

klimatu.eu/images/dobre_praktyki/Mszczonow.pdf, 02.08.2022.

[29] Bujakowski F., Wierzbicki G., 2011, Zastosowania teorii SIT w numerycznej ocenie tendencji do wytrącania stałych faz mineralnych z roztworu geotermalnego na przykładzie danych z otworu Gostynin GT-1, *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1-2, 387-401.

[30] Portal Vademecum dla uczniów technikum, Charakterystyka źródeł geotermalnych, <https://instsani.pl/technik-urzadzen-i-systemow-energetyki-odnawialnej/vademecum-energetyki-odnawialnej/energia-geotermalna/charakterystyka-zrodel-geotermalnych/>, 05.08.2022.

[31] Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Gonet A., Kowalski T., Sojczyńska A., 2021, Geothermal Boreholes in Poland—Overview of the Current State of Knowledge, *Energies*, 14, 3251. <https://doi.org/10.3390/en14113251>, 05.08.2022.

[32] Noga B., Kosma Z., Biernat H., 2011, Przegląd obecnie realizowanych projektów wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej na Niżu Polskim, *Logistyka*, 6, 3079-3088. ●

Zuzanna Pietrzak*, **Bartosz Karbowy***, **Andrzej Żarczyński¹**

e-mail: z.pawelczyk98@wp.pl; superszostka@gmail.com; andrzej.zarczynski@p.lodz.pl;

Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

* Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych stosowane w Polsce

Wprowadzenie

Osady ściekowe są wyodrębniane ze ścieków podczas ich oczyszczania i stanowią niewielki procent wszystkich odpadów wytwarzanych w polskiej gospodarce, jednak z uwagi na swoje właściwości wymagają odpowiedniego zagospodarowania. Ilość generowanych osadów wynosi jedynie 1-3% objętości oczyszczanych ścieków, mimo to mogą one stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego i zdrowia ludzi, zwłaszcza przy niewłaściwym ich zagospodarowaniu, bowiem zawierają m.in. metale ciężkie, a także są siedliskiem wielu mikroorganizmów chorobotwórczych, pasożytów, a także różnych form przetrwalnikowych [1-3]. Ilość wytwarzanych osadów ściekowych w Polsce w ostatnich dwóch dekadach praktycznie nie maleje [4]. Przyczyną może być dość intensywna rozbudowa sieci kanalizacyjnych, modernizacja istniejących już oczyszczalni ścieków komunalnych i miejskich w celu przystosowania ich do technologii wysokosprawnych, nastawionych na usuwanie związków biogenych, jak również budowa nowych oczyszczalni ścieków. Z uwagi na te zagrożenia oraz na właściwości fizykochemiczne, osady muszą być poddawane odpowiedniej i skutecznej przeróbce, a następnie właściwie zagospodarowane. Z tego też względu gospodarka osadami jest niezwykle ważna, bowiem osady po przetworzeniu w oczyszczalniach powinny w miarę możliwości powracać do środowiska naturalnego [3, 5-8].

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w okresie ostatnich dwudziestu lat liczba oczyszczalni ścieków przemysłowych znacznie zmniejszyła się, tj. z 1626 w 2000 r. do 876 w 2020 r. Część z nich została zlikwidowana wraz z zamknięciem zakładów przemysłowych lub zreorganizowana na skutek uruchomienia podczyszczalni ścieków przemysłowych. W obecnie powstających podczyszczalniach ścieków przemysłowych uzyskuje się ścieki ze wstępnie obniżonym ładunkiem zanieczyszczeń w stopniu, który umożliwia odprowadzenie ich do oczyszczalni ścieków komunalnych lub oczyszczalni ścieków zakładowych [4].

Liczba oczyszczalni ścieków komunalnych w latach 2000-2020 wzrosła z 2417 w 2000 r. do 3281 w 2020 r. W 2020 r. wśród oczyszczalni przemysłowych dominowały oczyszczalnie biologiczne (60%) i mechaniczne (24%). Natomiast najwięcej oczyszczalni komunalnych wykorzystywało biologiczne metody oczyszczania ścieków (75%), w tym umożliwiające podwyższone usuwanie biogenów (25%) [4].

