

GRZEGORZ KUSZA

WPLYW NAWOŻENIA MINERALNEGO ORAZ
ZASTOSOWANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH
NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ZWAŁOWISK
PO EKSPLOATACJI WAPIENI

IMPACT OF MINERAL FERTILIZATION AND SEWAGE
SLUDGE APPLICATION ON SELECTED PROPERTIES
OF DUMPING GROUND FROM LIMESTONE OPENCAST
MINING

Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Opolski

Abstract: The study, conducted in years 1998–2002, was aimed to define the optimal way of land reclamation and development of the area of the opencast limestone mine by low-cost methods of proved efficiency. Four experimental plots, differ in respect of the soil fertilization method, were assigned within the area of the Silesian Lime Industry Works in Tarnów Opolski. Results of physical and chemical analyses revealed that the use of sewage sludge was not dangerous for soil properties and plants. Its uniform application on the whole land surface was more favorable than the point application by the hole treatment.

Słowa kluczowe: grunty zdegradowane, osady ściekowe, właściwości fizyko-chemiczne.

Key words: degraded land, sewage sludge, physico-chemical properties.

WSTĘP

Opolszczyzna charakteryzuje się występowaniem dużych pokładów skał węglanowych, które wykorzystywane są jako surowiec dla przemysłu cementowo-wapienniczego. Eksploatacja tego surowca wiąże się jednakże z ogromnymi przekształceniami geomechanicznymi powierzchni ziemi, w wyniku czego powstają znaczne obszary zdegradowane i zdewastowane [Strzyszczyński 1982]. W wielu pracach wykazano przydatność stosowania osadów ściekowych, jako jednej z form nawozowych, w rekultywacji gruntów zdegradowanych [Maćkowiak 1996; Bernacka, Pawłowska 1998; Siuta 1998, 1999]. Jednym z kryteriów kwalifikujących osady ściekowe do przyrodniczego

wykorzystania jest zawartość metali ciężkich. Najlepsze pod względem jakościowym osady, wykorzystywane w procesie rekultywacji, pochodzą z małych gminnych oczyszczalni przyjmujących tylko ścieki bytowo-gospodarcze. Biodostępność pierwiastków śladowych wprowadzanych z osadami do środowiska zmniejsza się wraz ze wzrostem odczynu oraz zawartości substancji organicznej i minerałów ilastych w glebie [Mortvedt 1996]. Optymalnymi zatem gruntami, na których można zastosować osady ściekowe, są grunty bezglebowe o odczynie alkalicznym, np. wyrobiska po eksploatacji surowców węglanowych. Na gruntach tych, o składzie granulometrycznym glin ciężkich i bardzo ciężkich, charakteryzujących się dużą pojemnością buforową, wyklucza się możliwość szybkiej zmiany odczynu, a tym samym łatwego uwalniania metali ciężkich i transferu do roślin. Przyrodnicze wykorzystanie osadów ściekowych jest zdaniem wielu autorów [Suchy 1997; Bernadzka, Pawłowska 1999; Siuta 1999; Rosik-Dulewska 1999] najlepszym rozwiązaniem tzw. „problemu osadowego”, szczególnie dla małych i średnich oczyszczalni. Wynika to zarówno ze stosunkowo niskich kosztów zagospodarowania osadów, jak również potencjalnie niewielkiego zagrożenia dla środowiska przyrodniczego, przy przestrzeganiu wszystkich odpowiednich przepisów.

W latach 1998–2004 prowadzono kompleksowe badania mające na celu wybranie najbardziej optymalnego sposobu rekultywacji i zagospodarowania gruntów na terenie górnictwa odkrywkowego złoża wapieni w miejscowości Tarnów Opolski. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących poprawy jakości gruntów zdegradowanych i zdewastowanych poprzez nawożenie mineralne i aplikacje osadu ściekowego, realizowanych w 2002 r.

