

---

***PRACE***

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Building Materials

---

**Nr 10**

ISSN 1899-3230

**Rok V**

**Warszawa–Opole 2012**

---

GRZEGORZ SIEMIĄTKOWSKI\*  
MACIEJ PACIORKOWSKI\*\*  
JOANNA POLUSZYŃSKA\*\*\*

# Określenie ilości wytwarzanego gazu w teście fermentacyjnym (GB21) lub inkubacyjnym (GS21) – parametry nieujęte w prawodawstwie polskim dotyczącym mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych

**Słowa kluczowe:** mechaniczno-biologiczne przetwarzanie, odpady, GS21, GB21.

W artykule przedstawiono parametry, które w prawodawstwach państw preferujących mechaniczno-biologiczną metodę przetwarzania odpadów najczęściej są stosowane do oceny utraty zdolności dalszego biologicznego rozkładu stabilizatu. Omówiono również metody przeprowadzania badań stabilizatu polegające na określeniu potencjału tworzenia się biogazu w procesie inkubacji (GS21) i fermentacji (GB21). W opracowaniu przekazano także informacje na temat przeprowadzonych na zlecenie austriackiego Ministerstwa ds. Rolnictwa i Leśnictwa, Środowiska i Gospodarki Wodnej badań biegłości dla określenia parametrów GS21 i GB21 dotyczące tej samej próby stabilizatu oraz porównano obie metody badawcze.

## 1. Wprowadzenie

Na obszarze Unii Europejskiej krajami, w których od wielu lat dominującym sposobem zagospodarowania bioodpadów i odpadów komunalnych jest ich kompostowa-

---

\* Dr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

\*\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

\*\*\* Mgr, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Inżynierii Procesowej Materiałów Budowlanych w Opolu.

nie i mechaniczno-biologiczne przetwarzanie są Austria i Niemcy [1]. Polska, wzorem tych państw, również jako główny trend, w zagospodarowaniu zmieszanych odpadów komunalnych wytyczyła mechaniczno-biologiczne przetwarzanie [2–3].

Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów w pierwszej fazie polega na mechanicznym rozdrabnianiu, przesiewaniu, sortowaniu, klasyfikacji i separacji, mającej na celu rozdzielenie strumienia zmieszanych odpadów komunalnych na frakcje, które da się wykorzystać materiałowo lub/i energetycznie oraz na frakcję ulegającą biodegradacji. Frakcja ulegająca biodegradacji poddawana jest drugiej fazie procesu, czyli przetwarzaniu biologicznemu w warunkach tlenowych lub beztlenowych. Celem procesu biologicznego przetwarzania odpadów jest ich możliwie szybka stabilizacja, w wyniku której rozkładowi ulegnie frakcja organiczna. Zostanie ona częściowo zmineralizowana, a częściowo przekształcona w nową bardziej trwałą frakcję organiczną (tzw. stabilizat) oraz ograniczona zostanie zdolność tej frakcji do dalszego rozkładu w procesie tlenowym i beztlenowym. Zatem efektem procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów komunalnych jest redukcja masy i objętości odpadów dotychczas deponowanych na składowisku oraz ograniczenie emisji metanu (zaliczanego do gazów cieplarnianych), będącej wynikiem rozkładu frakcji organicznej odpadów [4].

Powstały w procesie biologicznego przetwarzania odpadów stabilizat jest przeznaczony głównie do unieszkodliwiania poprzez składowanie na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Aby stabilizat mógł być deponowany na składowisku, proces biologicznego przetwarzania musi być prowadzony w taki sposób, by w końcowym efekcie stabilizat spełniał określone prawnie warunki.

