



MARLENA DĘBICKA
MARIA ŻYGADŁO
Kielce University of Technology
e-mail: mdebicka@tu.kielce.pl

Manuscript submitted 2018.06.06 – revised 2018.07.18,
initially accepted for publication 2018.08.29, published in December 2018

ANALYSIS OF RESPIRATORY QUOTIENT RQ IN PROCESS OF BIOMASS DECOMPOSITION IN THE LAB TECHNICS

ANALIZA WSPÓŁCZYNNIKA ODDECHOWEGO RQ W PROCESIE ROZKŁADU BIOMASY TECHNIKĄ LABORATORYJNĄ

DOI: 10.30540/sae-2018-034

Abstract

Biomass biodegradation under aerobic condition was investigated. The source of the biomass was potato samples. The oxygen consumption and carbon dioxide rates were monitored over 24 hours, using a 2.5 L Oxymax ER-10 respirometric chamber. The chamber with a representative sample of biomass was continuously aerated and the changes in the gas concentrations were recorded (oxygen and carbon dioxide). The oxygen uptake is directly linked to the biological activity of the microorganisms and the organic matter biodegradation. Microorganisms consume oxygen in order to decay the easy-biodegradable substrate. The biomass degradation progress under the bio-chemical process under oxidation conditions was described mathematically by linear regression. The fitting of calculated curves were checked by determination coefficient R^2 .

Keywords: respiratory quotient, dynamics of biomass decomposition, microbial activity

Streszczenie

Przedmiotem badań była respirometryczna metoda charakteryzowania biodegradacji biomasy w warunkach tlenowych. Źródłem biomasy były próby ziemniaków. Zapotrzebowanie na tlen i produkcję dwutlenku węgla monitorowano przez 24 godziny w komorze respirometrycznej o pojemności 2,5 dm³ aparatu Oxymax ER-10. Komorę testową z reprezentatywną próbką biomasy napowietrzano w sposób ciągły i rejestrowano zmiany stężenia gazów (tlen i dwutlenek węgla). Pobór tlenu jest bezpośrednio związany z biologiczną aktywnością mikroorganizmów i biodegradacją materii organicznej. Mikroorganizmy zużywają tlen w celu rozkładu łatwo biodegradowalnego substratu. Postęp degradacji biomasy w procesie biochemicznym w warunkach tlenowych opisano matematycznie metodą regresji liniowej. Dopasowanie obliczonych krzywych sprawdzono za pomocą współczynnika determinacji R^2 .

Słowa kluczowe: współczynnik oddechowy, dynamika rozkładu biomasy, aktywność mikrobiologiczna

1. INTRODUCTION

Within the waste management technologies we can find the biological method of treatment that occurs when organic wastes are decayed by microorganisms under aerobic conditions and transformed into a new material like compost, which can be used as a healthy component of the soil for its valorization. Biomass degradation can be defined as aerobic when the oxygen content exceeds 5% [1].

The composting process is based on the decomposition of the organic matter by microorganisms in the presence of oxygen and moisture and may be expressed by the following equation [2]:

1. WPROWADZENIE

Jedną z metod w gospodarowaniu odpadami jest metoda biologicznego przetwarzania polegająca na rozkładzie odpadów przez mikroorganizmy w warunkach tlenowych i przekształcaniu w nowy materiał. Produktem biologicznej przeróbki odpadów jest kompost, który może być wykorzystany do wertykalizacji gleby. Degradację biomasy można określić jako tlenową, gdy zawartość tlenu przekracza 5% [1]. Proces kompostowania odpadów opiera się na rozkładzie materii organicznej przez mikroorganizmy w obecności tlenu oraz wilgoci, co opisuje następujące równanie [2]:



The microorganisms uptake the oxygen from the surroundings and break down the biomass into carbon dioxide, water vapor and compost. The biomass decomposition is based on numerous biological, thermal and physio-chemical phenomena [3]. The intense microbial activity leads to the mineralization of about 40% of the initial organic matter. Meanwhile, the residual organic matter becomes more and more resistant to microbial biodegradation [4]. The amount of CO_2 production and the O_2 uptake during the incubation of the biomass can be used to evaluate the microbiological activity and assess the degree of organic matter stability [5, 6]. The respiratory quotient (RQ) is the ratio:

$$\text{RQ} = \text{CO}_{2 \text{ eliminated}} / \text{O}_{2 \text{ consumed}} \quad (2)$$

where the term “eliminated” refers to carbon dioxide removed from the organic material.

The microbial activity expressed as oxygen consumption carried out in a short period of time (1-4 days) could be taken as representing the biodegradation of any biomass [7-10].

