

REKULTYWACYJNA EFEKTYWNOŚĆ OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA SKŁADOWISKACH ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH

Jan Siuta

Instytut Ochrony Środowiska, ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa
e-mail: siuta@ios.edu.pl

Streszczenie. Roślinne utwardzenie powierzchni zniekształconych technicznie, w tym głównie składowisk odpadów drobnoziarnistych, jest niezbędne dla ochrony przed erozją wodną i wietrzną. Wśród wielu znanych sposobów przeciwoerozyjnego zazieleniania składowisk odpadów reaktywnych chemicznie oraz podatnych na erozyjne działanie wiatru i wody przedstawiono wyniki badań i wdrożeń własnych zastosowania osadów ściekowych. Wyjątkowa skuteczność tych osadów wynika z ich koloidalnej konsystencji oraz z zasobności w próchnicotwórcze i nawozowe składniki. W pracy przedstawiono rekultywacyjną efektywność osadów ściekowych na złożach:

- odpadów paleniskowych – doświadczenia lizymetryczne i poletkowe oraz wdrożenia w skali technicznej,
- wapna posodowego – doświadczenia poletkowe i wdrożenie realizowane na dużą skalę,
- wapna poflotacyjnego – doświadczenie lizymetryczne.

Słowa kluczowe: składowiska odpadów, osady ściekowe, rośliny

WSTĘP

Antropogeniczne zniekształcenia powierzchni ziemi, zwłaszcza niszczące szatę roślinną, powodują lub nasilają erozję wodną i wietrzną. Formy nadpoziomowe powodują też osuwanie się mas ziemnych.

Składowiska drobnoziarnistych (pylistych) odpadów mineralnych z: energetyki węglowej, przemysłu chemicznego, flotacji rud metali nieżelaznych i siarki, hutnictwa cynku i ołowiu, przemysłu wapienno-cementowego wykazują bardzo dużą podatność na erozję wietrzną. Techniczne sposoby zapobiegania przeważnie nie eliminują pyłowej uciążliwości odpadów składowanych. Dopiero ukształtowanie zwartej szaty roślinnej może zlikwidować całkowicie lub skutecznie zminimalizować pylenie i rozmywanie składowisk odpadów. Szata roślinna może być ukształtowana docelowo lub przejściowo w celu czasowego zabezpieczenia powierzchni przed działaniem wód opadowych i wiatru.

Wprowadzenie szaty roślinnej na powierzchnie składowisk odpadów pylistych i reaktywnych chemicznie wymaga spełnienia następujących warunków:

- co najmniej krótkotrwałego zabezpieczenia (utrwalenia) powierzchni przed rozwiewaniem i rozmywaniem,
- wprowadzenia nasion roślin oraz przytwierdzenia ich do podłoża,
- wprowadzenia niezbędnych dla roślin składników pokarmowych,
- złagodzenia szkodliwego działania nadmiernej koncentracji soli i alkaliczności składowiska dla kiełkowania i wzrostu wysianych roślin.

Szczególnie trudne warunki do spełnienia powyższych wymogów występują na skarpach wysokich o dużych spadkach. W utrwalaniu powierzchni stosuje się różnego rodzaju preparaty syntetyczne i emulsje ropopochodne, które wraz z nasionami roślin i nawozami (mineralnymi i organicznymi) na skarpy wprowadza się w postaci ciekłej. Ten sposób wprowadzania nasion nazwano hydrosiewem. Stosuje się różnorodne preparaty i techniki przeciwdziałania pyleniu składowisk odpadów. W wielu przypadkach sprawdzają się one do powlekania powierzchni bez wysiewu nasion. Celem hydrosiewu jest roślinne utrwalenie powierzchni. Roślinom należy więc stworzyć warunki wzrostu. Zamiast mieszanki płynnej: preparatów klejących, wody, nawozów mineralnych i organicznych w 1978 r. zastosowano po raz pierwszy [10] płynny osad z oczyszczania ścieków o zawartości 3-5% suchej masy. Spełnia on z nawiązką wszystkie warunki hydrosiewu nasion. Osadowy hydrosiew stosuje się więc do roślinnego utrwalenia powierzchni pyłących oraz skarp zagrożonych erozją wodną, głównie na składowiskach odpadów i w drogownictwie [2,14].

