



Wpływ obciążenia hydraulicznego Okresowego Bioreaktora Beztlenowego odciekami na warunki termiczne fermentacji oraz skład wytwarzanego biogazu

Andrzej Białowiec^{}, Dariusz Wiśniewski^{**},*

Jakub Pulka^{}, Arkadiusz Wiśniewski^{***}*

^{}Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław*

*^{**}Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn*

*^{***}Zakład Usług Komunalnych USKOM Sp. z o.o., Mława*

1. Wstęp

Technologia biostabilizacji odpadów komunalnych w bioreaktorach beztlenowych powinna być rozpatrywana jako element większej całości do procesów mechaniczno-biologicznego przekształcania odpadów. Polega ona na systemie kontrolowanej, przyspieszonej fermentacji odpadów organicznych, która zachodzi w przyzmię mającej status bioreaktora. W porównaniu do tradycyjnego składowiska, w którym również jako efekt zachodzących przemian biologicznych powstaje biogaz stabilizacja odpadów organicznych w bioreaktorze następuje po okresie do 5 lat, gdy w przypadku tradycyjnych składowisk czas stabilizacji odpadów liczony jest w dekadach. Z racji konstrukcji oraz sposobu eksploatacji, bioreaktor beztlenowy jest bioreaktorem okresowym o charakterze reaktora samozagrzewającego się. Odpady, substrat, dostarczone są do wnętrza hałdy „jednorazowo”, następnie reaktor jest zamykany, układana jest instalacja odgazowania, instalacja nawadniania (recyrkulacji odcieków) oraz urządzenia kontrolno-pomiarowe. Od tego momentu rozpoczyna się eksploatacja polegająca na optymalizacji warunków fermentacji metanowej poprzez odbiór, uzdatnienie i recyrkulację odcieków. Po

ustaniu intensywnych procesów fermentacyjnych, realizowane jest napowietrzanie masy odpadów w celu zwiększenia stopnia stabilizacji materii organicznej oraz usunięcia związków odorotwórczych. Po tym zabiegu następuje ostatni cykl pracy reaktora – otwarcie i wydobycie ustabilizowanych odpadów, które kierowane są do mechanicznego przetwarzania. Po wydobyciu odpadów cykl pracy może zostać powtórzony po wykonaniu prac przeglądowych i konserwacyjnych infrastruktury bioreaktora i ułożeniu nowych odpadów.

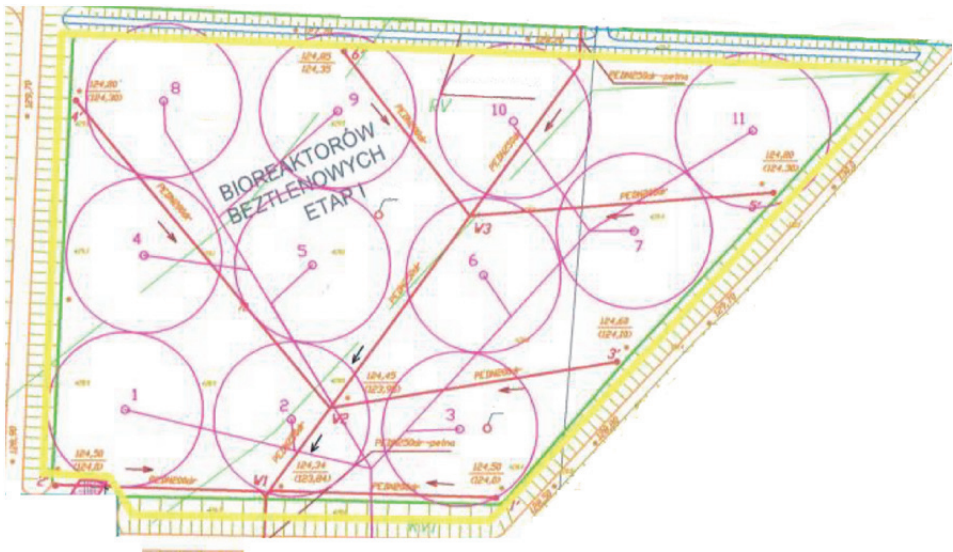
Rozwiązania bioreaktorów beztlenowych do biostabilizacji odpadów komunalnych wynikają z wcześniejszych doświadczeń z eksploatacją tradycyjnych składowisk oraz składowisk typu „dry tomb – suchy grób”. Bioreaktory beztlenowe stosowane są na świecie głównie w USA, Kanadzie, Nowej Zelandii, Australii, ale także w krajach europejskich: Wielkiej Brytanii, Włoszech, Francji, czy też ostatnio uruchomiona tego typu instalacja pod Helsinkami w Finlandii [9]. Genezą technologii biostabilizacji odpadów komunalnych w bioreaktorach były doświadczenia zdobyte podczas pierwszych prób z recyrkulacją odcieków na składowiskach odpadów [2]. Bioreaktory beztlenowe, (w polskiej nomenklaturze pewną modyfikacją bioreaktorów beztlenowych były przyzmy energetyczne) konstruowane są w celu przyspieszenia procesów stabilizacji biologicznej materii organicznej w odpadach oraz intensyfikacji produkcji biogazu. Głównie osiągnię jest to poprzez recyrkulację odcieków. Recyrkulacja odcieków zapewnia utrzymanie wilgotności odpadów bliskiej pojemności wodnej odpadów oraz dostarcza mikroorganizmom niezbędne związki biogenne [4]. Keefe, Chynoweth [8] wykazali, że recyrkulacja odcieków jest efektywną metodą zwiększenia produkcji biogazu, ponieważ odpływ z reaktora zawiera odcieki o wysokiej zasadowości oraz zaadaptowaną do przemian beztlenowych mikroflorę. Recyrkulacja odcieków powoduje zaszczepienie mikroorganizmami nowych warstw odpadów przyspieszając wdrożenie procesów metanogenezy, umożliwia utrzymanie stałego przepływu wód przez masę stabilizowanych odpadów, przyspiesza procesy osiadania hałdy, intensyfikuje procesy produkcji biogazu, przyspiesza procesy stabilizacji materii organicznej w odpadach, powoduje wymycie zanieczyszczeń z odpadów, obniża zagrożenia pożarem oraz emisję pyłów do atmosfery [5].

