

Bilans masowy osadów w stabilizacji beztlenowej - nowe doświadczenia

Andrzej Wójtowicz

Wodociągi Słupsk Sp. z o.o.

Bilansowanie mas osadów w ciągu technologicznym komunalnej oczyszczalni ścieków wydaje się rzeczą oczywistą, która nie powinna stwarzać większych problemów technologom i operatorom. Tym bardziej, że można zweryfikować go bilansem energetycznym lub masowym poszczególnych pierwiastków, np. fosforu.

Do niedawna tak uważałem. Różnego rodzaju uproszenia i pobieżna sytuacja wpływu niektórych czynników na wynik bilansu oraz stereotypowe myślenie mogą spowodować znaczny „rozjazd” teorii z rzeczywistością i długie godziny spędzone nad poszukiwaniem popełnianego błędu.

Rzecz dotyczy szczególnie oczyszczalni z głęboką redukcją masy w procesach stabilizacji beztlenowej. Pierwsze znaczące różnice pojawiły się w sytuacji, kiedy osad nadmierny zaczął głęboko hydrolizować, a produkcja biogazu znacznie się zwiększyła. Nastąpiła znaczna różnica pomiędzy ilością osadu odwodnionego i zważonego za pomocą wagi zainstalowanej na ładowarce kołowej, a ilością wynikająca z bilansu masowego. Trudne do wyjaśnienia była również wysoka masa organiczna osadu przefermentowanego przy jednoczesnej wysokiej produkcji biogazu, świadczącej o głębokiej redukcji organiki. Również niewidomo dlaczego procentowa ilość masy organicznej w odwodnionym osadzie była wyższa niż w nadawie na wirówkę.

Poszukiwano błędów w metodykach laboratoryjnych, próbkowaniu, w pomiarze mas osadu na przepływomierzach, złym raportowaniu osadu zagospodarowywanego na kompostowni, włącznie z teorią spisku w wyniku którego, ktoś ukradł ok. 2.000 Mg osadu w ciągu roku. Przy zarejestrowanej produkcji osadów odwodnionych na poziomie 10.000 Mg rocznie była to spora różnica, która nie dawała spokoju przez jakiś czas osobom odpowiedzialnym za pracę słupskiej oczyszczalni ścieków.

Ostatecznie sprawa okazała się prosta i sprowadziła się do uwzględnienia w bilansie ubytku masy mineralnej. Patrząc bezpośrednio na proces fermentacji jest oczywistym, że masa mineralna przed i za komora jest niemal taka sama. No bo gdzie mogłaby zniknąć? Domieszki mineralne w biogazie nie stanowią żadnego istotnego znaczenia dla bilansu.

Podobne uproszczenie dotyczyło również ubytku masy mineralnej w odciekach. Węzeł odwodnieniowy bilansowany był tylko z uwagi na zmianę wilgotności i ewentualnie zawiesinę ogólną, która nawet w dużej ilości nie miała znaczącego wpływu na bilans. O ile nie było zbyt głębokiego procesu rozkładu szczególnie biologicznego osadu nadmiernego, to błędy były „akceptowalne” i stanowiły ok. 5-10%.

Intensyfikacja procesów fermentacji spowodowała znaczny wzrost mineralnych ładunków zwrotnych, szczególnie takich jak zasadowość i azot. Również struwit, o ile jest odprowadzany z ciągu osadowego i nie stanowi masy osadów odwodnionych, może mieć znaczenie dla poprawnego bilansowania, choć już w mniejszym stopniu.

Przy intensywnej fermentacji stężenie amoniaku wzrasta do poziomu 1.500÷1.800 mg/dm³, a w przypadku głębokiej wymuszonej hydrolizy nawet do ok. 3.000 mg/dm³. Zważywszy, że inhibicja fermentacji zaczyna się od 1.500 mg N-NH₄/dm³, a toksyczne oddziaływanie na proces od 3.000 mg N-NH₄/dm³ sam ten fakt jest już zmartwieniem technologów poszukujących strategii zmniejszenia ryzyka procesowego. Ale to już na odrębny artykuł.

Zwrot zasadowości jest jeszcze bardziej widoczny. W przypadku OS Słupsk jest to poziom ok. 6.000 mg CaCO₃/dm³, ale już w intensyfikacji procesu (np. przy hydrolizie termicznej THP) są to ilości na poziomie ok. 30.000 mg CaCO₃/dm³.