Osady ściekowe są powszechnie dostępne i nieodpłatne. Na powierzchniach płaskich oraz na skarpach dostępnych dla pracy sprzętu technicznego można stosować duże ilości osadów ściekowych o konsystencji stałej (ziemistej) lub mazistej. Wtedy tworzy się (od zaraz) bardzo korzystne warunki do intensywnego wzrostu roślin o dużych wymaganiach pokarmowych. Płynne osady ściekowe mogą być wprowadzane na mokre składowiska różnych odpadów przemysłowych, w tym głównie na składowiska odpadów paleniskowych w toku ich eksploatacji.

W pracy zostaną omówione rezultaty stosowania osadów ściekowych w zazielenianiu powierzchni składowisk odpadów paleniskowych, odpadów posodowych i gruntu ukształtowanego z odpadów z flotacji rudy siarkowej (wapna poflotacyjnego).

ZAZIELENIANIE SKŁADOWISK ODPADÓW PALENISKOWYCH

Pyłowa uciążliwość składowisk odpadów elektrowni: Halemba, Turów i Skawina była znana całej Polsce. Burzliwe protesty ludności wymuszały poszukiwanie sposobów roślinnego utrwalania powierzchni składowisk. Prowadzono wiele doświadczeń z roślinami na składowiskach stosując nawożenie mineralne i organiczne,

a także pokrywając składowiska ziemią naturalną. Badania prowadziły głównie: Akademia Rolnicza we Wrocławiu [3,6] i Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie [1,5] oraz POLTEGOR we Wrocławiu [12,13].

Testacja rekultywacyjnego działania osadów ściekowych na złożach odpadów paleniskowych

Opracowane i wdrażane wcześniej sposoby zazieleniania złoża odpadów paleniskowych wymagają znacznego czasu i są kosztowne. Postanowiono więc zbadać efektywność komunalnych osadów ściekowych. W wielowariantowym, mikropoletkowym doświadczeniu rekultywacji gruntów bezglebowych stwierdzono, że wprowadzenie rekultywacyjnych dawek ($100-250-500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) osadu ściekowego do podłoża popiołowego stworzyło warunki do intensywnego wzrostu trawy, której zbiory w latach 1978-1980 były analogiczne jak z podłoża gliny lekkiej z takimi samymi dawkami osadu [10]. W wyjątkowo suchym roku 1979 rośliny wariantów popiołowych z osadem ściekowym dały znacznie większe plony ($6,6-5,1-4,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) niż wariantów glinowych ($4,0-2,9-2,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Wyniki tego doświadczenia wskazały na duży potencjał glebotwórczy popiołowych złoża oraz na możliwość szybkiego zazieleniania składowisk odpadów paleniskowych z zastosowaniem osadów ściekowych. Podjęto więc doświadczenia poletkowe i pilotowo-wdrożeniowe z zastosowaniem osadu przy zazielenianiu suchego składowiska odpadów paleniskowych w Łodzi, natychmiast po zapełnieniu wyrobiska [4].

Uzupełniając przeprowadzono doświadczenia lizymetryczne w celu zbadania zawartości składników wymywanych z mieszanin osadowo-popiołowych. Osad płynny wylewano na powierzchnię nieustabilizowanego złoża odpadów paleniskowych. Wystąpiło więc bardzo duże zróżnicowanie dawek osadu na jednostkę powierzchni. W obniżeniach skupiały się duże ładunki osadu, a na wyniesieniach znikome ilości. Zmienność przestrzenna kumulacji osadu odzwierciedliła się w strukturze wschodów oraz w intensywności wzrostu trawy. Powstała więc możliwość (niezamierzona) do wyróżnienia kilku wariantów intensywności wzrostu roślin oraz wyznaczenia małych powierzchni w celu określenia wpływu dawki osadu na wielkość i jakość plonu roślin [4].

