

**HENRYK GREINERT, ANDRZEJ GREINERT, MICHAŁ DRAB \***

## **MIKROELEMENTY W POKOPALNIANYCH GRUNTACH W REJONIE ŁĘKNICY**

**Słowa kluczowe:** rekultywacja leśna, zwałowiska pokopalniane, mikroelementy

### *Streszczenie*

*W pracy przedstawiono zmiany zawartości mikroelementów w pokopalnianych gruntach w rejonie Łęknicy. Zawartość mikroelementów w opisywanych gruntach była bardzo niska ( $Mn < 10,2$ ,  $Cu < 1,8$ ,  $Zn < 6,4$ ,  $Ni < 3,2$ ,  $Co < 2,3$ ,  $Pb < 8,2$   $mg \cdot kg^{-1}$ ). Po zastosowaniu wapna tlenkowo-magnezowego, pochodzącego z huty cynku zaobserwowano zmianę zawartości manganu, cynku, miedzi i ołowiu w gruntach ( $Mn$  do 46,5,  $Cu$  do 11,4,  $Zn$  do 19,7 i  $Ni$  do 15,9  $mg \cdot kg^{-1}$ ). W próbkach gruntu pobranych po dwudziestu latach rekultywacji leśnej, największą zawartość mikroelementów odnotowano w ściółce leśnej ( $Mn$  31,9-57,4,  $Cu$  6,3-20,4,  $Zn$  100,9-105,5,  $Ni$  6,3-8,9,  $Co$  1,7-2,8,  $Pb$  12,8-31,0  $mg \cdot kg^{-1}$ ). Zaobserwowano wyraźne zmniejszenie zawartości tych pierwiastków wraz z głębokością.*

### **Wprowadzenie**

Grunty zwałowisk pokopalnianych powstałych w wyniku działalności Kopalni Węgla Brunatnego „Przyjaźń Narodów” w rejonie Łęknicy, charakteryzowały się niekorzystnymi dla roślin właściwościami [Greinert 1988].

Skład granulometryczny pozwalał zaliczyć opisywane grunty do grupy i podgrupy piasku gliniastego lekkiego. Wśród oznaczonych frakcji glebowych stwierdzono największą zawartość piasku drobnego i pyłu grubego.

Charakteryzowane grunty odznaczały się niską pojemnością wodną (ok. 30%<sub>wag.</sub>), zawartością materii organicznej od 1,2 do 6,3%, szerokim stosunkiem C:N, często przekraczającym 100:1 i niewielkimi właściwościami sorpcyjnymi ( $T = 5,4-8,0$   $cmol \cdot kg^{-1}$ ). Zawartość ogólnych form makroskładników, za wyjątkiem potasu była niska. Niska była też zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu. Odczyn utworów był bardzo kwaśny ( $pH-H_2O$  poniżej 3,6).

---

\* Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Inżynierii Środowiska; Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów

Prezentowana praca skupia się na zawartości mikroskładników w gruntach pokopalnianych oraz zmianach w tej zawartości na skutek prowadzonych prac rekultywacyjnych (po 20 latach prowadzenia rekultywacji leśnej).

### Opis prac prowadzonych na zwałowiskach i metodyka badań

Kopalnia Węgla Brunatnego „Przyjaźń Narodów” zakończyła wydobywanie węgla w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. W wyniku jej działalności powstały zwałowiska gruntu mineralnego, które zdecydowano obsadzić roślinnością drzewiastą.

Po wyrównaniu terenu, przed posadzeniem drzew, zastosowano wapno tlenkowo-magnezowe z Huty Cynku „Miasteczko Śląskie”, w dawce  $50 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  oraz 30-procentową mączkę fosforytową w dawce  $5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Wykonano te zabiegi celem neutralizacji gruntów oraz podniesienia ich zasobności. Wapno zawierało w swoim składzie średnio 0,4% cynku, 0,6% manganu i 0,1% ołowiu ogółem. Po wymieszaniu wapna i mączki fosforytowej z gruntem posadzono drzewka sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.).