The degradation of organic content as a function of composting period (time) follows first order kinetics expressed as [11, 12]:

$$d(\text{BVS})/dt = -k (\text{BVS}) \quad (3)$$

where:

BVS – is the quantity of biodegradable volatile solids at any time of the composting process expressed in kilograms; Volatile solids are those solids that are lost on ignition of dry solids at 550°C .

t – is time in days,

k – is the rate constant of reaction proceeding according to the first-order kinetics (days^{-1}).

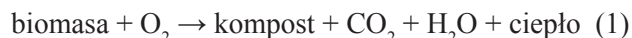
Using the Eq. (3) and by substitution $\text{BVS} = \text{BVS}_0$ at $t = 0$, the concentration of organic matter at any time in the compost matrix can be expressed as follows [12]:

$$\ln = (\text{BVS}/\text{BVS}_0) = -kt \quad (4)$$

by transforming the equation (4), we get the formula:

$$\text{BVS loss} = \text{BVS}_0(1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

The dynamic of organic biomass decay can be traced using respiratory quotient RQ. The use of the RQ should be restricted only under aerobic conditions in the biodegradable matrix [13]. The typical molar ratio of the O_2 consumed by microorganisms and the CO_2



Mikroorganizmy pobierają tlen z otoczenia, rozkładając biomasa na dwutlenek węgla, parę wodną i kompost. Rozkład biomasy oparty jest na wielu zjawiskach biologicznych, termicznych i fizyko-chemicznych [3]. Intensywna aktywność mikrobiologiczna prowadzi do mineralizacji około 40% pierwotnej substancji organicznej. Tymczasem pozostała materia organiczna staje się coraz bardziej odporna na biodegradację mikrobiologiczną [4]. Ilość produkowanego CO_2 i pobór O_2 podczas inkubacji biomasy można wykorzystać do oceny aktywności mikrobiologicznej i oceny stopnia stabilności materii organicznej [5, 6]. Współczynnik oddechowu RQ jest stosunkiem:

$$\text{RQ} = \text{CO}_{2 \text{ usunięty}} / \text{O}_{2 \text{ strawiony}} \quad (2)$$

gdzie termin „usunięty” odnosi się do ditlenku węgla usuniętego z substancji organicznej.

Aktywność drobnoustrojów wyrażoną jako zapotrzebowanie mikroorganizmów na tlen w krótkim czasie (1-4 dni) można zastosować jako wskaźnik bio-rozkładu w reprezentatywnej próbce dowolnej biomasy [7-10].

Rozkład substancji organicznej w trakcie kompostowania (w jednostkach czasu) można przedstawić za pomocą kinetyki reakcji pierwszego rzędu [11, 12]:

$$d(\text{BVS})/dt = -k (\text{BVS}) \quad (3)$$

gdzie:

BVS – ilość biodegradowalnych lotnych ciał stałych w dowolnej chwili procesu kompostowania wyrażona w kilogramach; lotne ciała stałe to ciała, które przechodzą w formę gazową w czasie prażenia ciał stałych w temperaturze 550°C

t – czas wyrażony w dobach

k – stała szybkości reakcji postępująca zgodnie z kinetyką pierwszego rzędu (dni^{-1}).

Wykorzystując równanie (3) i podstawiając $\text{BVS} = \text{BVS}_0$ w $t = 0$, stężenie substancji organicznej w dowolnym momencie w matrycy kompostowej można wyrazić następująco [12]:

$$\ln = (\text{BVS}/\text{BVS}_0) = -kt \quad (4)$$

Przekształcając równanie (4), otrzymujemy wyrażenie:

$$\text{BVS loss} = \text{BVS}_0(1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

Dynamika rozkładu biomasy może być wyrażona współczynnikiem oddechowym RQ. Zastosowanie parametru RQ powinno być ograniczone tylko do warunków tlenowych w matrycy biooksydacyjnej [13]. Typowy stosunek molowy zużytego O_2 oraz wy-

produced by them during the biomass decomposition is usually close to 1:1 [14]. Moreover, this ratio is strongly dependent on the oxidation susceptibility of the organic carbon in the biomass [15-17].

The value of RQ depends on what substances are decayed, what the fuel source is being metabolized. For simple sugars (glucose) the respiratory quotient is 1, but for example for saturated fats is 0.66.

Sometimes, the oxidation of some part of the biomass is not related to the microbial respiration and should not be compared with the O_2 uptake [1, 18]. Therefore, the molar ratio CO_2/O_2 assumed as equal to 1 could be incorrect and lead to significant errors carried out in the respirometric tests of any biomass [14, 19]. For this reason, the RQ values are not suitable for indicating the waste biodegradability or the microbial activity of biomass of different origins and chemical character [13, 20]. However, for the biomass of the same type, this ratio should be stable and repetitive, in accordance with the stoichiometric factors describing the equation of organic matter decomposition. This is the case in the presented respirometric experiment, where potato is used as a reference biomass.

The objectives of this study are the following: (1) to measure the carbon dioxide production and the oxygen uptake under the aerobic conditions during the potato mass decomposition, (2) to establish the optimal mass sample in the reactor chamber, (3) to fit the mathematical model to the experimental data.

