

Zofia Sadecka

Energooszczędne modyfikacje metod przeróbki osadów ściekowych

Konieczność oszczędzania energii jest czynnikiem zmuszającym do poszukiwania rozwiązań minimalizujących jej zużycie. W pracy przedstawiono przykłady modernizacji ciągu technologicznego unieszkodliwiania osadów ściekowych, które przyczyniły się do obniżenia kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni ścieków. Podkreślono znaczenie produkcji własnej energii w procesie przeróbki osadów i jej umiejętne zagospodarowanie. Oddawana obecnie do eksploatacji coraz większa liczba oczyszczalni ścieków, zastrzeżone przepisy dotyczące jakości ścieków odprowadzanych do odbiorników, a równocześnie stosowanie bardziej wydajnych technologii oczyszczania ścieków, powodują wzrost ilości powstających osadów.

W procesie oczyszczania ścieków powstaje około $0,5 \pm 1,0$ kg suchej masy osadów na 1,0 kg usuniętego BZT₅ [3,7]. Ponieważ ilości te są bardzo zróżnicowane, zatem szacunkowo przyjmuje się następujące objętości osadów przypadające na objętość oczyszczanych ścieków [6]:

- $30 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ przy klasycznych metodach oczyszczania ścieków,
- $34 \text{ m}^3/1000 \text{ m}^3$ przy chemicznym wspomaganiu procesu oczyszczania ścieków.

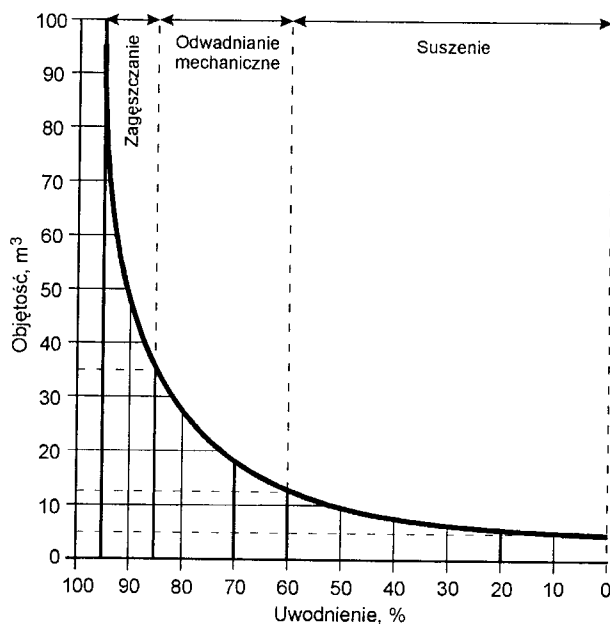
Jednostkowe wskaźniki ilości suchej masy osadów powstających w oczyszczalniach ścieków w warunkach polskich wynoszą [3]:

- w oczyszczalniach mechanicznych: $0,135 \text{ kg/m}^3$,
- w oczyszczalniach mechaniczno-biologicznych: $0,202 \text{ kg/m}^3$,
- w oczyszczalniach w budowie: $0,205 \text{ kg/m}^3$,
- w oczyszczalniach projektowanych: $0,217 \text{ kg/m}^3$.

Ponieważ osady ściekowe – zgodnie z ustawą o odpadach z 2001 r. (Dz. U. nr 62, poz. 628) – zalicza się do odpadów, zatem należy stosować technologie ograniczające ich powstawanie, a także zapewnić bezpieczne dla środowiska ich wykorzystanie oraz postępowanie z nimi zgodnie z zasadami ochrony środowiska. Z tego względu osady ściekowe są poddawane przeróbce i unieszkodliwianiu, co jest nieodłącznym elementem procesowym każdej oczyszczalni ścieków. Wybór metod przeróbki osadów zależy od ich ilościowej i jakościowej charakterystyki, jak również od metody ich ostatecznego zagospodarowania. Powszechnie stosowanymi metodami przeróbki osadów ściekowych są:

- zagęszczanie,
- stabilizacja,
- odwadnianie.

