

STANISŁAW BARAN*, ANNA WÓJCIKOWSKA-KAPUSTA**, GRAŻYNA ŻUKOWSKA***

Wpływ sposobu rekultywacji utworów bezglebowych na zawartość miedzi i cynku w gruncie i mieszance traw

Wprowadzenie

Oddziaływanie różnych presji antropogenicznych powoduje powstawanie gleb zdegradowanych/zdewastowanych, które w świetle przepisów prawa, winny być poddane rekultywacji i zagospodarowaniu. Trudności w prawidłowej realizacji tych procesów wynikają z mnogości i różnej intensywności zachodzących zmian w środowisku glebowym (Baran i in. 2006b; Dulewski, Wtorek 2000).

Szczególnym przykładem jest górnictwo odkrywkowe i otworowe siarki, gdzie wieloczynnikowa presja spowodowała intensywne procesy degradacji i dewastacji gleb (Baran i in. 2006b; Gołda 2000; Jońca 2002; Żukowska i in. 2003). W świetle różnych przekształceń środowiska glebowego, rekultywacja zniszczonych terenów stanowi ogromne wyzwanie, tak w zakresie oceny stanu środowiska i dostosowywania do niego sposobów rekultywacji, a także oceny zachodzących zmian w nowo ukształtowanym środowisku. Intensywność procesów degradacji gleb, a także efekty rekultywacji oceniane są/mogą być na podstawie analizy zmian różnych właściwości chemicznych, fizykochemicznych, fizycznych i biologicznych. Dotychczasowe badania wskazują, że czułymi wskaźnikami zmian są mikroelementy, a szczególnie miedź i cynk (Czekała, Jakubus 2000).

Celem niniejszych badań jest analiza wpływu różnych sposobów rekultywacji zdewastowanego gruntu, wskutek otworowej eksploatacji siarki, na zmiany zawartości miedzi i cynku i przemieszczanie się ich do roślin.

* Prof. dr hab., ** Dr hab., prof. UP, *** Dr, Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy, Lublin; e-mail: anna.kapusta@up.lublin.pl

1. Metodyka badań

Doświadczenie poletkowe (poletka o powierzchni 5 arów, każde) realizowano w obszarze wpływu Kopalni Siarki „Jeziórko”. Do odkwaszenia zdewastowanego gruntu (piasek słabogliniasty) zastosowano wapno poflotacyjne (100 t/ha), a do użyczenia, w różnych dawkach użytkową wełnę mineralną (Grodan), na tle melioracyjnej (100 ton s.m./ha) dawki osadu ściekowego z komunalnej oczyszczalni ścieków ze Stalowej Woli. Integrację zastosowanych substancji oraz nawozów mineralnych z gruntem wykonano przy wykorzystaniu brony talerzowej i glebogryzarki. Obiekt kontrolny stanowił utwór bezglebowy odkwaszony wapnem poflotacyjnym i nawożony corocznie NPK w dawkach (kg/ha): 80, 40, 60 (tab. 1).

Na poletkach wysiano mieszanek rekultywacyjną traw o składzie gatunkowym:

- Kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis*) – 41,2%,
- Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*) – 19,2%,
- Życica trwała (*Lolium perenne*) – 14,7%,
- Życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum*) – 12,4%,
- Kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata*) – 6,5%,
- Koniczyna łąkowa (*Trifolium pratense*) – 6%.

Do badań laboratoryjnych pobierano próbki gruntu z warstwy powierzchniowej (0–20 cm), w pierwszej fazie prowadzenia doświadczenia – po przygotowaniu gruntu pod zasiew mieszanki traw, a przez następne 3 lata, pod koniec wegetacji (X). W każdym roku rejestro-

TABELA 1

Schemat doświadczenia poletkowego

TABLE 1

Schema of experimental field

Warianty rekultywacji
wapno + NPK: 80; 40; 60 (kontrola)
wapno + osad ściekowy (kontrola)
wapno + osad ściekowy + wełna 200 m ³ /ha
wapno + osad ściekowy + wełna 400 m ³ /ha
wapno + osad ściekowy + wełna 800 m ³ /ha
wapno + wełna 200 m ³ /ha
wapno + wełna 400 m ³ /ha
wapno + wełna 800 m ³ /ha
wapno + wełna 200 m ³ /ha + NPK (80; 40; 60)
wapno + wełna 400 m ³ /ha + NPK (80; 40; 60)
wapno + wełna 800 m ³ /ha + NPK (80; 40; 60)

wano plonowanie trawy oraz pobierano próbki z każdego pokosu. Trawę po wysuszeniu mineralizowano w mieszaninie stężonych kwasów HNO_3 i HClO_4 , a w ekstrakcie oznaczono Cu i Zn (Ostrowska i in. 1991). W pobranych próbkach gruntu, po ich mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów HNO_3 i HClO_4 oznaczono formy ogólne Cu i Zn. Przeprowadzono również analizę sekwencyjną tych pierwiastków metodą Mac Larena, Crowforda w modyfikacji Bogacza (1996). Oznaczono następujące frakcje pierwiastków:

- I – wodnorozpuszczalna w H_2O redestylowanej,
- II – rozpuszczalna w $0,05 \text{ mol CaCl}_2 \text{ dm}^{-3}$,
- III – rozpuszczalna w $2,5\% \text{ CH}_3\text{COOH}$,
- IV – rozpuszczalna w $0,1 \text{ mol K}_2\text{P}_4\text{O}_7 \text{ dm}^{-3}$.

