

## Rozdział 8

# Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych

dr inż. Katarzyna Kolečka

Katedra Technologii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

### 8.1. Prawne aspekty unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych

Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012<sup>71</sup> r. 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.

Określa ona (art. 96) sposoby utylizacji komunalnych osadów ściekowych, polegające na stosowaniu ich: (i) do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu; (ii) do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz; (iii) do rekultywacji terenów; oraz (iv) przy dostosowaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu. Według wyżej wymienionej usta-

wy, stosowanie komunalnych osadów ściekowych jest możliwe wówczas, jeżeli są one ustabilizowane (tzn. o znacznie zmniejszonej podatności na zagniwanie, o niskiej zawartości substancji organicznych) oraz odpowiednio przygotowane do celu i sposobu ich stosowania. Sposoby przeróbki muszą być dobrane w ten sposób, aby eliminowały zagrożenie dla środowiska oraz zdrowia i życia ludzi.

Kolejnym bardzo istotnym aktem prawnym jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych<sup>72</sup>. Określa ono: (i) szczegółowe warunki stosowania komunalnych osadów ściekowych, w tym dawki tych osadów, które można stosować na gruntach; oraz (ii) zakres, częstotliwość i metody referencyjne badań komunalnych osadów ściekowych i gruntów, na których te osady mają być stosowane. Dopuszczalną zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych, określoną w wyżej wymienionym rozporządzeniu, przedstawiono w Tabeli 8.1.

**Tabela 8.1.** Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych

METALE	Maksymalna zawartość metali ciężkich w suchej masie osadów [mg/kg] przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych		
	w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne	do rekultywacji terenów na cele nierolne	przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz
Kadm (Cd)	20	25	50
Miedź (Cu)	1000	1200	2000
Nikiel (Ni)	300	400	500
Ołów (Pb)	750	1000	1500
Cynk (Zn)	2500	3500	5000
Rtęć (Hg)	16	20	25
Chrom (Cr)	500	1000	2500

<sup>71</sup> Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21).

<sup>72</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz. U. 2015 poz. 257).

Wg rozporządzenia, komunalne osady ściekowe mogą być stosowane na gruntach, jeżeli spełniają następujące wymagania mikrobiologiczne: (i) w przypadku stosowania tych osadów w rolnictwie i do rekultywacji gruntów na cele rolne nie wyizolowano bakterii z rodzaju *Salmonella* w reprezentatywnej próbce osadów o masie 100g; (ii) łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* w 1 kg suchej masy osadów przeznaczonych do badań stosowanych w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne wynosi 0, a stosowana do innych celów jest nie większa niż 300.

Surowe osady ściekowe traktowane są jako odpad o kodzie 19 08 99<sup>73</sup>. Mogą one zostać poddane przeróbce w ramach tej samej instalacji oczyszczalni i – przy spełnieniu odpowiednich warunków – zmienić klasyfikację na kod 19 08 05 (ustabilizowane komunalne osady ściekowe), albo poddane procesom odzysku lub unieszkodliwiania poza oczyszczalnią, w specjalistycznych zakładach przetwórczych. Przeróbka osadów ściekowych może być zakończona procesami ich unieszkodliwiania lub odzysku (Wójtowicz i wsp. 2013). Procesy unieszkodliwiania obejmują: (i) składowanie odpadów z termicznego przekształcania na składowiskach odpadów niebezpiecznych, określane kodem D1; oraz (ii) składowanie osadów po ich stabilizacji na składowiskach odpadów niebezpiecznych, określane kodem D5. Od 1.01.2016 r., zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu<sup>74</sup>, składowanie osadów ściekowych, których ciepło spalania wynosi powyżej 6 MJ/kg suchej masy, jest zabronione. Procesami odzysku są natomiast: (i) użytkowanie jako biomasy (określane kodem R1); (ii) zastosowania przemysłowe (określane kodem R5); (iii) zastosowanie w rolnictwie i rekultywacji (określane kodem R10)<sup>75</sup> lub kompostowanie (określane kodem R3); oraz (iv) przetwarzanie poza oczyszczalnią (w zależności od stosowanych procesów, określane kodami R3 – kompostowanie, R5 – zastosowanie przemysłowe, R10 – zastosowanie w rolnictwie i rekultywacji, R11 – wykorzystanie osadów uzyskanych w wyżej wymienionych procesach, R12 – wymiana osadów w celu poddania ich wyżej wymienionym procesom).