Głównymi parametrami powtarzającymi się w prawodawstwach państw stosujących od wielu lat mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów (np. Austria i Niemcy), dopuszczającymi deponowanie stabilizatu na składowiskach, jest określanie granicznych wartości:

- ciepła spalania;
- aktywności oddychania AT4 w mg O<sub>2</sub>/g s.m.<sup>1</sup> – oznaczana w warunkach tlenowych;
- potencjału tworzenia się biogazu – poprzez oznaczenie parametru GS21 (proces inkubacji) lub GB21 (proces fermentacji) w l<sub>n</sub>/kg s.m. – oznaczany w warunkach beztlenowych;

---

<sup>1</sup> Ze względu na wielokrotne powoływanie się w artykule na zapisy aktów prawnych Polski, Niemiec i Austrii [pozycje literaturowe nr 5–9], w niniejszym artykule nie stosuje się jednostek miar układu SI, ale jednostki miar zwyczajowe, które są jednakowo wyrażane we wszystkich wyżej wymienionych cytowanych dokumentach.

– zawartości węgla organicznego w % suchej masy i/lub w eluencie w mg/l [5–6].

Z powyższego zakresu parametrów niezbędnych do określania stabilizatu można dostrzec, że zarówno w Niemczech, jak i w Austrii uznano, iż dla oceny utraty zdolności do dalszego biologicznego rozkładu stabilizatu najbardziej odpowiednimi parametrami są w warunkach tlenowych – aktywność oddychania (AT4) oraz w warunkach beztlenowych – określenie potencjału tworzenia się biogazu w procesie inkubacji (GS21) lub fermentacji (GB21). W obu państwach wartości graniczne dla potencjału tworzenia się biogazu (bez względu na proces) określono na tym samym poziomie, tzn.  $20 \text{ l}_n/\text{kg s.m.}$  Są jednak pewne różnice w prawodawstwie tych dwóch państw. W Austrii parametry AT4 i GS21 lub GB21 są oznaczane obligatoryjnie, natomiast w Niemczech wystarczy określić jeden z parametrów (AT4 lub GB21), który spełni wymagania graniczne [5–6].

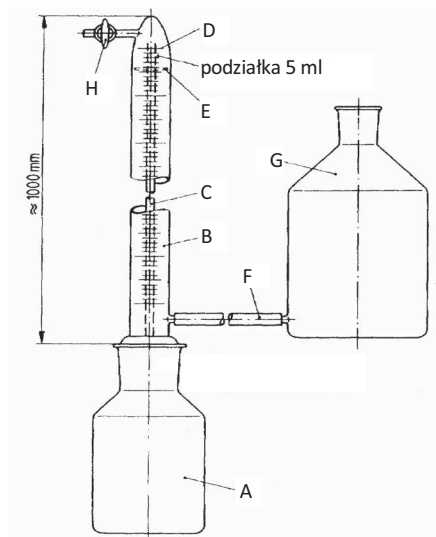
W przygotowywanym prawodawstwie polskim (projekt rozporządzenia Ministra Środowiska z 7 maja 2012 r. w sprawie mechaniczno-biologicznego przetwarzania zmieszanych odpadów komunalnych, który został przekazany w celu notyfikacji technicznej do Komisji Europejskiej) jedynym parametrem pozwalającym na ocenę utraty zdolności do dalszego biologicznego rozkładu stabilizatu jest aktywność oddychania (AT4), która dodatkowo jest proponowana do oznaczania jako alternatywna. Zagadnienie określania potencjału biogazu (parametr GS21 lub GB21) zostało całkowicie pominięte [7].

Określenie potencjału tworzenia się biogazu w procesie inkubacji (GS21) lub fermentacji (GB21) polega na wyznaczeniu objętości suchego biogazu lub korzystniejszej metanu (w normalnych warunkach ciśnienia i temperatury), wytwarzanego przez jednostkę masy wprowadzonego substratu (kg s.m.) w czasie 21 dni.

## **2. Określanie wytwarzania gazów w procesie fermentacji – oznaczanie parametru GB21 [8]**

Metoda oznaczania parametru GB21 służy do laboratoryjnego określania poziomu produkcji gazu w procesie fermentacji przez zaszczerpiiony materiał – stabilizat po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu w ciągu 21 dni. Procedurę badawczą opisano na podstawie prawodawstwa austriackiego określonego w Vornorm Önorm S 2027-3 z 1 października 2004 r.

Do określania właściwości wytwarzanego gazu w procesie fermentacji stosuje się aparaturę zaprezentowaną na rycinie 1.