W Polsce przyjęło się projektować bioreaktory beztlenowe jako tzw. przyzmy energetyczne wg stałego schematu, w którym zakładano, iż budowane przyzmy posiadają ujednoczone wymiary. Wg Barana i Turskiego [3] do powstania bioreaktora beztlenowego potrzebny jest teren o wymiarach 55x85 m oraz wykop o głębokości 2 m pod poziomem terenu. Wysokość bioreaktora wynosi 9 m nad poziomem terenu. Według Rosik-Dulewskiej [13] przyzma energetyczna ma wymiary ok. 20–55 na 50–85 m. W Polsce dotychczas tego typu przyzmy energetyczne wybudowano w Zakurzewie koło Grudziądza, w Elblągu oraz w miejscowości Zawierz-Rudłowo koło Braniewa. Były to obiekty opracowane przez szwedzką firmę SWECO, zgodne z powyżej opisanymi parametrami technologicznymi [2]. Niestety, ze względu na zbyt małe rozmiary oraz błędy eksploatacyjne wynikające z nie przestrzegania określonego przez dostawcę technologii reżimu eksploatacyjnego, przyzmy tego typu nie spełniły założonych oczekiwań. Były to obiekty o chłonności jedynie 20 000 Mg, niestabilne termicznie. W Zakurzewie zdecydowano się zmodyfikować technologię SWECO poprzez zwiększenie chłonności przyzmy z 20 000 Mg do 100 000 Mg. Jak pokazały badania pięciokrotny wzrost chłonności przyzmy spowodował poprawę warunków termicznych w przyzmie i wzrost intensywności produkcji biogazu. Temperatura w typowej przyzmie SWECO, w okresie badań, była na podobnym poziomie jak temperatura otoczenia w zakresie 19–22°C, natomiast warunki w przyzmie zmodyfikowanej charakterystyczne były dla fermentacji mezofilowej w dolnej strefie przyzmy aż do termofilowej w przypowierzchniowej [1]. Uzyskane wyniki badań potwierdzają amerykańskie rekomendacje, aby bioreaktory beztlenowe projektować na chłonność co najmniej 50 000 Mg odpadów [11].

We współpracy z Zakładem Usług Komunalnych USKOM w Sp. z o.o. w Mławie postanowiono wdrożyć uzyskane wcześniej doświadczenia związane ze zmianą wielkości przyzm energetycznych, w Okresowym Bioreaktorze Beztlenowym (OBB) zlokalizowanym w miejscowości Kosiny Bartosowe koło Mławy. Wybudowany OBB poddano monitoringowi, wdrożono także system sterowania recyrkulacją odcieków. W celu optymalizacji procesu, w 2013 roku zrealizowano projekt badawczo-rozwojowy którego jednym z celów było określenie wpływu obciążenia hydraulicznego recyrkulowanymi odciekami OBB na warunki fermentacji metanowej oraz właściwości ujmowanego biogazu.

2. Materiały i metody

Zaprojektowany i wybudowany OBB w Kosinach Bartosowych koło Mławy posiada łączną chłonność 200 000 Mg odpadów. OBB podzielono na 3 kwatery. Badania prowadzono na kwaterze OBB etap 1, której chłonność wynosiła 70000 Mg odpadów. W dniu 10.07.2013 r. wykonano w OBB 11 otworów, w których zainstalowano studnie odgazowujące. Lokalizacje oraz numeracje studni zaprezentowano na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja 11 studni odgazowujących na OBB

Fig. 1. 11 biogas extraction wells location in OBB

W OBB wokół 8 studni wydzielono strefy nawadniania odciekami o promieniu 3 m, każda. Nawadnianie dokonywano codziennie poprzez rozlanie w strefie nawadniania odpowiedniej porcji odcieków. Nawadnianie prowadzono wg zróżnicowanego obciążenia hydraulicznego recyrkulowanymi odciekami. Obciążenie hydrauliczne odciekami (HLR) dobrano w zakresie od 0 do 4 mm/d. W obszarach studni 1, 5 i 6 nie prowadzono nawadniania odciekami – są to studnie referencyjne. Natomiast studnie S8 i S11 ujmowały gaz ze strefy HLR 0,5 mm/d, studnie S7 i S10 ze strefy HLR 1 mm/d, studnie S3 i S4 ze strefy HLR 2 mm/d, a studnie S2 i S9 ze strefy HLR 4 mm/d. Badania realizowano w okresie 3 tygodni.

