

Struktura zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych w Polsce

The structure of municipal sewage sludge management in Poland

TOMASZ KAMIZELA

DOI 10.36119/15.2025.6.5

Artykuł przedstawia aktualny stan gospodarki osadami ściekowymi w Polsce na tle uwarunkowań krajowych i europejskich, z uwzględnieniem aspektów prawnych, technologicznych i statystycznych. Na podstawie danych z Eurostatu, Głównego Urzędu Statystycznego oraz Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) dokonano analizy ilościowej wytwarzania oraz zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych. Wskazano główne problemy oraz ilościowy potencjał krajowych instalacji odzysku surowców i energii z osadów ściekowych. Przedstawiono konieczne kroki wspierające dostosowanie gospodarki osadowej do celów środowiskowych i gospodarki o obiegu zamkniętym.

Słowa kluczowe: komunalne osady ściekowe, zagospodarowanie osadów, stabilizacja osadów, odzysk i unieszkodliwianie osadów

The article presents the current state of sewage sludge management in Poland against the background of national and European conditions, taking into account legal, technological and statistical aspects. Based on data from Eurostat, the Central Statistical Office and the National Municipal Wastewater Treatment Programme (KPOŚK), a quantitative analysis of the production and management of municipal sewage sludge was made. The main problems and the quantitative potential of domestic installations for the recovery of raw materials and energy from sewage sludge were indicated. The necessary steps supporting the adaptation of sludge management to environmental goals and the circular economy were presented.

Keywords: municipal sewage sludge, sludge management, sludge stabilization, sludge recovery and disposal

Wstęp

Komunalne osady ściekowe to nieodłączny produkt uboczny oczyszczania ścieków stanowiący istotny problem środowiskowy, technologiczny i logistyczny dla większości krajów uprzemysłowionych. Wraz ze wzrostem liczby ludności, rozwojem urbanizacji oraz intensyfikacją procesów oczyszczania ścieków, ilość wytwarzanych osadów powoli ale i systematycznie rośnie, co rodzi potrzebę ich efektywnego i zgodnego z prawem zagospodarowania. Osady ściekowe zawierają szeroką gamę zanieczyszczeń – od substancji organicznych i patogenów po metale ciężkie, mikroplastik i śladowe ilości farmaceutyków. To czyni osady materiałem o znaczącym potencjale oddziaływania na środowisko glebowe i wodne, a także jako potencjalne źródło emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie osady ściekowe to cenny zasób, którego właściwe przetwarzanie i zagospodarowanie może przynosić istotne korzyści

gospodarcze. Zawierają one składniki nawozowe, takie jak fosfor i azot, które mogą być odzyskiwane i ponownie wprowadzane do obiegu. Ponadto odpowiednie technologie np. fermentacja beztlenowa umożliwiają odzysk energii w postaci biogazu, co wpisuje się w cele unijnej polityki energetycznej i klimatycznej [1, 2].

Z punktu widzenia gospodarki odpadami, osady ściekowe traktowane są jako specyficzna frakcja odpadowa o potencjale surowcowym i jednocześnie wysokim ryzyku środowiskowym. Dlatego też w Unii Europejskiej obowiązują regulacje prawne określające zasady ich wytwarzania, przetwarzania i końcowego zagospodarowania. Szczególną rolę odgrywają tu dyrektywy: 91/271/EWG o oczyszczaniu ścieków komunalnych [3], 86/278/EWG dotycząca stosowania osadów w rolnictwie [4], oraz nowa dyrektywa (UE) 2024/3019, która znacząco podnosi wymagania dotyczące usuwania mikrozanieczyszczeń i osiągania neutralności klimatycznej przez oczyszczalnie [5]. Do-

datkowo, dyrektywa 2008/98/WE w sprawie odpadów wprowadza hierarchię postępowania z odpadami, promując zapobieganie, ponowne użycie, recykling i inne formy odzysku przed unieszkodliwieniem [6]. W Polsce przepisy wdrażające powyższe akty prawne są realizowane m.in. poprzez Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), a osady ściekowe traktowane są jako odpady podlegające klasyfikacji i sprawozdawczości zgodnie z ustawą o odpadach oraz przepisami wykonawczymi dotyczącymi transportu, przeróbki i unieszkodliwiania [7, 8].

W 2022 roku w Unii Europejskiej wytworzono około 15 milionów ton suchej masy osadów komunalnych, z czego znacząca część pochodziła z takich krajów jak Francja (1,12 mln Mg suchej masy, s.m.) i Polska (580,7 tys. Mg s.m.), [9]. Sytuacja Polski na tle pozostałych państw członkowskich UE jest w pewien sposób szczególna. Choć kraj odnotował znaczny postęp w zakresie rozbudowy systemów

kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków, nadal istnieją znaczne różnice regionalne w sposobie i jakości zagospodarowania osadów. Dodatkowo znaczną barierę stanowią ograniczenia związane z jakością osadów, w tym obecnością mikrozanieczyszczeń, czy niewystarczającym wdrożeniem technologii przeróbki osadów oraz instalacji odzysku surowców czy energii [10, 11].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie aktualnego stanu gospodarki komunalnymi osadami ściekowymi w Polsce. Przedstawiono obowiązujące ramy prawne i ujęto statystycznie praktyki przeróbki i unieszkodliwiania osadów komunalnych. W artykule podjęto próbę uchwycenia nie tylko danych statystycznych, ale i szerszego kontekstu transformacji sektora wodno-ściekowego w kierunku zrównoważonego zarządzania zasobami.