Ryc. 1. Aparatura laboratoryjna do określania właściwości wytwarzanego gazu w procesie fermentacji (GB21) [8]

Aparatura laboratoryjna do określania właściwości wytwarzanego gazu w procesie fermentacji (GB21) składa się z rurki eudiometrycznej (B) o objętości od 300 ml do 400 ml, stopniowanej od góry do dołu (podziałka 5 ml). Rurka eudiometryczna posadowiona jest na butelkę (A) o objętości 500 ml. Z dna rurki eudiometrycznej wychodzi rurka łącząca (C) butelkę z rurką eudiometryczną. Płyn znajdujący się w eudiometrze jest z niego wypychany, aby zrównoważyć różnicę ciśnień na skutek zwiększania się objętości gazu w całym układzie pomiarowym – co pozwala na pomiar jego objętości. Rurka łącząca butelkę z rurką eudiometryczną utrzymywana jest w danej pozycji za pomocą szklanych precików (E). W dolnej części rurki eudiometrycznej znajduje się cienka rurka (F), która prowadzi do naczynia zbiorczego (G) ze szkła lub tworzywa sztucznego o minimalnej objętości 750 ml. W górnej części rurki eudiometrycznej znajduje się kranik (H) służący do poboru próbek gazowych oraz znacznik do określania punktu zerowego (D).

Aparaturę pomiarową należy umieścić w pomieszczeniu albo w komorze o stałej temperaturze 35°C utrzymywanej z dokładnością do  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Alternatywnie naczynie (A) można umieścić w łaźni wodnej o stałej temperaturze 35°C utrzymywanej z dokładnością do  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Próbkę, która jest podstawą badania (o frakcji poniżej 20 mm), należy utrzymać w stanie wilgotnym. Część próbki o masie min. 100 g (wyznaczonej z dokładnością do 0,1 g) należy odseparować w celu oznaczenia wilgotności. Wilgotność

podaje się w procentach po wysuszeniu odseparowanej 100 g próbki w 105°C utrzymywanej z dokładnością do  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  i porównaniu mas przed i po suszeniu.

W przypadku określania ilości i właściwości wytwarzanego gazu w procesie fermentacji próbkę poddawaną badaniu należy zaszczerpić. Do szczepienia najczęściej wykorzystywany jest odpowiednio przygotowany przefermentowany osad z oczyszczalni ścieków.

Przygotowanie próbki do badań polega na pomieszczeniu ok. 50 g badanej próbki z 50 ml odpowiednio przygotowanego przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków. Uzyskaną w ten sposób mieszaninę trzeba zalać wodą, tak aby otrzymać 300 ml roztworu. Roztworem tym napełnia się butelkę (A). Znajdujące się w butelce powietrze należy usunąć za pomocą azotu i następnie nałożyć na butelkę rurkę eudiometryczną (B). Za pomocą naczynia zbiorczego (G) należy zwiększyć ilość płynu, tak by osiągnął punkt zerowy (D) – w tym celu trzeba odkręcić kranik (H). Butelkę (A) z próbką winno się przechowywać wyłącznie w zaciemnionym miejscu.

Przy każdorazowym odczycie objętości gazu zawartego w rurce eudiometrycznej (B), należy również określić temperaturę powietrza i ciśnienie powietrza, tak by móc ustalić objętość gazu w stanie normalnym. Poziom cieczy winno się – w zależności od ilości wytwarzanego gazu – obniżyć za pomocą otwartego kranika do poziomu zerowego. Działanie to należy wykonać ostrożnie, tak aby do rurki poprzez kranik nie dostało się powietrze.

Oprócz zaszczerpionej badanej próbki odpadu po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu, niezbędne jest prowadzenie równoległych badań kontrolnych dla odpowiednio przygotowanego przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków służącego do szczepienia oraz badań wytworzonego osadu referencyjnego.

