer E., 1985. Air pollution and the incidence of forest insect problems. *Z. Ang. Ent.* 99, 371-377.

- [52] Fujii M., Honda S., 1974. The relative oral toxicity of some fluorine compounds for silkworm larvae. *Jour. Sericulture Sci.* 41, 104-110.
- [53] Gackowski G., Seniczak S., Klimek A., 1997. Wartość bioindykacyjna wybranych gatunków mechowców (Acari, Oribatida) glebowych zasiedlających młodniki sosnowe skażone zanieczyszczeniami Huty Miedzi Głogów. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika* 29, 105-115.
- [54] Gackowski G., Seniczak S., Klimek A., Zalewski W., 1997. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Huty Miedzi Głogów. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska* 1, 27-35.
- [55] Gackowski G., Seniczak S., Klimek A., 1997. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Huty Miedzi Głogów. *Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska* 1, 37-46.
- [56] Gadzikowski R., 1971. Oddziaływanie Zakładów Azotowych w Puławach na lasy w latach 1967-1970. *Sylwan* 115, 1.
- [57] Górny M., 1972. Badania zoocenologiczne gleb borów sosnowych w sąsiedztwie Zakładów Azotowych w Puławach. *Mat. XIX Zjazdu PTG*, 216-218.
- [58] Górny M., 1975. Zoekologia gleb leśnych. PWRiL Warszawa, 1-311.
- [59] Grandjean F., 1962. Nouvelles observations sur les oribates. (2^e série), *Acarologia* 4 (4), 396-422.
- [60] Greszta J., 1987. Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia na lasy. SGGW-AR Warszawa, 68-81.
- [61] Grodzińska K., 1983. Mchy i kora drzew jako czułe wskaźniki skażenia środowiska gazami i pyłami przemysłowymi. *Mat. konf. PAN Wrocław*, 67-86.
- [62] Grzywacz A., 1995. *Poznajmy las*. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk, Warszawa, 1-114.
- [63] Hågvar S., 1984. Six common mite species (Acari) in Norwegian coniferous forest soils: Relations to vegetation types and soil characteristics. *Pedobiologia* 27, 355-364.
- [64] Hågvar S., Abrahamsen G., 1980. Colonisation by Enchytraeidae, Collembola and Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. *Oikos* 34, 245-258.
- [65] Hågvar S., Abrahamsen G., 1990. Microarthropods and Enchytraeidae (Oligochaeta) in naturally lead-contaminated soils: a gradient study. *Envir. Ent.* 19, 1263-1277.
- [66] Hågvar S., Amundsen T., 1981. Effects of liming and artificial acid rain on the mite (Acari) fauna in coniferous forest. *Oikos* 37, 7-20.

- [67] Hågvar S., Kjøndal B.R., 1981. Effects of artificial acid rain on the microarthropod fauna in the decomposing birch leaves. *Pedobiologia* 22, 409-422.
- [68] Hammen L., 1952. The Oribatei (Acari) of the Netherlands. *Zool. Verh.* 17, Leyden, 1-139.
- [69] Hammen L., Strenzke K., 1953. A partial revision of the genus *Metabelba* Grandjean (Oribatei, Acari). *Zool. Medet.* 32, Leyden, 141-154.
- [70] Hammer M., 1962. Investigations on the oribatid fauna of the Andes Mountains. IV. Patagonia. *Biol. Skr.* 13, Kobenhavn, 1-37.
- [71] Hartenstein R., 1962. Soil oribatei. I. Feeding specificity among forest soil Oribatei (Acarina). *Ann. Ent. Soc. Am.* 55, 202-206.
- [72] Hartmann P., Fischer R., Scheidler M., 1989. Auswirkungen der Kalkdüngung auf die Bodenfauna in Fichtenforsten. *Verh. Ges. Ökol.* 17, 585-589.
- [73] Hopkin S.P., 1989. Ecophysiology of Metals in terrestrial invertebrates. Elsevier Appl. Sci., London, 1-366.
- [74] Hopkin S.P., Martin M.H., 1985. Transfer of heavy metals from leaf litter to terrestrial invertebrates. *Jour. Sci. Food Agr.* 36, 538-539.
- [75] Hughes P. R., 1988. Insect populations on host plants subjected to air pollution. In: *Plant Stress-Insect Interactions*. Ed. E.A. Heinrichs. John Wiley & Sons Inc. New York, 8, 249-319.
- [76] Huhta V., Hyvönen R., Koskeniemi A., Vilkkamaa P., 1983. Role of pH in the effect of fertilisation on Nematoda, Oligocheta and microarthropods. In: *New Trends in Soil Biology*. Eds. Ph. Lebrun, H.M. André, A. de Medts, C. Grégoire-Wibo & G. Wauthy. Proc. VII. Int. Coll. Soil Zoology. Dieu-Brichart, Ottignies-Louvain-la-Neuve, 61-73.
- [77] Huhta V., Karppinen M., Nurminen M., Valpas A., 1967. Effects of silvicultural practices upon arthropods and nematode populations in coniferous forest soil. *Ann. Zool. Fenn.* 4, 87-143.
- [78] Huhta V., Nurminen M., Valpas A., 1969. Further notes on the effect of silvicultural practices upon the fauna of coniferous forest soil. *Ann. Zool. Fenn.* 6, 327-334.
- [79] Ignatowicz S., 1979. Effect of inorganic salts upon biology and development of acarid mites. III. Effects of relative humidity and mineral salts upon fecundity and longevity of copra mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acarina, Acaridae). *Pol. Pismo Ent.* 49, 577-581.
- [80] Ignatowicz S., 1980. Effect of inorganic salts upon biology and development of acarid mites. IV. Effects of calcium phosphate surplus in food upon fecundity, life span and development of copra mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acarina, Acaridae). *Pol. Pismo Ent.* 50, 289-298.

