

Danuta SYREK¹, Irena MATUSZCZYK¹, Marek WOJTYLAK²

¹Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych, Instytut Badawczy Leśnictwa,
ul. św. Huberta 35, Katowice

²Instytut Matematyki UŚI
ul. Bankowa 14, Katowice

ZAGĘSZCZENIE STAWONOGÓW GLEBOWYCH A POZIOM STĘŻENIA SO₂ W POWIETRZU

DENSITY OF SOIL ARTHROPODA
AND THE LEVEL OF SO₂ CONCENTRATION IN THE AIR

Abstract. *SO₂ concentration in the air showed a significant relationship with population density of various groups of Arthropoda. The number of individuals within the Collembola population increases with the increasing SO₂ concentration in the air ($R=0.859$ $p.001$), but the number of individuals within Aranea and the Carabidae populations decreased with higher SO₂ concentration. There was no relationship between SO₂ concentration in the air and the density of Myriapoda and Formicidae populations. Chemical analyses of soil showed a decrease in soil reaction in the years 1988-1993 and a loss of Mg, Ca and K from the mineral soil level.*

Key words: *density of soil Arthropoda, sulphur dioxide content, correlation, decrease in abundance Aranea, Carabidae, increase in abundance Collembola*

1. WSTĘP

Badania przeprowadzane za pomocą technik symulujących kwaśne opady wykazały, że wzrost kwasowości gleb powoduje zwiększenie liczebności jednych gatunków bezkręgowców glebowych a ograniczenie innych. Zauważa się (WOLTERS, SCHAEFER 1994) ogólną prawidłowość: gatunki mezofauny (dł. ciała 2 mm, żyjące w glebie) należące do grup *Thecamoebae* (*Protozoa*), *Enchytraeidae*, *Acarina*, *Collembola*, *Elateridae* oraz niektóre *Diptera* w warunkach wzrostu kwasowości gleb zwiększają swoją liczebność. Gatunki zaliczane do mikrofauny (dł. ciała 100 µm, skupiające się na powierzchni błon wodnych) należące do grup *Protozoa*, *Nematoda*, *Rotatoria* oraz do makrofauny (dł. ciała 2 mm, gat. epigeiczne żyjące w ściółce i gat. endogeiczne żyjące powyżej mineralnego poziomu gleby) z grup *Lumbricidae*, *Araneidae*, *Gastropoda*, *Isopoda*, *Myriapoda*, *Protura*, *Coleoptera*, *Diptera*, *Lepidoptera*, są ograniczane liczebnie.

Bezkęgowce glebowe posiadają cechy morfologiczne i fizjologiczne, które umożliwiają im przystosowanie się do toksycznego roztworu gleby. Sposób adaptacji do kwasowości gleb wykazuje paralelizm u mikro-, mezo- i makrofauny (WOLTERS, SCHAEFER 1994). Największym fizjologicznym problemem zwierząt lądowych jest utrata wody. Środowisko glebowe, jako pośrednie między wodnym a lądowym, zmniejsza ryzyko wyschnięcia, dlatego też spotyka się tu faunę o cechach zarówno wodnych, jak i lądowych. Cechą typową dla zwierząt wodnych jest przepuszczalność gazów i wody przez powłoki ciała. Mikrofauna posiada fizjologiczne cechy zwierząt wodnych, stąd też występowanie jej jest ściśle ograniczone do skupisk wokół źródeł wody. Konsekwencją bezpośredniego kontaktu zwierząt z roztworem gleby jest redukcja liczebności przy zmianach pH roztworu.

Wrażliwość mezofauny na kwaśne deszcze maleje w grupach *Enchytraeidae*, *Collembola*, *Acarina* (STUANES i in. 1992). Przedstawiciele *Enchytraeidae*, podobnie jak *Lumbricidae*, kontaktują się powierzchnią ciała z roztworem glebowym, jednak wiele gatunków jest acidofilnych (DIDDEN 1993), stąd też występują w dużych zagęszczeniach w glebach kwaśnych. Fizjologiczny wpływ kwaśnych opadów na *Collembola* i *Acarina* jest zredukowany, ponieważ wyposażone są w nieprzepuszczające wody okrywy ciała (HAGVAR 1987a, b).

Cechy adaptacyjne makrofauny do środowiska glebowego są dwójakiego rodzaju. *Lumbricidae* redukują ryzyko wyschnięcia przez utrzymywanie ścisłego kontaktu z roztworem gleby, są jednak w różnym stopniu wrażliwe na zmiany pH (LEE 1985). Rozwój kutikularnego pancerza i systemu tchawek u makro-*Arthropoda* zlikwidował bezpośredni wpływ roztworu gleby na zwierzęta. Wytworzenie pancerza jest jednak związane z dużym zapotrzebowaniem na wapń,

dlatego też większość *Arthropoda* nie przeżywa w glebach kwaśnych i ubogich w Ca (WOLTERS i SCHAEFER 1994).

Ekologiczne znaczenie bezkręgowców glebowych polega na wytwarzaniu warunków siedliskowych niezbędnych do rozwoju drobnoustrojów glebowych. Obecność skoczogonka z gatunku *Isotoma tigrina* w próbach glebowych pobranych z lasu bukowego, wpływała na spowolnienie mineralizacji C w ściółce skolonizowanej przez bakterie, zmniejszenie jej biomasy w poziomie O_f i metabolizmu oraz na przyspieszenie ługowania mineralnego N (WOLTERS 1991b). Symulacja kwaśnego opadu (pH 2,95) spowodowała zniesienie negatywnego wpływu *I. tigrina* na mineralizację świeżo opadłych liści. W warunkach zakwaszenia jego obecność stymulowała wzrost metabolizmu bakterii i redukowała ługowanie mineralnego N. Mezofauna pośredniczy w przenoszeniu bakterii i substancji mineralnych z gleby do ściółki, jak również odkłada odchody zawierające duże ilości C i NH_4 . Doświadczenia WOLTERS'A (1991a,b) dowodzą, że mezofauna jest ważnym elementem systemu buforującego w organicznym poziomie gleb ubogich jak również żyznych.

Makrofauna odgrywa istotną rolę w mieszaniu gleby i ściółki. Doświadczenia przeprowadzone przez SCHEU i WOLTERS (1991a,b) na próbkach gleb wapiennych i ściółki bukowej wykazały, że fragmentacja ściółki dokonywana przez krocionogi *Glomeris marginata* przyspiesza tempo rozkładu ściółki o 50%, aktywność dżdżownic *Lumbricus castaneus* o 80%, a *Octolasion lacteum* o 60%. Epigeiczne dżdżownice *L. castaneus* usuwają odchody *G. marginata* z powierzchni ziemi, a endogeiczne gatunki *O. lacteum* mieszają je z mineralną warstwą gleby, powodując szybszą neutralizację kwaśnych opadów.

Mezo- i makrofauna tworzy w środowisku glebowym system buforujący wpływ kwaśnych opadów, jednak przy wysokiej koncentracji protonów H^+ system przestaje działać.

W warunkach naturalnych kwaśne deszcze powstają na bazie gazów SO_2 i NO_x emitowanych do atmosfery głównie przez ośrodki przemysłu paliwowo-energetycznego. Powstaje pytanie, czy istnieje związek między poziomem stężenia SO_2 w powietrzu atmosferycznym a liczebnością różnych grup bezkręgowców glebowych. Można przypuszczać, że wzrost stężenia SO_2 w powietrzu wpływa przez obniżenie pH gleby na wzrost zagęszczenia grup acidofilnych i ograniczenie liczebności gatunków o innych preferencjach pH.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad zależnością między zagęszczeniem populacji różnych grup mezo- i makrofauny gleb leśnych w latach 1982-1994 a poziomem stężenia SO_2 w powietrzu rejonu Bełchatowskiego Okręgu Przemysłowego.*

* Badania wykonano w ramach programu BLP-587 finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Charakterystyka terenu badań

Bełchatowski Okręg Przemysłowy obejmuje kopalnię węgla brunatnego, która rozpoczęła wydobycie węgla w 1980 roku oraz elektrownię uruchamianą stopniowo w latach 1981-1988 (12 bloków energetycznych). Zasiarczenie spalane go węgla brunatnego wynosi 0,64% przy 50% wilgotności. W 1993 roku elektrownia emitowała rocznie do atmosfery 340 tys. ton SO₂, 60 tys. ton NO_x i 20 tys. ton pyłów (KUROWSKI 1993).

Badania przeprowadzono w drzewostanach sosnowych położonych w rejonie Bełchatowskiego Okręgu Przemysłowego Nadl. Bełchatów oraz w drzewostanach bardziej odległych – w nadleśnictwach Złoczew i Barycz (odpowiednio 50 i 80 km na zachód od Bełchatowa). Powierzchnie badawcze założono w litych drzewostanach sosnowych zróżnicowanych pod względem wieku (młodyk – II klasa wieku, drągowina – III klasa wieku, starodrzew – IV klasa wieku) i warunków siedliskowych (bór świeży i bór bagienny) (tab. 1).