Różnicę pomiędzy całkowitą zawartością analizowanych pierwiastków a sumą oznaczonych 4 frakcji stanowi frakcja rezydualna (pozostałość).

Miedź i cynk, tak w roślinach jak i w gruncie, oznaczono metodą ICP na spektrometrze ICP-AES firmy Leeman Labs, model PS 950.

Dla analizowanych pierwiastków policzono współczynniki wykorzystania, przyjmując całkowitą zawartość w gruncie jako 100%, a w roślinie jako x .

2. Wyniki badań

2.1. Właściwości materiałów zastosowanych w doświadczeniu

Doświadczenie poletkowe założono na gruncie bezglebowym o składzie granulometrycznym piasku słabogliniastego, silnie zakwaszonym, o niskiej zawartości węgla organicznego ($2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), azotu ($9,18 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), miedzi ($3,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), cynku ($12,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i przyswajalnych form fosforu i potasu. Grunt charakteryzował się wadliwymi właściwościami sorpcyjnymi i wodnymi (Baran 2006a; Baran i in. 2006b; Baran i in. 2006d).

Poużytkowa wełna mineralna Grodan, charakteryzuje się korzystnymi właściwościami sorpcyjnymi, a w szczególności wysoką zawartością kationów zasadowych, co przy względnie niskiej kwasowości hydrolitycznej nadaje jej wysoki stopień wysycenia tymi pierwiastkami. Odpad ten posiada wysoką zdolność zatrzymywania wody, co może mieć bardzo korzystny wpływ na proces rekultywacji biologicznej gleb zdegradowanych i odtwarzania gleb na gruntach zdewastowanych. Charakteryzuje się również wysoką zawartością magnezu i wapnia oraz średnią azotu, fosforu i potasu. Zawartość przyswajalnego fosforu i potasu świadczy o wysokiej zasobności wełny w te składniki. Cynk i miedź występują w ilościach, które mogą się przyczynić do wzbogacenia nawożonych i rekultywowanych gleb (Baran i in. 2006c; Baran i in. 2006b; Baran i in. 2007).

Komunalny osad ściekowy charakteryzował się korzystnymi właściwościami sorpcyjnymi oraz wysoką zawartością węgla organicznego i azotu (Baran 1992; Żukowska i in. 2003). Zawartość metali ciężkich kształtowała się na dopuszczalnym poziomie przy sto-

sowaniu komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne (139 mg/kg miedzi i 935 mg/kg cynku) (Dz.U. Nr 134, poz. 1140 z dnia 27 sierpnia 2002 r.). Osad ściekowy spełniał również wymagania sanitarne.

2.2. Wpływ sposobu rekultywacji na zmiany zawartości miedzi i cynku w środowisku glebowo-roślinnym

Grunt rodzimy przed założeniem doświadczenia charakteryzował się niską zawartością miedzi (3,55 mg/kg) i cynku (16,0 mg/kg). Zastosowanie wapna poflotacyjnego podwyższyło zawartość miedzi (4,8 mg/kg), a dalszy wzrost zawartości tych pierwiastków odnotowano pod wpływem osadu ściekowego i wełny mineralnej (tab. 2, rys. 3). Są to jednak wartości zaliczane do naturalnych (Kabata-Pendias i in. 1993), a notowany, około dwukrotny wzrost zawartości (w porównaniu do kontroli) oceniać należy pozytywnie, jako wzbogacenie gleby w badane mikroelementy.

Uwzględniając średnią zawartość miedzi, stwierdzone pozytywne zmiany szeregują zastosowane warianty rekultywacji następująco: wapno + osad ściekowy (214%); wapno + + wełna + NPK (214%) > wapno + osad ściekowy + wełna (210%); > wapno + wełna (198%) > wapno + NPK (100%).

Wartości zmian i sekwencja szeregu uwzględniającego zawartości cynku jest zbliżona z wyjątkiem zamiennej pozycji wariantu z osadem ściekowym i wełny z osadem ściekowym: wapno + osad ściekowy + wełna (206%) > wapno + osad ściekowy (203%); wapno + wełna + + NPK (199%) > wapno + wełna (170%) > wapno + NPK (100%).

Zawartości miedzi w rekultywowanym gruncie zależne były od sposobu rekultywacji (tab. 2). Uwzględniając zmiany zawartości miedzi w relacji: początek (100%) – koniec doświadczenia, uszeregowanie badanych sposobów rekultywacji jest następujące: wapno + + NPK (-14,6%) > wapno + osad ściekowy + wełna (+13,6%) > wapno + wełna + NPK (-5,6%) > wapno + osad ściekowy (-2,2%) > wapno + wełna (0%).

