

Krzysztof FIJAŁKOWSKI, Małgorzata KACPRZAK

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska  
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa  
e-mail: kfjalkowski@is.pcz.czyst.pl

## Wpływ dodatku osadów ściekowych na wybrane fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne parametry gleb zdegradowanych

Gleby zdegradowane w wyniku szkodliwego oddziaływania emisji z hut metali nieżelaznych są często wyjałowione z substancji organicznej oraz brak w nich odpowiedniej mikroflory. Taki stan środowiska glebowego wyklucza skuteczność biologicznej rewitalizacji bez wcześniejszego wzbogacenia matrycy gleby odpowiednimi substratami. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące zmian wartości wybranych parametrów mikrobiologicznych i fizyczno-chemicznych gleby wzbogaconej komunalnymi osadami ściekowymi po 6 miesiącach od aplikacji substratu. W doświadczeniu wykorzystano zdegradowaną glebę pochodzącą z terenu oddziaływania huty w Miasteczku Śląskim i komunalny osad ściekowy z oczyszczalni ścieków komunalnych w Pajęcznie w trzech proporcjach wagowych (10, 30 i 50%). Przeprowadzone analizy wykazały poprawę większości badanych parametrów (pH, TEB, CEC, azot organiczny, fosfor przyswajalny, liczebność grzybów i promieniowców), a zastosowane osady ściekowe przyczyniły się zarówno do wzrostu zdolności buforowych badanej gleby, jak i jej znacznego wzbogacenia w fosfor przyswajalny łącznie z poprawą stosunku C:N. Otrzymane dane wskazują, że w badanej glebie zachodzi korzystna odnowa procesów mineralizacji substancji organicznej, co potwierdza skuteczność stosowania osadów ściekowych w rekultywacji gleb zdegradowanych.

**Słowa kluczowe:** osady ściekowe, gleby zdegradowane, rekultywacja, parametry glebowe

### Wprowadzenie

Od momentu rewolucji przemysłowej, zapoczątkowanej na przełomie XVIII i XIX wieku, nastąpiło znaczne ograniczenie zasobów gleb w wyniku degradacji lub poważnego skażenia. Zanieczyszczenia te powodowane głównie przez przemysł i górnictwo wywołują w środowisku glebowym wiele negatywnych zjawisk o skutkach długotrwałych i często nieodwracalnych. Wśród związków uwalnianych podczas wytopu metali najbardziej niszczący wpływ na ekosystem glebowy wykazują pierwiastki śladowe, takie jak Zn, Cd i Pb. Ich specyficzna szkodliwość polega na chronicznej toksyczności, silnych zdolnościach do akumulacji w łańcuchu pokarmowym i braku zdolności do biodegradacji. Osłabiając procesy fizjologiczne roślin i mikroorganizmów, metale ciężkie przyczyniają się do zachwiania równowagi gleby, prowadząc do poważnych zaburzeń w jej funkcjonowaniu [1].

W 2007 roku powierzchnia gruntów zdegradowanych i zdewastowanych w Polsce wynosiła 64 373 hektary. Pomimo iż od 5 lat coraz więcej terenów pod-



daje się rekultywacji, stopień zagospodarowania gleb zniszczonych jest wciąż niezadowolający i nie należy przewidywać szybkiej poprawy tego stanu [2-4].

Gleby zdegradowane w wyniku skażenia metalami ciężkimi bardzo często cechuje niski poziom lub brak substancji organicznej oraz odpowiedniej mikroflory. Dlatego też istnieje potrzeba wzbogacenia jej poprzez wprowadzenie substratów chemiczno-biologicznych, np. kompostów czy ustabilizowanych osadów ściekowych, które, będąc źródłem zarówno makro- i mikroskładników, jak i mikroorganizmów, stwarzają możliwość przywrócenia aktywności życiowej tego środowiska [5, 6]. Ponadto osady ściekowe dodane do gleb powodują zwiększenie pojemności wymiennej kationów, a wysoka wartość tego wskaźnika oznacza silniejsze wiązanie kationów w środowisku glebowym, a więc immobilizację substancji odżywczych i większą odporność na zanieczyszczenie [7].

Dane literaturowe [8-10] dowodzą, że dodatek osadów ściekowych o niskich zawartościach metali ciężkich korzystnie wpływa zarówno na przyrost biomasy, jak i liczebność mikroorganizmów glebowych.