W doświadczeniu poletkowym wyrównano powierzchnię i ogroblowano w celu zapewnienia równomiernego użyźnienia gruntu osadem ściekowym. Zastosowano trzy warianty użyźnienia: bardzo intensywny ($0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$), intensywny ($0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$) i ekstensywny ($0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$). Plon sumaryczny roślin (zbiorów od 15.07.87 do 08.06.90 r.) był największy ($44,8 \text{ Mg p.s.m.} \cdot \text{ha}^{-1}$) w wariantcie intensywnym, a najmniejszy (309 kg) w wariantcie ekstensywnym. Mniejszy plon wariantu bardzo intensywnego nie wynikał jednak z nadmiaru składników nawozowych, lecz z okresowego nadmiaru wody osadowej.

Skład chemiczny roślin zależał podobnie jak ich wzrost od wielkości dawki na jednostkę powierzchni. Ze względu na nadmierne zawartości azotu i niektórych metali ciężkich nie zalecono paszowego użytkowania roślin. Stwierdzono natomiast bardzo dużą użyteczność masy roślinnej do produkcji kompostu. Przeprowadzono więc doświadczalne kompostowanie plonu trawy. Stwierdzono bardzo dużą wartość nawozową tego kompostu oraz niewielkie zawartości metali ciężkich [4].

Rekultywacyjne zastosowanie osadu ściekowego na składowisku w Puławach

Doświadczenie przeprowadzono w latach 1994-1996 [11]. Miało ono na celu głównie 1) roślinne zabezpieczenie powierzchni przed erozją wietrzną, 2) intensywną produkcję masy roślinnej do kompostowania, 3) przyrodnicze użytkowanie osadu z przyległej oczyszczalni ścieków. W doświadczeniu zastosowano 100 – 200 – 300 – 400 – 500 m³ osadu ziemistego na ha oraz wariant bezosadowy (0). Osad wprowadzono na powierzchnię składowiska i w niewielkim stopniu wymieszano z podłożem. We wszystkich wariantach wysiano mieszankę traw, lucerny siewnej i rzepaku jarego. W wariacie 0 zastosowano nawożenie mineralne (NPK). W ciągu sześciu tygodni rośliny pokryły całkowicie powierzchnię wszystkich wariantów osadowych. Bardzo szybkie zazielenienie powierzchni spowodował głównie rzepak, który nieco później rozkwitł żółcienią. W wariacie bezosadowym przeżyła tylko lucerna, która w następnych latach rosła zupełnie dobrze.

Strukturę plonów roślin w latach 1994-1996 przedstawia tabela 1. Badania glebotwórczego i plonotwórczego działania osadu ściekowego na składowisku przeprowadzono ponownie w latach 1999 i 2000. Potwierdzono dużą rekultywacyjną efektywność osadu ściekowego.

Tabela 1. Plony roślin w doświadczeniu na składowisku żużlu i popiołu w Puławach

Table 1. Plant crops in an experiment conducted on slag and cinder dump at Puławy

| Dawka osadu – Sludge dose (m ³ ·ha ⁻¹) | Plon, tony s.m.·ha ⁻¹ w latach Crop, tons of d.w. ha ⁻¹ in the years | | | |
|--|---|------|------|-----------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1994-1996 |
| 0* | 0,2 | 7,7 | 16,2 | 24,1 |
| 100 | 2,2 | 7,2 | 16,2 | 25,6 |
| 200 | 3,2 | 6,0 | 13,8 | 23,0 |
| 300 | 3,9 | 8,1 | 16,5 | 28,5 |
| 400 | 4,1 | 8,0 | 14,3 | 26,4 |
| 500 | 5,0 | 8,8 | 14,8 | 28,6 |

*Lucerna rosła bardzo dobrze, ale trawa wyginęła całkowicie; Alfa-alfa grew very well but grass perished entirely.