2. MATERIAL AND METHODS

The research was conducted on the biomass represented by the potato by undergoing decomposition under aerobic conditions. The experiment allows to evaluate the susceptibility of the biomass to biodegradation due to microorganism activity. The oxygen and carbon dioxide rates were monitored over 24 hours, using the 2.5 L respirometric reactor chamber of the Oxymax ER-10 apparatus.

The necessary conditions for the survival of the aerobic microorganisms require a continuous oxygen supply, which was pumped regularly into the reactor chamber by the aeration system, to ensure a stable level during the whole experiment. The testing chamber was incubated at 20°C. The electronic system of the Oxymax recorded both the oxygen uptake and the carbon dioxide emissions during the experiment when the potato biomass was undergoing decomposition. The

tworzonego CO_2 podczas rozkładu biomasy wynosi około 1:1 [14]. Jednakże stosunek molowy CO_2/O_2 zależy istotnie od podatności węgla organicznego na utlenianie w biomacie [15-17].

Wartość RQ zależy od tego, jakie substancje są źródłem energii dla mikroorganizmów. Dla cukrów prostych (glukozy) współczynnik oddechowy wynosi 1, ale na przykład dla tłuszczów nasyconych wynosi 0,66.

Niekiedy utlenianie części biomasy może nie być związane z respirometrią mikrobiologiczną, a wówczas nie należy jej przyrównywać do zapotrzebowania mikroorganizmów na tlen [1, 18]. Dlatego przyjęcie stosunku molowego CO_2/O_2 równego 1 może być nieprawidłowe i prowadzić do znaczących błędów w testach respirometrycznych dowolnej biomasy [14, 19]. Z tego powodu wskaźnik RQ nie jest odpowiedni do bezpośredniego wskazania postępu biodegradacji odpadów lub aktywności mikrobiologicznej biomasy o różnym pochodzeniu i charakterze chemicznym [13, 20]. Jednak w przypadku biomasy tego samego typu stosunek molowy CO_2/O_2 powinien być stabilny i powtarzalny, zgodnie ze współczynnikami stechiometrycznymi opisującymi równanie rozkładu materii organicznej. Tak jest w prezentowanym eksperymencie respirometrycznym, w którym ziemniak jest wykorzystywany jako biomasa referencyjna.

Celami niniejszej pracy są: (1) pomiar produkcji ditlenku węgla i pobranego tlenu podczas biologicznego rozkładu biomasy ziemniaka w warunkach tlenowych, (2) ustalenie optymalnej wielkości masy próby, (3) ocena dopasowania modeli matematycznych do danych eksperymentalnych.

2. MATERIAŁY I METODY

Przeprowadzono badania biomasy ziemniaka w warunkach tlenowych. Eksperyment pozwolił ocenić podatność biomasy na biodegradację w wyniku aktywności mikroorganizmów. Badania polegały na monitorowaniu zmian ilości tlenu i ditlenku węgla w czasie 24 h w komorze badawczej o objętości 2,5 dm³ respirometru Oxymax ER-10.

Niezbędnym warunkiem dla przetrwania mikroorganizmów tlenowych jest obecność tlenu. Podczas eksperymentu system napowietrzania zapewnił regularny przepływ powietrza przez komorę testową. Komorę testową inkubowano w temperaturze 20°C. Układ elektroniczny Oxymax rejestrował zarówno pobór tlenu, jak i produkcję ditlenku węgla w czasie biologicznego rozkładu biomasy ziemniaka. Czas eksperymentu ograniczono do 24 godzin, co jest tożsame z badaniami publikowanymi przez Gomeza

experiment was limited to 24 hours. It was comparable to the procedures presented in the literature by Gomez et al. [21] and the standard PN-EN 15590:2011 [22]. After putting the shredded potato into the testing chamber, the cumulative amount of the oxygen uptake and the carbon dioxide production were monitored in equal time intervals, every 10 minutes.

An important element of the experiment was the adjustment of the appropriate mass of potato, which could have an impact on the test results. Therefore, two independent series of tests were carried out in the course of the study using a differentiated biomass mass sample: series A – using 8 g mass samples and series B – using 80 g mass samples. The correct mass sample is important in terms of two aspects: to prevent an oxygen deficit (too much amount of biomass requires increased aeration supply) and alternatively not to dry up the sample, which can make the microorganisms inactive (too low amount of the biomass versus the aeration supply).

Seven samples of each mass series were investigated by testing the microbial activity measured by the respirometric method. The preparation of the test samples consisted of manually slicing the potato to a particle size of approximately 10 mm, then the obtained particles were sieved through a sieve of a mesh size of 10 mm. The potato moisture was tested by the drier method [23]. The initial value of the moisture content was 72%. The organic matter content was determined by sintering the samples in a muffle furnace at 550°C according to [24]. The organic matter content in the test material was equal to 98%.

