

JÓZEF ZWOLIŃSKI

## Zalesianie terenów skażonych przez przemysł\* I. Ocena jakości gleb

Afforestation of lands contaminated by industrial pollution  
Evaluation of soil quality

**Abstract.** The quality of lands being under the impact of industrial pollution from different sources of emission was evaluated for their applicability to afforestation. The proposed method of soil classification for nutrient content was based on the selected chemical parameters.

**Key words:** wasteland, industrial pollution, nutrient content indicator, soil classification

### Wstęp

**W**łaściwości fizykochemiczne i biologiczne gleb nieleśnych, w tym głównie wysokie pH, brak warstwy organicznej oraz skład jakościowo-ilościowy organizmów glebowych, stanowią warunki znacznie odbiegające od wymagań zbiorowisk leśnych, będące przyczyną ich zwiększonej podatności na czynniki stresowe. Negatywne konsekwencje niedostosowania sztucznego zbiorowiska leśnego do biotopu mogą szczególnie uwydatniać się na terenach narażonych na oddziaływanie zanieczyszczeń przemysłowych. Nagromadzone w glebie toksyczne związki chemiczne, względnie niekorzystne zmiany warunków glebowych będące skutkiem reakcji na emisje przemysłowe są bowiem dodatkowym czynnikiem utrudniającym przekształcenie gruntów nieleśnych w las. Spośród emitowanych zanieczyszczeń, największe zagrożenie dla zakładanych upraw stanowią metale ciężkie, z uwagi na długi okres utrzymywania się w glebie, oceniany na kilkaset do kilku tysięcy lat (Mc Grath 1986). Powodują one uszkodzenia korzeni i zanik mikoryz (Godbold 1984, Godbold, Kettner 1991), ograniczają rozwój drobnoustrojów glebowych (Baath 1989, Zwoliński 1995), a pobrane z gleby przez rośliny są przyczyną zaburzeń wielu procesów metabolicznych (Schlegel i in. 1987, Balsberg-Pahlsson 1989). Problem metali ciężkich ogranicza się jednak do stosunkowo niewielkich obszarów okalających zakłady

\* Prace wykonano w ramach tematu 5-U-25/2000, sfinansowanego przez NFOŚiGW

metalurgiczne. Szerszy zasięg negatywnego oddziaływania na gleby mają zanieczyszczenia gazowe ( $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ ), będące prekursorami kwaśnych opadów, a emitowane głównie przez elektrownie, elektrociepłownie oraz zakłady przemysłowe. Kwaśne opady powodować mogą wymywanie składników pokarmowych w głąb profilu glebowego, uwalnianie jonów glinu toksycznych dla korzeni i grzybów mikoryzowych oraz zakłócenie pobierania i transportu składników pokarmowych z gleby do roślin (Esher i in. 1992, Persson, Majdi 1995). W rejonach przemysłowych znacznym problemem mogą być ponadto opady alkaliczne (głównie związków wapnia), powodujące w glebach niekorzystne zmiany proporcji między makroskładnikami oraz wzrost pH – często przekraczający poziom tolerowany przez leśne gatunki roślin.

Celem pracy była ocena jakości gruntów pozostających pod wpływem zanieczyszczeń pochodzących z różnych źródeł emisji oraz próba ich klasyfikacji pod względem zasobności w podstawowe składniki pokarmowe.

## Obiekt i metodyka badań

Badania prowadzono na 19 powierzchniach reprezentujących nieużytki poprzemysłowe i grunty porolne znajdujące się w zasięgu oddziaływania różnych źródeł emisji (huta żelaza, huty cynku i ołowiu, elektrownie, zakłady górnicze), na terenie województw: Śląskiego i Małopolskiego (tab. 1).

Z każdej powierzchni (około 0,5 ha) pobrano w październiku 2000 r. dwie próby ogólne (po jednej z warstwy 0-15cm i 15-30 cm) zawierające po 10 wymieszanych próbek indywidualnych pobranych objętościowo (laska glebowa o średnicy 8 cm) w punktach pokrywających równomiernie całą powierzchnię i oznaczono:

- ogólną zawartość metali (Ca, Mg, K, Na, Zn, Pb, Cu, Cd) metodą absorpcji atomowej (spektrofotometr AAS 2380 Perkin-Elmer), po zmineralizowaniu materiału  $\text{HClO}_4$ ,
- ogólną zawartość siarki i węgla organicznego ( $C_{\text{org}}$ ) na analizatorze siarki i węgla (SC 132 Leco), zawartość azotu metodą Kjeldahla (aparatury Büchi B-324) a fosforu metodą molibdenową (Ostrowska i in. 1991),
- kationy zasadowe ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) i formy wymienne metali ciężkich ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ) metodą absorpcji atomowej, po ekstrakcji gleby 1n octanem amonu,
- fosfor przyswajalny metodą Egnera-Riehma (Kowalkowski i in. 1973),
- pojemność wymienną gleb – z sumy kationów zasadowych i metali ciężkich oraz kwasowości wymiennej – oznaczonej po ekstrakcji gleby 1n KCl,
- odczyn gleb metodą potencjometryczną w 1n KCl; stosunek gleby do roztworu (w/v) – 1:2,5.