W każdej ze studni prowadzono monitoring temperatury oraz właściwości powstającego gazu. Określano skład gazu w zakresie: CH₄, CO₂ i O₂. Analizy prowadzono codziennie. Pomiary wykonywano analizatorem biogazu model GA2000. Analizy wykonano na różnych głębokościach studni w odstępach co 1 metr. Równocześnie wykonywano pomiary temperatury w OBB na różnych głębokościach. Pomiaru dokonano zestawem 8 termopar, spuszcanych do studni podłączonych do miernika temperatury.

W trakcie montażu studni, za pomocą wiertnic pobierano próbki odpadów z reaktora. Łącznie pobrano 11 próbek. Pobrane próbki poddano badaniom w zakresie (skład morfologiczny i frakcyjny, oznaczenie frakcji biodegradowalnej metodą selektywnego rozpuszczania, wilgotność odpadów, straty przy prażeniu, aktywność oddechowa – AT₄, potencjał produkcji biogazu – GB₂₁).

Jako miarę rozrzutu uzyskanych wyników przedstawiono odchylenia standardowe. Na wykresach podano wartości testu Fischera (F) analizy ANOVA wraz z wyliczonym prawdopodobieństwem oraz statystyczne zróżnicowanie wyróżnione literami.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Właściwości odpadów

Odpady wydobyte z OBB posiadają typowe właściwości odpadów komunalnych. Jedynym wyjątkiem jest brak w składzie morfologicznym odpadów spożywczych. Wynika to z tego, iż w trakcie kilkumiesięcznego przebywania w OBB materia ta uległa fizycznej destrukcji w wyniku procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych i zasilila tzw. frakcję drobną (tabela 1). W odpadach dominuje frakcja drobna < 20 mm oraz tworzywa. Odpady zdeponowane w OBB są biologicznie nie ustabilizowane o czym świadczy AT₄ powyżej 65 mg O₂/g s.m. oraz charakteryzują się dużym potencjałem produkcji biogazu GB₂₁ powyżej 80 dm³/kg s.m. (tabela 2).

Tabela 1. Skład morfologiczny odpadów wydobytych z OBB
Table 1. Waste morphological composition recovered from OBB

Grupa odpadów	Numer studni											Średnia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Frakcja drobna <20 mm	31,8	23,9	35,0	30,9	29,8	53,9	44,9	52,4	44,9	34,1	50,3	39,3
Odpady spożywcze	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6
Papier	6,2	3,0	0,7	0,4	4,3	3,9	0,0	6,4	1,1	9,8	3,4	3,6
Tworzywa	29,4	23,4	39,3	21,6	36,5	23,5	38,4	27,5	30,2	28,1	24,6	29,3
Tekstylia	9,7	29,6	12,8	17,6	10,2	6,0	1,0	2,1	3,4	9,5	7,2	9,9
Szkło	0,4	0,5	0,3	0,5	1,4	1,3	1,3	0,9	1,4	1,0	0,4	0,8
Metale	12,3	2,8	8,2	9,3	6,0	1,0	0,4	0,9	8,8	0,4	7,9	5,3
Pozostałe organiczne	1,3	1,5	0,7	5,6	1,1	0,6	7,4	4,0	2,2	1,9	2,1	2,6
Pozostałe mineralne	0,6	0,4	0,4	6,7	0,6	2,5	4,0	0,7	0,4	2,4	1,4	1,8
Higieniczne	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,1	3,0	3,5	1,3	1,6
Pozostałe	8,4	14,6	2,6	7,3	10,1	7,2	1,2	4,9	4,6	8,7	1,3	6,4

Tabela 2. Właściwości odpadów wydobytych z OBB
Table 2. Waste parameters recovered from OBB

