

# Biotechnologia biogazowni rolniczej

Wielu inwestorów zainteresowanych niegdyś budową i eksploatacją biogazowni jeszcze oczekuje na pozytywne efekty działania nowej ustawy o energii odnawialnej.

Jej zapisy zapewne nie sprawią, że biogazownie w Polsce zaczną się pojawiać jak grzyby po deszczu, ale jest nadzieja, że ustabilizowane i przewidywalne przychody z produkcji biogazu zainicjują budowę kolejnych instalacji. Warto w związku z tym przypomnieć lub uświadomić potencjalnym inwestorom, na co warto zwrócić uwagę podczas projektowania i budowy biogazowni.

Zapewnienie stabilnej i wydajnej produkcji biogazu zależy od zastosowanej biotechnologii w szerokim znaczeniu tego słowa. Część technologiczna instalacji jest nie mniej ważna od stosowanych substratów i kontroli wskaźników biochemicznych procesu. Szacuje się, że ok. 60% problemów natury biologicznej w biogazowni wynika z nieprawidłowego działania zainstalowanych w niej urządzeń. Pozostałe 40% to efekt braku właściwej kontroli nad parametrami jakościowymi substratów i masy fermentującej.

## Projektujemy i budujemy

Wiele polskich biogazowni zasilanych odpadami miewa poważne problemy natury technicznej. Nierzadko dzieje się tak dlatego, że biogazownia została zbudowana zgodnie z technologią „przywieziona do inwestora w teczce” i idealnie dopasowaną do wykorzystania substratów, takich jak kiszonka z kukurydzy i gnojowica. Okazuje się, że np. substrat jest, ale nie można go wykorzystać (lub uczynić tego w pełni), ponieważ:

- urządzenia dozujące nie są przystosowane do podawania substratów stałych innych niż podobne (konsystencja, gęstość) do kiszonki kukurydzianej,
- zasobniki na substraty stałe są za małe,
- w zasobnikach substratów stałych nie ma noży docinająco-mieszających,
- brakuje odpowiedniej ilości lub objętości zbiorników na substraty płynne,

- zbiorniki na substraty płynne nie są wyposażone w mieszadła i nie są ogrzewane,
- mieszadła zainstalowane w zbiornikach fermentacyjnych zostały nieprawidłowo dobrane i wówczas się psują,
- układ ogrzewania zbiorników jest tak zbudowany, że trudno utrzymać właściwą temperaturę w fermentorach lub nie ma możliwości przejścia z procesu mezofilnego na termofilny,
- w biogazowni brakuje urządzenia, które zapewniłoby prawidłowe rozdrobnienie dostępnego substratu,
- biogazownia nie może dozować substratów pochodzenia zwierzęcego kategorii K2 i K3, bo nie ma instalacji do higienizacji lub sterylizacji,
- wielkości komór fermentacyjnych są tak małe, że trudno je obciążyć substratami o niższej suchej masie w stopniu gwarantującym jednocześnie produkcję biogazu z pożądaną wydajnością i czas retencji na tyle długi, by zachować stabilność biologiczną procesu,
- urządzenia do odsiarczania biogazu nie są wystarczająco wydajne, jeżeli zastosujemy inny substrat niż planowany na etapie projektowania biogazowni,
- zbiorniki magazynowe na poferment są za małe.

Zróżnicowane i zmienne właściwości fizykochemiczne substratów są podstawowym czynnikiem decydującym o możliwości ich zastosowania. Zdecydowana większość substratów alternatywnych względem kiszonki z kukurydzy to odpady z przemysłu rolno-spożywczego. Często mają zupełnie inną postać (konsystencję, gęstość i skład chemiczny), w związku z czym nie zawsze można je podać do fermentora za pomocą urządzeń dozujących zainstalowanych w biogazowni. Bywa, że odpady są zbyt lekkie lub nazbyt wilgotne, lepkie i maziste,