- [81] Ignatowicz S., Pankiewicz-Nowicka D., 1980. Effect of inorganic salts upon biology and development of acarid mites. VI. Effect of tricalcium phosphate and calcium chloride surplus in food upon fecundity, life span and egg viability of flour mite, *Acarus siro* L. (Acarina, Acaridae). Pol. Pismo Ent. 50, 541-546.
- [82] Ionescu A., 1978. Zanieczyszczenia cywilizacyjne i ich skutki w rolnictwie. PWRiL Warszawa.
- [83] Janovskij V.M., 1990. Nasekomye i problema ekologičeskogo monitoringa lesnych ekosistem. Les. Choz. 11, 29-32.
- [84] Janssen M.P.M., Joosse E.N.G., van Straalen N.M., 1990. Seasonal variation in concentration of cadmium in litter arthropods from a metal contaminated site. Pedobiologia 34, 257-267.
- [85] Joosse E.N.G., Verhoef S.C., 1983. Lead tolerance in Collembola. Pedobiologia 25, 11-18.
- [86] Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch C., 1995. Podstawy chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Ochrony Środowiska, Warszawa, 1-41.
- [87] Kac-Kacas M., 1967. Badania nad potencjalną kwasowością gleby. Pam. Puł., Sup. 24, 24-74.
- [88] Kaczmarek S., 1977. Stawonogi (Arthropoda) zasiedlające gniazda ptaków w skrzynkach lęgowych rozmieszczonych w drzewostanach leśnych. Wyd. WSP w Słupsku, 34, 1-152.
- [89] Kaczmarek S., 2000. Glebowe Gamasida (Acari) młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń wybranych zakładów przemysłowych. Wyd. Uczeln. WSP w Bydgoszczy, 1-121.
- [90] Kaczmarek S., Seniczak S., 1997. Gamasida (Acari) glebowe młodników sosnowych w zasięgu oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 29, 129-137.
- [91] Kassenberg A., Rolewicz Cz., 1985. Przestrzenna diagnoza ochrony środowiska w Polsce. PWE Warszawa, 1-125.
- [92] Kawecka A., 1972. Stopień uszkodzenia drzewostanów w Nadleśnictwie Puławy pod wpływem emisji związków azotu. Las Polski 4.
- [93] Kettle A., Port G., Davison A., 1983. Preliminary survey of the impact of fluoride pollution on invertebrates. Bull. British Ecol. Soc. 14, 110-111.
- [94] Kielczewski B., Nawrot J., Wiśniewski J., 1970. Roztocze występujące na gmachówce (*Camponotus* Mayr; Hymenoptera, Formicidae) i w jej gniazdach. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN 30, Poznań, 17-26.

- [95] Kiełczewski B., Seniczak S., 1971. Mechowce (Oribatei) występujące na świerku pospolitym. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN 32, Poznań, 45-49.
- [96] Kiełczewski B., Wiśniewski J., 1973. Fauna roztoczy wymarłych gniazd mrówek z grupy *Formica rufa* w Nadleśnictwie Doświadczalnym Zielonka. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN 36, Poznań, 33-38.
- [97] Kiełczewski B., Wiśniewski J., 1978. Bark beetle acarofauna in different types of forest habitat. Part IV. Oribatei. Bull. Soc. Amis Sci. D 18, Poznań, 119-133.
- [98] Kiełczewski B., Wiśniewski J., 1982. Las w środowisku życia człowieka. PWRiL Warszawa, 1-204.
- [99] Klimek A., Seniczak S., 1993. Akarofauna (Acari) glebowa boru świeżego z runem mszystym i bez runa w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych Włocławek. I. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 24, 125-135.
- [100] Klimek A., Seniczak S., 1994. Akarofauna (Acari) glebowa boru świeżego w płatach z runem mszystym i bez runa w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych Włocławek. II. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 25, 133-145.
- [101] Klimek A., Seniczak S., 1994. Akarofauna (Acari) glebowa boru świeżego w płatach z runem mszystym i bez runa w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych Włocławek. III. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 25, 147-160.
- [102] Klimek A., Seniczak S., 1997. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy” w Bielawach. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 29, 89-104.
- [103] Klimek A., Seniczak S., 1998. Influence of sulphur pollution emitted by the „Wistom” chemical factory on soil mites (Acari) in young Scots pine forests, with specifics analysis of Oribatida. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 2, 221-227.
- [104] Klimek A., Seniczak S., 1998. The mites (Acari) associated with salty soils from South Poland. In: Soil Zoological Problems in Central Europe. Eds. V. Pižl, K. Tajovský. České Budějovice, 87-91.
- [105] Klimek A., Seniczak S., 1999. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom” w Tomaszowie Mazowieckim. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 30, 153-166.
- [106] Klimek A., Seniczak S., 1999. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów

- Chemicznych „Luboń”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 30, 131-143.
- [107] Klimek A., Seniczak S., 1999. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Chemicznych „Luboń”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 30, 121-129.
- [108] Klimek A., Seniczak S., 2000. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 32, 101-115.
- [109] Klimek A., Seniczak S., 2000. Mechowce (Acari, Oribatida) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych „Włocławek”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 31, 95-107.
- [110] Klimek A., Seniczak S., 2000. Mechowce glebowe (Acari, Oribatida) młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Chemicznych „Police”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 31, 117-129.
- [111] Klimek A., Seniczak S., 2000. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Azotowych „Włocławek”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 31, 85-94.
- [112] Klimek A., Seniczak S., 2000. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 32, 93-100.
- [113] Klimek A., Seniczak S., Bukowski G., 1995. The soil mites (Acari) associated with young Scots pine forests polluted by a chemical factory „Luboń” near Poznań. Proc. Symp. „Advances of Acarology in Poland”, Siedlce, 49-52.
- [114] Klimek A., Seniczak S., Długosz J., 1999. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom” w Tomaszowie Mazowieckim. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 30, 145-152.
- [115] Klimek A., Seniczak S., Długosz J., 2000. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanieczyszczeń Zakładów Chemicznych „Police”. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 31, 109-116.
- [116] Klimek A., Seniczak S., Długosz J., Cieścińska B., 1996. Roztocze (Acari) glebowe młodników sosnowych w rejonie oddziaływania zanie-

- czyszczeń Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy” w Biela-
wach. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 28, 111-119.
- [117] Klimek A., Seniczak S., Żelazna E., Dąbrowska B., 1991. Akarofauna (Acari) skarp osadników produktów odpadowych Janikowskich Zakładów Sodowych. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 22, 151-165.
- [118] Kluczyński B., 1989. Wpływ związków fluoru na rośliny drzewiaste. W: Życie drzew w skażonym środowisku. Red. S. Białobok. PWN Warszawa-Poznań, 105-128.
- [119] Knülle W., 1957. Die Verteilung der Acari: Oribatei im Boden. Zeitschr. Morph. u. Ökol. Tiere 46, 397-432.
- [120] Koehler H., 1990. Indikation und Beurteilung einer Chemikalienapplikation mit Hilfe der Bodenmesofauna. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol. 7, 582-587.
- [121] Koehler H., 1996. Soil animals and bioindication. In: Bioindicator System for Soil Pollution. Eds. N.M., van Straalen, D.A. Krivolutski. Kulwer Academic Publishers, 179-188.
- [122] Kolk A., Lech P., Sierota Z., 1996. Określanie stref zagrożeń lasów Polski przez czynniki biotyczne. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska w Warszawie, 1-50.
- [123] Koskenniemi A., Huhta V., 1986. Effects of fertilisation and manipulation of pH on mite (Acari) populations coniferous forest soil. Rev. Écol. Biol. Sol. 23, 271-286.
- [124] Kowalkowski A., Szczęsny P., Borzyszkowski J., 1977. Wpływ imisji azotowej na sorpcyjne właściwości gleb leśnych w okolicy Puław. Rocz. Glebozn. 28 (1), 95-106.
- [125] Kramarz P., 1996. Biomagnifikacja czy detoksykacja - sposoby regulacji poziomu metali u bezkręgowców glebowych. Wiad. Ekol. 42, 79-90.
- [126] Kratzmann M., 1993. Oribatidengesellschaften (Acari) ausgewählter Waldstandorte unter Berücksichtigung verschiedener Umweltveränderungen und Belastungsfaktoren. Inaug. Dissert. Natur. Mathem. Gesamtfakul. Universität Heidelberg, 1-255.
- [127] Kratzmann M., Ludwig M., Błaszak C., Alberti G., 1993. Mikroarthropoden: Reactionen auf Bodenversauerung, Kompensationskalkungen und Schwermetalle. Inf. Natursch. Landschaftspfl. 6, 94-110.
- [128] Krawczyk A., 1985. Wrażliwość mszyc na dwutlenek siarki. Cz. II. Wpływ SO₂ na aktywność wybranych enzymów mszyc *Macrosiphoniella oblonga* (Mordv.) i *Macrosiphoniella artemisiae* (B. de F.) (Homoptera: Aphididae). Acta Biol. 17, Katowice, 114-129.
- [129] Królikowski L., Ciok B., 1968. Glin wymienny hamuje rozwój i wzrost siewek sosnowych. Prace IBL 365, 13-19.