Geneza i regulacje prawne dotyczące gospodarki osadami ściekowymi w Polsce i Unii Europejskiej

Potrzeba uregulowania kwestii związanych z wytwarzaniem, przetwarzaniem i końcowym wykorzystaniem osadów komunalnych pojawiła się już na początku lat 90 XX wieku, kiedy to przyjęto podstawowe ramy prawne. Kamieniem milowym w zakresie unijnych regulacji środowiskowych stała się Dyrektywa Rady 91/271/EWG z 21 maja 1991 roku, dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych [3]. Dokument ten wprowadził jednolite wymagania dla państw członkowskich w zakresie zbierania i oczyszczania ścieków w zależności od wielkości aglomeracji oraz charakterystyki odbiornika wodnego. Choć celem nadrzędnym tej dyrektywy była poprawa jakości wód powierzchniowych, w sposób pośredni wpłynęła ona na znaczący wzrost ilości osadów ściekowych powstających w nowo budowanych i modernizowanych oczyszczalniach. Brak jednoznacznych wytycznych co do dalszego postępowania z tą frakcją odpadową był zatem luką, którą Unia Europejska starała się sukcesywnie uzupełniać.

W odpowiedzi na rosnące znaczenie osadów jako materiału problematycznego, ale jednocześnie posiadającego potencjał surowcowy, w 1986 roku przyjęto Dyrektywę 86/278/EWG, która określa warunki stosowania komunalnych osadów ściekowych w rolnictwie [4]. Dokument ten wprowadza limity zawartości metali ciężkich w osadach i glebie oraz zobowiązuje państwa członkowskie do prowadzenia

monitoringu, mającego na celu ochronę środowiska – w szczególności gleby – przed nadmiernym obciążeniem substancjami toksycznymi. Choć dyrektywa ta powstała wcześniej niż dyrektywa ściekowa, jej znaczenie wzrosło w momencie, gdy intensyfikacja procesów oczyszczania doprowadziła do masowego powstawania KOŚ i konieczności ich praktycznego zagospodarowania.

W latach późniejszych Unia Europejska wzmocniła podejście systemowe poprzez przyjęcie Ramowej Dyrektywy Odpadowej (2008/98/WE), która objęła również osady ściekowe [6]. Kluczowym jej elementem było wprowadzenie hierarchii postępowania z odpadami, zgodnie z którą priorytetem jest zapobieganie powstawaniu odpadów, następnie ich ponowne użycie, recykling, inne formy odzysku (w tym odzysk energii), a na końcu – unieszkodliwienie. Taka struktura jasno wskazała pożądany kierunek dla gospodarki osadami ściekowymi, premiując ich wykorzystanie jako nawozu lub źródła energii kosztem składowania. Równocześnie Dyrektywa 1999/31/WE o składowaniu odpadów znacząco ograniczyła możliwości deponowania osadów na składowiskach, zwłaszcza tych o wysokiej zawartości materii organicznej, co znalazło odzwierciedlenie w przepisach krajowych [12].

Kolejnym ważnym etapem było przyjęcie przez Komisję Europejską Europejskiego Zielonego Ładu (European Green Deal), którego założeniem jest osiągnięcie neutralności klimatycznej przez UE do 2050 roku. W tym kontekście sektor gospodarki wodno-ściekowej, a zwłaszcza oczyszczalnie ścieków, został wskazany jako obszar wymagający istotnych przekształceń energetycznych i środowiskowych. Jednym z działań wpisujących się w ten cel jest przyjęcie nowej wersji dyrektywy ściekowej – Dyrektywy 2024/3019/UE [5]. Przekształcona dyrektywa wprowadza obowiązek neutralności energetycznej oczyszczalni do 2045 roku, rozszerza zakres obowiązku oczyszczania na mniejsze aglomeracje (poniżej 2000 RLM, Równoważnej Liczby Mieszkańców) oraz wprowadza czwarty stopień oczyszczania, ukierunkowany na usuwanie mikrozanieczyszczeń, takich jak farmaceutyki, mikroplastiki i związki per – i polifluoroalkilowe (PFAS). Nowym elementem jest także zasada rozszerzonej odpowiedzialności producenta (EPR), zgodnie z którą koszty usuwania wybranych zanieczyszczeń będą pokrywane przez bieżące odpowiedzialne za ich emisję, m.in. sektor farmaceutyczny i kosmetyczny.

Na poziomie krajowym Polska implementuje powyższe regulacje unijne poprzez szereg ustaw i aktów wykonawczych. Głównym dokumentem o charakterze strategicznym jest Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK), który zawiera listę aglomeracji objętych obowiązkiem modernizacji lub budowy infrastruktury kanalizacyjnej oraz oczyszczalni, a także harmonogram i szacunkowe koszty realizacji tych działań. Program ten jest aktualizowany cyklicznie – jego najnowsza, VI aktualizacja została zatwierdzona w 2022 roku [7].