Kwestie regulujące kryteria zmiany klasyfikacji odpadu na nawóz organiczny porządkuje Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu<sup>76</sup>. Jest ona szczególnie istotna dla kompostowni osadowych. Ustawa definiuje pojęcie nawozu organicznego i organiczno-mineralnego oraz środków wspomagających uprawę roślin, ponadto normalizuje warunki i tryb wprowadzania ich do obrotu.

## 8.2. Metody unieszkodliwiania i zagospodarowania osadów ściekowych

Zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej, a w szczególności Dyrektywą 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z 23 października 2000 r.<sup>77</sup>, komunalne osady ściekowe

muszą być ponownie wykorzystane w każdym przypadku, jeśli zostanie ograniczony do minimum ich niekorzystny wpływ na środowisko przyrodnicze.

W dużych oczyszczalniach ścieków osady ściekowe są często zagospodarowywane energetycznie, zarówno przez monospalarnie (gdzie termicznie przekształcane są jedynie osady ściekowe), jak i w biogazowniach. Nie należy również zapominać o biogazie wytwarzanym w procesach fermentacji osadów. Osady mogą być spalane na terenie oczyszczalni lub poza nią. Jednak ten ostatni sposób zagospodarowania osadów jest ekonomicznie uzasadniony jedynie w przypadku dużych oczyszczalni ścieków. Koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne spalania osadów można obniżyć przez współspalanie osadów ściekowych z różnymi rodzajami paliw bądź odpadów. W krajach Unii Europejskiej rozpowszechnione jest współspalanie osadów w spalarniach odpadów komunalnych, zakładach energetyki zawodowej i cementowniach (Wójtowicz i wsp. 2013).

Inną metodą jest tzw. recykling organiczny, połączony z odzyskiem pierwiastków nawozowych (azot i fosfor). Jest on realizowany m.in. przy rolniczym wykorzystaniu osadów, rekultywacji terenów zdegradowanych czy kompostowaniu. Podane sposoby mogą być stosowane dla osadów ustabilizowanych. Dla dużych oczyszczalni ścieków droga do rolniczego wykorzystania jest praktycznie zamknięta, ze względu na jakość i ilość wytwarzanych osadów ściekowych. Ten sposób zagospodarowania osadów zaleca się jedynie dla małych i średnich oczyszczalni, z uwagi na ich właściwości, m.in. zawartość związków biogenych (Bień i wsp. 2011). Jednak tylko niewielki procent osadów jest w ten sposób zagospodarowywany (Bień i wsp. 2015). W latach 2000–2010 obserwowano systematyczny wzrost ilości osadów stosowanych w rolnictwie. Po wprowadzeniu w roku 2010 rozporządzenia ministerstwa środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych, ilość ta utrzymuje się na zbliżonym poziomie. Jednak, ze względu na postępujące zaostżenia legislacyjne, przewiduje się spadek osadów wykorzystywanych w ten sposób (Bień i wsp. 2015). Może to przynieść znaczne straty w polskiej gospodarce, gdyż szacuje się, że łączny potencjał nawozowy osadów ściekowych warty jest ok. 200–300 mln zł rocznie (Wójtowicz i wsp. 2013).

Możliwe konwencjonalne kierunki gospodarki osadami ściekowymi, z podziałem na poszczególne procesy, etapy, rodzaje przeróbki i miejsca przetwarzania, pokazano na Rys. 8.1.

Przeróbka pierwotna ma na celu przygotowanie osadów do ich zagospodarowania lub – jeśli nie ma takiej możliwości – do dalszej, bardziej zaawansowanej przeróbki wtórnej. Do przeróbki pierwotnej zalicza się następujące procesy: zagęszczanie (zarówno mechaniczne, jak i grawitacyjne), kondycjonowanie, stabilizację i odwadnianie. Przy czym wybór poszczególnych procesów zależy od sposobu ostatecznego zagospodarowania osadów. Przeróbka ta jest problemem nabierającym coraz

<sup>73</sup> Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2014 poz. 1923).

<sup>74</sup> Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz.U. z 2013 r. poz. 38).