- [130] Kulisz I., 1988. Kwaśne opady i ich wpływ na środowisko. Wyd. Geolog. Warszawa, 1-67.
- [131] Laskowski R., 1988. Rozkład ściółki w ekosystemach leśnych a zanieczyszczenia przemysłowe. Wiad. Ekol. 34, 45-59.
- [132] Lebrun Ph., 1965. Contribution a l'étude écologique des Oribates de la litière dans une forêt Moyenne-Belgique. Mem. Inst. Sc. Nat. Belg. 153, 1-96.
- [133] Lebrun Ph., 1976. Effets écologiques de la pollution atmosphérique sur les populations et communautés de microarthropodes corticoles (Acariens, Collemboles et Pterygotes). Bull. Ecol. 7, Belgique, 417-430.
- [134] Lebrun Ph., Goossens J.M., Wauthy G., 1978. The effect of interaction between the concentration of SO₂ and the relative humidity of air on the survival of the bark-living bioindicator mite *Humerobates rostralamellatus*. Water Air Soil Polut. 10, 269-275.
- [135] Lebrun Ph., Wauthy G., Lebranc Ch., Goossens M., 1977. Tests écologiques de toxicotolérance au SO₂ sur l'oribate corticole *Humerobates rostralamellatus* (Grandjean 1936) (Acari: Oribatei). Ann. Soc. r. Zool. Belg. 106, 193-200.
- [136] Lions J., Gourbière F., 1988. Populations adultes et immatures d'la *Adoristes ovatus* (Acarien, Oribate) dans les aiguilles de la litière d' *Abies alba*. Rev. Ekol. Biol. Sol. 25, 343-352.
- [137] Liwińska A., Wawrzoniak J., 1993. Zanieczyszczenia powietrza w lasach, okres letni 1992. IBL Warszawa, 1-14.
- [138] Liwińska A., Wawrzoniak J., 1994: Zanieczyszczenia powietrza w lasach, okres letni 1993. IBL Warszawa, 1-13.
- [139] Lohm U., Lundkvist H., Persson T., Wiren A., 1977. Effects of nitrogen fertilisation on the abundance of enchytraeids and microarthropods in Scots pine forests. Stud. Forest. Sueci. 140, 2-22.
- [140] Ludwig M., Kratzmann M., Alberti G., 1991. Accumulation of heavy metals in two oribatid mites. In: Modern Acarology. Eds. F. Dusbábek V. Bukva. SPB Pub., The Hague, 1, 431-437.
- [141] Ludwig M., Kratzmann M., Alberti G., 1992. Observations on the pre-ventricular glands („organes racemiformes”) of the oribatid mite *Chamobates borealis* (Acari, Oribatida): an organ of interest for studies adaptation of animals to soils. Exp. Appl. Acarology 15, 49-57.
- [142] Luxton M., 1972. Studies on the oribatid mites a Danish beech wood soil. I. Nutritional biology. Pedobiologia 12, 434-463.
- [143] Ma W.C., 1982. The influence of soil properties and worm related factors on the concentration of heavy metals in earthworms. Pedobiologia 24, 109-119.

- [144] Madden K.E., Fox B.J., 1997. Arthropods as indicators of the effects of fluoride pollution on the succession following sand mining. *Jour. Appl. Ecol.* 34, 1239-1256.
- [145] Madziara-Borusiewicz K., 1983. Szkodliwe owady plagą parków narodowych. *Aura* 1, 20-21.
- [146] Magurran A.E., 1988: Ecological diversity and its measurement. Chapman & Hall London, 1-179.
- [147] Malczyk P., 1988. Zmiany zawartości mineralnych form azotu w glebach leśnych otoczenia Zakładów Azotowych we Włocławku w latach 1974-1986. *Mat. konf. nauk. Zagadnienia ochrony środowiska w woj. włocławskim z uwzględnieniem ostatnich badań naukowych.* Włocławek, 14-32.
- [148] Malinowski H., 1993. Ekologiczne konsekwencje oddziaływania zanieczyszczeń środowiska na owady. *Prace IBL, B*, 17, 79-92.
- [149] Märkel K., 1958. Über die Hornmilben (Oribatei) in der Rohhumusaufgabe älterer Fichtenbestände des Osterzgebirges. *Archiv. für Forstwesen* 7, 459-501.
- [150] Märkel M., Bösenker R., 1960. Die Bedeutung der Bodentierwelt für den Erfolg von Bestandeskalkungen. *Forst und Jagd.* 10, 179-181.
- [151] Marska B., 1982. Wpływ Zakładów Chemicznych „Police” na skład gatunkowy porostów Puszczy Wkrzańskiej. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rolnictwo* 29, 95-110.
- [152] Martin M.H., Coughtrey P.J., 1982. Biological monitoring of heavy metal pollution - land and air. Applied Science Publishers, London, New York.
- [153] Matuszkiewicz W., 1982. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN Warszawa, 1-298.
- [154] Migula P., 1989. Combined and separate effects of cadmium, lead and zinc on respiratory metabolism during the last larval stage of the house cricket (*Acheta domestica*). *Biologia* 44, Bratislava, 513-521.
- [155] Migula P., 1991. Strategie adaptacji bezkręgowców do środowisk zanieczyszczonych metalami ciężkimi. *Biotechnologia* 3-4, 50-62.
- [156] Migula P., 1993. Kiedy metale ciężkie są szkodliwe. *Fund. Ekol. Silesia Katowice*, 1-111.
- [157] Migula P., Kędziorski A., Nakonieczny M., Kafel A., 1989 Combined and separate effects of heavy metals on energy budget and metal balances in *Acheta domestica*. *Utr. Prade J. Zool.* 9, 140-149.
- [158] Mitterböck F., Führer E., 1988. Effects of fluoride polluted spruce leaves on nun moth caterpillars, *Lymantria monacha* L. (Lep., Lymantriidae). *Jour. Appl. Entomol.* 105, 19-27.