W przypadku zmian zawartości cynku (tab. 2), w każdym wariantcie rekultywacji odnotowano jego wzrost: wapno + osad ściekowy (+54%) > wapno + osad ściekowy + wełna (15%) > wapno + wełna (7%); wapno + wełna + NPK (7%) > wapno + NPK (5%).

Zmiany zawartości miedzi i cynku w rekultywowanym gruncie znajdują pewne odzwierciedlenie w intensywności sorpcji tych pierwiastków, na co wskazują wyniki analizy sekwencyjnej (tab. 3, 4).

Zawartość **miedzi rozpuszczalnej w wodzie** kształtowała się na poziomie niskim i nie przekraczała 0,5 mg/kg. Jej procentowy udział w całkowitej zawartości bez względu na wariant rekultywacji zawierał się w przedziale 1,19– 2,5% (tab. 3). Największy procentowy udział miedzi wodnorozpuszczalnej stwierdzono w gruncie nawożonym NPK (kontrola). Dodatek wełny mineralnej obniżał udział tej formy miedzi.

Zawartość miedzi **rozpuszczalnej w CaCl₂** była niska, a najwyższe wartości stwierdzono w gruncie z dodatkiem osadu ściekowego. Procentowy udział tej formy w wariantach rekultywacji zawierał się w przedziale: 0,12–1,58%.

Miedź **rozpuszczalna w kwasie octowym** stanowiła w gruncie, w poszczególnych wariantach rekultywacji od 3,95 do 9,77% całkowitej jej zawartości. Najwyższy udział (9,77%) stwierdzono w gruncie nawożonym NPK, a następnie osadem ściekowym (6,49%). Dodatek wełny mineralnej obniżał udział tej formy miedzi w rekultywowanym gruncie.

Miedź **związana z próchnicą** stanowiła największy procentowy udział w całkowitej jej zawartości w porównaniu z omawianymi formami. Uwzględniając wartości średnie tej formy miedzi, badane warianty rekultywacji tworzą szereg: wapno + osad ściekowy > > wapno + wełna > wapno + osad ściekowy + wełna > wapno + wełna + NPK > wapno + NPK.

Zawartość **cynku wodnorozpuszczalnego i rozpuszczalnego w CaCl_2** była niska i nie przekraczała 1 mg/kg. Udział tych form w zawartości ogólnej nie przekraczał 1%, z wyjątkiem wariantu kontrolnego z nawożeniem NPK, gdzie wynosił około 2,5% (tab. 5).

Udział cynku rozpuszczalnego w **kwasie octowym** w jego zawartości ogólnej był największy ze wszystkich analizowanych form tego pierwiastka. Największe wartości stwierdzono w gruncie z dodatkiem osadu ściekowego i osadu ściekowego z wełną mineralną, niższe z NPK, a najniższe z wełną mineralną.

Udział cynku **związanego z substancją organiczną** był zróżnicowany, najwyższy w wariacie z osadem ściekowym, a najniższy z wełną mineralną. Podobne tendencje zmian w zawartości form wodnorozpuszczalnych i rozpuszczalnych w CaCl_2 w glebach nawożonych osadem ściekowym, stwierdzili w swoich badaniach inni autorzy (Czekała, Jakubus 1999; Wójcikowska-Kapusta i in. 2000). Wójcikowska-Kapusta i in. (2000) w glebie nawożonej zróżnicowanymi dawkami osadu ściekowego oznaczyła największą zawartość form cynku związanych z próchnicą w porównaniu z pozostałymi badanymi formami.

Z analizy zawartości form rozpuszczalnych badanych pierwiastków wynika, że jest ona zależna od intensywności przemian substancji organicznej, co potwierdzają inne badania (Baran i in. 2006c; Żukowska i in. 2000). Niniejsze badania wskazują również, że podobny zakres zmian zawartości ogólnej Cu i Zn pod wpływem zastosowanych wariantów rekultywacji, jest wyraźnie różny przy oznaczaniu ich form sekwencyjnych. Wskazuje to, że analiza sekwencyjna jest bardziej „czułym” wskaźnikiem zmian specyfiki składników mineralnych niż ich zawartość całkowita.

Wyrazem różnic w rozpuszczalności miedzi i cynku jest bilans tych pierwiastków w okresie prowadzenia doświadczenia (rys. 2, 4), a także intensywność przemieszczania się ich do roślin (tab. 6, rys. 5).

Zawartość badanych mikroelementów w mieszance traw, według kryteriów zaproponowanych przez Kabatę-Pendias i in. (1993), kształtuje się na poziomie niskim dla miedzi i średnim dla cynku, a występujące różnice są wynikiem wpływu badanych sposobów rekultywacji:

- Cu: wapno + osad ściekowy + wełna > wapno + osad ściekowy > wapno + wełna + NPK > wapno + NPK > wapno + wełna.
- Zn: wapno + osad ściekowy > wapno + osad ściekowy + wełna > wapno + wełna + NPK > wapno + NPK > wapno + wełna.