Gleby drzewostanów sosnowych na siedlisku boru świeżego należą do gleb

Tabela 1
Table 1

Wykaz powierzchni badawczych
Specification of the study area

Siedlisko Site type	Nadleśnictwo Forest district	Leśnictwo Forestry	Klasa wieku Age class	Oddział Compartment	Lokalizacja względem elektrowni Position toward the power – station	
					odległość distance (km)	kierunek direction
Bór świeży Fresh coniferous forest	Bełchatów	Łękawa	II	92g	4,5	E
			III	19d	4,5	E
			IV	92a	4,5	E
	Złoczew	Błota	II	137o	50,0	W
			III	150a	50,0	W
			IV	151d	50,0	W
Bór bagienny Marshy coniferous forest	Bełchatów	Łękawa	II	4p	444,5	E
			III	4a	4,5	E
			IV	92f	4,5	E
	Barycz	Gatniki	II	185i	80,0	EES
			III	200f	80,0	EES
			IV	199e	80,0	EES

rdzawych bielcowanych, wytworzonych z piasków luźnych i słabo gliniastych (nadleśnictwa Bełchatów i Żłoczew – dragowina) oraz gleb bielcowych właściwych, wytworzonych z piasków słabo gliniastych (Nadl. Żłoczew – młodnik i starodrzew). Gleby te charakteryzują się silnie kwaśnym odczynem, niską zasobnością w składniki odżywcze, niską pojemnością sorpcyjną i buforowością, są przepuszczalne z opadowym typem gospodarki wodnej.

Gleby drzewostanów sosnowych na siedlisku borów bagiennych należą do typu gleb bielcowych, gruntowo-glejowych oligotroficznych, wytworzonych z piasków luźnych lub słabo gliniastych na piaskach luźnych. Charakteryzują się silnie kwaśnym odczynem, niską pojemnością sorpcyjną, niskim stopniem wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami i niską zasobnością w podstawowe składniki odżywcze, tj. azot, fosfor i potas. Najwyższą pojemność sorpcyjną wykazują poziomy organiczne (BARTKIEWICZ i in. 1985).

Pod względem klimatycznym obszar ten należy do ubogich w opady, gdzie suma roczna nie przekracza 550 mm (PUCHALSKI 1975). Rozkład kierunków wiatrów wykazuje przewagę wiatrów zachodnich 17,7% oraz południowo-zachodnich 13,7%, przy 8,5% ciszy w skali rocznej (BURACZEWSKI 1977).

2.2. Pomiar SO_2 w powietrzu atmosferycznym

Pomiary gazowych zanieczyszczeń powietrza oraz opadu pyłu prowadzone były w 4 punktach zlokalizowanych w pobliżu powierzchni badawczych w nadleśnictwach Bełchatów (2 punkty) oraz Barycz i Żłoczew (po 1 punkcie). Comiesięczne pomiary prowadzono w latach 1981-1995. Wskaźnik SO_2 oznaczono metodą zasadowego papierka wskaźnikowego stosując K_2CO_3 jako substancję chłonną. Oznaczenia SO_2 przeprowadzono w laboratorium metodą kolorymetryczną.

2.3. Analiza chemiczna gleb

Analizy chemiczne gleb wykonywano pobierając średnie próbki glebowe z poziomu organicznego O_{fn} i próchniczno-eluwialnego A/E, oznaczając następnie pH metodą potencjometryczną w 1n KCl i H_2O , a ogólną zawartość metali: Zn, Pb, Cd, Cu, Mn, Ca, Mg i K metodą spektrofotometrii absorpcji atomowej (AAS 2380 Perkin Elmer), po zmineralizowaniu próbek w stężonych HNO_3 i $HClO_4$.

2.4. Określenie liczebności stawonogów glebowych

Liczebność stawonogów glebowych określono na podstawie ich odławialności do pułapek Barber'a. Pułapkę stanowi słoik o pojemności 300 ml i średnicy 6,5 cm napełniony glikolem etylenowym. Na powierzchniach badawczych wzdłuż przekątnych wkopywano 10 pułapek. Odłowy przeprowadzano dwa razy w roku (czerwiec, wrzesień) stosując dwutygodniowy okres ekspozycji. Jako miarę liczebności przyjęto wskaźnik łowności grup *Arthropoda*, określający średnią liczbę osobników danej grupy odłowionych do jednej pułapki w ciągu jednego dnia.

2.5. Opracowanie statystyczne

Zależność między zagęszczeniem populacji różnych grup *Arthropoda* w latach 1982-1994 a zawartością SO₂ w powietrzu określono stosując analizę regresji wielokrotnej. W tym celu wyznaczono równania regresji oraz obliczono wartości współczynników korelacji wielokrotnej *R*.

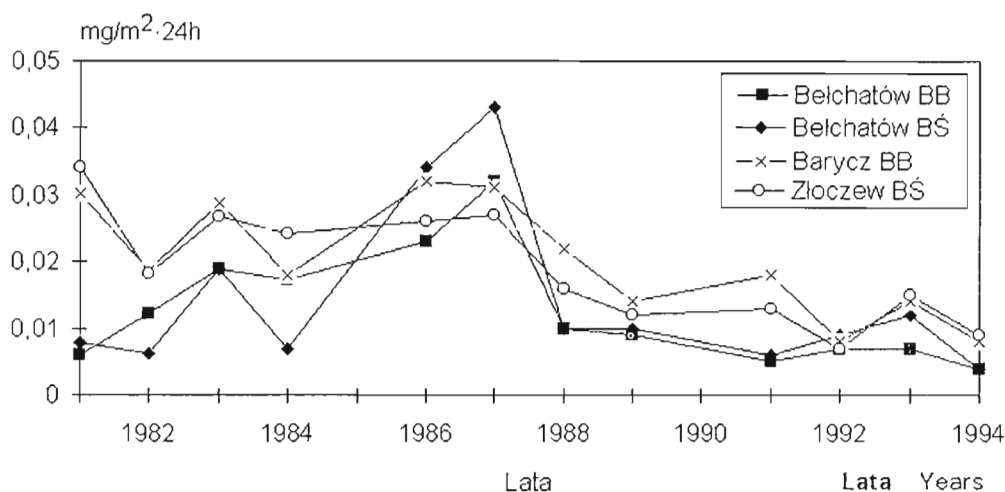
Ocenę zróżnicowania powierzchni pod względem wartości stężenia SO₂, jak również zagęszczenia populacji różnych grup *Arthropoda*, przeprowadzono za pomocą testu różnicy między średnimi dla par powiązanych.

3. WYNIKI

3.1. Wpływ SO₂ na właściwości chemiczne gleb

Pomiar zawartości SO₂ w powietrzu atmosferycznym prowadzony w latach 1981-1994 w 4 punktach usytuowanych w różnych odległościach od elektrowni Bełchatów przedstawia ryc. 1. Przebieg zmian stężenia SO₂ mierzonego w pobliżu elektrowni (Nadl. Bełchatów), jak również w punktach oddalonych o 50 km (Nadl. Złoczew) i 80 km (Nadl. Barycz) jest podobny. We wszystkich punktach poziom stężenia SO₂ wykazuje tendencje wzrostowe do roku 1987. W roku 1988 następuje wyraźny spadek SO₂ w powietrzu, który utrzymuje się w latach następnych. W Nadl. Bełchatów zawartość SO₂ w powietrzu ulega znacznym wahaniom (1981 r. – 0,004g/m² · doba, 1987 r. – 0,043g/m² · doba), jest jednak niższa (różnica statystycznie istotna) niż w Nadl. Złoczew (1981 r. – 0,034g/m² · doba, 1992 r. – 0,007g/m² · doba) i Nadl. Barycz (1981 r. – 0,03g/m² · doba, 1992 r. – 0,008g/m² · doba). Amplituda wahań stężenia SO₂ w nadleśnictwach Złoczew i Barycz jest niższa niż w Nadl. Bełchatów.

W środowisku boru świeżego w latach 1978-1994 wzrasta kwasowość gleb na powierzchniach zlokalizowanych w nadleśnictwach Bełchatów i Złoczew



Ryc. 1. Wskaźnik zawartości SO_2 w powietrzu atmosferycznym

Fig. 1. The index of SO_2 concentrations in the atmosphere

(tab. 2). Największe obniżenie pH (o 0,4 i 0,7 jednostki w H_2O) nastąpiło w glebie powierzchni Nadl. Bełchatów (początkowe pH w H_2O – 4,4 w poziomie O_{fh} i 4,7 w poziomie AE).

