

Wiesława STYKA, Piotr BEŃKO

Politechnika Krakowska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: wstyka@pk.edu.pl, pbenko@poczta.onet.pl

Wdrażanie dobrych praktyk w gospodarce osadami ściekowymi

W praktyce projektowej i eksploatacyjnej wysokoefektywnych oczyszczalni ścieków z usuwaniem związków biogenych coraz istotniejszą rolę odgrywa rozwiązanie układu przeróbki osadów ściekowych. Wynika to ze sprzężenia i wzajemnego oddziaływania pomiędzy linią ściekową a osadową, związanego z odprowadzaniem odcieków z przeróbki odpadów. Drugim istotnym zagadnieniem jest konieczność uwzględnienia uwarunkowań prawnych dotyczących zagospodarowania osadów ściekowych. Praktyczne i techniczne aspekty gospodarki osadami w komunalnych oczyszczalniach ścieków stają się w tej sytuacji kluczowym zagadnieniem w nowo projektowanych i modernizowanych oczyszczalniach ścieków. W pracy omówiono innowacyjne rozwiązania technologiczne i techniczne przeróbki osadów ściekowych stosowane w komunalnych oczyszczalniach ścieków, spełniające wymogi dobrych praktyk. Przedstawiono trendy rozwojowe procesów jednostkowych stosowanych w linii przeróbki osadów w nowoczesnej komunalnej oczyszczalni ścieków oraz uwarunkowania związane z ich praktycznym wdrożeniem i eksploatacją. Opisane innowacyjne działania i rozwiązania obejmują: minimalizację ilości osadów ściekowych, modyfikacje procesowe linii przeróbki osadów: intensyfikację procesu beztlenowej stabilizacji osadu (w tym procesy dezintegracji i wykorzystania biogazu), intensyfikację procesu końcowego odwadniania osadu oraz wdrażanie metod termicznego zagospodarowania osadów. Przeanalizowano problem gospodarki wodami osadowymi, podkreślając ich wpływ na główną linię oczyszczania ścieków i zasadność podczyszczania tych wód z wykorzystaniem innowacyjnych metod biologicznego usuwania azotu z wód osadowych z uwzględnieniem procesu Anammox. Zakaz składowania oraz postępujące ograniczanie rolniczego wykorzystania osadów powodują, iż wiodącą metodą ich zagospodarowania stają się metody termiczne, w tym współspalanie osadów. W pracy zwrócono uwagę na fakt, iż pomimo zarysowującej się tendencji do zaostrzania wymagań stawianych osadom wykorzystywanym przyrodniczo dla wielu średniej wielkości oczyszczalni jest to wciąż sposób odzysku, który przy uwzględnieniu warunków lokalnych będzie jedyną alternatywą.

Słowa kluczowe: osady ściekowe, metody przeróbki i zagospodarowania osadów, wody osadowe

Wstęp

Ilość i jakość osadów ściekowych generowanych w komunalnych oczyszczalniach ścieków są uzależnione od stosowanych układów oczyszczania ścieków, a tym samym ściśle powiązane z wymaganiami stawianymi ściekom oczyszczonym. Wdrażanie w Polsce dyrektywy ściekowej, ukierunkowanej na intensyfikację usuwania związków biogenych ze ścieków, wymusiło podjęcie prac nad modyfikacją przepisów prawnych obowiązujących w tym zakresie. W konsekwencji,

w niedługim horyzoncie czasowym problem zaostrenia wymagań usuwania związków biogenych dotknie znaczną część mniejszych oczyszczalni w Polsce ze względu na zobowiązania przyjęte przez Polskę w Traktacie Akcesyjnym do UE. W związku z tym, że obszar Polski został uznany w całości za „wrażliwy na eutrofizację”, tj. wymagający ograniczenia zrzutów związków azotu i fosforu do wód, a jednocześnie nie zostały spełnione zapisy art. 5.4 dyrektywy ściekowej - 75% usuwania ładunków azotu i fosforu ogólnego (w 2011 roku osiągnięto 61,1% usuwania azotu ogólnego i 61,8% fosforu ogólnego), aktualny staje się ostrzejszy zapis art. 5.2 dyrektywy Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 roku, dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych. Oznacza to wymóg usuwania związków biogenych ze ścieków odprowadzanych z aglomeracji o RLM wynoszącej ponad 10 000, a więc zastosowania podwyższonego usuwania biogenów także w oczyszczalniach o mniejszej przepustowości, znajdujących się na terenie aglomeracji powyżej 10 000 RLM [1]. Nowe regulacje prawne dotyczące tego zagadnienia zapisane zostały w projekcie nowelizacji rozporządzenia MS, skierowanym do konsultacji społecznych [2].

Równolegle narasta problem przeróbki osadów ściekowych, których odzysk i unieszkodliwianie obwarowane są zaostrenzonymi ostatnio przepisami prawnymi. Wymusza to sięganie po innowacyjne działania i rozwiązania, których wdrażanie w oczyszczalniach ścieków ma na celu optymalizację sposobu postępowania z osadami ściekowymi przy uwzględnieniu warunków lokalnych, zachowaniu zasad zrównoważonego rozwoju, a przede wszystkim respektowania obowiązujących przepisów prawnych.

1. Analiza aspektów prawnych

Państwa członkowskie UE są zobowiązane do transponowania dyrektyw UE do krajowych przepisów prawnych, które nie mogą zawierać mniej rygorystycznych zapisów niż dyrektywy (mogą być bardziej rygorystyczne). Państwa członkowskie, niewywiązujące się ze zobowiązań wynikających z polityki UE, mogą być sądzone przez Trybunał Sprawiedliwości Unii Europejskiej i zobowiązane do zapłaty grzywny do czasu dostosowania się do przepisów UE. Za egzekwowanie obowiązujących przepisów prawnych odpowiedzialne są poszczególne państwa członkowskie.

Do polskiego prawa zaimplementowane zostały zapisy „dyrektywy osadowej” (CEC, 1986), dyrektywy w sprawie składowania (CEC, 1999) oraz dyrektywy w sprawie spalania odpadów (CEC, 2000). Z gospodarką osadową powiązane są także dyrektywy dotyczące ochrony wód, dyrektywa ściekowa, dyrektywa azotanowa, ramowa dyrektywa wodna oraz przepisy dotyczące substancji niebezpiecznych. Wdrożenie cytowanych powyżej przepisów ma wpływ na ilość i skład osadów ściekowych. Przykładowo, w wyniku wprowadzenia konieczności usuwania fosforu ze ścieków wzrosła ilość osadów oraz zawartość fosforanów w tych osadach. Zaostrenie przepisów dotyczących wprowadzania substancji szczególnie

szkodliwych dla środowiska wodnego do urządzeń kanalizacyjnych spowodowało spadek zawartości tych substancji w osadach ściekowych [3].

Kwestię odzysku i unieszkodliwiania komunalnych osadów ściekowych w Polsce reguluje Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [4]. W związku z wejściem w życie (23.1.2013 r.) cytowanej ustawy zaistniała konieczność wydania nowych przepisów wykonawczych (na podstawie art. 96 ust. 13 ustawy) dotyczących komunalnych osadów ściekowych. Aktualnie trwają prace nad projektem rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych (etap konsultacji społecznych), które zastąpi obecnie obowiązujące rozporządzenie MŚ z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych.