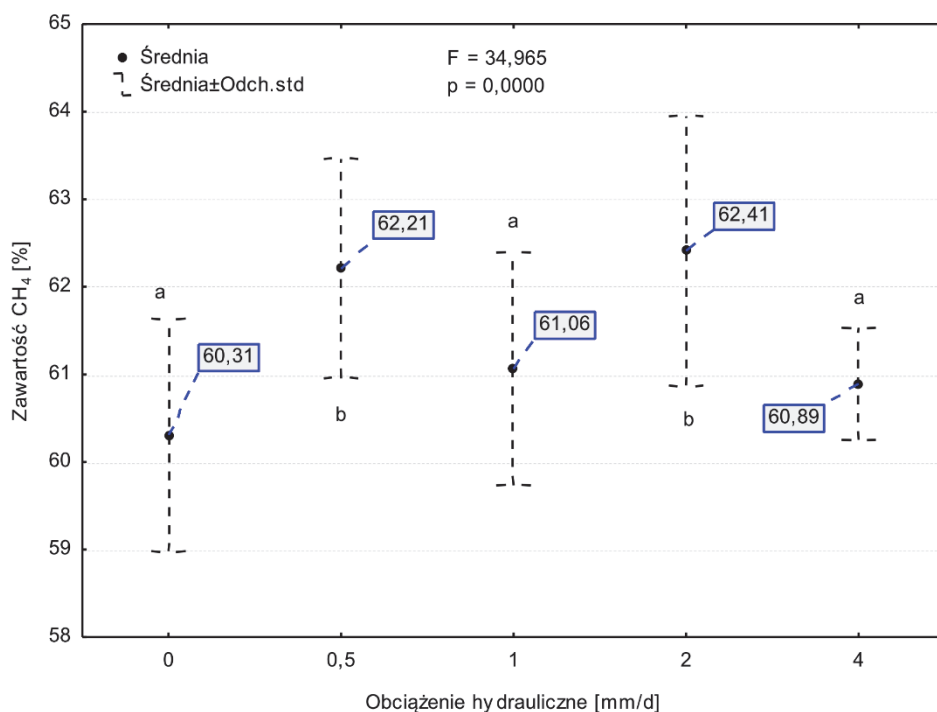
Parametr odpadów	Numer studni											Średnia
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Wilgotność [%]	23,7	27,0	19,1	32,3	35,5	30,2	27,0	30,1	26,84	34,9	21,7	28,0
Straty przy prażeniu [% s.m.]	57,3	72,7	51,8	61,9	55,4	71,6	54,5	69,9	56,2	64,6	64,4	61,9
Frakcja biodegr. [% s.m.]	45,7	58,1	41,6	49,2	44,1	56,9	43,2	55,8	44,9	51,3	50,7	49,2
AT ₄ [mgO ₂ /g s.m.]	61,8	78,3	55,2	66,4	59,3	76,4	58,8	75,2	60,5	60,1	69,5	65,6
GB ₂₁ [dm ³ /kg s.m.]	74,3	92,1	68,2	84,8	75,1	94,2	73,7	91,9	73,8	76,5	84,6	80,8

Przeprowadzone analizy odpadów wydobytych z OBB wskazują na:

- wysoką aktywność biologiczną materiału,
- niski stopień jego stabilizacji,
- wysoki potencjał produkcji biogazu,
- wysoki udział tworzyw sztucznych, co po rozkopaniu OBB pozwolić może na efektywne wytworzenie paliwa RDF lub recykling materiałowy.

3.2. Właściwości biogazu

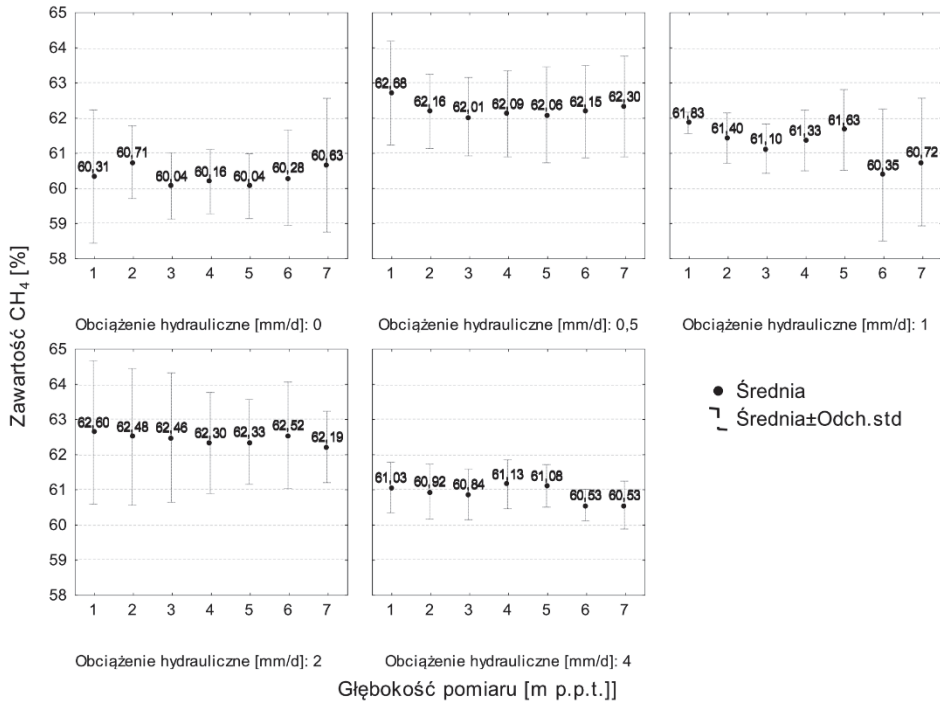
Przeprowadzone analizy składu biogazu potwierdziły podatność odpadów na rozkład biologiczny, a co za tym idzie wysoki potencjał produkcji biogazu. W studniach referencyjnych (bez recyrkulacji odcieków) stwierdzono zawartość metanu na średnim poziomie 60,3% (rysunek 2). Przeprowadzone pomiary stężenia metanu na różnych głębokościach wykazały także, iż jego stężenie jest stabilne i nie zależy od głębokości (rysunek 3). Analizy statystyczne ANOVA wsparte testem Tukeya na poziomie istotności $p < 0,05$ wykazały, iż wdrożenie recyrkulacji odcieków zwiększyło istotnie zawartość metanu w dwóch przypadkach: przy obciążeniu hydraulicznym odciekami 0,5 i 2 mm/d (rysunek 2).



