

CZ. IV Oczyszczalnia ścieków – stabilizacja osadów

dr Eugeniusz Klaczyński
Envirotech w Poznaniu

Gospodarka osadowa oczyszczalni ścieków to nie tylko procesy zmniejszające objętość osadów powstających w procesie mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków z wykorzystaniem mechanicznych urządzeń odwadniających, to przede wszystkim stabilizacja i unieszkodliwianie osadów ściekowych.

Efektom procesu stabilizacji osadów jest zmniejszenie ilości substancji wydzielających nieprzyjemne zapachy (odory) oraz zawartych w nich substancji organicznych i organizmów patogennych.

Podstawowym procesem stabilizacji osadów ściekowych w średnich i dużych oczyszczalniach ścieków jest fermentacja beztlenowa, nazywana również fermentacją metanową. Rozwiązaniami wykorzystywanymi w mniejszych oczyszczalniach są stabilizacja tlenowa oraz chemiczna sanitacja osadów wapnem po ich mechanicznym odwodnieniu.

Dużą część oczyszczalni ścieków budowanych w Polsce w latach 1955-1975 wyposażano w złoża biologiczne oczyszczające ścieki, a do stabilizacji osadów stosowano cylindryczne żelbetowe otwarte komory fermentacyjne lub laguny osadowe o trzyletnim cyklu pracy. W latach 80. proces stabilizacji osadów pomijano, ograniczając się do odwadniania osadów z wykorzystaniem poletek ociekowych i składowaniu ich na wolnym terenie. Używanie w technologii oczyszczania ścieków złoż biologicznych, a nie wysoko efektywnych reaktorów biologicznych z osadem czynnym, powodowało produkcję znacznie mniejszej ilości osadu, a tym samym mniejsze problemy z ich zagospodarowaniem, biorąc również pod uwagę ilość działających wówczas w naszym kraju oczyszczalni. Traktowanie osadów ściekowych w wielu oczyszczalniach jako problemu marginalnego wynikało z innych instrumentów prawnych funkcjonujących w tym zakresie, jak również z braku dostępu na rynku krajowym do odpowiednich technologii, urządzeń i środków finansowych.

Fermentację beztlenową w Polsce stosują oczyszczalnie ścieków o przepustowości większej od $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{d}$. Najczęściej wykorzystują proces jednostopniowy, prowadzony w otwartych lub zamkniętych komorach fermentacyjnych. W latach 70. i 80. XX w. podkreślano, że budowa zamkniętych komór fermentacyjnych jest opłacalna dla oczyszczalni o przepustowości powyżej $Q = 10\,000$

m^3/d . Większość instalacji wybudowana w tamtym okresie funkcjonuje do dziś, jednak zmieniające się uwarunkowania społeczno-ekonomiczne powodują, że realnie zmniejsza się przepustowość hydrauliczna tych oczyszczalni.

Beztlenowa stabilizacja osadu jest procesem rozkładu przez bakterie złożonych substancji organicznych zawartych w ściekach na związki proste, ustabilizowane chemicznie. Głównymi produktami są metan i dwutlenek węgla. Mechanizm fermentacji metanowej dzieli się na cztery fazy cząsteczkowego rozkładu, takie jak: hydroliza, kwasogeneza (*acidogeneza*), octanogeneza (*acetogeneza*) i metanogeneza.

Fazy rozkładu

W tej początkowej fazie, nazywanej hydrolizą, obserwujemy proces rozkładu nierozpuszczalnych w wodzie związków organicznych osadów (celuloza, lignina, białka, tłuszcze) do związków rozpuszczalnych w wodzie (kwasy tłuszczowe, alkohole, amoniak itd.). Rozkład zachodzi z wykorzystaniem enzymów zewnątrzkomórkowych, takich jak celulazy, amylazy, proteiny i lipazy, wydzielane przez bakterie hydrolityczne (rysunek).

