

Maciej NOWAK, Małgorzata KACPRZAK, Anna GROBELAK

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

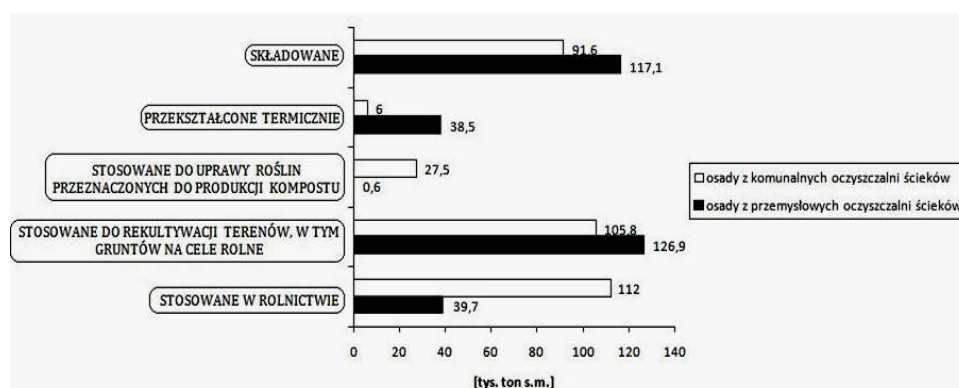
Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi

Osady ściekowe pochodzenia przemysłowego szczególnie z przemysłu spożywczego i drzewnego stanowią doskonały substrat, który można wykorzystać do rekultywacji terenów zdegradowanych pod warunkiem spełnienia przez nie wymogów określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Stwierdzono, że osady ściekowe (ze względu na swoje właściwości) mogłyby być również stosowane na terenach skażonych metalami ciężkimi. Przedstawiono wyniki badań wskazujące, iż w osadach pochodzących z oczyszczalni przemysłowych stężenia Pb, Cd, Cr, Ni i Zn były wielokrotnie niższe niż w próbkach z oczyszczalni komunalnych. Ponadto wysoka wilgotność, odpowiednia zawartość materii organicznej, C, N, P, kwasów huminowych oraz najważniejszych grup mikroorganizmów (bakterie, grzyby, promienioowce) sprawia, że mogą one brać udział w szeregu mechanizmów w procesach rekultywacji i remediacji terenów skażonych, a ich aplikacja korzystnie wpływa na parametry gleb zdegradowanych, zanieczyszczonych metalami ciężkimi.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, nawozy naturalne, metale ciężkie, remediacja i rekultywacja gleb

Wprowadzenie

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się nieustanny wzrost liczby oczyszczalni ścieków i ilości produkowanych odpadów stałych, jakimi są osady ściekowe. W myśl obowiązujących przepisów prawnych (Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach) powstające podczas procesów oczyszczania osady ściekowe winny podlegać zagospodarowaniu [1]. Zgodnie z danymi GUS, w 2008 roku wytworzono odpowiednio 567,3 tys. ton suchej masy osadów w oczyszczalniach komunalnych i 411,6 tys. ton suchej masy osadów w oczyszczalniach przemysłowych [2]. Dlatego też poszukuje się nowych możliwości i kierunków ewentualnego zagospodarowania osadów ściekowych, co pozwoli na wykorzystanie ich m.in. jako substytutu glebowe. Na rysunku 1 zostały przedstawione kierunki zagospodarowania osadów ściekowych powstających w przemysłowych i komunalnych oczyszczalniach ścieków [2].



Rys. 1. Kierunki zagospodarowania osadów ściekowych pochodzących z przemysłowych i komunalnych oczyszczalni ścieków w 2008 roku w Polsce [2]

W związku z pogłębiającą się degradacją środowiska glebowego tereny wymagające rekultywacji charakteryzują się nie tylko zmianami morfologii, ale także zakłóceniem przebiegu procesów biologicznych i często skażeniem związkami toksycznymi, m.in. związkami metali ciężkich, ropopochodnymi, pestycydami. Przy czym zgodnie z definicją, rekultywacja obejmuje „procesy nadające lub przywracające gruntom zdegradowanym wartość użytkową lub przyrodniczą przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu lub poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb” [3]. Dlatego też coraz większe znaczenie ma stosowanie do gleb dodatków o odpowiednich właściwościach jako substratów wspomagających procesy rekultywacji. Takie wymogi spełniają m.in. osady ściekowe.