Techniczne granice stosowania poszczególnych etapów odwadniania osadów związane są z usuwaniem wody wolnej, półzwiązanej i molekularnej (rys.1) [1].



Rys. 1. Ekonomiczne zakresy odwadniania osadów ściekowych [1]

Wpływ zagęszczania osadów na bilans energetyczny oczyszczalni ścieków

Zagęszczanie jest pierwszym i podstawowym procesem odwadniania osadów we wszystkich oczyszczalniach ścieków, bez względu na ich wielkość. Proces ten ma istotne znaczenie, ponieważ przyczynia się do poważnego zmniejszenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych dalszych etapów przeróbki i zagospodarowania osadów. Stosowane powszechnie w starszych oczyszczalniach zagęszczanie grawitacyjne osadów pozwala obniżyć ich uwodnienie do około 95%, przez co uzyskuje się od 2+6-krotne zmniejszenie ich objętości [1,2,6].

Na przykładzie mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Świebodzinie, pracującej wg technologii niskoobciążonego osadu czynnego [11], przedstawiono wpływ stopnia zagęszczania osadów na bilans energetyczny oczyszczalni ścieków.

Osady wstępny i wtórny w ilości $127 \text{ m}^3/\text{d}$ kierowane są przez zagęszczacz grawitacyjny do komory fermentacji mezofilowej. Przy średnim czasie fermentacji 22,5 d w procesie tym powstaje biogaz w ilości $898 \text{ m}^3/\text{d}$ o następującym składzie:

- metan: 71,9%,
- dwutlenek węgla: 26,9%,
- tlen: 0,9%,
- siarkowódór: 0,2%.

Bilans energetyczny dla stanu istniejącego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Bilans energetyczny WKF-u (1998 r.)

Wyszczególnienie	Pora zimowa	Pora letnia
Łączne zapotrzebowanie na ciepło, kWh	321,6	195,0
Łączne zapotrzebowanie na energię elektryczną, kWh	55,3	55,3
Całkowite zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną, kWh	376,9	250,3
Energia do dyspozycji uzyskana z biogazu, kWh w tym:		
ciepło	241,0	241,0
energia elektryczna	0,0	0,0
Bilans energii łącznie, kWh	-135,9	-9,3
Bilans energii cieplnej, kWh	-80,6	+46,0
Bilans energii elektrycznej, kWh	-55,3	-55,3

Obliczenia wykazały ujemny bilans energetyczny w porze zimowej, natomiast w porze letniej występowała nadwyżka energii cieplnej, która nie była wykorzystana, a gaz spalał się w pochodni. Zagęszczacz – ze względu na błędy konstrukcyjne – nie zapewniał właściwego stopnia zagęszczania osadów, gdyż jego działanie sprowadzało się do roli pośredniego zbiornika osadów. Osady o uwodnieniu około 99% były wprowadzane do WKF. Wykazano, że poprawa stopnia zagęszczania osadów, np. tylko do uwodnienia 98%, wpływa dodatnio na bilans energetyczny (tab. 2), przez co można uzyskać wymierne korzyści.

Tabela 2. Bilans energetyczny WKF-u przy zagęszczaniu osadu w zagęszczaczu grawitacyjnym

Wyszczególnienie	Pora zimowa	Pora letnia
Łączne zapotrzebowanie na ciepło, kWh	238,8	134,3
Łączne zapotrzebowanie na energię elektryczną, kWh	55,3	55,3
Całkowite zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną, kWh	294,1	189,6
Energia do dyspozycji uzyskana z biogazu, kWh w tym:		
ciepło	241,0	241,0
energia elektryczna	0,0	0,0
Bilans energii łącznie, kWh	-53,9	+51,4
Bilans energii cieplnej, kWh	-55,3	-55,3
Bilans energii elektrycznej, kWh	+2,2	+106,7

Można zastosować wiele modyfikacji istniejącego układu, jak np. wymiana kotła do spalania metanu na silnik na biogaz z generatorem prądu. Dla tego przykładu obliczony bilans energetyczny przedstawiono w tabeli 3.