Badania mikrobiologiczne wykonano następnego dnia po pobraniu prób glebowych, według metod opisanych szczegółowo wcześniej (Zwoliński 1995). Z uwagi na zróżnicowaną zawartość substancji organicznej w glebach badanych powierzchni, mającej istotny wpływ

TABELA 1  
Wykaz analizowanych gruntów marginalnych

Pow. (nr)	Lokalizacja województwo	miejscowość	Dominujące źródło zanieczyszczeń		Typ gruntu
			rodzaj emitora	odległość (km)	
1	Śląskie	Nadl. Siewierz – Skarżyce	Huta Zawiercie	14	porolny
2		Nadl. Siewierz – góra Żerkowska	Huta Zawiercie	14	porolny
3		Gm. Bobrowniki-Dobieszycy	Huta Cynku Miasteczko Śl.	12	porolny
4		Gm. Bobrowniki-Rogoźnik	Huta Cynku Miasteczko Śl.	13	nieużytek
5		Gm. Bobrowniki-Rogoźnik	Huta Cynku Miasteczko Śl.	11	nieużytek
6		Jaworzno	Elektrownia Jaworzno	3	porolny
7		Jaworzno	Elektrownia Jaworzno	2	nieużytek
8		Jaworzno	Elektrownia Jaworzno	4	porolny
9		Jaworzno	Elektrownia Siersza	3	porolny
10		Nadl. Świerklaniec, Leś. Imielów, oddz. 227m	Huta Cynku Miasteczko Śl.	3	porolny
11		Nadl. Świerklaniec, Leś. Repecko, oddz. 128h	Huta Cynku Miasteczko Śl.	2	nieużytek
12		Nadl. Świerklaniec, Leś. Imielów, oddz. 203i	Huta Cynku Miasteczko Śl.	4	porolny
13		Miasteczko Śląskie	Huta Cynku Miasteczko Śl.	<1	nieużytek
14	Małopolskie	Nadl. Olkusz, Leś. Cegielnia, oddz. 200a	Kombinat Górniczo-Hutniczy Bolesław	4	porolny
15		Nadl. Olkusz, Leś. Cegielnia, oddz. 208l	KGH Bolesław	3	porolny
16		Nadl. Olkusz, Leś. Małobądz,	KGH Bolesław	2	porolny
17		Nadl. Olkusz, Leś. Krzykawki	KGH Bolesław	5	porolny
18		Chrzanów-Płaza	Zakłady Górnicze Trzebieonka	2	porolny
19		Chrzanów-Trzebieonka	Zakłady Górnicze Trzebieonka	1	nieużytek

TABELA 2  
Skład chemiczny i pH gleb

Pow. (nr)	pH (KCl)	C (%)	N (%)	C/N	P (mg/kg)	S (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)
1	7,44	1,048	0,096	10,9	423	85	4613	987	1580	131	41	8	3
2	6,60	0,903	0,081	11,1	477	68	2303	826	1480	107	41	9	2
3	5,33	1,408	0,094	15,0	500	163	1721	1401	1739	457	714	9	6
4	6,10	2,927	0,201	14,6	310	279	2065	608	490	346	117	6	6
5	7,42	2,255	0,098	23,0	592	71	17833	10065	2637	1271	273	14	11
6	6,62	2,340	0,159	14,7	431	251	2543	356	405	179	110	6	3
7	5,85	1,708	0,109	15,6	281	31	3298	1457	712	364	92	9	5
8	6,88	2,138	0,137	15,6	934	21	4090	1495	1221	3195	862	14	16
9	6,38	1,232	0,089	13,8	315	41	2060	854	766	280	131	6	3
10	4,43	1,086	0,046	23,6	173	90	155	125	201	203	193	5	4
11	3,41	8,763	0,317	27,6	457	2615	7753	249	280	329	35	95	3
12	5,17	1,128	0,082	13,8	492	102	711	711	1600	167	141	11	3
13	5,91	5,791	0,354	16,4	1275	1160	2074	747	430	7123	5815	41	277
14	5,53	1,414	0,098	14,4	307	91	1437	269	249	118	95	3	3
15	5,85	1,803	0,151	11,9	420	178	2895	2895	4021	319	374	20	3
16	4,87	1,478	0,144	10,3	346	160	2155	1790	2270	632	87	11	3
17	4,51	1,273	0,108	11,8	409	140	1956	1845	2600	286	128	10	2
18	6,90	0,852	0,084	10,1	471	91	2267	687	1026	182	61	8	2
19	6,25	2,778	0,211	13,2	388	321	3588	1710	1555	249	156	19	4

na rozwój drobnoustrojów glebowych, uzyskane wyniki przeliczono na 1 g węgla organicznego ( $C_{org.}$ ). Wykonano następujące oznaczenia:

- ☐ intensywności procesu mineralizacji węgla ( $\mu\text{g CO}_2/\text{g } C_{org.} \cdot \text{h}$ ) na aparacie Warburga,
- ☐ biomasy drobnoustrojów ( $C_{biom.}$ ) metodą indukowanej substratem (glukozą) respiracji (Anderson, Domsch 1978, Beare i in. 1990).