1. Potencjalne możliwości wykorzystania osadów ściekowych

Osady ściekowe należy traktować jako w pełni wartościowy nawóz organiczny, bogaty w azot, fosfor, mikroelementy oraz łatwo rozkładalną substancję organiczną, uwalniającą podczas procesu mineralizacji składniki odżywcze [4]. Obwarowaniami wpływającymi na ograniczenie lub uniemożliwiającymi stosowanie osadów ściekowych na cele nawozowe gleb i rekultywacyjne gruntów są:

- obecność chorobotwórczych organizmów,
- występowanie nadmiernej zawartości metali ciężkich i szkodliwych związków organicznych zwanych mikrozanieczyszczeniami,
- niewłaściwa konsystencja (płynna, mazista),
- uciążliwości odorowe [5].

Jednakże należy zaznaczyć, iż zastosowanie osadów ściekowych, a ściślej mówiąc materii organicznej pochodzącej z osadów, wpływa korzystnie na fizyczne, chemiczne i mikrobiologiczne właściwości gleb [6]. Dowiedziono, iż wykorzystywanie osadów ściekowych przyczynia się do zwiększenia zasobów próchnicznych, poprawiając tym samym strukturę gleby poprzez zwiększenie stopnia infiltracji, stabilność agregatową (forma gruzełkowata) i pojemność wod-

ną [7]. Wykazano również zdolność wiązania metali ciężkich w poszczególnych składnikach (frakcjach) osadów ściekowych. Za wiązanie metali ciężkich w osadach ściekowych odpowiedzialna jest materia nieorganiczna oraz materia organiczna w nich zawarta [8]. W skład materii nieorganicznej występującej w osadach wchodzi takie związki, jak: fosforany, siarczki, a także w dużym stopniu niekryształiczne tlenki i wodorotlenki Fe i Al oraz Mn [9]. Materia organiczna wykazująca duże powinowactwo względem metali ciężkich występuje natomiast głównie w organizmach żywych, martwych szczątkach organicznych (detrytusu) oraz w warstwie na cząsteczkach mineralnych [10]. Jak wynika z dotychczas przeprowadzonych badań naukowych, jony metali ciężkich zatrzymywane są przez fazę stałą osadów ściekowych i odbywa się to za pośrednictwem różnych mechanizmów, do których zaliczyć można m.in.:

- 1) wymianę jonową,
- 2) adsorpcję odpowiednio na zewnętrznych i wewnętrznych powierzchniach minerałów,
- 3) procesy strącania i współstrącania [8].

Ponadto wykazano, że dodatek osadów ściekowych charakteryzujących się niską zawartością metali ciężkich może powodować znaczący przyrost zarówno biomasy, jak i liczebności mikroorganizmów glebowych, biorących udział w procesach mineralizacji azotu organicznego [11]. Tego typu zabiegi poprawy bilansu substancji organicznej w glebie przyczyniają się do polepszenia warunków dla wzrostu roślin [8]. W literaturze przedmiotu znaleźć można również doniesienia, iż aplikacja osadów do gleby wpływa nie tylko na wzrost populacji bakterii, ale także i grzybów [12]. Badania prowadzone przez Kacprzak i Stańczyk-Mazanek wykazały, że osady ściekowe zwiększają w glebach populację grzybów, takich jak: *Penicillium*, *Verticillium*, *Mucor*, *Mortierella*, *Fusarium*, *Geotrichum* i *Trichoderma* (znany antagonistą wielu patogenów roślinnych) [11]. Wpływ osadu ściekowego na aktywność enzymatyczną gleby jest związany z pochodzeniem osadów oraz z poziomem zawartości w nich związków mineralnych i organicznych. Ocenia się, że istnieje wysoka korelacja pomiędzy wysokością dawki osadu a aktywnością enzymatyczną gleby [8].