<sup>75</sup> Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r., komunalne osady ściekowe, poddane procesowi odzysku R10, mogą być wykorzystywane pod warunkiem, że nawet przy długotrwałym stosowaniu nie pogorszy to jakości gleby, ziemi oraz wód powierzchniowych i podziemnych.

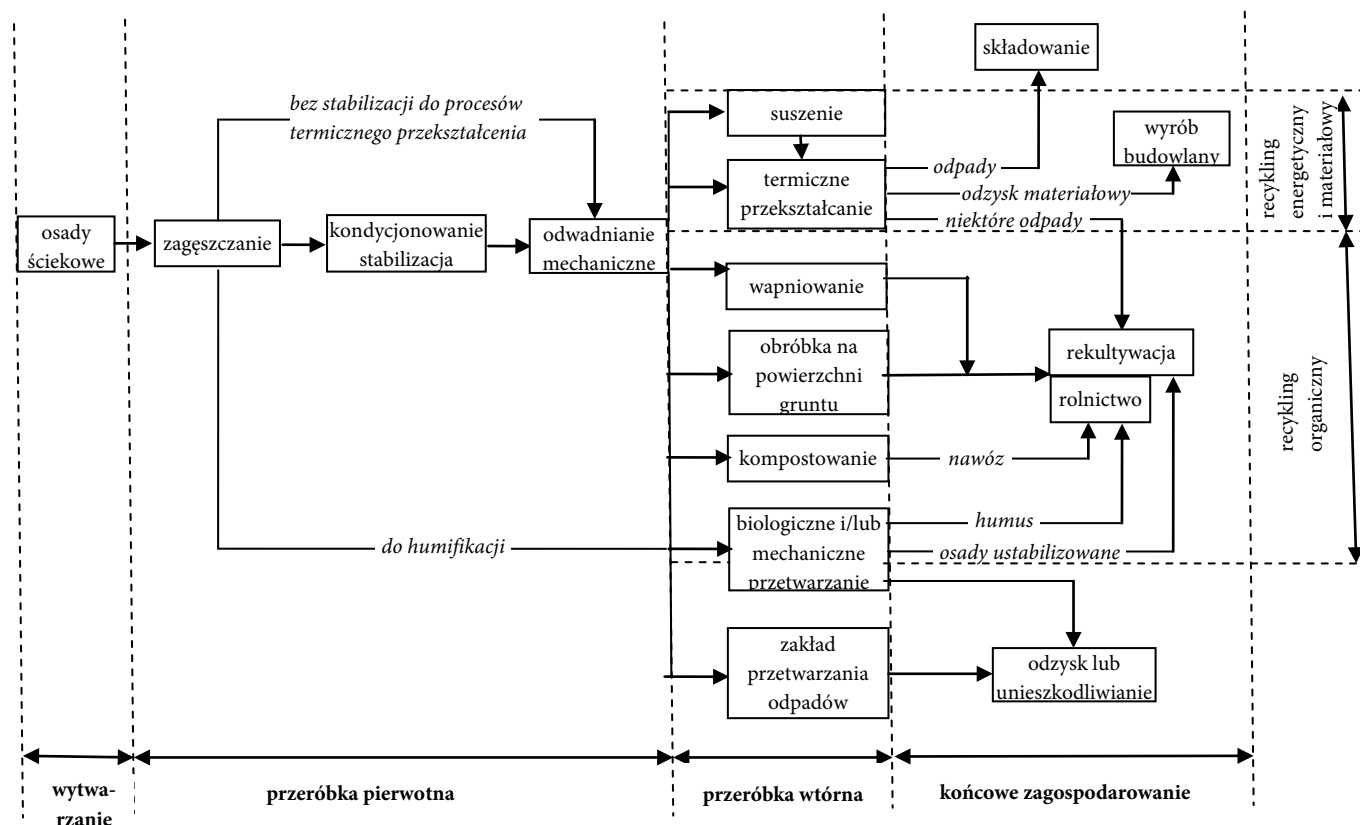
<sup>76</sup> Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. 2007, nr 147, poz. 1033).

