

Jerzy Zwoździak^{*}, Agata Piechocka[†]

**PRZERÓBKA OSADÓW ŚCIEKOWYCH, EMISJA
ODORÓW ORAZ MOŻLIWOŚCI ICH DALSZEGO
ZAGOSPODAROWANIA**

Streszczenie

Niniejsza publikacja przedstawia różne podejścia do zarządzania gospodarką odpadami w odniesieniu do odpadów organicznych. Prezentowane poniżej zagadnienia dotyczą obszaru wiedzy obecnie rozwijającego się, tj. prowadzenia procesów technologicznych tak, by otrzymać bezpieczny, optymalny i ekonomiczny produkt.

Słowa kluczowe: gospodarka osadami, gospodarka o obiegu zamkniętym, zrównoważony rozwój, uciążliwość zapachowa

WSTĘP

Krajowe ramy gospodarowania osadami ściekowymi wyznacza Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r. wraz z szeregiem aktów wykonawczych. Zasadniczym celem przyjętych regulacji jest zarządzanie gospodarką odpadami (w tym osadami) w myśl zasady zrównoważonego rozwoju, tj. w sposób niewywołujący negatywnego oddziaływania na życie i zdrowie ludzi i zwierząt oraz poszczególne komponenty środowiska. Wśród głównych kierunków wykorzystania osadów ściekowych ustawodawca wyróżnia zagospodarowanie przyrodniczo-rolnicze, tj. stosowanie w rolnictwie do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz, do re-

^{*} Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki, Wydział Nauk o Bezpieczeństwie

[†] Uniwersytet Przyrodniczy, Centrum Naukowe Zarządzania Ryzykiem Środowiskowym i Monitoringu Ekosystemów

kultywacji terenów, składowisk odpadów oraz gruntów na cele rolne. Prawodawstwo polskie umożliwia także przetwarzanie osadów w kierunku odzysku energii, a także termicznego przekształcenia. Powszechny jest także odzysk materiałowy, np. w budownictwie a także produkcja nawozów mineralno - organicznych, poprawiaczy glebowych na bazie osadów ściekowych [Bień i in. 2014, KPGO 2022].

Według danych GUS ilość wytworzonych osadów ściekowych na oczyszczalni ścieków komunalnych w 2016 r. kształtowała się na poziomie 568,3 tys. Mg s.m. [GUS 2017]. W stosunku do 2000 roku odnotowano wzrost wytwarzania ogółem o 196,2 tys. Mg s.m. osadu, spowodowany m.in. rozbudową oczyszczalni ścieków, rozwojem demograficznym, zwiększoną konsumpcją. Zgodnie z analizą prognoz w 2022 roku wartość ta osiągnie poziom 746 tys. Mg s.m. [KPGO 2022]. W Unii Europejskiej wytwarza się około 8 mln Mg s.m. osadów ściekowych rocznie. Szacuje się, iż do 2020 roku wartość ta wzrośnie do 13 mln Mg s.m. [Kominko i in. 2017].

W 2016 r. blisko 30 % (167,9 tys. Mg s.m. osadu) poddano odzyskowi przyrodniczo – rolniczemu stanowiącemu dominującą formę odzysku zarówno w kraju, jak i za granicą. W czołówce państw stosujących osad jako materiał o potencjale nawozowym należą: Norwegia, Portugalia, Irlandia, Wielka Brytania, Hiszpania, Albania, Czechy i Węgry -75-90 % masy ich osadów aplikowanych jest do gleby w celu jej nawożenia. Bułgaria, Francja, Belgia – odpowiednio 50-75% [EUROSTAT 2015]. Bardziej zaostrzone normy w odniesieniu do gospodarowania osadami w kierunku ich rolniczego wykorzystania zostały przyjęte w Szwecji, Niemczech, Holandii, Danii. Z kolei w Szwajcarii niskie dopuszczalne wartości stężeń metali ciężkich zawartych w osadach ściekowych stanowią barierę dla ich rolniczego wykorzystania [Kominko i in. 2017].

Analiza aktualnego stanu wiedzy w zakresie gospodarki osadami ściekowymi, uciążliwości zapachowej procesu przeróbki osadów, innowacyjnych oraz alternatywnych metod zagospodarowania osadów, zapotrzebowania rynku na produkt, obecnej polityki oraz strategii pozwoliły na rozwój nowej koncepcji zarządzania gospodarką osadami ściekowymi w ujęciu gospodarowania odpadami organicznymi w zamkniętym obiegu pierwiastków, znacznie ograniczającym emisję zanieczyszczeń u źródła. Zaznaczyć należy, iż omawiany problem mieści się w nowym obszarze wiedzy w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi.