TABELA 2

Całkowita zawartość miedzi w rekultywowanym gruncie w kolejnych latach doświadczenia [mg/kg],
wartości średnie

TABLE 2

Total content of cooper in reclaimed ground in the next years of experiment [mg/kg], mean values

Warianty rekultywacji	„0”	I rok	II rok	III rok
Wapno + NPK (kontrola)	4,8	4,3	4,0	3,9
Wapno +osad ściekowy (kontrola)	8,9	8,8	8,9	8,7
Wapno + osad ściekowy + wełna	8,1	8,0	8,6	9,2
Wapno + wełna	8,2	8,0	8,1	8,2
Wapno + wełna + NPK	8,9	8,6	8,8	8,4

TABELA 3

Procentowy udział frakcji miedzi w całkowitej zawartości, w wariantach rekultywacyjnych,
wartości średnie z 3 lat badań

TABLE 3

Percentage share of cooper fraction in total content, in reclamation variants,
mean values from 3 years researches

Wariant rekultywacji	Cu rozpuszczalna w:			
	H ₂ O	CaCl ₂	CH ₃ COOH	K ₄ P ₂ O ₇
Wapno + NPK (kontrola)	2,50	1,14	9,77	10,00
Wapno +osad ściekowy (kontrola)	2,10	1,58	6,49	18,82
Wapno + osad ściekowy + wełna	2,08	1,27	4,79	16,00
Wapno + wełna	1,19	0,12	4,00	16,86
Wapno + wełna + NPK	1,88	0,85	3,95	11,00

TABELA 4

Całkowita zawartość cynku w rekultywowanym gruncie w kolejnych latach doświadczenia [mg/kg],
wartości średnie

TABLE 4

Total content of zinc in reclaimed ground in the next years of experiment [mg/kg], mean values

Warianty rekultywacji	„0”	I rok	II rok	III rok
Wapno + NPK (kontrola)	16,0	16,0	16,1	16,8
Wapno +osad ściekowy (kontrola)	24,1	30,0	32,0	37,2
Wapno + osad ściekowy + wełna	30,5	31,5	34,3	35,1
Wapno + wełna	28,5	25,5	27,1	30,4
Wapno + wełna + NPK	32,7	31,7	30,7	35,0

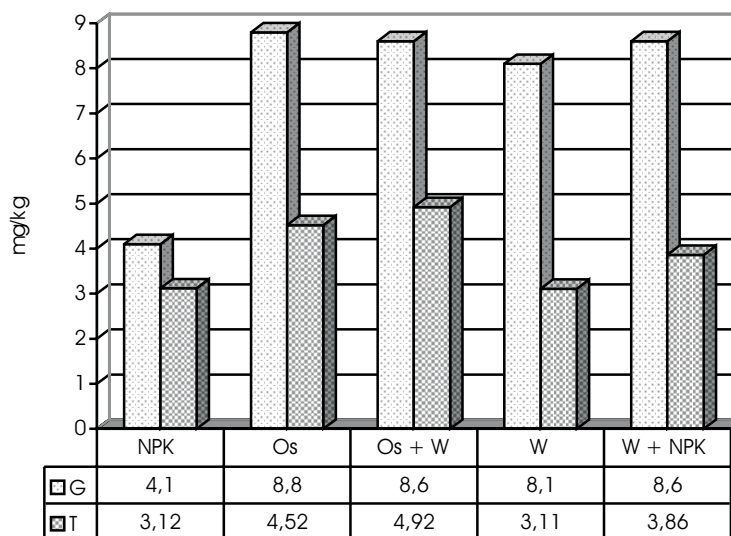
TABELA 5

Procentowy udział frakcji cynku w całkowitej zawartości, w wariantach nawozowych z doświadczenia poletkowego, wartości średnie z 3 lat badań

TABLE 5

Percentage share of zinc fraction in total content, in fertilization variants from experimental fields, mean values from 3 years researches

Kombinacja nawozowa	Zn rozpuszczalny w:			
	H ₂ O	CaCl ₂	CH ₃ COOH	K ₄ P ₂ O ₇
Wapno+ NPK (kontrola)	2,51	2,43	24,28	10,00
Wapno +osad ściekowy (kontrola)	0,66	0,76	36,44	20,73
Wapno +osad ściekowy + wełna	0,55	0,68	39,26	8,79
Wapno + wełna	0,39	0,36	18,76	5,72
Wapno + wełna + NPK	0,59	0,45	18,98	13,38