Źródła i masy osadów ściekowych powstających w Polsce

W tabeli 1 przedstawiono wybrane dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) dotyczące sumarycznych mas osadów ściekowych, pochodzących z komunalnych i przemysłowych oczyszczalni ścieków w Polsce, w okresie lat 2000–2020 [4]. Po osiągnięciu w 2005 r. maksymalnej ilości 1124,4 tys. ton s.m. (ton suchej masy) wytworzonych osadów ściekowych i minimalnej 895,1 tys. ton s.m. w 2010 r.,

¹ Autor do korespondencji.



Tabela 1. Sumaryczne masy osadów ściekowych z przemysłowych i komunalnych oczyszczalni ścieków, a także nagromadzone na terenie oczyszczalni, według GUS z 2021 [4]

Rodzaje osadów ściekowych	2000	2005	2010	2015	2020
	w tys. ton s.m.				
Suma osadów wytworzonych w danym roku w oczyszczalniach ścieków przemysłowych	703,3	638,2	368,4	383,5	420,6
Suma osadów wytworzonych w danym roku w oczyszczalniach ścieków komunalnych	359,8	486,1	526,7	568,0	568,9
Suma osadów wytworzonych w danym roku	1063,1	1124,4	895,1	951,5	989,5
Suma osadów z przemysłowych oczyszczalni ścieków nagromadzonych na terenie oczyszczalni – stan w końcu danego roku	–	8560,1	6118,1	6237	5932,7
Suma osadów z komunalnych oczyszczalni nagromadzonych na terenie oczyszczalni – stan w końcu danego roku	–	782,7	332,4	246,9	210,9
Suma osadów nagromadzonych na terenie oczyszczalni – stan w końcu danego roku	14654	9342,8	6450,5	6483,9	6143,6

obserwowany jest od tego czasu wzrost ilości powstających osadów ściekowych [4]. W 2020 r. w oczyszczalniach ścieków komunalnych i przemysłowych łącznie wytworzono 989,5 tys. ton s.m. osadów ściekowych, tj. o prawie 10,6% więcej niż w 2010 r.

W 2020 r. ilość osadów ściekowych powstających w przemysłowych oczyszczalniach ścieków zmniejszyła się o 40,2% w stosunku do 2000 r. (z 703,3 tys. ton s.m. w 2000 r. do 420,6 tys. ton s.m. w 2020 r.). Jedną z przyczyn powyższego może być zmniejszenie liczby oczyszczalni przemysłowych oraz ilości wytwarzanych ścieków przez tę grupę oczyszczalni. Z kolei od wielu lat obserwuje się wzrost ilości osadów ściekowych powstających w oczyszczalniach ścieków komunalnych, ze względu na wzrost ilości ścieków trafiających do tych oczyszczalni [4]. Od 2000 r. do 2020 r. ilość osadów ściekowych wytworzonych w komunalnych oczyszczalniach ścieków wzrosła o około 58,1%. Z kolei w tym samym okresie suma osadów nagromadzonych na terenie oczyszczalni zmniejszyła się o 58,1%, co jest pozytywne, świadczy bowiem o ich rosnącej skali zagospodarowania.

Prawne aspekty unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych

Podstawowym aktem prawnym regulującym zagadnienia gospodarki odpadami jest ustawa z dnia 14 grudnia 2012 roku o odpadach (Dz. U. z 2013 r. poz. 21, tekst jednolity Dz.U.2022, poz. 699), która definiuje komunalne osady ściekowe jako pochodzący z oczyszczalni ścieków osad z komór fermentacyjnych, innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do składu ścieków komunalnych. Zawiera ona szczególne zasady gospodarowania niektórymi rodzajami odpadów oraz określa sposoby utylizacji komunalnych osadów ściekowych. Według tej ustawy komunalne osady ściekowe mogą być stosowane tylko gdy są one ustabilizowane, a także odpowiednio przygotowane [5].