Podstawowym aktem prawnym w obszarze gospodarki odpadami, obejmującym również KOŚ, jest ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [8]. Ustawa ta określa zasady klasyfikacji, ewidencji, transportu i przetwarzania odpadów, a także obowiązki podmiotów wprowadzających odpady do obrotu. Osady ściekowe klasyfikowane są zgodnie z katalogiem odpadów w grupie 19 – odpady z instalacji do przetwarzania ścieków. Dodatkowo, rozporządzenie Ministra Środowiska reguluje warunki stosowania osadów ściekowych w rolnictwie, rekultywacji terenów oraz przy uprawach nieprzeznaczonych do spożycia. Określa ono dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń, wymagania co do stabilizacji osadów i konieczność monitorowania zarówno osadów, jak i gruntów, na których są one stosowane [13].

Współczesna gospodarka osadami ściekowymi musi być postrzegana w szerszym kontekście polityki środowiskowej UE – nie tylko jako problem odpadowy, ale również jako szansa na odzysk cennych zasobów, takich jak fosfor, energia chemiczna czy woda technologiczna. Zintegrowane podejście, obejmujące zarówno uregulowania prawne, jak i założenia strategiczne, takie jak gospodarka o obiegu zamkniętym oraz strategia „zero pollution”, wskazuje na konieczność przejścia od modelu liniowego „wyprodukuj–użyj–wyrzuć” do modelu, w którym każdy element cyklu wodno-ściekowego podlega maksymalnemu odzyskowi i ponownemu wykorzystaniu [14].

Wytwarzanie i zagospodarowanie osadów ściekowych (Produkcja i zagospodarowanie osadów ściekowych w Polsce na tle wybranych krajów europejskich)

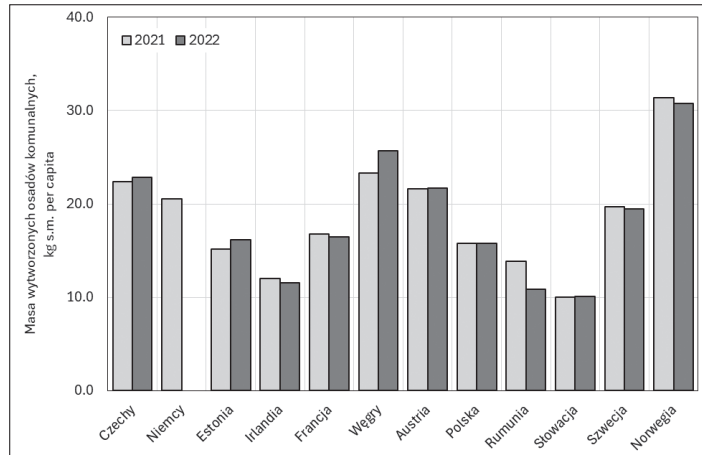
Wytwarzanie i zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych różni się istotnie pomiędzy państwami Unii Europejskiej, zarówno pod względem ilości

generowanego osadu w przeliczeniu na mieszkańca, jak i dominujących metod ich dalszego wykorzystania. Wydaje się, że Polska, podobnie jak inne kraje Europy Środkowo-Wschodniej, znajduje się w fazie przejściowej pomiędzy klasycznym modelem gospodarki odpadowej a nowym podejściem wpisującym się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) oraz strategii „zero pollution” [14].

dla Eurostatu, takich jak czasowe magazynowanie, przetwarzanie w instalacjach zewnętrznych czy rekultywacja terenów zdegradowanych. Te różnice w zagospodarowaniu osadów pomiędzy państwami wynikają z kilku czynników. Kluczowe znaczenie ma jakość osadów – ich stabilizacja, zawartość zanieczyszczeń, w tym mikrozanieczyszczeń oraz parametry sanitarne, które to decydują o możliwości dalszego wykorzystania w środowisku. Po

wtóre, obowiązujące przepisy krajowe i poziom implementacji unijnych dyrektyw determinują preferowane ścieżki zagospodarowania.

Struktura zagospodarowania osadów wynika z wielu czynników – technicznych, legislacyjnych, środowiskowych i ekonomicznych (tab. 2, 3). W krajach takich, jak Niemcy i Holandia, wysoka zawartość zanieczyszczeń oraz zastrzone normy sanitarno-chemiczne uniemożliwiają rolnicze wykorzystanie osadów i wymuszają spalanie z odzyskiem energii co stanowi również strategię eliminacji zagrożeń mikrobiologicznych i chemicznych. Z kolei Norwegia i Francja rozwijają modele oparte na kompostie i nawozach organicznych, wspierając lokalne wykorzystanie materii organicznej oraz recykling składników odżywczych. W Polsce, mimo formalnej możliwości wykorzystania osadów w rolnictwie, zbyt mały odsetek osadów trafia na pola uprawne (4,28 kg s.m. per capita, około 27% masy osadów). Można przyjąć, że wynika to ze zmienności składu chemicznego, braku odpowiedniej infrastruktury do higienizacji i stabili-