Celem przedstawionych badań jest ocena wpływu wzbogacania osadami ściekowymi (w różnych dawkach) gleby z terenu zdegradowanego przez przemysł hutniczy na zmiany wybranych parametrów mikrobiologicznych i fizyczno-chemicznych gleb. Analiza ta, obejmująca ocenę skuteczności trzech dawek osadów, pozwoli na określenie przydatności tego substratu odpadowego w rewitalizacji terenów zdegradowanych w pobliżu zakładów przemysłowych.

## 1. Metodyka badań

W doświadczeniu wykorzystano glebę ze zdegradowanych terenów leśnych przyległych do Huty Cynku w Miasteczku Śląskim. Na obszarze tym przeważają głównie gleby bielcowe - piaski słabogliniaste i żwiry piaszczyste. Długość okresu wegetacyjnego roślin wynosi ok. 210 dni. Średnia temperatura roczna wynosi 8°C, a średnia opadów rocznych: 600÷700 mm. Procentowy udział gatunków lasotwórczych wynosi odpowiednio: sosna 75%; brzoza 12%; dąb 4%, świerk 3,5%; olcha 2%, modrzew 1,5%; pozostałe gatunki 2% [11]. Glebę wymieszano z osadami ściekowymi w proporcjach wagowych (waga rzeczywista) w odpowiednio 10, 30 i 50% udziałach osadów z masą gleby i umieszczono w wazonach z drenażem o pojemności 5 litrów każdy - trzy powtórzenia. Doświadczenie prowadzono w warunkach naturalnych od kwietnia do października 2006 roku.

Analizy fizyczno-chemiczne wykonywano na glebie ujednorodnionej i powietrznie suchej. Oznaczenia wykonywano na początku doświadczenia (po 2-tygodniowym okresie ustalania się równowagi geochemicznej) i po jego zakończeniu.

Zawartość węgla organicznego wyznaczano kolorymetryczną metodą Tiurina, zgodnie z [12]. Zawartość kwasów huminowych określano, stosując ekstrakcję roztworem zawierającym 0,1M HCl i 0,1M Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> w stosunku 1:1 [13]. Ilość azotu ogólnego Kjeldahla określano zgodnie z [14] z wykorzystaniem mineralizatora BÜCHI 426 i aparatu destylacyjnego BÜCHI 323. Fosfor przyswajalny w formie



$P_2O_5$  oznaczono zgodnie z kolorymetryczną metodą Egner-Riehamana [15]. Odczyn gleby w roztworze wodnym i w 1M KCl mierzono metodą potencjometryczną z użyciem pH-metru CyberScan pH 10 zgodnie z [16].

Całkowitą kationową pojemność sorpcyjną gleby (CEC) wyznaczono na podstawie sumy kationów o charakterze zasadowym (TEB) oznaczonej metodą Kappena [17, 18] z kwasowością hydrolityczną oznaczoną zgodnie z [19].

Zawartość mikrośladników oznaczono na spektrofotometrze plazmowym ICP-AES firmy Thermo zgodnie z normą [20] po uprzednim zmineralizowaniu materiału w ultraczystym stężonym kwasie azotowym za pomocą mineralizatora mikrofalowego Uni Clever firmy Plazmotronik.

Analizy biologiczne wykonywano na glebie „świeżej” ujednorodnionej bezpośrednio po pobraniu. Ilościowe oznaczenie grzybów i promieniowców wykonano metodą płytek tartych Kocha, stosując rozcieńczenia 1-5-krotne. Wykorzystano podłoża odpowiednio: dla grzybów - agar Sabourauda z chloramfenikolem i gentamycyną, dla promieniowców - agar Actinomycete z glicerolem i asparaginą, dla Salmonella na podłożu agarowym Salmonella-Shigella.

W celu uzyskania informacji o zależnościach, jakie występują pomiędzy otrzymanymi wynikami analizowanych parametrów wykonano obliczenia statystyczne (macierze korelacji i odchylenie standardowe) z wykorzystaniem programu komputerowego STATISTICA wersja 8 firmy StatSoft.