W roku 1986 na obsadzonych powierzchniach założono doświadczenia polowe, w których zastosowano różne warianty nawożenia mineralnego. Uśrednione próbki gruntu mineralnego pobierano do badań z różnych głębokości, trzykrotnie:

1. po wykonaniu wstępnych prac rekultywacyjnych (wyrównaniu powierzchni); z głębokości: 0-25, 25-50, 50-75 i 75-100 cm (wyniki analiz zestawiono w tabeli 1);
2. przed wysiewem nawozów na poletkach doświadczalnych, z głębokości: 0-20 cm (wyniki analiz zestawiono w tabeli 2);
3. po 20 latach trwania doświadczeń, z różnych poziomów glebowych, kształtujących się profili (wyniki analiz zestawiono w tabeli 3).

Próbki gruntu wysuszono, przesiano przez sito o średnicy oczek 1,02 mm i ekstrahowano wodą królewską. W sporządzonych wyciągach oznaczono zawartość: Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co i Pb, wykorzystując metodę spektrofotometrii absorpcyjnej (AAS FL).

### Omówienie wyników

Dane zawarte w tabeli 1 wskazują, że pod względem zawartości mikroelementów grunt zwałowiskowy nie był zbyt silnie zróżnicowany. Analizowany grunt zawierał dużo żelaza ( $3750\text{-}4370 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), co może mieć związek z obecnością w badanym materiale pirytu (siarczek żelaza). Zawartość pozostałych

mikroelementów była niska i porównywalna do zawartości tych składników w glebach piaszczystych naturalnej genezy.

*Tab. 1. Zawartość mikroelementów w utworach pokopalnianych; próbki pobrano po wyrównaniu powierzchni ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )*

*Table 1. Microelements content in post-mining grounds; samples taken after the terrain leveling ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )*

Głębokość (Deep) cm	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb
0-25	3750	9,4	1,5	5,2	3,1	1,6	8,2
25-50	3770	9,6	1,7	5,5	2,6	1,7	7,4
50-75	4378	10,2	1,8	6,4	3,2	2,3	7,6
75-100	3896	9,8	1,6	5,3	3,0	2,0	6,7

Dane zawarte w tabeli 2 wskazują jednoznacznie na duży wpływ wapnowania na wzrost zawartości mikroelementów w badanych utworach. Zawartość oznaczonych składników (poza żelazem) w próbkach pobranych po tym zabiegu była wyraźnie wyższa niż przed nim. Najwyraźniej zwiększyła się zawartość miedzi (około 8-krotnie) bez względu na miejsce pobrania próbek. W przypadku pozostałych składników wystąpiły różnice między powierzchniami odmiennie zagospodarowanymi – z nasadzeniem 6-letnim i 1-rocznym. Może być to efektem niedokładności wymieszania wapna z materiałem gruntowym podczas przeprowadzania nawożenia.

Zawartość niklu była wyższa w próbkach z nasadzeń 1-rocznych, a manganu i cynku – z nasadzeń 6-letnich.

*Tab. 2. Średnia zawartość mikroelementów w warstwie 0-20 cm utworów pokopalnianych; próbki pobrano po wapnowaniu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Greinert 1988]*

*Table 2. Average microelements content in the layer 0-20 cm of post-mining grounds; samples taken after the liming process ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Greinert 1988]*

	Zawartość mikroelementów (Microelements content)				
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
Nasadzenia 6-letnie	3798	46,5	11,4	19,7	8,4
Nasadzenia 1-roczne	3140	25,2	10,9	16,1	15,9

W analizach przeprowadzonych po 20 latach trwania rekultywacyjnych doświadczeń nawożeniowych zauważono silne zróżnicowanie średniej zawartości mikroelementów, w zależności od głębokości pobrania próbek (tab. 3).

Zawartość mikroelementów w poziomie ściółki leśnej była wyraźnie wyższa od zawartości w próbkach pobranych z pozostałych głębokości. Największa różnica w zawartości stwierdzona została w przypadku cynku i manganu.

Tab. 3. Średnia zawartość mikroelementów w glebach pokopalnianych; po 20-letnim okresie trwania doświadczeń rekultywacyjnych ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Table 3. Average microelements content in the post-mining soils; samples taken after 20 years of investigation time ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