Stężenia poszczególnych substancji będą wzrastały wraz z koncentracją osadu w komorach, tj. obciążeniem komór suchą masą poszczególnych osadów. W przypadku wysokotermicznych procesów do komór będzie trafiać osad o dużym stopniu zagęszczenia (ok. 15-18% s.m.), natomiast uwzględniając zwrot wilgotności z redukcji organiki na poziomie 0,7 kg/kg zredukowanej organiki, komora pracować będzie ze stężeniem ok. 3,5-5 s.m.%, w zależności od stopnia rozkładu. Dlatego warunki prowadzenia procesu należy brać pod uwagę planując holistycznie cały proces przeróbki osadów wraz z prawidłowym funkcjonowaniem ciągu ściekowego oczyszczalni.

Odnosząc stężenia do masy odcieków zależnej od stopnia zagęszczenia osadów i kosubstratów wejściowych oraz redukcji organiki w procesie fermentacji mineralne ładunki zwrotne mogą znacząco zakłócić bilans, szczególnie, że obliczenie redukcji masy organicznej bazuje na wartości substancji mineralnych w osadzie przefermentowanym. W zależności od stopnia redukcji i intensywności procesu masa mineralna odprowadzana w odcieku może stanowić od 10÷80% ładunku na wejściu do procesu, co będzie miało olbrzymie znaczenie dla wartości bilansowych.

Tabela 1. Przykładowy dobowy bilans masowy osadów dla oczyszczalni komunalnej o obciążeniu ok. 200 000 RLM z głęboką fermentacją, bez kofermentacji.

SUROWIEC	MASA [Mg/d]	s.m.	s.m.org.	kg s.m.	kg s.m.org.	kg s.m.min.	H ₂ O [Mg/d]
osad wstępny zagęszczony	96,0	5,00%	80,0%	4 800	3 840	960	91,2
osad nadmierny zagęszczony	90,0	8,00%	80,0%	7 200	5 760	1 440	82,8
RAZEM OSAD MIESZANY	186	6,45%	80,0%	12 000	9 600	2 400	174,0
wstępny po fermentacji	94,6	1,27%	60,0%	1 200	720	480	93,4
nadmierny po fermentacji	88,1	2,73%	70,0%	2 400	1 680	720	85,7
OSAD PRZEFERMENTOWANY	182,6	1,97%	66,7%	3 600	2 400	1 200	179,0
ZREDUKOWANO RAZEM	3,4	4,48%	75,00%	70,0%	7 200	1 200	-5,0
zredukowany wstępny	1,4	3,73%	81,25%	75,00%	3 120	480	-2,2
zredukowany nadmierny	1,9	5,27%	70,83%	66,67%	4 080	720	-2,9
OSAD ODWODNIONY	18,0	20,00%	66,7%	3 600	2 400	1 200	14,4

Dla przykładu podanego w tabeli 1 przyjęto redukcję masy mineralnej odpowiedniej dla ładunku odpowiadającemu stężeniom łącznym (CaCO₃+N-NH₄+P) na poziomie 7.900 ppm. Jak wynika z przedstawionego bilansu masowego redukcja organiki jest na bardzo wysokim poziomie 70%, produkcja biogazu wynosi ok. 6.100 Nm³/d, a pomimo to masa organiczna w osadzie przefermentowanym jest wysoka i wynosi blisko 67%.

Jednostkowa produkcja osadu również wykazuje bardzo niską wartość ok. 7 kg s.m./RLM/rok, co jest wartością odbiegającą od znanej dotychczas wartości minimalnej określonej na poziomie 12÷14 kg s.m./RLM/rok.

Intensyfikacja procesów stabilizacji beztlenowej wymaga uwzględnienia w bilansie redukcji masy mineralnej oraz refleksji nad ładunkami zawracanymi. Z jednej strony jest wyraźny efekt spadku jednostkowej produkcji osadu, lecz kosztem w tym przypadku może być zawracany ładunek amoniaku.

Przy planowaniu wdrożenia różnych technologii głębokiej stabilizacji należy posługiwać się bardziej zaawansowanymi metodami bilansowania, co pozwoli na lepszą ocenę efektywności wdrażanych procesów, jak również ustalenie warunków gwarancji z dostawcą technologii.