Rys. 2. Średnia zawartość metanu w studniach odgazowujących ujmujących biogaz z OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recyrkulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d

Fig. 2. Mean methane content in biogas wells in OBB located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

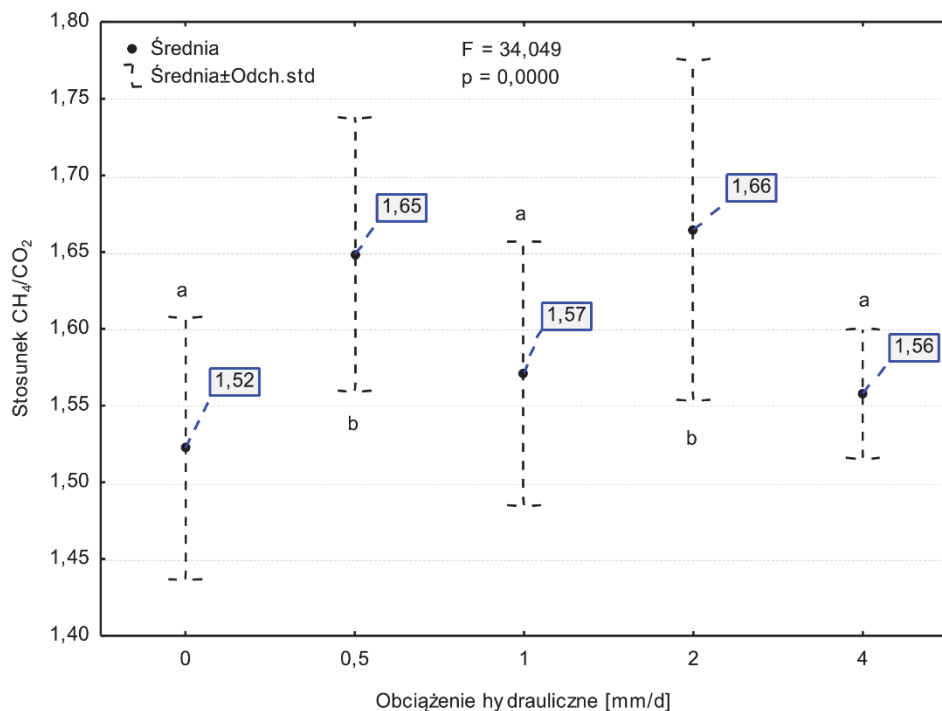
Pomiary stężenia CH_4 na różnych głębokościach w studniach ujmujących biogaz ze stref z wdrożoną recyrkulacją, podobnie jak w studniach referencyjnych, wykazały stabilny rozkład stężeń (rysunek 3).



Rys. 3. Średnia zawartość metanu na różnych głębokościach w studniach odgazowujących ujmujących biogaz z OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recyrkulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d
Fig. 3. The average content of methane in the biogas from OBB biogas extraction wells, depending of the depth, located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

Miarą stabilności procesu metanogenezy jest wartość stosunku CH_4/CO_2 . W przypadku wartości powyżej 1,25 w reaktorze proces fermentacji metanowej jest stabilny [7]. Zaobserwowano iż we wszystkich wariantach doświadczenia wartość CH_4/CO_2 była zdecydowania powyżej wartości granicznej. W przypadku studni referencyjnej stosunek CH_4/CO_2 przyjmował średnią wartość 1,52. Potwierdzono korzystny wpływ wszystkich testowanych wariantów recyrkulacji odcieków na

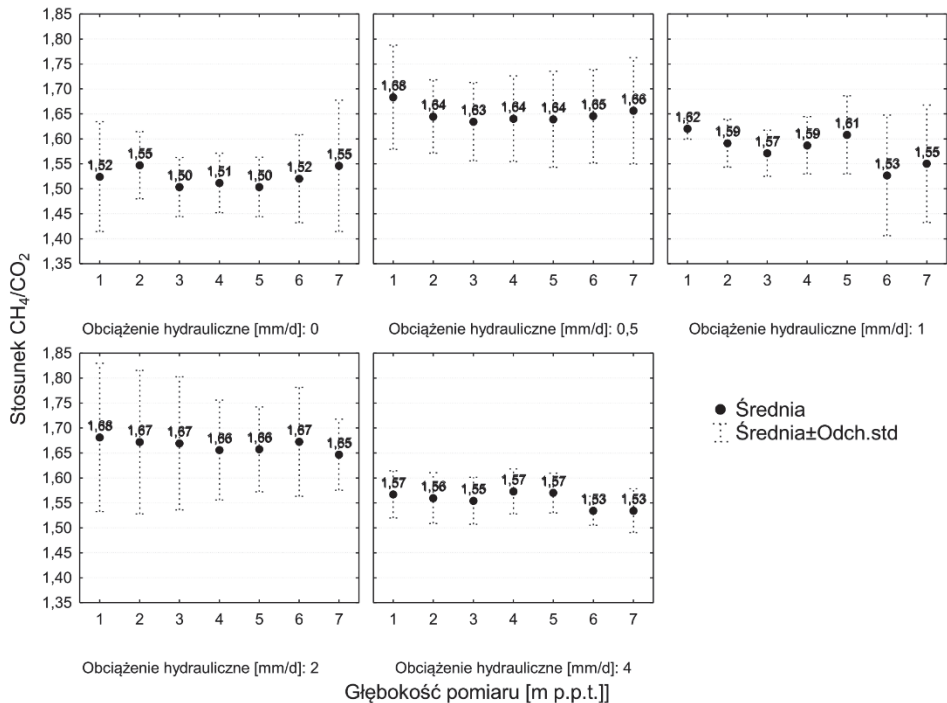
wzrost stabilności procesu metanogenezy, przy czym przy obciążeniu hydraulicznym odciekami 0,5 i 2 mm/d wpływ ten był statystycznie istotny (rysunek 4).