Głębokość (Deep) cm	Zawartość mikroelementów (Microelements content)						
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb
Nasadzenia sosny 6-letnie (6-years old seedlings)							
0-2	3116	31,9	20,4	105,5	8,9	1,7	31,0
2-8	1574	10,1	4,9	58,0	8,1	1,4	1,72
8-15	1981	10,1	2,7	10,4	10,7	1,2	1,29
15-25	1984	7,1	2,0	7,1	7,9	1,2	1,50
25-50	1742	4,7	3,1	6,6	8,6	1,3	1,52
50-75	1830	4,0	2,3	6,1	7,8	1,1	1,42
Nasadzenia sosny 1-roczone (1-year old seedlings)							
0-2	3611	57,4	6,3	100,9	6,3	2,8	12,8
2-4	4101	36,5	7,0	85,4	7,5	2,9	12,4
4-8	3420	13,4	3,0	52,0	4,3	3,3	10,6
8-15	3677	8,0	1,4	7,9	4,3	1,5	10,1
15-25	4314	8,2	1,5	7,8	3,8	1,8	8,9
25-50	4131	8,0	1,3	5,8	2,6	1,6	8,7
50-75	3458	6,2	1,1	5,8	3,1	1,6	7,8

Udowodniono statystycznie istnienie współzależności między zawartością większości oznaczanych mikroelementów w gruntach pokopalnianych po 20 latach doświadczeń rekultywacyjnych a zawartością w nich węgla całkowitego. Najwyższą zależność stwierdzono w przypadku manganu, gdzie współczynnik korelacji wyniósł 0,96. Zawartość manganu była determinowana zawartością węgla w gruntach aż w 92%. Wysoce istotną zależność stwierdzono w przypadku cynku, a istotne w przypadku miedzi i ołowiu (tab. 4).

Dane zebrane w przedstawianej tabeli wskazują też na wysokie współzależności pomiędzy zawartością manganu i pozostałych mikroelementów, z wyjątkiem niklu. Najwyższy współczynnik korelacji stwierdzono w przypadku zależności pomiędzy zawartością cynku i manganu ( $r=0,88$ ). Zależności pozostałe – pomiędzy Co, Pb i Cu a Mn były istotne, a wartości współczynników porównywalne.

Wykazano wysoce istotną współzależność pomiędzy zawartością miedzi a zawartością cynku i ołowiu w gruntach oraz istotne zależności pomiędzy zawartością cynku a kobaltu i ołowiu.

Należy podkreślić, że największe współzależności pomiędzy zawartością poszczególnych mikroskładników oraz zawartością mikroskładników i zawartością węgla wystąpiły w przypadku metali, których największe ilości wprowadzono z wapnem tlenkowo-magnezowym (Mn, Zn, Cu i Pb).

Tabela 4. Zależności między zawartością węgla (TOC, w %) a mikroelementami ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) w gruntach pokopalnianych po 20 latach trwania doświadczeń

Table 4. Correlations between TOC (%) and microelements content ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in the post mining soils after 20 years of investigation time

Analizowany związek (analyzed correlation)	Współczynnik korelacji (r) (correlation coefficient - r)	Równanie regresji (regression equation)	Współczynnik determinacji (D, %) (coefficient of determination - D, %)
x – C y – Mn	0,96 <sup>xx</sup>	$y=1,07x+6,82$	92
x – C y – Cu	0,68 <sup>x</sup>	$y=0,24x+2,35$	46
x – C y – Zn	0,86 <sup>xx</sup>	$y=2,35x+15,5$	74
x – C y – Pb	0,65 <sup>x</sup>	$y=0,36x+5,36$	42
x – C y – Co	0,49	$y=0,02x+1,59$	24
x – Mn y – Cu	0,56 <sup>x</sup>	$y=0,18x+1,51$	31
x – Mn y – Zn	0,88 <sup>xx</sup>	$y=2,17x+1,02$	77
x – Mn y – Co	0,64 <sup>x</sup>	$y=0,029x+1,34$	41
x – Mn y – Pb	0,60 <sup>x</sup>	$y=0,29x+3,80$	36
x – Cu y – Zn	0,78 <sup>xx</sup>	$y=5,99x+9,0$	61
x – Cu y – Pb	0,83 <sup>xx</sup>	$y=1,31x+2,70$	69
x – Zn y – Co	0,63 <sup>x</sup>	$y=0,01x+1,39$	40
x – Zn y – Pb	0,69 <sup>xx</sup>	$y=0,14x+3,43$	48

x, xx – istotność odpowiednio na poziomie istotności 95% i 99%

x, xx – significance correspondingly on the 95% and 99% level

## Dyskusja

Zawartość mikroelementów w gruntach pokopalnianych w rejonie Łęknicy uległa wyraźnym zmianom. Zawartość wyjściowa omówionych składników była niska i zbliżona do siebie, z wyjątkiem żelaza. Wprowadzenie do gruntów pokopalnianych wapna tlenkowo-magnezowego w ilości  $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  celem neutralizacji silnie kwaśnego odczynu spowodowało wyraźny wzrost koncentracji mikroskładników. Dotyczyło to zawartości manganu, cynku, ołowiu i miedzi – składników, których w zastosowanym wapnie odpadowym z Huty Cynku „Miasteczko Śląskie” było dużo. W tym miejscu należy wspomnieć, że rekultywacyjne wykorzystanie materiałów odpadowych, w tym wapna różnego pochodzenia, było w przeszłości i jest także obecnie często spotykaną praktyką.