Rys. 1. Masa wytworzonych osadów komunalnych per capita [9]
Fig. 1. Mass of municipal sludge produced per capita [9]

Na podstawie dostępnych danych Eurostatu za lata 2021 i 2022 można stwierdzić, że Polska wytwarza osady ściekowe w masie około 15,8 kg suchej masy (s.m.) na mieszkańca rocznie (rys. 1), [9]. Jest to wartość umiarkowana na tle analizowanych państw – niższa niż w Norwegii (ponad 30 kg s.m.), Niemczech (ok. 20 kg s.m.) czy Węgrzech (ok. 22 kg s.m.), ale wyższa niż w Irlandii, Słowacji czy Estonii. Porównując strukturę zagospodarowania osadów, uwagę zwraca szczególnie duży udział kategorii określonej jako „inne”, wynoszący w 2022 roku aż 7,79 kg s.m. per capita, co stanowi niemal połowę ogółu. Wskazuje to na szerokie wykorzystanie metod poza klasyfikacją typową

Tab. 2. Struktura sposobów zagospodarowania osadów komunalnych w wybranych krajach Unii Europejskiej w roku 2022 [9]

Table 2. Structure of municipal sludge management methods in selected European Union countries in 2021 [9]

kg s.m. per capita	Wykorzystanie rolnicze	Kompost i inne zastosowania	Składowanie	Spalanie	Inne
Czechy	7.99	10.55	1.80	2.50	–
Niemcy	–	–	–	–	–
Estonia	10.37	2.07	1.73	–	–
Irlandia	10.75	0.81	0.00	0.00	0.00
Francja	4.91	7.74	0.04	2.02	0.40
Węgry	1.12	20.05	0.29	1.09	0.00
Austria	5.56	4.29	0.03	9.69	2.18
Polska	4.28	0.62	0.22	2.86	7.79
Rumunia	3.31	0.09	4.06	0.03	3.38
Słowacja	0.00	5.30	2.06	1.90	0.87
Szwecja	10.17	–	–	–	–
Norwegia	12.66	7.56	1.66	0.73	1.72

Tab. 1. Struktura sposobów zagospodarowania osadów komunalnych w wybranych krajach Unii Europejskiej w roku 2021 [9]

Table 1. Structure of municipal sludge management methods in selected European Union countries in 2021 [9]

kg s.m. per capita	Wykorzystanie rolnicze	Kompost i inne zastosowania	Składowanie	Spalanie	Inne
Czechy	8.42	9.45	1.89	2.61	–
Niemcy	2.73	1.31	0.00	16.41	0.21
Estonia	10.32	2.70	1.58	–	–
Irlandia	10.96	1.02	0.00	0.00	0.03
Francja	5.39	6.24	0.08	2.32	0.41
Węgry	2.25	16.54	0.30	1.41	0.00
Austria	5.35	3.92	0.05	9.74	2.56
Polska	4.22	0.58	0.16	2.53	8.32
Rumunia	2.11	0.12	7.36	0.05	4.18
Słowacja	0.00	5.10	0.87	2.34	1.75
Szwecja	9.79	4.09	0.16	0.51	3.86
Norwegia	12.65	6.91	2.79	0.81	1.59

zacji, a także z obaw społecznych oraz administracyjnych barier w ich aplikacji środowiskowej [13]. Warto również odnotować stosunkowo niski poziom spalania osadów w Polsce (2,86 kg s.m./osoba w 2022 r.) co wskazuje na niewykorzystany potencjał odzysku energetycznego.

Szczegółową perspektywę krajową dostarczają dane Głównego Urzędu Statystycznego (tab. 3). W latach 2020–2023 masa wytworzonych osadów w Polsce była względnie stabilna. W 2020 roku wyniosła 568,9 tys. Mg suchej masy, w 2022 roku – 580,7 tys. Mg s.m., a w 2023 roku odnotowano spadek do 549,7 tys. Mg s.m. Choć spadek ten może sugerować poprawę efektywności oczyszczania, nie można

Tab. 3. Osady komunalne wytworzone i zagospodarowane w latach 2020-2024 [15]
Table 3. Municipal sludge produced and managed in 2020-2024 [15]

Rok Jednosika	2020	2021	2022	2023
	Mg s.m. (suchej masy)			
Ogółem	568 858	584 754	580 659	549 702
Stosowane w rolnictwie	137 772	156 000	157 598	147 279
Stosowane do rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolne	17 503	13 141	19 797	12 729
Stosowane do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu	29 459	21 414	22 779	22 563
Przekształcone termicznie	98 576	93 550	105 230	89 800
Skladowane razem	6 951	6 029	8 204	6 046
Magazynowane czasowo	50 063	51 734	54 366	55 942

wykluczyć wpływu innych czynników np. zmniejszonego ładunku zanieczyszczeń w ściekach, a nawet zmiany demograficznej.