Zestawione w tabelach wyniki oznaczeń chemicznych i mikrobiologicznych są średnią ważoną wartości stwierdzonych w warstwach 0-15 i 15-30 cm i odnoszą się do całej analizowanej warstwy gleb (0-30 cm).

## Wyniki i dyskusja

Powierzchnie wybrane do badań reprezentują grunty marginalne, zróżnicowane stopniem i typem przemysłowego zanieczyszczenia, wynikającym zarówno z ich usytuowania względem stacjonarnych źródeł emisji (tab. 1) jak i ze składu jakościowo-ilościowego

TABELA 3  
Ogólna zawartość makroskładników (kg/ha) oraz gęstość objętościowa (g. obj.) gleb

Pow (nr)	N	P	Ca	Mg	K	g. obj. ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
1	3681	1622	17696	3786	6062	1,28
2	3184	1964	9478	3401	6090	1,37
3	3294	1780	6114	4976	6178	1,18
4	6530	1035	6896	2031	1637	1,11
5	4493	2731	82215	46404	12159	1,54
6	5346	1444	8523	1194	1356	1,12
7	6739	1637	19246	8501	4157	1,94
8	5385	3653	15995	5849	4775	1,30
9	4059	1330	8692	3604	3231	1,41
10	2234	816	730	588	944	1,57
11	5852	800	1317	436	489	0,58
12	3723	2250	3249	3249	7315	1,52
13	6557	2098	3412	1230	712	0,55
14	3895	1233	5744	1083	1000	1,34
15	4899	1517	10450	10450	14519	1,20
16	5338	1155	7192	5972	7576	1,11
17	3888	1498	7159	6756	9520	1,22
18	3652	207	9893	3000	4480	1,45
19	6619	1219	11282	5379	4890	1,05

emitowanych związków chemicznych. Miało to zasadniczy wpływ na właściwości chemiczne i aktywność mikrobiologiczną gleb.

### **Właściwości chemiczne gleb**

Na większości badanych powierzchni zawartość węgla organicznego ( $C_{org}$ ) była niska i kształtowała się w granicach 0,85-2,93%. Wyjątek stanowiły zdewastowane powierzchnie leśne (pow. nr 11 i 13) usytuowane w pobliżu huty cynku i ołowiu, charakteryzujące się znacznie wyższą zawartością  $C_{org}$ , bo odpowiednio 8,76% i 5,79%. Stwierdzono tam także zdecydowanie więcej, niż na pozostałych powierzchniach, azotu (odpowiednio 0,32% i 0,35%) i siarki (2615 mg/kg i 1160 mg/kg gleby). Stosunek węgla do azotu (C/N) mieścił się w granicach od 10 do 16, z wyjątkiem pow. 5, 10 i 11 – z  $C/N > 20$ . Niektóre powierzchnie (pow. nr 8 i 13) charakteryzowały się wysoką koncentracją metali ciężkich, głównie cynku (odpowiednio 3195 i 7123 mg/kg gleby) oraz ołowiu (odpowiednio 862 i 5815 mg/kg gleby) a także nadmierną koncentracją niektórych makroskładników, zwłaszcza wapnia (pow. nr 1, 5, 8, 11) i magnezu (pow. nr 5 i 15) (tab. 2). Zawartość makroskładników w całej warstwie (0-30 cm) badanych gleb, którą obliczono uwzględniając ich gęstość objętościową, była zróżnicowana (tab. 3). Zwraca uwagę szczególnie wysoka zawartość wapnia na większości powierzchni oraz magnezu na kilku (pow. nr 5 i 15). Można sądzić, że wpływ na to miała, poza rodzajem skał macierzystych, z których gleby zostały wytworzone i wcześniejszym ich użytkowaniem (gleby porolne), duża depozycja alkalicznych pyłów. Konsekwencją tego jest wysokie  $pH(KCl)$  gleb, przekraczające na niektórych powierzchniach (pow. nr 1 i 5) wartość 7,0 (tab. 2).

### **Zasobność i przemysłowe skażenie gleb**

Przy ocenie jakości gruntów pozostających pod wpływem emisji przemysłowych pod kątem ich przydatności do zalesień, istotne znaczenie ma określenie zasobności gleb w podstawowe składniki odżywcze oraz rozmiaru negatywnych zmian właściwości chemicznych spowodowanych depozycją zanieczyszczeń.