Tabela 1

## Wartości parametrów fizyczno-chemicznych w badanej glebie

parametr	średnia wartość $\pm \sigma$
pH w $H_2O$	4,91 $\pm$ 0,05
pH w 1M KCl	4,32 $\pm$ 0,13
TEB, $cmol(+) kg^{-1}$ s.m.	3,17 $\pm$ 0,04
CEC, $cmol(+) kg^{-1}$ s.m.	6,97 $\pm$ 0,18
Kwasy huminowe, %	1,61 $\pm$ 0,05
Węgiel organiczny, $mg g^{-1}$ s.m.	18,3 $\pm$ 0,58
Azot ogólny, $mg g^{-1}$ s.m.	0,64 $\pm$ 0,08
Stosunek C/N	21:1
Fosfor przyswajalny, $mg P_2O_5 100 g^{-1}$ s.m.	2,79 $\pm$ 0,52
Zn, $mg kg^{-1}$ s.m.	1220 $\pm$ 15
Cd, $mg kg^{-1}$ s.m.	14 $\pm$ 1
Pb, $mg kg^{-1}$ s.m.	1123 $\pm$ 40
$\pm \sigma$ - wartość odchylenia standardowego (n = 6), TEB - suma kationów o charakterze zasadowym, CEC - pojemność wymienna kationów	

Charakterystykę fizyczno-chemiczną i mikrobiologiczną gleby wykorzystanej w doświadczeniu przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Zastosowane osady ściekowe pochodziły z Komunalnej Oczyszczalni Ścieków w Pajęcznie, a ich charakterystykę zaprezentowano w tabelach 3 i 4.



Tabela 2

**Liczebność grzybów i promieniowców w badanej glebie**

parametr	jednostka	średnia wartość $\pm \sigma$
grzyby	100 · JTK g <sup>-1</sup>	30 ± 2
promieniowce	100 · JTK g <sup>-1</sup>	120 ± 10
± $\sigma$ - wartość odchylenia standardowego (n = 6)		

Tabela 3

**Charakterystyka fizyczno-chemiczna wykorzystanych osadów ściekowych**

parametr	osady I
wilgotność, %	85,85 ± 1,8
pH w H <sub>2</sub> O	7,1 ± 0,2
substancja organiczna, mg g <sup>-1</sup> s.m.	247,34 ± 2,2
N, mg g <sup>-1</sup> s.m.	68,04 ± 1,0
P, mg g <sup>-1</sup> s.m.	13,22 ± 0,9
Mg, mg g <sup>-1</sup> s.m.	2,6 ± 0,3
Ca, mg g <sup>-1</sup> s.m.	6,2 ± 0,6
Cu, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	163 ± 13
Fe, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	4200 ± 100
Pb, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	318 ± 18
Cd, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	22 ± 8,0
Cr, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	21 ± 2,0
Ni, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	163 ± 20
Zn, mg kg <sup>-1</sup> s.m.	1170 ± 30
± $\sigma$ - wartość odchylenia standardowego (n = 6)	

Tabela 4

**Charakterystyka mikrobiologiczna zastosowanych osadów ściekowych**

parametr	osady I
grzyby, JTK · 100 g <sup>-1</sup>	66 ± 10
liczba żywych jaj pasożytów ATT	nie stwierdzono
bakterie z rodzaju Salmonella, w 100 g osadów	nie stwierdzono
± $\sigma$ - wartość odchylenia standardowego (n = 6), JTK - jednostki tworzące kolonie	

**2. Dyskusja wyników**

Osady ściekowe w znacznym stopniu wzbogaciły badaną glebę w grzyby i promieniowce proporcjonalnie do dawki osadów (tab. 5). Po 6 miesiącach prowadzenia doświadczenia zaobserwowano niewielki spadek populacji grzybów, co jest związane z trudnymi warunkami środowiskowymi (gleba skażona). W przypadku promieniowców spadek liczebności jest bardziej zauważalny, szczególnie w wazonie (G+30% OS), natomiast niewielki wzrost liczebności tych mikroorganizmów



zaobserwowano w wazonie (G+50% OS). Ogólnie we wszystkich wazonach wzbogaconych osadem populacja badanych mikroorganizmów (po 6 miesiącach od aplikacji) jest znacznie większa niż w próbkach kontrolnej.

W wyniku nawożenia osadami po 2-tygodniowym okresie ustalania się równowagi geochemicznej wraz ze wzrostem udziału osadów zwiększała się wartość pH mieszanek glebowych (tab. 6). Takie samo zjawisko obserwowano w przypadku wartości TEB i CEC - im większy dodatek osadów, tym większa pojemność sorpcyjna środowiska glebowego w wazonie. Zjawisko to jest związane z wysokim ładunkiem materii organicznej obecnej w substracie nawozowym, która stwarza optymalne warunki do zwiększonej sorpcji kationów obecnych w roztworze glebowym.