- [159] Moritz M., 1963. Über Oribatidengemeinschaften (Acari: Oribatei) norddeutscher Laubwaldböden, unter besonderer Berücksichtigung der die Verteilung regelnden Milieubedingungen. *Pedobiologia* 3, 142-243.
- [160] Moskačeva E.A., 1953. Pancyrnyje klešči (Oribatei) pastbišč Goreckogo rajona Belorusskoj SSR - perenoščiki glistnyh invazij travojadnych životnyh. *Trudy belorus. Akad., Horki*, 19, 84-107.
- [161] Moursi A., 1962. The lethal doses of CO₂, N₂, NH₃ and H₂S for soil arthropods. *Pedobiologia* 2, 9-14.
- [162] Moursi A., 1970. Toxicity of ammonia on soil arthropods. *Bull. Ent. Soc. Egypt Econ.* 4, 241-244.
- [163] Niedbała W., 1969. Fauna mechowców (Acari, Oribatei) nadrzewnych w okolicach Poznania. *Pol. Pismo Entomol., Wrocław*, 39 (1), 83-94.
- [164] Niedbała W., 1972. Sukcesja ekologiczna zgrupowań mechowców (Acari, Oribatei) zadrzewień Uroczyska Marcelin w Poznaniu. *Prace Kom. Biol. PTPN* 35, Poznań, 3, 1-94.
- [165] Niedbała W., 1977. Badania biocenotyczne nad mechowcami (Acari, Oribatei) Masywu Ślęży. Badania fizjograficzne nad Polską zachodnią, 30 C, 47-73.
- [166] Niedbała W., 1980. *Mechowce - roztocze ekosystemów lądowych*. PWN Warszawa, 1-255.
- [167] Odum E.P., 1982. *Podstawy ekologii*. PWRiL Warszawa, 1-661.
- [168] Olszanowski Z., Rajski A., Niedbała W., 1996. *Roztocze - Acari. Tom 9. Mechowce - Oribatida. Katalog fauny Polski, Poznań*, 55, 1-243.
- [169] Ostrowska A., 1980. Akumulacja azotu w igłach, korze i drewnie sosny w zasięgu oddziaływania Zakładów Azotowych w Puławach. *Rocz. Glebozn.* 20, 117-131.
- [170] Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991. *Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1-334.
- [171] Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe. 1999. *Sprawozdanie z działalności za rok 1998*. Warszawa, 1-39.
- [172] Peus F., 1932. Die Tierwelt der Moore unter besonderer Berücksichtigung der europäischen Hochmoore. In: *Handbuch der Moorkunde*, Berlin, 7.
- [173] Piechota J., Piechota M., 1987. Właściwości biologiczne mszyc a możliwość bioindykacji zmian w środowisku. *Wiad. Entomol.* 7 (1-2), 11-12.
- [174] Porzner A., Weigmann G., 1992. Die Hornmilbenfauna (Acari, Oribatida) an Eichenstämmen in einem Gradienten von Autoabgas-Immissionen. *Zool. Beitr. N.F.* 34 (2), 249-260.

- [175] Prusinkiewicz Z., 1994. Leksykon ekologiczno-gleboznawczy. PWN Warszawa, 1-289.
- [176] Prusinkiewicz Z., Józefkiewicz-Kotlarz J., 1982. Dynamics of ammonia volatilisation from the urea applied in fertilisation of poor forest soils and the possibility of reducing the nitrogen losses by simultaneous application of potassium chloride. *Rocz. Glebozn.* 33 (1-2), 19-34.
- [177] Prusinkiewicz Z., Konys L., Mąkosa K., 1986. Wieloczynnikowa analiza statystyczna składu pierwiastkowego igieł sosnowych jako metoda ekologicznej oceny siedlisk leśnych. *Rocz. Glebozn.* 37 (4), 159-185.
- [178] Prusinkiewicz Z., Krzemień K., 1974. Toksyczny wpływ wolnego glinu z orsztynowego poziomu bielicy na rozwój sadzonek sosny pospolitej *Pinus L.* *Rocz. Glebozn.* 25 (3), 207-222.
- [179] Prusinkiewicz Z., Kwiatkowska A., Pokojska U., 1990. Wpływ kwaśnych deszczów i rodzaju gleby (podłoża) na stężenie pierwiastków biofilnych w organach asymilacyjnych i korzeniach oraz na cechy biometryczne sadzonek kilku gatunków drzew leśnych. W: *Ekologiczne podstawy gospodarki leśnej i kształtowania zdolności lasu do pełnienia wielostronnych funkcji.* SGGW-AR Warszawa, 31-51.
- [180] Prusinkiewicz Z., Kwiatkowska A., Pokojska U., 1992. Zmiany odczynu i buforowość gleb w świetle kilkuletnich symulacyjnych doświadczeń terenowych nad skutkami kwaśnych deszczów. *Rocz. Glebozn.* 43 (1/2), 5-21.
- [181] Prusinkiewicz Z., Pokojska U., 1989. Wpływ imisji przemysłowych na gleby. W: *Życie drzew w skażonym środowisku.* Red. S. Białobok PWN Warszawa, 223-244.
- [182] Prusinkiewicz Z., Stefaniak O., Seniczak S., 1975. Wstępne badania nad rolą mikroflory przewodu pokarmowego wybranych gatunków mechowców (Oribatei, Acarina) w procesach humifikacji i mineralizacji ściółek leśnych. *Prace Kom. Nauk PTG* 3, 107-126.
- [183] Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975. Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL Warszawa, 1-619.
- [184] Puszkarski T., 1976. Próba zastosowania fauny glebowej jako bioindykatora stopnia zniszczenia i odbudowy środowiska przyrodniczego w rejonie oddziaływania Zakładów Azotowych w Puławach. *Pam. Puł.* 66, 229-239.
- [185] Puszkarski T., 1979. The effect of industry on epigeic and soil fauna. *Memorab. Zool.* 32, 101-118.
- [186] Puszkarski T., 1981. Zmiany wybranych elementów zoocenoz w agroekosystemach poddawanych silnej presji emisji przemysłowych. *IUNG Puławy*, 1-77.