<sup>77</sup> Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.

większego znaczenia, gdyż coraz trudniej znaleźć odbiorców i drogę do ostatecznego zagospodarowania dla źle ustabilizowanych i słabo odwodnionych osadów (Bień i wsp. 2015). Przeróbka wtórna ma za zadanie dalsze, najczęściej bardziej zaawansowane przetworzenie osadów. W przypadku recyklingu energetycznego, jako przeróbkę wtórną traktuje się np. suszenie i spalanie osadów. Natomiast, aby wobec osadów mógł być zastosowany recykling organiczny (najczęściej jako rekultywacja terenów zniszczonych lub nawóz w rolnictwie), muszą być one odpowiednio przygotowane. W tym przypadku stosuje się wapniowanie, kompostowanie czy biologiczne lub mechaniczne przetwarzanie. Można zastosować również me-

tody niekonwencjonalne, jak np. złoża trzcinowe (opisane poniżej). Przy odpowiednio dobrej jakości osadów i dostępnym areale, można prowadzić obróbkę osadów na powierzchni ziemi. Alternatywą, szczególnie dla małych oczyszczalni ścieków, które nie mają odpowiedniej gospodarki osadowej, mogą być zakłady przetwarzania odpadów. Zakłady te odbierają osady z oczyszczalni, a następnie je zagospodarowują. Niestety rozwiązanie takie jest stosunkowo drogie.

Oprócz metod konwencjonalnych, przedstawionych na Rys. 8.1, stosowane mogą być również metody niekonwencjonalne. Jedną z nich jest system zintegrowanego odwadniania



Rys. 8.1. Konwencjonalne kierunki gospodarki osadami ściekowymi, opracowane na podstawie Wójtowicza i wsp. (2013)



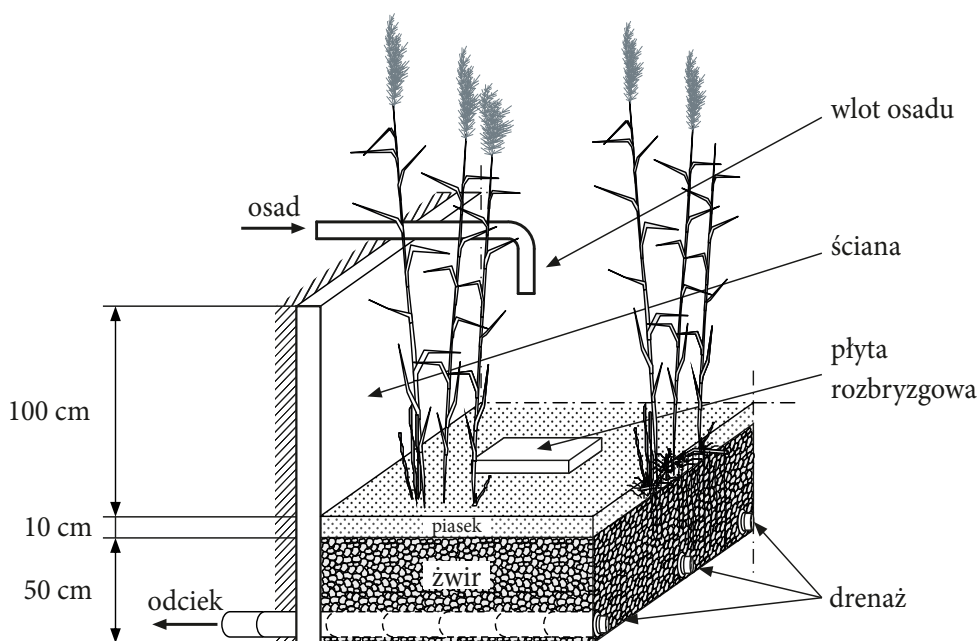
Rys. 8.2. Obiekty trzcinowe (STRB): a) rzut z góry na oczyszczalnię w Helsingørze (Dania), b) złoża trzcinowe w Gniewinie (Polska); źródła: Nielsen (2003), fotografia własna

i stabilizacji w basenach trzcinowych (z ang. *Sludge Treatment Reed Bed* – STRB). Metoda ta jest powszechnie znana i wykorzystywana w wielu krajach europejskich, np. we Francji, w Dani (Rys. 8.2 a), a także w Szwecji, Norwegii, Hiszpanii i we Włoszech. W Polsce, w skali technicznej, obiekt trzcinowy pracuje m.in. na terenie konwencjonalnej oczyszczalni ścieków w Gniewinie (Rys. 8.2 b) koło Wejherowa oraz w Zambrowie w województwie podlaskim (Obarska-Pempkowiak i wsp. 2015).