Zawartość metali w poziomie organicznym i próchniczo-eluwialnym gleby przedstawia tab. 3. Stężenie metali ciężkich Zn, Pb, Cd, Cu i Mn w badanych latach pozostawało na zbliżonym poziomie i z wyjątkiem Pb nie przekraczało naturalnego poziomu. Podwyższone stężenie Pb wynika prawdopodobnie z wyższej zawartości tego metalu w środowisku. W latach 1990-1994 stężenie pierwiastków biogennych, tj. Ca, Mg i K, w porównaniu z rokiem 1988 uległo obniżeniu w mineralnym poziomie próchniczo-eluwialnym AE. Wielkość ubytków jest dosyć duża i wynosi dla Ca 50%÷60% Ca w Nadl. Bełchatów i ok. 60% w Nadl. Złoczew oraz dla Mg ok. 60% w Nadl. Bełchatów i 80% w Nadl. Złoczew. Proces wymywania jonów zasadowych Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ z kompleksu sorpcyjnego gleb, zachodzący pod wpływem kwaśnych opadów, ujawnia się w niższych mineralnych poziomach gleb AE. Wyraźnych ubytków Ca, Mg i K nie stwierdzono w poziomach organicznych gleb. Poziomy organiczne gleb wytworzonych z piasków ubogich w koloidy glebowe charakteryzują się najwyższą pojemnością sorpcyjną, tym samym większymi możliwościami buforowania wpływu kwaśnych opadów.

Podobnie jak w siedlisku boru świeżego, w latach 1978-1994 maleje pH gleb bagiennych o 0,2-0,4 jednostki w H_2O (tab. 2), a ilość Ca, Mg i K nieznacznie opada (tab. 3). Równocześnie stwierdza się niską zawartość manganu (od 10-55mg/kg w poziomie O_{fh}) w porównaniu z zawartością tego pierwiastka w glebach boru świeżego (87-300 mg/kg w poziomie O_{fh}).

Tabela 2
Table 2

Odczyn wierzchnich poziomów gleb (dragowiny)
pH of upper soil horizons (stickstands)

Typ siedliskowy Site type	Powierzchnia badawcza Study area	Poziom genetyczny Horizon	pH									
			1978		1983		1986		1990		1994	
			KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O	KCl	H ₂ O
Bór świeży Fresh coniferous forest	Złoczew	Ofh	3,0	4,1	b.d.	b.d.	3,05	4,0	2,8	3,5	2,5	3,5
		AE	3,3	4,1	b.d.	b.d.	3,1	4,0	3,1	3,8	2,9	3,7
	Bełchatów	Ofh	3,2	4,3	b.d.	b.d.	3,5	4,4	3,5	4,4	3,2	4,0
		AE	3,8	4,5	b.d.	b.d.	3,7	4,7	3,45	4,35	3,3	4,0
Bór bagienny Marshy coniferous forest	Barycz	Ofh	2,8	3,6	3,1	3,7	2,7	3,6	2,55	3,45	2,5	3,4
		AE	2,9	3,7	3,2	3,7	2,95	3,9	2,9	3,4	2,8	3,5
	Bełchatów	Of	2,6	3,6	2,9	3,7	2,9	3,7	2,75	3,6	2,7	3,7
		Oh	2,6	3,4	3,1	3,7	2,9	3,7	2,9	3,5	2,7	3,7
		AE	3,1	4,0	3,4	4,3	2,75	3,7	3,1	3,9	2,7	3,7

b.d. — brak danych no data

Tabela 3
Table 3

Zawartość metali w poziomie organicznym (Ofh) i próchniczno-eluwialnym (AE) powierzchni badawczych w latach 1988, 1990 i 1994 (mg/kg s.m.)
Metal concentration in organic (Ofh) and humus-eluvial (AE) horizons at the study area in the years 1988, 1990 and 1994 (mg/kg dry mass)

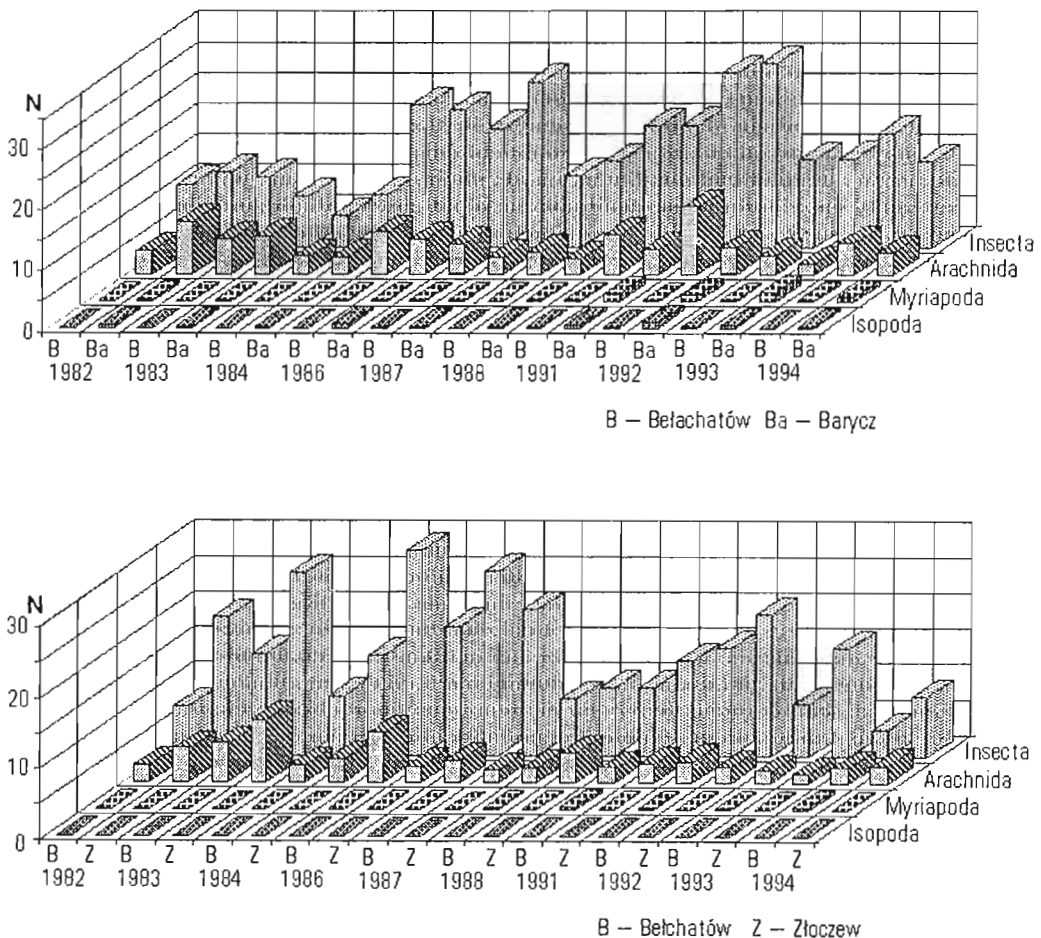
Rok Year	Typ siedliskowy Site type	Powierzchnie badawcze Study areas	Poziom genetyczny Horizon	Zn	Pb	Cd	Cu	Mn	Mg	Ca	K	
1988	Bór świeży Fresh coniferous forest	Złoczew	Ofh	40,0	105,0	1,0	20,0	90,0	355,0	420,0	b.d.	
			AE	5,0	15,0	0,5	2,5	30,0	197,5	55,0	b.d.	
		Bełchatów	Ofh	50,0	80,0	1,5	20,0	135,0	395,0	1240,0	b.d.	
			AE	10,0	20,0	0,5	5,0	65,0	217,5	130,0	b.d.	
	Bór bagienny Marshy coniferous forest	Barycz	Ofh	70,0	95,0	1,0	25,0	10,0	245,0	485,0	b.d.	
			AE	5,0	12,5	n.w.	5,0	5,0	37,5	35,0	b.d.	
		Bełchatów	Ofh	80,0	100,0	1,0	30,0	30,0	365,0	855,0	b.d.	
			AE	20,0	30,0	0,5	5,0	15,0	97,5	32,5	b.d.	
1990	Bór świeży Fresh coniferous forest	Złoczew	Ofh	58,0	110,0	1,0	17,0	87,5	180,0	745,0	590,0	
			AE	9,5	20,0	0,5	1,5	65,0	100,0	95,8	280,0	
		Bełchatów	Ofh	52,5	80,0	1,0	9,0	213,0	215,0	3245,0	530,0	
			AE	12,5	25,0	0,5	1,5	48,8	115,0	162,0	322,5	
	Bór bagienny Marshy coniferous forest	Barycz	Oh	90,5	110,0	2,0	10,0	43,0	155,0	113,0	600,0	
			AE	8,0	15,0	0,5	0,8	9,5	27,5	45,0	212,5	
		Bełchatów	Of	63,0	120,0	1,0	16,0	33,0	210,0	770,0	755,0	
			Oh	14,0	55,0	1,0	4,5	14,5	40,0	107,5	595,0	
	1994	Bór świeży Fresh coniferous forest	Złoczew	Ofh	48,0	90,0	1,0	19,0	105,0	270,0	355,0	600,0
				AE	7,0	20,0	1,5	3,0	10,0	35,0	20,0	100,0
			Bełchatów	Ofh	81,0	120,0	2,0	20,0	300,0	435,0	1240,0	500,0
				AE	14,0	30,0	1,5	5,0	50,0	92,5	55,0	175,0
Bór bagienny Marshy coniferous forest		Barycz	Ofh	87,5	125,0	2,0	16,0	40,0	285,0	640,0	500,0	
			AE	8,0	20,0	1,5	5,3	5,0	35,0	10,0	50,0	
		Bełchatów	Ofh	71,0	107,5	2,0	18,5	55,0	310,0	600,0	500,0	
			AE	7,0	20,0	1,3	3,3	7,5	35,0	10,0	75,0	