W stosunku do obecnie obowiązującego w projekcie nowego rozporządzenia MŚ wprowadzono następujące istotne zmiany, które wg ustawodawcy pozytywnie wpłyną na ochronę środowiska [5]:

- Wprowadzono warunek, jaki musi być spełniony w przypadku stosowania komunalnych osadów ściekowych, odnoszący się do niepowodowania szkody w środowisku. Obowiązek zapobiegania szkodom w środowisku spoczywa na podmiocie korzystającym ze środowiska, który prowadzi działalność stwarzającą ryzyko szkody, w tym m.in. przetwarzanie odpadów wymagające uzyskania zezwolenia.
- Uszczegółowiono wymagania w zakresie stosowania zasady dobrej praktyki rolniczej w dostosowaniu dawki komunalnego osadu ściekowego pod względem zawartości azotu i fosforu do potrzeb pokarmowych roślin. Ma to na celu wyeliminowanie produkcji roślinności o zbyt wysokiej zawartości azotanów oraz ograniczenie zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych.
- Skonkretyzowano zapis odnoszący się do maksymalnego czasu, jaki może upłynąć pomiędzy przywozem osadu na nieruchomość gruntową a zmieszaniem go z gruntem.
- Ujednolicono pojęcie „stosowanie komunalnych osadów ściekowych” oraz doprecyzowano zapis odnoszący się do głębokości poboru próbek do badania gruntu, na którym będą stosowane komunalne osady ściekowe.

Nowelizacja rozporządzenia dotyczącego stosowania osadów ściekowych ma na celu wyeliminowanie nieprawidłowości wykazanych przez NIK, która skontrolowała 36 jednostek eksploatujących komunalne oczyszczalnie ścieków w latach 2011-2012 [6]. NIK negatywnie oceniła zagospodarowanie osadów ściekowych przez skontrolowane komunalne oczyszczalnie ścieków. Stwierdzono, że komunalne oczyszczalnie dopuszczają się niebezpiecznych zaniedbań przy gospodarowaniu osadami ściekowymi; przykładowo, aż 90% skontrolowanych przez NIK oczyszczalni nie przekazywało wraz z przetworzonym osadem wiarygodnych badań oraz informacji o dawkach, w jakich można go stosować.

Na mocy art. 30 ust. 4 Ustawy z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach powstał także projekt z dnia 28 lutego 2014 r. rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie procesu odzysku R10. Podano w nim warunki odzysku w procesie R10 - obróbka na powierzchni ziemi oraz rodzaje odpadów dopuszczonych do takiego odzysku [7].

Ostatnia regulacja prawna dotycząca składowania odpadów, tj. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, DzU z 2013 r., poz. 38 [8], wyklucza po 1 stycznia 2016 r. możliwość składowania nieprzetworzonych osadów ściekowych, które dotychczas było popularną metodą ich zagospodarowywania, poprzez ustanowienie zaporowych kryteriów (tab. 1).

Tabela 1. Kryteria dopuszczania odpadów o kodach 19 08 05, 19 08 14, 19 12 12 oraz z grupy 20 do składowania na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne [8]

Table 1. Guidelines for storage of waste (codes 19 08 05, 19 08 14, 19 12 12 and the group 20) at landfills for waste other than hazardous and neutral [8]

Lp.	Parametr	Wartość graniczna
1	Ogólny węgiel organiczny (TOC)	5% suchej masy
2	Strata przy prażeniu (LOI)	8% suchej masy
3	Ciepło spalania	maksimum 6 MJ/kg suchej masy

W Polsce, tak jak w większości krajów, wprowadzenie w najbliższej przyszłości zakazu składowania oraz postępujące ograniczanie rolniczego wykorzystania osadów powoduje, iż wiodącą metodą ich zagospodarowania stają się metody termiczne.

Zgodnie z ustawą o odpadach [4], identyfikacja, kiedy energetyczne wykorzystanie odpadów ma charakter odzysku, a kiedy jest unieszkodliwianiem, oparta jest na tzw. Regule R1, klasyfikującej proces termicznego przekształcania odpadów do grupy odzysku (proces R1) bądź unieszkodliwiania (proces D10) poprzez wartość współczynnika efektywności odzysku energii E_{ff} . Reguła ta opisana jest specjalnym wzorem (art. 158.1.2 oraz art. 158.2.3 i załącznik nr 1 Ustawy o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 - DzU z 2013 r., poz. 21). Reguła R1 nie podlega jednak energetyczne wykorzystanie osadów ściekowych [9].

Należy także odnotować, że energetyczne wykorzystanie odpadów może być traktowane jako odnawialne źródło energii (OZE), ale odnosi się to jedynie do odpadów komunalnych i tylko do spalarni odpadów. Duże nadzieje wiązano z rozszerzeniem OZE na inne rodzaje odpadów, w tym osady ściekowe - zgodnie z art. 159, który umożliwia traktowanie osadów ściekowych jako biomasy spełniającej warunki OZE. Zapisy takie musiałyby się jednak znaleźć w nowym rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów (projekt z dnia 16.03.2012 r.) [10].

2. Zadania stojące przed gospodarką osadami ściekowymi w Polsce

Bilans osadów generowanych w komunalnych oczyszczalniach ścieków w Polsce oraz stosowane metody odzysku i unieszkodliwiania ilustruje tabela 2. W 2012 r. komunalne oczyszczalnie ścieków wygenerowały ogółem 533,3 ton

suchej masy osadów, których zagospodarowanie bazowało na przyrodniczym wykorzystaniu i składowaniu.

W 2010 r. powstał raport, dotyczący głównie rolniczego wykorzystania osadów w UE, w którym zidentyfikowano i przeanalizowano zagrożenia związane z wprowadzaniem osadów do środowiska [11].

Tabela 2. **Zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych w Polsce [12]**

Table 2. **Municipal sewage sludge handling in Poland [12]**

Lata	Wykorzystanie na cele			Przekształ- cone term- icznie	Składowanie		Magazy- nowane czasowo	Inne
	do re- kulty- wacji	w rol- nictwie	do upra- wy roślin		Składowisko oraz teren zakładu	Dotychczas nagromadzone		
	tys. Mg s.m.							
2007	118,5	98,2	25,5	1,7	124,5	79,4	49,4	115,5
2008	105,8	112,0	27,5	6,0	91,6	54,1	52,9	171,5
2009	77,8	123,1	23,5	8,9	81,6	45,4	72,9	175,3
2010	54,3	109,3	30,9	19,8	58,9	29,6	68,2	185,2
2011	54,4	116,2	31,0	41,6	51,4	212,4	53,1	171,4
2012	50,3	115,0	33,3	56,6	46,8	208,1	52,7	178,6

W perspektywie 2020 r. podstawowe cele w gospodarce komunalnymi osadami ściekowymi przyjęte w KPGO 2014 [13] są następujące:

- ograniczenie składowania osadów ściekowych,
- zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych przetwarzanych przed wprowadzeniem do środowiska oraz osadów przekształcanych metodami termicznymi,
- zwiększenie ilości komunalnych osadów ściekowych wykorzystywanych w biogazowniach w celach energetycznych,
- wzrost masy komunalnych osadów ściekowych przekształcanych termicznie w cementowniach, kotłach energetycznych oraz spalarniach komunalnych osadów ściekowych,
- maksymalizacja stopnia wykorzystania substancji biogennej zawartej w osadach przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów dotyczących bezpieczeństwa sanitarnego, chemicznego oraz środowiskowego.