więc zawieszają się w koszach zasypowych lub generują odcieki, które rozlewają się po terenie biogazowni. Zbyt słabo rozdrobnione kiszonki z traw lub źdźbła słomy z oborników albo nierozdrobnione odpadowe warzywa i owoce zapychają rury, owijają się wokół ślimaków transportujących, psują pompy i mieszadła w zbiornikach wstępnych albo w fermentorach. Brak mieszadeł i/ lub noży docinających w zasobnikach jest problemem w biogazowniach, gdzie stosuje kilka różnych substratów stałych. Odpady są wówczas najczęściej ładowane do zasobnika grubymi warstwami i w rezultacie niewymieszane trafiają do fermentorów w sposób przypadkowy, nierównomierny. To generuje skoki obciążenia fermentorów i może destabilizować produkcję biogazu i powodować, że w każdym ze zbiorników produkcja biogazu przebiega trochę inaczej. Można sobie z tym poradzić, ale operator biogazowni musi mieć świadomość, że mieszanie substratów powinno następować już podczas napełniania zasobnika przez ładowanie na przemian raz jednego, raz drugiego substratu, aby nie tworzyć grubych, niewymieszanych ze sobą warstw.

W wielu wypadkach problemami są za mały zbiornik na substraty płynne oraz brak w nim mieszadeł i systemu ogrzewania. Niektóre substraty (np. tłuszcze z separatorów, wywary gorzelniane, serwatki, gnojowice) są zawiesinami i do wyrównanego obciążenia fermentorów wymagają podania po dokładnym wymieszaniu. Zapobiega to również sedymentacji lub flotacji (tworzeniu kożuchów). Utrzymanie podwyższonej temperatury w zbiornikach magazynowych ma wieloletnie znaczenie. Podwyższona temperatura substratu powoduje, że najczęściej zmniejsza się jego lepkość, co ułatwia pompowanie. Tłuszcze odzwierzęce obecne w odpadzie nie krzepną i zachowują płynną konsystencję, łatwiejszą do wymieszania. Ciepły substrat nie powoduje szoku termicznego dla mikroorganizmów i nie wychładza fermentorów. Ponadto utrzymanie podwyższonej temperatury w zbiorniku magazynowym (lub wstępnym) sprzyja procesom enzymatycznej hydrolizy i kwasogenezы, co sprawia, że wiele substratów staje się bardziej podanych na konwersję w biogaz i zmniejsza się ryzyko przeciążenia fermentora. Trzeba się jednak liczyć z tym, że w podgrzewanym zbiorniku wstępnym/magazynowym może pojawić się

gaz, którego głównym składnikiem będzie CO<sub>2</sub>. Znajdzie się w nim zapewne również H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub> oraz CH<sub>4</sub>. Zawartości takiego podgrzewanego zbiornika może wykazywać tendencję do zakwaszania się (niskie pH 3 do 5), nawet wówczas, gdy dowożony substrat ma pH znacznie wyższe.

Specjalny i ogrzewany zbiornik może się przydać, gdy chcemy stosować odpady pochodzenia zwierzęcego, które mają kategorię K2 lub K3. Brak tzw. higienizatora lub sterylizatora w biogazowni praktycznie wyklucza taką możliwość. Obecnie takie odpady są dostępne na rynku – a biogazownie mają szansę na uzyskanie dodatkowego wysokiego przychodu z tytułu ich utylizacji.

Podstawowy cel higienizacji (70°C przez 1 h) lub sterylizacji (120°C, 20 min lub 133°C, min. 3 bary i 20 min) to usunięcie z tkanek zwierzęcych mikroorganizmów potencjalnie chorobotwórczych. Wysoka temperatura powoduje przy okazji denaturację białek i rozluźnienie tkanek, wskutek czego stają się bardziej podatne na biodegradację, jaka zachodzi w fermentorach.

Warto rozważyć wyposażenie biogazowni w instalację do higienizacji lub sterylizacji, pamiętając jednocześnie o tym, że odpad poubojowy przed podgrzaniem do wymaganej temperatury musi być rozdrobniony do cząstek o wielkości 12 mm. Należy pamiętać, że rozdrobieniu powinny podlegać nie tylko substraty wymagające higienizacji lub sterylizacji, ale wszystkie, których rozmiary, twardość i konsystencja zagrażają trwałości pomp, mieszadeł, przenośnikom ślimakowym i innym. Substrat rozdrobniony szybciej poddaje się fermentacji. Pewną niedogodnością jest fakt, że rozdrabniacz przeznaczony do odpadów poubojowych nie może być stosowany do rozdrabniania innych odpadów, które w ciągu technologicznym nie będą higienizowane. Gdyby zastosować ten sam rozdrabniacz, to wszystkie odpady, które przez niego przejdą, musiałyby być traktowane jako potencjalne źródło salmonelli, E. coli lub enterokoków i podlegać co najmniej higienizacji.