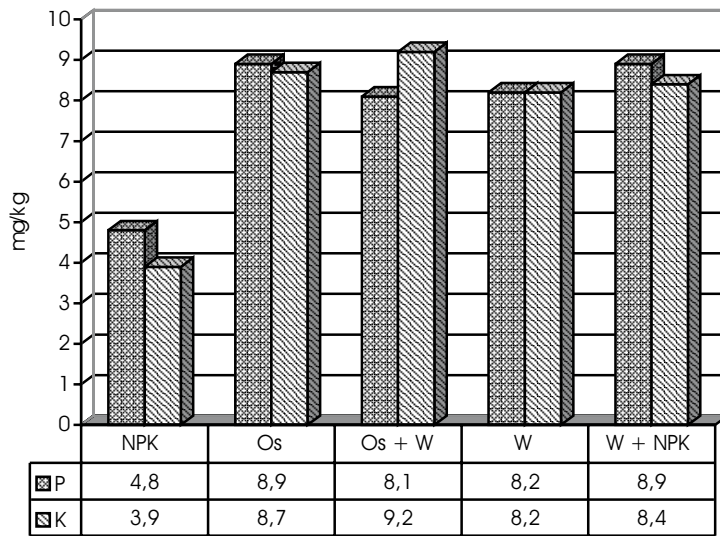


Rys. 1. Zmiana zawartości miedzi [mg/kg] w gruncie (G) i trawie (T) w analizowanych wariantach rekultywacji (wartości średnie z 3 lat badań)

NPK – wapno + NPK (kontrola); Os – wapno + osad ściekowy (kontrola); Os + W – wapno + osad ściekowy + wełna; W – wapno + wełna; W + NPK – wapno + wełna + NPK

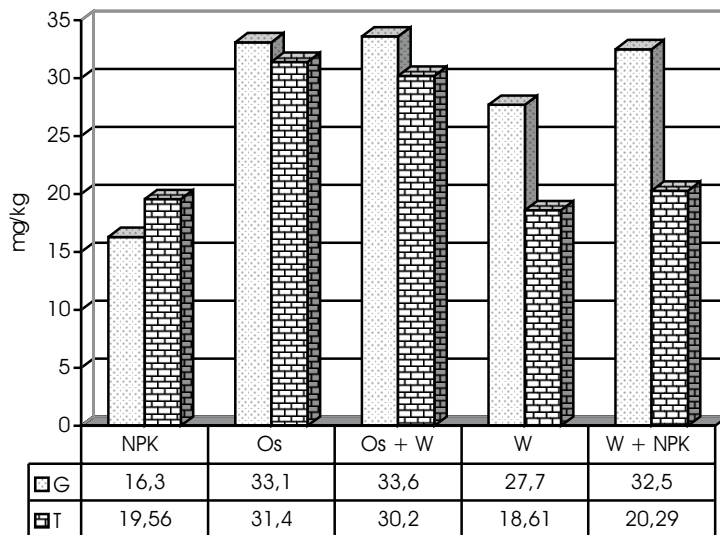
Fig. 1. Change of the cooper content [mg/kg] in ground (G) and grass (T) under the influence of investigated reclamation methods (mean values from 3 years researches)

NPK – lime + NPK (control); Os – lime + sewage sludge; Os +W – lime + sewage sludge + wool; W – lime + wool; W + NPK – lime + wool + NPK



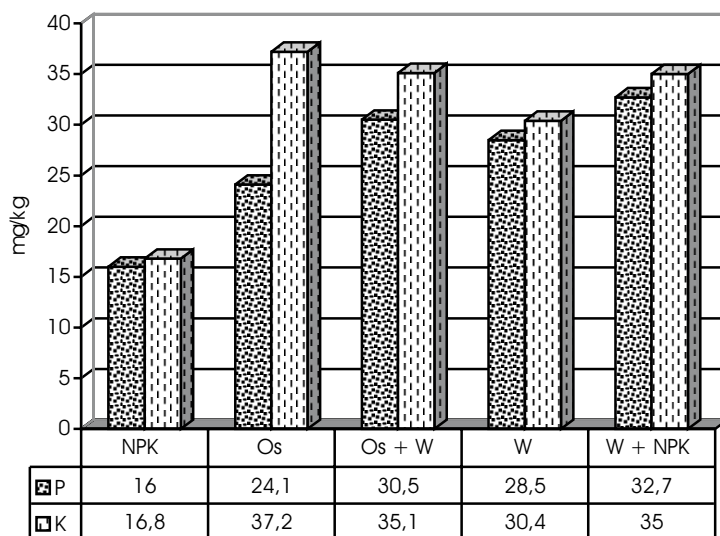
Rys. 2. Zmiana zawartości miedzi [mg/kg] w rekultywowanym gruncie na początku (P) i końcu (K) badań, oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 2. Change of cooper content [mg/kg] in reclaimed ground on the beginning (P) and end of research (K), determination as on Fig. 1