Przytoczone powyżej przykłady pozytywnej działalności osadów ściekowych w procesach rekultywacyjnych i rewitalizacyjnych gruntów zdegradowanych pozwalają na wyszczególnienie mechanizmów remediacji, w których to osady biorą szczególny udział. Zaliczyć do nich należy procesy [11]:

- **immobilizacji** (polegający na modyfikacji parametrów fizycznych i chemicznych prowadzących do kompleksowania metali przy udziale grup funkcyjnych kwasów próchnicznych, zwłaszcza kwasów huminowych i fulwowych, posiadających wolne ujemne ładunki),
- **chemostabilizacji metali** (polegający na powstawaniu chemicznie stabilnych soli metali),
- **fitoremediacji** (polegający na dostarczeniu substancji chemicznych, modyfikacji parametrów fizycznych stymulujących procesy fitoekstrakcji i fitostabilizacji),

- **bioaugmentacji** (polegający na wprowadzaniu do środowiska aktywnych szczepów mikroorganizmów),
- **biostymulacji** (polegający na dostarczaniu substancji biogennej aktywizujących mikroflorę glebową).

Celem pracy było określenie możliwości wykorzystania osadów ściekowych (na podstawie właściwości fizyczno-chemicznych i biologicznych) w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi. W badaniach porównano dwa rodzaje osadów komunalnych i przemysłowych.

2. Materiały i metody

2.1. Charakterystyka badanych substratów

Do badań wykorzystano ustabilizowane i odwodnione osady ściekowe z:

- 1) Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Pajęcznie
Nominalna przepustowość oczyszczalni wynosi 1246 m³ ścieków/dobę.
- 2) Oczyszczalni Ścieków „Warta” S.A. w Częstochowie
Nominalna przepustowość oczyszczalni wynosi 50700 m³ ścieków/dobę.
- 3) Oczyszczalni ścieków przemysłowych przy wytwórni wód mineralnych SP „Jurajska” w Myszkowie-Postępie
Nominalna przepustowość oczyszczalni to 550 m³ ścieków/dobę.
- 4) Oczyszczalni ścieków przemysłowych przy zakładach płyt pilśniowych KZPP „Koniecpol” w Koniecpolu
Nominalna przepustowość oczyszczalni to 1700 m³ ścieków/dobę.
Próbki pobrano i analizy wykonano w październiku i listopadzie 2009 roku.

2.2. Oznaczenia fizyczne i chemiczne

Wilgotność próbek badanych substratów oznaczono metodą suszarkowo-wagową zgodnie z PN-ISO 11465:1999 [13].

Odczyn w roztworze wodnym mierzono metodą potencjometryczną z użyciem pH-metru CyberScan pH 10 zgodnie z PN-ISO 10390:1997 [14].

Zawartość azotu ogólnego Kjeldahla oznaczono zmodyfikowaną metodą Kjeldahla zgodnie z PN-ISO 11261:2002 przy wykorzystaniu mineralizatora BÜCHI 323 i aparatu destylacyjnego BÜCHI 323. Metoda ta polega na mineralizacji azotu w środowisku kwaśnym do soli amonu, a następnie oddestylowaniu związanego amoniaku i oznaczeniu jego ilości w destylacie [15].

Oznaczenia węgla ogólnego dokonano na analizatorze LECO S.C-144. Metoda ta polega na ilościowym spalaniu gleb wraz z katalizatorem ułatwiającym rozpad związków węgla w temperaturze 1350°C w strumieniu tlenu, pozbawieniu produktów wilgoci i mechanicznych zanieczyszczeń oraz analizie oczyszczonego gazu metodą detekcji w podczerwieni zgodnie z [16].

Fosfor ogólny (w formie fosforanowej) oznaczono metodą molibdenianową zgodnie z PN-ISO 1189:2000 [17]. Intensywność barwy kompleksowego błękitu

fosfomolibdenianowego oznaczono spektrofotometrycznie w próbkach badanych i wzorcach przy długości fali $\lambda = 660$.

W celu oznaczenia w osadach pierwiastków: Ca i Mg oraz metali ciężkich: Cu, Fe, Pb, Cd, Cr, Ni, Zn próbki analityczne mineralizowano w ultraczystym stężonym kwasie azotowym za pomocą mineralizatora mikrofalowego Uni Clever firmy Plazmotronik. Całkowitą zawartość pierwiastków oznaczono na spektrofotometrze plazmowym ICP-AES firmy Thermo zgodnie z PN-ISO 11047:2001 [18].