Odpad bezpośrednio po higienizacji ma temperaturę minimum 70°C, która jest zabójcza dla bakterii metanowych. W związku z tym po wyjściu z higienizatora powinien trafić do zbiornika, w którym ostygnie samoczynnie lub przez wymieszanie z innymi chłodnymi substratami. Zapobiegnie to po

podaniu do fermentora odpadu gorącego, co mogłoby spowodować lokalne przegrzanie i zabójczy dla wielu bakterii szok termiczny. Gdyby sytuacja się często powtarzała, mogłaby doprowadzić.

Takie zdarzenia mają też miejsce, jeżeli operator zapomni, że wskazania czujników temperatury w fermentorach również wymagają kontroli i kalibracji. Bywały przypadki, że operator zmagiał się z niestabilnością procesu nieświadomy, że przyczyną jest przegrzanie lub niedogrzenie masy fermentującej, ponieważ wskazania termometrów w biogazowni były prawidłowe. Po sprawdzeniu niezależnym, wzorcowanym termometrem okazało się, że różnice wskazań sięgały nawet 3-5°C, a to było już wartością krytyczną.

W fermentorze substrat powinien być szybko i równomiernie rozprowadzony w całej objętości roboczej (za wyjątkiem reaktorów o przepływie tłokowym). Zapewniają to prawidłowo dobrane i sprawnie działające mieszadła. Należy zadbać o to, by położenie mieszadeł umożliwiało zarówno podrywanie z dna zbiornika osiadających tam cząstek zawieszin, jak i rozbijanie tych flotujących i zbijających się w kożuch. Ruch masy fermentującej powodowany przez mieszadła musi gwarantować szybkie i równomierne rozprowadzenie substratu oraz szybki odbiór ciepła z systemu grzewczego i wyrównanie temperatur w całej objętości zbiornika. Przy okazji, ruch masy ułatwia uwolnienie z niej powstającego biogazu.

W wielu wypadkach mieszadła pomagają w rozbiciu powstającej piany. Z obserwacji i kontaktów w wieloma biogazowniami wynika, że mieszadła są jednym z najczęściej psujących się elementów jej wyposażenia. Naprawa lub wymiana jest kłopotliwa, wymaga też otwarcia fermentora, co wiąże się z ograniczeniami w produkcji biogazu. Najczęściej notowane awarie to: zerwanie linek podtrzymujących mieszadła na właściwej wysokości, uszkodzenia uzwojenia silników mieszadeł i łożysk oraz zablokowanie – na skutek przeciążeń generowanych przez zbyt gęstą konsystencję mieszanej masy lub wkręcenie w mieszadło sznurków, worków foliowych, które pochodzą z zanieczyszczonych substratów. Zdarzają się również poważne awarie, polegające na wyrwaniu lub wygięciu elementów podtrzymujących osł mieszadeł, które są za-

kotwiczone w środkowej części fermentora. Takie zdarzenia całkowicie wyłączają fermentor z użytkowania. Naprawę poprzedza opróżnienie zbiornika, a po jej zakończeniu konieczny jest ponowny rozruch biologiczny. Cała procedura trwa często kilka miesięcy, generując poważne straty.

Ocena prawidłowego mieszania zawartości fermentora najczęściej ma charakter tylko wizualny i polega na obserwacji powierzchni masy fermentującej przez zainstalowane w ścianach zbiornika okna. Ten wydawałoby się drobny szczegół w konstrukcji może mieć bardzo duże znaczenie. Są biogazownie, w których okna zostały tak zainstalowane, że praktycznie nic przez nie widać. Okna bywają tak zamontowane, że operator musi wkładać głowę w dość głęboki otwór, narażając się na wdychanie toksycznego siarkowodoru. Brakuje też drugiego okna, które powinno być zainstalowane obok. Ocena prawidłowego mieszania masy fermentującej winna być stałym i codziennym punktem kontrolnym w pracy operatora biogazowni. Powolny ruch powierzchni masy fermentującej musi być nieustannie widoczny. Nie powinno być kożucha i piany. Niedopilnowanie tego może okazać się brzemienne w skutkach.