n.w. — nie wykryto absence

b.d. — brak danych no data

3.2. Wpływ stężenia SO₂ w powietrzu na zmiany liczebności *Arthropoda* w latach 1982-1994

Dynamikę liczebności grup *Isopoda*, *Myriapoda*, *Arachnida* i *Insecta* w biocenozach boru świeżego i boru bagiennego w latach 1982-1994 przedstawia rycina 2. Przeważające liczebnie pośród *Arthropoda* grupy *Arachnida* i *Insecta* charakteryzują regularne fluktuacje liczebności z okresami wzrostu w latach 1982-83, 1986-87 i 1991-92. Przebieg zmian jest bardzo podobny w obu siedliskach borowych, pojawiają się jednak różnice w poziomie liczebności stacionogów występujących w różnych nadleśnictwach. Porównanie średnich liczebności poszczególnych grup taksonomicznych *Arthropoda* występujących na siedlisku boru bagiennego w nadleśnictwach Bełchatów i Barycz przedstawia tab. 4.



Ryc. 2. Dynamika liczebności *Arthropoda* w latach 1982-1994 w biocenozach nadleśnictw Bełchatów i Barycz na siedlisku boru bagiennego i nadleśnictw Bełchatów i Złoczew na siedlisku boru świeżego; N — wskaźnik łowności (średnia liczba osobników /dzień · pułapka Barbera)

Fig. 2. Dynamics of *Arthropoda* number in biocenosis of Bełchatów and Barycz Forest districts at the marshy coniferous forest site and of Bełchatów and Złoczew Forest districts at the fresh coniferous forest in the years 1982-1994; N — catchability index (mean number of individuals per day · Barber's trap)

Tabela 4

Table 4

Wartości średnich liczebności *Arthropoda* w latach 1982–1994 w biocenozach nadleśnictw Bełchatów i Barycz na siedlisku boru bagiennego oraz znamienności statystyczne różnic pomiędzy średnimi

Values of mean number of *Arthropoda* in the years 1982–1994 in biocenosis of Bełchatów and Barycz Forest Districts at the marshy coniferous forest site and the significance level of differences between mean values

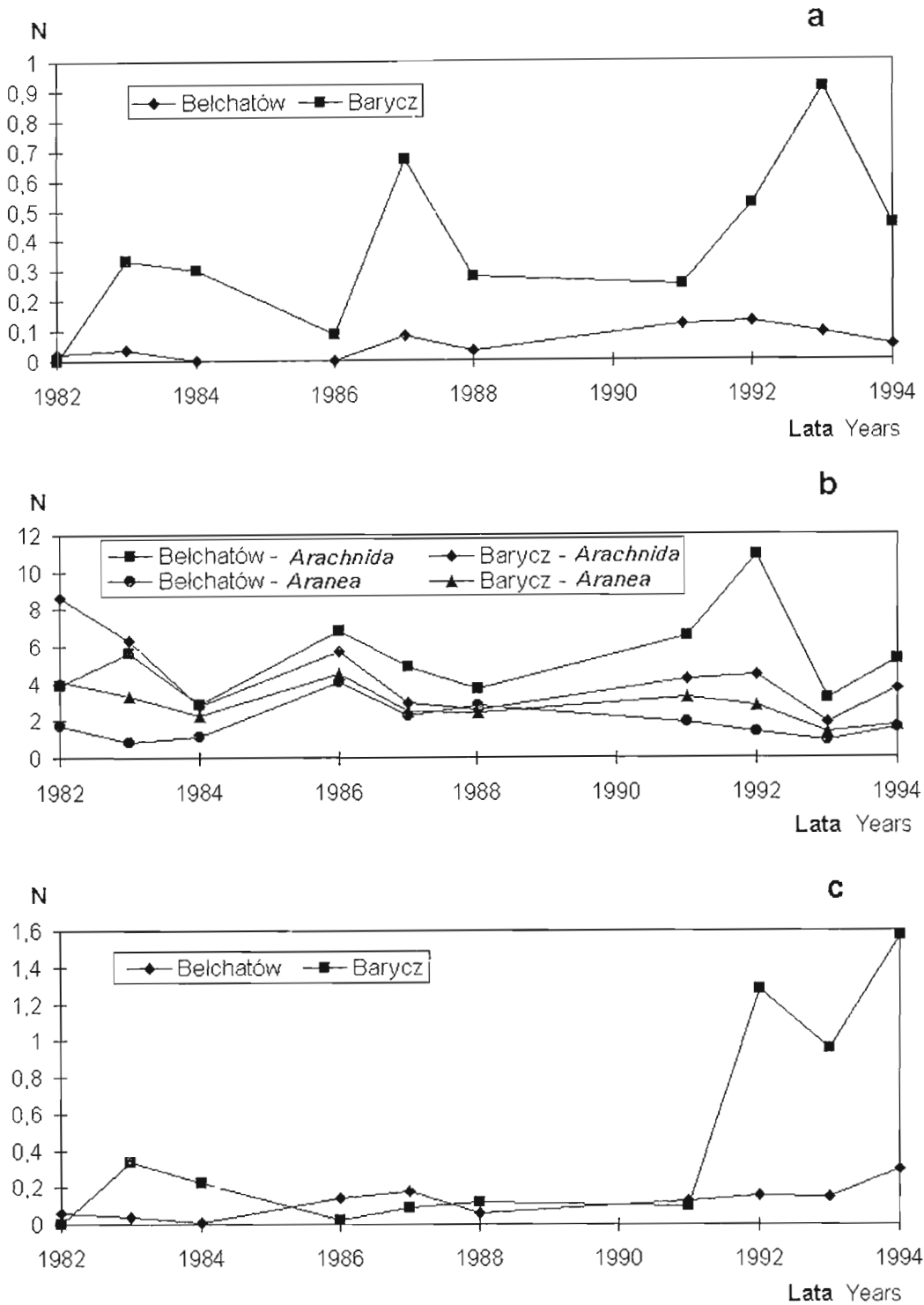
<i>Arthropoda</i>	Średnia ± odchylenie standardowe Mean ± standard deviations		Znamienność statystyczna Significance level
	Nadl. Bełchatów	Nadl. Barycz	
<i>Isopoda</i>	0,056±0,047	0,406±0,240	p<0,001
<i>Arachnida</i>	5,338±2,371	4,305±2,071	NZ
<i>Aranea</i>	1,850±0,988	2,824±1,000	p<0,01
<i>Myriapoda</i>	0,123±0,085	0,538±0,557	p<0,01
<i>Insecta</i>	16,342±6,941	17,172±7,485	NZ
<i>Collembola</i>	1,632±1,249	2,835±2,591	NZ
<i>Coleoptera</i>	3,978±1,419	2,771±1,617	p<0,01
<i>Carabodae</i>	1,640±1,055	1,322±1,110	p<0,05
<i>Formicidae</i>	7,912±6,114	9,872±6,413	p<0,05

W Nadl. Barycz grupy *Isopoda*, *Aranea*, *Myriapoda* i *Formicidae* występują w liczebnościach wyższych niż w Nadl. Bełchatów, grupa *Carabidae* jest liczniejsza w Nadl. Bełchatów, natomiast różnice w liczebnościach *Collembola* występujące w nadleśnictwach Barycz i Bełchatów są statystycznie nieistotne (ryc. 3).

Na siedlisku boru świeżego różnice w liczebności grup: *Myriapoda*, *Carabidae* i *Formicidae* wykazują znamienność statystyczną (ryc. 4, tab. 5). Grupa *Myriapoda* występuje liczniej w Nadl. Bełchatów, a grupa *Carabidae* i *Formicidae* w Nadl. Złoczew. Różnice w liczebności grup *Isopoda*, *Aranea* i *Collembola* są nieznaczne.

Wpływ stężenia SO₂ w powietrzu na liczebność bezkręgowców glebowych określono przez wyznaczenie współczynnika korelacji wielokrotnej między wartością wskaźnika SO₂ a zagęszczeniem populacji w latach 1982-94 grup dominujących liczebnie, tj. *Aranea*, *Myriapoda*, *Collembola*, *Carabidae* i *Formicidae*.