- [187] Rajski A., 1961. Studium ekologiczno-faunistyczne nad mechowcami (Acari, Oribatei) w kilku zespołach roślinnych. I. Ekologia. Prace Kom. Biol. PTPN 25, 123-283.
- [188] Rajski A., 1968. Autecological-zoogeographical analysis of moss mites (Acari, Oribatei) on the basis of fauna in the Poznań environs. Part II. *Fragm. Faun.* 12, 277-405.
- [189] Reeves R.M., 1967. Seasonal distribution of some forest soil Oribatei. *Proc. 2nd Intern. Congr. Acarology*, 23-30.
- [190] Remert H., 1985. *Ekologia*. PWRiL Warszawa, 1-735.
- [191] Ritter T., Weber G., Kottke I., Oberwinkler F., 1989. Zur Mykorrhizaentwicklung von Fichten und Tannen in geschädigten Beständen. *Biologie in unserer Zeit* 19, 9-15.
- [192] Roberge M.R., Knowles R., 1966. Microbial populations in a black spruce humus fertilised with urea. *Woodlds. Res. Ind.* 180, 1-27.
- [193] Ronde G., 1960. Waldbodensgemeinschaften - Bodenfauna. *Z. angew. Ent.* 47, 52-57.
- [194] Rozwałka Z., Czuba M., Okła K., Kapuściński R., Fonder W., Kowalkowska M., Stocki J., Wolcendorf W., 1997. *Las w liczbach*. Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzczak w Warszawie, 1-162.
- [195] Rühling A., Bååth E., Nordgren A., Söderström B., 1984. Fungi in metal contaminated soil near the Guzum brass mill. Sweden. *Ambio* 13, 29-33.
- [196] Russell D.J., Alberti G., 1998. Effects of long-term, geogenic heavy metal contamination on soil organic matter and microarthropod communities, in particular Collembola. *Applied Soil Ecology* 9, 483-488.
- [197] Salminen J., Haimi J., 1998. Responses of the soil decomposer community and decomposition processes to the combined stress of pentachlorophenol and acid precipitation. *Applied Soil Ecology* 9, 475-481.
- [198] Sawicka-Kapusta K., 1990. Reakcja roślin na dwutlenek siarki i metale ciężkie w środowisku - bioindykacja. *Wiad. Ekol.* 36 (3), 95-109.
- [199] Schatz H., 1983. *Catalogus Faunae Austriae. Teil IX. U-Ordn.: Oribatei, Hornmilben*. Verl. österr. Akad. Wiss., Wien, 1-118.
- [200] Schenker R., 1984. Spatial and seasonal distribution patterns of oribatid mites (Acari: Oribatida) in a forest soil ecosystem. *Pedobiologia* 27, 133-149.
- [201] Schuster R., 1956. Der Anteil der Oribatiden an den Zersetzungsvorgängen im Boden. *Z. Morph. Ökol. Tiere* 45, 1-33.
- [202] Selichovkin A.V., 1992. Lesoentomologiceskij monitoring v zonach intensivnogo promyslennogo zagraznenija. *Les. Zurn.* 1, Archangielsk, 16-19.

- [203] Seniczak A., 1998. Preliminary studies on the influence of food on the development and morphology of *Archezogozetes longisetosus* Aoki (Acari, Oribatida) in the laboratory conditions. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 2, 175-180.
- [204] Seniczak A., Seniczak S., 1998. The influence of lead on the morphology of *Archezogozetes longisetosus* (Acari, Oribatida). In: Soil Zoological Problems in Central Europe. Eds. V. Pižl, K. Tajovský. České Budějovice, 199-205.
- [205] Seniczak A., Seniczak S., Długosz J., 1997. The influence of copper on the development, fertility and mortality of *Archezogozetes longisetosus* Aoki (Acari, Oribatida) in the laboratory conditions. Mengen - und Spurenelemente, 17 Arbeitstagung. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 620-626.
- [206] Seniczak A., Seniczak S., Długosz J., 1998. The influence of lead on the development, fertility and mortality of *Archezogozetes longisetosus* Aoki (Acari, Oribatida) in laboratory conditions. In: Proc. 2nd Inter. Conf. Trace Elements - Effects on Organisms and Environment. Eds. P. Mięgula, B. Doleżyk, M. Nakonieczny M., Katowice, 187-191.
- [207] Seniczak S., 1973. Pionowe rozmieszczenie roztoczy nadrzewnych na niektórych gatunkach drzew w różnych typach siedliskowych lasu. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN 36, Poznań, 171-189.
- [208] Seniczak S., 1978. Stadia młodociane (Acari, Oribatei) jako istotny składnik zgrupowań tych roztoczy przetwarzających glebową substancję organiczną. UMK Toruń, Skrypty i teksty pomocnicze, 1-171.
- [209] Seniczak S., 1979. Fauna mechowców (Acari, Oribatei) jako indyktor biologicznych właściwości próchnic leśnych. Prace Kom. Nauk. PTG 37, 157-166.
- [210] Seniczak S., 1979. Wpływ mechowców (Acari, Oribatei) na procesy przetwarzania glebowej substancji organicznej. Prace Kom. Nauk. PTG 5, 123-131.
- [211] Seniczak S., 1985. Roztocze poziomów próchnicznych ubogich gleb leśnych zdegradowanych i niezdegradowanych ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Acari: Oribatei). Prace Kom. Nauk. PTG 90, 186-190.
- [212] Seniczak S., 1985. Wpływ nawożenia mineralnego na roztocze glebowe młodnika sosnowego ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Acari, Oribatei). Prace Kom. Nauk. PTG 90, 191-197.
- [213] Seniczak S., Dąbrowski J., 1993. The mites (Acari) of an old Scots pine forest polluted by a nitrogen fertiliser factory at Włocławek (Poland). I. Zool. Beitr. N.F. 35 (1), 3-17.

- [214] Seniczak S., Dąbrowski J., Dąbrowska B., Gackowski G., 1993. Wpływ aerozoli ścieków pochodzących z Zakładów Chemicznych „Organika-Zachem” w Bydgoszczy na akarofaunę łąkową, ze szczególnym uwzględnieniem Oribatida (Acari). Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 23, 121-132.
- [215] Seniczak S., Dąbrowski J., Dąbrowska B., Szulc J., 1996. Akarofauna (Acari) gniazd wybranych ptaków śpiewających (Passeriformes, Oscines) Puszczy Bydgoskiej. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 27, 103-114.
- [216] Seniczak S., Górniak G., 1997. Wpływ symulowanych kwaśnych deszczów na roztocze glebowe (Acari) uprawy sosnowej ze szczególnym uwzględnieniem Oribatida. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 1, 47-56.
- [217] Seniczak S., Kaczmarek S., Klimek A. 1991. Akarofauna glebowa (Acari) wybranych zadrzewień śródpolnych okolic Turwi. I. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 19, 143-153.
- [218] Seniczak S., Kaczmarek S., Klimek A. 1991. Akarofauna glebowa (Acari) wybranych zadrzewień śródpolnych okolic Turwi. II. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 21, 111-123.
- [219] Seniczak S., Kaczmarek S., Klimek A. 1991. Wpływ zadarnienia na akarofaunę glebową (Acari) boru świeżego w rejonie oddziaływania emisji zanieczyszczeń Zakładów Azotowych we Włocławku. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 19, 129-141.
- [220] Seniczak S., Kaczmarek S., Klimek A. 1994. The mites of an old Scots pine forests polluted by a nitrogen factory at Włocławek (Poland). III. Zool. Beitr. 36, 11-28.
- [221] Seniczak S., Kaczmarek S., Ratyńska H., 1994. Dynamika liczebności roztoczy (Acari) w 1992 r. w zadrzewieniu śródpolnym zdominowanym przez dąb bezszypułkowy w okolicach Turwi. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 26, 133-144.
- [222] Seniczak S., Kaczmarek S., Ratyńska H., Seniczak A., 1996. Akarofauna (Acari) glebowa strefy ekotonowej, pomiędzy zadrzewieniem śródpolnym a łąką, w krajobrazie rolniczym okolic Turwi. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 28, 121-132.
- [223] Seniczak S., Kaczmarek S., Ratyńska H., Seniczak A., 1997. Roztocze (Acari) glebowe strefy ekotonowej, pomiędzy zadrzewieniem śródpolnym a uprawą lucerny, w krajobrazie rolniczym okolic Turwi. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Ochrona Środowiska 1, 57-69.
- [224] Seniczak S., Klimek A., Górniak G., 1993. Rozkład przestrzenny roztoczy (Acari) w płatach słonorośli w rejonie oddziaływania Janikowskich