W najbliższych latach największym wyzwaniem dla polskich oczyszczalni będzie ważne ograniczenie (a docelowo całkowite wyeliminowanie) składowania osadów ściekowych, którego udział jest znaczący. Wzrastająca rola procesów termicznego przekształcania daje się zaobserwować od roku 2010, a w roku 2012 termicznemu przekształceniu poddane zostało prawie 60 000 t s.m. osadów (tab. 2).

3. Innowacyjne działania i rozwiązania w przeróbce osadów ściekowych

3.1. Minimalizacja ilości osadu

Możliwości zmniejszenia ilości osadów ściekowych dotyczą zarówno modyfikacji procesowych układów przeróbki osadów, jak i stosowania rozwiązań generujących mniejsze ilości osadu nadmiernego w głównych ciągach technologicznych oczyszczania ścieków. Ograniczenie ilości osadu biologicznego można uzyskać poprzez zastosowanie procesów charakteryzujących się niskim przyrostem biomasy, a także układów eksploatowanych przy długim wieku osadu, takich jak reaktory z przedłużonym napowietrzaniem, reaktory membranowe czy reaktory z biomasą osiadłą.

Również w układach wieloosadowych, umożliwiającą optymalizację parametrów procesowych pod kątem wymagań poszczególnych grup mikroorganizmów, możliwe jest znaczne ograniczenie wzrostu organizmów heterotroficznych, a w konsekwencji ilości produkowanego osadu nadmiernego.

Większość z tych efektów nie jest jednak możliwa do osiągnięcia w typowych układach jednoosadowych do usuwania węgla, azotu i fosforu, będących najczęściej eksploatowanymi układami technologicznymi, również w Polsce, ze względu na wymagania procesowe bakterii nityfikujących, denityfikujących i fosforowych (PAO).

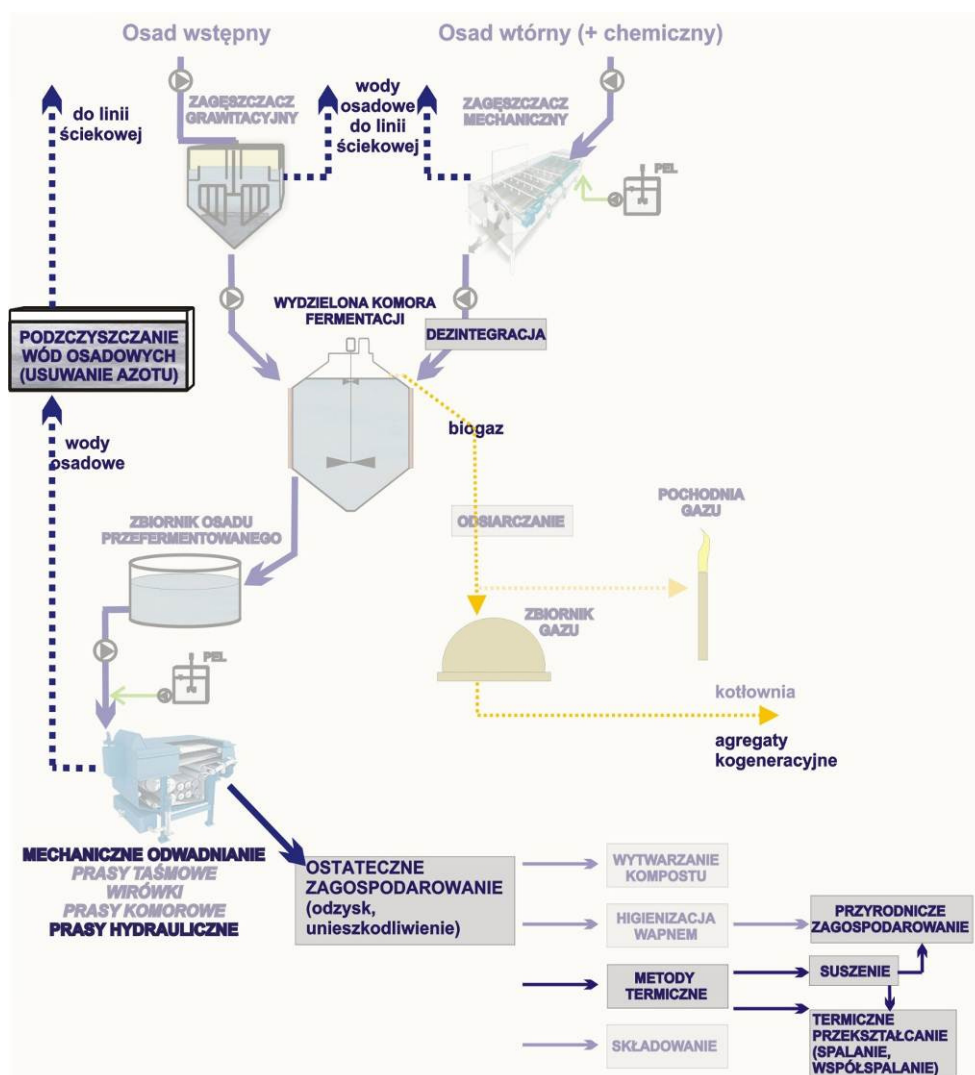
Możliwości minimalizowania ilości powstających osadów już w linii oczyszczania ścieków tych układów ograniczają się do limitowanego wydłużenia wieku osadu, jak również zmniejszenia ilości osadów niebiologicznych poprzez eliminowanie/ograniczanie chemicznego strącania oraz sedymentacji wstępnej. Zmniejszanie efektywności sedymentacji wstępnej wpływa z kolei w zdecydowanie niekorzystny sposób na produkcję biogazu i odzysk energii w systemach przeróbki z beztlenową stabilizacją osadu.

Istotnym czynnikiem mogącym pozytywnie wpływać na sumaryczny przyrost biomasy może być wprowadzenie do układu biologicznego oczyszczania i kontrolowany wzrost drapieżników bakterii, co jednak może wpłynąć na zaburzenia w strukturze biomasy, szczególnie w odniesieniu do bakterii charakteryzujących się niską szybkością wzrostu.

Problematyka związana z minimalizacją produkcji osadów w komunalnych oczyszczalniach ścieków jest wciąż badana, ale w praktyce eksploatacyjnej priorytetowo traktowana jest optymalizacja parametrów linii ściekowej pod kątem spełniania wymagań stawianych ściegom oczyszczonym.