Obiekty trzcinowe budowane są do długookresowej, trwającej średnio 10–15 lat stabilizacji i odwadniania osadów ściekowych. Metoda ta polega na stosowaniu wielowarstwowych zalewów osadów ściekowych, bez konieczności ich wcześniejszego odwodnienia lub zagęszczenia. W systemach trzcinowych zachodzi zintegrowane odwadnianie i stabilizacja osadów w warunkach naturalnych pod wpływem: temperatury, grawitacji, promieniowania słonecznego, fotodegradacji (rozkładu związków po wpływem promieni słonecznych) czy ewapotranspiracji (parowania poprzez komórki roślin oraz bezpośrednio przez grunt). W odróżnieniu od tradycyjnych poletek ociekowych (gdzie osady ściekowe są odwadniane tylko w oparciu o parowanie z gruntu oraz przesiąkanie części wody), w systemach trzcinowych następuje intensyfikacja wielu procesów biochemicznych. Wszystkie powyższe czynniki powodują nie tylko bardziej intensywne odwadnianie osadów, lecz również – w wyniku postępującej stabilizacji – istnieje możliwość przekształcenia pozostałej materii w substancję humusową (Kołecka i wsp. 2017). Pomimo naturalnego charakteru, efektywność ich działania jest porównywalna z efektami uzyskiwanymi w urządzeniach mechanicznych, gdzie zawartość suchej masy w odwadnianych osadach może wynosić nawet 40% (Nielsen, 2003). Schemat obiektu STRB pokazano na Rys. 8.3.

zań. Te niewielkie koszty związane są z niedużym zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz brakiem konieczności stosowania dodatkowych substancji chemicznych (Kołecka i Obarska-Pempkowiak 2008, 2013).

Eksploatacja systemów trzcinowych składa się z trzech etapów. Pierwszy z nich stanowi okres rozruchu, która trwa około 2 lat. Wówczas na złożach rozwijają się rośliny, a dawka dozowanych osadów powinna być mniejsza niż zaprojektowana. Drugim etapem jest okres stabilizacji (od 8 do 12 lat), w którym w pełni rozwinięte rośliny umożliwiają dostarczanie osadów zgodnie z zaprojektowaną wydajnością, wynoszącą dla osadów nadmiernych  $50\text{--}60 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{rok}$ . W tym czasie każde złożo jest okresowo obciążane (po okresie dostarczania osadów, najczęściej 2–3 dni, następuje okres odpoczynku, około 14–21 dni, w czasie którego nie są dostarczane świeże osady). Dzięki temu zapewnione jest odpowiednie natlenienie złoża, a przerwy w zasilaniu pozytywnie wpływają na proces biodegradacji nagromadzonej substancji organicznej. W celu zapewnienia odpowiednich proporcji okresów dozowania oraz czasu odpoczynku, konieczne jest zaprojektowanie odpowiedniej liczby złoża trzcinowych. Systemy z wydajnością do 500, od 500 do 1000 i powyżej 1000 ton suchej masy na rok wymagają odpowiednio 8, 10, 12–14 złoża wchodzących w jego skład. Doświadczenia pokazują, że w systemach składających się z mniejszej liczby złoża niż 8, często pojawiały się problemy eksploatacyjne (Nielsen 2003). W ostatnim, trzecim etapie, odwodnione i ustabilizowane osady usuwane są z systemów trzcinowych. W trakcie jednego roku najczęściej opróżnia się 1–2 złoża. W celu zwiększenia ilości suchej masy, kwatery przed opróżnieniem nie powinny być przez pewien czas obciążane. Unieszkodliwione osady charakte-



Rys. 8.3. Schemat obiektu STRB, opracowany na podstawie Obarskiej-Pempkowiak i wsp. (2003)

Dodatkowo o przydatności wyżej wymienionej metody dla małych i średnich oczyszczalni ścieków decydują stosunkowo niskie koszty eksploatacji, które stanowią zaledwie 5–10% wydatków powszechnie stosowanych rozwią-

ryzują się wtedy dobrymi właściwościami nawozowymi, ze względu na duże stężenie azotu i fosforu. Dzięki temu mogą być one z powodzeniem wykorzystane przyrodniczo lub rolniczo.