Kolejnym bardzo ważnym dla prawidłowego sterowania procesem urządzeniem są czujniki kontroli ciśnienia biogazu i zawory bezpieczeństwa. Źle dobrane lub nieprawidłowo obsługiwane bywają źródłem problemów, takich jak całkowity lub częściowy wyciek biogazu do atmosfery przez zawory lub pęknięcie i zerwanie ze zbiornika zainstalowanej tam membrany. Czujniki ciśnienia są kluczowymi elementami automatyki sterującej pracą silnika.

Istotnym problemem w wielu biogazowniach są za małe zbiorniki fermentacyjne i za małe magazyny na poferment przy przejściu na substraty odpadowe. Są w Polsce biogazownie o zainstalowanej mocy 1 MW lub większej, w przypadku których objętość robocza pojedynczego zbiornika nie przekracza 2000 m<sup>3</sup>. Wówczas trudno jednocześnie zastąpić kiszonkę odpadami i zachować nominalną moc. Niższe niż w przypadku kiszonki sucha masa i biogazodochodowość większości odpadów powodują, że uzyskanie tej samej mocy wymaga dozowania często wielokrotnie większych objętości w tym samym czasie. To znacznie skraca czasy re-

tencji i nie zapewnia utrzymania stabilnego procesu. Objętość dozowanego substratu i odbieranego pofermentu muszą być takie, by zachować stałą objętość roboczą w fermentorze i jednocześnie zapewnić niezbędne minimum liczebności bakterii. Odbierając poferment, zabieramy z fermentora m.in. bakterie metanowe (produkujące metan na ostatnim etapie procesu). Jeżeli dozowany substrat nie zapewnia dostępu do wszystkich składników pokarmowych niezbędnych do szybkiego rozmnażania się tych bakterii, to ich ilość w fermentorze będzie stopniowo malała. Gdy bakterie metanowe nie nadążą z utylizacją kwasów produkowanych przez (szybciej rozmnażające się) bakterie prowadzące hydrolizę i biosyntezę lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), nastąpi przeciążenie fermentacji. Objawia się to wzrostem stężenia LKT, spadkiem pH i zahamowaniem produkcji biogazu.

Nawet jeżeli udaje się tak dobrać substraty (i często suplementy w postaci mikroelementów), że z niewielkich zbiorników można pozyskać pożądaną ilość metanu – to często problemem jest zbyt mała objętość zbiorników magazynowych na poferment. Wówczas w biogazowni nie ma wystarczająco dużo miejsca na przechowanie pofermentu w okresie zimowym, gdy jego wylanie na pola (np. odzysk metodą R10) jest, zgodnie z przepisami, zabroniony.

Podsumowując ten wątek, należy podkreślić, że im większe fermentory i zbiorniki na poferment zostaną wybudowane w biogazowni, tym łatwiej będzie sterować produkcją biogazu i tym większa odporność procesu na zmienne właściwości fizykochemiczne dozowanych substratów odpadowych. Z codziennych obserwacji wynika, że dla biogazowni o mocy 1 MW, zasilanej dostępnymi na polskim rynku odpadami bezpieczna objętość robocza pojedynczego fermentora nie powinna być mniejsza niż 2500 m<sup>3</sup> przy założeniu, że w biogazowni będą co najmniej takie dwa. Pożądanym jest również duży lub większy i ogrzewany zbiornik fermentacji wtórnej (dofermentowanie). Oczywiście można osiągnąć 1 MW (lub więcej) mocy ze zbiorników mniejszych, ale będzie to zadanie trudniejsze. Sumaryczna wielkość zbiorników na poferment w przypadku stosowania odpadów płynnych o niskiej zawartości suchej masy organicznej do zasilania biogazowni 1 MW powinna być

zbliżona nawet do 10-12 tys. m<sup>3</sup> (magazyn na 3-5 miesięcy).