Wyżej wymienionej ustawie o odpadach towarzyszy wiele rozporządzeń, które szczegółowo regulują postępowanie z osadami ściekowymi. Do najważniejszych aktów prawnych w tym zakresie możemy zaliczyć [6]:

- Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów; Dz.U.2020, poz. 10;
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych; Dz. U. 2015, poz. 257;
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r.

w sprawie dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach, Dz. U. 2015, poz. 1277;

- Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu, Dz. U. 2016, poz. 108;
- Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 24 września 2020 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów, Dz. U. 2020, poz. 1860;
- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 31 grudnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz. U. 2022, poz. 89.

Właściwości osadów ściekowych

Jakość ścieków, które dopływają do oczyszczalni, jak również procesy technologiczne w nich prowadzone mają istotne znaczenie dla właściwości fizykochemicznych osadów ściekowych. Większość komunalnych osadów charakteryzuje się wysokim uwodnieniem, które zmienia się znacznie od ponad 99% dla osadów surowych, do 80-55% dla osadów odwodnionych i poniżej 10% dla osadów wysuszonych termicznie. W skład chemiczny osadów ściekowych wchodzi wiele pierwiastków, w tym metale ciężkie, które są źródłem zanieczyszczeń i ograniczają przez to wykorzystanie osadów ściekowych [7-12]. Do pierwiastków występujących w osadach możemy zaliczyć: ołów, kadm, chrom, miedź, nikiel oraz cynk. Innymi szkodliwymi związkami organicznymi zawartymi w osadach są między innymi: pestycydy, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane bifenyle lub adsorbowalne organiczne związki chloru [1-13].

Osady ściekowe mogą być używane w celach rolniczych z tego względu, iż są cennym źródłem biogenów w glebach. Jednak ich stosowanie nie może szkodzić zwierzętom czy roślinom oraz pogarszać jakości gleb i produktów rolnych. Osady wykorzystywane jako nawozy są źródłem składników pokarmowych, a także przyczyniają się do zwiększenia ilości próchnicy w glebie. Osady ściekowe charakteryzujące się niskim stężeniem metali ciężkich mogą również znacznie wpłynąć na przyrost biomasy oraz zwiększać liczbę mikroorganizmów biorących udział w procesach mineralizacji azotu organicznego. Osady są więc cennym składnikiem gleb [7].

Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych

Klasyfikacje metod postępowania z osadami ściekowymi

Unieszkodliwianie osadów ściekowych bardzo często wiąże się z ich gospodarczym wykorzystaniem, dlatego wybór odpowiedniej metody zależy w dużej mierze od właściwości fizykochemicznych i mikrobiologicznych, między innymi od zawartości metali ciężkich, organizmów chorobotwórczych, składników nawozowych (azot, fosfor) lub od substancji organicznych [3].

Od 1 stycznia 2016 roku niemożliwe jest już składowanie nieprzetworzonych osadów ściekowych niespełniających wymagań określonych w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczenia odpadów do składowania na składowiskach [7]. Z uwagi na to rozporządzenie w Polsce do utylizacji osadów ściekowych stosowane są głównie trzy metody:

- rolniczo-przyrodnicze wykorzystanie;
- przeróbka pierwotna;
- metody termiczne.

Najkorzystniejszym i zarówno najtańszym rozwiązaniem jest rolniczo-przyrodnicze wykorzystanie osadów, ponieważ występujące w nich cenne składniki nawozowe powinny być w miarę możliwości przywracane do środowiska naturalnego. Jest to ważne dlatego, że obserwuje się coraz to większy deficyt substancji organicznej w glebie [8]. Do przyrodniczego wykorzystania osadów ściekowych możemy zaliczyć [2]:

- nawożenie użytków rolnych – jest to doskonały sposób na zachowanie próchnicy w glebie, jak również na dostarczanie składników pokarmowych roślinom,
- rekultywację gruntów bezglebowych – stosowana jest w celu ukształtowania szaty roślinnej, która chroni powierzchnię przed erozją wodną i wiatrową,
- zestalenie roślin z podłożem,
- produkcję kompostu – wiąże się to z nawożeniem osadami na danym terenie przez wiele lat. Kompostowanie osadów ściekowych może się przyczynić do okresowego wzrostu temperatury w złożu, a także wpłynąć pozytywnie na jego higienizację. Dzięki tej metodzie zniszczone zostają bakterie chorobotwórcze czy zarodniki niektórych grzybów. Powstający kompost jest cennym nawozem, bogatym w substancje organiczne, azot, fosfor i potas.

Podane wyżej metody recyklingu organicznego związane z odzyskiem pierwiastków nawozowych mogą być stosowane tylko dla osadów ustabilizowanych i zalecane są jedynie dla małych oraz średnich oczyszczalni ścieków ze względu na ich właściwości, głównie na zawartość związków biogenych [5-7].

Przeróbka pierwotna jest niezwykle ważna w procesie unieszkodliwiania osadów ściekowych. Składa się ona z szeregu działań i ma na celu przede wszystkim przygotowanie



osadów do ich późniejszego zagospodarowania. W ramach przeróbki pierwotnej możemy wyróżnić procesy zagęszczania, kondycjonowania, stabilizacji oraz odwadniania [5-10].

- Zagęszczanie – polega na oddzielaniu fazy stałej od fazy ciekłej, w celu zmniejszenia objętości osadów. Wyróżniamy metodę grawitacyjną i mechaniczną. Pierwsza z nich wykorzystuje siłę grawitacji, druga natomiast bazuje na wykorzystaniu sił takich jak ciśnienie czy siła odśrodkowa.
- Kondycjonowanie – jest to proces poprzedzający usuwanie wody z osadów, mający na celu zwiększenie podatności osadu na eliminację zawartej w nim wody.
- Stabilizację – w jej skład wchodzi procesy biologiczne (fermentacja metanowa, tlenowa stabilizacja, kompostowanie), procesy chemiczno-termiczne, procesy chemiczne (wapnowanie osadów) oraz procesy termiczne (mokre spalanie, piroliza, spalanie osadów).
- Odwadnianie – jest to proces usuwania wody z osadu w celu zmniejszenia jego objętości.

Wybór odpowiednich procesów zależy od ostatecznego zagospodarowania danych osadów ściekowych. Za dalsze przetworzenie osadów odpowiada już przeróbka wtórna, na którą składają się takie procesy jak: suszenie i spalanie osadów. Ze względu na duże i wciąż rosnące znaczenie praktyczne nieco więcej uwagi poświęcimy fermentacji metanowej i procesom termicznego spalania osadów ściekowych.

Krótką charakterystyką procesu fermentacji metanowej

Fermentacja metanowa jest procesem, który umożliwia połączenie oczyszczania osadów ściekowych z zawartych w nich zanieczyszczeń organicznych z równoczesnym odzyskiem zgromadzonej w nich energii. Fermentacja metanowa wywoływana jest przez dwie różne grupy drobnoustrojów, dlatego też przebiega dwufazowo. W pierwszej fazie następuje upłynnienie i hydroliza nierozpuszczalnych związków organicznych oraz degradacja wytworzonych związków pośrednich przez bakterie saprofityczne do niższych kwasów tłuszczowych i związków pośrednich. Faza ta nazywana jest fazą kwasową. W drugiej zaś fazie, nazywanej metanową, wytworzone substancje są dalej rozkładane przez bakterie metanowe do produktów gazowych, głównie metanu i ditlenku węgla. Istotą fermentacji jest biologiczny rozpad zanieczyszczeń organicznych pod wpływem bakterii anaerobowych. Produktami reakcji rozkładu są: biogaz i biomasa [9-13]. Aby proces fermentacji mógł prawidłowo przebiegać, niezbędne jest dotrzymanie odpowiednich warunków reakcji, jak: stały odczyn (w granicach 6-8 pH) i stała temperatura w zakresach:

10–20°C (fermentacja psychrofilowa),

25–35°C (fermentacja mezofilowa),
50–60°C (fermentacja termofilowa) [11].