Rys. 4. Średnia wartość stosunku CH_4/CO_2 w biogazie ujmowanym w studniach odgazowujących OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recykulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d

Fig. 4. Mean values of CH_4/CO_2 ratio in the biogas wells in OBB located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

Przeprowadzone badania wykazały także, iż proces fermentacji zachodził stabilnie w całym przekroju reaktora we wszystkich testowanych wariantach (rysunek 5).

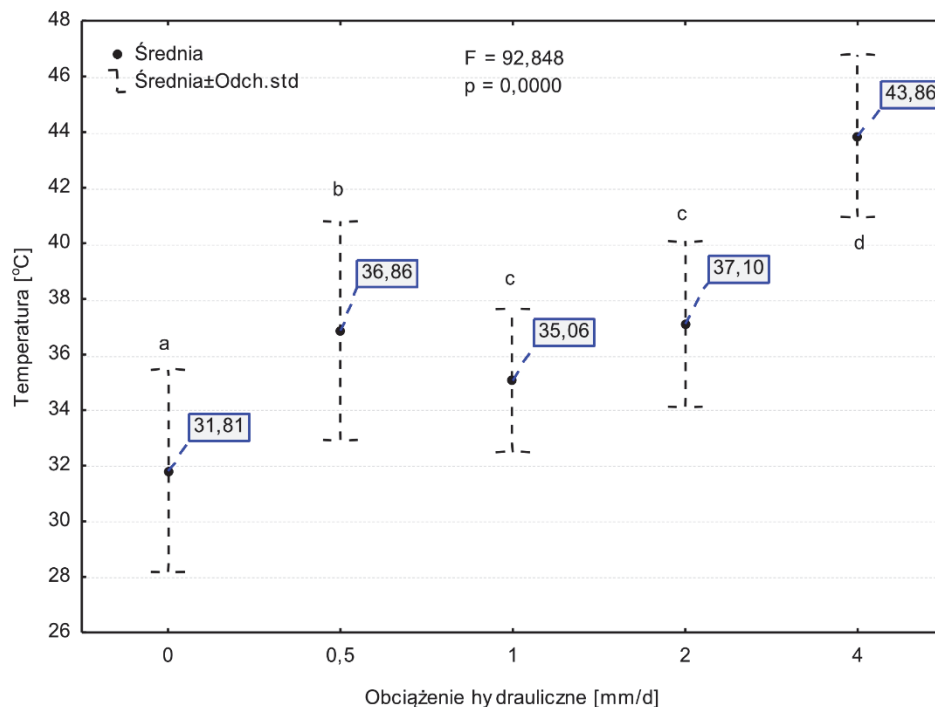


Rys. 5. Średnia wartość stosunku CH₄/CO₂ w biogazie ujmowanym na różnych głębokościach w studniach odgazowujących OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recykulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d
Fig. 5. The average values of CH₄/CO₂ ratio of the biogas from OBB biogas extraction wells, depending on the depth, located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

3.3. Warunki procesu fermentacji

Miarą aktywności mikrobiologicznej w reaktorze może być temperatura. W trakcie eksperymentu prowadzono pomiary temperatury w studniach odgazowujących na różnych głębokościach. Stwierdzono, iż temperatury w studniach referencyjnych (bez recyrkulacji) były w dolnym zakresie temperatur mezofilowych, średnio 31,8°C, a więc charakterystycznych dla stabilnej fermentacji (rysunek 6). Eksperyment potwierdził korzystny wpływ recyrkulacji na aktywność mikrobiologiczną, spowodował podniesienie średniej temperatury w reaktorze we wszystkich wariantach z recyrkulacją do wartości od 35 do 37°C, co charaktery-