CHARAKTERYSTYKA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Komunalne osady ściekowe są odpadami, produktami ubocznymi powstającymi w wyniku usuwania zanieczyszczeń obecnych w ściekach komunalnych dopływających z danej zlewni kanalizacyjnej do oczyszczalni ścieków. Właściwości fizyko-chemiczne oraz skład osadu są niejednorodne, uwarunkowane jakością

ścieków, zależną od warunków społeczno-gospodarczych danego regionu oraz technologią oczyszczania i przeróbki. Osad określany jest jako ciecz *nienewtonowska o charakterze reologicznym*, tj. twór w skład, którego wchodzi woda, ciała stałe o różnym stopniu rozdrobnienia cząstek oraz pęcherzyki gazu - układ wielofazowy, polidispersyjny. Cechą charakterystyczną osadów jest znaczne uwodnienie osiągające poziom 99% (osad surowy), 80-55% (osad odwodniony), 10 % (osad wysuszony), duża zawartość substancji organicznej, występowanie składników pokarmowych (w szczególności azotu, fosforu, i innych makro i mikroelementów), obecność metali ciężkich oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Zróżnicowana konsystencja, lepkość, rozmiar cząstek, właściwości reologiczne istotnie wpływają na stopień odwodnienia osadów, co zaś stanowi czynnik wyznaczający technikę ich aplikacji do gleby. [Jakubus 2012, Malczewska i in. 2017, Singh i in. 2008, Wójtowicz 2013].

Osady ściekowe są materiałem cennym przyrodniczo o wysokich walorach nawozowych oraz glebotwórczych. Dzięki zawartości mikro i makroskładników, materii organicznej poprawiającej właściwości fizyczne gleby takie, jak: zdolność zatrzymywania wody, porowatość, gęstość objętościowa mogą być stosowane jako substytut w nawożeniu gleb. Niemniej jednak obecność toksycznych metali ciężkich, zanieczyszczeń sanitarnych (obecność grzybów m.in.: *Aspergillus* spp., *Candida* spp., *Alternaria* spp., bakterii m.in. *Escherichia*, *Proteus*, *Helicobacter pylori*, *Salmonella* spp., jaj pasożytów – np. tasiemce, nicienie, wirusów – Adenowirusy, HCV, HAV, Rotawirusy) stanowi ograniczenie dla rolniczego i przyrodniczego sposobu zagospodarowania [Jakubus 2012].

Obecność metali ciężkich w osadach warunkowana jest genezą ścieków, jak i procesami zachodzącymi na oczyszczalni podczas ich oczyszczania. Metale ciężkie w osadach ściekowych mogą przyjmować postać rozpuszczoną, wytrąconą, współstrąconą z tlenkami metali, zaadsorbowaną lub zasocjowaną. Skumulowane są najczęściej w formie tlenków, wodorotlenków, fosforanów, krzemianów, siarczków, siarczanów, powiązań organicznych (kompleksy huminowe) oraz tworzą kompleksy z cukrami złożonymi. W stosunku do metali ciężkich gleba posiada właściwości sorpcyjne, tworzone są trwałe kompleksy z materią organiczną. Należą do związków, które nie ulegają biodegradacji, wykazują cechy kancerogenu, teratogenu oraz mutageny. Biodostępność metali warunkowana jest formą występowania w osadzie ściekowym, właściwościami gleby (m.in. pH), a także warunkowana jest tempem aplikacji osadu. Ocena zanieczyszczenia osadów metalami dokonywana jest na podstawie analizy stężeń dla kadmu, rtęci, chromu, niklu, ołowiu, miedzi i cynku w odniesieniu do przyjętych prawem wartości granicznych. [Jakubus 2012, Gawdzik 2013, Singh 2008].