2.3. Oznaczenia mikrobiologiczne

Analizę ilościową mikroorganizmów wykonano metodą płytek tartych Kocha, stosując rozcieńczenia od 10^{-1} do 10^{-5} . Posiewy wykonano na płytce Petriego i inkubowano w inkubatorze mikrobiologicznym BMT Incucell. W celu wyznaczenia ogólnej liczby bakterii zastosowano agar odżywczy. Mikroorganizmy mezofilne hodowano w temp. 37°C przez okres 24 h; psychofilne w temp. 20°C przez okres 48 h. Izolację grzybów i promieniowców wykonano na podłożach agarowych odpowiednio: dla grzybów - agar Sabouraudan z chloramfenikolem i gentamycyną, dla promieniowców - agar Actinomycete z glicerolem i asparaginą. Posiane płytki inkubowano w temp. 22°C przez 7 dni. Po okresie hodowlanym policzono wyrosłe kolonie mikroorganizmów, a wynik wyrażono jako jtk (jednostki tworzące kolonie).

Bakterie z grupy coli oznaczono metodą fermentacyjno-probówkową na płynnym podłożu laktozowym Ejkmanna zgodnie z normą PN-75/C-04615.05. [19].

Pałeczki Salmonella wykrywano zgodnie z normą PN-ISO 6579:1998 na wybiórczym podłożu agarowym Salmonella-Shigella [20].

Bakterie z rodzaju *Clostridium perfringens* oznaczono na pożywce żelazowo-siarczanowej Wilsona-Blaire'a metodą posiewu wgłębnego.

Obecność jaj pasożytów jelitowych (*Ascaris lumbricoides* i *Trichuris trichura*) oznaczono zgodnie z normą PN-Z-19000-4:2001 [21].

3. Wyniki badań i ich omówienie

W tabeli 1 przedstawiono fizyczno-chemiczną charakterystykę badanych osadów ściekowych pochodzących z Oczyszczalni Ścieków Komunalnych w Pajęcznie i Oczyszczalni Ścieków „Warta” S.A. w Częstochowie oraz z oczyszczalni przemysłowych przy SP „Jurajska” w Myszkowie-Postępie i przy zakładzie płyt pilśniowych KZPP „Konięcpol” w Konięcpolu.

Zaobserwowano, iż wartość pH badanych substratów mieściła się w granicach od 6,78 do 8,25. Odczyn obojętny odnotowano w przypadku próbek pochodzących z przemysłowych oczyszczalni ścieków oraz w przypadku osadów z oczyszczalni komunalnej w Pajęcznie. Natomiast osady z oczyszczalni „Warta” S.A. w Częstochowie charakteryzowały się odczynem lekko zasadowym.

Tabela 1
Charakterystyka fizyczna i chemiczna badanych osadów ściekowych pochodzenia komunalnego i przemysłowego

Parametr	Jednostka	Wartość			
		Osady ściekowe z oczyszczalni komunalnej w Pajęcznie	Osady ściekowe z oczyszczalni komunalnej „Warta” S.A w Częstochowie	Osady ściekowe z wytwórni wód mineralnych SP „Jurajska”	Osady ściekowe z zakładów płyt pilśniowych Konięcpol
wilgotność	%	74,32±1,6	76,00±0,8	89,91±0,3	86,50±0,5
pH w H ₂ O	-	7,4±0,3	8,25±0,00	6,89±0,00	6,78±0,06
substancje organiczne	% s.m.	43,82±1,1	62±0,9	43,5±0,1	49,49±1,4
N	mg g ⁻¹ s.m.	44,5±0,3	80,50	65,45±0,1	58,87±0,5
P	mg g ⁻¹ s.m.	15,32±0,9	17,42±0,1	30,00±0,2	25,30±1,2
Mg	mg g ⁻¹ s.m.	2,9±0,3	2,4±0,1	3,22±0,0	1,20±0,0
Ca	mg g ⁻¹ s.m.	6,7±0,6	5,8±0,3	4,20±0,0	5,20±0,0
Cu	mg kg ⁻¹ s.m.	190±20	95,79±8	35,0±1,20	55,00±2,5
Fe	mg kg ⁻¹ s.m.	4380±110	2620±30	2000±60	2200±80
Pb	mg kg ⁻¹ s.m.	320±20	130±1,30	8,03±0,4	7,22±0,5
Cd	mg kg ⁻¹ s.m.	22±8	2,8±0,7	0,40±0,0	0,50±0,0
Cr	mg kg ⁻¹ s.m.	23±3	33,8±0,9	1,61±0,0	2,10±0,3
Ni	mg kg ⁻¹ s.m.	170±40	128,9±12	0,63±0,0	2,50±0,1
Zn	mg kg ⁻¹ s.m.	4990±90	2046±35	52,73±2,0	67,50±25,0

