

**Magdalena SZEWCZYK**

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii  
Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa  
e-mail: m.bruchal@is.pcz.pl

## Osady ściekowe jako substytut w odtwarzaniu gleby w procesie rekultywacji gruntów po górnictwie odkrywkowym wapieni

Postęp techniczny w polskim górnictwie surowców węglanowych sprawił, że możliwa stała się eksploatacja złóż zalegających na dużych głębokościach. W związku z tym oddziaływanie górnictwa odkrywkowego staje się bardziej agresywne, pozostawiając trwale zmiany w środowisku. Najbardziej zauważalne przemiany wiążą się ze zmianą ukształtowania powierzchni pod wyrobiska odkrywkowe i zwałowiska zewnętrzne oraz prowadzonym na szeroką skalę odwodnieniem górotworu. Skutki środowiskowe działalności wydobywczej wapieni minimalizuje się poprzez kompleksową rekultywację terenów pogórnicznych. Działalność rekultywacyjna polega na stworzeniu odpowiednich warunków glebowych do wprowadzenia i utrzymania roślinności na terenach poeksploatacyjnych. Znaną metodą technicznego odtwarzania gleby na gruntach zdegradowanych jest wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych pod warunkiem spełnienia wymogów określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Jednym z kryteriów kwalifikujących osady ściekowe do przyrodniczego zagospodarowania jest zawartość metali ciężkich (zarówno w komunalnych osadach ściekowych, jak i w gruncie, na którym mają być stosowane). Optymalnymi zatem gruntami do zastosowania osadów ściekowych są grunty bezglebowe o odczynie alkalicznym, czyli wyrobiska po eksploatacji wapieni. Na gruntach tych, charakteryzujących się dużą pojemnością buforową, wyklucza się możliwość szybkiej zmiany odczynu, a tym samym łatwego uwalniania metali ciężkich. Z kolei, znaczna zawartość w komunalnych osadach ściekowych materii organicznej i składników pokarmowych sprawia, że mogą one brać udział w odtwarzaniu gleby w procesie rekultywacji gruntów po wydobyciu wapieni, a ich aplikacja korzystanie wpływa na parametry gleb zdegradowanych o podwyższonym pH.

**Słowa kluczowe:** górnictwo odkrywkowe, surowce węglanowe, rekultywacja gruntów, osady ściekowe

### Wprowadzenie

Eksploatacja surowców cementowo-wapienniczych w Polsce zajmuje dominującą pozycję w ogólnym bilansie wydobywczym kraju [1, 2]. Możliwości rozwojowe wynikają przede wszystkim ze znaczących udokumentowanych zasobów wapieni i margli na poziomie 18 mln ton, dużej liczby kopalń z wydobyciem rocznym ponad 1 mln ton oraz rysującego się w dłuższym okresie zapotrzebowania na te surowce w związku z programem budowy dróg i autostrad [3]. Oprócz bogatych pokładów skał węglanowych w Polsce i pozytywnych aspektów szerokiego zastosowania problem stanowi metoda ich wydobycia. Odkrywkowa eksploatacja wapieni i margli pociąga bowiem za sobą znaczne przekształcenie środowiska przy-

rodniczego. Masowo prowadzone roboty przygotowawcze, skrywkowe w nadkładzie, a także udostępniające i eksploatacyjne w złożu doprowadzają do powstawania głębokich wykopów [4]. Towarzyszące powyższym działaniom usuwanie warstwy gleby powoduje powstawanie gruntu bezglebowego, tj. pozbawionego struktury agrotechnicznej, charakteryzującego się twardym podłożem, wysokim odczynem na poziomie obojętnego lub zasadowego, niekorzystnym stosunkiem węgla do azotu, niską zawartością węgla organicznego, a także fosforu, azotu i potasu [5]. Powstałe zatem grunty bezglebowe cechują się niedostateczną jakością do wprowadzania roślinności i jej utrzymania [4]. Obowiązujące w Polsce przepisy prawa nakazują, by przedsiębiorca górniczy po zakończeniu eksploatacji przeprowadził rekultywację przekształconych obszarów. W ramach działań rekultywacyjnych obowiązkiem przedsiębiorcy górniczego jest stworzenie m.in. odpowiednich warunków glebowych, umożliwiających prawidłowy wzrost i rozwój nasadzeń [6, 7].