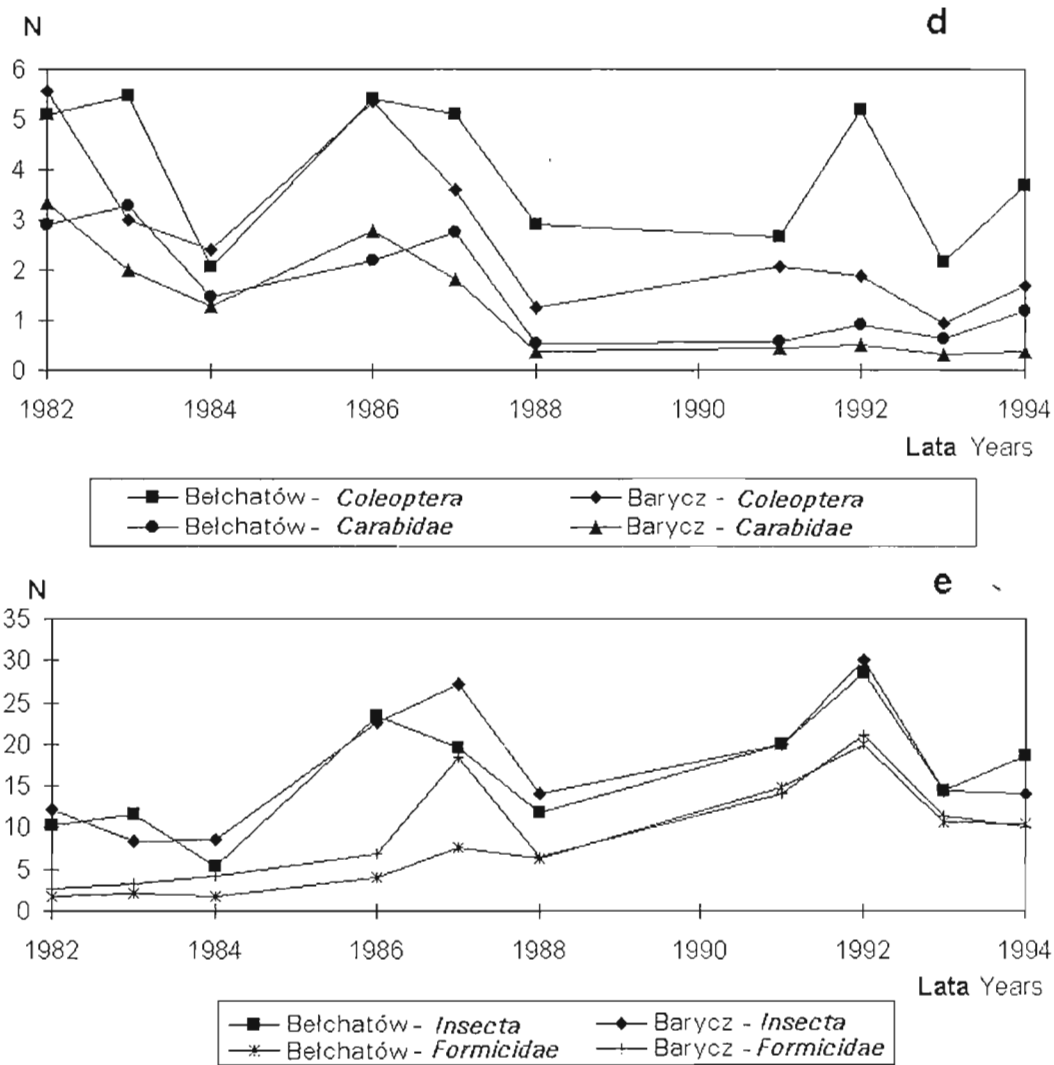
Zależność między wskaźnikiem stężenia SO₂ a liczebnością populacji *Aranea* opisuje równanie regresji krzywoliniowej (ryc. 5). Populacja jest ograniczana liczebnie przez wzrost stężenia SO₂ (współczynnik korelacji $R = 0,517$; $p < 0,001$). Ograniczenie liczebności następuje przy wysokich stężeniach SO₂ przekraczających 0,03 g/m · doba.



Podobne ograniczenie liczebności przy wysokich stężeniach SO_2 następuje w przypadku *Carabidae*. Zależność można przedstawić w postaci malejącej funkcji kwadratowej, współczynnik korelacji R wynosi 0,490 ($p < 0,05$).

Liczebność populacji *Collembola* wzrasta wraz ze wzrostem zawartości SO_2 w powietrzu. Współczynnik korelacji między zagęszczeniem populacji a stężeniem SO_2 wynosi 0,859 ($p < 0,001$).

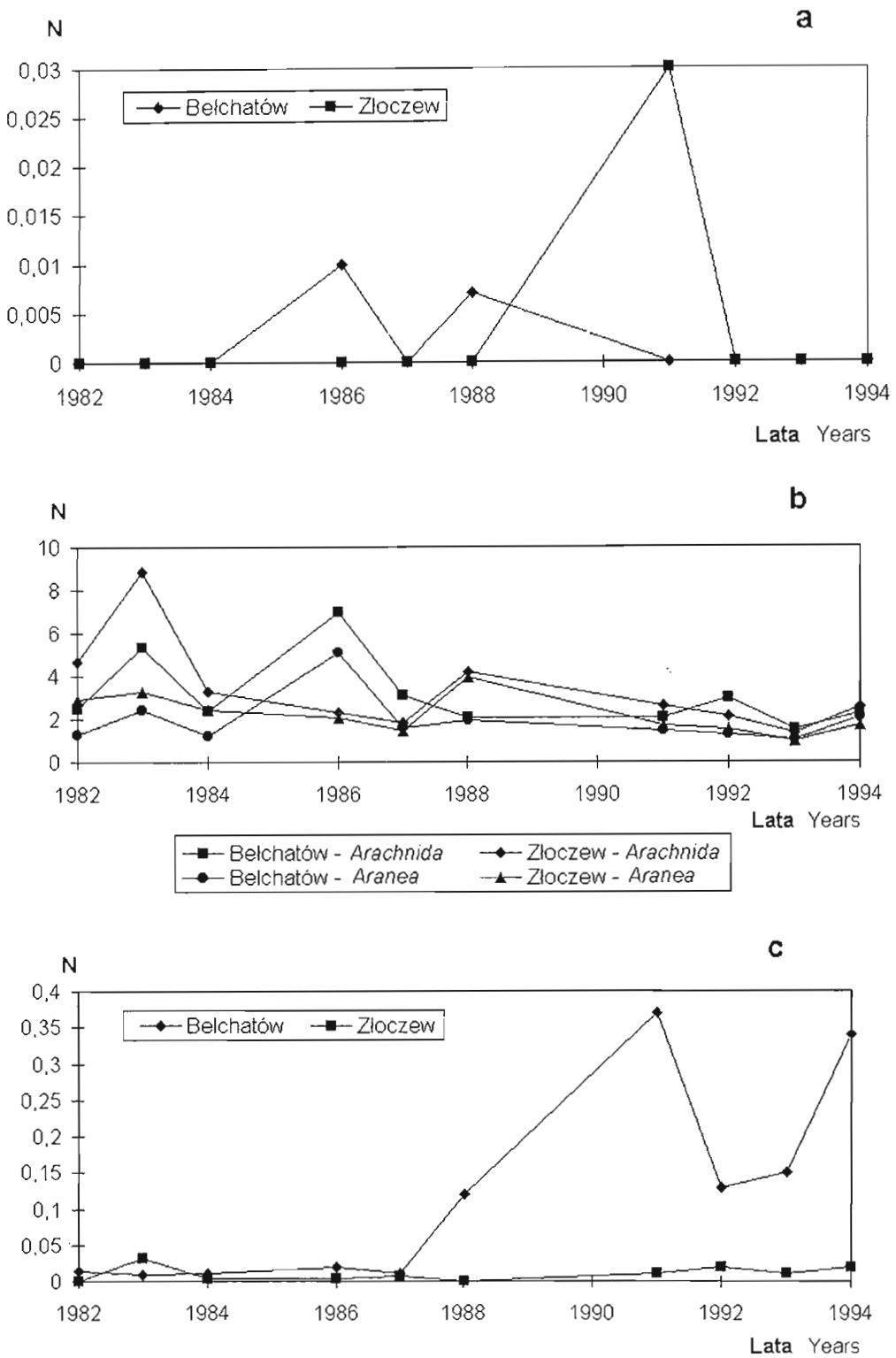
Nie stwierdzono zależności między zawartością siarki w powietrzu a liczebnością grup *Formicidae* i *Myriapoda* (ryc. 5).