3. RESULTS AND DISCUSSION

After putting the biomass into the testing chamber, the amounts of oxygen uptake and carbon dioxide production were monitored at 10 minute intervals (Fig. 1 to Fig. 4). The oxygen demand, recorded by the measuring device system, varied from 2.6 to 6.2 mg O₂/g d.m. in series A, while carbon dioxide was released in the amount from 8.8 to 11.7 mg CO₂/g d.m., as had been reported in Fig 1 and Fig 2. In the series B, with 10 times greater mass sample, the oxygen demand was ranged from 11.04 to 15.87 mg O₂/g d.m., while carbon dioxide was released in the amount from 19.03 to 25.8 mg CO₂/g d.m, as had been reported in Fig 3 and Fig 4. The cumulated amount of monitored gases were changed gradually during the process and these changes were faster in series B than in series A. The biodegradation processes in series B were more effective than in series A.

i in. [21] oraz procedurami wg normy PN-EN 15590:2011 [22]. Po umieszczeniu rozdrobnionego ziemniaka w komorze testowej, skumulowaną ilość pobranego tlenu i wyprodukowanego dwutlenku węgla monitorowano w równych odstępach czasu, co 10 minut.

Ważnym elementem eksperymentu było dobranie odpowiedniej masy próby ziemniaka, co mogło mieć wpływ na wyniki badań. Zatem przeprowadzono dwie niezależne serie badań zróżnicowane pod względem masy próby: seria A – z użyciem próbki ziemniaka o masie 8 g i seria B – z użyciem próbki ziemniaka o masie 80 g. Dobór masy próby jest istotny z uwagi na dwa aspekty: zapobieganie deficytowi tlenu w komorze testowej (zbyt duża ilość biomasy wymaga zwiększonego napowietrzania) i alternatywnie – zapobieganie wysuszeniu próby, co może dezaktywować mikroorganizmy (zbyt mała ilość biomasy w stosunku do wydajności napowietrzania).

Zbadano aktywność mikrobiologiczną metodą respirometryczną dla siedmiu prób w każdej serii. Przygotowanie próbek biomasy polegało na ręcznym rozdrobieniu ziemniaka na cząstki o wielkości około 10 mm, które następnie przesiano na sicie o oczkach Ø10 mm. Wilgotność ziemniaka badano metodą suszarkową [23]. Początkowa zawartość wilgoci w biomacie ziemniaka wynosiła 72%. Zawartość substancji organicznych oznaczano przez wyprażenie próbek w piecu muflowym w temperaturze 550°C, co jest zgodne z zapisami normy [24]. Zawartość substancji organicznej w badanym materiale wynosiła 98%.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Po umieszczeniu biomasy w komorze testowej monitorowano ilość pobranego tlenu i wyprodukowanego ditlenku węgla w 10-minutowych interwałach (rys. 1÷4). W serii A zapotrzebowanie na tlen wahało się od 2,6 do 6,2 mg O₂/g s.m., podczas gdy ilość wyprodukowanego ditlenku węgla wynosiła od 8,8 do 11,7 mg CO₂/g s.m. (rys. 1, 2). W serii B, przy 10-krotnie większej masie próbki, zapotrzebowanie na tlen mieściło się w zakresie od 11,04 do 15,87 mg O₂/g s.m., podczas gdy produkcja ditlenku węgla wynosiła od 19,03 do 25,8 mg CO₂/g s.m. (rys. 3, 4). Skumulowana ilość monitorowanych gazów zmieniała się stopniowo w trakcie procesu, zmiany te były bardziej dynamiczne w serii B niż w serii A. Biorozkład w serii B był bardziej skuteczny niż w serii A.