## **1. Uwarunkowanie formalnoprawne wykorzystywania osadów ściekowych w celach rekultywacyjnych**

Ideą byłoby, aby odtwarzanie warstwy glebowej na gruntach po górnictwie odkrywkowym wapieni odbywało się przy wykorzystaniu naturalnie żyznej gleby (pochodzącej np. ze zdjętej w trakcie robót udostępniających złoże warstwy urodzajnej). W większości przypadków brak jest takiej możliwości (duże powierzchnie do rekultywacji, cena ziemi urodzajnej, koszty transportu itp.). Wówczas należy utworzyć taką warstwę przy zastosowaniu komponentów możliwych do pozyskania w ekonomicznie i środowiskowo uzasadniony sposób [8]. Rolę tego typu komponentów pełnią osady z oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych, szczególnie z małych, gminnych oczyszczalni, oraz komposty wytworzone na bazie osadów ściekowych lub innych odpadów biodegradowalnych [9-14]. Rekultywacja gruntów przy użyciu osadów lub wytworzonych z nich kompostów polega na melioracyjnym uzupełnieniu próchnicotwórczej substancji organicznej i składników pokarmowych [15]. Kryterium środowiskowe wykorzystania osadów ściekowych do odtwarzania warstwy urodzajnej na gruntach poeksploatacyjnych nakłada obowiązek spełnienia wymogów określonych Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [16]. Ograniczeniami wykorzystania osadów ściekowych do rekultywacji gruntów, zgodnie z wyżej wymienionym rozporządzeniem, są:

- obecność chorobotwórczych organizmów,
- występowanie nadmiernej zawartości metali ciężkich i szkodliwych związków organicznych, zwanych mikrozanieczyszczeniami,
- niewłaściwa konsystencja (płynna, mazista),
- uciążliwości odorowe [17].

Zniszczenie chorobotwórczych mikroorganizmów oraz jaj pasożytów jelitowych znosi całkowicie sanitarne bariery w rekultywacyjnym (glebotwórczym) użytkowaniu osadów ściekowych [4].

Przy zagospodarowaniu komunalnych osadów ściekowych na terenach po odkrywkowej eksploatacji surowców węglanowych należy również spełnić warunki terenowe i gruntowe ich rekultywacyjnego użytkowania, które określa Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe [18]. Jednym z wymogów, który może utrudnić stosowanie osadów ściekowych na ww. terenach, jest zapis w rozporządzeniu, że osady ściekowe nie mogą być wykorzystywane w celach nieprzemysłowych na obszarach, które stanowią grunty o dużej przepuszczalności, to jest piaski luźne i słabogliniaste oraz piaski gliniaste lekkie, jeżeli poziom wód gruntowych sięga do 1,5 m od powierzchni gruntu. W przypadku złóż wapieni i margli napotyka się na płytkie zaleganie zwierciadła wód podziemnych i tym samym brak możliwości stosowania komunalnych osadów ściekowych w celach rekultywacyjnych.

Wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych obwarowane jest także spełnieniem szeregu zaleceń administracyjnych. Podmiot zamierzający prowadzić rekultywację gruntów z zastosowaniem komunalnych osadów ściekowych jest zobowiązany w pierwszej kolejności uzyskać decyzję inspektora sanitarnego, zezwalającą na ich użycie do rekultywacji wraz z opiniami oraz wynikami badań [4]. Powyższą decyzję wydaje się w trybie artykułu 26 Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. [19].

## **2. Właściwości komunalnych osadów ściekowych niezbędne w rekultywacji gruntów**

Komunalne osady ściekowe są produktem ubocznym powstającym w instalacjach służących do oczyszczania ścieków komunalnych i innych ścieków o składzie zbliżonym do ścieków komunalnych. Szacuje się, że objętość powstających osadów stanowi około 2% oczyszczanych ścieków i zawiera ponad połowę ładunku zanieczyszczeń dopływających wraz ze ściekami do oczyszczalni [20]. Do niedawna podstawowym kierunkiem zagospodarowania tak znacznej masy powstających osadów ściekowych było ich składowanie jako metoda unieszkodliwiania [21]. Jednak zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa - Ustawa o odpadach nakłada na wytwórcę odpadów stosowanie sposobów produkcji, które zapobiegają powstawaniu odpadów lub zminimalizują ich ilość. Ponadto, w pierwszej kolejności posiadacz odpadów jest zobowiązany do poddania ich odzyskowi, a jeżeli jest to niemożliwe, wówczas ich unieszkodliwienia [4, 22].