Tabela 5

**Zmiany liczebności grzybów i promieniowców**

Próbka	Liczebność grzybów 100·JTK g <sup>-1</sup>	Liczebność promieniowców 100·JTK g <sup>-1</sup>	Liczebność grzybów 100·JTK g <sup>-1</sup>	Liczebność promieniowców 100·JTK g <sup>-1</sup>
	I	II	I	II
GW*	40 ± 7	9 ± 1	23 ± 18	4 ± 0
G+10% OS	673 ± 144	40 ± 5	600 ± 120	20 ± 2
G+30% OS	15220 ± 1853	4644 ± 570	12110 ± 2293	306 ± 41
G+50% OS	46777 ± 4298	1344 ± 59	62777 ± 9631	1511 ± 15

I - na początku doświadczenia, II - po zakończeniu doświadczenia, ± σ - wartość odchylenia standardowego (n = 6), \* - próbka kontrolna

Tabela 6

**Wartości parametrów fizyczno-chemicznych na początku doświadczenia**

Próbka	pH w H <sub>2</sub> O	pH w 1M KCl	TEB cmol(+) kg <sup>-1</sup> s.m.	CEC cmol(+) kg <sup>-1</sup> s.m.	kwasy huminowe %	C organiczny mg g <sup>-1</sup> s.m.	N ogólny mg g <sup>-1</sup> s.m.	C/N	P przyswajalny P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup> s.m.
GW*	4,91±0,05	4,32±0,15	3,17±0,5	6,97±0,3	1,61±0,19	18,30±1,1	0,64±0,03	21:1	2,79±0,14
G+10% OS	6,77±0,05	5,32±0,01	10,87±0,7	13,20±0,6	1,48±0,04	20,17±0,1	1,93±0,05	10:1	40,38±3,3
G+30% OS	7,06±0,06	6,29±0,03	13,20±0,3	14,40±0,3	1,57±0,03	30,00±2,1	3,87±0,10	8:1	92,41±3,4
G+50% OS	7,21±0,02	6,69±0,02	17,30±0,9	19,77±0,7	1,87±0,19	53,51±1,7	5,66±0,04	9:1	279,79±11

± σ - wartość odchylenia standardowego (n = 6), \* - próbka kontrolna, GW - wazon z glebą, G+10% OS - gleba z 10% wzbogaceniem osadami ściekowymi, G+30% OS - gleba z 30% wzbogaceniem osadami ściekowymi, G+50% OS - gleba z 50% wzbogaceniem osadami ściekowymi

Zawartość kwasów huminowych była niezmienna niezależnie od dawki osadów i oscylowała na poziomie 1,5%.



Stężenie makroskładników, tj. węgla organicznego, azotu ogólnego i fosforu przyswajalnego, wzrastało proporcjonalnie do dawki osadów. Stosunek C/N oznaczono na poziomie 21:1 dla gleby kontrolnej (GW), natomiast w mieszankach z osadem wartość była niższa od 20:1 oraz zmienna zależnie od dawki substratu. Wskazuje to na gromadzenie się w glebie jonów amonowych w wyniku intensywnej mineralizacji prowadzonej przez drobnoustroje obecne w glebie i osadzie. Zjawisko to jest szczególnie korzystne dla roślin, gdyż pobierają one azot z puli aktywnej, tj.  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{NO}_3^-$ .

Ze względu na wysoką zawartość przyswajalnych form fosforu w osadach ściekowych nawożenie nimi gleb w wazonach spowodowało podwyższenie klasy zasobności w ten pierwiastek [17] z I do V (bardzo wysoka) we wszystkich porcjach (10, 30 i 50%).

W tabeli 7 przedstawiono wartości parametrów chemicznych oznaczonych po zakończeniu doświadczenia. Po 6 miesiącach prowadzenia doświadczenia wartość pH gleby w wazonie kontrolnym (GW) nieznacznie wzrosła do 5,00, a w wazonach z osadami obniżyła się.