Zasobność gleb determinowana jest zawartością pierwiastków przyswajalnych przez organizmy glebowe i rośliny, tj. rozpuszczonych w roztworach glebowych oraz występujących w formie wymiennej w kompleksie sorpcyjnym. Istotnym czynnikiem w tym względzie jest wielkość kompleksu sorpcyjnego wyrażona jego pojemnością wymienną (CEC). Jest on bowiem zarówno magazynem (zabezpieczającym przed wymywaniem pierwiastków w głąb profilu glebowego) jak i źródłem składników pokarmowych dla roślin. Na podstawie uzyskanych wyników zawartości przyswajalnych form makroskładników oraz pojemności wymiennej kompleksu sorpcyjnego gleb (tab. 4), podjęto próbę oceny badanych nieużytków pod względem ich wykorzystania do zalesień. Ustalono w tym celu wartości graniczne parametrów oraz zakresy ich wartości (tab. 5) – różnicujące gleby pod względem zasobności, korzystając z publikowanych danych dotyczących zasobności gleb rolnych i porolnych (Czuba, Siuta 1976, Lityński, Jurkowska 1982, Nawozy... 1971, Nowosielski 1974, Uggla 1976, Fotyma i in. 1987, Tuszyński 1990, Walendzik, Szołtyk 1996) oraz leśnych (Baule, Fricker 1971, Uggla, Uggla 1978, Zöttl i in. 1989, Walendzik, Szołtyk 1996, Porębska i in. 1998, Thelin i in. 1998, Zwoliński 2001). Do oceny zaopatrzenia gleb w poszczególne makroskładniki wybrano kilka parametrów, a mianowicie koncentrację (mg/kg gleby), zawartość (kg/ha) w całej warstwie (0-30 cm) gleby a w przypadku K i Mg – także % udział

TABELA 4  
Charakterystyka kompleksu sorpcyjnego gleb oraz zawartość przyswajalnych form makroskładników i metali ciężkich

Pow (nr)	Kompleks sorpcyjny		Zawartość form przyswajalnych						WZ*	Klasa zasobności						
	CEC meq/kg	% w CEC	ΣMc		Mg		K				P					
			Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg				Ca	Mg			
			meq/kg	mg/kg	kg/ha	mg/kg	kg/ha	mg/kg	kg/ha	mg/kg	kg/ha					
1	122,4	96,8	1,8	1,2	0,07	0,08	2375	9109	27	105	56	216	67	257	2,8	3
2	61,1	94,8	2,8	2,1	0,16	0,10	1170	4814	21	86	51	211	86	354	2,8	3
3	42,5	78,4	9,1	3,7	3,60	1,53	668	2374	48	171	63	225	12	43	2,4	2
4	93,5	79,0	16,7	0,9	1,04	0,94	1486	4954	186	622	33	110	7	23	2,2	2
5	129,4	84,5	13,3	1,6	0,56	0,72	2248	10367	210	966	80	369	48	221	3,8	4
6	83,6	90,3	7,8	0,6	0,48	0,40	1691	5669	93	312	23	76	34	114	2,7	3
7	80,3	76,9	21,3	1,1	0,54	0,43	1248	7283	201	1172	36	206	6	35	2,4	2
8	127,0	85,9	11,3	1,4	1,36	1,73	2186	8549	175	684	65	253	25	98	3,1	3
9	54,9	80,4	14,4	1,7	1,02	0,56	882	3723	97	409	36	152	42	177	3,0	3
10	23,3	22,9	1,9	0,8	15,02	3,50	125	588	6	28	7	35	12	56	1,2	1
11	90,4	29,7	3,7	0,9	3,06	2,77	624	1092	43	75	39	68	19	33	2,0	2
12	45,1	81,9	7,2	3,6	1,09	0,49	739	3380	39	179	66	300	55	252	3,2	3
13	178,2	25,1	10,4	0,4	29,62	52,79	1504	2473	172	283	28	46	14	23	2,3	2
14	30,8	78,5	10,0	1,6	1,95	0,60	479	1925	38	151	20	82	38	153	2,7	3
15	128,5	85,0	12,5	1,0	0,36	0,46	2187	7896	195	703	52	187	12	43	2,7	3
16	59,1	62,4	9,4	1,6	7,83	4,63	749	2500	64	212	36	121	6	20	2,2	2
17	39,5	59,0	23,6	2,1	3,61	2,13	477	1748	66	240	35	129	2	7	2,2	2
18	56,3	90,9	6,8	2,0	0,25	0,14	1026	4478	47	205	44	191	53	231	3,0	3
19	158,6	91,1	8,1	0,4	0,20	0,31	2895	9102	158	496	28	89	7	22	2,3	2

\* WZ – wskaźnik zasobności

TABELA 5  
Wskaźniki jakości gleb (warstwa 0-30 cm)