MATERIAŁY I METODY

Powierzchnia złoża „Tarnów Opolski” pokryta jest nadkładem w postaci utworów czwartorzędowych, których grubość waha się od kilku do 10 m. Na terenach poeksploatacyjnych należących do Śląskich Zakładów Przemysłu Wapienniczego „Opolwap” przeprowadzono badania na czterech poletkach doświadczalnych (oznaczane w dalszej części jako I, II, III, IV) o wymiarach 10 × 12 m. Na każdym z poletek zastosowano inny sposób użyczenia gruntu. Osad ściekowy, o strukturze ziemistej, wprowadzono na poletkach I (punktowo poprzez zaprawianie dołków) i IV (równomierne na całej powierzchni). Osad pochodził z przyzakładowej oczyszczalni mechaniczno-biologicznej przyjmującej ścieki bytowo gospodarcze zarówno z terenu zakładu, jak również miejscowości Tarnów Opolski. Wysokość dawki osadu obliczono na podstawie zawartości metali ciężkich w gruncie i osadzie ściekowym, zgodnie z obowiązującym w czasie zakładania doświadczenia Rozporządzeniem MOŚZN i L [Dz. U. Nr 72, poz. 813, 1999]. Wynosiła ona dla poletek I i IV odpowiednio: 86 i 66 t×ha⁻¹. Na poletku III zastosowano nawożenie mineralne w ilości: 15 kg polifoski (8% N, 24% P, 24% K) i 5 kg siarczanu amonowego (21%). Poletko II pozostawiono bez nawożenia jako powierzchnię porównawczą.

Ze wszystkich poletek doświadczalnych pobrano do badań reprezentatywną próbkę gruntu przed aplikacją osadu ściekowego i nawozu mineralnego oraz około 7 miesięcy po ich zastosowaniu. Reprezentatywną próbkę gruntu uzyskano poprzez zmieszanie

25 próbek pobranych (z warstwy 0–20 cm) w punktach regularnie rozmieszczonych na powierzchni każdego poletka. W próbkach tych oznaczono: skład granulometryczny metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, odczyn metodą potencjometryczną, zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA) po uprzednim trawieniu mieszaniną HNO₃ i HCl (1:3), a także zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, azotu ogólnego metodą Kjeldahla, form przyswajalnych fosforu i potasu metodą Egnera-Riehma oraz węglanu wapnia metodą Scheiblera. W próbkach gruntu o strukturze nienaruszonej, pobranych do cylindrów o pojemności 100 cm³ oznaczono następujące właściwości fizyczne: pojemność wodną kapilarną, wilgotność aktualną i gęstość objętościową.

Ponadto, w próbkach osadu ściekowego, pobranego z poletek osadowych na oczyszczalni ścieków, wykonano oznaczenia (zgodnie z Polskimi Normami) odczynu oraz zawartości: wody, suchej masy, substancji mineralnych i substancji organicznej, azotu ogólnego metodą Kjeldahla, potasu, fosforu i wapnia, a także całkowitej zawartości pierwiastków śladowych (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn).

WYNIKI

Właściwości osadu ściekowego z Oczyszczalni Ścieków w Tarnowie Opolskim

Osady ściekowe charakteryzowały się znacznym stopniem uwodnienia (70,7%) i odczynem zasadowym (pH = 9,5), wynikającym z dużej ilości wapnia (22,4% s.m.) (tab. 1). Substancja organiczna stanowiła 49,7% s.m. osadu. Zawartość pierwiastków biogennych (azotu i fosforu) była bardzo niska i wynosiła około 1% s.m. Natomiast zawartość pierwiastków śladowych była bardzo zróżnicowana, utrzymując się w granicach od 0,9 mg×kg⁻¹ (Cd) do 375,3 mg×kg⁻¹ (Zn). Wartości te nie przekraczały dopuszczalnych stężeń metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych, które zgodnie z obowiązującymi normami mogą być wykorzystane do rekultywacji gruntów [Rozporządzenie MOŚZNiL 1999, Rozporządzenie MŚ 2002].

Właściwości gruntu przed i po zastosowaniu osadu ściekowego/nawozu mineralnego

Badane grunty należą do glin ciężkich z dużą domieszką części szkieletowych (rumosz wapienny). Osad ściekowy oraz nawóz mineralny, zastosowane na poletkach doświadczalnych, nie wpłynęły znacząco na zmianę właściwości fizycznych gruntu. Po okresie

TABELA 1. Właściwości osadów ściekowych zastosowanych w doświadczeniu

TABLE 1. Properties of sewage sludge applied in the experiment

S.m. D.m.	Subst. Matter _{org}	pH	N _{og.} N _{tot.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
%			%					mg × kg ⁻¹					
29,30	49,73	9,51	1,01	1,06	0,2	0,22	22,35	0,90	17,7	5,11	4,35	21,3	375,25