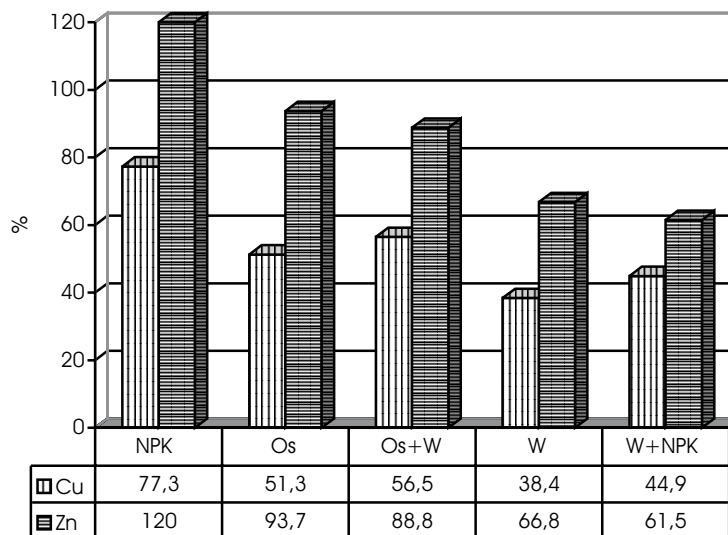
Rys. 3. Zmiana zawartości cynku [mg/kg] w gruncie (G) i trawie (T) w analizowanych wariantach rekultywacji, oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 3. Change of zinc content [mg/kg] in ground (G) and grass (T) under the influence of investigated reclamation methods, determination as on Fig. 1



Rys. 4. Zmiana zawartości cynku [mg/kg] w rekultywowanym gruncie na początku (P) i końcu (K) badań, oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 4. Change of zinc content [mg/kg] in reclaimed ground on the beginning (P) and end of research (K), determination as on Fig. 1



Rys. 5. Współczynniki wykorzystania Cu i Zn w układzie grunt-trawa w badanych wariantach rekultywacji (wartości średnie z 3 lat badań), oznaczenia jak na rysunku 1

Fig. 5. Utilize coefficient of cooper and zinc in ground – grass configuration in investigated reclamation variants (mean values from 3 years researches), determination as on Fig. 1

TABELA 6

Współczynniki wykorzystania Cu i Zn w układzie: grunt (100%), trawa (x), w badanych latach, wartości średnie [%]

TABLE 6

Utilize coefficient of cooper and zinc in configuration: ground (100%), grass (x), in investigated years, mean values [%]

Warianty rekultywacji	Cu I rok	Cu II rok	Cu III rok	Zn I rok	Zn II rok	Zn III rok
Wapno+ NPK (kontrola)	47,9	68,7	116,6	65,0	112,7	178,3
Wapno +osad ściekowy (kontrola)	33,8	58,6	61,5	64,4	109,9	106,7
Wapno + osad ściekowy + wełna	38,9	65,3	65,4	59,9	94,2	112,2
Wapno + wełna	32,5	36,6	45,7	52,9	76,1	71,4
Wapno + wełna + NPK	40,1	34,9	60,1	48,5	63,1	72,8

Szeregi te w wielu zakresach są zbieżne, a niewielkie różnice dotyczą odmiennego wpływu zastosowanego osadu ściekowego oraz osadu ściekowego i wełny na rozpuszczalność badanych pierwiastków (rys. 1, 3). We wcześniejszych badaniach Baran i in. (2002), stwierdzili także większą zawartość miedzi w roślinach uprawianych na glebie nawożonej zróżnicowanymi dawkami osadu w porównaniu do roślin z gleb bez nawożenia.

Wyrazem wpływu sposobów rekultywacji, a tym samym właściwości gleby na zawartość miedzi i cynku w mieszance traw są współczynniki ich przemieszczania (rys. 5). Ich wartości są około 50% wyższe dla cynku niż miedzi, co znajduje potwierdzenie w badaniach S. Barana i in. (2007). Wzrost wartości współczynników wykorzystania analizowanych pierwiastków w kolejnych latach badań sugeruje, iż wiąże się to z optymalizacją właściwości rekultywowanego gruntu, szczególnie jakości substancji organicznej.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że oceniane warianty rekultywacji zdegradowanych utworów bezglebowych przy wykorzystaniu osadu ściekowego i odpadowej wełny mineralnej Grodan przyczyniły się do optymalizacji zawartości Cu i Zn. Stwierdzono również, że zastosowane warianty nawozowe wywarły wpływ na skład frakcyjny badanych pierwiastków.

Miedź i cynk, zaliczane są do metali ciężkich lecz również są niezbędnymi mikroelementami do wzrostu i rozwoju roślin stąd też mogą być dobrym wskaźnikiem badanych wariantów rekultywacji.

Podsumowanie

Poprodukcyjna wełna mineralna (Grodan) charakteryzuje się korzystnymi właściwościami chemicznymi, fizykochemicznymi oraz fizycznymi. Cynk i miedź występują w ilości-

ciach, które mogą się przyczyniać do wzbogacenia nawożonych i rekultywowanych gleb. Badane sposoby rekultywacji wywarły zróżnicowany wpływ na zawartość analizowanych pierwiastków w rekultywowanym gruncie:

- Cu: wapno + osad ściekowy (214%) > wapno + osad ściekowy + wełna (210%) –
– wapno + wełna + NPK (214%) > wapno + wełna (198%) > wapno + NPK (100%);
- Zn: wapno + osad ściekowy + wełna (206%) > wapno + osad ściekowy (203%) –
– wapno + wełna + NPK (199%) > wapno + wełna (170%) > wapno + NPK (100%),
ale były to wartości zaliczane do naturalnych.