- Zakładów Sodowych. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 23, 133-146.
- [225] Seniczak S., Klimek A., Kaczmarek S. 1994. The mites (Acari) of an old Scots pine forest polluted by a nitrogen fertiliser factory at Włocławek (Poland). II. Litter/soil fauna. Zool. Beitr. N.F. 35 (2), 199-216.
- [226] Seniczak S., Klimek A., Kaczmarek S., 1989. Akarofauna glebowa (Acari) wybranych płatów boru świeżego w rejonie oddziaływania emisji zanieczyszczeń Zakładów Azotowych we Włocławku. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 18, 117-131.
- [227] Seniczak S., Klimek A., Kaczmarek S., 1999. Soil mites (Acari) associated with meadows polluted by the „Polchem” chemical factory in Toruń (Poland). In: Soil Zoology in Central Europe. Eds. K. Tajovský, V. Pižl. České Budějovice, 295-300.
- [228] Seniczak S., Klimek A., Kaczmarek S., 2000. The soil mites (Acari) of the ecotone between the Scots pine forest and meadow in the forest landscape in Tuchola forest, Poland. Intern. Congress of IALE (w druku).
- [229] Seniczak S., Klimek A., Słowikowska M., 1986. Wpływ deszczowania na akarofaunę łąkową ze szczególnym uwzględnieniem mechowców (Acarida, Oribatida). Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 14, 113-126.
- [230] Seniczak S., Kowalska E., 1994. Rozkład przestrzenny roztoczy (Acari) w glebie łąkowej w krajobrazie rolniczym okolic Turwi. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 26, 111-118.
- [231] Seniczak S., Plichta W., 1978. Structural dependence of moss mites populations (Acari. Oribatei) in patchiness of vegetation in moss-lichen tundra at the north coast of Hornsund, West Spitsbergen. Pedobiologia 18, 145-152.
- [232] Seniczak S., Słowikowska M., 1993. Wpływ herbicydów i nawozów azotowych na akarofaunę glebową uprawy sosnowej zachwaszczonej trzcinikiem, ze szczególnym uwzględnieniem Oribatida (Acari). Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Zootechnika 23, 87-98.
- [233] Seniczak S., Solhøy T., 1988. The morphology of juvenile stages of moss mites of the family Chamobatidae Thor (Acarida, Oribatida). I. Ann. Zool. 41, Warszawa, 491-502.
- [234] Siepel H., 1990. Niche relationship between two panphytophagous soil mites. *Nothrus silvestris* Nicolet (Acari, Oribatida, Nothridae) and *Platynothrus peltifer* (Koch) (Acari, Oribatida, Camisiidae). Biol. Fertil. Soils 9, 139-144.
- [235] Sierpiński Z., 1987. Szkodliwe owady leśne bioindykatorami zanieczyszczeń powietrza? W: Materiały II Krajowego Sympozjum nt. Re-

- akcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Wyd. Nauk. UAM Poznań, 321-325.
- [236] Siuta J., Adamczyk-Winiarska Z., Król M., 1972. Wpływ przemysłu azotowego na chemiczne i biologiczne właściwości gleb w okolicach Puław. Mat. XIX Ogólnopol. Zjazdu Nauk. PTG, 170-178.
- [237] Sohlenius B., Wasilewska L., 1984. Influence of irrigation and fertilisation on the nematode community in a Swedish pine forest soil. Jour. Appl. Ecol. 21, 327-342.
- [238] Stefaniak O., Seniczak S. 1976. The microflora of the alimentary canal of *Achipteria coleoptrata* (Acarina, Oribatei). Pedobiologia 16, 185-194.
- [239] Stefaniak O., Seniczak S., 1985. Mikroflora przewodu pokarmowego mechowców (Acari, Oribatei) jako element biologicznych przemian glebowych substancji organicznych. Prace Kom. Nauk. PTG 90, 197-203.
- [240] Strenzke K., 1952. Untersuchungen über die Tiergemeinschaften des Bodes: Die Oribatiden und ihre Synusien in Böden Norddeutschlands. Zoologica 104, 1-172.
- [241] Strojan C.L., 1978. Forest leaf litter decomposition in the vicinity of a zinc smelter. Oecologia 32, 203-212.
- [242] Strzyszczyk Z., 1982. Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwość jego rekultywacji. Ossolineum Wrocław, 1-90.
- [243] Stumpp J., Bernhard M., Funke W., Höfer H., Jans W., Lehle E., Roth-Holzzapfel M., Schmitt G., Vogel J., Wanner M., 1986. Bodentiere in Fichtenforsten - sensitive Indikatoren tiefgreifender Veränderungen in Waldökosystemen. Verh. Dtsch. Zool. Ges. 79, 403.
- [244] Suski Z.W., Badowska T., 1975. Effect of the host plant nutrition on the population of the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acarina; Tetranychidae). Ekol. Pol. 23, 185-209.
- [245] Szczepaniak W., Bałazy S., 1992. Stan i zagrożenia lasów komunalnych miasta Poznania. W: Mat. symp. podypl. „Gospodarka przestrzenna miast i gmin zachodnich”. Politechnika Poznańska, 119-128.
- [246] Szerszeń L., Karczewska A., Roszyk E., Chodak T., 1991. Rozmieszczenie Cu, Pb i Zn w profilach gleb przyległych do hut miedzi. Rocz. Glebozn. 42 (3-4), 199-206.
- [247] Szujewski A., 1983. Ekologia owadów leśnych. PWN Warszawa, 1-603.
- [248] Świeboda M., Kalembe A., 1978. Porosty biologicznym wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Wiad. Ekol. 24 (3), 209-224.
- [249] Tischler W., 1984. Einführung in die Ökologie. Gustav Fischer, Stuttgart, New York, 3, 1-437.