TABELA 2. Zmiany właściwości gruntów pod wpływem zastosowanych nawozów i osadów
 TABLE 2. Changes of ground properties induced by mineral fertilizer and sewage sludge applied on experimental plots

Nr poletka Plot No.	Czas pobrania Sampling time	% frakcji <0,002 mm % of fraction <0.002 mm	pH		CaCO ₃	C	N _{og} N _{tot}	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O
			H ₂ O	KCl	%					mg×100 g ⁻¹
I	A	15	7,3	6,9	4,99	0,67	0,06	11,2	2,0	4,6
	B	17	8,0	7,6	6,12	1,26	0,10	12,6	2,1	5,9
II	A	16	7,4	7,1	6,35	0,69	0,08	8,6	1,5	4,73-
	B	15	8,1	7,7	6,51	0,79	0,12	6,6	2,3	6,94
III	A	20	7,3	7,2	4,99	0,60	0,04	15	1,3	4,37
	B	16	7,6	7,4	5,27	0,68	0,03	22,7	1,0	3,85
IV	A	17	7,5	7,2	5,82	0,56	0,07	8,0	1,2	4,10
	B	21	7,7	7,5	7,91	2,05	0,14	14,6	5,0	5,9

A – przed zastosowaniem osadów i nawozów (wiosna); B – po zastosowaniu osadów i nawozów (jesień); A – before sludge and fertilizer application (spring); B – after sludge and fertilizer application (autumn)

7 miesięcy od nawożenia, pojemność wodna kapilarna i gęstość objętościowa wykazywały jedynie nieznaczny wzrost lub spadek wartości w stosunku do stanu wyjściowego. Analiza parametrów chemicznych wykazała wzrost pH, niezależnie od zastosowanego sposobu nawożenia gruntów, od wartości pH (w H₂O) 7,3–7,5 do 7,7–8,1 oraz pH (w KCl 1 mol×dm⁻³) 6,9–7,2 do 7,5–7,7 (tab. 2). Zmiany zawartości węgla organicznego wystąpiły jedynie na gruntach, na których zastosowano osad ściekowy. Na poletkach I i IV odnotowano odpowiednio dwu- i czterokrotny wzrost ilości węgla organicznego. Pomimo małej zawartości pierwiastków biogennych (NPK) w osadzie ściekowym, jego zastosowanie wpłynęło na wzrost ich ilości w gruncie. Na poletku I stwierdzono wzrost zawartości azotu o 0,04% (N), natomiast na poletku nr IV o 0,07% (N), co stanowi równowartość jego aktualnej ilości w badanym gruncie. Analizując zasobność gruntu w fosfor, istotną zmianę odnotowano w przypadku poletka IV, gdzie nastąpił czterokrotny wzrost jego zawartości. W przypadku potasu stwierdzono wzrost jego koncentracji w zakresie 1,3 (poletko I) do 1,8 mg×100 g⁻¹ (poletko IV).

Zawartość poszczególnych metali ciężkich w gruncie przed nawożeniem była zbliżona na wszystkich analizowanych poletkach; z wyjątkiem kontrolnego poletka II, na którym uzyskano wyższe wartości stężenia cynku, chromu i niklu (tab. 3). Po okresie siedmiu miesięcy od zastosowania osadów/nawozu mineralnego odnotowano zróżnicowaną tendencję zmian zawartości metali. Wartości stężeń miedzi i cynku były z reguły niższe od wartości początkowych, średnio o 1,0 mg×kg⁻¹ (Cu) i 25,7 mg×kg⁻¹ (Zn). Przy czym, największy spadek zawartości miedzi (około 18%) uzyskano na poletku III, a cynku (ok. 20%) na poletku I. Natomiast zawartość pozostałych metali (Cd, Cr, Ni i Pb) była wyższa na wszystkich poletkach. Największy wzrost, odpowiednio o ok. 34% (Cd), 140%

TABELA 3 Zawartość metali ciężkich w gruntach na badanych poletkach przed i po nawożeniu

TABLE 3 Heavy metal content in grounds from the analyzed plots before and after fertilization