Analizowany parametr stanowi główny czynnik determinujący rozpuszczalność związków metali w środowisku glebowym, a tym samym skuteczność immobilizacji. Od odczynu zależy między innymi ustalenie równowagi pomiędzy procesami sorpcji i desorpcji zarówno jonów metali, jak również jonów wodorowych [22]. Rozpuszczalność związków metali ciężkich warunkowana przez procesy sorpcji wymiennej jest niewielka w odczynie obojętnym i zasadowym, zaś znacznie wyższa w kwaśnym [16]. Badane substraty wykazywały pożądane właściwości, jeśli chodzi o wartość pH, ponadto dozowanie ich do gleby zdegradowanej nie przyczynia się do zakwaszenia środowiska glebowego. W badaniach Kacprzak [11] stwierdzono, że stosowanie do gleb kwaśnych osadów ściekowych powoduje wzrost pH, a efekt ten utrzymuje się przez kilka miesięcy.

Kolejnym ważnym parametrem jest procentowy udział substancji organicznych w suchej masie osadu. W badanych próbkach osadu wynosił on odpowiednio w granicach od 43,5 do 62% s.m. Przy czym najwyższą zawartością substancji organicznych w suchej masie charakteryzowały się osady pochodzące z oczyszczalni ścieków „Warta” S.A. w Częstochowie. W pozostałych przypadkach wartości oscyływały w granicach 45%. Jak podają dane literaturowe, zawar-

tość substancji organicznych w suchej masie osadu może być różna i zależeć od wielu czynników, m.in. od procesu przeróbki, stabilizacji i uwilgotnienia [23]. Przyjmuje się, że w osadach dobrze ustabilizowanych zawartość substancji organicznych stanowi 50% s.m. [8]. Wartość ta może jednak wahać się w granicach od 30 do 70% s.m. (według Księżpolskiej i in.) [24]. Jednakże, rolnicze znaczenie mają już osady, w których zawartość substancji organicznych wynosi co najmniej 20%. Wysoka zawartość substancji organicznych przyczynia się do wytwarzania połączeń metaloorganicznych, a w rezultacie do zwiększenia sorpcji i chemostabilizacji metali [25].

Pierwiastki biogenne stanowią podstawę w prawidłowym przebiegu cykli biogeochemicznych, głównie cyklu węgla. Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi zwykle zawierają bardzo niskie stężenia N, P [26]. Stąd też wprowadzenie osadów ściekowych pozwala na uzupełnienie tego niedoboru, szczególnie w mechanizmach biostymulacji i wspomagania fitoremediacji.

Zawartość azotu w badanych osadach wahała się w granicach od 44,5 do 80,5 mg g⁻¹ s.m., a fosforu od 15,32 do 30,00 mg g⁻¹ s.m. Najwyższą wartość w przypadku azotu uzyskano w osadzie pochodzącym z oczyszczalni „Warta” S.A. w Częstochowie, natomiast najmniejszą zanotowano w próbce osadu pochodzącej z oczyszczalni komunalnej w Pajęcznie. W przypadku zawartości fosforu najwyższą wartość odnotowano w osadach z SP „Jurajska” w Myszkowie-Postępie, natomiast najmniejszą ponownie w przypadku oczyszczalni w Pajęcznie.