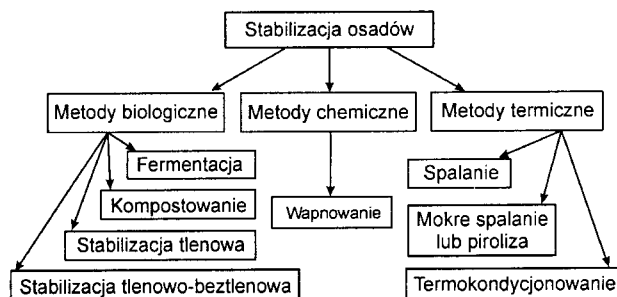
Zaproponowana modyfikacja pozwala na samowystarczalność energii elektrycznej zarówno w okresie zimowym jak i letnim, jednak bilans energii cieplnej przez cały rok jest niekorzystny.

Tabela 3. Bilans energetyczny WKF-u przy wykorzystaniu biogazu do produkcji energii elektrycznej

Wyszczególnienie	Pora zimowa	Pora letnia
Łączne zapotrzebowanie na ciepło, kWh	321,6	195,0
Łączne zapotrzebowanie na energię elektryczną, kWh	55,3	55,3
Całkowite zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną, kWh	376,9	250,3
Energia do dyspozycji uzyskana z biogazu, kWh w tym:		
ciepło	184,1	184,1
energia elektryczna	112,2	112,2
Bilans energii łącznie, kWh	-189,3	-66,2
Bilans energii cieplnej, kWh	-205,9	-82,8
Bilans energii elektrycznej, kWh	+16,6	+16,6

Wpływ stabilizacji osadów na bilans energetyczny oczyszczalni ścieków

Wybór metody stabilizacji osadów (rys. 2) zależy od wielkości oczyszczalni ścieków i powinien być poparty rachunkiem ekonomicznym, ponieważ współczynniki zużycia energii są wykładnikiem nowoczesności stosowanych rozwiązań technologicznych [6,9].



Rys. 2. Podstawowe metody stabilizacji osadów ściekowych [6]

Stabilizacja tlenowa osadów jest procesem zalecanym w małych oczyszczalniach ścieków (<1000 m³/d), gdyż jest procesem wymagającym dostarczenia energii elektrycznej w ilości 100÷300 Wh/m³h. W wypadku stabilizacji beztlenowej, zalecanej w dużych oczyszczalniach ścieków (>2000 m³/d), biomasa przetwarzana jest na wysokoenergetyczny biogaz, który można wykorzystać do wytworzenia energii cieplnej i elektrycznej. Szacuje się, że energia pozyskana z gazu pozwala na 90÷100% pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną oczyszczalni ścieków i 50÷90% pokrycie jej zapotrzebowania na energię elektryczną. Koszty inwestycyjne procesów stabilizacji tlenowej osadów są niższe niż stabilizacji beztlenowej, jednak analiza kosztów eksploatacyjnych wykazuje znacznie niższe koszty dla stabilizacji beztlenowej [6,7].

W ostatnich latach pojawiły się możliwości bardzo radykalnego obniżenia kosztów procesu fermentacji osadów dzięki wprowadzeniu nowoczesnych metod do mechanicznego zagęszczania osadów ściekowych przed ich wprowadzeniem do komór fermentacyjnych. Mechaniczne zagęszczanie, np. sitowo-bębnowe czy taśmowe, umożliwia uzyskanie 7÷8% suchej masy w osadzie kierowanym do fermentacji, podczas gdy efektem zagęszczaczy grawitacyjnych jest około 2÷5% suchej masy [2,4]. Taka zmiana uwodnienia osadu pozwala na 2÷3-krotne zmniejszenie jego objętości, co oznacza:

- mniejsze koszty inwestycyjne wynikające ze zmniejszenia objętości komór i przepustowości instalacji towarzyszących,
- oszczędności energii potrzebnej do ogrzania mniejszej ilości wody zawartej w osadach (na ogrzanie 1 m³ wody o temperaturze 15 °C do temperatury 33 °C potrzeba 20 kW – tab. 2),
- oszczędność energii na mieszanie i transport mediów związanych z procesem,
- niższy koszt dalszej przeróbki osadów (kondycjonowanie, odwadnianie), z uwagi na mniejsze ilości osadu przefermentowanego,
- niższe koszty części ściekowej i brak kosztów instalacji do transportu wód nadosadowych (w procesie fermentacji osadów zagęszczonych do 8% suchej masy nie zachodzi konieczność odprowadzania wód nadosadowych).

Przy modyfikacji parametrów technologicznych fermentacji osadów można brać pod uwagę:

- czas fermentacji, który w pewnych warunkach może wynosić 20 d, a nawet tylko 15 d,
- obciążenie objętości komory (ok. 40 dm³/M·d),
- obciążenie komory substancją organiczną (może być podwyższone z 3 kg/m³d do 4+6 kg/m³d [7]),
- intensyfikację procesów rozkładu związków organicznych.

W procesie fermentacji mezofilowej maksymalna produkcja biogazu [7] występuje w czasie pomiędzy 8. i 14. dobą procesu. W okresie tym następuje kilkunastoprocentowe obniżenie zawartości związków organicznych, osad nie jest jeszcze ustabilizowany i charakteryzuje się gorszymi właściwościami filtracyjnymi w porównaniu z osadem surowym. Dalsza fermentacja nie daje znaczącej produkcji biogazu, ale znacznie wpływa na poprawę właściwości filtracyjnych osadu. Ma to istotne znaczenie, gdyż zmniejsza dawki polielektrolitów (lub innych środków kondycjonujących) używanych do preparowania osadu przed jego mechanicznym odwadnianiem. Wyrażna poprawa właściwości filtracyjnych osadów obserwowana jest dopiero po 20÷25 dobach procesu, a naprawdę dobrą podatność na odwadnianie mają osady po 40÷50 dobach fermentacji [6]. Zatem ze względu na odzysk biogazu, umożliwiającą pokrycie zapotrzebowania komory na ciepło, należałoby skrócić czas fermentacji do kilkunastu dób. Jednakże korzyści wynikające z wysokiego stopnia mineralizacji osadów są znaczące i powinny być uwzględnione. Rozwiązaniem godzącym oba te aspekty byłoby skrócenie czasu fermentacji w ogrzewanej komorze fermentacyjnej (do momentu gwałtownego spadku produkcji biogazu) i dofermentowanie osadu w komorze otwartej.

W procesie tlenowo-beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych można wyróżnić dwa oddzielne procesy, tj. stabilizację tlenową i klasyczną fermentację mezofilową [6]. W pierwszym etapie zagęszczone osady są intensywnie napowietrzane przez około 24 h, co prowadzi do spalania na mokro substancji organicznych i w efekcie do obniżenia zawartości suchej masy organicznej osadów (ok. 5%). Proces ten jest egzotermiczny, a wydzielone ciepło powoduje ogrzanie osadów do temperatury 55+60 °C [5]. Po tlenowej przeróbce (osłabienie ścianek komórek bakteryjnych, pasteryzacja osadów) osady łatwiej ulegają procesom zachodzącym podczas fermentacji metanowej (temp. 35 ± 2 °C, czas fermentacji 8+10 d). Głównymi zaletami tlenowo-beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych są:

- skrócenie czasu fermentacji,
- zmniejszenie objętości komór fermentacyjnych,
- zwiększenie jednostkowej produkcji biogazu,
- pełna higienizacja osadów,
- wyeliminowanie dodatkowych instalacji do higienizacji osadów.