3.2. Modyfikacje technologiczne przeróbki osadów

Podstawowy układ technologiczny przeróbki osadów ściekowych w komunalnej oczyszczalni ścieków, z zaznaczeniem modyfikacji procesowych spełniających wymogi dobrych praktyk, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Typowy układ przeróbki osadów ze wskazaniem możliwości wdrożenia dobrych praktyk

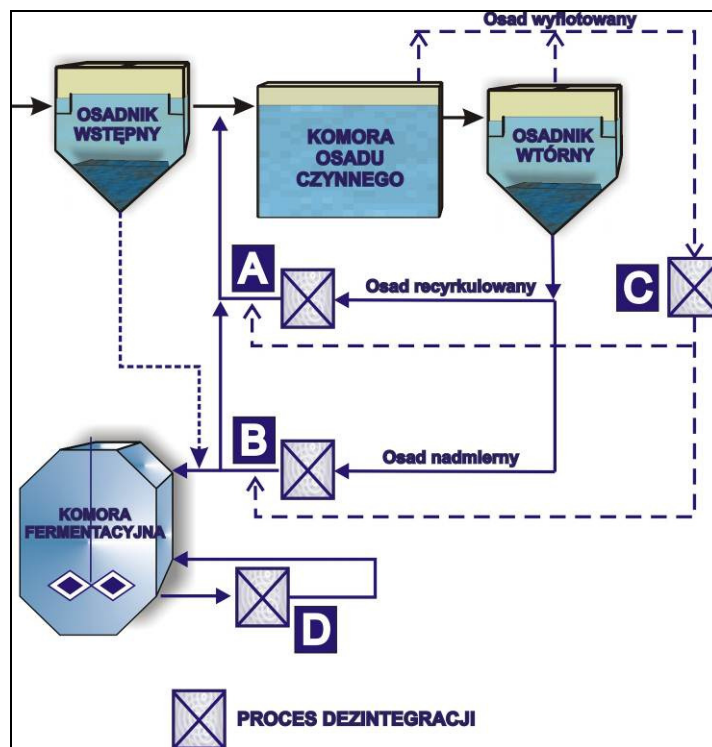
Fig. 1. Typical sludge processing line with a possible implementation of good practice

3.3. Beztlenowa stabilizacja osadu

Intensyfikacja procesu opiera się na wprowadzaniu wstępnego przygotowania osadu nadmiernego przed skierowaniem go do komory fermentacyjnej poprzez zastosowanie procesu dezintegracji (rys. 2).

Niszczenie struktur osadu pozwala na intensyfikację hydrolizy komórek i zwiększenie stopnia rozkładu substancji trudno biodegradowalnych, limitujących procesy beztlenowego rozkładu materii organicznej. W konsekwencji, dzięki zasto-

sowaniu dezintegracji osadów ściekowych, można uzyskać przyspieszenie fermentacji metanowej, zwiększenie produkcji biogazu, podniesienie stopnia przefermentowania i skrócenie czasu fermentacji [14, 15].



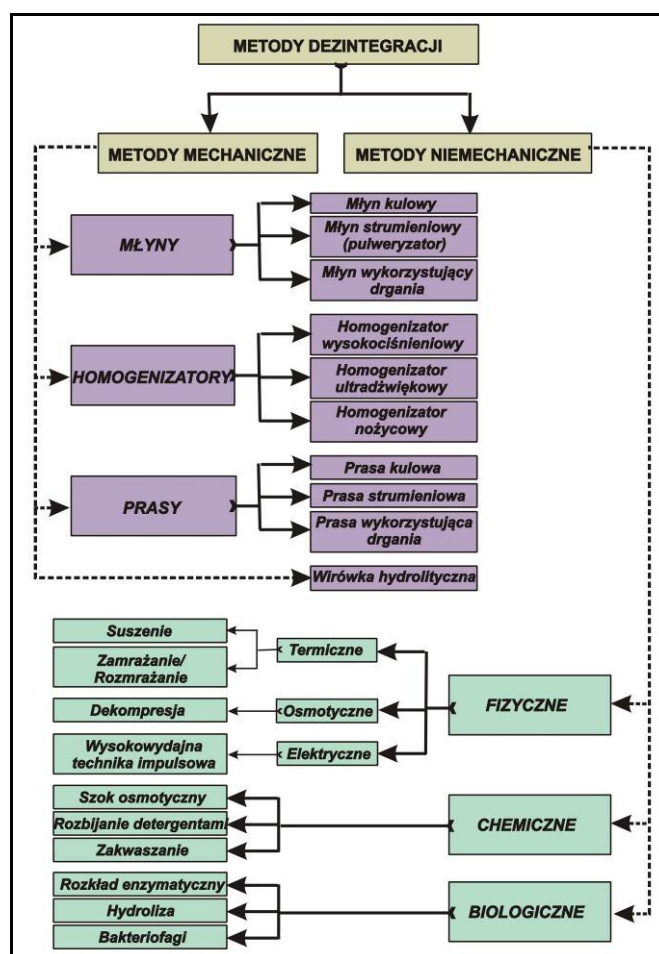
Rys. 2. Schemat dezintegracji osadu nadmiernego i recykulowanego

Fig. 2. Disintegration of excess and return sludge

Do dezintegracji osadów ściekowych stosowanych jest wiele metod wykorzystujących różne mechanizmy destrukcji (rys. 3): metody chemiczne opierające się na utlenianiu i hydrolizie; biochemiczne, oparte na autolizie i środkach bioaktywnych, oraz procesy termiczne lub oddziaływania mechaniczne [16, 17].

W wielu przypadkach, jak np. w oczyszczalni Kraków Płaszów, poza głównym celem stosowania tego procesu, czyli poprawą stopnia przefermentowania osadu i zwiększeniem produkcji biogazu, dodatkową przesłanką dla wdrożenia tego procesu była możliwość wykorzystania uwolnionych z komórek substancji jako źródła łatwo rozkładalnego substratu organicznego w procesie denitryfikacji w przypadku jego niedoboru w dopływających ściekach, co ostatecznie okazało się niekonieczne.

Poza modyfikacjami procesowymi pozwalającymi na zwiększenie produkcji biogazu, coraz bardziej popularne są rozwiązania techniczne mające na celu efektywne energetyczne wykorzystanie biogazu (głównie kogeneracja) oraz poprawę jego parametrów energetycznych i jakościowych (rys. 4).



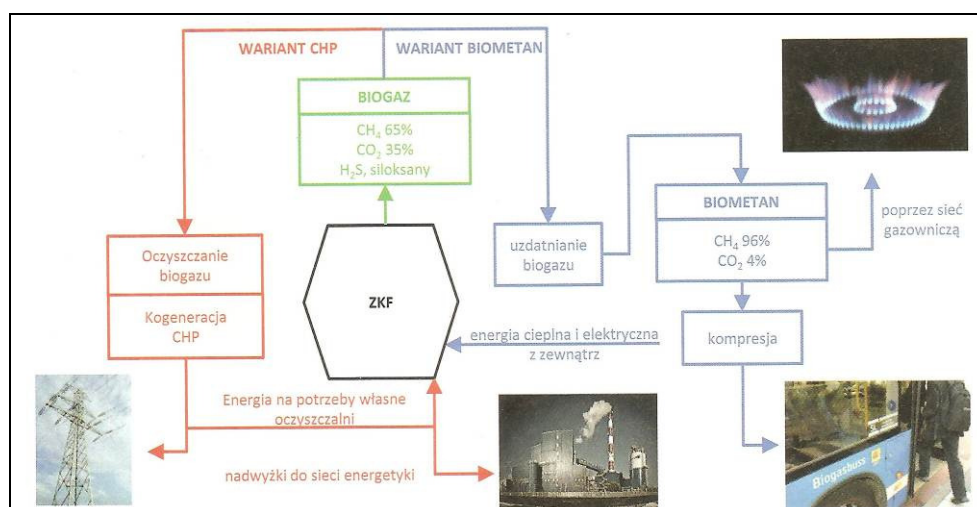
Rys. 3. Systematyka metod dezintegracji osadu

Fig. 3. Sludge disintegration methods

Skojarzone uzyskiwanie energii cieplnej i elektrycznej z biogazu (rys. 5) jest techniką korzystną nie tylko energetycznie, ale także środowiskowo. W końcu 2011 roku zarejestrowano w Polsce jako źródła OZE 171 funkcjonujących instalacji biogazowych [18].