- [250] Traitteur-Rond G., 1961. Bodenzoologische Untersuchungen von Stickstoffformen Vergleichversuchen in Baden Wurttemberg. Allg. Forst. Jagdz. 132, 303-311.
- [251] Trampler T., 1990. Regionalizacja przyrodniczo-leśna na podstawach ekologiczno-fizjologicznych. PWRiL Warszawa, 1-155.
- [252] Travé J., 1963. Écologie et biologie des Oribates (Acarines) saxicoles et arboricoles. Vie et Milieu, Paris, Suppl. 14, 1-267.
- [253] Trojan P., 1992. Analiza struktury fauny. Memorabilia Zool., Warszawa, 1-115.
- [254] Usher M.B., 1975. Some properties of the aggregations of soil arthropods: Cryptostigmata. Pedobiologia 15, 335-363.
- [255] Van Straalen N.M., 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. Applied Soil Ecology 9, 429-437.
- [256] Van Straalen N.M., Verhoef A.H., 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. Jour. Appl. Ecol. 34, 217-232.
- [257] Wang J., Bian Y., 1988. Fluoride effects on the mulberrysilkworm system. Envir. Pollution 52, 11-18.
- [258] Warren K.S., 1962. Ammonia toxicity and pH. Nature 195, London, 47-49.
- [259] Wasylik A., 1980. Occurrence and vertical distribution of soil mites in potato fields. Pol. Ecol. Stud. 6, 655-663.
- [260] Wawrzoniak J., Liwińska A., Chwojka M., 1993. Zanieczyszczenia powietrza w lasach, okres zimowy 1992/93. IBL Warszawa, 1-26.
- [261] Wawrzoniak J., Małachowska A., Liwińska A., Pluciak M., 1992. Zanieczyszczenia powietrza w lasach, okres zimowy 1991/92. IBL Warszawa, 1-12.
- [262] Wawrzoniak J., Małachowska J., Zajączkowski S., Wyrzykowski S., Solon J., Fałtynowicz W., Sierota Z., Załęski A., Kolk A., Lech P., Adamski L., 1999. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1998 roku na podstawie badań monitoringowych. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1-96.
- [263] Weigmann G., 1991. Oribatid communitis in transects from bogs to forests in Berlin indicating the biotope qualities. In: Modern Acarology Vol. 1. Proc. 8th Intern. Congr. Acarology. Eds. F. Dusbanek, V. Bukva. České Budějovice, 359-364.
- [264] Weigmann G., Kratz W., 1981. Die deutschen Hornmilbenarten und ihre ökologische Charakteristik. Zool. Beitr. 27, 459-489.
- [265] Wunderle I., 1992. Die Oribatiden-Gemeinschaften (Acari) der verschiedenen Habitate eines Buchenwaldes. Caroleina 50, 79-144.

- [266] Zakład Usług Budownictwa i Ochrony Środowiska, 1992. Oddziaływanie Zakładów Chemicznych „Police” na środowisko przyrodnicze. Ekspertyza. Szczecin.
- [267] Zbierska J., 1983. Wpływ zanieczyszczeń emitowanych przez zakłady nawozów fosforowych na uszkodzenie roślin oraz ich skażenie fluorem. Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn. PTPN 45, Poznań. 289-308.
- [268] Zerbe J., Elbanowska H., Gramowska H., Adamczewska M., Sobszyński T., Kabaciński M., Siepak, J., 1994. Ocena wpływu emisji fluoru i innych zanieczyszczeń na wody, roślinność i gleby na obszarze WPN i jego otuliny. W: Geosystem Wielkopolskiego Parku Narodowego jako obszaru chronionego podlegającego antropopresji. Red. L. Kozacki. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, 89-135.
- [269] Żyromska-Rudzka H., 1976. The effect of fertilisation of a meadow on the Oribatid mites and other soil mesofauna. Pol. Ecol. Stud. 2 (4), 157-182.
- [270] Żyromska-Rudzka H., 1978. Ecological effect of intensive mineral fertilising of meadows. Pol. Ecol. Stud. 2 (4), 15-24.
- [271] Żyromska-Rudzka H., 1979. Disappearance of Scutacaridae (Acarina) due to high concentration of mineral nutrients in a meadow. Pedobiologia 19, 9-17.

WPLYW ZANIECZYSZCZEŃ EMITOWANYCH PRZEZ WYBRANE ZAKŁADY PRZEMYSŁOWE NA ROZTOCZE (ACARI) GLEBOWE MŁODNIKÓW SOSNOWYCH, ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM MECHOWCÓW (ORIBATIDA)

Streszczenie

W pracy analizowano wpływ różnych zanieczyszczeń przemysłowych na zagęszczenie i skład grupy roztoczy oraz zgrupowania mechowców gleb młodników sosnowych. Powierzchnie doświadczalne założono w różnych rejonach Polski w okolicach siedmiu dużych zakładów przemysłowych: Toruńskich Zakładów Przemysłu Nieorganicznego „Polchem”, Zakładów Włókien Chemicznych „Wistom” w Tomaszowie Mazowieckim, Zakładów Azotowych „Włocławek”, Zakładów Chemicznych „Police”, Zakładów Chemicznych „Luboń”, Kombinatu Cementowo-Wapienniczego „Kujawy” w Bielawach i Huty Miedzi „Głogów”. W emisjach TZPN „Polchem” i ZWCh „Wistom” wyraźnie dominowały związki siarki. ZA „Włocławek” i ZCh „Police” emitowały poza dwutlenkiem siarki duże ilości związków azotu; ZCh „Luboń” - dwutlenek siarki, pyły fosforytów i fluor; KCW „Kujawy” - głównie związki wapnia; natomiast HM „Głogów” - duże ilości metali ciężkich, głównie miedzi i ołowiu.

Przy każdym zakładzie założono transekt czterech powierzchni doświadczalnych, które usytuowano w różnych strefach przemysłowego uszkodzenia drzewostanów. Powierzchnie 1, 2, 3 i 4 były położone w kolejnych strefach uszkodzeń: silnych, średnich, słabych i w strefie bez uszkodzeń drzew. Powierzchnię kontrolną zlokalizowano na terenie Puszczy Białowieskiej. Do badań wybrano lite młodniki sosnowe w wieku około 20 lat.

Materiał do badań zebrano w latach 1990-1994. Glebę pobierano na każdej powierzchni doświadczalnej z płatów bez runa w czterech kolejnych terminach badań przez dwa lata - zawsze w pierwszych dekadach maja i października - każdorazowo po 10 prób. Każdą próbę - o wymiarach $17\text{ cm}^2 \times 20\text{ cm}$ głębokości - podzielono na 4 części: poziom organiczny na podpoziomy OI (5-2 cm) i Of/h (2-0 cm), a poziom AEes na AEes' (0-7,5 cm) i AEes" (7,5-15 cm).

Roztocze poddano ekstrakcji w aparatach Tullgrena przez 7 dób, konserwowano w 70 % alkoholu etylowym, a następnie preparowano i oznaczano. Przedmiotem analizy było 366,2 tys. roztoczy, w tym 271,7 tys. Oribatida. Wszystkie mechowce oznaczono do gatunku lub rodzaju z uwzględnieniem ich stadiów młodocianych. Mechowce scharakteryzowano za pomocą wskaźników zagęszczenia (*A*), dominacji (*D*) i stałości występowania (*C*). Zróznicowanie

zgrupowań Oribatida określano liczbą gatunków (S), średnią liczbą gatunków w próbie (s) oraz wskaźnikami różnorodności gatunkowej Shannona (H) i równomierności (E). Zgrupowania mechowców porównano za pomocą wskaźników podobieństwa gatunków Jaccarda (Ja) i podobieństwa dominacji Renkonena (Re). Ocenę różnic średniego zagęszczenia grup roztoczy i populacji mechowców oraz średniej liczby gatunków (s) przeprowadzono z zastosowaniem analizy wariancji ANOVA/MANOVA programu Statistica, za pomocą testu Tukeya. Statystyczną istotność różnic między wartościami wskaźnika H określano testem t Studenta.