Struktura zagospodarowania osadów w analizowanym okresie wskazuje na utrzymującą się dominację kierunków środowiskowych, takich jak stosowanie w rolnictwie oraz rekultywacja terenów. W 2022 roku łączna ilość osadów wykorzystanych do celów rolniczych, rekultywacyjnych i do produkcji kompostu wyniosła ponad 200 tys. Mg s.m., co odpowiadało około 34% całkowitej produkcji osadów w kraju. W 2023 roku odsetek ten nieco spadł – do około 33%, przy czym największy udział miało nadal bezpośrednie stosowanie w rolnictwie (147,3 tys. Mg s.m.), a pozostała część trafiła do rekultywacji (12,7 tys. Mg s.m. oraz do upraw przeznaczonych na kompost (22,6 tys. Mg s.m.).

Warto zwrócić uwagę na znaczną skalę termicznego przekształcania osadów, które w 2022 roku osiągnęło poziom 105,2 tys. Mg s.m., a w 2023 spadło do 89,8 tys. Mg s.m. Oznacza to, że spalanie lub współspalanie osadów stanowiło w analizowanych latach ok. 15–18% ogólnego strumienia osadowego. W Polsce metoda ta jest rozwijana, lecz nadal ograniczona głównie do dużych aglomeracji miejskich i centralnych instalacji.

Zgodnie z analizami zawartymi w „Raporcie o stanie środowiska w Polsce 2022 i 2023” [16, 17], mimo rosnącej liczby oczyszczalni wyposażonych w nowoczesne technologie, jakość wytwarzanych osadów wciąż często ogranicza możliwości ich bezpośredniego wykorzystania w środowisku. Dotyczy to szczególnie zawartości metali ciężkich i mikrozanieczyszczeń, które wpływają na klasyfikację osadów i zakres ich dalszego zastosowania. W związku z tym istotną częścią osadów nadal trafia do czasowego magazynowania – w 2023 roku było to 55,9 tys. Mg s.m. Za przyczyny tego stanu można uznać ograniczenia infrastrukturalne, ograniczoną chłonność rynku odbiorców i problemy z ich klasyfikacją jako materiałów użytkowych i niewystarczają-

ce możliwości ich zagospodarowania zgodnego z zasadami GOZ. Raporty środowiskowe GUS oraz oceny Instytutu Ochrony Środowiska – PIB [18] podkreślają również potrzebę intensyfikacji działań w kierunku odzysku surowców i energii z osadów. W wielu instalacjach obserwuje się brak zaawansowanych metod higienizacji czy technologii odzysku fosforu, mimo że są one coraz szerzej promowane w politykach unijnych. Brakuje również spójnych programów wspierających rozwój biogazowni komunalnych oraz szarni niskoemisyjnych.

W ramach Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) publikowane są dane dotyczące gospodarki osadowej i prezentowane m. in. z podziałem na procesy unieszkodliwiania i odzysku (tab. 4), [19]. To podejście pozwala na ocenę efektywności go-

spodarki osadowej poprzez identyfikację dominujących technologii odzysku lub unieszkodliwiania, ale i regionalne (aglomeracyjne) dysproporcje.

Agglomeracje o największej skali, powyżej 150 tys. RLM, odpowiadają za wytworzenie ponad 210 tys. Mg s.m. osadów, co stanowi ok. 30% całkowitego strumienia krajowego. W tej grupie dominują metody przemysłowe – szczególnie termiczne przekształcanie (D10), obejmujące 85,8 tys. Mg s.m. (ok. 41%), oraz kompostowanie (R3) – 56,7 tys. Mg s.m. (ok. 27%). Dodatkowo niemal 30 tys. Mg s.m. osadów (14%) przypisano do kategorii „inne cele” – obejmujących przypadki poza klasyfikacją R i D, jak np. przekazanie do innej instalacji, zagospodarowanie komercyjne lub przekazanie do przetworzenia poza systemem. Zauważalna jest też istotna wielkość czasowego magazynowania (14,4 tys. Mg s.m.), wskazująca na możliwe trudności w stabilnej logistyce zagospodarowania. Wysoki poziom odzysku i unieszkodliwiania przemysłowego sugeruje dojrzałość infrastrukturalną dużych aglomeracji, ale równocześnie uzależnienie od scentralizowanych technologii.

W grupie średnich oczyszczalni (100–150 tys. RLM), przeważająca część osadów (ponad 13,6 tys. Mg s.m., ok. 35%) została wykorzystana do produkcji kompostu (R3). Istotny jest również udział

Tab.4. Gospodarka osadowa w Polsce w roku 2023 [19]
Table 4. Sludge management in Poland in 2023 [19]

