

ANNA ZAMOJSKA
KRZYSZTOF W. SZEWCZYK

Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Optymalny czas cyklu beztlenowego bioreaktora sekwencyjnego

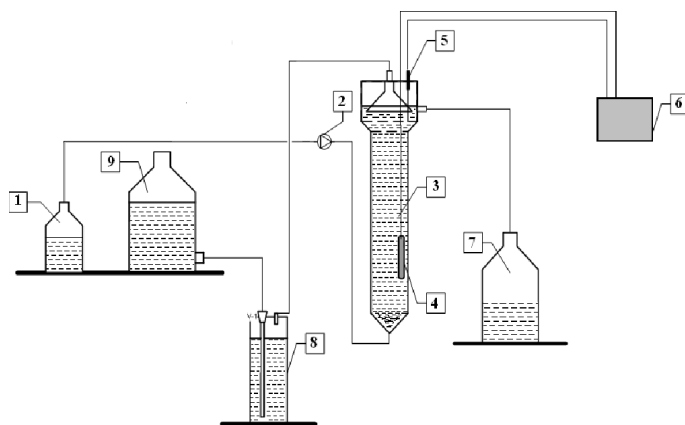
Wstęp

Cykl pracy bioreaktora sekwencyjnego składa się z czterech etapów: napełniania, hodowli, sedimentacji i dekantacji. Po dekantacji część płynu pochodzącego wraz z drobnoustrojami pozostaje w reaktorze i stanowi inokulum dla kolejnego cyklu. Przy zachowaniu stałych wartości parametrów procesowych i stałych stężeń substratów na wlocie do układu, po pewnej ilości cykli następuje ustabilizowanie stężeń produktów na wylocie z reaktora w kolejnych cyklach [1]. Bioreaktory sekwencyjne umożliwiają uzyskanie wysokich stężeń aktywnej biomasy wewnątrz aparatu – dzięki etapowi sedimentacji – co z kolei umożliwia stosowanie wysokich obciążeń układu. Wykorzystywane są zarówno w procesach tlenowych jak i beztlenowych, szczególnie w przypadkach drobnoustrojów wolnorodzących. Fermentacja metanowa jest przykładem złożonego procesu mikrobiologicznego, w którym reaktory sekwencyjne znalazły szerokie zastosowanie. Beztlenowe okresowe reaktory sekwencyjne (*Anaerobic Sequential Batch Reactors* – ASBR), cechują się większą sprawnością zatrzymywania materiału biologicznego oraz łatwiejszą, niż w bioreaktorach przepływowych z idealnym wymieszaniem (CSTR), kontrolą przebiegającego procesu. Zwykle stosuje się stałą długość cyklu wynoszącą 24 h, stąd dane literaturowe dotyczą głównie wpływu obciążenia reaktora na przebieg procesu. Brak jest danych odnoszących się do wpływu długości cyklu pracy reaktora na jego wydajność. W niniejszej pracy zbadano wpływ długości cyklu dla reaktora sekwencyjnego do produkcji biogazu na ilość wytwarzanego biogazu i jego skład.

Metodyka

Do badań użyto reaktor kolumnowy o objętości czynnej 13,1 dm³. Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. 1. Jako substrat wykorzystano serwatkę kwaśną (pH = 3,5; ChZT = 70 210 mgO₂ dm⁻³; SM = 5,87 g_{SM}g⁻¹), z OSM Błonie pod Warszawą. Wyprodukowany biogaz zbierano w cylindrycznym zbiorniku ze szkła organicznego oraz wypełnionym roztworem NaCl o stężeniu 200 gdm⁻³ i połączonym ze zbiornikiem naporowym.

W trakcie badań mierzono ilość wyprodukowanego biogazu oraz jego skład (analyzer biogazu GA 45 Geotechnical Instruments), oznaczano pH, stężenie ChZT i LKT (lotne kwasy tłuszczowe wyrażone w gramach kwasu octowego na dm³), w cieczy opuszczającej reaktor (oznaczenia wykonywano zgodnie ze standardowymi procedurami analitycznymi). Przeprowadzono cztery serie pomiarowe, podczas których zachowano stałe warunki procesowe (obciążenie reaktora: 1,3 gChZT dm⁻³d⁻¹; pozorna szybkość przepływu substratu: 0,5 dm³d⁻¹; temperatura: 35±1°C), różniące się harmonogramem



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: 1 – zbiornik z pożywką, 2 – pompa perystaltyczna, 3 – reaktor kolumnowy, 4 – grzałka, 5 – czujnik temperatury, 6 – regulator temperatury, 7 – zbiornik na odciek