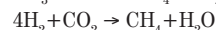
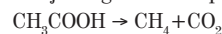
W fazie nazywanej kwasogenezą zachodzą procesy upłynniania stałych substancji organicznych o mniejszej masie cząsteczkowej, które powstały w trakcie fazy hydrolizy (cukry, aminokwasy i kwasy tłuszczowe) na związki proste (faza kwaśna) wywołane przez bakterie beztlenowe (rysunek). W wyniku reakcji

powstają nowe produkty, zarówno ciekłe, jak i gazowe, np. kwasy organiczne, alkohole, aldehydy, ketony, CO_2 , H_2 , jak również produkty hydrolizy: glicerol i aminokwasy. W tej fazie nie zachodzi proces stabilizacji substancji organicznej. Obniżenie zapotrzebowania ścieków na tlen jest niewielkie i wynika głównie z utleniania CO_2 , H_2 , H_2S , NH_3 . Pewna część z tych produktów zostaje źródłem węgla i energii dla bakterii octanogenez.

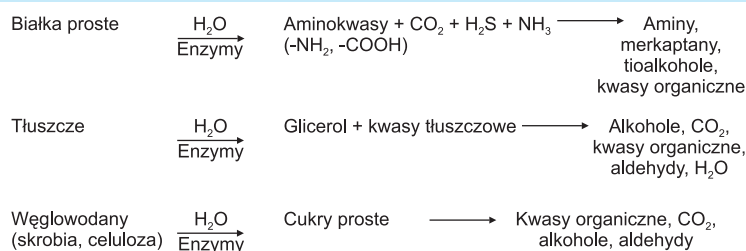
Octanogeneza jest etapem powstawania kwasu octowego, wodoru i dwutlenku węgla w efekcie zachodzących reakcji kwasów organicznych i alkoholi. Mikroflora procesu octanogenezy nie została jeszcze zbyt dobrze poznana.

W procesie metanogenezy z wodoru i dwutlenku węgla powstaje metan. Rozkładowi ulegają wytworzone w pierwszej fazie fermentacji kwasy organiczne i inne związki. W wyniku reakcji bakterii metanowych autotroficznych powstają łatwopalny gaz pofermentacyjny (biogaz), składający się z dwutlenku węgla i metanu, a także woda.

Produkcja metanu zachodzi na drodze jednego z dwóch procesów:



W większości przypadków bakterie metanowe „limitują szybkość procesu fermentacji” osadów. Oznacza to, że są wolniejsze od procesów działania bakterii fazy kwaśnej. Proces fermentacji musi być tak prowadzony, żeby kwasowe bakterie nie zdominowały komory fermentacji. Osiąga się to na przykład przez ograniczenie doprowadzenia świeżego osadu do komory fermentacyjnej. Bakterie metanowe są wrażliwe na: temperaturę, odczyn oraz zawartość substancji toksycznych, łatwo ulegają „przytruciu” lub nawet zabiciu, lecz bardzo trudno się namnażają. Zaletą procesu fermentacji metanowej, oprócz stabilizacji osadów, jest produkcja palnego gazu. Gaz fermentacyjny