Nr poletka Plot No.	Czas pobrania Sampling time	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
		mg×kg ⁻¹					
I	A	1,45	8,60	12,40	18,20	82,0	222,6
	B	1,89	8,85	16,87	23,06	86,7	176,5
II	A	1,75	10,00	20,15	26,50	113,4	331,4
	B	2,10	8,97	24,48	27,77	122,1	313,6
III	A	1,50	7,75	12,70	17,35	94,0	210,6
	B	1,78	6,34	12,76	19,65	101,4	197,4
IV	A	1,80	7,95	11,60	18,00	96,65	216,4
	B	2,41	7,46	27,80	24,56	109,31	224,5

A – przed zastosowaniem osadów i nawozów (wiosna); B – po zastosowaniu osadów i nawozów (jesień); A – before sludge and fertilizer application (spring); B – after sludge and fertilizer application (autumn)

(Cr), 36% (Ni) i 13% (Pb), uzyskano na poletku IV, tj. po równomiernej aplikacji osadu ściekowego. Na poletku I po punktowej aplikacji osadu odnotowano znacznie niższy wzrost stężenia metali, utrzymujący się w zakresie 5,7% (Pb) – 36% (Cr).

DYSKUSJA

Osady ściekowe dzięki wysokiej zawartości składników pokarmowych i próchniczo-twórczej substancji organicznej mogą stanowić substytut nawozów organicznych, zapewniających prawidłowy rozwój roślin, a także dodatkowo poprawiających właściwości fizykochemiczne gruntu. Właściwości osadów ściekowych, w tym zawartość związków biogennych, zależą m.in. od rodzaju oczyszczanych ścieków i metody oczyszczania [Siuta 1995; Greinert, Greinert 1999]. Liczne badania wykazały, iż osady ściekowe mogą zawierać w granicach 0,9–7,6% s.m. azotu i 0,6–9,2% s.m. fosforu [Suchy 1997]. Osady cechuje także znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości metali ciężkich [Rosik-Dulewska 1998], przy czym całkowita zawartość metali ciężkich nie jest wystarczającym kryterium oceny przydatności osadu ściekowego do przyrodniczego jego wykorzystania. Istotne jest także tempo uwalniania tych pierwiastków z osadów ściekowych do gleby i ich dostępność dla roślin [Bernacka, Pawłowska 2000].

Osad ściekowy zastosowany w rekultywacji terenów po eksploatacji wapieni charakteryzował się małą zawartością biogenów (około 1% s.m. N i P) oraz od kilku do kilkudziesięciu razy niższą zawartością metali ciężkich w porównaniu z osadami pochodzącymi z 29 oczyszczalni ścieków komunalnych badanych przez IUNG [Maćkowiak 1996]. Na niską zawartość zarówno metali ciężkich, jak i składników nawozowych

w osadach ściekowych z oczyszczalni w Tarnowie Opolskim wpływ miała przeprowadzona sanitacja wapnem. Według Wiącek-Rosińskiej i in. [1998] dodatek CaO do osadów ściekowych (w stosunku 1:1) powoduje obniżenie ich wartości nawozowej z uwagi na spadek stężenia azotu w osadach poddawanych wapnowaniu, a jednocześnie wpływa na unieruchomienie zawartych w nich metali ciężkich, co jest korzystne w aspekcie przyrodniczego wykorzystania osadów. Mimo obecności szeregu składników niepożądanych, osady ściekowe z reguły poprawiają fizyczne i wodne właściwości gleb [Siuta 1999; Rosik-Dulewska 2002]. Obserwacja gruntów na poletkach doświadczalnych wykazała jednak, iż w analizowanym przypadku nie nastąpiła istotna zmiana fizycznych parametrów, tj. pojemności wodnej kapilarnej (PWK) i gęstości objętościowej gleby suchej. Na poletkach z osadami ściekowymi zaobserwowano wzrost gęstości objętościowej zaledwie o ok. 8%. Gęstość objętościowa gleb jest właściwością fizyczną dynamiczną, zmieniającą się podczas sezonu wegetacyjnego. Jest ona zazwyczaj najniższa w momencie siewu roślin i prawie zawsze najwyższa w okresie zbioru wskutek stopniowego zagęszczania masy glebowej. Zastosowanie osadu ściekowego w znaczący sposób wzbogaciło natomiast rekultywowany grunt w próchnicę. W zasadzie bezglebowy grunt osiągnął, pod względem zawartości próchnicy, parametry typowe (2,17% – poletko I), a nawet wyższe (3,53% – poletko IV) jak w glebach uprawnych. Poza tym, o ile początkowo niskie wartości azotu (0,04–0,08%) świadczyły o niewielkiej zawartości substancji organicznej w gruncie (wartość 0,02% typowa dla poziomów mineralnych gleb), o tyle po aplikacji osadu rekultywowane grunty osiągnęły poziom średniej zawartości azotu, taki jak w warstwie ornej większości gleb Polski (0,1–0,3%). Badane grunty należą do bardzo ubogich pod względem zawartości fosforu (średnia dla gleb Polski kształtuje się na poziomie 0,01–0,2%). Jedynie zastosowanie osadów ściekowych poprzez ich rozprowadzenie na całej powierzchni (poletko IV) przyczyniło się do ponad czterokrotnego wzrostu ilości fosforu.