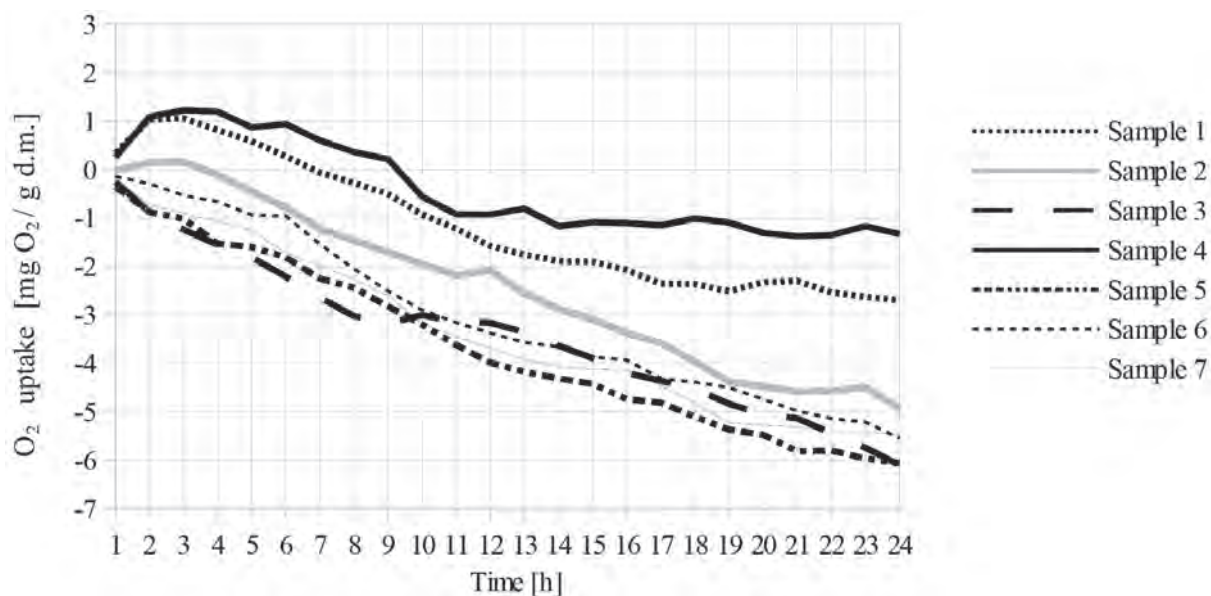


Fig. 1. Oxygen uptake during the biological biomass decomposition. The test results apply to series A
 Rys. 1. Pobór tlenu podczas biologicznego rozkładu biomasy. Wyniki uzyskane w serii A

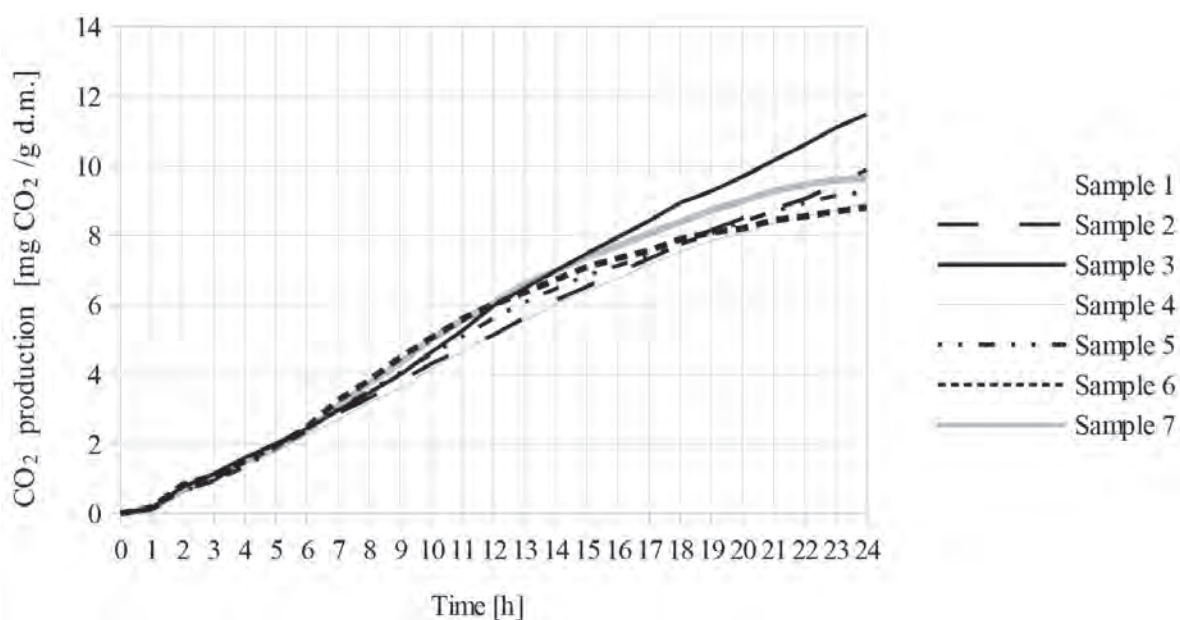


Fig. 2. Carbon dioxide production during the biological biomass decomposition. The test results apply to series A
 Rys. 2. Produkcja ditlenku węgla podczas biologicznego rozkładu biomasy. Wyniki uzyskane w serii A

Table 1 presents the oxygen uptake and the carbon dioxide produced of biomass decay in series A (mass sample = 8 g) and B (mass sample = 80 g) detected at 10 minute intervals over the whole 24 h cycle of detection procedure. The average O₂ uptake were 4.625 mg O₂/g d.m. (series A) and 12.377 mg O₂/g d.m. (series B). The average CO₂ production were 9.621 mg CO₂/g d.m. (series A) and 21.115 mg CO₂/g d.m. (series B). Thus, the larger mass sample