Najczęściej fermentację metanową prowadzi się w zakresie temperatur 30–40°C, ze względu na optymalny stopień rozkładu substancji organicznej (optimum wytwarzania gazu ~50%). Czas niezbędny do przeprowadzenia procesu fermentacji metanowej zależy od:

- temperatury,
- obciążenia komór fermentacyjnych – czyli stężenia substratu w reaktorze,
- stężenia aktywnej biomasy,
- wymaganego stopnia rozkładu [9-13].

Proces może być prowadzony w prostych urządzeniach, takich jak osadniki gnilne, osadniki Imhoffa lub w dużych oczyszczalniach w wydzielonych komorach fermentacyjnych, samodzielnie lub wspólnie z innymi odpadami (kofermentacja). Ilość produkowanego gazu waha się w zakresie od 0,4–0,6 m³/kg s.m.o. Gaz fermentacyjny zawiera około 67% (v/v) metanu, 30% (v/v) ditlenku węgla, parę wodną oraz w zakresie 0,02-1% (v/v) siarkowodoru [9, 13]. Bardzo istotną kwestią jest usuwanie toksycznego i korozyjnego siarkowodoru z biogazu, aby mógł być on bezpiecznie poddany spalaniu w instalacji cieplnej lub energetycznej danej biogazowni. W procesie tym jest stosowanych wiele metod, w tym oparte o sorbenty stałe zawierające związki żelaza [12-16].

Krótką charakterystyką utylizacji osadów ściekowych metodami termicznymi

W dużych oczyszczalniach ścieków sprawdzają się **metody termiczne**. Osady ściekowe zagospodarowane są tam energetycznie, przez monospalarnie oraz w biogazowniach [5, 14]. Do metod termicznych unieszkodliwiania osadów możemy zaliczyć [6-11, 17-21]:

- spalanie,
- współspalanie,
- procesy alternatywne, np. zgazowanie, pirolizę lub mokre utlenianie.

Racjonalnym rozwiązaniem służącym redukcji osadów ściekowych oraz właściwej ich utylizacji jest spalanie, które pozwala na całkowite unieszkodliwienie tych odpadów. Spalane mogą być zarówno osady surowe jak i ustabilizowane. Jednak biorąc pod uwagę ciepło spalania zalecane jest wykorzystanie tego procesu do utylizacji osadów surowych. Proces termicznego rozkładu dzieli się na kilka etapów. Pierwszym z nich jest suszenie, które prowadzi do zmiany postaci fizycznej poprzez ograniczenie objętości i masy osadów. Najtańszym w eksploatacji procesem suszenia jest wykorzystanie efektu cieplarnianego, który powstaje w su-

szarni dzięki przenikającym do niej promieniom słonecznym. Drugim etapem jest przegrzanie materiału oraz rozpoczęcie wylewania, czyli niskotemperaturowego odgazowania. Pierwsze dwie fazy są procesami endotermicznymi. Kolejnym etapem jest spalanie części lotnych oraz gazów wylewnych. Następnie rozpoczyna się spalanie właściwe, a także zgazowanie. Ostatnim etapem procesu termicznego rozkładu jest wypalanie oraz dopalanie. Trzy ostatnie fazy są procesami egzotermicznymi. Powstałe w procesie spalania ciepło wykorzystywane jest do przebiegu suszenia osadu [2, 6, 7, 17-21].

Wśród technologii realizujących proces spalania odpadów wyróżniamy kilka grup metod krótko poniżej opisanych [2, 10, 20, 21].