Osad referencyjny jest wymagany do kontroli aktywności wykorzystanego do szczepienia odpowiednio przygotowanego przefermentowanego osadu ściekowego. Osad referencyjny uzyskuje się poprzez rozprowadzenie 1 g mikrokryształicznej celulozy w 50 ml odpowiednio przygotowanego przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków, a następnie dodanie wody, tak by uzyskać 300 ml gotowego roztworu. Tak przygotowany roztwór (osad referencyjny) poddaje się badaniom identycznie jak opisano wyżej dla próbki odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu. W przypadku gdy w czasie 21 dni wytworzony gaz nie osiągnie wartości 400 ml (w stanie normalnym) na 1 g celulozy mikrokryształicznej, należy uznać, że przefermentowany osad ściekowy użyty do szczepienia nie nadaje się do przeprowadzenia testu fermentacyjnego.

Oprócz badań osadu referencyjnego, należy przeprowadzić również równoległe analizy odpowiednio przygotowanego przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków wykorzystanego do szczepienia. Badanie to ma określić punkt wyj-

ścia, a więc ilość wytwarzanego gazu z samego tylko odpowiednio przygotowanego prefermentowanego osadu ściekowego wykorzystanego do szczepienia. W celu przygotowania próbki do 50 ml służącego do szczepienia osadu ściekowego dodaje się wodę, aby uzyskać 300 ml roztworu. Taki roztwór poddaje się badaniom w sposób identyczny jak wcześniej opisano dla próbki odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu.

Mając na uwadze wymagania zapisane w normatywie austriackim Vornorm Önorm S 2027-3 z 1 października 2004 r., badania należy przeprowadzić równolegle dla:

- prób odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu – w 3 powtórzeniach,
- osadu referencyjnego – w 2 powtórzeniach,
- prefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków wykorzystanego do szczepienia – w 2 powtórzeniach.

Opisany wyżej proces badawczy musi być nadzorowany dla wszystkich prób i powtórzeń. Przynajmniej raz dziennie należy odczytać ilość gazu, temperaturę powietrza w pomieszczeniu oraz ciśnienie powietrza. W przypadku intensywnego wytwarzania gazu, trzeba parametry te odczytać i odnotować kilka razy w ciągu dnia. W przypadku kiedy naczynie (A) jest umieszczone w łaźni wodnej, dodatkowo należy kontrolować temperaturę wody i jej poziom (ze względu na odparowanie winno się po pewnym czasie dolać wodę).

Pomimo iż opisywana metoda badawcza służy do laboratoryjnego określania poziomu produkcji gazu w procesie fermentacji w ciągu 21 dni, to cały proces badawczy jest dłuższy. Całkowity czas badania składa się bowiem z tzw. *lag-Phase* (fazy opóźnienia) i 21-dniowego czasu oceny. Dla wyznaczenia długości *lag-Phase* należy określić w ciągu każdego dnia badania ( $x$ ) o stałej porze średnią wartość gazu w ml/kg s.m. Badanie to trzeba przeprowadzić w ciągu trzech dni. Do wyników tego badania zostaną porównane wartości średnie z dni  $x-1$ ,  $x$  i  $x+1$ . Następnie należy wyznaczyć ten dzień, od którego 25% maksymalnej wartości średniej z trzech dni zostało trwale przekroczone. Ten dzień stanowi końcówkę *lag-Phase*. Z kolejnym dniem rozpoczyna się 21-dniowy okres oceny. Objętość gazu, wytworzonego w *lag-Phase*, trzeba odjąć od objętości gazu wytworzonego w czasie całego badania (faza opóźnienia + 21 dni). Wynik badania winno się podać w  $l_n/kg$  s.m. Należy podać wartość średnią, jak i odchylenia od wartości średniej w % z wszystkich powtórzeń. Gdy jedna wartość przekroczy 20% wartości średniej, trzeba ją wyeliminować. Obliczenie nowej wartości średniej następuje z obliczeń dwóch pozostałych wartości. Gdy dwie wartości przekroczą wartość 20% wartości średniej, należy ponownie określić wartości średnie poszczególnych osadów.

Wyniki badań uzyskane dla osadu referencyjnego, jak i dla prefermentowanego osadu ściekowego, wykorzystanego do szczepienia, należy podać tak samo jak wyniki dla analizy stabilizatu.