Parametry określające zasobność	Zakres wartości parametrów			
	wartość graniczna	niska zasobność	średnia zasobność	duża zasobność
CEC (meq/kg)	50	>50-75	>75-100	>100
% Mg w CEC	1	>1,0-1,5	>1,5-3,0	>3,0
% K w CEC	1	>1,0-1,5	>1,5-2,0	>2,0
Mg wymienny (mg/kg gleby)	15	>15-30	>30-60	>60
Mg wymienny (kg/ha)	60	>60-120	>120-240	>240
K wymienny (mg/kg gleby)	40	>40-60	>60-80	>80
K wymienny (kg/ha)	160	>160-250	>250-320	>320
P przyswajalny (mg/kg gleby)	15	>15-25	>25-35	>35
P przyswajalny (kg/ha)	60	>60-100	>100-140	>140
Współczynnik $W_p$	1	2	3	4

  

Wartości krytyczne metali ciężkich	
Formy ogólne ( $\Sigma Mc_{og}$ ) (mg/kg gleby)	>1000
Formy wymienne ( $\Sigma Mc_{wym.}$ ) (meq/kg gleby)	>2
% $\Sigma Mc$ w CEC	>3

$\Sigma Mc$  – (Zn, Pb, Cu, Cd)

w CEC. Pozwala to na bardziej precyzyjne określenie zasobności gleb, ponieważ relacje pomiędzy wartościami wymienionych parametrów nie są stałe, co wynika ze zróżnicowania gleb pod względem wielkości kompleksu sorpcyjnego oraz gęstości objętościowej. Na przykład, optymalna koncentracja składnika niekoniecznie oznacza wystarczający jego zapas, odpowiadający zapotrzebowaniu roślin (np. w glebach o małej gęstości objętościowej). Przyjęto, że graniczne wartości udziału magnezu i potasu w pojemności wymiennej (% Mg i K w CEC), gwarantujące stabilność gleb i odporność na stresy środowiskowe, wynoszą 1% (Meiwes i in. 1986), natomiast wartość graniczna pojemności wymiennej (CEC) w omawianej warstwie gleby, przy której możliwe jest zmagazynowanie puli makroskładników w ilościach niezbędnych dla zakładanych upraw leśnych, wynosi 50 meq/kg gleby. Należy dodać, że w poziomach mineralnych gleb leśnych wartość CEC jest często mniejsza, lecz rekompensowane to jest obecnością poziomu organicznego, posiadającego dużą pojemność wymienną i odpowiedni zapas składników pokarmowych. Wyznaczonym zakresom wartości poszczególnych parametrów, przedstawionym w 4 stopniowej skali, przyporządkowano współczynniki ( $W_p$ ) kształtujące się od 1 – gdy wynoszą poniżej wartości granicznych, do 4 – dla gleb bardzo zasobnych. Zakładając, że zasobność



gleby determinują wszystkie parametry, przyjęto, że odzwierciedla ją średnia arytmetyczna wartości ich współczynników ( $\overline{x W_p}$ ), którą określono jako wskaźnik zasobności (WZ). Na podstawie wartości WZ podzielono gleby na klasy zasobności:

- klasa 1 – WZ = 1,0-1,5 – gleby skrajnie ubogie, niedostatecznie zaopatrzone w składniki pokarmowe,
- klasa 2 – WZ = >1,5-2,5 – gleby ubogie,
- klasa 3 – WZ = >2,5-3,5 – gleby średnio zasobne,
- klasa 4 – WZ = >3,5-4,0 – gleby zasobne.

Wyniki przedstawione w tabeli 4 wskazują, że analizowane nieużytki charakteryzują się na ogół dużym wysyceniem kompleksu sorpcyjnego wapniem, przekraczającym często 90% oraz słabym zaopatrzeniem w potas i fosfor. Na podstawie obliczonych wartości WZ, 8 z nich należałoby zaliczyć do gleb ubogich, jedną do skrajnie ubogich, 9 do średnio zasobnych i jedną do zasobnych.

Istotnym czynnikiem wpływającym na warunki glebowe są zanieczyszczenia przemysłowe prowadzące m.in. do niekorzystnych zmian właściwości chemicznych, których kierunek i rozmiar zależy od składu jakościowo-ilościowego deponowanych związków chemicznych. Do głównych przyczyn wymienionych zmian na badanych terenach zaliczyć należy zakwaszenie gleb, nadmierną akumulację wapnia oraz skażenie metalami ciężkimi – często procesy te występować mogą łącznie.

Do zakwaszenia gleb dochodzi na obszarach znajdujących się w zasięgu oddziaływania emisji gazowych ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), gdzie jednocześnie depozycja zanieczyszczeń pyłowych zawierających związki alkaliczne jest niewielka, tj. niewystarczająca do zneutralizowania napływających kwaśnych opadów. Konsekwencją zakwaszenia gleb jest, poza niskim pH, niedobór niektórych makroskładników, spowodowany wymywaniem ich w głąb profilu glebowego. Sytuacja taka ma miejsce na powierzchniach nr 10 i 11 (tab. 4).