- Technologie **spalania w złożu fluidalnym** – jest to grupa najlepiej technicznie rozwiniętych rozwiązań biorąc pod uwagę konstrukcję. W obrębie tej grupy wykorzystuje się technologie spalania w złożu stacjonarnym, w złożu cyrkulacyjnym oraz w złożu wirowym. Technologie te charakteryzuje efektywność energetyczna, a także zastosowanie w energetyce zawodowej opartej na paliwach węglowych. Stosowane są do spalania osadów odpowiednio odwodnionych mechanicznie lub częściowo osuszonych, jak również w postaci granulatu.
- Technologie **spalania w piecach z mechanicznym rusztem ruchomym** – są to rozwiązania oparte na doświadczeniach konwencjonalnych instalacji, w których spalane są odpady komunalne. Charakteryzuje je prosta konstrukcja oraz wysoka efektywność energetyczna.
- Technologie **spalania w piecu obrotowym** – dotyczą osadów wprowadzanych przeciwprądowo w celu ich wstępnego osuszenia przed spalaniem.
- Technologie **spalania w piecach półkowych o różnej konstrukcji** – związane są z procesem osuszania osadów.
- Technologie wykorzystujące **proces pirolizy lub zgazowania, a także kombinacje tych procesów** – są to rozwiązania o wysokim ryzyku inwestycyjnym. Charakteryzuje je konieczność dostarczenia energii, w celu realizacji termicznego procesu przemiany odpadów.

Statystyka postępowania z osadami ściekowymi w Polsce

W tabeli 2 zebrano dane według materiałów GUS na temat skali zastosowania głównych metod zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce w okresie lat 2000-2020 [4]. Bardziej szczegółowe dane, jeśli chodzi o specyfikację wykorzystania osadów z komunalnych i przemysłowych oczyszczalni ścieków można znaleźć, np. w opracowaniu GUS pt. Ochrona środowiska 2021 [4].

W latach 2000-2020, mimo wahań, stwierdzono spadek zastosowania osadów ściekowych w rolnictwie z 19,96 do 16,21%. Znacznie większy spadek z 14,57 do 2,68% wystąpił w stosowaniu osadów do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne, a minimalny wzrost z 2,65 do 3,08% w stosowaniu osadów ściekowych do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu. Jednak szczególną uwagę zwraca w tym okresie wzrost ilości osadów ściekowych – przemysłowych i komunalnych – przekształcanych termicznie, tj. z 3,21 do 22,17% [4]. Według Autorów statystyk GUS [4] zaobserwowano pozytywny trend w postępowaniu z przemysłowymi osadami ściekowymi, tj. wzrost ilości osadów poddanych utylizacji termicznej. W 2000 r. metodzie przekształcenia termicznego poddano 28,2 tys. ton osadów w przeliczeniu na suchą masę, a w 2020 r. masa osadów przekształconych termicznie była ponad 4-krotnie większa i wyniosła 120,9 tys. ton s.m. Ilość osadów ściekowych powstających w przemysłowych oczyszczalniach ścieków w 2020 r. stanowiła 42,5% całkowitej masy osadów ściekowych wytworzonych w danym roku.

Pozytywnym trendem jest coraz częstsze stosowanie utylizacji termicznej osadów z oczyszczalni komunalnych. Obecnie przekształca się ich w ten sposób ponad 6-krotnie więcej niż w 2010 r. Wpływa to na sukcesywny spadek ilości osadów składowanych na terenach komunalnych oczyszczalni ścieków. Ilość osadów ściekowych wytworzonych w 2020 r. w oczyszczalniach komunalnych wyniosła 568,8 tys. ton s.m. i stanowiła 58% całkowitej masy osadów wytworzonych w danym roku. Ponad 17% osadów z komunalnych oczyszczalni ściekowych (98,6 tys. ton s.m.) zostało przekształconych termicznie, a jedynie ok. 1% osadów (6,9 tys. ton s.m.) poddano składowaniu [4].

Pozytywnym zjawiskiem jest spadek skali składowania osadów ściekowych w latach 2000-2020 z 44,63% do 6,45% wymuszony przepisami prawnymi. Uwagę zwraca także rosnący w tym okresie udział innych metod zagospodarowania osadów ściekowych, aż z 14,98 do 49,41%, wynikający w znacznym stopniu z poddawania osadów procesom fermentacji w celu produkcji biogazu, który po oczyszczeniu jest stosowany do celów energetycznych w oczyszczalniach ścieków.