Podsumowanie

Koszty energetyczne stanowią bardzo istotny udział w kosztach eksploatacyjnych oczyszczalni ścieków, które są wypadkową wyboru technologii oczyszczania ścieków oraz technologii unieszkodliwiania osadów, a także doboru urządzeń do ich realizacji. Oszczędności należy więc szukać już na etapie koncepcji technologicznej oczyszczania ścieków i unieszkodliwiania osadów.

Podstawowymi procesami przeróbki osadów ściekowych są zagęszczanie i stabilizacja. Zagęszczanie pozwala na usunięcie znacznej części wody z osadów, a efekt tego procesu rzutuje na wymiarowanie dalszych etapów ich przeróbki. Wybór metody stabilizacji osadów kształtuje sytuację energetyczną oczyszczalni ścieków, a przez to wpływa na jej koszty eksploatacyjne. Fermentacja metanowa osadów jest jedynym procesem, który uwalnia część energii zawartej w organicznej masie osadów, umożliwiając jej wykorzystanie przy odpowiednich założeniach technicznych. Z biogazu o średniej zawartości metanu 65% uzyskuje się energię w ilości około 6,5 kWh/m³ [8,9], która może być wykorzystana do produkcji ciepła i/lub do wytwarzania energii elektrycznej. Projektowanie nowych oczyszczalni, jak również modernizacja już istniejących, wymusza stosowanie oszczędności w zużyciu energii. Możliwości w tym zakresie są bardzo duże, a nowoczesne rozwiązania techniczne ułatwiają wybór efektywnych i jednocześnie oszczędnych energetycznie technologii przeróbki osadów ściekowych.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Oczyszczanie ścieków miejskich. Arkady, Warszawa 1972.
2. K. BARTOSZEWSKI: Ocena efektywności mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadów ściekowych. Mat. konf. „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1995, ss. 152-160.
3. J. BERNACKA, L. PAWŁOWSKA: Przeróbka i zagospodarowanie osadów z miejskiej oczyszczalni ścieków. IOŚ, Warszawa 1996.
4. Praca zbiorowa: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS, Poznań 1997.
5. A. OLESZCZYK: Tlenowo-beztlenowa fermentacja osadów. Mat. konf. „Osady ściekowe w praktyce”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa–Ustroń 1998, ss. 55–63.
6. J. OLESZKIEWICZ: Gospodarka osadami ściekowymi. Poradnik decydenta. LEM, Kraków 1998.
7. Z. HEIDRICH, A. NIEŚCIER: Stabilizacja beztlenowa osadów ściekowych. PZITS, Warszawa 1999.
8. G. BURACZEWSKI, B. BARTOSZEK: Biogaz. Wytwarzanie i wykorzystywanie. PWN, Warszawa 1990.
9. K. R. IMHOFF: Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków. Przem-EKO, Bydgoszcz 1996.

10. Z. MENDERA, J. SIPA: Wykorzystanie energetyczne gazu fermentacyjnego. Mat. konf. „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków”, Politech. Częst., Częstochowa 1995, ss. 271–281.

11. Z. SADECKA: Przeróbka osadów ściekowych a bilans energetyczny oczyszczalni ścieków. Mat. konf. „Osady ściekowe w praktyce”, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 1998, ss. 119–127.

Energy-Saving Modifications in Sewage Sludge Processing

The cuts in energy consumption have directed the attention of environmental scientists and engineers to the problem of how to minimize the total energy demand in wastewater treatment plants. In the past decade, it has been not only the increasing number of wastewater treatment plants brought into operation, or the tough demands made on the quality of the effluents discharged into the recipients, but also the implementation of

more effective technological trains that have noticeably increased the volume of the sewage sludge produced. The present paper provides examples of modernized technological trains enabling disposal of sewage sludges at reduced operating costs. Consideration is given to the importance of the power generation by the plant itself in the course of sludge processing, and to the problem of effective sludge management.