W ramach wdrażania procesu odzysku elektroenergetycznego wprowadzane są także nowe rozwiązania wykorzystywanych napędów, takie jak ogniwa paliwowe, silnik Stirlinga czy mikroturbiny, pozwalające na tzw. małą kogenerację i mikro-kogenerację dla układów o małej mocy elektrycznej.

Innym trendem w wykorzystaniu biogazu, związanym także z wymaganiami jakościowymi niektórych wymienionych powyżej napędów, jest jego przekształcenie jakościowe do postaci biometanu o zawartości metanu powyżej 95%, co może być osiągnięte za pomocą oczyszczania biogazu lub jego mieszania z innymi gazami, takimi jak propan-butan czy gaz ziemny.



Rys. 4. Możliwości wykorzystania biogazu [18]

Fig. 4. Possible use of biogas [18]



Rys. 5. 16-cylindrowy silnik biogazowy kogeneratorsa zainstalowanego w Oczyszczalni Ścieków Kraków Płaszów II (2 jednostki, znamionowa moc elektryczna jednostki - 800 kW, moc cieplna - 810 kW)

Fig. 5. Cogeneration unit with a 16-cylinder biogas engine at the Kraków Płaszów II (2 units, rated and thermal powers of the unit 800 kW and 810 kW, respectively)

3.4. Intensyfikacja procesu końcowego odwadniania osadu

Stopień odwadniania osadów ustabilizowanych jest elementem kluczowym dla poziomu kosztów ich transportu i ostatecznej utylizacji, jak również w kontekście coraz częściej stosowanego suszenia osadów. Oczekiwana efektywność procesu odwadniania oraz wynikające z tego zużycie energii i flokulantu do kondycjonowania uzależnione są od rodzaju osadu, a także metody i parametrów procesowych jego stabilizacji. Stosowanie typowych urządzeń pozwala przeważnie na osiągnięcie końcowego uwodnienia na poziomie 75÷85% (tab. 3).

Tabela 3. Metody odwadniania oraz ich wykorzystanie w regionie Morza Bałtyckiego [19]

Table 3. Sludge dewatering methods and their implementation in the Baltic Sea region [19]

	Rodzaj osadów ściekowych	Urządzenie odwadniające	Biologiczne usuwanie P	Sucha masa	Zużycie flokulantu
Kohtla-Jarve	Bez fermentacji	Wirówka	Tak	22%	8 g/kg s.m.
Ryga	Przefermentowane osady ściekowe	Wirówka	Tak	19%	8 g/kg s.m.
Jurmala	Bez fermentacji	Wirówka	Tak	18%	5,4 g/kg s.m.
Gdańsk	Przefermentowane osady ściekowe	Wirówka	Tak	19,7%	11,4 g/kg s.m.
Szczecin Pomorzany	Przefermentowane osady ściekowe	Taśmowa prasa filtracyjna	Tak	20%	8÷12 g/kg s.m.
Szczecin Zdroje	Przefermentowane osady ściekowe	Wirówka	Tak	19%	5,3 g/kg s.m.
EC Lubeka	Przefermentowane osady ściekowe	Komorowa prasa filtracyjna	Nie	37%	500 g/kg s.m. (wapno)

Do odwadniania osadów w oczyszczalniach ścieków w Polsce zazwyczaj stosowane są prasy taśmowe, chociaż poprawa parametrów procesowych oferowanych obecnie na rynku wirówek skutkuje stopniowym wypieraniem przez nie pras taśmowych. Prasy komorowe stosowane są zdecydowanie rzadziej, głównie ze względu na wyższe koszty.

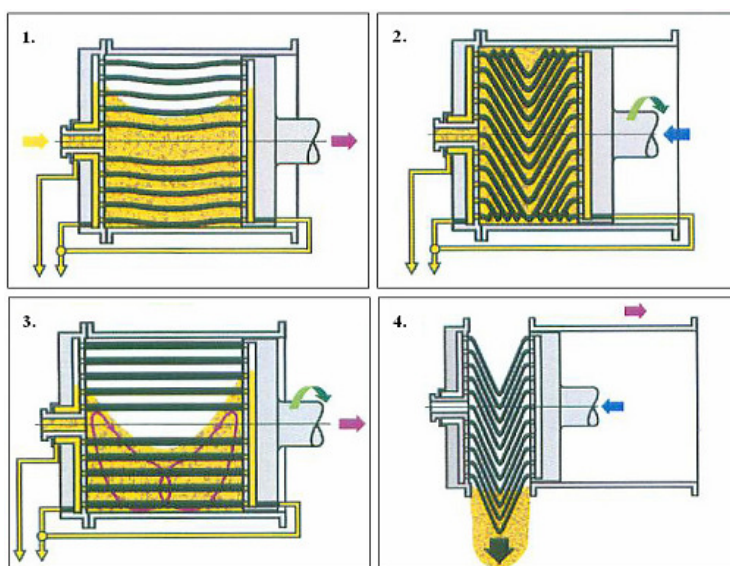
Stosunkowo nowym rozwiązaniem pozwalającym na zwiększenie efektywności odwadniania osadów, szczególnie w przypadkach osadów niepodatnych na odwadnianie, są prasy hydrauliczne oferowane przez firmę Bucher (rys. 6). Prasa hydrauliczna to układ składający się z cylindra i tłoka, pomiędzy którymi umiejscowione są elastyczne dreny odwadniające, umożliwiające odprowadzanie odcieku w trakcie cyklu odwadniania. Zasada działania prasy jest zbliżona do działania silników tłokowych z cyklicznym sprężaniem i rozprężaniem (rys. 7) przy jednoczesnym ruchu obrotowym cylindra. Dreny wyposażone są w typową tkaninę filtracyjną wymienianą po cyklu eksploatacyjnym, szacowanym na 2000 h. Dzięki zastosowaniu tego typu urządzenia możliwe jest osiągnięcie stężenia końcowego suchej masy na poziomie 25÷40%, jednak główną barierą

wdrożeń pras hydraulicznych jest wysoki koszt inwestycyjny, szacowany na 180÷400 tys. euro [19].



Rys. 6. Prasa hydrauliczna do odwadniania osadów ściekowych prod. Bucher [20]

Fig. 6. Hydraulic filter press for sewage sludge dewatering by Bucher [20]

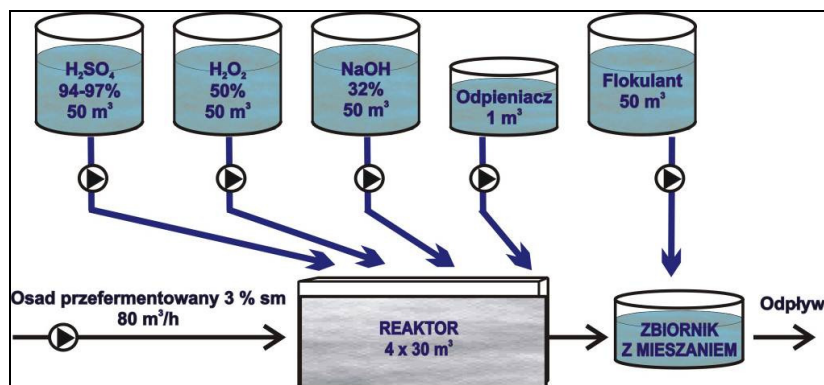


Rys. 7. Schemat działania prasy hydraulicznej: 1) cykliczne napelnianie i dopelnianie osadem komory ściskania, 2) ściskanie, 3) rozprężanie, 4) wyładunek [21]

Fig. 7. Dewatering with the hydraulic filter press: 1) cycle of filling up with sludge, 2) squeezing, 3) expansion, 4) emptying [21]

Obecnie w układach przeróbki osadów ściekowych funkcjonuje szereg instalacji wykorzystujących prasy hydrauliczne, np.: w Niemczech, Szwajcarii, Austrii, Szwecji i Norwegii.