Podsumowanie

Ze względu na postępującą rozbudowę i modernizację istniejących krajowych oczyszczalni ścieków komunalnych oraz powstawanie nowych obiektów, w najbliższych latach w Polsce zaobserwujemy dalszy wzrost masy osadów ściekowych, których zagospodarowanie będzie poważnym wyzwaniem. Aktualne przepisy prawne coraz ostrzej trak-



Tabela 2. Specyfikacja zastosowania głównych metod zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce w okresie lat 2000-2020

Rodzaje osadów ściekowych	2000		2005		2010		2015		2020	
	w tys. ton s.m.	%	w tys. ton s.m.	%	w tys. ton s.m.	%	w tys. ton s.m.	%	w tys. ton s.m.	%
Stosowane w rolnictwie	212,2	19,96	98,2	8,73	136,9	15,30	126,6	13,31	160,4	16,21
Stosowane do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne	154,9	14,57	324,9	28,90	150,4	16,80	31,3	3,29	26,5	2,68
Stosowane do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu	28,1	2,65	29,6	2,63	31,3	3,50	48,2	5,07	30,5	3,08
Przekształcane termiczne	34,1	3,21	37,4	3,33	66,4	7,42	165,4	17,38	219,4	22,17
Składowane	474,5	44,63	399,1	35,39	165,9	18,53	131,5	13,81	63,9	6,45
Inne metody postępowania	159,3	14,98	235,2	20,92	344,2	38,45	448,5	47,14	488,8	49,41
Suma osadów wytworzonych w danym roku	1063,1	100	1124,4	100	895,1	100	951,5	100	989,5	100

tują problem składowania osadów ściekowych na przepelnionych składowiskach odpadów komunalnych. Co więcej, dość popularne przyrodnicze metody zagospodarowania osadów ściekowych również tracą na atrakcyjności ze względu na wysoką zawartość substancji, zwłaszcza metali ciężkich, szkodliwych dla środowiska w komunalnych osadach ściekowych pochodzących szczególnie z dużych aglomeracji miejskich.

W Polsce stosuje się szereg metod w celu unieszkodliwiania oraz zagospodarowania osadów ściekowych w zależności od ich właściwości i jakości, a także od warunków lokalnych danej oczyszczalni. Każda z wyżej przedstawionych metod ma swoje wady i zalety. Chcąc przyrodniczo wykorzystać osady należy wziąć pod uwagę zawarte w nich związki biogenne i substancje organiczne. Jednak niewielki stan wiedzy z zakresu zawartości organizmów chorobotwórczych oraz mikrozanieczyszczeń w osadach ściekowych może ograniczać zastosowanie tej metody. Proces spalania

osadów ściekowych ma wiele zalet, jest to między innymi: minimalizacja odorów, zmniejszenie objętości osadów, niska wrażliwość na zmianę składu odpadów czy możliwość wykorzystania produktów wtórnych pochodzących ze spalania. Możliwość wykorzystania energetycznego osadu ściekowego zależy wyłącznie od jego właściwości fizykochemicznych, te właściwości wynikają natomiast ze składu przerabianych ścieków oraz procesów ich stabilizacji. Jednak ma on również swoje wady, do których można zaliczyć np. wysokie koszty budowy oraz utrzymania spalarni [2]. Koszty te można jednak obniżyć poprzez współspalanie osadów ściekowych z różnego rodzaju paliwami bądź odpadami. Można przewidywać zwiększenie masy osadów przetwarzanych metodami termicznymi oraz wzrost planowanych inwestycji z zakresu budowy nowych spalarni i suszarni. Prawdopodobne jest także coraz to większe wykorzystanie substancji biogennej zawartej w osadach z zachowaniem jak najlepszego stanu środowiska naturalnego.