Ryc. 3. Dynamika liczebności: a — *Isopoda*, b — *Arachnida* z wyróżnieniem *Aranea*, c — *Myriapoda*, d — *Coleoptera* z wyróżnieniem *Carabidae*, e — *Insecta* z wyróżnieniem *Formicidae* w latach 1982–1994 w biocenozach nadleśnictw Bełchatów i Barycz na siedlisku boru bagiennego

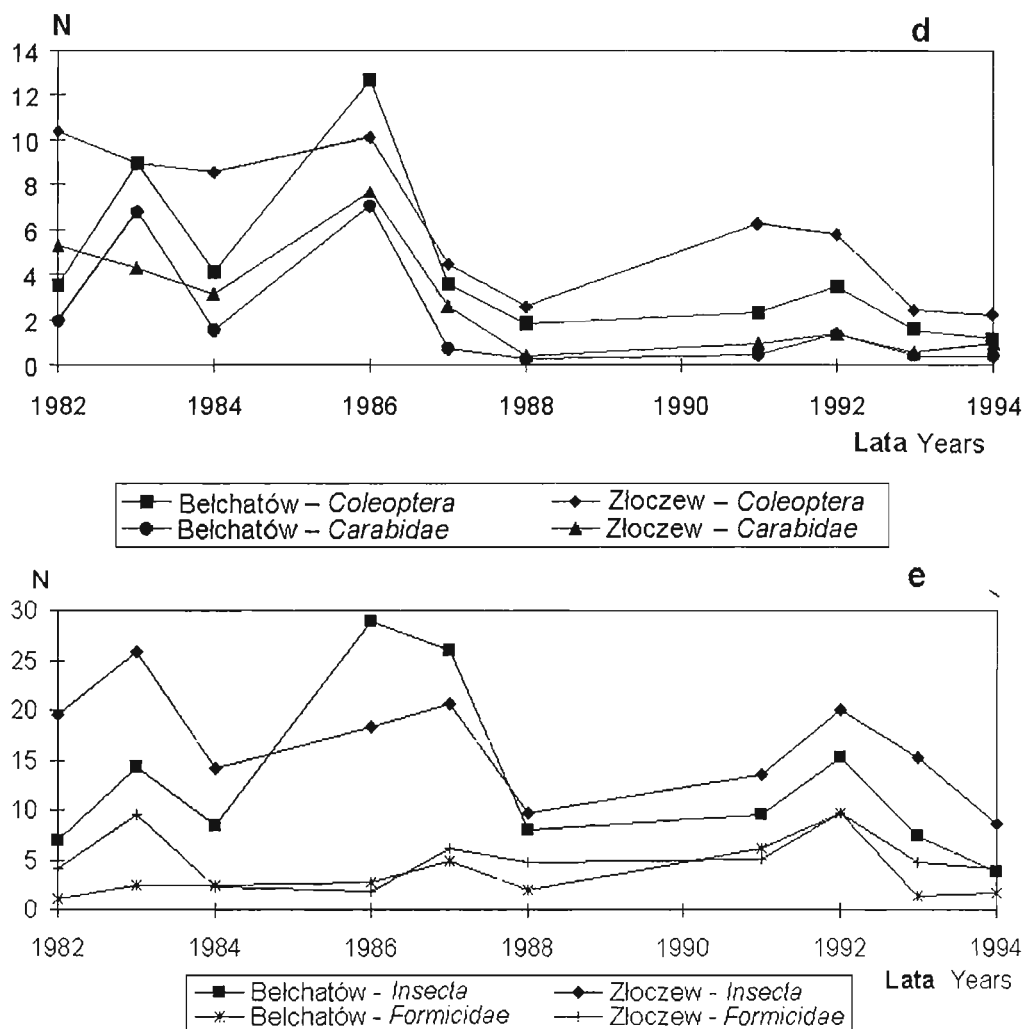
Fig. 3. Dynamics of: a — *Isopoda* number, b — *Arachnida* number with *Aranea* distinction, c — *Myriapoda* number, d — *Coleoptera* number with *Carabidae* distinction, e — *Insecta* number with *Formicidae* distinction in biocenoses of Belchatów and Barycz Forest districts at the marsy coniferous forest site in 1982–1994 years

Przebieg zmian liczebności *Collembola* w latach 1982-94 w zależności od wysokości stężenia SO_2 na siedlisku boru świeżego i boru bagiennego ilustruje rycina 6. Wzrost liczebności *Collembola* wystąpił w latach 1983, 1987 i 1993, tj. w okresach najwyższej emisji SO_2 . Na siedlisku boru bagiennego najwyższa liczebność przy najwyższym stężeniu SO_2 wystąpiła w latach 1987 (Nadl. Bełchatów) i 1986 (Nadl. Barycz).



4. DYSKUSJA

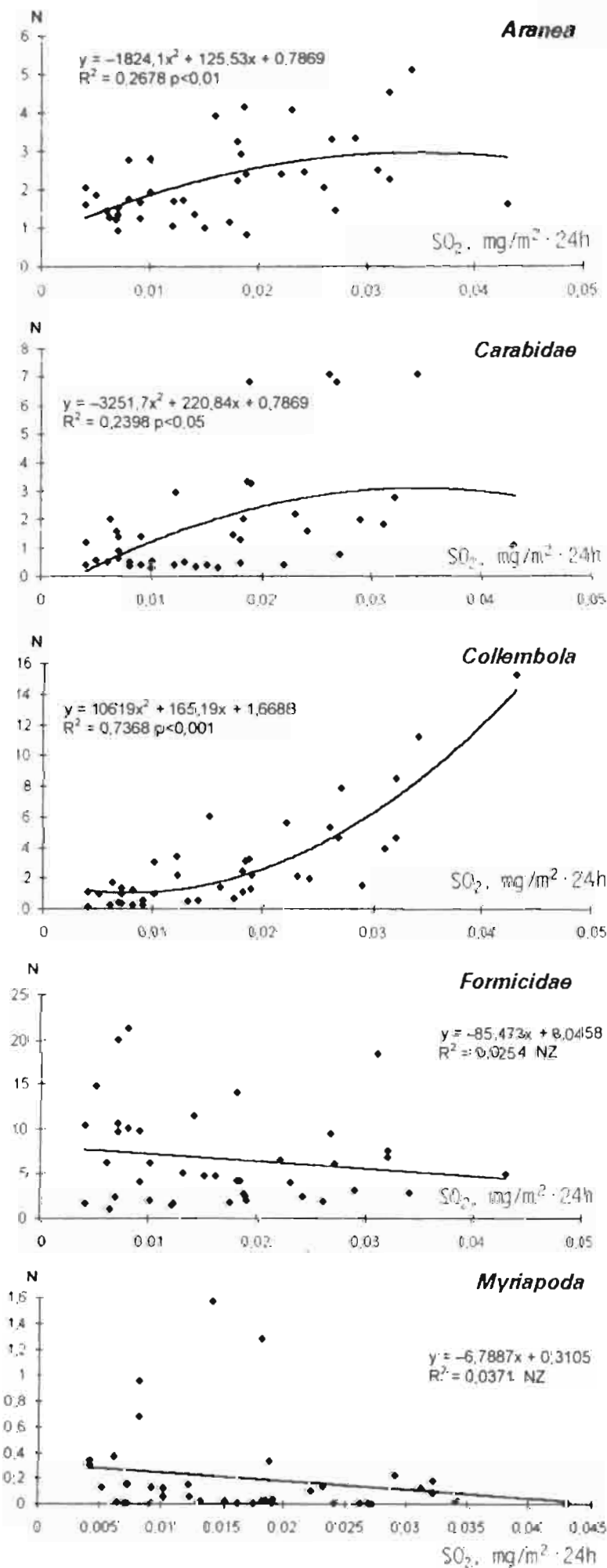
Kwaśne opady powstające na bazie gazowych składników zanieczyszczeń powietrza, takich jak SO_2 , wywołują zmiany środowiska glebowego. Badania odczynu gleb w latach 1978-94 wykazały wzrost kwasowości w siedlisku boru świeżego i bagiennego. Zakwaszeniu gleb towarzyszy proces wymywania ka-



Ryc. 4. Dynamika liczebności: a – *Isopoda*, b – *Arachnida* z wyróżnieniem *Aranea*, c – *Myriapoda*, d – *Coleoptera* z wyróżnieniem *Carabidae*, e – *Insecta* z wyróżnieniem *Formicidae* w latach 1982-1994 w biocenozach nadleśnictw Belchatów i Złoczew na siedlisku boru świeżego
 Fig. 4. Dynamics of: a – *Isopoda* number, b – *Arachnida* number with *Aranea* distinction, c – *Myriapoda* number, d – *Coleoptera* number with *Carabidae* distinction, e – *Insecta* number with *Formicidae* distinction in biocenosis of Belchatów and Złoczew Forest districts at the fresh coniferous forest site in 1982-1994 years

tionów zasadowych (Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+) z kompleksu sorpcyjnego gleb, ujawniający się w niższych próchniczo-eluwialnych poziomach gleb.

Warunki glebowe są istotnym czynnikiem wpływającym na regulację liczebności bezkręgowców glebowych. Populacja *Collembola* reaguje wysokim wzrostem liczebności na obniżenie pH gleby. Współczynnik korelacji między wysokością stężenia SO_2 a liczebnością populacji jest wysoki ($R = 0,859$).