Przedział wielkości RLM (Równoważna Liczba Mieszkańców) aglomeracji	≥ 150 000	≥ 100 000 < 150 000	≥ 15 000 < 100 000	≥ 10 000 < 15 000	≥ 2 000 < 10 000	< 2000	RAZEM	
	ilość osadów zagospodarowanych i unieszkodliwionych w roku sprawozdawczym [Mg s.m./a]	210826	38861	347339	31311	8 557	282	716177
ilość suchej masy osadów z podziałem na procesy unieszkodliwiania i odzysku [Mg s.m./a]	zastosowanie do produkcji kompostu [R3]	5678	13623	41600	5160	22099	76	133236
	zastosowanie do rekultywacji terenów [R10]	0	0	7994	1076	3876	0	12946
	do celów określonych w art. 96 ust. 1 pkt 5 ustawy o odpadach	0	0	3930	231	1246	0	5 408
	zastosowanie do uprawy roślin przeznaczonych na kompost [R10]	2969	0	8838	952	4648	14	17422
	zastosowanie do uprawy roślin nie przeznaczonych do spożycia i pasz [R10]	26654	10508	71710	8572	19843	110	137397
	zastosowanie w rolnictwie, w tym do uprawy roślin do produkcji pasz [R10]	1504	7556	46090	5869	20892	4	81915
	zastosowanie przez wykorzystanie lub wymianę osadów (przeróbka w instalacji) za wyjątkiem przekazania do innej oczyszczalni ścieków [R11 lub R12]	6662	0	2564	639	850	0	10714
	poddanie wysuszeniu [D9]	6363	93	774	0	755	0	7984
	poddanie termicznemu przekształceniu [D10]	85827	1456	47006	0	211	0	134500
	osad czasowo zmagazynowany na terenie oczyszczalni do unieszkodliwiania lub odzysku po roku sprawozdawczym	14363	2295	30979	3202	14441	16	65296
przeznaczenie na inne cele	30169	5626	116833	8812	13137	78	174654	

środowiskowego wykorzystania osadów (R10), które łącznie przekroczyło 18 tys. Mg s.m. – czyli ok. 47% całego strumienia w tej grupie. Spaleniu (D10) uległo natomiast jedynie około 1,5 tys. Mg s.m. (3,7%), co wskazuje na ograniczony dostęp do instalacji termicznych w tej grupie. Można zatem wnioskować, że średnie aglomeracje skutecznie łączą techniki przemysłowe i przyrodnicze, co może wynikać z większej elastyczności operacyjnej oraz łatwiejszego kontaktu z lokalnymi odbiorcami.

Największą masę osadów, aż 347 tys. Mg s.m. (48% ogółu), wytworzyły oczyszczalnie z przedziału 15–100 tys. RLM. Ta kategoria wykazuje największe zróżnicowanie metod zagospodarowania. Największy udział miały tutaj osady kierowane na „inne cele” – 116,8 tys. Mg s.m. (ok. 34%), co wskazuje na szerokie wykorzystanie kanałów pozasystemowych lub problem z jednoznaczną klasyfikacją sposobu zagospodarowania. Wysokie było także środowiskowe wykorzystanie osadów: do upraw roślin (ok. 12,8%) oraz do rekultywacji (ok. 2,3%). Spalanie w tej grupie objęło 47 tys. Mg s.m., co odpowiadało za 13,5%, natomiast kompostowanie 41,6 tys. Mg s.m. (ok. 12%). Oczyszczalnie tej wielkości stosują wysoce hybrydowe podejście – w zależności od lokalnych warunków mogą wdrażać zarówno procesy przemysłowe, jak i metody GOZ.

W grupach oczyszczalni o RLM poniżej 15 tys., które łącznie odpowiadały za 12% wytwarzanych osadów, struktura zagospodarowania przesuwana jest wyraźnie w kierunku zastosowania środowiskowego. W najmniejszej kategorii (<2 000 RLM), aż 69% osadów skierowano na cele rekultywacyjne, rolnicze lub paszowe, co sugeruje skuteczne wykorzystanie osadów na gruntach lokalnych – często bez konieczności przetwarzania. Kompostowanie i spalanie były marginalne, a oczyszczalnie nie posiadają zaawansowanej infrastruktury. W grupie 2–10 tys. RLM dominowało przekazanie na inne cele (13,1 Mg s.m., czyli 58%), co wskazuje na praktykę przekazywania osadów z mniejszych oczyszczalni do większych instalacji przetwarzających, zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Szczególnym przypadkiem w analizie są formy zagospodarowania osadów ściekowych, które nie zostały sklasyfikowane kodami R (odzysk) ani D (unieszkodliwienie). Należą do nich kategorie wynikające z art. 96 ustawy o odpadach, czasowe magazynowanie oraz tzw. „inne cele”. Łącznie stanowiły one w 2023 roku

ponad 245 tys. Mg s.m., czyli około 34% całkowitej masy osadów komunalnych. Zgodnie z przepisami, kategorie te mogą obejmować np. stosowanie osadów w rolnictwie, rekultywacji terenów, a także przekazywanie do innych instalacji przetwarzających. Czasowe magazynowanie może natomiast wynikać z ograniczeń logistycznych lub sezonowości zagospodarowania. Wysoki udział tych kategorii wskazuje na potrzebę dalszej standaryzacji sprawozdawczości, ale również potwierdza elastyczność krajowego systemu zagospodarowania osadów, pozwalającego na dostosowanie działań do lokalnych uwarunkowań technologicznych i środowiskowych.

Sumaryczne dane ze sprawozdań KPOŚK za 2023 rok pokazują wyraźne uzależnienie form zagospodarowania osadów od wielkości aglomeracji. Duże miasta preferują spalanie i kompostowanie, średnie oczyszczalnie korzystają z szerokiego spektrum rozwiązań, natomiast najmniejsze jednostki skupiają się na lokalnym wykorzystaniu przyrodniczym. Istotnym wyzwaniem pozostaje jednak wysoki udział metod niesklasyfikowanych, co wskazuje na potrzebę dalszej standaryzacji sprawozdawczości oraz dostosowania systemu raportowania do rzeczywistych praktyk rynkowych.