Tabela 7

**Wartości parametrów fizyczno-chemicznych po zakończeniu doświadczenia**

Próbka	pH w $\text{H}_2\text{O}$	pH w 1M KCl	TEB $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$	CEC $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$	kwasy huminowe, %	C organiczny $\text{mg g}^{-1} \text{s.m.}$	N ogólny $\text{mg g}^{-1} \text{s.m.}$	C/N	P przyswajalny, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1} \text{s.m.}$
GW*	5,00±0,24	4,72±0,21	2,27±0,64	5,40±1,27	1,62±0,10	11,15±2,8	0,75±0,01	15:1	2,52±0,6
G+10% OS	5,70±0,08	5,20±0,02	4,40±0,69	7,80±0,20	0,88±0,03	12,04±0,4	1,06±0,01	11:1	2,91±0,09
G+30% OS	6,76±0,01	6,68±0,01	7,97±0,33	10,17±0,3	0,33±0,06	10,73±0,6	1,26±0,00	9:1	133,64±1
G+50% OS	6,66±0,02	6,46±0,01	12,07±0,0	14,73±0,1	0,59±0,05	8,23±1,4	3,14±0,01	3:1	182,7±3

±  $\sigma$  - wartość odchylenia standardowego (n = 6), \* - próbka kontrolna, GW - wazon z glebą, G+10% OS - gleba z 10% wzbogaceniem osadami ściekowymi, G+30% OS - gleba z 30% wzbogaceniem osadami ściekowymi, G+50% OS - gleba z 50% wzbogaceniem osadami ściekowymi

W wyniku wzbogacania gleb osadami ściekowymi widoczny był wzrost zdolności buforowych gleb, wyrażony przez parametry określające sumę kationów o charakterze zasadowym TEB oraz całkowitą pojemność sorpcyjną CEC w stosunku do próbki kontrolnej (GW). Przy najmniejszej dawce osadów O+10% wartość TEB wynosiła 5,73  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$ , a CEC 7,87  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$ , natomiast bez nawożenia substratem organicznym TEB wyniosła 2,27  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$ , a CEC wynosiła 5,40  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1} \text{s.m.}$  Wyższe wartości pojemności sorpcyjnej i sumy kationów zasadowych odnotowano również dla dawek osadów w porcjach O+30% OS i O+50% OS.



Zawartość kwasów huminowych w glebie kontrolnej była wyższa w stosunku do gleb wzbogaconych osadami, co wskazuje na to, że wzbogacanie osadami ściekowymi nie przyczyniło się do zwiększenia zasobności gleb w te substancje.

Pomiar zawartości makroelementów wykazał, że zastosowanie osadów ściekowych wpłynęło na zwiększenie wartości azotu ogólnego w środowisku glebowym, natomiast odwrotny efekt zaobserwowano w przypadku węgla organicznego. Świadczy to o wzmożonej mineralizacji związków organicznych (w stosunku do gleby kontrolnej) w ciągu 6 miesięcy prowadzenia procesu, co wpływa korzystnie na wzrost roślin. Zaobserwowano również zwiększoną zasobność gleby w fosfor przyswajalny w porównaniu do gleb bez substratu, co potwierdza fakt ścisłego związku mineralizacji związków azotu i fosforu. Nagromadzenie tego pierwiastka w glebie w formie przyswajalnych jonów fosforanowych wykazuje długotrwałe działanie następcze na przyrost biomasy roślin. Stosunek C:N nie zmienił się znacząco w stosunku do wartości z początku procesu, co potwierdza, iż zapoczątkowana mineralizacja związków organicznych trwała przez całe 6 miesięcy prowadzenia doświadczenia.

O korzystnym wpływie osadów ściekowych na właściwości chemiczne i biologiczne gleb informuje wielu autorów [8-10, 21-23]. Ponadto Gasco i inni [22] określają osady jako nawozy o stopniowym uwalnianiu makroskładników (N i P) podczas procesów mineralizacji substancji organicznej w nich zawartej. Na podstawie otrzymanych wyników w niniejszej pracy stwierdza się korzystny wpływ wykorzystanych osadów ściekowych na zdegradowaną glebę. Po przeprowadzeniu doświadczeń stwierdzono wzbogacenie gleb w makroskładniki na odpowiednim poziomie, o czym świadczy stosunek węgla do azotu wynoszący 9:1 (G+30% OS), wskazywany przez Zawadzkiego [24] jako optymalny dla gleb. Odnotowano, że aplikacja osadów ściekowych powoduje stworzenie przewagi mineralizacji substancji organicznej, co sprzyja uwalnianiu przez mikroorganizmy nadmiaru azotu, który jest w pełni wykorzystywany przez rośliny i stymuluje ich wzrost. Przedstawiona zależność znalazła potwierdzenie w przeprowadzonych doświadczeniach wazonowych przy wzbogacaniu gleb osadami w proporcji (G+30% OS).