Schemat reakcji rozkładu związków organicznych

tacyjny zawiera ok. 70% metanu i 30% dwutlenku węgla, szczególnie gdy w osadach znajduje się duża ilość białek, aminokwasów lub tłuszczu. Zawarte w fermentującym osadzie węglowodany powodują istotne niekorzystne zmiany w składzie biogazu, w efekcie których stosunek objętościowy metanu do dwutlenku węgla wynosi 1:1. Fermentację w oczyszczalniach ścieków prowadzi się w wydzielonych komorach fermentacyjnych otwartych (nazywanych często OKF-ami, oWKF-ami, WKFo-ami) bez odzysku gazu, w warunkach fermentacji psychrofilowej (zachodzącej w temperaturze od 10 do 20°C najczęściej $\leq 20^\circ\text{C}$) lub zamkniętych komorach fermentacyjnych (nazywanych WKF-ami lub zWKF-ami, WKFz-ami, ZKF-ami) w warunkach fermentacji mezofilowej (w temperaturze od 25 do 45°C najczęściej eksploatacyjnie w zakresie 30-38°C, optymalnie 35-37°C) z odzyskiem gazu. Bilanse energetyczne i doświadczenia eksploatacyjne wykazują, że ilość gazu fermentacyjnego wytwarzanego w procesie fermentacji beztlenowej pozwala na pokrycie od 20 do 70% zapotrzebowania energetycznego oczyszczalni ścieków, często wspomagając działanie komór fermentacyjnych dodatkowym źródłem węgla. Innym rozwiązaniem podnoszącym efektywność procesu fermentacji jest zastosowanie dezintegracji osadu, powodującej zniszczenie jego błon komórkowych. Dzięki temu materiał wewnątrzkomórkowy wylewa się na zewnątrz, podnosząc podatność osadu na fermentację. Wartość opałowa biogazu zależy od zawartości metanu w biogazie. Z 1 kg węglowodanów powstaje średnio 0,42 m³ CH₄, z 1 kg białek 0,47 m³ CH₄, a z tłuszczów 0,75 m³ CH₄. Z usuniętego ze ścieków 1 kg ChZT uzyskuje się średnio 0,38 m³ CH₄. Wartość opałowa metanu wynosi 35 MJ/m³, a średnia wartość opałowa biogazu produkowanego w trakcie procesu fermentacji to ok. 21,54 MJ/m³. Energia zawarta w 1 m³ biogazu odpowiada energii 0,93 m³ gazu ziemnego, 1 dm³ oleju napędowego lub 1,25 kg węgla oraz odpowiada 9,4 kW^h energii elektrycznej. Najważniejszą zaletą produkcji biogazu jest uzyskanie czystej, odnawialnej energii. Technologia wykorzystania biogazu charakteryzuje się niską emisją gazów cieplarnianych oraz ograniczeniem konieczności budowy linii transmisyjnych i strat związanych z przesyłem (agregat wpina się synchronicznie w układ oczyszczalni ścieków pod licznik dwukierunkowy). Wadą fermentacji z odzyskiem biogazu są jednak wysokie nakłady inwestycyjne na budowę zbiorników, fermentatorów, agregatów kogeneracyjnych (produkujących energię elektryczną skojarzoną z energią cieplną, niezbędną do podgrze-

wania komór fermentacyjnych) i aparatury kontrolno-pomiarowej.

Przebieg procesu fermentacji

Proces fermentacji wymaga przestrzegania właściwych reżimów technologicznych, np. mieszania, temperatury, pH, zasadowości, ilości dostarczanych ładunków oraz hermetyczności procesu.

Mieszanie w komorze fermentacyjnej korzystnie wpływa na przebieg fermentacji. Niedostateczne lub złe mieszanie zawartości komory nie zapewnia tych samych warunków technologicznych w całej jej objętości. Występują strefy przegrzane i niedogrzone (różnice mogą dochodzić do kilku stopni), powstają miejsca przeciążone osadem świeżo doprowadzonym do komory lub źle szczepionym, nie ma dobrych warunków dla rozwoju bakterii beztlenowych. Właściwe wymieszanie sprzyja optymalizacji wszystkich parametrów pracy komory, przyspieszając procesy biologicznego rozkładu osadu. Ponadto obniża ilość powstającego kożucha i umożliwia swobodne wydostawanie się gazu. Zapobiega tworzeniu się w komorze stref o różnej gęstości i stężeniu produktów rozkładu.