Dane sprawozdawcze KPOŚK dostarczają również obrazu aktualnych praktyk w zakresie stabilizacji i higienizacji komu-

nalnych osadów ściekowych w Polsce (tab. 5), [19].

Łączna masa osadów ujęta w zestawieniu wyniosła blisko 720 tys. Mg suchej masy. W ramach tej ilości osadów, najczęściej stosowaną metodą stabilizacji była stabilizacja wapnem (CAOH), która objęła 261 890 Mg s.m. osadów. Jest to metoda prosta technologicznie, niewymagająca złożonej infrastruktury, a zarazem skuteczna pod względem neutralizacji mikrobiologicznej.

Drugą pod względem wielkości była wydzielona stabilizacja tlenowa (STOM), której poddano 137 739 Mg s.m. osadów. Ta klasyczna metoda biologiczna, jest metodą jednak energochłonną z uwagi na konieczność napowietrzania, lecz dobrze znaną i szeroko stosowaną zwłaszcza w średnich i dużych oczyszczalniach.

Trzecią co do skali metodą była fermentacja beztlenowa w zamkniętych komorach fermentacyjnych (WKF), obejmująca 115 024 Mg s.m. Technologia ta pozwala nie na stabilizację osadów, ale i także na odzysk energii w postaci biogazu. WKF wymaga jednak znacznych nakładów inwestycyjnych i zaawansowanego systemu sterowania.

Warto również zwrócić uwagę na fermentację w otwartych komorach (OBF), do której trafiło 20 462 Mg s.m. osadów. Choć technologia ta cechuje się małymi kosztami jest jednak mało efektywna w zakresie kontroli odorów i warunków procesu ale i stopnia stabilizacji. Podobnie stabilizacja symultaniczna (SYM), która objęła 13 687 Mg s.m., bazuje na przedłużonym czasie zatrzymania osadów w układzie biologicznym, lecz wymaga precyzyjnego sterowania procesem nityfikacji-denitryfikacji.

Równie mniej powszechną metodą była stabilizacja egzotermiczna (ATSO) – 26 009 Mg s.m., polegająca intensyfikacji przemian mikrobiologicznych w podwyższonych temperaturach.

Na pewną uwagę zasługują również dwie kategorie budzące wątpliwości interpretacyjne: „INNE” oraz zapisów dla których nie określono metody stabilizacji i higienizacji, których łączny udział wyniósł niemal 55 tys. Mg s.m. Obie kategorie wskazują na potrzebę ujednoczenia systemu raportowania, wprowadzenia doprecyzowania klasy technologicznej procesu oraz szerszego wykorzystania słowników pojęć technicznych w dokumentach sprawozdawczych. Tylko w ten sposób możliwe będzie pełne odzwierciedlenie rzeczywistej praktyki stabilizacji i higienizacji osadów w Polsce oraz umożliwienie porównywalnych analiz.

Tab.5. Metody stabilizacji i higienizacji osadów na terenie oczyszczalni [19]

Table 5. Methods of stabilization and hygienization of sludge in the treatment plant [19]

Wykorzystana metoda stabilizacji i higienizacji osadu na terenie oczyszczalni (jeżeli osad podlegał stabilizacji innej niż wapnowanie, zaś wapna użyto tylko do higienizacji, w sprawozdaniach KPOŚK 2023 wybrano skrót opisujący stabilizację)	Suma Mg s.m./rok
ATSO	26 009
BRAK	86 648
CaOH	261 890
INNE	15 715
OBF	20 462
STOM	137 739
SYM	13 687
WKF	115 024
Nie sprecyzowano	39 001

Legenda:
 ATSO – egzotermiczna biologiczna stabilizacja osadów;
 BRAK – na terenie oczyszczalni nie przeprowadzono stabilizacji i higienizacji osadu;
 CAOH – stabilizacja wapnem;
 INNE – metody nie wymienione powyżej;
 OBF – fermentacja w otwartych komorach fermentacyjnych;
 STOM – wydzielona stabilizacja tlenowa;
 SYM – stabilizacja symultaniczna w reaktorach biologicznych (długi wiek osadu);
 WKF – fermentacja w zamkniętych komorach fermentacyjnych;

Rekomendacje i kierunki rozwoju zagospodarowania komunalnych osadów ściekowych

W obliczu przytoczonych zastrzegających się regulacji unijnych i krajowych oraz konieczności realizacji celów klimatycznych i środowiskowych, gospodarka osadami ściekowymi staje się jednym z kluczowych obszarów transformacji infrastruktury wodno-ściekowej w Polsce i Europie. Wzrost świadomości środowiskowej oraz ograniczenie możliwości składowania osadów (obowiązujące w Polsce od 2016 roku) sprawiły, że ówczesne schematy zagospodarowania osadów uległy zmianie i muszą podlegać dalszym przekształceniom. Szczególnym wyzwaniem jest integracja dotychczasowych schematów stabilizacji i unieszkodliwiania z założeniami gospodarki cyrkularnej, która zakłada nie tylko minimalizację ilości odpadów, ale także odzysk cennych zasobów, takich jak energia, azot czy fosfor [20, 21]. W tym celu potrzebne są bardziej zróżnicowane strategie, obejmujące np. fermentację beztlenową z wykorzystaniem współsubstratów, pirolizę, zgazowanie, czy tworzenie nawozów o kontrolowanym uwalnianiu składników pokarmowych [22, 23].