Duża depozycja zanieczyszczeń pyłowych o znaczącej zawartości wapnia, co jest zjawiskiem częstym w rejonach przemysłowych, prowadzi może do nadmiernego wysycenia kompleksu sorpcyjnego gleb tym pierwiastkiem, wyparcia pozostałych metali z kompleksu sorpcyjnego oraz wzrostu pH gleb. Bardzo wysoką zawartość wapnia, zarówno form ogólnych jak i wymiennych, notowano w większości badanych gleb, a zwłaszcza na powierzchniach nr 1, 5, 7, 8, 15 i 19 (tab. 2-4). Niewykluczone, że wpływ na to mogło mieć także wcześniejsze użytkowanie gleb (zwłaszcza gleb porolnych) oraz ich pochodzenie geologiczne (rodzaj skały macierzystej, np. wapiennej).

Nadmierną akumulację metali ciężkich w glebach notuje się głównie na terenach znajdujących się w bliskim sąsiedztwie zakładów metalurgicznych. Ich toksyczność dla wszystkich organizmów żywych jest szeroko udokumentowana. Metale ciężkie zakłócają m.in. przebieg mikrobiologicznych procesów rozkładu i mineralizacji substancji organicznej (Berg i in. 1991, Zwoliński 1995), ograniczając w konsekwencji uwalnianie przyswajalnych dla roślin składników pokarmowych. Publikowane dane dotyczące minimalnych dawek toksycznych poszczególnych metali ciężkich dla drobnoustrojów glebowych (Baath 1989) i roślin (Balsberg-Pahlsson 1989) są rozbieżne. Przedstawione wartości krytyczne metali ciężkich (tab. 5), których przekroczenie może prowadzić do istotnego zakłócenia

TABELA 6  
Aktywność mikrobiologiczna gleb

Pow. (nr)	Mineralizacja węgla ( $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g C}_{\text{org}} \cdot \text{h}$ )		Biomasa drobnoustrojów ( $\text{mg C}_{\text{biom.}}/\text{g C}_{\text{org.}}$ )	
	współczynniki korelacji	$r_{yx}(p)$	współczynniki korelacji	$r_{yx}(p)$
1	33,89	relacja do C/N	10,57	relacja do C/N
2	104,34	(0,032)	19,01	-0,548 (0,015)
3	20,51	relacja do WZ	7,65	relacja do WZ
4	19,88	(0,027)	7,44	0,570 (0,011)
5	49,24	relacja do % $\Sigma\text{Mc}$	9,98	relacja do %Mc
6	30,49	-0,398	7,24	w CEC
7	26,24	(0,091)	9,27	(0,031)
8	38,23		6,60	
9	49,62		9,25	
10	14,17		2,73	
11	5,09		1,18	
12	23,88		10,19	
13	11,51		3,16	
14	42,86		9,16	
15	47,20		5,62	
16	38,93		6,57	
17	31,58		5,39	
18	72,19		15,07	
19	26,62		7,99	

rozwoju drobnoustrojów glebowych, ustalono na podstawie wyników wcześniejszych badań, na powierzchniach leśnych zagrożonych oddziaływaniem emitorów metali ciężkich (Zwoliński 1995, Zwoliński, Orzeł 2000, Zwoliński 2002). Dotyczą one ogólnej koncentracji metali ciężkich ( $\Sigma Mc_{og}$ ) w warstwie 0-30 cm gleb, zawartości form wymiennych ( $\Sigma Mc_{wym}$ ) oraz stopnia wysycenia kompleksu sorpcyjnego metalami ciężkimi ( $\% \Sigma Mc$  w CEC). Silne zanieczyszczenie metalami ciężkimi, przy koncentracji, zwłaszcza ich form wymiennych, przekraczającej wartość krytyczną, notowano na kilku powierzchniach, tj. na pow. nr 3, 10, 13 i 16 (tab. 2 i 4).

### **Aktywność mikrobiologiczna gleb**

Rozwój drobnoustrojów jest ściśle związany z właściwościami chemicznymi gleb – determinującymi przebieg procesów mikrobiologicznych, gwarantujących dostarczenie niezbędnych dla roślin składników pokarmowych. Aktywność mikrobiologiczna uważana więc jest za miarodajny wskaźnik żyzności gleb. Ocenę aktywności mikrobiologicznej gleb badanych gruntów przeprowadzono na podstawie pomiarów intensywności mineralizacji węgla oraz wielkości biomasy drobnoustrojów ( $C_{biom.}$ ). Uzyskane wyniki (tab. 6) wskazują, że rozwój drobnoustrojów glebowych związany jest z jakością gleb badanych gruntów. Gleby mało zasobne w składniki pokarmowe (niska wartość WZ) oraz silnie zanieczyszczone metalami ciężkimi charakteryzowały się na ogół słabym tempem mineralizacji  $C_{org.}$  i małą biomasą drobnoustrojów glebowych (pow. nr 10, 11, 13). Wysoką aktywność mikrobiologiczną notowano natomiast w glebach wyróżniających się dużym zapasem makroskładników (pow. nr 1, 2, 18). Analiza korelacyjna wykazała istotną statystycznie zależność procesu mineralizacji C i wielkości biomasy drobnoustrojów od zasobności gleb, wyrażonej wartością WZ oraz istotny ich związek z wartością stosunku węgla i azotu (C/N) – odzwierciedlającego intensywność procesów mikrobiologicznych związanych z mineralizacją substancji organicznej. Stwierdzono także negatywny wpływ metali ciężkich na drobnoustroje glebowe, o czym świadczy istotna ujemna korelacja pomiędzy  $C_{biom.}$  a procentowym udziałem metali ciężkich w CEC (tab. 6).