Działanie osadu ściekowego na składowisku odpadów paleniskowych International Paper w Kwidzynie

Mokre składowanie odpadów paleniskowych nie eliminuje ich pylenia w czasie eksploatacji, ponieważ wyłaniają się ponad lustro wody tak zwane plaże otwarte na działanie wiatru. Zraszanie takich plaż jest kosztowne i mało skuteczne, ponieważ woda rozdeszczowywana bardzo szybko spływa. Skuteczne jest natomiast wprowadzenie płynnego osadu ściekowego na składowisko razem z pulpą popiołową. Wtedy koloidalne cząstki osadu występują głównie w wodzie nadosadowej i sedymentują na powierzchni odnośnych plaż, tworząc powłokę ochronną, która jest zarazem zasobnikiem pokarmu dla glonów. Przesychanie powierzchni plaży nie powoduje pylenia lecz nasila rozwój glonów, które jeszcze bardziej chronią ją przed działaniem wiatru. Taki niezamierzony sposób przeciwdziałania pyleniu składowiska odpadów paleniskowych stosowano przez wiele lat w International Paper Kwidzyn. Wynikało to z konieczności unieszkodliwienia bardzo dużych objętości płynnych osadów ściekowych do czasu zainstalowania mechanicznego odwadniania osadu. Negatywnym łącznym składowaniem osadów ściekowych z odpadami paleniskowymi jest nadmierne obciążenie składnikami organicznymi wody nadosadowej, gdy ta jest odprowadzana bezpośrednio do wód powierzchniowych. Niewątpliwym pozytywnym jest natomiast samosiewne wkraczanie roślin na powierzchnie składowania bezpośrednio po zakończeniu zrzutu pulpy popiołowej, co uniemożliwia pylenie składowiska.

Wprowadzenie płynnego osadu ściekowego (z dodatkiem nasion) w końcowej fazie eksploatacji kwatery mokrego składowania odpadów pyłących jest najprostszym sposobem szybkiego zazielenienia ich powierzchni. Można to czynić także przez wylewanie lub rozdeszczowywanie osadów na powierzchnię składowiska. W drugim przypadku stosuje się technikę lotniczą.

DZIAŁANIE OSADU ŚCIEKOWEGO NA MODELOWYCH GRUNTACH W DOŚWIADCZENIU LIZYMETRYCZNYM

W lizymetrach cylindrycznych 100 cm wysokości i średnicy 80 cm ukształtowano złoża: popiołu lotnego z węgla kamiennego, wapna poflotacyjnego, piasku gliniastego lekkiego [10]. Zastosowano trzy warianty użyźnienia gruntów modelowych w dawkach 5,0 – 12,5 – 25,0 dm³ osadu/lizymetr. Plony roślin zbierano sukcesywnie w każdym sezonie wegetacyjnym. W tabeli 2 zamieszczono sumy plonów w 1996 roku i w latach 1994-1996. Największą plonotwórczą efektywność osadu stwierdzono w wariacie popiołowym, odpowiednio w latach 1996 oraz 1994-1996: 512-706 i 673-1494 g p.s.m./lizymetr, a najmniejszą na podłożu wapna poflotacyjnego 363-516 i 468-1188 g p.s.m./lizymetr.

Potwierdzono więc dużą plonotwórczą wartość osadu ściekowego na złożu odpadów paleniskowych.

Zawartości Zn, Pb, Cu, Cd, Ni i Cr w roślinach z roku 1996 (tab. 3) były podwyższone lub zbliżone do wartości w roślinach z gleb naturalnych. Zależały one od rodzaju modelowego gruntu i dawki osadu. Żaden z oznaczonych metali nie wystąpił w ilościach dyskwalifikujących paszowe wartości roślin. Na uwagę zasługują porównywalne zawartości metali ciężkich w roślinach z podłoży popiołowych i piaszkowych. Zawartości kadmu w roślinach z podłoży popiołowych były mniejsze (0,057-0,096 mg) niż z podłoży piaszkowych (0,090-0,191 mg·kg⁻¹ s.m.).

ZAZIELENIANIE SKŁADOWISKA ODPADÓW POSODOWYCH W JANIKOWIE

Powierzchnia składowiska odpadów posodowych zajmuje około 200 ha, z tego 108,6 ha wymagała zazielenienia po zakończonej eksploatacji. Odpady składowano w stawach ogroblowanych do wysokości 16 m p.p.t.