Jedną z metod odzysku osadów ściekowych jest wykorzystanie ich do rekultywacji gruntów zdegradowanych. Właściwością osadów, która przemawia za ich rekultywacyjnym użytkowaniem, jest wysoka zawartość substancji organicznej -

średnio na poziomie 80% dla suchej masy osadów surowych, 54% dla suchej masy osadów ustabilizowanych [12, 15, 22]. Zawartość substancji organicznej jest bardzo istotnym wskaźnikiem przy wykorzystaniu osadów w rekultywacji gruntów pogórnicych, gdyż świadczy o ich właściwościach glebotwórczych [9, 17]. Przydatna dla rekultywacji gruntów zdegradowanych jest także wysoka zawartość w komunalnych osadach ściekowych azotu i fosforu. Zawartość azotu w suchej masie osadów wynosi  $0,9 \div 7,6\%$  (przeciętnie 2,5%) z tym, że ilość azotu w osadach surowych jest wyższa, a w ustabilizowanych podobna do zawartości w gnojownicy. Zawartość fosforu jest podobna jak w naturalnych nawozach organicznych odpowiednio na poziomie  $0,6 \div 9,2\%$  (przeciętnie 3%). Z kolei, ilość potasu w osadach wynosi  $0,1 \div 0,6\%$  s.m. i jest niższa niż w nawozach organicznych naturalnych [21].

Powyższe zawartości składników pokarmowych i próchnicotwórczej materii organicznej w komunalnych osadach ściekowych stwarzają korzystne warunki do intensywnego wzrostu roślin i sprzyjają zagospodarowaniu gruntów pogórnicych. Na gruncach o wysokim pH, charakteryzujących się dużą pojemnością buforową, wyklucza się możliwość szybkiej zmiany odczynu, a tym samym łatwego uwalniania metali ciężkich, których zawartość w osadach jest jednym z kryteriów kwalifikujących do wykorzystania na cele rekultywacyjne [9-14]. Osady ściekowe wprowadzane do gruntu bezglebowego na wyrobiskach po wydobyciu wapieni mogą oddziaływać na te grunty:

- jako nawóz zasilający grunt i rośliny w składniki pokarmowe,
- jako materiał organiczny poprawiający strukturę gleby i jej właściwości fizyczno-chemiczne [4, 9].

### **3. Zastosowanie osadów ściekowych w rekultywacji terenów poeksploatacyjnych kopalni wapienia**

Stosowanie osadów ściekowych w odbudowie zdegradowanych terenów po wydobyciu wapieni było badane przez autorów na licznych kopalniach w Hiszpanii [9, 10, 14]. Badania przeprowadzone w kamieniołomach wapienia wykazały pozytywny wpływ zastosowania osadów ściekowych jako nawozu poprawiającego właściwości fizykochemiczne gleby. Moreno-Penaranda i inni [9] wskazują na wzrost zawartości substancji organicznej oraz azotu i fosforu nawet w dłuższej perspektywie czasu od zastosowania komunalnych osadów ściekowych. Autorzy prowadzili doświadczenie m.in. na dwóch kopalniach wapienia, na których zostały założone poletka doświadczalne z wymieszaniem osadu z glebą w proporcji 5:1 i w jednorazowej dawce suchej masy osadu w zakresie  $200 \div 500$  Mg/ha. Po 5,5 latach prowadzenia eksperymentu zauważono, w odniesieniu do powierzchni kontrolnej, umiarkowany wzrost w zawartości węgla organicznego z 0,1 do 2,9% (kopalnia Girona A) oraz z 1,1 do 3,1% (kopalnia Girona B). Autorzy w pracy zwracają szczególną uwagę na znaczny wzrost zawartości fosforu ogólnego w gruncie o odpowiednio z 29,2 do 140 mg/kg - Girona A i z 41,6 do 699,2 mg/kg - Girona B. Z kolei, Marando i inni [14] prowadzili doświadczenie z wykorzystaniem polietylenowych lizymetrów wypełnionych gruntem powapiennym dodatko-