Ryc. 5. Zależność wskaźnika łowności od wskaźnika emisji SO₂
 Fig. 5. Relationship between catchability index and SO₂ emission index

Tabela 5

Table 5

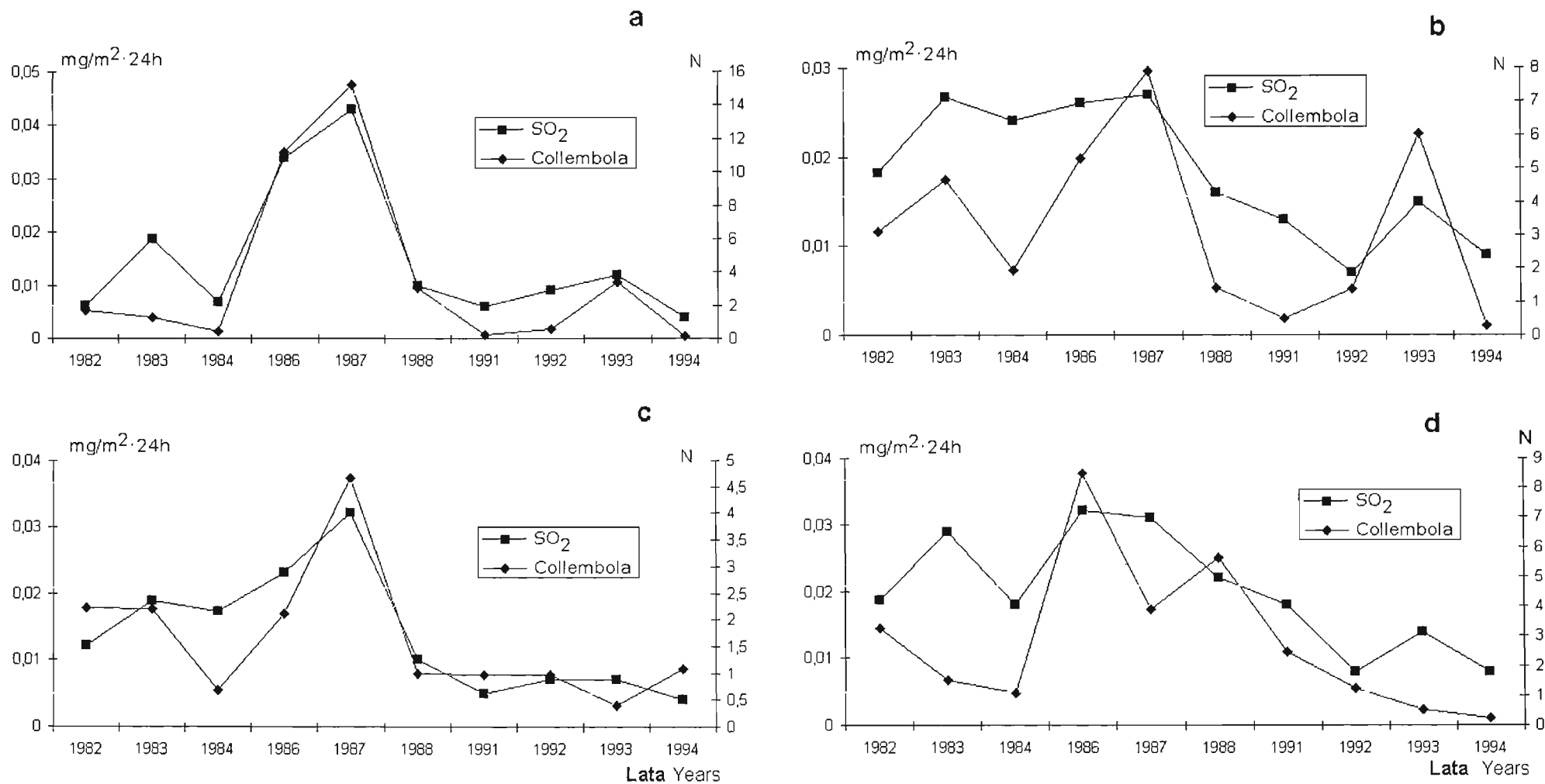
Wartości średnich liczebności *Arthropoda* w latach 1982–1994 w biocenozach nadleśnictw Bełchatów i Złoczew na siedlisku boru świeżego oraz znamienności statystyczne różnic pomiędzy średnimi

Values of mean number of *Arthropoda* in the years 1982–1994 in biocenosis of Bełchatów and Złoczew Forest Districts at the fresh coniferous forest site and the significance level of differences between mean values

<i>Arthropoda</i>	Średnia ± odchylenie standardowe Mean ± standard deviations		Znamienność statystyczna Significance level
	Nadl. Bełchatów	Nadl. Złoczew	
<i>Isopoda</i>	0,002±0,004	0,003±0,009	NZ
<i>Arachnida</i>	3,100±1,699	3,381±2,181	NZ
<i>Aranea</i>	1,932±1,192	2,202±0,929	NZ
<i>Myriapoda</i>	0,117±0,137	0,012±0,010	p<0,01
<i>Insecta</i>	12,882±8,449	16,537±5,330	p<0,05
<i>Collembola</i>	3,722±5,212	3,244±2,597	NZ
<i>Coleoptera</i>	4,320±3,668	6,181±3,193	p<0,01
<i>Carabodae</i>	2,118±2,610	2,713±2,407	p<0,05
<i>Formicidae</i>	3,460±2,719	5,241±2,604	p<0,05

Pierwsze doniesienie o reakcji wzrostu liczebności niektórych gatunków *Collembola* na zakwaszenie gleb oraz spadek liczebności po wapnowaniu były opisane przez HAGVAR'a i ABRAHAMSEN'a (1977) oraz przez HAGVAR'a (1984). Wydaje się, że wysokość pH gleby warunkuje rozrodczość niektórych gatunków *Collembola* (HAGVAR i ABRAHAMSEN 1980). I tak na przykład gatunek *Tullbergia krausbaueris* s. J. reprodukuje się w glebach o wartości pH < 3,3. VAN STRAALLEN (1987) opisuje występowanie zależności między żywotnością lasów sosnowych (wyrażoną liczbą roczników szpilek na pędach) a całkowitą liczebnością grupy *Collembola*. Wzrostowi liczebności *Collembola* towarzyszy spadek żywotności lasu. W kolejnej pracy VAN STRAALLEN (1988) proponuje wykorzystanie zagęszczenia populacji gatunków z rodziny *Sminthuridae* (*Collembola*) i *Oribatida* (*Acari*) jako wskaźnika żywotności lasów sosnowych narażonych na działanie imisji w Holandii. Względny wzrost populacji gatunków wskaźnikowych według autora jest skorelowany dodatnio z żywotnością lasów. Gatunki *Collembola* są w różnym stopniu wrażliwe na zmianę pH gleby. W lepszych warunkach glebowych (wyższy poziom Mn, niższa wartość proporcji C/N) rodzina *Sminthuridae* osiąga wyższe zagęszczenia, natomiast przy spadku pH gleby i wartości C/N najwyższe zagęszczenie osiągają gatunki z rodziny *Isotomidae* i *Entomobryidae*.

Zależność między wzrostem zakwaszenia gleby a liczebnością makrofauny glebowej jest istotna. Liczebność populacji *Aranea* maleje przy wysokich stę-



Ryc. 6. Zmiany liczebności *Collembola* i zawartości SO₂ w powietrzu w latach 1982–94 w biocenozach boru świeżego (w nadleśnictwach: a — Bełchatów, b — Złoczew) i boru bagiennego (w nadleśnictwach: c — Bełchatów, d — Barycz)

Fig. 6. Changes of *Collembola* number and SO₂ concentration in the air in biocenosis of fresh coniferous forest (in Bełchatów Forest District — a, in Złoczew Forest District — b) and in biocenosis of marshy coniferous forest (in Bełchatów Forest District — c, in Barycz Forest district — d) in the years 1982-1994

żeniach SO₂, wartość bezwzględna współczynnika korelacji jest dość wysoka ($R = -0,517$; $p < 0,001$).

Łęgowski 1995 opisuje reakcję wzrostu liczebności pajaków z rodziny *Erigonidae* w pierwszym roku po symulacji kwaśnego opadu. W następnych latach wzrosła liczba gatunków *Erigonidae* przy jednoczesnym spadku liczby gatunków w rodzinie *Lycosidae*. Zakwaszenie środowiska mające łagodny charakter prowadziło do stopniowej przebudowy struktury zgrupowań pajaków. Badania przeprowadzone przez GUNNARSSON i JOHNSSON (1988) wykazały, że jedynie opady o bardzo niskim pH (2,2) obniżają szybkość wzrostu populacji pajaków z gatunku *Pityohyphantes phrygianus*. Zastosowanie opadu, którego pH wynosiło 4,0 nie wpływało na zwiększenie śmiertelności.