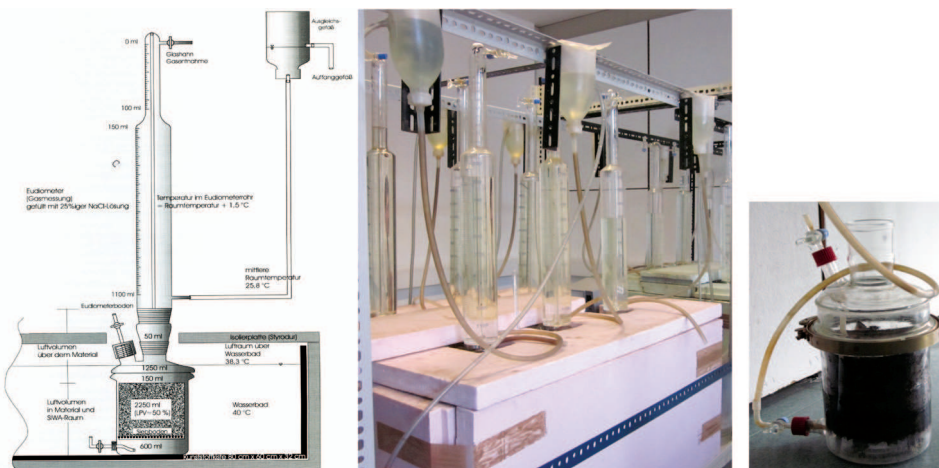


Ważne jest również, aby na początku i końcu badania określić wartość pH. Gdy pod koniec badania wartość pH przekroczy 8,2 lub będzie niższa niż 6,8, nie należy uwzględniać tego wyniku. W przypadku gdy wartość pH już na początku badania nie mieści się w powyższych zakresach, można do roztworu dodać ługu sodowego, ługu potasowego czy kwasu solnego, tak by wartość pH wynosiła między 7,5 a 8,0. Tego typu działania winno się jednak udokumentować.

### 3. Określanie wytwarzania gazów w procesie inkubacji – oznaczanie parametru GS21 [9]

Metodę określania wytwarzania gazów w procesie inkubacji wykorzystuje się w laboratorium do oceny reaktywności biologicznej odpadów w warunkach beztlenowych poprzez wyznaczenie sumarycznej ilości gazu powstałego w okresie 21 dni. W trakcie doświadczenia zostają odzwierciedlane procesy, jakie zachodzą na składowisku odpadów. Określenia sumarycznej ilości gazu dokonuje się w oparciu o pomiar wytworzonej ilości gazu i podaje się (tak samo jak w przypadku testu fermentacyjnego GB21) w  $l_n/kg$  s.m. Podobnie jak w przypadku oznaczania parametru GB21, do opisanego procedury badawczej skorzystano z austriackiego normatywu – Vornorm Önorm S 2027-2 z 1 października 2004 r.

Do określania właściwości wytwarzanego gazu w procesie inkubacji stosuje się aparaturę zobrazowaną na rycinie 2.



Fot. G. Siemiątkowski (b–c).

Ryc. 2. Aparatura laboratoryjna do oznaczania potencjału biogazu w procesie inkubacji (GS21):  
a) schemat aparatury [9], b) przykładowe stanowisko laboratoryjne, c) naczynie reakcyjne

Oznaczanie potencjału biogazu w procesie inkubacji (test inkubacyjny GS21) jest dokonywane w szczelnym szklanym naczyniu reakcyjnym z sitkowym dnem