wo wzbogaconym osadami ściekowymi pochodzącymi z technologii kompostowania i obróbki termicznej. Autorzy w eksperymencie zastosowali dawkę osadu na poziomie 107 Mg/ha osadów suszonych termicznie i 171 Mg/ha osadów poddanych kompostowaniu. Na powierzchni dodatkowo wprowadzono mieszanki traw. Po 13 miesiącach trwania doświadczenia zauważono już znaczny wzrost w zawartości substancji organicznej z 0,5 do 1,9% (osady z kompostowania) i z 0,5 do 1,7% (osady z obróbki termicznej) oraz azotu z 0,07 do 0,14% (osady z kompostowania) i z 0,07 do 0,11% (osady z obróbki termicznej). Dodanie osadu wysuszonego do gruntu powoduje zwiększoną mineralizację materii organicznej niż dodatek kompostowanego osadu do gleby. Według Marando i innych [14], suszenie termiczne osadów powoduje, że materia organiczna łatwiej ulega rozkładowi i tym samym jest bardziej podatna na działanie mikroorganizmów.

W Polsce badania nad zmianą właściwości gruntów pod wpływem zastosowania komunalnych osadów ściekowych prowadził Kusza [11]. Powierzchnie doświadczalne zostały założone przez autora na kopalni Tarnów Opolski, na których zastosowano osad ściekowy w dawkach 86 Mg/ha (pow. nr 1 - rozproszanie osadu po powierzchni) i 66 Mg/ha (pow. nr 2 - aplikacja punktowa osadu). Obserwowane przez autora grunty po 7 miesiącach od zastosowania osadów wykazały znaczne wzbogacenie w próchnicę o 2,17% pow. nr 1 i o 3,53% pow. nr 2, czyli na poziomie zbliżonym, a nawet wyższym niż w glebach uprawnych. Poza tym Kusza [11] wskazuje na początkowo niskie wartości azotu ( $0,04 \div 0,08\%$ ), świadczące o niewielkiej zawartości substancji organicznej w gruncie powapiennym (wartość 0,02% typowa dla poziomów mineralnych gleb), które po aplikacji osadu osiągnęły poziom średniej zawartości tego pierwiastka jak w warstwie ornej większości gleb Polski ( $0,1 \div 0,3\%$ ). Zastosowanie osadów ściekowych w przypadku ich rozproszania na całej powierzchni (pow. nr 2) przyczyniło się do ponad 4-krotnego wzrostu ilości fosforu [11].

Zawartości metali ciężkich w analizowanych przez autora [11] próbkach z powierzchni doświadczalnych, po okresie siedmiu miesięcy od zastosowania osadu, nie przekroczyły dopuszczalnych norm dla osadów przeznaczonych do stosowania do celów rekultywacyjnych. Największy wzrost wykazały:

- chrom (Cr) z 12,4 do 16,9 mg/kg (pow. nr 1) i z 11,6 do 27,8 mg/kg (pow. nr 2),
- nikiel (Ni) z 18,2 do 23,1 mg/kg (pow. nr 1) i z 18,0 do 24,5 mg/kg (pow. nr 2),
- ołów (Pb) z 82,0 do 86,7 mg/kg (pow. nr 1) i z 96,6 do 109,3 mg/kg (pow. nr 2).

Umiarkowany wzrost w zawartości metali ciężkich po zastosowaniu niskiej dawki osadów ściekowych na gruncie powapiennym uzyskali Ortiz i Alcaniz [10]. Wzrost ten po miesiącu od zastosowania osadu w dawce 100 g/kg gleby nie przekroczył 10 mg/kg gleby dla Ni, Cr i Cd. Z kolei, wartości metali, tj. Pb, Zn i Cu, osiągnęły wzrost na poziomie  $15 \div 40$  mg/kg gleby w stosunku do wartości początkowych w gruncie. Przy maksymalnej zastosowanej dawce osadu 1000 g/kg gleby uzyskano największy wzrost w zawartości metali w gruncie dla:

- cynku (Zn) z 65,9 do 674,8 mg/kg gleby,
- miedzi (Cu) z 31,8 do 238,2 mg/kg gleby,
- ołowiu (Pb) z 40,3 do 220,4 mg/kg gleby.

Zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych jest głównym kryterium kwalifikującym osady do wykorzystania na cele rekultywacyjne ze względu na ryzyko ich dalszego przeniesienia do łańcucha pokarmowego. Ryzyko to zwiększa wysoka zawartość substancji organicznej w osadach, która może mieć wpływ na ich rozpuszczalność [10]. Wykazano, że materia organiczna jest jednym z czynników, które regulują rozpuszczalność metali w glebie [23], chociaż mechanizmy są bardzo złożone, a w zależności od rodzaju obecnych związków organicznych mogą one zwiększyć lub ograniczyć ich mobilność. Ponadto, w przypadku stosowania osadów ściekowych na wyrobiskach powapiennych, po ich dodaniu do gleby, zazwyczaj następuje obniżenie wartości pH, co również może wywoływać zwiększenie rozpuszczalności pewnych pierwiastków metalicznych [24]. Należy zauważyć jednak, że większość gruntów po górnictwie odkrywkowym wapieni zawiera duże ilości węglanów wapnia odpowiedzialnych za tworzenie neutralnego lub lekko zasadowego pH, które może przyczynić się do unieruchomienia znacznej części metali w odtwarzanej glebie [10].

## Podsumowanie

Substytuty organiczne w postaci komunalnych osadów ściekowych mogą zdecydowanie być wykorzystywane w rekultywacji wyrobisk po eksploatacji wapieni na etapie kształtowania właściwości fizyczno-chemicznych gruntów bezglebowych - przy założeniu pełnej kontroli jakości tych osadów. Stosowanie osadów ściekowych na terenach po wydobyciu wapieni wpływa na poprawę właściwości fizyczno-chemicznych gruntu poprzez wzrost zawartości węgla organicznego, a także azotu i fosforu. Wykorzystanie osadów ściekowych do rekultywacyjnego użycia gruntów bezglebowych i do sukcesywnego ich nawożenia w celu uzyskania wzrostu roślin, w większości badanych przypadków, nie stanowi zagrożenia dla środowiska i może przyczynić się do zagospodarowania wytwarzanych osadów w oczyszczalniach ścieków.

## Literatura

- [1] Kabziński A., Stan, perspektywy, problemy górnictwa surowców skalnych w Polsce, *Przegląd Górniczy* 2003, 10, 51-60.
- [2] Kulczycki Z., Dulewski J., Baradziej M., Górnictwo odkrywkowe kopalni pospolitych oraz kierunki zmian na przestrzeni lat 2002-2009, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk* 2010, 79, 181-196.
- [3] Szewczyk M., Kacprzak M., Górnictwo odkrywkowe wapieni i margli w Polsce, Zasoby, wydobycie i stan zagospodarowania złóż, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 2013, 29, 2, 69-77.
- [4] Kaźmierczak U., Milian A., Możliwości i uwarunkowania wykorzystania komunalnych osadów ściekowych do odtwarzania warstwy urodzajnej gleby w procesie rekultywacji, *Górnictwo Odkrywkowe* 2011, 1-2, 116-121.