WNIOSKI

1. Zawartość metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) w osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków w Tarnowie Opolskim nie przekraczała wartości dopuszczalnych dla osadów przeznaczonych do stosowania w celach rekultywacyjnych.
2. Zastosowany osad ściekowy, wpłynął na poprawę fizyko-chemicznych właściwości gruntu, głównie poprzez wzrost pH, zwiększenie zawartości próchnicy, a także azotu, fosforu i potasu.
3. Wykorzystanie osadów ściekowych jako jednej z form nawożenia nie stanowi zagrożenia dla gruntów i roślin, może natomiast przyczynić się do zagospodarowania nadmiernej ilości wytwarzanych osadów.
4. Zastosowanie osadów ściekowych w postaci równomiernej aplikacji na całej powierzchni jest korzystniejsze niż aplikacja punktowa osadu – poprzez zaprawianie dolków.

LITERATURA

- BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 1998: Gospodarka osadowa w Polsce. Podstawy oraz praktyka przeróbki i zagospodarowania osadów. Kraków, LEM **15**: 1–12.
- BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 1999: Substancje szkodliwe i ich obecność w osadach z miejskich oczyszczalni ścieków. *Ochr. Środ. i Zas. Nat.* **16**: 25–42.
- BERNACKA J., PAWŁOWSKA L. 2000: Substancje potencjalnie toksyczne w osadach z komunalnych oczyszczalni ścieków. IOŚ, Warszawa: 123 ss.
- GREINERT H., GREINERT A. 1999: Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego. Wyd. Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra: 326 ss.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa: 348 ss.
- MAĆKOWIAK C. 1996: Nawozowa użyteczność osadów ściekowych w świetle badań IUNG. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. Mat. Konf. (red.) Borowski G. Puławy – Lublin – Jeziórko: 35–40.
- MORTVEDT J.J. 1996: Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer Research* **43**: 55–61.
- ROSIK-DULEWSKA C. 1998: Ocena ilościowa i jakościowa metali ciężkich w osadach ściekowych w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania. W: Bioremediacja gruntów. (red.) K. Miksch: 213–222.
- ROSIK-DULEWSKA C. 2002: Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Lublin: 306 ss.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 11 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków, jakie muszą być spełnione przy wykorzystaniu osadów na cele nieprzemysłowe. *Dz. U.* Nr 72 poz. 813.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dz. U.* Nr 134, poz. 1140.
- SIUTA J. 1995: Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. *Ekoinżynieria* **2,3**: 10–14.
- SIUTA J. 1998: Rekultywacja gruntów. Poradnik. IOŚ, Warszawa: 204 ss.
- SIUTA J. 1999: Sposoby przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych. W: Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. (red.) J. Siuta, PTIE, Warszawa: 7–20.
- STRZYSZCZ Z. 1982: Oddziaływanie przemysłu na środowisko glebowe i możliwości jego rekultywacji. Ossolineum, Wrocław: 91 ss.
- SUCHY M. 1997: Możliwości gospodarczego wykorzystania osadów ściekowych w świetle wyników badań osadów z sześciu wybranych oczyszczalni miejskich. W: Gospodarka osadami ściekowymi. (red.) M. Suchy: 99–114.
- WIĄCEK-ROSIŃSKA A., CWALINA B., BALCERZAK W. 1998: Wpływ wapnowania na zawartość metali w osadach ściekowych w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania. W: Bioremediacja gruntów. (red.) K. Miksch: 223–228.

Dr Grzegorz Kusza
Zakład Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Opolski,
ul. Oleska 22, 45-052 Opole
e-mail: Grzegorz.Kusza@uni.opole.pl