Intensywność mieszania zależy od temperatury fermentacji – w wyższych temperaturach intensywność mieszania powinna być większa. W przypadku otwartych komór fermentacyjnych z zamontowanymi mieszadłami proces mieszania powinien być ciągły. Zastosowanie mieszadeł wolnoobrotowych jest powszechnie uważane za najmniej energochłonne, ponieważ zapotrzebowanie na moc wynosi ok. 1 – 1,5 W/m³. Z praktyki eksploatacyjnej wynika jednak, że w okresie letnim, gdy temperatury zewnętrzne są wysokie, nie ma obawy o powstanie stref o dużej różnicy temperatur i mieszadła są włączane przez eksploatatorów na ok. 10 godzin dziennie. W trakcie mieszania w otwartych komorach fermentacyjnych należy również zwracać uwagę na to, żeby nadmiernie nie rozbijać kożucha zewnętrznego, stanowiącego dodatkową ochronę termiczną fermentującego osadu. Pozwala on utrzymać stałą temperaturę osadu ($\pm 5^\circ\text{C}$), ograniczając równocześnie uciążliwość zapachową (wydzielanie odorów). Innym sposobem mieszania jest wykorzystanie zewnętrznych pompowni. W pompowych układach mieszania zakłada się 1-3-krotne wymieszanie komory w ciągu doby. Optymalne przerwy pomiędzy załączaniem się mieszających zestawów pompowych urządzeń nie powinny być jednak dłuższe niż 8 godzin. Podobnie jak w doświadczeniach eksplo-

atacyjnych z mieszadłami, intensywność mieszania można ograniczyć latem. Mieszanie pompowe w OKF-ach jest dzisiaj uważane za nieefektywne, ponieważ nie pozwala na osiągnięcie mieszaniny jednorodnej. Nieprawidłowe mieszanie wpływa na odkładanie się w komorze osadu i powstawanie złożeń obniżających pojemność czynną komory. Prawdopodobnie eksploatowana komora może pracować bez spuszczenia zawartości i całkowitego wyczyszczenia nawet ponad pięć lat. W zamkniętych komorach fermentacyjnych mieszanie pompowe jest dzisiaj rzadko stosowane. Najczęściej wykorzystywane są mieszadła mechaniczne śmigłowe lub śrubowe.

Odczyn pH i zasadowość

Odczyn pH ma wpływ na rozwój mikroorganizmów uczestniczących w procesie fermentacji metanowej. Nawet nieznaczne wahania pH powodują zaburzenia w rozmnażaniu bakterii. Optymalne warunki rozwoju bakterii fermentacyjnych zawierają się w przedziale 6,1-8, a niekiedy w zawężonym zakresie 7-7,5. Wartość optymalna pH zależy od zdolności osadu do buforowania oraz aktywności biochemicznej organizmów biorących udział w procesie. Ekstremalne warunki brzegowe fermentacji zostały określone w zakresie pH 5,2-9,2. Odpowiednie warunki są zachowane wtedy, gdy obok optymalnego odczynu pH ilość zawartych w osadzie lotnych kwasów tłuszczowych, przeliczanych umownie na CH₃COOH (w g/m³), jest nie większa niż 100-500 g/m³ CH₃COOH przy zasadowości (ilość znajdujących się w osadzie fermentujących węglanów i kwasnych węglanów) nie mniejszej niż 500 g/m³ CaCO₃. Zawartość lotnych kwasów tłuszczowych nie powinna przekraczać wartości 2000 g/m³ CH₃COOH, bo zaczyna się wówczas obniżać pH, a lotne kwasy stają się toksyczne w stosunku do bakterii metanowych¹. Dobrym wskaźnikiem oceny prawidłowego przebiegu procesu fermentacji jest wartość stosunku kwasów lotnych tłuszczowych do zasadowości, który musi być stabilny. Alarmujący poziom KL/Z wynosi 0,3¹. Powyżej tej wartości należy podjąć działania korekcyjne (neutralizacja osadu w komorze za pomocą zasad lub soli: Ca(OH)₂, Na₂CO₃, NaOH lub NH₄OH. Czynniki te trzeba wprowadzać sukcesywnie z powodu wiązania rozpuszczonego CO₂.

Źródło

1. Bień J., Zawieja I., Worwag M.: *Doświadczenia rozruchowe w zakresie eksploatacji komór fermentacyjnych w dużej oczyszczalni ścieków*. „Forum Eksploatatora” 9/10 2009.