Tabela 2

Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w stosowanych komunalnych osadach ściekowych, wg [5]

Ilość metali ciężkich w mg kg ⁻¹ suchej masy osadu nie większa niż: Przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych			
Metale	w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji te- renów na cele nierolne	Przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, pla- nów zagospodarowania przestrzen- nego lub decyzji o warunkach zabu- dowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy ro- ślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
Ołów	500	1000	1500
Kadm	10	25	50
Rtęć	5	10	25
Nikiel	100	200	500
Cynk	2500	3500	5000
Miedź	800	1200	2000
Chrom	500	1000	2500

Zawartość metali ciężkich w badanych osadach ściekowych (tab. 2) w większości przypadków mieściła się w normach określonych w rozporządzeniu ministra środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych [5]. Oznacza to, że osady te nadają się do przyrodniczego zagospodarowania. Należy zauważyć, iż dwa pierwiastki (cynk i nikiel) przekroczyły dopuszczalne wartości przewidziane dla osadów ściekowych przeznaczonych na cele rolne i rekultywacyjne. Na uwagę zasługuje natomiast bardzo niewielka, wręcz śladowa zawartość metali ciężkich w osadach pochodzących z przemysłowej oczyszczalni ścieków przy SP „Jurajska” w Myszkowie-Postępie i zakładów płyt pilśniowych w Koniecpolu.

Tabela 3

Charakterystyka mikrobiologiczna badanych osadów ściekowych

Parametr	Jednostka	Wartość			
		Osady ściekowe z oczyszczalni komunalnej w Pajęcznie	Osady ściekowe z oczyszczalni komunalnej „Warta” w Częstochowie	Osady ściekowe z wytwórni wód mineralnych SP „Jurajska”	Osady ściekowe z zakładów płyt pilśniowych KZPP Koniecpol
bakterie mezofilne	jtk/g	128 600	70 000	50 000	b. danych
bakterie psychrofilne	jtk/g	123 600	64 000	45 000	b. danych
promieniowce	jtk/g	350	370	< 100	< 100
grzyby	jtk/g	3700	3200	2500	1600
miano coli	-	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
miano <i>Clostridium perfringens</i>	-	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	-
bakterie Salmonella w 100 g osadu	-	stwierdzono	stwierdzono	nie stwierdzono	nie stwierdzono
liczba żywych jaj pasożytów jelitowych	Liczba jaj/kg s.m.	nie stwierdzono	99	nie stwierdzono	nie stwierdzono

Prezentowane w tabeli 3 wyniki badań parametrów mikrobiologicznych i parazytologicznych wskazują, że osady po procesach stabilizacji i odwadniania charakteryzowały się licznymi populacjami zarówno bakterii, jak i promieniowców i grzybów. Stwierdzono przy tym, iż liczebność wszystkich badanych grup mikroorganizmów była wyższa w próbkach pochodzących z oczyszczalni ścieków komunalnych niż przemysłowych.

Porównując liczbę jednostek propagacyjnych, odnotowano nieznacznie wyższą liczebność bakterii mezofilnych w porównaniu z bakteriami psychrofilnymi.

Analiza dotycząca obecności bakterii z rodzaju *Salmonella* pozwoliła stwierdzić ich występowanie w dwóch spośród czterech poddanych badaniom osadów.

Bakterie z rodzaju *Salmonella* wykryto w osadach pochodzących z oczyszczalni komunalnych w Pajęcznie i „Warta” S.A. w Częstochowie, wyjątek stanowiły osady pochodzące z oczyszczalni przemysłowych, w których to nie stwierdzono występowania tych bakterii. Ponadto badane substraty zawierały również dość dużą liczbę bakterii z grupy coli i *Clostridium*. Stosunkowo duża liczba jelitowych pałeczek okrężnicy świadczy o potencjalnym zagrożeniu sanitarnym.

Na podwyższony stopień zagrożenia sanitarnego jednego z analizowanych osadów ściekowych bezpośredni wpływ ma również obecność zapłodnionych i niezapłodnionych jaj pasożytów, należących do rodzaju *Ascaris lumbricoides* i *Trichuris trichura*, których liczba w jednym kilogramie osadu zagęszczonego wynosiła maksymalnie odpowiednio 66 i 33 (tab. 3). Obecność wyżej wymienionych żywych jaj pasożytów jelitowych odnotowano w przypadku osadów pochodzących z oczyszczalni ścieków komunalnych „Warta” S.A. w Częstochowie. Jednakże ze względu na ilość i skład gatunkowy zawartych w nich mikroorganizmów osady ściekowe stanowią dobre źródło bakterii, grzybów, promieniowców i dlatego też mogą być stosowane jako substraty w procesach bioaugmentacji [27].