Zawartość badanych mikroelementów w mieszance traw kształtuje się na poziomie niskim (Cu) i średnim (Zn), a występujące różnice są wynikiem wpływu badanych sposobów rekultywacji:

- Cu: wapno + osad ściekowy + wełna > wapno + osad ściekowy > wapno + wełna +
+ NPK > wapno + NPK > wapno + wełna;
- Zn: wapno + osad ściekowy > wapno + osad ściekowy + wełna > wapno + wełna +
+ NPK > wapno + NPK > wapno + wełna.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005–2008 jako projekt badawczy Nr PO4G 119 29

LITERATURA

- Baran S., 1992 – The type of sewage sediments and the mineralization process of their organic substance and the zinc content in a plant. *Polish Journal of Soil Sc.*, XXV/2, 135–140.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., 2002 – Pobieranie miedzi przez różne gatunki roślin uprawnych z gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 484, 37–44.
- Baran S., 2006a – Ability to use used mt of mineral wool in postmining reclamation. *Development in Production and Use of New Agrochemicals. Chemistry for Agriculture*, (Eds. H. Górecki, Z. Dobrzański, P. Kafarski), Czech-Pol Trade, Prague-Brussels, vol. 7, 662–670.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Żukowska G., 2006b – Ocena przydatności osadu ściekowego i wełny mineralnej Grodan do rekultywacji gruntu bezglebowego na podstawie zawartości przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. *Rocz. Glebozn.*, LVII, 1/2, 21–31.
- Baran S., Żukowska G., Wójcikowska-Kapusta A., 2006c – Wpływ kompostów osadowo-popiołowych na zawartość metali ciężkich w rekultywowanym gruncie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 512, 31–38.
- Baran S., Żukowska G., Wójcikowska-Kapusta A., Saletra J., 2006d – Sorption properties of land reclaimed by means of post-use mineral wool mats and sewage sludge utilization. *Development in Production and Use of New Agrochemicals. Chemistry for Agriculture*, vol. 7, (Eds. H. Górecki, Z. Dobrzański, P. Kafarski), Czech-Pol Trade, Prague-Brussels, 455–460.
- Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Oleszczuk P., Żukowska G., 2007 – Przydatność wełny mineralnej (Grodan) i osadów ściekowych do rekultywacji biologicznej gruntów zdewastowanych mechanicznie i przez intensywne zakwaszenie. *Sprawozdanie merytoryczne z badań: PB Nr 2 PO4G 091 27*.
- Bogacz W., 1996 – Badania nad formami mikroelementów w glebach Belgii. Cz. I. Procedura frakcjonowania metali w glebach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 434, 1011–1015.
- Czekała J., Jakubus M., 1999 – Metale ciężkie oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne integralnymi składnikami osadów ściekowych. *Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Agricultura*, 77, 39–44.
- Czekała J., Jakubus M., 2000 – Występowanie cynku, miedzi i manganu w glebach uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 471, 219–228.

- Dulewski J., Wtorek L., 2000 – Problemy przywracania wartości użytkowych gruntom zdegradowanym działalnością górniczą. PTIE, Inżynieria Ekologiczna, 1, „Ochrona i rekultywacja gruntów” wyd. Eko-inżynieria: 14–22.
- Gołda T., 2000 – Podstawowe uwarunkowania rekultywacji terenów pogórnich Kopalni Siarki „Jeziórko”, Inżynieria Ekologiczna, 1, 31–36.
- Jońca M., 2002 – Problemy rekultywacji i zagospodarowania terenów górniczych w kopalni siarki „Jeziórko”, Materiały III Międzynarodowej Naukowej. Odpady Organiczne i Produktywność Agrocenozy. Lublin 2002, 174–175.
- Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek T., 1993 – Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Puławy P(53).
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z., 1991 – Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. IOŚ. Warszawa, ss. 334.
- Wójcikowska-Kapusta A., Baran S., Niemczuk B., Saadi L., Kwiecień J., 2000 – Wpływ nawożenia osadem ściekowym na formy cynku w glebie lekkiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 471, 1207–1211.
- Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S., 2000 – Zmiany składu frakcyjnego próchnicy gleby lekkiej nawożonej osadami ściekowymi. Folia Univ. Agric. Stetin. 211, Agricultura (84) – 551–556.
- Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S., 2003 – Charakterystyka substancji organicznej gruntów silnie zakwaszonych poddanych rekultywacji. [W:] Gleba w środowisku. Skiba S., Drewnik M., Kasprzak A. (red), Kraków, 495–496.

**WPLYW SPOSOBU REKULTYWACJI UTWORÓW BEZGLEBOWYCH NA ZAWARTOŚĆ
MIEDZI I CYNKU W GRUNCIE I MIESZANCE TRAW**

Słowa kluczowe

Rekultywacja, utwory bezglebowe, osady ściekowe, wełna mineralna, mikroelementy

Streszczenie

Celem niniejszych badań była analiza wpływu różnych wariantów rekultywacji zdewastowanego gruntu, wskutek otworowej eksploatacji siarki, na zmiany zawartości miedzi i cynku i przemieszczanie się ich do roślin.