oraz zaworem szklanym do wydalania skroplin (wody infiltracyjnej). Naczynie to jest w stanie pomieścić 2,5 l badanego materiału. W zamknięciu naczynia reakcyjnego znajduje się kolejny zawór szklany, przez który można dodawać wodę. Dla oznaczania GS21 dodawanie bądź odprowadzanie wody nie jest niezbędnie konieczne. Może jednak czasami pomóc w ocenie właściwości otoczenia w trakcie badania, co jest szczególnie korzystne w przypadku prowadzenia dłuższych analiz. Wieko naczynia reakcyjnego zamyka się za pomocą szybkozłączek. W celu zbierania i określania ilości wytworzonego gazu w procesie inkubacji, w wieku naczynia reakcyjnego, poprzez tzw. złącze szlfowe, montuje się rurkę eudiometryczną. Napelniana jest ona cieczą zaporową. Wytworzony w naczyniu reakcyjnym gaz wypiera poprzez rurę pionową ciecz zaporową do zamontowanego na stałe zbiornika wyrównawczego. Rurka eudiometryczna posiada dwie średnice, dzięki czemu powstają dwa obszary odczytowe. Górny obszar odczytowy – dla niewielkich ilości gazu rzędu ok. 100 ml – wyposażony jest w skalę, która pozwala na odczyt zebranego gazu z dokładnością do 1 ml. W dolnej grubszej części, o pojemności prawie 1 l, można dokonywać odczytu z dokładnością do 10 ml. Poprzez zawór szklany, zamontowany w wierzchołku rury eudiometrycznej, można pobierać próby gazu i za pomocą urządzeń do określania ilości wytwarzanego gazu składowiskowego albo też chromatografu gazowego dokonywać analiz pod kątem zawartości  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  oraz  $\text{O}_2$ .

Opisane naczynie reakcyjne zanurza się w kąpeli wodnej. Każdej odczytanej ilości gazu odpowiada jedna zdefiniowana różnica wysokości w stosunku do zwierciadła cieczy zaporowej w zbiorniku wyrównawczym. To umożliwia skompensowanie wpływu różnego ciśnienia wewnętrznego w rurce eudiometrycznej. Przy każdym odczycie (w zależności od intensywności wydzielania się gazu – czasami wielokrotnie w ciągu dnia) notuje się temperaturę pomieszczenia i ciśnienie powietrza, co umożliwi podawanie wyników pomiarów w przeliczeniu na warunki normalne.

Badanie prowadzi się z zachowaniem następujących parametrów:

- temperatura wody w kąpeli wodnej jest stała i wynosi  $40^\circ\text{C}$ ,
- średnia temperatura pomieszczenia wynosi  $25,8^\circ\text{C}$ ,
- temperatura eudiometru jest o  $1,5^\circ\text{C}$  wyższa od temperatury pomieszczenia,
- temperatura w materiale próbki jest taka sama jak temperatura kąpeli wodnej,
- temperatura ponad materiałem próbki (w obszarze wieczka) jest o  $1,7^\circ\text{C}$  niższa od temperatury wody w kąpeli wodnej i wynosi  $38,3^\circ\text{C}$ ,
- objętość porów badanego materiału stanowi 50% objętości.

Próbkę, która jest podstawą badania (o frakcji poniżej 20 mm), utrzymuje się w stanie wilgotnym, dostarczając jej tyle wody, aż wyczerpie się jej zdolność pochłaniania. Część próbki o masie min. 100 g (wyznaczonej z dokładnością do

0,1 g) należy odseparować w celu oznaczenia wilgotności. Wilgotność podaje się w procentach po wysuszeniu odseparowanej 100 g próbki w 105°C utrzymywanej z dokładnością do  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  i porównaniu mas przed i po suszeniu.

Tak przygotowaną próbę zawilgoconego i lekko zagęszczonego materiału umieszcza się 2,5 l naczyniu reakcyjnym do wysokości 1 cm poniżej brzegu naczynia. Masę określa się wagowo. W zależności od możliwości akumulowania wody i gęstości materiału odpowiada ona ok. 800÷1500 g masy suchej na każde naczynie reakcyjne. Naczynie reakcyjne zamyka się szczelnie wieczkiem, a następnie nakłada się rurkę eudiometryczną. Zamknięte naczynie reakcyjne zanurza się w kąpeli wodnej. Rurkę eudiometryczną łączy się ze zbiornikiem wyrównawczym i napełnia 150 ml cieczy zaporowej. Po ok. 24 godzinach rurkę eudiometryczną napełnia się do górnej miarki. Taka procedura postępowania umożliwi z jednej strony badanie szczelności systemu, a z drugiej zapobiega przypadkowi, w którym powstanie niewielkiego podciśnienia w systemie spowoduje zassanie cieczy zaporowej do naczynia reakcyjnego, co skutkowałoby wzrostem zasoleniem, a w konsekwencji zakłóceniem procesu biologicznego.