Podsumowanie

Obowiązujące prawo nie zezwala na stosowanie osadów ściekowych na glebach o wysokiej zawartości metali ciężkich. Jednak, jak wynika z przedstawionych badań, osady ściekowe (szczególnie pochodzące z oczyszczalni ścieków przemysłu drzewnego i spożywczego) są doskonałym substytutem glebowym, mogącym znaleźć zastosowanie do nawożenia terenów zdegradowanych, skażonych metalami ciężkimi. Wysoka wilgotność, odpowiednia zawartość materii organicznej, C, N, P, kwasów huminowych, najważniejszych grup mikroorganizmów powodują, że osady ściekowe mogą brać udział w szeregu mechanizmów w procesach nie tylko rekultywacji, ale także remediacji terenów skażonych. Przy czym ich właściwości fizyczno-chemiczne czy biologiczne (ze względu na małą zmienność procesu technologicznego) pozostają stabilne. Analiza zawartości metali ciężkich wykazała, że w osadach pochodzących z oczyszczalni przemysłowych stężenia Pb, Cd, Cr, Ni i Zn były wielokrotnie niższe niż w próbkach z oczyszczalni komunalnych. Stwierdzono także niewielkie zagrożenie przedostania się do nich mikroorganizmów patogennych (odpornych na procesy stabilizacji), co niewątpliwie jest jednym z mankamentów osadów pochodzących z komunalnych oczyszczalni ścieków.

Badania kolumnowe, wazonowe i polowe prowadzone od kilku lat przez autorów niniejszego opracowania potwierdziły korzystny wpływ aplikacji osadów ściekowych na parametry gleb zdegradowanych, zanieczyszczonych metalami ciężkimi [11, 27, 28]. Niezależnie od gatunku uprawianej rośliny (trawy, słonecznik, wierzba, sosna, brzoza, buk, olsza) zawsze odnotowano wzrost pH, pojemności sorpcyjnej, C, N, P; liczebności takich grup mikroorganizmów, jak bakterie, grzyby czy promieniowce. Obserwowano przy tym intensyfikację

immobilizacji takich metali, jak Zn, Cd i Pb, co prawdopodobnie było związane z tworzeniem się połączeń metaloorganicznych. Efekt ten utrzymywał się przez 4-6 miesięcy prowadzenia doświadczeń, po czym następował spadek pH, dość szybki ubytek materii organicznej i azotu. Jednak pozwalało to na zainicjowanie procesów glebowych i niewątpliwie stworzyło dogodne warunki środowiskowe do rozwoju roślin, o czym świadczy wyższa biomasa roślin rosnących na poletkach z osadami. Przy czym stosowana dawka osadów ściekowych zwykle nie przekraczała 50 ton s.m./ha (dopuszczalna dawka rekultywacyjna wynosi 200 ton s.m./ha).

Podsumowując, należy stwierdzić, że osady ściekowe są nie tylko dobrym materiałem nawożeniowym w rekultywacji gleb, ale także substratem wspomagającym wiele mechanizmów remediacji (biostymulacja, bioaugmentacja, immobilizacja, fitoremediacja), stąd też powinny być stosowane (np. w formie kompostów) na tereny zdegradowane, skażone metalami ciężkimi.

Badania finansowane w ramach badań własnych BW/401/204/07.