Głównym składnikiem odpadu jest wapń w postaci węglanowej lub wodorotlenkowej. Wykazuje więc silnie alkaliczny odczyn oraz bardzo duże koncentracje soli chlorkowych. Bardzo drobnoziarnisty skład czyni wyjątkowo dużą podatność złoża na erozyjne działanie wiatru. Trwałe zabezpieczenie powierzchni przed pyleniem jest więc niezbędne. Ponadto istnieje prawny wymóg rekultywacji terenu po zakończeniu eksploatacji składowisk odpadów. W koncepcji rekultywacji terenu składowiska odpadów posodowych [7] przewidziano stosowanie osadów ściekowych, jako glebotwórczej i plonotwórczej materii. Zasadność tej koncepcji testowano poletkowo na podłożach różnych pod względem odczynu i zasolenia. Równocześnie metodę tę zastosowano w skali technicznej na jednym stawie osadowym. Duża rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych stanowiła podstawę do opracowania (w roku 2000) projektu osadowej rekultywacji terenu składowiska [8]. Zależnie od alkaliczności, zasolenia i stanu samosiewnej roślinności ustalono następujące dawki suchej masy osadu ściekowego na ha: 30, 50 i do 100 ton. W kwaterach starszego składowania o pomniejszonej koncentracji soli w wierzchniej (do 20-25 cm) warstwie stosuje się 30-50 ton, a w kwaterach najmłodszych (silnie zasolonych i alkalicznych) 50-100 ton suchej masy osadów na 1 ha.

Bezpośrednio po wprowadzeniu osadu ściekowego wysiewa się mieszankę traw łąkowych wysokich oraz dodatek nasion perka w celu bardzo szybkiego zazielenienia powierzchni.

Od roku 2000 zazieleniono około 70% powierzchni składowiska. W celu zachowania intensywnego wzrostu roślin, po upływie trzech lat zastosowano uzupełniające nawożenie osadem w dawce 3-5 ton s.m.·ha⁻¹.

Tabela 4. Chemizm roślin, osadów ściekowych i kompostu na składowisku odpadów posodowych w Janikowie, analizowanych w roku 2004

Table 4. Chemical content of plants, sewage sludge and compost on the post soda lime dumping site at Janików, analyzed in 2004

| Składniki Elements | Trawa z powierzchni zazielenionych w latach 2000-2003 Grass from plots vegetated in 2000- 2003 | Osad ściekowy w latach 2003 i 2004 Sewage sludge in 2003 and 2004 | Kompost z roku 2003 Compost made in 2003 |
|--|---|---|--|
| Procent suchej masy – Dry mass percentage | | | |
| Części organiczne Organic parts | 85,8–91,3 | 41,3–52,9 | 27,3 |
| Części mineralne Mineral parts | 8,7–14,2 | 47,1–58,7 | 72,7 |
| C-organiczny – C-org | 39,4–43,2 | 22,9–27,5 | 16,8 |
| N-ogólny – N-total | 1,84–1,95 | 2,61–2,66 | 1,43 |
| Ca | 0,38–0,74 | 9,6–12,1 | 14,3 |
| Mg | 0,15–0,21 | 0,31–0,46 | 0,22 |
| K | 1,38–1,59 | 0,13 | 0,36 |
| Na | 0,08–0,19 | 0,05–0,10 | 0,09 |
| P | 0,16–0,19 | 0,70–0,93 | 0,64 |
| C:N | 20,0–23,0 | 10,3–13,6 | 12,0 |
| mg·kg ⁻¹ suchej masy – mg kg ⁻¹ dry weight | | | |
| Pb | 1,0–3,0 | 31–46 | 68 |
| Cd | 0,4–1,4 | 1,1–1,65 | 1,45 |
| Cr | 6–17 | 70–100 | 59 |
| Cu | 8–10 | 80–131 | 99 |
| Ni | 2,0–4,5 | 11–155 | 20 |
| Zn | 33–103 | 426–606 | 403 |
| Hg | 0,032–0,055 | 1,227–2,389 | 1,360 |

Masa roślinna jest systematycznie koszona i przerabiana na kompost wraz z osadem ściekowym [9]. Według projektu rekultywacji cały rekultywowany teren składowiska będzie obiektem przyrodniczego użytkowania osadów ściekowych i produkcji kompostu.