Z perspektywy przytoczonych analiz, przyszłość zagospodarowania osadów ściekowych powinna zostać oparta na kilku kluczowych filarach:

- Rozwój technologii termicznych i energetycznych – wzrost roli instalacji do monospalania osadów, z możliwością odzysku energii i surowców mineralnych (np. fosforu), jest jednym z podstawowych kierunków modernizacji,
- Promowanie fermentacji beztlenowej – z uwagi na możliwość produkcji biogazu i zwiększenie efektywności energetycznej oczyszczalni, procesy

fermentacyjne (szczególnie współfermentacja) powinny zostać uo-
wzecznione,

- Standaryzacja i klasyfikacja osadów – wprowadzenie jednolitych kryteriów klasyfikacji osadów i ich przydatności do poszczególnych metod zagospodarowania poprawi efektywność systemów decyzyjnych,
- Zintegrowane planowanie i współpraca między gminami – wobec dużego zróżnicowania wielkości oczyszczalni, konieczne jest tworzenie regionalnych strategii gospodarki osadami, uwzględniających współdzielenie instalacji i logistyki.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Poproch D., Cimochowicz-Rybicka M., Górka J., Łuszczek B., Gospodarka osadami ściekowymi w miejskiej oczyszczalni ścieków, *Instal*, 2022, 10, 47-50, 10.36119/15.2022.10.6.
- [2] Kamizela T., Włodarczyk-Makula M., Jednosobowa ilość komunalnych osadów ściekowych, *Instal*, 2024, 10, 43-46, 10.36119/15.2024.10.7.
- [3] European Union, Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment, *Official Journal of the European Communities*, 1991.
- [4] European Commission, Council Directive 86/278/EEC on the protection of the environment when sewage sludge is used in agriculture, 1986.
- [5] European Commission, Directive (EU) 2024/3019 on urban waste-water treatment, Directive (EU) 2024/3019 of the European Parliament and of the Council on urban wastewater treatment, 2024.
- [6] European Commission, Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive), 2008.
- [7] Ministerstwo Infrastruktury, VI aktualizacja Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych. Warszawa, 2022, <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/vi-aktualizacja-krajowego-programu-oczyszczania-sciekow-komunalnych>.
- [8] Ustawa o odpadach, Dz.U. 2013 poz. 21.
- [9] Eurostat. Sewage sludge production and disposal per capita. <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [10] Włodarczyk-Makula M., Kamizela T., Farmaceutyki w ściekach z małej oczyszczalni ście-

ków w kontekście nowelizacji Dyrektywy ściekowej, *Instal*, 2024, 9, 42-44, 10.36119/15.2024.9.5.

- [11] Płonka I., Adamkowska M., Zastosowanie dezintegracji ultradźwiękowej dla osadu pokoagulacyjnego, *Instal*, 2024, 2, 49-52, 10.36119/15.2024.2.6.
- [12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach, Dz.U. 2015 poz. 1277.
- [13] Rozporządzenie w sprawie komunalnych osadów ściekowych, Dz.U. 2015 poz. 257.
- [14] European Commission, Pathway to a Healthy Planet for All – EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil', 2021.
- [15] Główny Urząd Statystyczny. Bank Danych lokalnych. Stan i Ochrona środowiska. Oczyszczanie ścieków komunalnych. Osady wytworzone w ciągu roku. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/temat>.
- [16] Ochrona środowiska 2022, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2022.
- [17] Ochrona środowiska 2023, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 2023.
- [18] Krawczyk Ł., Iskra K., Przygoda-Kuś P., Józefiak P., Kierunki rozwoju komunalnych oczyszczalni ścieków – innowacyjne rozwiązania w obliczu gospodarki cyrkularnej, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Wrocław 2022.
- [19] Sprawozdanie z realizacji KPOŚK 2023, Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, <https://www.gov.pl/web/wody-polskie/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych>.
- [20] Rosiek K., Directions and Challenges in the Management of Municipal Sewage Sludge in Poland in the Context of the Circular Economy, *Sustainability*, 2020, 12, 9, [21] Gromiec M., Gospodarka wodno-ściekowa w gospodarce cyrkularnej, *Gospodarka Wodna*, 2024, 3, 22-27, 10.15199/22.2024.3.1.
- [22] Smol M., Inventory of Wastes Generated in Polish Sewage Sludge Incineration Plants and Their Possible Circular Management Directions, *Resources*, 2020, 9, 91, 10.3390/resources908091.
- [23] Bojanowicz-Bablok, A., Horak, N., Kuśmierz, A. Katalog dobrych praktyk w produkcji biogazu. Przykłady rozwiązań dla sektora komunalnego w Polsce. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 2024.