Ogólne rekomendacje, dotyczące wyboru procesów przeróbki oraz ostatecznego zagospodarowania w zależności od wielkości oczyszczalni, podano w Tabeli 8.2.

Pokazane w Tabeli 8.2 rekomendacje są bardzo ogólne. Wybór poszczególnych rozwiązań gospodarki osadowej powinien być poprzedzony dokładną analizą, zarówno

ekonomiczną, jak i techniczną. Jednak wybór sposobu przeróbki oraz zagospodarowania zależy w dużej mierze od ilości i jakości osadów. Zazwyczaj ocena poszczególnego procesu przeróbki i – później – zagospodarowania osadów zależy od wskaźników ekonomicznych, czyli połączenia uzyskanego efektu z kosztami i ryzykami (Wójtowicz i wsp. 2013).

**Tabela 8.2.** Rekomendacje poszczególnych procesów przeróbki oraz zagospodarowania osadów ściekowych w zależności od wielkości oczyszczalni, opracowane na podstawie Wójtowicz i wsp. (2013), gdzie: z – zasadne, p – prawdopodobne

PROCES PRZERÓBK ZAGOSPODAROWANIA	LICZBA RLM (RÓWNOWAŻNA LICZBA MIESZKAŃCÓW)							
	DO 2000	2000– 10 000	10 000– 15 000	15 000– 30 000	30 000– 50 000	50 000– 125 000	125 000– 300 000	POWYŻEJ 300 000
Zakłady przetwórcze	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>	z <sup>1)</sup>
Współspalanie			p	p		p	p	z
Monospalanie							p	z (pow. 600 000)
Suszenie					p <sup>2)</sup>	p <sup>2)</sup>	p <sup>2)</sup>	p <sup>2)</sup>
Kompostownie własne						z	z	z <sup>3)</sup>
Rekultywacja	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>	z <sup>4)</sup>
Bezpośrednie rolnicze	z		z	z		z	p	
Złóża trzcinowe	z		z	z		z		
Fermentacja własna				p		z	z	z
Recykling organiczny	z		z	z		z	z	p
Metody termiczne						p	p	z

<sup>1)</sup> stosunkowo drogie rozwiązanie

<sup>2)</sup> prawdopodobne tylko w przypadku pewnego odbioru do termicznego przekształcenia

<sup>3)</sup> zasadne tylko do stabilizacji osadów

<sup>4)</sup> zasadne w przypadku dostępności odpowiedniej ilości gruntów do rekultywacji

## Literatura:

- Bień J., Kacprzak M., Kamizela T., Kowalczyk M., Neczaj E., Pająk T., Wystalska K., 2015. Komunalne osady ściekowe – zagospodarowanie energetyczne i przyrodnicze. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 150 s.
- 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), s. 375–384.
- Kołecka K., Gajewska M., Obarska-Pempkowiak H., Rohde D., 2017. Integrated dewatering and stabilization system as an environmentally friendly technology in sewage sludge management in Poland, Ecological Engineering, 98, p. 346–353.
- Kołecka K., Obarska-Pempkowiak H., 2008. The quality of sewage sludge stabilized for a long time in reed basins. Environment Protection Engineering, 34 (3), p. 13–20.
- Kołecka K., Obarska-Pempkowiak H., 2013. Potential fertilizing properties of sewage sludge treated in the Sludge Treatment Reed Beds (STRB). Water Science & Technology, 68 (6), p. 1412–1418.
- Nielsen S., 2003. Sludge drying reed beds. Water Science and Technology, 48 (5), p. 101–109.
- Obarska-Pempkowiak H., Kołecka K., Buchholtz K., Gajewska M., 2015. Ekoinżynieria w zintegrowanym odwadnianiu i stabilizacji osadów ściekowych w systemach trzcinowych. Przemysł chemiczny, 12/2015, s. 2299–2303.
- Obarska-Pempkowiak H., Tuszyńska A., Sobociński Z., 2003. Polish experience with sewage sludge dewatering in reed systems. Water Science and Technology, 48(5), p. 111–117.
- Wójtowicz W., Jędrzejewski C., Bieniowski M., Darul H., 2013. Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie” Bydgoszcz, 498 s.