W bardzo dobrej sytuacji są biogazownie, które mają zamknięte membranę i ogrzewane zbiorniki magazynowe. Dzięki temu, niekiedy możliwe jest podgrzanie pofermentu do temperatury 55-60°C, co gwarantuje prawidłową jego sanityzację. Pozbywamy się wówczas niemal w 100% nadmiaru bakterii z rodzaju *Enterococcus*, *E.coli*, *Salmonella enteritidis* oraz żywych jaj pasożytów (*Ascaris*, *Trichuris* i *Toxocara*).

Większe zbiorniki fermentacyjne i ogrzewany oraz hermetyczny magazyn pofermentu pozwalają na pełne odfermentowanie dozowanych substratów. Ich duża powierzchnia w przestrzeni przeznaczony na gaz jest doskonałym miejscem do tworzenia biofilmu bakterii siarkowych. Dzięki temu, przy zastosowaniu prawidłowo działającej pompki powietrza, efektywnie będzie działał biologiczny system odsiarczania biogazu. Wiele substratów odpadowych wnosi do fermentora znacznie więcej siarki niż kiszonka z kukurydzy i gnojowica. Jeżeli system odsiarczania biologicznego okazuje się w takich przypadkach niewystarczający – konieczne jest stosowanie np. filtrów wypełnionych węglem aktywnym lub dodawanie do fermentorów związków żelaza. Stwarza to dodatkowe problemy technologiczne i biologiczne oraz mnoży koszty eksploatacji biogazowni.

## Uruchomienie i utrzymanie aktywności

Gdy już mamy wybudowaną biogazownię, po odbiorach technicznych trzeba uruchomić proces biologiczny. Co to oznacza? Wielu inwestorów i operatorów oczekuje, że nastąpi to szybko. Niestety, zapominają, że fermentacja to objaw życia wyspecjalizowanych grup wrażliwych na zmiany w środowisku bakterii i już na początku popełniają błędy, które skutkują wydłużeniem procedury rozruchu lub, powodują, że wszystko trzeba zacząć od początku.

Rozruch biologiczny biogazowni to zaplanowane działania, mające na celu kontrolowane rozmnożenie konsorcjum bakterii uczestniczących w procesie fermentacji metanowej, a tym samym doprowadzenie do wydzielania stabilnego strumienia biogazu (metanu) z wydajnością gwarantującą produkcję energii z mocą nominalną biogazowni

lub maksymalną możliwą do osiągnięcia z użyciem dostępnych substratów i rozwiązań technologicznych. Wyrażenie – stabilny strumień biogazu – ma tu duże znaczenie. Nie chodzi przecież o to, by nasza biogazownia pracowała na 100% swoich możliwości tylko przez 1-2 dni, ale tak długo, jak długo dostarczamy jej substraty do produkcji.

Uruchomienie biogazowni rozpoczyna się na ogół przez wypełnienie i wygrzanie do właściwej temperatury mieszaniny inicjującej proces. W skład tej mieszaniny wchodzi najczęściej gnojowica (bydlęca i/lub świńska), którą można rozcieńczyć wodą wodociągową. Rozcieńczenie wodą ma sens tylko wtedy, gdy dostępna gnojowica będzie miała suchą masę większą niż 4-5%. Poziom wypełnienia uruchamianego zbiornika powinien zapewnić przykrycie rur systemu ogrzewania oraz umożliwić intensywne mieszanie. System grzewczy (zastosowany piec) musi mieć moc wystarczającą do podniesienia temperatury cieczy inicjującej w tempie od 0,5 do 1°C na dobę. Wolniejsze ogrzewanie jest ekonomicznie nieuzasadnione. Szybsze może niekorzystnie wpłynąć na rozwój niezbędnych do fermentacji bakterii. Optymalnie byłoby, gdyby zastosowany kocioł mógł być alternatywnie zasilany biogazem.