### **Podsumowanie**

Wyniki badań przeprowadzonych na nieużytkach przemysłowych oraz na gruntach porolnych skażonych przez przemysł przedstawiają obraz najczęściej zachodzących zmian właściwości chemicznych gleb, spowodowanych przez emisje przemysłowe. Ich kierunek i rozmiar zależny jest od typu oddziałujących zanieczyszczeń, z których najbardziej uciążliwe są metale ciężkie oraz kwaśne i alkaliczne (głównie związków wapnia) opady. Niezależnie jednak od typu emisji, skutkiem ich wieloletnich oddziaływań jest zakłócenie proporcji między poszczególnymi składnikami odżywczymi, przejawiające się zwykle nadmiernym wysyceniem gleb wapniem oraz niedoborem pozostałych makroskładników. Zalesianie gruntów marginalnych powinno być zatem poprzedzone dokładną analizą chemiczną, pozwalającą na ocenę ich jakości, tj. zaopatrzenia w podstawowe składniki pokarmowe i stopnia skażenia metalami ciężkimi. Wyniki tych analiz stanowić powinny także podstawę do zakwalifikowania nieużytków do odpowiedniej klasy zasobności – determinującej potencjalny typ siedliskowy lasu oraz dobór gatunków drzew i krzewów do zalesień. Pomocne w tym celu może być zaproponowane oznaczenie wskaźnika zasobności

gleb (WZ), o miarodajności którego świadczy np. istotna korelacja jego wartości z aktywnością mikrobiologiczną gleb. Trzeba jednak zaznaczyć, że przyjęte do wyznaczenia WZ wartości graniczne parametrów oraz zakresy ich wartości dla poszczególnych klas zasobności gleb należy traktować jako orientacyjne. Są one bowiem rezultatem subiektywnego wyboru, spośród charakteryzujących się dużą rozbieżnością publikowanych danych, uniemożliwiająca jednoznaczne określenie relacji między zawartością poszczególnych makroskładników a stopniem zasobności gleb. Niezbędne są zatem dalsze badania prowadzące do weryfikacji proponowanego wskaźnika.

*Pani mgr inż. Irenie Matuszczyk i pani dr Grażynie Olszowskiej  
dziękuję za udział w analizach chemicznych gleb.*

*Instytut Badawczy Leśnictwa  
Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych  
ul. Św. Huberta 35, 40-952 Katowice  
e-mail: zwolinsj@ibles.waw.pl*

## Literatura

- Anderson J.P.E., Domsch K.H.** (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.
- Baath E.** 1989. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (A review). *Water, Air, Soil Pollut.* 47: 335-379.
- Balsberg-Pahlsson A.M.** 1989. Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plant. A literature review. *Water, Air, Soil Pollut.* 47: 287-319.
- Baule H., Fricker C.** 1971. Nawożenie drzew leśnych. PWRiL, Warszawa.
- Beare M.H., Neely C.L., Coleman D.C., Hargrove W.L.** 1990. A substrate-induced respiration (SIR) method for measurement of fungal and bacterial biomass on plant residues. *Soil. Biol. Biochem.* 22: 585-594.
- Berg B., Ekborn G., Söderström B.S.** 1991. Reduction of decomposition rates of Scots pine needle litter due to heavy metal pollution. *Water, Air, Soil Pollut.* 59: 165-177.
- Czuba R., Siuta J.** 1976. Agro-ekologiczne podstawy nawożeniowe. PWRiL, Warszawa 1976.
- Esher R.J., Marx D.H., Ursic D.J., Baker R.L., Brown L.R., Coleman D.C.** 1992. Simulated acid rain effects on fine roots, ectomycorrhizae, microorganisms, and invertebrates in pine forest of the southern United States. *Water, Air, Soil Pollut.* 61: 269-278.
- Fotyma M., Mercik S., Faber A.** 1987. Chemiczne podstawy żyzności gleb i nawożenia. PWRiL, Warszawa.
- Godbold D.L.** 1984. The uptake and toxicity of heavy metals in *Picea abies* (Karst.) seedlings. *Ber. Forschung. Waldökosyst.* 4: 197-213.
- Godbold D.L., Kettner C.** 1991. Lead influences root growth and mineral nutrition of *Picea abies* seedlings. *J. Plant Physiol.* 139: 95-99.
- Mc Grath S.P.** 1986. Long-term studies of metal transfers following application of sewage sludge. W: *Pollutant transport and fate in ecosystems.* P.J.Coughtrey, Mh.Martin, M.H.Unsworth, eds., British Ecological Society Special Publication No.6: 301-317.
- Kowalkowski A., Król H., Ostrowska A., Sytek J., Szczubiałka Z.** 1973. Instrukcja laboratoryjna dla pracowni gleboznawczo-nawożeniowych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Warszawa.
- Lityński T., Jurkowska H.** 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN, Warszawa.