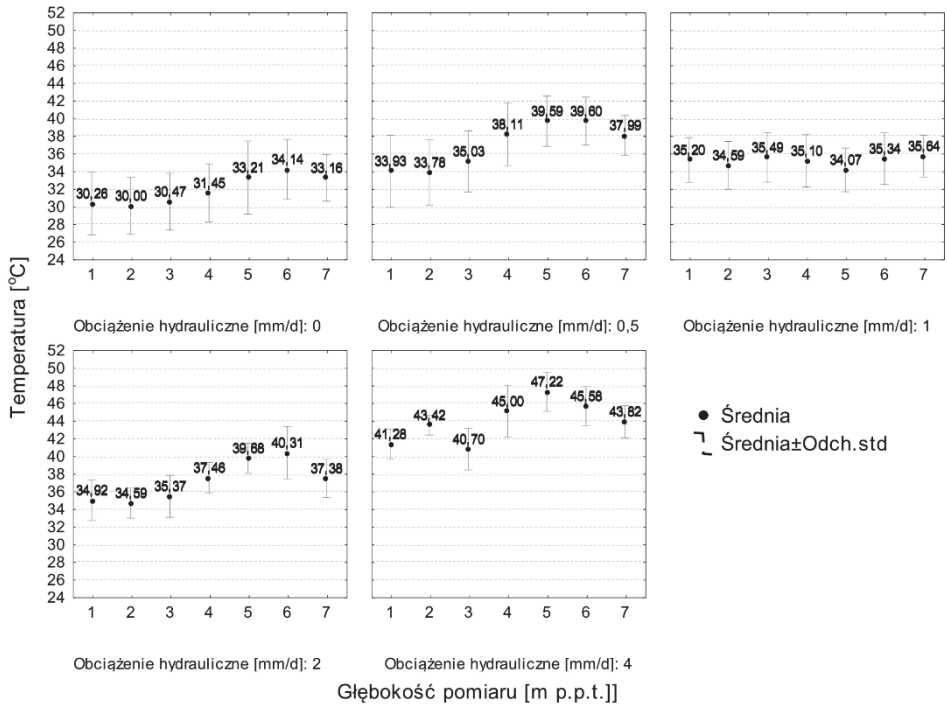
styczne jest dla intensywnej metanogenezy mezofilowej, a w przypadku obciążenia hydraulicznego 4 mm/d temperatura zbliżyła się do wartości termofilowych (rysunek 6).



Rys. 6. Średnia wartość temperatury w studniach odgazowujących OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recykulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d
Fig. 6. The average values of temperature in OBB biogas wells located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

Pomiary temperatury na różnych głębokościach wykazały, iż najwyższe temperatury uzyskiwano w strefie głębokości 5–7 m (rysunek 7), co szczególnie uwidoczniło się w wariantach z recyrkulacją odcieków.

Warunki termiczne zależą głównie od 2 czynników, temperatury powstałej na skutek procesów biochemicznych oraz temperatury traconej na skutek przenoszenia ciepła na zewnątrz bioreaktora gdzie temperatura jest mniejsza. Recyrkulacja odcieków jest jedną z metod umożliwiających podwyższenie temperatury w bioreaktorze. W opracowaniu [12] badano wpływ recyrkulacji bądź jej braku na rozkład materii organicznej. Jednym z kryteriów był wpływ recyrkulacji na temperaturę w komorze.



Rys. 7. Średnia wartość temperatury na różnych głębokościach w studniach odgazowujących OBB ze stref o obciążeniu hydraulicznym recyrkulowanymi odciekami w zakresie od 0 do 4 mm/d

Fig. 7. The average values of temperatures of the biogas from OBB biogas extraction wells, depending on the depth, located in recirculation zones with hydraulic loading rate from 0 to 4 mm/d

Na początku w obu komorach temperatura w powierzchniowej warstwie odpadów wzrosła do 50–55°C. Następnie temperatura w komorze bez recyrkulacji spadła do około 25–32°C, podczas gdy temperatura w komorze z recyrkulacją początkowo spadła, by w późniejszym etapie wzrosnąć do 35°C w dolnej warstwie i do 40°C w warstwie środkowej i górnej. Spowodowane to było większą aktywnością mikroorganizmów w środowisku z wyższą wilgotnością. Specyficzna produkcja ciepła w składowiskach bioreaktorów wynikająca z aktywności biologicznej zmienia się w dość szerokim zakresie. Yesiller i in. [10] dla składowisk bioreaktorów amerykańskim podają wartości od 23 do 77 MJ/m³ przez okres 1 roku.

Procesy biochemiczne, głównie fermentacja metanowa zachodzą w specyficznych warunkach temperatury. Fermentację metanową można przeprowadzać w temperaturach psychrofilnych od 5 do 25°C, mezofilnych od 25 do 45°C, oraz termofilnych od 45 do 60°C. W praktyce z racji wydajności wykorzystuje się fermentację w warunkach mezofilnych i termofilnych. Temperatura w reaktorze może wpływać na ilość metanu w produkowanym biogazie [3]. Inne badania wskazują, że ilość biogazu powstała z gospodarstw domowych jest największa w temperaturze około 40°C. Ilość metanu w biogazie jest niezwykle istotna w kwestii wykorzystaniu biogazu jako surowca energetycznego. Temperatura w bioreaktorze jest niezwykle istotna w procesie produkcji biogazu, biostabilizacji odpadów oraz redukcji masy odpadów.

Uzyskane wyniki pomiarów dokonywanych poprzez studnie otwarte potwierdzają przyjęte założenia o korzystnym wpływie recyrkulacji odcieków na intensywność przemian biologicznych i produkcję biogazu w OBB.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy wykazały, iż złożone w OBB odpady są podatne na rozkład biologiczny, posiadają wysoki potencjał produkcji biogazu.