Podobnie jak w przypadku testu fermentacyjnego, pomimo iż opisywana metoda badawcza służy laboratoryjnemu określeniu poziomu produkcji gazu w procesie inkubacji w ciągu 21 dni, cały proces badawczy jest dłuższy. Całkowity okres ustalenia badania składa się bowiem z ewentualnej tzw. *lag-Phase* i 21-dniowego czasu oceny. Do długości *lag-Phase* określa się dzienną średnią ilość wytwarzanego gazu na godzinę w ml/kg s.m. Następnie poszukuje się tego dnia, od którego trwale przekracza się 33% maksymalnej dziennej średniej. Dzień ten stanowi końcówkę fazy przygotowawczej, a z kolejnym dniem rozpoczyna się 21-dniowy okres oceny. Objętości gazu, wytworzonego w *lag-Phase*, nie należy uwzględniać przy obliczaniu GS21. Gdy objętość gazu wytworzonego podczas *lag-Phase* wyniesie więcej niż 10% objętości gazu wytworzonego podczas całego badania, należy wartość tę udokumentować w sprawozdaniu. Zasadniczo dla każdej próby trzeba przeprowadzić badanie w dwóch powtórzeniach. Jeżeli odchylenie wyników obydwu badań jest większe od 10%, należy badanie ponowić.

Opisany wyżej proces badawczy musi być nadzorowany. Przynajmniej raz dziennie równolegle należy odczytać ilość wytworzonego gazu, temperaturę powietrza w pomieszczeniu oraz ciśnienie powietrza. W przypadku intensywnego wytwarzania gazu trzeba parametry te odczytywać i odnotowywać kilka razy w ciągu dnia, a następnie zsumować dla całego dnia. Korzystając z odczytanych wartości pomiarowych, ilość gazu winno się przeliczyć na litry w stanie normalnym. Dodatkowo przynajmniej raz dziennie należy kontrolować temperaturę kąpeli wodnej i ewentualnie uzupełnić odparowaną wodę. Wynik badania podaje się w  $\text{l}_n/\text{kg}$  s.m. z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. Należy podać wartość średnią uzyskaną z badania w dwóch powtórzeniach i odchylenia poszczególnych wyników pomiarów od wartości średniej – w %.

Bardzo istotne jest również, aby na początku i na końcu badania dokonać w eluencji (próbka:woda = 1:10) pomiaru przewodności i wartości pH. W ten sposób można ocenić, czy na wynik badania wpłynęły niekorzystne działania środowiska zewnętrznego (zakwaszenie, wtargnięcie cieczy zaporowej). Gdy na koniec badania wartość pH będzie niższa niż 6,8 albo wyższa od 8,2, wynik badania nie może być wówczas uwzględniony.

#### 4. Badania biegiłości w zakresie oznaczania parametrów GS21 i GB21

Austriackie Ministerstwo ds. Rolnictwa i Leśnictwa, Środowiska i Gospodarki Wodnej zleciło przeprowadzenie badań biegiłości dla określenia parametrów GS21 i GB21 w odniesieniu do tej samej próby stabilizatu. Przygotowane próbki do badań tych parametrów były uznane za całkowicie ustabilizowane po zakończonym procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania. W przypadku badania GB21, dla kontroli aktywności wykorzystanego do szczepienia odpowiednio przygotowanego prefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków, zbadany został również przesłany osad referencyjny.

W badaniu biegiłości dla określenia parametru GS21 brały udział 4 laboratoria. Jedno laboratorium, którego uzyskane wyniki znacząco odstawały od pozostałych (jako „element odstający”) zostało wyłączone z badania. Po eliminacji „elementu odstającego”, wartość średnia uzyskanych wyników wyniosła 30,4 l<sub>n</sub>/kg s.m.