W niniejszej pracy wykazano, że wzbogacenie gleb osadami ściekowymi przyczynia się do zwiększenia ich pojemności sorpcyjnej (CEC), co Adriano i inni [25] przypisują wzmożonej dysocjacji kationów  $H^+$  z grup funkcyjnych materii organicznej. Podobny efekt wykazują w stosunku do gleby wydzieliny korzeniowe roślin bogate w kwasy organiczne [7, 26]. Jak powszechnie wiadomo, wymywanie metali ciężkich z gleb wzbogaconych osadami ściekowymi jest bardzo ograniczone ze względu na silne właściwości sorpcyjne materii osadowej, z którą jony metali tworzą połączenia metaloorganiczne.

Stwierdzono również, że osady ściekowe wywierają pozytywny wpływ na wzrost grzybów i promieniowców w skażonych glebach, które są nimi wzbogacane. Kacprzak [27] oraz Kacprzak i Stańczyk-Mazanek [28] wykazały znaczny wzrost liczebności grzybów glebowych w efekcie nawożenia osadami ściekowymi, co jest również widoczne w niniejszej badaniach. Wpływ ten może być jednak ograniczony przez warunki klimatyczne.



## Wnioski

1. Stwierdzono wpływ wykorzystanych osadów ściekowych na poprawę parametrów gleby.
2. Wykazano, że wzbogacenie gleb osadami ściekowymi przyczynia się do zwiększenia ich pojemności sorpcyjnej (CEC).
3. Zastosowanie osadów ściekowych wpłynęło na zwiększenie wartości azotu ogólnego w środowisku glebowym, natomiast odwrotny efekt zaobserwowano w przypadku węgla organicznego.
4. Wzbogacanie osadami ściekowymi nie przyczyniło się do zwiększenia zasobności gleb w kwasy huminowe.
5. Aplikacja osadów ściekowych spowodowała wzrost liczebności populacji grzybów i promieniowców.

## Literatura

- [1] Lynch J., Moffat A., Bioremediation - prospects for the future application of innovative applied biological research, *Annals of App. Biol.* 2005, 146, 217-221.
- [2] Inspekcja Ochrony Środowiska, Stan Środowiska w Polsce na tle celów i priorytetów Unii Europejskiej, raport wskaźnikowy 2004, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2004.
- [3] Główny Urząd Statystyczny, Ochrona Środowiska 2007, Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa 2007.
- [4] Główny Urząd Statystyczny, Ochrona Środowiska 2008, Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa 2008.
- [5] Lima J., Nahas E., Gomes A.C., Microbial populations and activities in sewage sludge and phosphate fertilizer-amended soil, *App. Soil Ecol.* 1996, 4, 75-82.
- [6] Kacprzak M., Fijałkowski K., Neczaj E., Potential of organic waste materials for enhanced natural remediation of heavy metal contaminated soil, *International Symposium on Environmental Biotechnology*, Lipsk 2006, 327.
- [7] Merrington G., Oliver I., Smernik R.J., McLaughlin M.J., The influence of sewage sludge properties on sludge-borne metal availability, *Advanced in Environ. Research* 2003, 8, 21-36.
- [8] Brookes P., Heijnen E., McGrath S.P., Soil microbial estimates in soils contaminated with metals. *Soil Biol. Biochem.* 1986, 18, 383-388.
- [9] Fließbach A., Martens R., Reber H.H., Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated in heavy metals contaminated sewage sludge, *Soil Biol. Biochem.* 1997, 26, 1201-1205.
- [10] Banerjee M., Burton D., Depoe S., Impact of sewage sludge application on soil biological characteristic, *Agriculture Ecosystems & Environ.* 1997, 66, 241-249.
- [11] Łapiński W., *Przyroda i leśnictwo Śląska w zasięgu Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach*, Wydawnictwo Łaciński, Katowice 2003.
- [12] PN-ISO-14235:2003, Jakość gleby, Oznaczanie zawartości węgla organicznego przez utlenianie dwuchromianem (VI) w środowisku kwasu siarkowego (VI).
- [13] Stevenson F., *Humus chemistry, Genesis, composition, reactions*, John Wiley and Sons, New York 1982.
- [14] PN-ISO-11261:2002, Jakość gleby, Oznaczanie azotu ogólnego, Zmodyfikowana metoda Kjeldahla.
- [15] PN-R-04023:1996, Analiza chemiczno-rolnicza gleby, Oznaczanie zawartości przyswajalnego fosforu w glebach mineralnych.