Największą koncentrację głównych zanieczyszczeń gleby notowano w pobliżu analizowanych zakładów przemysłowych. Skażenie gleb przeważnie spadało wraz z rosnącą odległością od źródeł emisji. Zanieczyszczenia te najczęściej w największym stopniu kumulowały się w poziomie organicznym gleby. Wyraźną zmianę odczynu gleb spowodowały jedynie pyły cementowo-wapniowe w rejonie KCW „Kujawy”. Odnotowano tam wysoką wartość pH (6,36-7,54), nietypową dla borów sosnowych.

Roztocze jako grupa zareagowały spadkiem zagęszczenia na wysoki poziom zanieczyszczeń z udziałem miedzi i ołowiu, na imisje alkaliczne oraz silne zanieczyszczenia z przewagą związków siarki. Natomiast umiarkowane imisje siarkowe oraz miedzi i ołowiu spowodowały wzrost liczebności tych pajęczaków. Zanieczyszczenia wpłynęły na pionowe rozmieszczenia roztoczy w glebie - szczególnie saprofagicznych Oribatida - przeważnie najmocniej ograniczając ich zagęszczenie w tych podpoziomach glebowych, w których koncentracja imisji była największa.

W badanych młodnikach sosnowych stwierdzono występowanie 104 taksonów mechowców. Zanieczyszczenia emitowane przez wybrane zakłady przemysłowe spowodowały w najbliższym ich otoczeniu spadek średniej liczby gatunków Oribatida, większość z nich wpłynęła na obniżenie się wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona i zmiany w strukturze dominacji gatunków. Wśród Oribatida *Adoristes ovatus* i *Scheloribates latipes* okazały się wrażliwe na większość imisji przemysłowych. *Tectocephus velatus* nie tolerował wysokiego poziomu zanieczyszczeń związkami siarki, imisji alkalicznych i metali ciężkich, odporny był natomiast na umiarkowane zanieczyszczenia siarkowe oraz imisje z przewagą związków azotu. *Chamobates schuetzi* tolerował imisje siarkowe, zaś *Oribatula tibialis* metale ciężkie. Udział form młodocianych w populacjach *Chamobates schuetzi*, *Metabelba pulverulenta*, *Oribatula tibialis* i *Tectocephus velatus* w glebach silnie skażonych był przeważnie wyższy niż w glebach o niskim poziomie imisji.

IMPACT OF POLLUTANTS EMITTED BY FACTORIES SELECTED ON THE YOUNG-SCOTS-PINE-FOREST SOIL MITES (ACARI), ORIBATIDA IN PARTICULAR

Summary

The present paper analyses the impact of varied industrial pollutants on the Acari and Oribatida abundance and species composition in soils of young Scots pine forests. The experimental plots were located in different parts of Poland in the vicinity of 7 large factories: the Toruń 'Polchem' Chemical Factory (TZPN 'Polchem'), Tomaszów Mazowiecki 'Wistom' Synthetic Fibre Factory (ZWCh 'Wistom'), 'Włocławek' Nitrogen Fertilizer Factory (ZA 'Włocławek'), 'Police' Chemical Factory (ZCh 'Police'), 'Luboń' Chemical Factory (ZCh 'Luboń'), Bielawy 'Kujawy' Cement and Lime Factory (KCW 'Kujawy') and the 'Głogów' Copperworks (HM 'Głogów'). The pollutants emitted by 'Polchem' and 'Wistom' were most represented by sulphur compounds, 'Włocławek' and 'Police' by sulphur dioxide and considerable quantities of nitrogen compounds; 'Luboń' by sulphur dioxide, phosphorite dusts and fluorine, 'Kujawy' - calcium compounds mainly and 'Głogów' - considerable quantities of heavy metals, copper and lead, mostly.

In the vicinity of each factory there were set up four experimental plots located in different zones of industrial damage of 20-year-old Scots pine stand. Plots 1, 2, 3 and 4 represented respective damage zones; heavy, medium, slight and non-damaged. The control was set in the Białowieża Forest.

The research material was collected over 1990-1994. The soil was sampled without undergrowth from each plot, over four successive sampling periods, in the first decades of May and October, 10 samples each time. Each sample of 17 cm² · 20 cm deep was divided into four parts; the organic horizon into subhorizons: O1 (5-2 cm) and Of/h (2-0 cm) and AEes horizon into AEes' (0-7.5 cm) and AEes'' (7.5 - 15 cm) subhorizons. Mites were being extracted with Tullgren funnels for seven days and preserved with a 70% ethyl alcohol and prepared and determined. 366,200 mites were analysed, including 271,700 Oribatida. All the Oribatida were identified down to species or genus, including their juvenile forms and were analysed with the indices of abundance (*A*), dominance (*D*) and constancy (*C*).

A diversity in the Oribatida groups was defined with a number of species (*S*) as well as with mean number of species per sample (*s*), the Shannon biodiversity index (*H*) and evenness index (*E*). Oribatida groups were compared with similarity indices: the Jaccard index (*Ja*) and the Renkonen index (*Re*). The

evaluation of differences of mean abundance of mite groups and Oribatida population and the average number of species (s) was carried out with ANOVA/MANOVA variance analysis provided by software package, STATISTICA, with the Tukey test. Significance of the differences obtained between the values of H index was verified with the t Student test.

The greatest concentration of major soil pollutants was noted in the vicinity of the factories analysed and generally the greater the distance from the polluter, the lower the soil contamination. Most frequently the pollutants accumulated mostly in the soil organic layer. A considerable change in the soil pH was caused by cement and lime dust, only in the vicinity of the 'Kujawy' Cement and Lime Factory where there was recorded a high pH (6.36 - 7.54), untypical for Scots pine forests.

The abundance of mites decreased due to a high level of pollution with copper and lead, alkaline emissions and the pollution with a high amount of sulphur compounds. However moderate concentrations of sulphur compounds and heavy metals increased the density of these arthropods. The pollution affected a vertical distribution of mites in soil, especially saprophagous Oribatida, generally most considerably limiting their abundance in those soil subhorizons where the concentration of pollutants remained greatest.

The investigation into young Scots pine forests revealed an occurrence of 104 Oribatida taxa. The pollutants emitted by factories caused, in their immediate vicinity, a decrease in the mean number of Oribatida species; most of them decreased the value of the Shannon index and changes in the species dominance structure. Out of all the Oribatida, *Adoristes ovatus* and *Schelorbitates latipes* showed sensitive to most industrial emissions. *Tectocephus velatus* did not tolerate a high level of pollution where sulphur compounds prevailed, alkaline pollutants and heavy metals, yet it remained resistant to moderate sulphur pollutants and emissions with nitrogen compounds prevailing. *Chamobates schuetzi* tolerated emissions with sulphur compounds prevailing, while *Oribatula tibialis* - heavy metals. The share of juvenile forms in the populations of *Chamobates schuetzi*, *Metabelba pulverulenta*, *Oribatula tibialis* and *Tectocephus velatus* in heavily contaminated soils was generally higher than in soils of low contamination.

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy

83728