- Meiwes K.J., Khanna P.K., Ulrich B.** 1986. Parameters for describing soil acidification and their relevance to the stability of forest ecosystems. *For. Ecol. Manag.* 15: 161-179.
- Nawozy mineralne** 1971. Praca zbiorowa, red. J. Goralski, PWRiL, Warszawa.
- Nowosielski O.** 1974. Metody oznaczania potrzeb nawożenia. PWRiL, Warszawa 1974.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.** 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Persson T., Majdi H.** 1995. Effect of acid deposition on tree roots in Swedish forest stands. *Water, Air, Soil Pollut.* 85: 1287-1292.
- Porębska G., Ostrowska A., Brogowski Z.** 1998. Ion mobility and changes in CEC during acidification of forest soils in Poland. *Polish J. Soil Sci.* 31: 33-41.
- Schlegel H., Godbold D.L., Hüttermann A.** 1987. Whole plant aspects of heavy metal induced changes in CO<sub>2</sub> uptake and water relations of spruce (*Picea abies*) seedlings. *Physiol. Plant.* 69: 265-270.
- Thelin G., Rosengren-Brinck U., Nihlgård B., Barkman A.** 1998. Trends in needle and soil chemistry of Norway spruce and Scots pine stands in South Sweden, 1985-1994. *Environ. Pollut.* 99: 149-158.
- Tuszyński M.** 1990. Właściwości gleb porolnych a gospodarka leśna. *Sylvan* 84 (3-12): 41-50.
- Ugla H.** 1976. Gleboznawstwo rolnicze. PWN, Warszawa.
- Ugla H., Ugla Z.** 1978. Gleboznawstwo leśne. PWRiL, Warszawa.
- Walenzik R., Szoltyk G.** 1996. Zasady kwalifikacji gruntów porolnych w aspekcie ich leśnego zagospodarowania. Dok. nauk. IBL (maszynopis).
- Zöttl H.W., Hüttl R.F., Fink S., Tomlinson G.H., Wisniewski J.** 1989. Nutritional disturbances and histological changes in declining forests. *Water, Air, Soil Pollut.* 48: 87-109.
- Zwoliński J.** 1995. Wpływ emisji przemysłu metali nieżelaznych na środowisko leśne – rola metali ciężkich w degradacji lasów. *Prace Inst. Bad. Leś., seria A*, 809: 1-86.
- Zwoliński J., Orzeł S.** 2000. Produkcyjność drzewostanów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w gradiencie skażeń przemysłowych. *Prace Inst. Bad. Leś., 1(892)*: 75-98.
- Zwoliński J.** 2001. Reakcja borów sosnowych na kwaśne opady. I. Gleba i aparat asymilacyjny drzew. *Prace Inst. Bad. Leś., seria A*, 1(912): 113-137.
- Zwoliński J.** 2002. Wskaźniki degradacji lasu spowodowanej depozycją zanieczyszczeń przemysłowych. *Mat. IV Krajowego Symp. Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe, Kórnik 2001* (w druku).

## Summary

### Afforestation of lands contaminated by industrial pollution Evaluation of soil quality

Chemical analyses and measurements of soil microbiological activity were carried out on 19 study plots representing industrial wastelands and post agricultural lands being under the impact of industrial pollution. The obtained results indicate that the qualitative and quantitative composition of deposited pollutants in the soil determines the character of unfavourable changes in soil conditions. The major causes of these changes are soil acidification, excessive content of calcium and contamination by heavy metals; these processes can occur jointly. The long-term effect of pollution irrespective of the type of pollutant disturbances in the proportion between individual nutrients often manifested as an excessive content of calcium in the soil and causes deficiency of other macro-elements. The parameters describing chemical properties of soils used for the calculation of the

nutrient content indicator (WZ) were selected on the basis of the published data. The indicator was used for soil classification into nutrient content categories. Critical values for heavy metals were also determined, and the exceeding of these values can inhibit soil biological processes. It seems that the significant correlation found between soil microbiological activity, (carbon mineralisation rate, microbial biomass) and WZ value proves the reliability of the proposed indicator in assessing nutrient content in wastelands foreseen for afforestation.