Tabela 1 przedstawia ilości pobranego tlenu i wyprodukowanego ditlenku węgla podczas rozkładu biomasy w serii A (masa próby = 8 g) i serii B (masa próby = 80 g), zarejestrowane w 10-minutowych interwałach w 24-godzinnym cyklu eksperymentalnym. Średni pobór O₂ wynosił 4,625 mg O₂/g s.m (seria A) i 12,377 mg O₂/g s.m (seria B). Średnia produkcja CO₂ wyniosła 9,621 mg CO₂/g s.m. (seria A) i 21,115 mg CO₂/g s.m. (seria B). Zatem większa masa próby

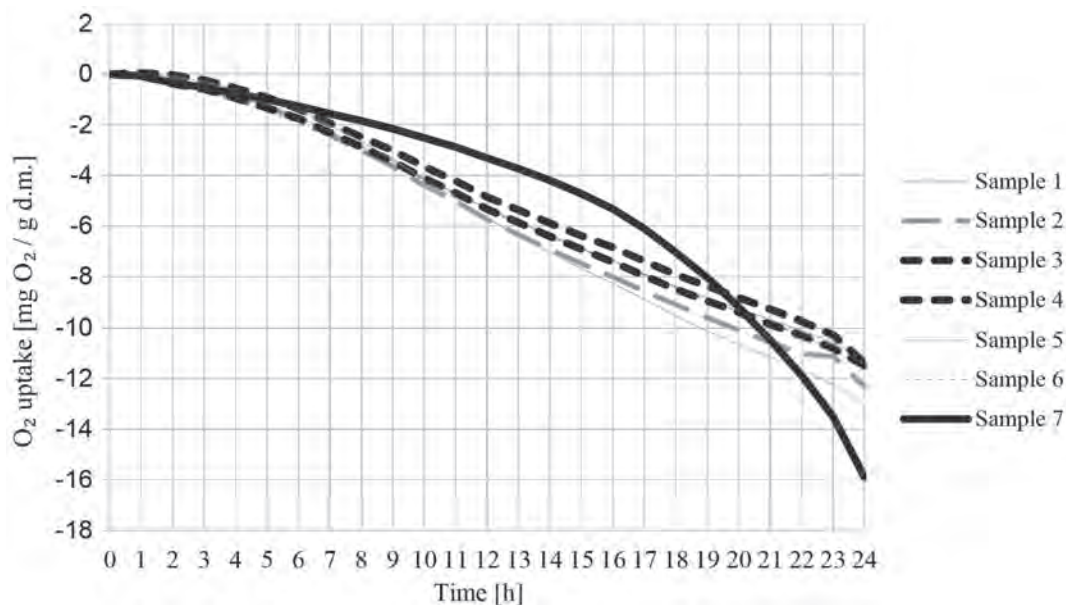


Fig. 3. Oxygen uptake during the biological biomass decomposition. The test results apply to series B.
Rys. 3. Pobór tlenu podczas biologicznego rozkładu biomasy. Wyniki uzyskane w serii B.