W badaniu biegiłości dla określenia parametru GB21 brało udział 12 laboratoriów. Pięć laboratoriów uzyskało wyniki znacząco odstające od pozostałych i jako „elementy odstające” zostały wyłączone z badania. Po eliminacji „elementów odstających”, wartość średnia uzyskanych wyników wyniosła 30,5 l<sub>n</sub>/kg s.m. Odchylenie standardowe wyniosło 2,8 l<sub>n</sub>/kg s.m. [8–9].

W wyniku przeprowadzonych badań biegiłości średnie wyniki uzyskane dla tej samej próby stabilizatu w teście inkubacyjnym (GS21) i fermentacyjnym (GB21) były do siebie zbliżone na tyle, że w prawodawstwie austriackim uznano obie metody badawcze za równoważne. Pomimo równoważności obu testów, w Austrii bardziej preferowanym jest test oparty o proces inkubacji (GS21) [8–9]. Powodem tych preferencji jest niezbędna do przeprowadzenia badań masa próby. Przy procesie oceny odpadów po mechaniczno-biologicznym przetworzeniu do przeprowadzenia testu inkubacyjnego (zgodnie z Vornorm Önorm S 2027-2 z 1 października 2004 r.) potrzebna jest próba stabilizatu o masie ok. 0,8÷1,5 kg, podczas gdy do przeprowadzenia testu fermentacyjnego (zgodnie z Vornorm Önorm S 2027-3 z 1 października 2004 r.) badaniom poddaje się próbę o masie 50 g. Ze względu na różnicę w masach prób poddawanych analizie test inkubacyjny uznaje się na mniej podatny na wpływy związane z niereprezentacyjnością próby.

Poza tym, aby przeprowadzić oznaczenie potencjału tworzenia się biogazu dla jednej próby stabilizatu z wykorzystaniem testu fermentacyjnego GB21, zgodnie z austriackim prawodawstwem, niezbędne jest zrealizowanie w sumie minimum 7 równoległych badań:

- w 3 powtórzeniach badanie właściwej próby stabilizatu,
- w 2 powtórzeniach badanie osadu referencyjnego,
- w 2 powtórzeniach badanie przefermentowanego osadu z oczyszczalni ścieków wykorzystanego do szczepienia.

W przypadku oznaczania potencjału tworzenia się biogazu dla jednej próby stabilizatu z wykorzystaniem testu inkubacyjnego GS21, zgodnie z austriackim prawodawstwem, niezbędne jest przeprowadzenie w sumie minimum 2 równoległych badań, tj. badanie właściwej próby stabilizatu w 2 powtórzeniach. Nie bez znaczenia jest również dużo prostszy proces badawczy.

Mając na uwadze powyższe, przeprowadzenie testu inkubacyjnego GS21 jest dużo tańsze od realizacji testu fermentacyjnego GB21, co przy równoważności obu metod badawczych ma duże znaczenie dla ekonomiki prowadzenia procesu mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów.

## 5. Podsumowanie

W państwach, takich jak Austria i Niemcy, w celu ograniczenia masy i objętości odpadów dotychczas deponowanych na składowisku oraz ograniczenia emisji metanu, dominującym od wielu lat sposobem zagospodarowania odpadów komunalnych jest ich mechaniczno-biologiczne przetwarzanie. W obu tych krajach uznano, że dla oceny utraty zdolności do dalszego biologicznego rozkładu odpadów po procesie mechaniczno-biologicznego przetwarzania (tzw. stabilizatu) najbardziej odpowiednimi parametrami są w warunkach tlenowych – aktywność oddychania (AT4) oraz w warunkach beztlenowych – określenie potencjału tworzenia się biogazu w procesie inkubacji (GS21) lub fermentacji (GB21).

W Polsce prawodawca zaproponował możliwość weryfikacji utraty zdolności do dalszego biologicznego rozkładu odpadów jedynie w warunkach tlenowych, tzn. poprzez oznaczenie parametru AT4. Zagadnienie określania potencjału biogazu (parametr GS21 lub GB21) zostało całkowicie pominięte w projekcie polskiego prawodawstwa\* .

\* Cytowaną literaturę zamieszczono po tłumaczeniu artykułu w języku niemieckim.