Badania potwierdziły, iż stosowanie recyrkulacji odcieków w zakresie obciążeń hydraulicznych odciekami od 1 do 4 mm/d korzystanie wpływa na aktywność mikrobiologiczną w OBB, na stabilność procesu metanogenezy oraz jakość uzyskanego gazu. W związku z tym, iż w zakresie obciążenia hydraulicznego odciekami 1 do 4 mm/d nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w efektywności procesu metanogenezy, biorąc pod uwagę możliwość zbyt intensywnej produkcji odcieków przy obciążeniach hydraulicznych 2 i 4 mm/d, zaproponowano stosowanie obciążenia hydraulicznego odciekami 1 mm/d.

Podziękowania

Artykuł przygotowany został dzięki finansowemu wsparciu z projektu celowy finansowanego przez Centrum Innowacji NOT pt. Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej instalacji sterowania pracą Okresowego Bioreaktora Beztlenowego". Numer projektu ROW-III-306/2012.

Literatura

1. **Agopsowicz M. Białowiec A. Radziemska M.:** *Badania pryzm energetycznych w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów w Zakurzewie koło Grudziądza, zakończone sprawozdaniem pt. Raport z badań pryzm energetycznych w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów w Zakurzewie koło Grudziądza.* Na zlecenie Miejskiego Zakładu Użyteczności Publicznej w Grudziądzu. 2004.
2. **Agopsowicz M. Białowiec A. Radziemska M.:** *Municipal waste disposal in energetic piles in SWECO technology – seven years of operation and what now?* Archives of Environmental Protection, 32 (3), 55–66 (2006).
3. **Baran S., Turski R.:** *Wybrane zagadnienia z utylizacji i unieszkodliwiania odpadów.* Wydawnictwo Akademii Rolniczej 1999.
4. **Barlaz M.A. Benson C.H. Lane D.T. Rawe J.M.:** *Practice review of five bioreactor/ recirculation landfills.* Waste Management 27, 13–29 (2007).
5. **Beaven R.P. Braithwaite P. Knox K., Rosevear A.:** *A technical review of leachate recirculation.* The Proceedings of the XIth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1–5 October 2007.
6. **Blakey N.C., Bradshaw K., Reynolds P., Knox K.:** *Bioreactor landfill a field trial of accelerated waste stabilization.* Proceedings from Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium, 1, 375–386 (1997).
7. **Bockreis A., Steinberg I.:** *Influence of mechanical – biological waste pre-treatment methods on the gas formation in landfills.* Waste Management 25, 337–343 (2005).
8. **Chynoweth D.P. Keefe D.M.:** *Influence of phase separation, leachate recycle and aeration on treatment of municipal solid waste in simulated landfill cells.* Bioresource Technology. 72, 55–66 (2000).
9. **Ettala M. Laurila T. Sormunen K. Taskinen J. Uusihakala M Valtari M.:** *Leachate quality and water balance in a new bioreactor landfill.* Proceedings Sardinia 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 3–7 October 2011.
10. **Yeşiller N., Hanson J.L., Liu W.L.:** *Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills.* Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131, 1330–1344 (2005).
11. **Ko J. Kumar D. Townsend T.:** *Bioreactor Landfill Operation: A Guide for Development, Implementation and Monitoring: version 1.0* Prepared for the Hinkley Center for Solid and Hazardous Waste Management, Gainesville, FL. 2008.

12. **Mehta R. Barlaz M. Yazdani R. Augenstein D. Bryars, M. Sinderson L.:** *Refuse decomposition in the presence and absence of leachate recirculation*. Journal of Environmental Engineering, 128, (3), 228–236 (2002).
13. **Rosik-Dulewska C.:** *Podstawy gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN. 2010.

Influence of Hydraulic Loading Rate of Sequence-Anaerobic-Bioreactor on Fermentation Conditions and Generation of Biogas

Abstract

The technology of municipal solid waste biological treatment in Sequence-Anaerobic-Bioreactors consists an enhanced, and controlled fermentation occurring in waste heap having status of bioreactor. Comparing to traditional landfills, where also as an effect of biological processes biogas is generated, the organic waste stabilization is accomplished after 5 years. According to construction, and operation regime, the reactor is a sequence bioreactor having self-heating character. Waste, substrate, are delivered into bioreactor once time, bioreactor is closed, gas extraction and leachate recirculation system, and monitoring devices are installed. Finally mineral sealing is placed. From that moment optimization of conditions of fermentation process by gathering, treatment, and recirculation of leachate starts. Sequence-Anaerobic-Bioreactor has been implemented by USKOM Ltd. Enterprise in location of Kosiny Bartosowe near Mława. Bioreactor has total capacity of municipal solid waste 200000 Mg. The research on the influence of recirculation of leachate on Sequence-Anaerobic-Bioreactor, with hydraulic loading rate ranging from 0 to 4 mm/d, on fermentation conditions and biogas composition were done. The measurements of temperature inside the bioreactor, and gas composition in gas wells were executed. The implementation of leachate recirculation with hydraulic loading rate from 1 to 4 mm/d improved the fermentation conditions and quality of generated biogas. The hydraulic loading rate of leachate 1 mm/d has been proposed for application.

Słowa kluczowe:

biogaz, odcieki, recyrkulacja, bioreaktor, odpady komunalne, temperatura

Keywords:

biogas, leachate, recirculation, bioreactor, municipal solid waste, temperature