Podobnie reaguje grupa *Carabidae*. Obniżenie liczebności *Carabidae* występuje przy bardzo wysokich stężeniach SO₂ przekraczających 0,04g/m² · doba. Współczynnik korelacji między liczebnością a stężeniem SO₂ jest dość wysoki i wynosi $R = 0,490$ $p < 0,05$.

Badania SKŁODOWSKIEGO (1995) nad wpływem nawożenia i zakwaszania gleb młodników sosnowych na zespoły biegaczowatych wykazały, że zgrupowania charakteryzujące się najwyższym wskaźnikiem zróżnicowania gatunkowego, występowały w młodnikach zakwaszanych 2% kwasem siarkowym. Symulacja kwaśnych opadów 1% kwasem przyczyniła się do redukcji tego wskaźnika. Również w warunkach terenowych na obszarach skażonych siarką (Buda Stalowska) obserwowano wysoki wskaźnik zróżnicowania gatunkowego.

W przypadku *Formicidae* i *Myriapoda* brak ukierunkowanej tendencji w reakcji liczebności na poziom stężenia SO₂ w powietrzu. SZUJECKI (1990) stwierdził, że symulacja kwaśnych opadów przeprowadzana przy użyciu słabego roztworu kwasu siarkowego stwarza najbardziej optymalne warunki dla mrówek leśnych i leśnych higrofilii, zaś warianty z mocniejszym kwasem stwarzają preferencje dla gatunków nieleśnych i dla acidofilii. Słabsze zakwaszenie można porównać do procesu starzenia się i bielnicowania gleb leśnych, co sprzyja gatunkom typowym dla starych drzewostanów. Przekroczenie pewnej wysokości pH powoduje rozpad tego zgrupowania i zastępowanie go gatunkami synantropijnymi.

Fluktuacje liczebności mezo- i makrofauny w latach 1982-1994 są reakcją na zmieniające się warunki glebowe. Kwaśne opady powstające zarówno w rejonie Bełchatowskiego Okręgu Przemysłowego, jak również na obszarach zlokalizowanych w promieniu 80 km od emitora, uruchamiają procesy zakwaszania i ubożenia gleb leśnych w pierwiastki biofilne. Reakcja wzrostu liczebności grupy *Collembola* w warunkach zwiększonej imisji SO₂ umożliwia biologiczne monitorowanie jakości gleb leśnych.

DENSITY OF SOIL ARTHROPODA AND THE LEVEL OF SO₂ CONCENTRATION IN THE AIR

Summary

The aim of the present study was to determine the influence of SO₂ concentration in the air on the number of soil invertebrate. The study was conducted in pine stands of different age (thicket, stick stand, timber forest) and site conditions (fresh coniferous forest, marshy coniferous forest). The stands examined were located within the Bełchatów Industrial District (Bełchatów Forest District), placed far from the Bełchatów Power-Station (Złoczew Forest District - 50 km, Barycz Forest District - 80 km). The measurements of SO₂ concentration in the air were carried out in Bełchatów, Złoczew and Barycz Forest Districts in the years 1981-1995. The SO₂ index was determined by using the method of the basic indicator paper with K₂CO₃ as a absorbing agent. Soil *Arthropoda* were collected into a Barber's trap to determine their number. The catchability index of *Arthropoda* groups, determining the mean number of one group of individuals caught into one Barber's trap during one day, was assumed as the measure of the number of *Arthropoda*. Mean soil samples from organic and humus eluvial horizons were collected for chemical analyses; pH was determined by using the potentiometric method and the total metal (Zn, Pb, Cu, Mn, Ca, Mg, K) concentration was determined by the atomic absorption spectrophotometry. The relationship between different groups of Arthropoda population in the years 1982-1994 and the concentration of SO₂ in the air was defined by the analysis of regression.

The number of Collembola population increases with the increase of SO₂ concentration in the air ($R=0.859$ p.001), but the number of *Aranea* and *Carabidae* populations decrease with high concentration of SO₂ in the air (0.03 g/m² x 24 h). There was no relationship between the density of *Myriapoda* and *Formicidae* populations and the SO₂ concentration in the air.

Chemical analyses showed a little decrease in soil reaction in the years 1988-1993 and the loss of Mg, Ca and K elements from the mineral soil level.

(transl. D.D)

PIŚMIENNICTWO

- BARTKIEWICZ B., J. KUROWSKI, S. ORZEL, 1985: Badanie wpływu Bełchatowskiego Okręgu Przemysłowego na lasy. Dokumentacja Inst. Bad. Leśn. Maszynopis, Warszawa.
- BURACZEWSKI A., DUDA S. 1976: Program gospodarki leśnej na terenie Bełchatowskiego Okręgu Przemysłowego na lata 1976-1990. Dokumentacja Inst. Bad. Leśn. Maszynopis, Warszawa.
- DIDDEN W. A. M. 1993: Ecology of terrestrial *Enchytraeidae*. *Pedobiologia* 37: 2-29.
- GUNNARSSON B., JOHNSON J. 1989: Effects of simulated acid rain on growth rate in a spruce living spider. *Environ. Pollut.* 56: 311-317.
- HAGVAR S. 1984: Effect of liming and artificial acid rain on *Collembola* and *Protura* in coniferous forest. *Pedobiologia* 27: 341-354.
- HAGVAR S. 1987a: What is the importance of soil acidity for the soil fauna? *Fauna (Oslo)* 40: 64-72.
- HAGVAR S. 1987 b: Why do collemboles and mites react to changes in the soil acidity? *Ent. Medd.* 55: 115-120.
- HAGVAR S., ABRAHAMSEN G. 1977: Effect of artificial acid rain on *Enchytraeidae*, *Collembola* and *Acarina* in coniferous forest soil and on *Enchytraeidae* in Sphagnum bog-preliminary results. *Ecol. Bull* 25: 568-570.

- HAGVAR S., ABRAHAMSEN G. 1980: Colonisation by *Enchytraeidae*, *Collembola* and *Acari* in sterile soil samples with adjusted pH levels. *Oikos* 34:245-258.
- KUROWSKI J. 1993: Dynamika fitocenozy leśnych w rejonie kopalni odkrywkowej Bełchatów. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, 1-171.
- LEE K. E. 1985: Earthworms. Sydney Academic Press, Australia.
- ŁĘGOWSKI D. 1995: Antropogeniczne przeobrażenia zgrupowań pajaków (*Aranei*) w ekosystemach borów sosnowych. W: Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych. Fundacja Rozwój SGGW, 381-460.
- PUCHALSKI T., PRUSINKIEWICZ T. 1975: Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- SCHEU S., WOLTERS V. 1991a: Influence of fragmentation and bioturbation on the decomposition of C-14-labelled beech leaf litter. *Soil Biol. Biochem.* 23:1029-1034.
- SCHEU S., WOLTERS V. 1991 b: Buffering of the effect of acid rain on decomposition of C-14-labelled beech leaf litter by saprophagous invertebrates. *Biol. Fertil. Soil.* 11: 285-289.
- SKŁODOWSKI J. 1995: Antropogeniczne przekształcenia zespołów biegaczowatych (Col. *Carabidae*) w ekosystemach borów sosnowych Polski. W: Antropogeniczne przeobrażenia epigeicznej i glebowej entomofauny borów sosnowych. Fundacja Rozwój SGGW, 17-164.
- VAN STRAALEN N. M., GEURS M., J. M. VAN DER LINDEN, 1987: Abundance, pH preference and mineral content of Oribatida and Collembola in relation to vitality of pine forests in the Netherlands. W: Acid rain: scientific and technical advances (R. Perry, R. M. Harrison, J. N. B. Bell, J. N. Lester — eds), Selper LTD London pp 674-679.
- VAN STRAALEN N. M., KRAAK M. H. S., DENNERMANN C. A. J. 1988: Soil microarthropods as indicators of soil acidification on forest decline in the Veluwe area, Netherlands. *Pedobiologia* 32: 47-55.
- STUANES A. O., VAN MIEGROET H., COLE D. W., ABRAHAMSEN G. 1992: Recovery from acidification. W: Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling (Johnson D. W., Lindberg S. E. — eds), Ecological Studies 91: 467-494.
- SZUJECKI A. 1990: Wpływ zakwaszenia i nawożenia gleb na niektóre bezkręgowce borów sosnowych i charakterystyki ekosystemu. Dokumentacja Inst. Bad. Leśn., Warszawa.
- WOLTERS V. 1991a: Effects of acid rain on leaf litter decomposition in a beech forest on calcareous soil. *Biol Fertil. Soils* 11: 151-156.
- WOLTERS V. 1991b: Biological processes in two beech forest soils treated with simulated acid rain a laboratory experiment with *Isotoma tigrina* (Isecta, Collembola). *Soil Biol Biochem* 23: 381-390.
- WOLTERS V., SCHAEFER M. 1994: Effect of acid deposition on soil invertebrates. W: Effect of acid rain on forest processes (Godbold D. L., Huttermann A. — eds) Wiley-Liss, New York, Chichester, Brisbane: 107-125.