Osad ściekowy wytwarzany jest na różnych etapach ciągu technologicznego oczyszczania ścieków komunalnych. Wyróżnia się osad wstępny - podatny na zagniwanie, powodujący uciążliwość zapachową, który powstaje w części me-

chanicznej oczyszczalni oraz osad wtórny o wysokiej zawartości związków organicznych, charakterystyczny dla części biologicznego usuwania zanieczyszczeń np. metodą osadu czynnego. Ten ostatni może ulec recyrkulacji lub jego strumień zostaje przekierowany do dalszych procesów przeróbki. Określany jest wówczas osadem nadmiernym. Ostatni etap gospodarki osadowej stanowi końcowe ich zagospodarowanie poprzez przetworzenie do formy, która uwolniona do środowiska zapewni jego bezpieczeństwo [Jakubus 2012, Wójtowicz 2013].

EMISJA SUBSTANCJI ZŁOWONNYCH OBIEKTÓW GOSPODARKI OSADOWEJ

Wśród głównych stref emisji uciążliwości zapachowej oczyszczalni ścieków w zakresie gospodarki osadowej wyróżnia się między innymi strefę oczyszczania mechanicznego (osadniki wstępne), oczyszczania biologicznego (złoża biologiczne, komory osadu czynnego, osadniki wtórne), obróbki osadów (w szczególności procesy zagęszczenia i odwadniania jak i stabilizacji oraz higienizacji). Ta ostatnia stanowi znaczące i najpoważniejsze źródło uwalniania substancji zapachowoczynnych z obiektów gospodarki wodno-ściekowej. Oprócz punktowych źródeł emisji wyróżnić należy również znaczące dla uciążliwości emitory powierzchniowe, np. otwarte baseny fermentacji (tzw. OBF), komory naturalnego przystosowania osadów (KNPO). Stężenie zapachowe strefy przeróbki osadów kształtuje się na poziomie 100-1000000 ou/m³. Obszar ten w porównaniu ze strefą oczyszczania biologicznego (5-120 ou/m³) oraz dopływu ścieków i oczyszczania mechanicznego (30 – 1000 ou/m³) jest znaczącym źródłem uwalniania substancji złowonnych do atmosfery [Sówka i in. 2017].

Emisję odorantów odnotowuje się także w miejscach składowania (tzw. laguny osadowe), przeładunku oraz transportu osadów. Tempo uwalniania odorantów warunkowane jest rodzajem, strukturą, grubością osadu, warunkami otoczenia, tj. wilgotnością, temperaturą oraz charakterem emitora. Zasięg oddziaływania zapachowego zależy od warunków meteorologicznych, topograficznych. Substancje złowonne powstają w wyniku przemian biochemicznych dotyczących rozkładu materii organicznej przy udziale mikroorganizmów w drodze wytwarzania i przeróbki osadów ściekowych w oczyszczalniach ścieków. Lista substancji złowonnych, która jest przyczyną zapachowej emisji zanieczyszczeń obiektów gospodarki osadowej składa się z wielu rodzajów odorantów. Charakterystycznymi dla przedmiotowego obiektu uwalnianymi odorantami są m.in.: siarkowodór, amoniak, oraz odoranty z grup: tioli, sulfidy, aldehydy, ketony, kwasy karboksylowe (octowy, masłowy, walerianowy), aminy alifatyczne i aromatyczne [Sówka i in. 2017, Szykowska i in. 2010].

Podczas procesu zagęszczenia osadu następuje emisja związków zapachowoczynnych należących do grupy kwasów karboksylowych – lotne kwasy tłuszczowe. Uciążliwość zapachowa w procesie higienizacji, do której używane jest

wapno palone (CaO) lub gaszone $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wywoływana jest przez znaczną emisję amoniaku. Forma tlenkowa wapna (CaO) w wyniku tworzenia siarczanu wapnia zmniejsza uwalnianie odorantów zawierających siarkę [Jakubus 2012, Zwoździak i in. 2016, Liu i in. 2012].

KIERUNKI PRZETWARZANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Obecnie jednym z najbardziej powszechnych sposobów przetwarzania osadów ściekowych jest ich przyrodniczo-rolnicze wykorzystanie jako odpadu o kodzie 19 08 05 zgodnie z obowiązującymi regulacjami lub w formie polepszaczy glebowych – środków poprawiających właściwości gleby (np. w formie granulatu nawozowego – granulowane mieszanki osadowo-popiołowe, produkcja nawozów mineralno-organicznych), wspomagających uprawę roślin. [Alvarenga i in. 2017, Kominko i in. 2017, Singh 2008].