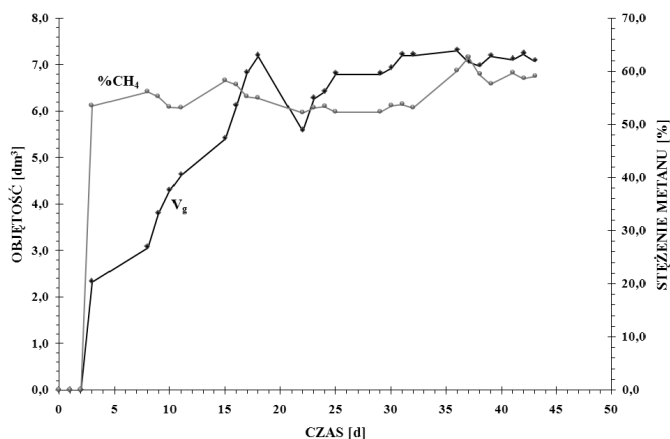
dostarczania pożywki. Podczas pierwszej serii co 12 godzin wymieniano na świeżą pożywkę 125 cm³ zawartości reaktora, co było równoważne dostarczeniu na początku każdego cyklu ok. 8,3 gChZT. Dla serii II, III i IV powyższe parametry wynosiły odpowiednio: czas cyklu 24, 48 i 72 godziny, objętość pożywki 250, 500 i 750 cm³, ilość ChZT dostarczonego na początku cyklu 16,6; 24,8 i 33,2 g. Po zakończeniu każdej serii zaprzestawano podawania pożywki przez okres przynajmniej 7 dni.

Wyniki i dyskusja

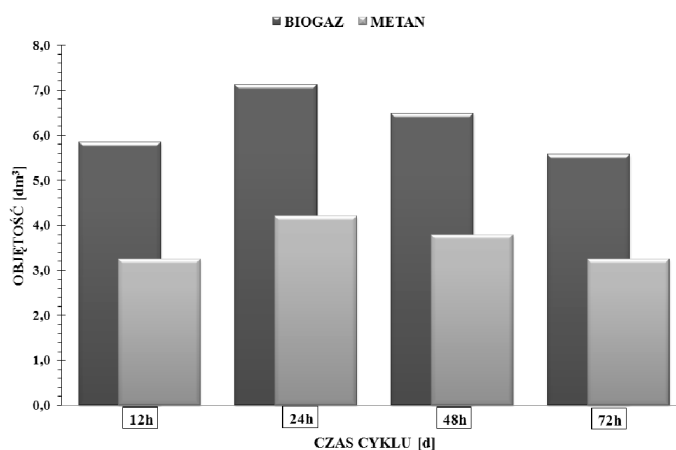
Podczas pierwszej serii pomiarowej, gdy czas pojedynczego cyklu wynosił 12 godzin, do ustabilizowania produkcji biogazu doszło po 10 cyklach (5 dni). W ciągu ostatnich czterech cykli produkcja biogazu, w którym metan stanowił ok. 55,8%, wyniosła 5,85 dm³d⁻¹ (3,24 dm³CH₄ d⁻¹).

Stabilną produkcję biogazu podczas serii pomiarowej nr II (czas cyklu 24h, Ry. 2), uzyskano po 38 cyklach (seria ta była jednocześnie etapem przystosowania populacji mikroorganizmów do nowego rodzaju substratu i pierwsza chronologicznie, stąd wydłużony czas stabilizacji produkcji biogazu), i wynosiła ona 7,12 dm³d⁻¹, z czego metan stanowił 59,0% (4,2 CH₄dm³d⁻¹). Średnia dobową produkcją biogazu dla cykli powtarzalnych trzeciej serii pomiarowej (czas cyklu 48 godzin), wyniosła 6,48 dm³d⁻¹, w tym średnio metanu 3,79 dm³d⁻¹, co stanowi 58,0%.

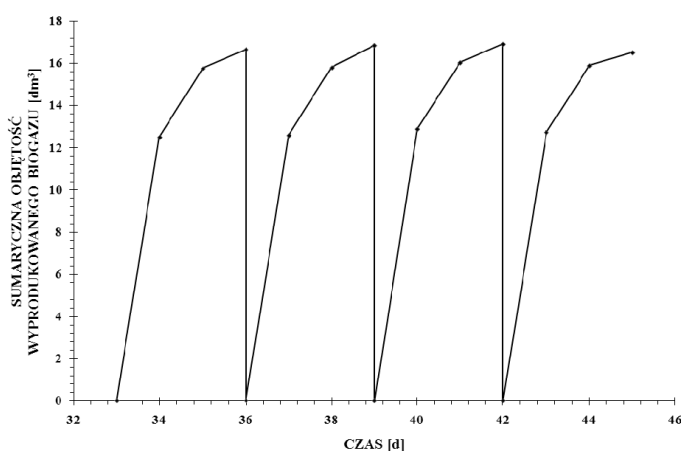
Zauważono wyraźną różnicę między ilością i składem biogazu produkowanego podczas pierwszej i drugiej doby cyklu. W pierwszej dobie produkcja biogazu wynosiła 11,3 dm³d⁻¹, przy czym metan stanowił 56,6%, natomiast w drugiej dobie