Gdy układ osiągnie zakładaną temperaturę (37-40°C dla bakterii mezofilnych, 52-55°C dla bakterii termofilnych), zaleca się dodać do mieszaniny inicjującej tzw. inokulat, czyli zawartość fermentora pochodzącą z innej działającej biogazowni. W optymalnym układzie powinien on pochodzić z biogazowni zasilanej podobnymi substratami do tych, jakie mamy zamiar stosować w naszej. Temperatura pracy bakterii w obu biogazowniach też musi być zbliżona. Wówczas inokulat zawiera populację bakterii i enzymy, przystosowane do trawienia substratu w odpowiednich warunkach, co wydatnie przyspieszy rozruch. Inokulat powinien stanowić minimum 10% objętości cieczy inicjującej. Im więcej go przywieziemy, tym szybciej uda się uruchomić proces. Inokulat z ogrzewanego zbiornika należy wtłoczyć do biogazowni dopiero wtedy, gdy temperatura cieczy inicjującej osiągnie właściwy poziom. Wówczas bakterie dostarczone do biogazowni są w pełnej aktywności metabolicznej i nie przechodzą szoku termicznego, który je zabija, gdy zostaną podane do zimnego fermentora. Niestety, często popełniany

Tab. Zestawy analiz laboratoryjnych dla próbek masy fermentującej na przykładzie substratów z biogazowni rolniczych i biogazu

Parametr	Substrat	Masa fermentująca
pH	(+)	(+)
Sucha masa (s.m.)	(+)	(+)
Sucha masa organiczna (s.m.o.)	(+)	(+)
Stężenie azotu amonowego [N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	(+/-)	(+)
Stężenie azotu ogólnego Kjeldahla (TKN)	(+)	(+/-)
FOS, TAC i FOS/TAC	(-)	(+)
Profilchromatograficzny lotnych kwasów tłuszczowych (LKT-GC-FID)	(-)	(+)
Stężenia* makro- i mikroelementów	(+/-)	(+)

+ ) badanie wykonuje się standardowo, (-) zwykle nie wykonuje się badania, (+/-) w niektórych przypadkach wykonuje się badanie, \*: Se, Ni, Co, Mn, Mo, Zn, Cu, Fe, B, W, P, Mg, K, Na, S, Pb, Hg, Cr, Cd.

jest ten błąd i inokulat trafia do fermentora w niewłaściwym momencie.

### Dozowanie substratów i monitorowanie fermentacji

Po dodaniu inokulatu warto pobrać próbki i wykonać pierwsze badania stanu parametrów procesu. Ważne jest również wyznaczenie podstawowych parametrów substratów, których chcemy użyć przy rozruchu. Najlepiej jest rozruch prowadzić za pomocą mieszanki kosubstratów, którą chcemy docelowo stosować. Praktycznie każda biomasa, jeżeli nie zawiera zanieczyszczeń będzie podlegała procesom rozkładu w warunkach beztlenowych i uda się z niej pozyskać biogaz. Jednak należy zastrzec, że podatność na rozkład różnych rodzajów biomasy jest bardzo zróżnicowana. Obecnie bardzo rzadko biogazownia jest zasilana tylko jednym substratem. Komponowanie mieszanek do fermentora jest najczęściej efektem przypadku i wynika z dostępności, kosztów pozyskania i możliwości technologicznych danego zakładu. Nie zawsze operator biogazowni bierze pod uwagę właściwości fizykochemiczne i biochemiczne substratów i dozuje je „na oko” lub jak mu podpowiadają wcześniejsze doświadczenia. Skutki takiego działania mogą być fatalne dla stabilności i wydajności produkcji, przy czym często pojawiają się dopiero po kilku tygodniach dozowania nowego substratu.

Warto w związku z tym pamiętać, że przed wprowadzeniem substratu do produkcji należy zebrać o nim jak najwięcej informacji, takich jak: nazwa i kod odpadu, pochodzenie (roślinne czy odzwierzęce), dostępna ilość, konsystencja w różnych warunkach temperaturowych, możliwość podania przez zasobnik substratów stałych lub płynnych