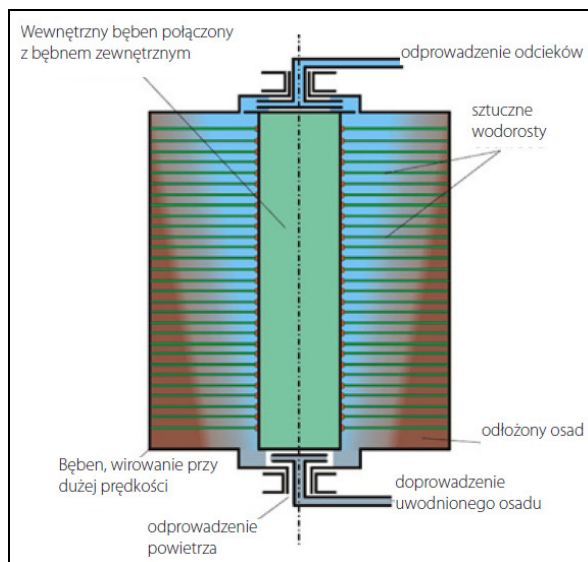
Największa instalacja zamontowana została w 2008 roku w szwedzkiej oczyszczalni Käppala (dla miasta Sztokholm), gdzie zastosowanie wstępnej obróbki osadu metodą KemiCond (rys. 8) przed odwadnianiem w prasach hydraulicznych pozwoliło na osiągnięcie końcowego stężenia suchej masy osadu na poziomie 50%.



Rys. 8. Schemat procesu KemiCond wdrożonego w oczyszczalni ścieków Käppala w Szwecji [21]

Fig. 8. Application of the KemiCond process before dewatering in the Bucher hydraulic press, Käppala WWTP, Sweden [21]

Prowadzone są również badania nad opracowaniem metod i wdrożeniem rozwiązań mechanicznego odwadniania osadów niewymagających stosowania kondycjonowania chemicznego. Przykładowa metoda Rofitec (rys. 9), stosowana w Niemczech, opiera się na użyciu filtrów obrotowych.



Rys. 9. Schemat metody odwadniania osadów Rofitec [19]

Fig. 9. Rofitec - sludge dewatering method [19]

3.5. Gospodarka wodami osadowymi

Intensyfikacja procesów przeróbki osadów ściekowych, wynikająca z dążenia do uzyskania produktu końcowego jak najprostszego do utylizacji, skutkuje wzrostem oddziaływania linii przeróbki osadów na pracę linii technologicznej oczyszczania ścieków.

W warunkach polskich w dalszym ciągu niewielką liczbę stanowią oczyszczalnie wykorzystujące procesy przeróbki eliminujące lub ograniczające ilość generowanych wód osadowych, takie jak: kompostowanie, stabilizacja wapnem czy suszenie termiczne. Dominują układy oparte na stabilizacji biologicznej i końcowym odwadnianiu, zapewniającym znaczące zmniejszenie objętości osadów ściekowych. W układach tych elementem generującym problemy technologiczne jest konieczność zagospodarowania powstających wód osadowych. Dotyczy to nie tylko wzrostu ilości wód osadowych z odwadniania osadów przefermentowanych, w wyniku zwiększenia efektywności odwadniania, ale przede wszystkim podwyższania stopnia zanieczyszczenia wód osadowych wskutek stosowania m.in. procesów intensywnego wstępnego rozkładu komórek.

Włączanie całości nieoczyszczonych wód osadowych do strumienia ścieków surowych, będące ciągle rozwiązaniem standardowym, wpływa w sposób zdecydowanie niekorzystny na warunki pracy reaktorów biologicznych poprzez obniżenie relacji pomiędzy zawartością biologicznie rozkładalnych związków organicznych a zawartością substancji biogennych, w szczególności azotu. Wzrost stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych, spowodowany mieszaniami ścieków z nieoczyszczonymi wodami osadowymi, wynosi w typowych układach technologicznych ok. 20% [22].

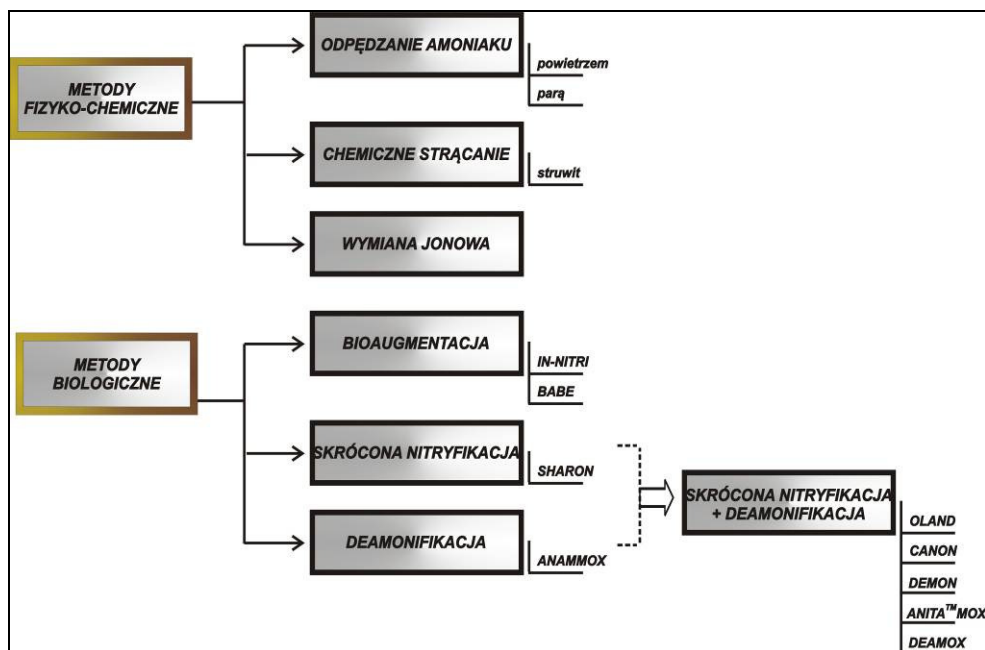
Problem ten dotyczy coraz większej ilości oczyszczalni, które muszą spełniać zaostrome wymagania dotyczące usuwania substancji biogennych (po wprowadzeniu aktualnie procedowanych zmian prawnych, dotyczących warunków wprowadzania ścieków do wód i do ziemi, obejmie on także oczyszczalnie mniejsze, funkcjonujące w aglomeracjach o RLM powyżej 10 000).