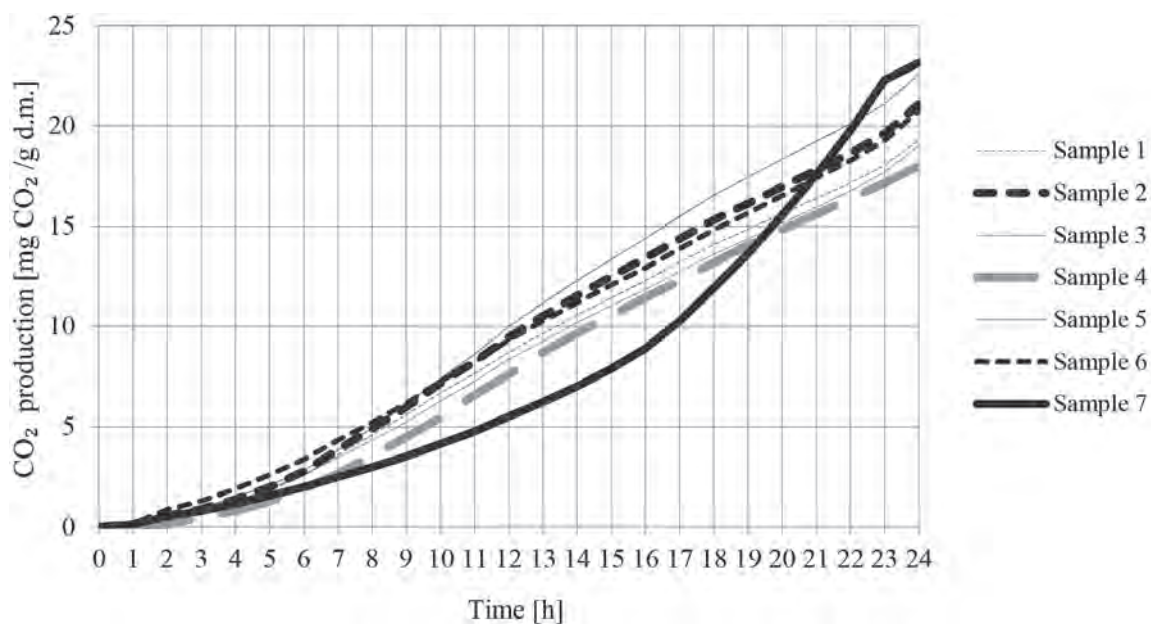


Fig. 4. Carbon dioxide production during the biological biomass decomposition. The test results apply to series B.
Rys. 4. Produkcja ditlenku węgla podczas biologicznego rozkładu biomasy. Wyniki uzyskane w serii B

resulted in increased microorganisms activity. Additional information supporting the property of mass selection of the sample was the level of moisture loss during whole time of the experiment. For B series of tests, the humidity after 24 hours was equal on average level 70%, and for the test series A of potato samples was about 65%. The results of the series A study (Table 1) are characterized by the large scattering of the values of the examined parameters, while in the

wpłynęła na zwiększenie aktywności biologicznej mikroorganizmów. Dodatkową informacją wspierającą właściwość doboru masy próby był poziom utraty wilgoci podczas eksperymentu. Średnia wilgotność ziemiaka po 24 godzinach dla prób w serii B wynosiła 70%, natomiast 65% dla prób w serii A. Wyniki badań serii A (tab. 1) charakteryzują się dużym rozproszeniem wartości badanych cech, w przeciwieństwie do serii B.

B series a much smaller dispersion of test results was observed.

Carried out tests showed that better, more reproducible and reliable results were obtained for a larger reactor filling, ie 80 g mass the sample. Similar results were obtained by the other researchers [25, 26].

Table 1 shows the calculated respiratory quotient RQ values. The RQ value in Table 1 was expressed not in mole ratio but in mass ratio. Assuming the ratio of CO₂ to O₂ in moles, that is equal to 1:1 it should be expressed in ratio of mass as 44/32, i.e. 1.37. The mean RQ value for the B series, considered to be correct was estimated at the level close to 1.7.

Based on the RQ values calculated for series A and series B, the comparison of the test series proves, that adjustment of mass in series B is a better variant. For this series, the RQ value characterizing the ratio of the carbon dioxide produced to the oxygen uptake had been more stable, which confirmed the realistic numbers resulting from the stoichiometry of the chemical reaction of the biomass decomposition.

Table 1. The cumulated amount of consumed and produced gases during the 24 h decomposition of biomass in series A and B

Tabela 1. Skumulowana ilość pobranych i wyprodukowanych gazów podczas 24 h rozkładu biomasy dla serii A i B

Parameter	Cumulated 24 h O ₂ uptake	Cumulated 24 h CO ₂ production	RQ = CO ₂ /O ₂	Cumulated 24 h O ₂ uptake	Cumulated 24 h CO ₂ production	RQ = CO ₂ /O ₂
Unit	[mg O ₂ /g d.m.]	[mg CO ₂ /g d.m.]	-	[mg O ₂ /g d.m.]	[mg CO ₂ /g d.m.]	-
Sample No	A series (mass sample = 8 g)			B series (mass sample = 80 g)		
1	2.660	8.815	3.31	11.264	19.303	1.71
2	4.975	10.011	2.01	12.324	21.067	1.70
3	6.222	11.726	1.89	11.037	19.034	1.72
4	1.464	8.926	6.10	11.490	19.324	1.68
5	6.128	9.360	1.53	13.044	22.560	1.72
6	5.411	8.847	1.63	11.615	20.752	1.78
7	5.512	9.659	1.75	15.866	25.769	1.62
A**	4.625	9.621	2.60	12.377	21.115	1.70
SD*	1.834	1.032	1.65	1.684	2.405	0.05

*- standard deviation calculated

**- average (mean) from 7 experiments

The observed differences in the results (Table 1) in series A and B due to the level of standard deviation for RQ was the basis for deciding on the further mathematical linear modeling process as was used by Scaglia et al. [27]. B series was chosen because the values RQ in this series definitely had been stabilized for subsequent trials. The standard deviation of the RQ in series B is equal to 0.05, which confirmed the

W przeprowadzonym eksperymencie wykazano, że lepsze, bardziej powtarzalne i wiarygodne wyniki uzyskano dla większej próby, tj. 80 g. Podobne wyniki uzyskano w pracach innych autorów [25, 26].

Tabela 1 pokazuje obliczone wartości współczynnika oddychania RQ. Parametr RQ w tabeli 1 wyrażono nie w stosunkach molowych, lecz w stosunkach masy. Zakładając stosunek CO₂ do O₂ w molach równy 1:1, w stosunkach masy należy go wyrazić jako 44/32, tj. 1,37. Średnia wartość RQ dla serii B, uważana za poprawną, została oszacowana na poziomie bliskim 1,7.