W miarę upływu lat zawartość składników ulegała zmianom. Analiza wykonana po 20 latach trwania rekultywacyjnych doświadczeń nawożeniowych wykazała akumulację mikroskładników w kształtującym się poziomie ściółki leśnej i bezpośrednio pod nim (2-8 i 8-15 cm p.p.t.). W poziomach głębiej zalegających zawartość oznaczanych składników była porównywalna do średnich stwierdzanych w gruntach po zastosowaniu nawozu wapniowego.

Należy podkreślić małą mobilność metali ciężkich w badanych gruntach pomimo tego, że grunty te są silnie kwaśne. Chociaż pH w gruntach w pierwszych latach po zastosowaniu wapna osiągnęło wartość niekiedy dochodzącą do 7,0, odczyn taki długo się nie utrzymywał – w miarę upływu czasu wracał do stanu wyjściowego [Drab i in. 2005].

## Wnioski

- 1) Nowo powstałe grunty pokopalniane w rejonie Łęknicy wykazały w swoim składzie niską zawartość Co, Cu, Mn, Ni, Pb i Zn.
- 2) Wapno tlenkowo-magnezowe zastosowane do neutralizacji kwaśnego odczynu gruntów zwałowiskowych zwiększyło zawartość większości oznaczanych mikroskładników.
- 3) Próbkę gruntu pobrane po 20 latach trwania rekultywacyjnych doświadczeń połowych wykazały podwyższoną zawartość Mn, Zn, Pb i Cu.
- 4) Odnotowano znaczącą akumulację mikroskładników w kształtującym się poziomie ściółki leśnej i gruncie zalegającym bezpośrednio pod nim. Wraz z głębokością p.p.t. zawartość mikroskładników znacząco obniżała się.
- 5) Z uwagi na zaobserwowane zależności, należy poważnie rozważyć sens rekultywacyjnego użycia wapna odpadowego z przemysłu metalurgicznego, zwłaszcza w wysokich dawkach.

### Literatura

1. DRAB M., GREINERT A., GREINERT H.: *Rekultywacja leśna zwałowisk piasków mioceńskich – Cz. II. Zmiany właściwości materiału glebowego*. PAN. Komitet Inżynierii Środowiska; Monografie, 33, 211-218. Lublin 2005
2. GREINERT H.: *Charakterystyka właściwości gleb powstałych w wyniku rekultywacji terenów po eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Łęknicy*. Zeszyty Naukowe WSInż. w Zielonej Górze; Nr 84, Inżynieria Środowiska 4; 93-104. Zielona Góra 1988

### MICROELEMENTS IN THE POST-MINING GROUNDS IN ŁĘKNICA REGION

**Key words:** forest reclamation, post-mining dumps, microelements

#### *S u m m a r y*

*In the paper were introduced changes of microelements content in the post-mining grounds in Łęknica region. The content of microelements in described ground material was very low ( $Mn < 10,2$ ,  $Cu < 1,8$ ,  $Zn < 6,4$ ,  $Ni < 3,2$ ,  $Co < 2,3$ ,  $Pb < 8,2$   $mg \cdot kg^{-1}$ ). After use of magnesium lime from zinc mill the change of content of Mn, Zn, Cu and Pb in grounds was noticed (Mn to 46,5, Cu to 11,4, Zn to 19,7 and Ni to 15,9  $mg \cdot kg^{-1}$ ). In the samples, taken after 20 years of forest reclamation, the largest content of microelements in duff has been noted (Mn 31,9-57,4, Cu 6,3-20,4, Zn 100,9-105,5, Ni 6,3-8,9, Co 1,7-2,8, Pb 12,8-31,0  $mg \cdot kg^{-1}$ ). Decrease of content with ground depth was clearly observed.*