Przykładem węgierskiej innowacyjnej techniki w gospodarce osadowej jest przetwarzanie osadów ściekowych w technologii Lignimix. Innowacja procesu skupiona jest ścinaniu na mokro (wet grinding) odpadu o zawartości 5-6 % suchej masy z dodatkiem cząstek węgla brunatnego. Powstała mieszanina ulega ciągłym naprężeniom ścinającym w ośrodku wskutek, czego następuje przekształcenie struktur osadu do postaci jednorodnej, stabilnej zawiesiny, o stałych parametrach układu. Sucha masa osadu przetworzonego w procesie Lignimix kształtuje się na poziomie powyżej 30 %. Właściwości produktu zostały potwierdzone testami przeprowadzonymi w 2005 r. na Uniwersytecie w Miskolcu (Węgry). Wyróżniono dwa kierunki wykorzystania otrzymanego produktu: przyrodnicze i rolnicze stosowanie w postaci środka poprawiającego właściwości gleby oraz jako paliwo alternatywne. Przeprowadzone badania dowodzą, że zastosowanie przedmiotowego materiału na różnych rodzajach gleby przyczyniło się do zwiększenia plonów. Na obszarze Węgier w latach 2003-2013 uruchomiono 8 linii pilotażowych produkujących ten materiał. Patent węgierski na technologię LIGNIMIX został przyznany w 2004 r. Do tej pory technologia ta nie została wdrożona na szeroką skalę [Ligetvári 2015, Stadler 2013].

Współczesne badania krajowe oraz zagraniczne dowodzą innowacyjnego, potencjalnego wykorzystania biowęgla otrzymanego w wyniku termicznego przetwarzania (pirolizy) osadów komunalnych. Wśród kierunków wskazanych przez naukowców wyróżnić należy możliwość zastosowania biowęgla m.in. do produkcji polepszaczy glebowych, materiałów będących substytutem dla węgla aktywnego używanego do usuwania substancji zanieczyszczających, wypełniaczy i barwników stosowanych w procesie wytwarzania tworzyw sztucznych, materiałów z wykorzystaniem w budownictwie, tj. materiałów izolacyjnych. Obecnie podjęto liczne prace badawczo-rozwojowe nad technologiami otrzymywania bio-

węgla z organicznej masy odpadów. Brak jest jednak norm prawnych umożliwiających gospodarowaniem biowęglem na bazie osadów ściekowych [Mełgieś i in. 2016].

Według analiz ekspertów stwierdza się, iż kierunkiem przyszłości dla gospodarki osadami jest ich termiczne przekształcenie oraz recykling organiczny. Należy także zwrócić uwagę na możliwość zastosowania osadu ściekowego jako kosubstratu poddawanego fermentacji metanowej (kofermentacji), która przebiega z odzyskiem energii elektrycznej/ciepłej pochodzącej ze spalania biogazu [Czekała i in. 2017, Mełgieś i in. 2016].

Obszar wiedzy, dotyczący rozwoju alternatywnych metod, innowacyjnych technologii zagospodarowania osadów jest przedmiotem badań wielu naukowców. Badania nad wytworzeniem produktu na bazie osadów, którego obieg zamyka się w środowisku stają się elementem europejskich oraz krajowych strategii gospodarki odpadami [Kominko i in. 2017, Mełgieś i in. 2016].

WNIOSKI

W oparciu o nowe dowody wskazać należy, że przyszłość dla gospodarki osadowej ukierunkowana jest na recykling organiczny oraz termiczne przekształcenie. Oba sposoby nie stanowią złotego środka. Recykling organiczny związany jest z ryzykiem aplikacji dogłębowej zanieczyszczeń organicznych i metali ciężkich. Termiczne przekształcenie prowadzi do emisji zanieczyszczeń do atmosfery, również tych wpływających na zmiany klimatu. Przyszłe kierunki badań powinny dotyczyć rozwoju technologii prowadzących do unieruchomienia metali ciężkich oraz innych zanieczyszczeń, a jednocześnie wzbogacenia masy takimi pierwiastkami, by uzyskać bezpieczny, pełnowartościowy produkt.