Doświadczenie poletkowe (poletka o powierzchni 5 arów, każde) realizowano w obszarze wpływu Kopalni Siarki „Jeziórko”. Do odkwaszenia zdewastowanego gruntu (piasek słabogliniasty) zastosowano wapno poflotacyjne (100 t/ha), a do użyczenia, w różnych dawkach (200, 400 i 800 m³/ha) użytą wełną mineralną (Grodan), na tle melioracyjnej (100 ton s.m./ha) dawki osadu ściekowego z komunalnej oczyszczalni ścieków ze Stalowej Woli. Wymieszanie zastosowanych substancji oraz nawozów mineralnych z gruntem wykonano przy wykorzystaniu brony talerzowej i głębogryzarki. Obiekt kontrolny stanowił utwór bezglebowy odkwaszony wapnem poflotacyjnym i nawożony corocznie NPK w dawkach (kg/ha): 80; 40; 60, oraz utwór bezglebowy odkwaszony wapnem poflotacyjnym i użyczony osadem ściekowym w dawce 100 t/ha. Realizowano następujące warianty rekultywacji: wapno + osad ściekowy + wełna (200, 400, 800 m³/ha), wapno + wełna (200, 400, 800 m³/ha), wapno + wełna (200, 400, 800 m³/ha) + NPK. Na poletkach wysiano mieszankę rekultywacyjną traw.

Do badań laboratoryjnych pobierano próbki gruntu z warstwy powierzchniowej (0–20 cm) w pierwszej fazie prowadzenia doświadczenia, a przez następne 3 lata, pod koniec wegetacji (X). Trawę po wysuszeniu mineralizowano w mieszaninie stężonych kwasów HNO₃ i HClO₄ a w ekstrakcie oznaczono Cu i Zn. W pobranych próbkach gruntu, po ich mineralizacji w mieszaninie stężonych kwasów HNO₃ i HClO₄ oznaczono formy ogólne Cu i Zn. Przeprowadzono również analizę sekwencyjną tych pierwiastków, wydzielając następujące frakcje pierwiastków: I – wodnorozpuszczalna w H₂O redestylowanej, II – rozpuszczalna w 0,05 mol CaCl₂ dm⁻³, III – rozpuszczalna w 2,5% CH₃COOH, IV – rozpuszczalna w 0,1 mol K₂P₄O₇ dm⁻³.

Stwierdzono, w porównaniu do nawożenia mineralnego NPK, korzystny wpływ dodatku badanych odpadów na zawartość analizowanych pierwiastków w rekultywowanym gruncie. Przemieszczanie się pierwiastków do roślin zależne było od sposobu rekultywacji, a także formy analizowanych mikroelementów.

THE INFLUENCE OF RECLAMATION METHODS SOIL-LESS FORMATIONS ON ZINC AND COOPER IN GROUND AND GRASS MIXTURE

Key words

Reclamation, soil-less formations, sewage sludge, mineral wool, microelements

Abstract

The aim of the research was analyze the influence different reclamation variants of devastated ground, as a result of sulphur borehole extraction, on changes in cooper and zinc content and their movement to plants.

Plots' experiment (each plot form area 9 are) was realized on the area with influence of "Jeziórko" Sulphur Mine. Post-flotation lime (100 t/ha) was used to de-acidification devastated ground (coarse sandy soil), and to fertilize with post-used mineral wool (Grodan) in diverse dose (200, 400 and 800 m³/ha), on the background of melioration sewage sludge dose (100 ton s.m./ha) from Stalowa Wola municipal sewage treatment. The mixture of used matters and mineral fertilizers with ground was realized with use of harrow and tiller. Control object determined soil-less ground de-acidificated with post-flotation lime and fertilized every year with NPK in dose (kg/ha): 80; 40; 60, soil-less ground de-acidificated with post-flotation lime and fertilized with sewage sludge in dose 100 t/ha. Followed variants of reclamation were realized: post-flotation lime + sewage sludge + wool (200, 400, 800 m³/ha), post-flotation lime + wool (200, 400, 800 m³/ha), post-flotation lime + wool (200, 400, 800 m³/ha) + NPK. On plots was sowed reclamational mixture grass.

Samples to the laboratorial researches were collected from surface layer (0–20 cm) in the first phase of conducted experiment, and for the next three years, at the end of vegetation (X). After drying, grass was mineralized in mixture of concentrated acids HNO₃ and HClO₄ and Cu and Zn were determined in extract. In collected ground samples, after their mineralization in mixture of concentrated acids HNO₃ and HClO₄, total forms of cooper and zinc were determined. Sequential analyze of these elements was conducted, isolated the following fractions of elements: I – water-soluble in redestylated H₂O, II – soluble in 0,05 mol CaCl₂·dm⁻³, III – soluble in 2.5% CH₃COOH, IV – soluble in 0,1 mol K₂P₄O₇·dm⁻³.

Positive influence of additional researched wastes was claimed on content of analyzed elements in reclaimed ground, in comparison to mineral fertilization NPK. Movement elements to plants were depended on reclamation methods and also on forms of analyzed elements.