(pompowność, możliwość tłoczenia), obecność i średnia długość frakcji włóknistej, ryzyko wystąpienia zanieczyszczeń mechanicznych (sznurki, kamienie, piasek, szkło, kości, tworzywa sztuczne, kawałki metalu) oraz chemicznych (pestycydy, antybiotyki, ropopochodne, substancje dezynfekujące, detergenty, flokulanty i koagulanty), możliwość zakiszania, przechowywania, w przypadku płynów mieszalność z innymi substratami i parametry podstawowe, wyszczególnione w tabeli. Uzyskane wyniki badań próbek pozwolą prawidłowo dobrać początkowe dawki substratu. Pierwsze porcje powinny zapewniać obciążenie fermentora w granicach 0,5-0,8 kg s.m.o./m<sup>3</sup>\*d. Przy prawidłowym przebiegu rozruchu tempo wzrostu dawek powinno gwarantować podniesienie obciążenia o +0,3 do +0,5 kg s.m.o./m<sup>3</sup>\*d w ciągu 5-7 dni. Szybsze zwiększanie obciążenia może być niebezpieczne dla stabilności procesu. W okresie rozruchu regularnie, przynajmniej 1x na tydzień, należy powtarzać badania zawartości fermentora wyszczególnione w tabeli. Parametry, takie jak pH i FOS/TAC, skład biogazu – mogą być oznaczane na miejscu w biogazowni i jeżeli to możliwe, analizy powinny być wykonywane wówczas nawet raz dziennie.

Większość biogazowni osiąga pełną moc przy obciążeniu między 4 a 5 kg s.m.o./m<sup>3</sup>\*d, a to oznacza, że zajmuje to od 40 do 70 dni i zależy od dobranej szybkości podnoszenia obciążenia. Ta szybkość powinna być skorelowana z wynikami badań zawartości fermentora i ze składem chemicznym oraz właściwościami substratów. Monitorowanie procesu nie kończy się po osiągnięciu 100% mocy biogazowni. Fermentacja zachodzi dzięki działaniu konsorcjum wielu gatunków bakterii. Bywa, że niewielkie zaburzenie procesu wskutek zmian w składzie odpa-

dów lub awarii jakiegoś urządzenia zmieni równowagę biologiczną w fermentorze. Rozpoczyna się powolne obniżanie wydajności produkcji, co prowadzi do strat finansowych.

Te zmiany są często niewidoczne dla operatora biogazowni i niezauważalne podczas produkcji biogazu przez wiele tygodni. Potem ujawniają się nagle, gdy parametry wyszczególnione w tabeli osiągną poziomy krytyczne. Każda biogazownia jest jednak trochę inna, chociażby ze względu na zestaw stosowanych substratów, dlatego dla poziomu krytycznego są zróżnicowane. Co do zasady FOS/TAC nie powinien przekroczyć wartość 0,4. Poziom pH – nie może być większy niż 7,6, a azot amonowy wyraźnie hamuje fermentację przy przekroczeniu stężenia 3500 mg/l. Suma lotnych kwasów tłuszczowych nie może przekraczać 2000 mg/l, ale ważne są również proporcje między poszczególnymi LKT. Stężenia i biodostępność mikroelementów mają bardzo duży wpływ na stabilność i wydajność fermentacji, przy czym każde z nich może mieć inny optymalny poziom w masie fermentującej – często niepowtarzalny w różnych biogazowniach (o różnych dozowanych substratach). Ich zastosowanie w okresie rozruchu pozwala na znacznie przyspieszenie dociążania, a podczas bieżącej eksploatacji stabilizuje proces i czyni go bardziej odpornym na wiele hamujących fermentację czynników. Aby mieć wgląd w kondycję bakterii i w porę zareagować na ewentualne niekorzystne zmiany w procesie warto regularnie i często wykonywać badania laboratoryjne i analizować zmiany wartości poszczególnych parametrów w dłuższym okresie czasu.

W artykule opisano wiele aspektów biotechnologii rozruchu i eksploatacji biogazowni. Nie są to tylko teoretyczne rozważania, ale ogólne wnioski z 10 lat obserwacji poczynionych w wielu instalacjach w Polsce. Celem było zwrócenie uwagi potencjalnego inwestora na technologiczne szczegóły i rozwiązania, których gruntowne przemyślenie pozwoli na uniknięcie błędów podczas projektowania i budowy. Ponadto pozwoli na postawienie instalacji na tyle elastycznej, że będzie w stanie wykorzystać niemal każdy dostępny substrat, a to może być kluczem do sukcesu takiej inwestycji.

**dr inż. Artur Olesienkiewicz,**  
Polbiotech Laboratorium, Poznań