LITERATURA

1. ALVARENGA P., PALMA P., MOURINHA C., FARTO M., DÔRES J., PATANITA M., SOUSA J. P.: *Recycling organic wastes to agricultural land as a way to improve its quality: a field study to evaluate benefits and risks*. Waste Management, 61, 582-592, 2017
2. BIENŃ J., I IN.: *Ekspertyza, która będzie stanowić materiał bazowy do opracowania strategii postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2014-2020* Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Instytut Inżynierii Środowiska, Częstochowa, 2014
3. BOCHENEK D., I IN.: *Ochrona środowiska 2017. Informacje i opracowania statystyczne* Główny Urząd Statystyczny. Warszawa (GUS 2017), 2017

4. CZEKAŁA W., SMURZYŃSKA A., KOZŁOWSKI K., BRZOSKI M., CHEŁKOWSKI D., & GAJEWSKA K.: *Kofermentacja osadów ściekowych sposobem na ich zagospodarowanie oraz produkcję energii* Problemy Inżynierii Rolniczej, 25, 5-14, 2017
5. GAWDZIK J.: *Mobilność wybranych metali ciężkich w osadach ściekowych* Monografie, studia, rozprawy Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2013
6. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Sewage_sludge_disposal_from_urban_wastewater_treatment_by_type_of_treatment_2015_\(%25_of_total_mass\)_V2.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Sewage_sludge_disposal_from_urban_wastewater_treatment_by_type_of_treatment_2015_(%25_of_total_mass)_V2.png) File: Sewage sludge disposal from urban wastewater treatment, by type of treatment, 2015 (% of total mass) (2018-10-04)
7. JAKUBUS M.: *Komunalne osady ściekowe geneza – gospodarka* Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 2012
8. KOMINKO H., GORAZDA K., WZOREK Z., WOJTAS K.: *Sustainable Management of Sewage Sludge for the Production of Organo-Mineral Fertilizers* Waste and Biomass Valorization, 9, 1817-1826, 2017
9. LIGETVÁRI F., ZSABOKORSZKY F., KOVÁCS K., ZSIRAI I.: *Wastewater Treatment and Sludge Utilisation in Hungary* Journal of Environmental Science and Engineering B 4, 141-147, 2015
10. LIU H., LUO G. Q., HU H. Y., ZHANG Q., YANG J. K., YAO H.: *Emission characteristics of nitrogen-and sulfur-containing odorous compounds during different sewage sludge chemical conditioning processes. Journal of hazardous materials* 235, 298-306, 2012
11. MALCZEWSKA B., BICZYŃSKI A.: *Comparison between different models for rheological characterization of sludge from settling tank* Journal of Water and Land Development, 34, 191-196, 2017
12. MEŁGIEŚ K., MALIŃSKA K.: *Aspekty prawne przetwarzania komunalnych osadów ściekowych do biowęgla w ujęciu ustawodawstwa polskiego* Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, 9, 96-107, 2016
13. SINGH R. P., AGRAWAL M.: *Potential benefits and risks of land application of sewage sludge* Waste management, 28, 347-358, 2008
14. SÓWKA I., GRZELKA A., MILLER U.: *Problematyka odorów w procesach gospodarki ściekowej* Wodociągi-Kanalizacja, 6, 39-42, 2017
15. STADLER J.: *LIGNIMIX A leap in sludge treatment Fuel or soil conditioner from municipal sludge 4th International Symposium Re-Water 06.-07.11.2013 r Braunschweig*, 2013
16. SZYŃKOWSKA M. I., ZWOŹDZIAK J.: *Współczesna problematyka odorów* Praca zbiorowa pod redakcją Małgorzaty Iwony SzyŃkowskiej i Jerzego Zwoździaka. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2010
17. Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego Planu Gospodarki Odpadami 2022 (KPGO) M.P. 2016 poz. 784.

18. WÓJTOWICZ A.: *Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej* Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie” Stowarzyszenie Eksploatatorów Obiektów Gospodarki Wodno-Ściekowej, Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie 2013
19. ZWOŹDZIAK J., I IN.: *Lista substancji i związków chemicznych, które są przyczyną uciążliwości zapachowej* opracowano dla: Ministerstwo Środowiska, opublikowano: <https://www.mos.gov.pl/srodowisko/uciazliwosc-zapachowa/>, 2016

SEWAGE SLUDGE PROCESSING, ODOR EMISSION AND THE POSSIBILITIES OF THEIR FUTURE DEVELOPMENT

S u m m a r y

This publication presents various approaches to waste management in relation to organic waste. The issues presented below relate to the area of constantly developing knowledge, i.e. ways to conduct technological processes in order to obtain a safe, economically optimal product.

Keywords: sewage sludge management, circular economy, sustainability, odor nuisance