Właściwości chemiczne osadów, masy roślinnej i kompostu osadowo-roślinnego przedstawia tabela 4. Spełniają więc one całkowicie wymogi jakościowe w zakresie składników głównych i metali ciężkich.

PIŚMIENNICTWO

1. **Biernacka E.:** Wpływ biologicznej rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych na niektóre procesy glebowe i skład chemiczny roślin. Zesz. Nauk. SGGW-AR, 86, 1976.
2. **Głazewski M., Ziaja W.:** Wyniki rekultywacji składowisk popiołów przy zastosowaniu hydroobsiewu mieszankami traw i motylkowych. Wiad. melior. i łąk., 4, 170-175, 1995.
3. **Hryniewicz J., Balicka N., Giedroń B., Małyszowa E.:** Badania nad utrwaleniem i zagospodarowaniem hałdy popiołowej w elektrowni „Halemba”. XIX Zjazd PTG. Puławy, 1972.
4. **Kozłowska B.:** Zastosowanie osadów ściekowych do roślinnego zagospodarowania składowisk odpadów paleniskowych (rozprawa doktorska). Politechnika Łódzka, Łódź, 1997.
5. **Maciak F., Liwski S., Biernacka E.:** Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Rocz. Gleb., XXVII, 4, 1976.
6. **Rosik-Dulewska Cz.:** Rozwój i ocena jakości roślin uprawianych na składowisku popiołu Elektrowni Halemba. Arch. Ochr. Środ. 3-4, 1980.
7. Koncepcja rekultywacji składowisk odpadów posodowych Janikowskich Zakładów Sodowych (maszynopis). IOŚ, Warszawa, 1999.
8. **Siuta J.:** Projekt rekultywacji składowisk odpadów posodowych Jaikowskich Zakładów Sodowych (maszynopis). IOŚ, Warszawa, 2001.
9. **Siuta J.:** Przyrodnicze użytkowanie odpadów. IOŚ, Warszawa, 2002.
10. **Siuta J., Pasińska Cz., Wasiak G. i in.:** Przyrodnicze zagospodarowanie osadów ściekowych. PWN Warszawa, 1988.
11. **Siuta J., Wasiak G., Chłopecki K. i in.:** Przyrodniczo-techniczne przetwarzanie osadów ściekowych na kompost. IOŚ, Warszawa, 1996.
12. **Wysocki W.:** Reclamation of Alkalien Ash Piles. US EPA Cincinnati. Ohio, 1984.
13. **Wysocki W.:** Rekultywacja składowisk odpadów elektrowni węglowych. Sozologia i Sozotechnika, 26, AGH Kraków, 1988.
14. EN-4435/M/10/1984: Warunki przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych z oczyszczalni komunalnych metodą hydrosiewu. MZiOS, Warszawa, 1984.

RECLAMATION EFFICIENCY OF SEWAGE SLUDGE ON INDUSTRIAL DUMPING SITES

Jan Siuta

Institute of Environmental Protection, ul. Krucza 5/11, 00-548 Warszawa
e-mail:siuta@ios.edu.pl

Abstract. The use of vegetation to stabilize areas technically destroyed, including mainly fine grain material landfills, is a necessity in order to prevent water and wind erosion. There are many ways of applying vegetation to control erosion of sites where chemically active waste or waste susceptible to water and wind erosion have been dumped. This work presents the author's results of the study and practical implementation of sewage sludge. The exceptional efficiency of sludge is due to its colloidal consistency and content of humic and fertilizing elements.

In the paper the efficiency of sewage sludge was discussed in the reclamation work on dumping sites of:

- furnace waste – lysimetric and field experiments and technical scale implementation trials;
- post-soda lime – field experiments and large scale implementation work;
- post-flotation lime – lysimetric experiment.

Keywords: landfills, sewage sludge, plants