- [16] PN-ISO-10390:1997, Jakość gleb, Oznaczanie pH.
- [17] Mocek A., Drzymała S., Maszner P., Geneza, analiza i klasyfikacja gleb, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu, Poznań 2000.
- [18] Karczewska A., Kabała C., Metody analiz laboratoryjnych gleb i roślin, Akademia Rolnicza we Wrocławiu (Dostęp internetowy: <http://www.ar.wroc.pl/~kabela>), Wrocław 2008.
- [19] PN-R-04027:1997, Analiza chemiczno-rolnicza gleby, Oznaczanie kwasowości hydrolitycznej w glebach mineralnych.
- [20] PN-ISO-11047:2001, Jakość gleby, Oznaczanie kadmu, chromu, kobaltu, miedzi, ołowiu, manganu, niklu i cynku w ekstraktach gleby wodą królewską, Metody płomieniowej i elektrotermicznej absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- [21] Obbard J., Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils, *Applied Geochemistry* 2001, 16, 1405-1411.
- [22] Gasco G., Martinez-Inigo M., Lobo M.C., Soil organic matter transformation after a sewage sludge application, *EJEAFChe* 2004, 3, 716-722.
- [23] Wang X., Chen T., Yinghua G., Yongfeng J., Studies of land application of sewage sludge and its limiting factors, *Journal of Hazardous Materials* 2008, 160, 554-558.
- [24] Zawadzki S., Gleboznawstwo, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa 1999.
- [25] Adriano D., Wenzel W., Vagrónsveld J., Bolan N.S., Role of assisted natural remediation in environmental cleanup, *Geoderma* 2004, 122, 121-142.
- [26] Yang X., Jin X., Feng Y., Islam E., Molecular mechanisms and genetic basis of heavy metal tolerance/hyperaccumulation in plants, *Acta Botanica Sinica* 2005, 47, 1025-1035.
- [27] Kacprzak M., Wspomaganie procesów remediacji gleb zdegradowanych, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [28] Kacprzak M., Stańczyk-Mazanek E., Changes in the structure of fungal communities of soil treated with sewage sludge, *Biol. Fertil Soils* 2003, 38, 89-95.

### The Influence of Sewage Sludge Addition on Selected Physico-Chemical Parameters of Degraded Soils

One of the most widespread form of soil degradation is the chemical contamination, which is generally seen in industrialized areas and can be manifested as heavy metals pollution. Soils degraded by the toxic emissions from non-ferrous foundries (rich of heavy metals) are very often deficient in organic compounds and suitable microflora because of limited soil's protective abilities in the presence of metallic elements contamination. That kind of soils are hard to revitalize without earlier improvement of soil matrix by specific substratum. Sludges from municipal waste water treatment plants (particularly from country-side ones) are rich in nutritive compounds which can be assimilated by plants. Because of that, sludges can be very effective soil-forming substrates in upper layers of inorganic ground where they can restore a biological activity which is proper for fertile soils. The paper presents the evaluation of municipal sewage sludge influence on selected physico-chemical and biological (bacteria and fungi constitute the most important part of the microflora present in soils) parameters of degraded soil after six months since the application. The investigated soil was taken from the area polluted by Miaszeczo Śląskie zinc foundry, and municipal sewage sludge originated from waste water treatment plant in Pajeczno. Conducted analyses have shown improvement in the majority of studied parameters (fungi and actinomycetes population, pH, TEB, CEC, Kiejdahl's nitrogen and assimilable phosphorus). Applied sewage sludge caused improvement of sorption capacity (cation exchange capacity - CEC) which indicates amelioration of soil's fertility. Sludge used in experiment also indicates high enlargement of assimilable phosphorus in connection to appropriate carbon to nitrogen ratio (C:N). The presented work has shown positive sewage sludge influence on organic matter mineralization processes which confirms the fact that this substratum can be effectively used in degraded soil reclamation e.g. in low cost soil cleaning procedures like phytoremediation.

**Keywords:** municipal sewage sludge, degraded soils, reclamation, soil parameters