- [5] Kusza G., Zmiany wybranych właściwości fizyko-chemicznych zwałowisk poeksploatacyjnych kopalni wapieni Strzelce Opolskie i Kamień Śląski pod wpływem roślinności wysokiej, [w:] Ochrona środowiska na uniwersyteckich studiach przyrodniczych, Monografia, Wyd. Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2007, 241-248.
- [6] Quant B., Sobociński Z., Wykorzystanie osadów (ustabilizowanych) z oczyszczalni ściekowych komunalnych do rekultywacji gruntów, *Inżynieria Ekologiczna* 2003, 3, 65-72.
- [7] Fijałkowski K., Janecka B., Kacprzak M., Bień J., Określenie wpływu różnych dodatków organicznych na uzyskanie pokrywy roślinnej zwałowiska odpadów cynkowo-olowiowych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2008, 11, 2, 141-148.
- [8] Wytyczne w zakresie wymagań dla procesów rekultywacji, w tym makroniwelacji, prowadzonych przy użyciu odpadów, Na podstawie pracy dra inż. P. Manczarskiego i dra inż. Z. Grabowskiego, 2008. [www.mos.gov.pl/g2/big/2009\\_07/ab8b4cae508b9d2ee9154227a8f7ec5a.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_07/ab8b4cae508b9d2ee9154227a8f7ec5a.pdf)
- [8] Moreno-Penaranda R., Lloret F., Alcaniz J.M., Effects of sewage sludge on plant community composition in restored limestone quarries, *Restoration Ecology* 2004 12, 2, 290-296.
- [9] Ortiz O., Alcaniz J.M., Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge, *Bioresource Technology* 2006, 97, 545-552.
- [10] Kusza G., Wpływ nawożenia mineralnego oraz zastosowania osadów ściekowych na wybrane właściwości zwałowisk po eksploatacji wapieni, *Roczniki Gleboznawcze* 2006, 57, 1/2, 124-130.
- [11] Almendro-Candel M.B., Jordan M.M., Navarro-Pedreno J., Mataix-Solera J., Gomez-Lucas I., Environmental evaluation of sewage sludge application to reclaim limestone quarries wastes as soil amendments, *Soil Biology & Biochemistry* 2007, 39, 1328-1332.
- [12] Fijałkowski K., Kacprzak M., Wpływ dodatku osadów ściekowych na wybrane fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne parametry gleb zdegradowanych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2009, 12, 2, 133-141.
- [13] Marando G., Jiménez P., Hereter A., Julià M., Ginovart M., Bonmatí M., Effects of thermally dried and composted sewage sludges on the fertility of residual soils from limestone quarries, *Applied Soil Ecology* 2011, 49, 234-241.
- [14] Siuta J., Wasiak G., Zasady wykorzystania osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe (przyrodnicze), *Inżynieria Ekologiczna* 2001, 3, 13-43.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, DzU 2010, Nr 137, poz. 924.
- [16] Nowak M., Kacprzak M., Grobelak A., Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2010, 13, 2, 121-131.
- [17] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe, DzU z 1999, Nr 72, poz. 813.
- [18] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, DzU z 2013, poz. 21.
- [19] Komunalne osady ściekowe - podział, kierunki zastosowań oraz technologie przetwarzania, odzysku i unieszkodliwiania, Na podstawie pracy prof. dr hab. inż. M. Janosz-Rajczyk, Częstochowa 2004. [www.mos.gov.pl/g2/big/2009\\_07/136e320fdb8719b305c343a23373bf8f.pdf](http://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_07/136e320fdb8719b305c343a23373bf8f.pdf)
- [19] Rosik-Dulewska C., Podstawy gospodarki odpadami, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [20] Bień J.B., Wystalska K., Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2011.
- [21] McBride M., Sauve S., Hendershot W., Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils, *European Journal of Soil Science* 1997, 48, 337-346.
- [22] Ledin M., Krantz-Rulcker C., Allard B., Zn, Cd and Hg accumulation by microorganisms, organic and inorganic soil components in multi-compartment systems, *Soil Biology and Biochemistry* 1996, 28, 6, 791-799.

## Sewage Sludge as a Substitute in Restoring of Soil in the Process of Reclamation of Areas after Opencast Limestone Mining

Technical progress in the Polish mining of carbonate raw materials made it possible to exploit deposits at large depths. Therefore, the effect of opencast mining becomes more aggressive, leaving a permanent change in the environment. The most noticeable transformations involve a change in the topography of the excavation pit and external dump and large-scale drainage of the rock mass. Environmental effects of the limestone mining operations is minimized through a comprehensive reclamation of the post-mining areas. Known technical method of soil restoration on the degraded areas is the use of sewage sludge subject to the fulfillment of legal requirements regarding municipal sewage sludge. Many studies have shown the usefulness of the application of sewage sludge, as one of the forms of fertilizer in reclamation of degraded areas. One of the criteria of sewage sludge eligibility to natural use is the contents of heavy metals (both in sewage sludge, as well as in the land on which they are to be used). However, an equally important criterion for assessing the suitability of the sewage sludge, to its natural use is also the rate of release of these elements from the sewage sludge into the soil and their availability to plants. The bioavailability of the trace elements introduced with sewage sludge to the environment decreases with increasing pH and the content of organic matter and clay minerals in the soil. Thus optimal land for use of municipal sewage sludge are alkaline soilless grounds, that is pits after the exploitation of limestone. These grounds are characterized by a large buffer capacity that excludes the possibility of rapid changes in pH, and thus easy release of heavy metals. In turn, a significant content of organic matter and nutrients in municipal sewage sludge causes that they can take part in the restoration of the soil in the process of land reclamation after limestone mining, and their application positively affects the parameters of degraded soils with higher pH.

**Keywords:** opencast mining, carbonate raw materials, reclamation, sewage sludge