Literatura

- [1] Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r., DzU 2001, Nr 62, poz. 628.
- [2] GUS, Ochrona Środowiska 2009, Informacje i Opracowania Statystyczne, Warszawa 2009.
- [3] Dulewski J., Uzarowicz R., Aspekty prawne rekultywacji i rewitalizacji terenów zdegradowanych działalnością górniczą, CBiDGP i IETU, 2007, 76-85.
- [4] Rosik-Dulewska C., Podstawy gospodarki odpadami, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, DzU Nr 134, poz. 1140.
- [6] Gasco G., Martinez-Inigo M., Lobo M., Soil organic matter transformation after a sewage sludge application, EJEAFChe 2004, 3, 716-722.
- [7] Obbard J., Ecotoxicological assessment of heavy metals in sewage sludge amended soils, Applied Geochemistry 2001, 16, 1405-1411.
- [8] Wilk M., Gworek B., Metale ciężkie w osadach ściekowych, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 2009, 39.
- [9] Merrington G., Oliver I., Smernik I., The influence of sewage sludge properties on sludge - borne metal availability, Advances in Environmental Research 2003, 8, 21-36.
- [10] Karczewska A., Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi - formy i rozpuszczalność, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu 2002, 432.
- [11] Kacprzak M., Wspomaganie procesów remediacji gleb zdegradowanych, Monografia nr 128, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [12] Banerjee M., Burton D., Depoe S., Impact of sewage sludge application on soil biological characteristic, Agriculture, Ecosystems & Environment 1997, 66, 241-249.
- [13] PN-ISO 11465:1999. Jakość gleby. Oznaczanie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie przeliczeniu na suchą masę gleby. Metoda wagowa.
- [14] PN-ISO 10390:1997. Jakość gleby. Oznaczenie pH.
- [15] PN-ISO 11261:2002. Jakość gleby. Oznaczenie azotu ogólnego. Zmodyfikowana metoda Kjeldahla.

- [16] Karczewska A., Kabała C., *Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin*, AR we Wrocławiu, Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, wyd. 4, Wrocław 2008.
- [17] PN-ISO 1189:2000. Jakość wody - Oznaczenie fosforu - metoda spektrofotometryczna z molibdenianem amonu.
- [18] 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.
- [19] PN-75/C-04615.05. Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczenie bakterii grupy coli metodą fermentacyjną probówkową.
- [20] PN-ISO 6579:1998. Mikrobiologia. Ogólne zasady metod wykrywania pałeczek Salmonella.
- [21] PN-Z-1900004:2001. Jakość gleby. Ocena stanu sanitarnego gleby. Wykrywanie jaj pasożytów jelitowych *Ascaris lumbricoides* i *Trichuris trichuria*.
- [22] Alloway B.J., Ayres D.C., *Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [23] Siuta J., *Przyrodnicze użytkowanie odpadów*, Monografia, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2002.
- [24] Księżpolska A., Żukowski G., Flis-Bujak M., Wpływ nawożenia osadami ściekowymi na powierzchnię właściwą gleby lekkiej i wydzielonej z niej kwasów humusowych, *Acta Agrophysica* 2002, 73, 221-229.
- [25] Dube A., Zbytniewski R., Kowalkowski T., Adsorption and migration of heavy metals in soil, *PJOES* 2001, 1, 1-10.
- [26] Kacprzak M., Fijałkowski K., Grobelak A., Nowak M., Monitored natural attenuation (MNA) of forest soils within terrain of zinc smelter, *Proceedings of Consoil conference*, 2010.
- [27] Kacprzak M., Fijałkowski K., Mycorrhiza and sewage sludge effect on biomass of sunflower and willow during phytoremediation of degraded terrain within zinc foundry zone, *Environment Protection Engineering* 2009, 35(2), 181-186.
- [28] Kacprzak M., Fijałkowski K., Nowak M., Rekultywacyjne zagospodarowanie osadów ściekowych z wytwórni wód mineralnych i zakładów płyt pilśniowych, [w:] *Gospodarka odpadami komunalnymi*, Monografia. Komitet Chemii Analitycznej PAN, tom IV, 2010 (w druku).

Sewage Sludge as a Substitute of Soil in the Process of Remediation and Reclamation of Sites Contaminated with Heavy Metals

Sewage sludge of industrial origin in particular from the food and the wood industry, is an excellent substrate that can be used for restoration of degraded land, if it meets the requirements specified in the Regulation of the Minister of Environment from 2002 on municipal sewage sludge. It was found that sludge (due to its properties) could also be used in areas contaminated by heavy metals. The results of research indicate that in the sediments from industrial effluent, concentrations of Pb, Cd, Cr, Ni and Zn were many times lower than in the samples from municipal sewage treatment plants. In addition, such features like high humidity, adequate organic matter content, presence of C, N, P, humic acid, and the main groups of microorganisms (bacteria, fungi, actinomycetes) make that the sludge can participate in a series of mechanisms in the processes of reclamation and remediation of contaminated sites and its application improves the performance of degraded soils contaminated with heavy metals.

Keywords: sewage sludge, manure, heavy metals, remediation, reclamation, soil