Rys. 2. Przebieg zmian w dobowej produkcji biogazu podczas serii pomiarowej nr II, czas cyklu 24 h



Rys. 4. Średnia dobową produkcję biogazu i metanu (cykle powtarzalne)



Rys. 3. Przebieg zmian w dobowej produkcji biogazu dla wybranych czterech cykli z serii nr IV (cykle powtarzalne, czas cyklu 72 godz.)

produkcja biogazu wyraźnie malała i wynosiła $1,7 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$ lecz wzrastała zawartość metanu, który stanowił 70,6%. Podobnie podczas ostatniej serii pomiarowej: w pierwszej dobie średnia produkcja biogazu w warunkach powtarzalności cykli wynosiła $12,6 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$, $3,25 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$ w drugiej dobie i $0,85 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$ w dobie trzeciej. Metan stanowił odpowiednio 56, 63 i 76% w kolejnych dniach cyklu. Na rys. 3 przedstawiono zmiany w dobowej produkcji biogazu dla wybranych czterech cykli czwartej serii pomiarowej (cykle powtarzalne). W trzeciej dobie cyklu stężenie substratu w reaktorze jest bardzo małe i ilość wyprodukowanego biogazu jest dziesięciokrotnie mniejsza niż w dobie pierwszej. W związku z tym średnia dobową produkcja biogazu wynosiła $5,57 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$ i była niższa niż dla czasu cyklu równego 48 godz. Wydajność produkcji biogazu odniesiona do obciążenia reaktora ChZT wyniosła $0,197 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ dla czasów cyklu 12 i 72 h. Dla cyklu 24 h była największa – $0,255 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$, zaś dla cyklu 36 h wyniosła $0,229 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Uzyskane wartości są porównywalne z danymi literaturowymi. Göblös i in. [2] dla zbliżonego obciążenia reaktora zasilanego serwatką kwaśną ($1,6$

$\text{gChZTdm}^{-3} \text{ d}^{-1}$), uzyskali wydajność $0,276 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ ChZTdeg}^{-1}$, natomiast van der Berg i Kennedy [3] $0,34 \text{ dm}^3 \text{ CH}_4 \text{ g}^{-1}$ przy obciążeniu $8,3 \text{ gChZTdm}^{-3} \text{ d}^{-1}$.

Rys. 4 przedstawia średnią dobową produkcję biogazu i metanu dla poszczególnych serii pomiarowych w warunkach uzyskania powtarzalności cykli. Jak widać największą dobową produkcję biogazu uzyskano podczas serii pomiarowej nr II i wyniosła ona $7,12 \text{ dm}^3 \text{ d}^{-1}$. Średnie stężenie metanu osiągnęło wartość 59,0% a najwyższe chwilowe stężenie metanu w produkowanym biogazie odnotowano podczas trzeciej doby cyklu czwartej serii pomiarowej i wyniosło 76,0%. Stopień redukcji ChZT dla wszystkich serii był bardzo wysoki i przekraczał 95%. Nie zaobserwowano znacznych różnic w pH cieczy opuszczającej reaktor, podczas wszystkich serii pomiarowych pH wynosiło $7,2 \pm 0,1$. Zawartość lotnych kwasów tłuszczowych w odcieku z reaktora na końcu cyklu nie przekraczała 100 mg dm^{-3} lecz zmieniała się i była najniższa dla cyklu 72-godzinnego ($50,8 \text{ mg dm}^{-3}$), a najwyższa dla cyklu 12-godzinnego ($88,2 \text{ mg dm}^{-3}$).

Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy zachowanym stałym obciążeniu reaktora beztlenowego, pracującego w trybie sekwencyjnym, oraz stałych wartościach innych parametrów procesowych (temperatura, pH) istnieje optymalny czas trwania pojedynczego cyklu, dla którego szybkość wytwarzania biogazu w reaktorze sekwencyjnym jest największa.

LITERATURA

1. A. Keshtkar, H. Ghaforian, G. Abolhamd, B. Meyssami: Biore. Techn., 80, nr 1, 9 (2001).
2. Sz. Göblös, P. Portörő D. Bordás, M. Kálmán, I. Kiss: Renew. Energy, 33, nr 5, 960 (2008).
3. L. van der Berg, K.J. Kennedy: Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, Pennsylvania: Technomic Publishing Company, 1992.