Wprowadzane coraz częściej w polskich oczyszczalniach dobre praktyki gospodarowania wodami osadowymi obejmują głównie:

- wydzielanie i oddzielne traktowanie strumieni wód osadowych o zróżnicowanej charakterystyce jakościowej, w szczególności wykorzystanie wód osadowych z zagęszczania grawitacyjnego wprost w reaktorach biologicznych,
- oddzielne oczyszczanie wód osadowych z odwadniania w ciągu bocznym przed skierowaniem ich do linii ściekowej,
- w razie braku możliwości oczyszczania tych wód ich ewentualna retencja i dozowanie do głównego ciągu w okresach występowania niższych ładunków zanieczyszczeń w ściekach dopływających.

Wdrożenia podczyszczania wód osadowych z odwadniania osadów przefermentowanych obejmują wiele instalacji, w których stosowane są głównie procesy usuwania azotu dostosowane do parametrów charakterystyki jakościowej tego strumienia wód osadowych, takich jak: wysokie stężenie N-NH_4 i podniesiona temperatura.

W ostatnich latach największe nadzieje wiąże się z możliwością pełnego autotroficznego usuwania azotu, w którym akceptorem elektronów zamiast tlenu są azotyny. Układy obejmujące te przemiany funkcjonują pod wieloma nazwami (rys. 10). Wszystkie one opierają się na przemianach Anammox, realizowanych w różnych układach procesowych, w których równocześnie wykorzystywanym procesem jest nitrytacja - skrócona nitryfikacja, będąca źródłem azotynów [1, 23].



Rys. 10. Systematyka głównych metod oczyszczania wód osadowych

Fig. 10. Principal methods of supernatant treatment

Kombinacja procesu nitrytacji i Anammox (prowadzona w pojedynczym lub w dwóch reaktorach) jest znacznie tańszym rozwiązaniem niż procesy konwencjonalne. W pełnej skali nitrytacja prowadzona jest zwykle w reaktorach o pełnym wymieszaniu lub reaktorach SBR, natomiast proces Anammox - w reaktorach z osadem granulowanym lub reaktorach z wypełnieniem umożliwiającym utrzymanie wysokiego stężenia biomasy [24].

Proces nitrytacja/Anammox prowadzony w jednym reaktorze został wdrożony w pełnej skali po raz pierwszy w 2001 r., w oczyszczalni ścieków Hattingen (Niemcy). Rozwiązanie to stosowane jest także w Austrii, Szwajcarii, Holandii oraz Szwecji [24], gdzie eksploatowane są układy do oczyszczania wód osadowych z odwadniania osadów po fermentacji metanowej w oczyszczalniach Himmerfjärden w Sztokholmie (2007 - DeAmmon®, 480 kg N/d, rys.11), Malmö Sjölanda (2010 - ANITA™ Mox, 200 kg N/d) oraz w Växjö (2012 - ANITA™ Mox, 430 kg N/d).

Również w Polsce realizowane są inwestycje mające na celu uruchomienie instalacji do oczyszczania wód osadowych, m.in. w oczyszczalni KUJAWY w Krakowie, gdzie instalowany jest reaktor wykorzystujący proces DEMON.



Rys. 11. Oczyszczalnia Himmerfjärden - Nitrytacja/Anammox - reaktor jednostopniowy z błoną biologiczną [24]

Fig. 11. Himmerfjärden WWTP; Nitritation/Anammox - MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor [24]

3.6. Termiczne przekształcanie osadów

Zgodnie z założeniami KPGO [13], rola termicznego przekształcania w zagospodarowaniu osadów ściekowych w Polsce wzrasta i stanowi kluczową alternatywę dla stosowanych dotąd metod recyklingu i unieszkodliwiania. Należy tu odnotować, że najwyraźniej widoczny staje się wzrost liczby spalarni osadów (monospalarni) zrealizowanych aktualnie (11 instalacji) w dużych komunalnych oczyszczalniach ścieków [18]. Największą z nich jest Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych (STUOŚ - 70 000 Mg s.m./rok), zlokalizowana na terenie Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, dostosowana do przekształcania osadów z oczyszczalni „Czajka” oraz „Południe” (rys. 12). Zastosowana tu technologia ze złożem fluidalnym rekomendowana jest jako najlepsza dostępna technika termicz-

nego przekształcania osadów, tzw. BAT (Best Available Techniques), ze względu na wysoką efektywność spalania i małą objętość spalin powstających w systemie.

Stacja Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych w Warszawie jest jedyną w Polsce instalacją z zastosowaniem skojarzonej produkcji energii cieplnej i elektrycznej (w turbinie parowej), zaliczanej do źródeł tzw. zielonej energii (maksymalna produkcja energii elektrycznej 1,6 MW) [25].



Rys. 12. STUOŚ w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie [25]

Fig. 12. Sewage sludge thermal utilization unit, “Czajka” WWTP, Warsaw [25]

W warunkach eksploatacji nie sprawdziły się duże oczekiwania związane ze współspalaniem osadów. Dynamicznie postępujące wdrażanie procesu suszenia, z wykorzystaniem suszarni termicznych lub słonecznych, wytwarzających susz osadowy zakwalifikowany jako odpad palny 19 02 10 lub paliwo alternatywne 19 12 10, może poprawić sytuację w tym zakresie. Poza wysoką wartością opałową korzystną cechą wysuszonego osadu jest jego kwalifikacja do paliw o zerowej emisji CO₂ [18].

Współspalanie osadów w cementowniach w Polsce zostało wdrożone, ale w znacznie mniejszej skali niż to ma miejsce w Niemczech, Holandii czy Szwajcarii, gdzie jest powszechnie stosowane [26]. Barierą dla współspalania osadów (traktowanych jako odpad) w kotłach energetycznych jest konieczność dostosowania instalacji oczyszczania spalin w elektrociepłowniach i elektrowniach do ostrzejszych wymagań. W najbliższej przyszłości realne wydaje się skierowanie osadów do współspalania w spalarniach odpadów komunalnych już budowanych lub przewidywanych do realizacji w wojewódzkich planach gospodarki odpadami.

Podsumowanie

Gospodarka osadami ściekowymi realizowana w komunalnych oczyszczalniach ścieków determinowana jest charakterystyką ilościową (przepustowość oczyszczalni) i jakościową generowanych osadów, uwarunkowaniami prawnymi oraz warunkami lokalnymi. Poza aspektami technologicznymi najistotniejszą rolę odgrywają koszty, zarówno inwestycyjne, jak i eksploatacyjne.

Wdrażanie dobrych praktyk w gospodarce osadowej jest działaniem wielokierunkowym, obejmującym dążenie do minimalizacji ilości osadów, jak również ograniczanie wpływu wód osadowych na warunki pracy linii ściekowej poprzez stosowanie alternatywnych biologicznych procesów usuwania azotu ze strumienia wód osadowych. Ciągłe doskonalone i wprowadzane na rynek są wysokowydajne urządzenia odwadniające. Istotną grupę działań stanowi wdrażanie procesów intensyfikacji procesu fermentacji, mających na celu maksymalizację ilości uzyskiwanego biogazu z równoczesnym poszerzaniem metod jego wykorzystywania.