Tabela 2. Wskaźniki dla różnych warunków bilansowania uwzględniających redukcję masy mineralnej (przyjęto 80% s.m.org. w osadzie wstępnym i nadmiernym na wejściu do komory)

Warunki procesu stabilizacji w bilansowaniu	substancje mineralne		substancje org. osad przefermentowany		produkcja osadu			biogaz	
	odcieki [ppm]	redukcja [%]	s.m.org. [%]	redukcja [%]	os.przef. kg s.m./d	kg s.m./RLM/t	os.odwod. Mg/d [20% s.m.]	m ³ /d	l/RLM/d
stabilizacja bez red. min.	0	0	68,70%	45%	7 675	14,0	38,4	3 700	18,5
stabilizacja klasyczna	2 150	15%	72,10%	45%	7 315	13,3	36,6	3 725	18,6
głęboka stabilizacja	7 900	50%	66,70%	75%	3 600	6,6	18	6 080	30,4
stabilizacja z THP	30 000	70%	66,70%	85%	2 160	3,9	10,8/7,7*	6 900	34,5

* stopień odwodnienia osadu po THP wynosi zazwyczaj ok. 30%, co może mieć znaczenie dla oceny efektywności procesu

W Słupsku proces ten został zaplanowany etapowo, poprzez sukcesywną optymalizację węzłów technologicznych. Poprawę efektywności w pierwszej kolejności realizowano poprzez wzrost hydraulicznego czasu retencji HRT. Dotyczyło to zarówno powiększenia kubatury fermentacji, jak również wzrostu stopnia zagęszczania osadów kierowanych do komór fermentacyjnych. Obecnie HRT wynosi ok. 45 dób i po kilkumiesięcznym okresie adaptacyjnym osiągnięto oczekiwane rezultaty. Uzyskano redukcję substancji na poziomie 75% s.m.org., co wraz z niewielkim udziałem kofermentacji umożliwia produkcję biogazu w przedziale 6.000÷7.000 m³/d.

Praca z krótkim wiekiem osadu czynnego również daje efekty w postaci mniejszej mineralizacji osadu nadmiernego (>80%), a dobra praca piaskownika, osadników wstępnych oraz zagęszczaczy grawitacyjnych poprawiła znacząco udział organiki w suchej masie osadu wstępnego (obecnie ok. 85%). Prowadzony jest również program badawczy z Politechniką Gdańską nad dalszą poprawą efektywności energetycznej poszczególnych procesów technologicznych. Rozważana jest zasadność wdrożenia strącania wstępnego pod kątem wzrostu produkcji biogazu, z jednoczesną kontrolą pracy reaktora biologicznego.

Analizujemy również możliwość wdrożenia procesu THP w połączeniu ze wzrostem obciążenia komory kosubstratami wysokoenergetycznymi. Zakładamy wzrost redukcji organiki do 85% s.m.org. Uwzględniamy przy tym ładunki zwrotne oraz warunki prowadzonego procesu pod kątem inhibicji oraz wpływu instalacji na funkcjonowanie wszystkich procesów na oczyszczalni i kompostowni (np. utrata wysokiej koncentracji azotu w osadzie odwodnionym pogorszy walory nawozowe produkowanego kompostu,

ale jednocześnie zmniejszy emisję amoniaku do atmosfery w dalszej obróbce, co przyczyni się do zmniejszenia uciążliwości odorowej).

Wybudowany w ostatnich latach biologiczny reaktor sekwencyjny w ciągu bocznym umożliwia redukcję do 200 kg N/d. Istnieje możliwość zmiany technologii SBR na deamonifikację. Jest to ważny potencjał umożliwiający zminimalizowanie skutków głębokiej stabilizacji na prawidłową pracę reaktora biologicznego w ciągu głównym.

W analizowanym przypadku wzrost produkcji biogazu o ok. 10-15% w wyniku wdrożenia THP może być mało opłacalny. Ekonomikę poprawia redukcja suchej masy osadów o ok. 40%, a w odniesieniu do masy mokrej nawet dwukrotnie, co ma duże znaczenie na koszty dalszej przeróbki i zagospodarowania osadów. Szkoda tylko, że kosztem jest utrata azotu, co pogarsza właściwości nawozowe osadu i kompostu. W dużych oczyszczalniach z zanieczyszczonym osadem procesy THP coraz częściej kojarzone są z przekształcaniem termicznym i uzupełniane są jeszcze głębszą redukcją masy mineralnej poprzez strącanie fosforu do formy struwitu, jako wyodrębnionego nawozu mineralnego. Bardzo możliwe, że docelowe wskaźniki jednostkowej produkcji osadów będą na poziomie jeszcze niższym, choć do niedawna 4 kg s.m./RLM/rok wydawało się niemożliwe!