*Osad ściekowy – surowiec do produkcji biogazu, kompostu czy energii w instalacji spalania
– powstaje praktycznie w każdej oczyszczalni ścieków,
fot. A. Żarczyński*

Literatura

[1] Bień J., 2012, Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(4), 439-449.

[2] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., 2013, Methods of disposal of sewage sludge, *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 15(2), 33-50.

[3] Malej J., 2000, Właściwości osadów ściekowych oraz wybrane sposoby ich unieszkodliwiania i utylizacji, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 2, 69-101.

[4] Domańska W. (red.) i inni, 2021, *Ochrona środowiska 2021*, GUS, Departament Badań Przestrzennych i Środowiska, Warszawa 2021.

[5] Bień J., Neczaj E., Worwąg M., Grosser A., Nowak D., Milczarek M., Janik M., 2011, Kierunki zagospodarowania osadów w Polsce po roku 2013, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 14(4), 375-384.

[6] KołECKA K., 2017, Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych, rozdz. 8, 71-76, w: *Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych na terenach wiejskich*, Fundacja na rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa, Warszawa, https://mostwiedzy.pl/pl/publication/download/1/metody-unieszkodliwiania-i-zagospodarowania-osadow-sciekowych_15152.pdf, 29.08.2022.

[7] Bień J., Bień B., 2015, Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych metodami termicznymi w obliczu zakazu składowania po 1 stycznia 2016, *Inżynieria Ekologiczna*, 45, 36-43.

[8] Grobelak A., Stępień W., Kacprzak M., 2016, Osady ściekowe jako składnik nawozów i substytutów gleb, *Inżynieria Ekologiczna*, 48, 52-60.

[9] Szruba M., 2015, Zagospodarowanie osadów ściekowych, *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 3, 54-59.

[10] Jędrzak A., 2007, *Biologiczne przetwarzanie odpadów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

[11] Pyssa J., 2014, Kierunki zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce, *Nowoczesna Gospodarka Odpadami*, 4, 18-23.

[12] Kwaśny J., Banach M., Kowalski Z., 2012, Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia, *Czasopismo Techniczne. Chemia*, 109(2-Ch), 83-102.

[13] Żarczyński A., Rosiak K., Anielak P., Wolf W., 2014, Practical methods of removing hydrogen sulfide from biogas. Part 1. Application of solid sorbents, *Acta Innovations*, 12, 24-35, http://www.proakademia.eu/gfx/baza_wiedzy/255/nr_12_24-34_2.pdf.

[14] Grad P., Żarczyński A., Rajnert G., Ciołkowska E., 2020-2021, Odsiarczanie biogazu z udziałem sorbentu Sulphurex N w GOŚ ŁAM w Łodzi, *Eliksir*, 10, 30-36.

[15] Żarczyński A., Płacheta K., Ryłski A., Zaborowski M., Nowosielska M., Szynkowska M. I., 2020, Charakterystyka niemodyfikowanej i modyfikowanej rudy darniowej jako potencjalnego sorbentu H₂S, *Przemysł Chemiczny*, 99(10), 1514-1517.

[16] Kociołek-Balawejder E., Wilk Ł., 2011, Przegląd metod usuwania siarkowodoru z biogazu, *Przemysł Chemiczny*, 90(3), 389-397.

[17] Latosińska J., Żygadło M., Łaboda H., 2005, Analiza opłacalności wykorzystania osadów ściekowych w produkcji kruszyw lekkich, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 1, 29-32.

[18] Wielgosiński G., Pająk T., 2003, Unieszkodliwianie osadów ściekowych metodami termicznymi – pułapki i zagrożenia, *Przegląd Komunalny*, 12, 56-57.

[19] Rečko K., 2005, Termiczna utylizacja osadów ściekowych. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*. 2, 17-24.

[20] Pająk T., 2016, Termiczne przekształcanie osadów ściekowych wobec wyzwań roku 2014, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(3), 363-376.

[21] Wielgosiński G., 2020, *Termiczne Przekształcanie Odpadów*, Wydawnictwo Nowa Energia, Racibórz.