Praktyka eksploatacyjna wskazuje na wzrastający udział termicznego przekształcania w końcowym zagospodarowaniu osadów, które ze względu na wysokie koszty inwestycyjne monospalarni realizowane jest głównie w dużych oczyszczalniach ścieków. Proces współspalania natrafia ciągle na bariery technologiczne i prawne, związane z kwalifikowaniem osadów ściekowych jako odpadów, przy których spalaniu obowiązują ostre normy ochrony atmosfery. Rosnące stosowanie procesu suszenia, zarówno termicznego, jak i słonecznego, zwiększa potencjał już wdrożonego procesu współspalania w cementowniach, a w najbliższej przyszłości w budowanych aktualnie spalarniach odpadów komunalnych.

Eksploatatorzy oczyszczalni muszą już dziś uwzględnić docelowe wyeliminowanie składowania oraz postępujące ograniczanie rolniczego wykorzystania osadów ściekowych i wypracować własny model gospodarki osadowej z uwzględnieniem tych ograniczeń. W Polsce, pomimo zarysowującej się tendencji do zaostrzania wymagań stawianych osadom wykorzystywanym przyrodniczo, dla wielu średniej wielkości oczyszczalni jest to wciąż sposób odzysku, który przy uwzględnieniu warunków lokalnych będzie powszechnie wykorzystywany. Dotyczy to stosowania osadów odwodnionych, higienizowanych lub osadów wysuszonych, ale także kompostowania osadów, nakierowanego na uzyskanie produktu końcowego spełniającego wymagania stawiane kompostom.

Literatura

- [1] Beńko P., Styka W., Rozwój metod biologicznego usuwania azotu ze ścieków, [w:] Innowacje technologiczne procesów produkcji w ochronie środowiska, Monografia, red. nauk. W.M. Bajdur, J. Kulczycka, Sekcja Wydawnictw Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013, s.94-117.
- [2] Projekt z dnia 19 marca 2014 r. rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, <http://www.mos.gov.pl>

- [3] Evans T.D., Biosolids in Europe, Proc. 26th WEF Residuals & Biosolids Conference, 25-28 March 2012, Raleigh, NC, USA.
- [4] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, DzU z 2013 r., poz. 21.
- [5] Projekt z dnia 9 maja 2013 r. rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych, <http://www.mos.gov.pl>
- [6] Informacja o wynikach kontroli NIK, Zagospodarowanie osadów powstających w oczyszczalniach ścieków komunalnych w latach 2011-2012, <http://www.nik.gov.pl>
- [7] Projekt z dnia 28 lutego 2014 r. rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie procesu odzysku R10, <http://www.mos.gov.pl>
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczenia odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, DzU z 2013 r., poz. 38.
- [9] Pająk T., Energetyczne wykorzystanie odpadów - termiczne przekształcanie, współspalanie, I Ogólnopolski Kongres Recyklingu, Warszawa 2013, <http://kongresrecyklingu.pl>
- [10] Projekt z dnia 16 marca 2012 r. rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów, <http://www.mos.gov.pl>
- [11] Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land - Final Report, 2010.
- [12] Główny Urząd Statystyczny, Ochrona Środowiska 2013, http://old.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/SE_ochrona_srodowiska_2013.pdf
- [13] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014, Warszawa 2010.
- [14] Zhang G., Zhang P., Yang J., Chen Y., Ultrasonic reduction of excess sludge from the activated sludge system, Journal of Hazardous Materials 2007, 145, 515-519.
- [15] Gronroos A., Kyllonen H., Korpijarvi K., Pirkonen P., Paavola T., Jokela J., Rintala J., Ultrasound assisted method to increase soluble chemical oxygen demand (SCOD) of sewage sludge for digestion, Ultrasonics Sonochemistry 2005, 12, 115-120.
- [16] Odegaard H., Sludge minimization technologies - an overview, Water Science and Technology 2004, 10, 31-36.
- [17] Cimochoicz-Rybicka M., Sewage sludge mass minimization technology - from legislation to application, [w:] Environment Engineering IV, eds. A. Pawłowski, M.R. Dudzińska, L. Pawłowski, Taylor & Francis, London 2013, 167-171.
- [18] Wójtowicz A., Modelowe rozwiązania w gospodarce osadowej, Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Bydgoski Dom Wydawniczy, Bydgoszcz 2013.
- [19] Dobre praktyki związane z gospodarką osadami ściekowymi, Projekt PURE (Project on Urban Reduction of Eutrophication - Projekt redukcji eutrofizacji z obszarów zurbanizowanych) - Komisja Środowiska Naturalnego Związku Miast Bałtyckich, 2012.
- [20] Odwadnianie osadów, www.proffico.com
- [21] Thunberg A., Optimizing sludge dewatering by using the Kemicond® process with the Bucher hydraulic filter press - full-scale experiences at Käppala WWTP, Proceedings of the Water Environment Federation, Residuals and Biosolids 2010, 222-232.
- [22] Styka W., Beńko P., Wpływ gospodarowania wodami osadowymi na usuwanie związków biogenych ze ścieków miejskich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2007, 9, 16-20.
- [23] van der Star W.R.L., Abma W.R., Blommers D., Mulder J.W., Tokutomi T., Strous M., Picioreanu C., van Loosdrecht M.C.M., Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale Anammox reactor in Rotterdam, Water Research 2007, 41, 4149-4163.
- [24] Bertino A., Study on one-stage partial nitrification-Anammox process in moving bed biofilm reactors: a sustainable nitrogen removal, Master Thesis, Stockholm-Torino 2010.
- [25] <http://mpwik.com.pl/fundusze-unijne/oczyszczalnia-sciekow-czajka/termiczne-przekształcanie-osadow>

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

Implementation of Good Engineering Practice in Sewages Sludge Management

Sludge processing and handling plays an increasingly important role in the design and operation of modern wastewater treatment plants with nutrients removal due to the interaction between the sewage and sludge lines (discharge of supernatant from the sludge processing to the sewage line). The second important issue is the need to comply with the legal requirements regarding sewage sludge handling. Therefore, the practical and technical aspects of sludge management in municipal wastewater treatment plants become the key issue in the newly designed and upgraded plants. The paper presents innovative technological and technical sludge treatment processes, used in municipal wastewater treatment plants to meet the requirements of good practice. It also shows new developments in unit processes used in sludge lines and conditions of their practical implementation and operation. The challenges facing the sludge management in Poland were characterized in reference to the applicable provisions. The authors stated that in the coming years, the biggest challenge for Polish plants would be a significant reduction (and ultimately elimination) of the stored sludge volume. The increasing role of thermal processes can be observed since 2010; in 2012 almost 60 000 t of sludge (as dry solids) was thermally utilized. The innovative actions and solutions in sewage sludge processing include: reduction of the sewage sludge load, modifications of sludge lines, intensification of anaerobic sludge stabilization (including disintegration and use of biogas), intensification of sludge dewatering and thermal utilization. The authors analyzed the problem of supernatant management, highlighting its impact on the main sewage line and possible pre-treatment. Some attention was drawn to innovative methods of biological nitrogen removal from supernatant (the Anammox process). In Poland, as in other countries, implementation of a ban on sludge landfilling as well as a limited possibility of agricultural applications make other methods of sludge utilization more attractive. They comprise thermal utilization, including co-incineration of sludge in cement plants and solid waste incinerators. The authors pointed out that in spite of a tendency to make the requirements of sludge agriculture applications more stringent, for many medium-sized wastewater treatment plants it is the only alternative for both dewatered and chemically stabilized sludge as well as dried sludge. Also sludge composting may be an interesting option to obtain the final product of the required quality.

Keywords: sewage sludge, methods of sludge handling and disposal, supernatant