Wartości RQ obliczone dla serii A i serii B pokazały, że dobór masy w serii B jest lepszym wariantem. W przypadku tej serii wartość RQ była bardziej stabilna, a jej wartość potwierdzają realistyczne liczby wynikające ze stechiometrii reakcji chemicznej rozkładu biomasy.

Zaobserwowane różnice w wynikach poziomu odchylenia standardowego dla wskaźnika RQ w serii A i B (tab. 1) stanowiły podstawę do podjęcia decyzji o dalszym matematycznym procesie modelowania liniowego, jaki zastosowano również w pracy Scaglia i in. [27]. Wybrano serię B, ponieważ wartość RQ była bardziej stabilna w kolejnych próbach. W serii B odchylenie standardowe dla wartości RQ wynosi

repeatability of the experiment carried out on a larger mass sample. Calculated RQ data by t Student test were provided to determine the significance level p value (probability). The calculated p value level was 0.1, what means that the data varies with a probability of 10%. Thus, it means that differences obtained in RQ value are expressed by 90% probability and are not accidental. The linear models calculated for the curves presented in Figures 3, 4 are summarized in Table 2. The determination coefficients were close to value 1, which led to the conclusion, that calculated regression properly describes microorganisms activity.

0,05, co potwierdziło powtarzalność eksperymentu przeprowadzonego na próbce o większej masie. Dla wartości RQ przeprowadzono test t-Studenta w celu określenia poziomu istotności p. Obliczony poziom istotności p wynosił 0,1, co oznacza, że dane zmieniają się z prawdopodobieństwem 10%. Oznacza to, że różnice uzyskane w wartości RQ są wyrażone jako 90% prawdopodobieństwa i nie są przypadkowe. W tabeli 2 zestawiono modele liniowe obliczone dla krzywych przedstawionych na rysunkach 3, 4. Współczynniki determinacji R^2 były bliskie wartości 1, co prowadzi do wniosku, że obliczona regresja prawidłowo opisuje aktywność mikrobiologiczną.

Table 2. The linear models calculated for the O_2 uptake and the CO_2 production during the 24 h experiment: series B
Tabela 2. Modele liniowe obliczone dla ubytku O_2 i produkcji CO_2 podczas 24 h eksperymentu: seria B

Sample No	Linear models			
	Oxygen uptake		Carbon dioxide production	
	Model*	R^2	Model**	R^2
1	$y = -0.0618915627x + 0.4178445502$	0.9967	$y = 0.1065108553x - 1.0245556697$	0.9971
2	$y = -0.0678939102x + 0.5301950159$	0.9966	$y = 0.1158487162x - 1.1214361209$	0.9967
3	$y = -0.061476583x + 0.7752279713$	0.9977	$y = 0.1037481289x - 1.0410479912$	0.9974
4	$y = -0.062863037x + 0.4313468893$	0.9976	$y = 0.1062599888x - 1.0113427385$	0.9970
5	$y = -0.0744015909x + 1.0695395847$	0.9952	$y = 0.125669348x - 1.3930888695$	0.9954
6	$y = -0.0621111044x + 0.3062022247$	0.9989	$y = 0.1098672758x - 0.6107144596$	0.9989
7	$y = -0.0735851212x + 2.0505889164$	0.8980	$y = 0.1227962901x - 3.4645282055$	0.9063

R^2 - determination coefficient

*- regression models calculated for the data presented in Figure 3, where: x - is time, y - is oxygen uptake

** - regression models calculated for the data presented in Figure 4, where: x - is time, y - is carbon dioxide production

4. CONCLUSIONS.

The respiration experiment in a 2.5 L reactor chamber was made to observe the microorganism activity during potato biomass degradation under aerobic conditions. The O_2 uptake by the microorganisms and the CO_2 emitted were monitored. It was shown, that an important part of the experimental procedure is the correct adjustment of the mass sample put in the reactor chamber. For this reason, two independent series of tests were carried out in the course of the study using a differentiated mass sample characterized by tenfold difference: series A – using 8 g mass samples and batch B – using 80 g mass samples. The appropriate amount of biomass was determined by calculating RQ value in the repeated respirometric measurements. It was shown that the microbial activity of the A-Series was disturbed due

4. WNIOSKI

Przeprowadzony eksperyment respirometryczny w reaktorze o objętości 2,5 dm³ miał na celu obserwację aktywności mikroorganizmów w czasie degradacji biomasy w warunkach tlenowych. Rejestrowano pobór O_2 przez mikroorganizmy oraz produkcję CO_2 . Wykazano, że ważnym elementem eksperymentu jest dobór optymalnej masy próby badawczej stanowiącej wsad do reaktora. W tym celu przeprowadzono dwie niezależne serie testów, stosując zróżnicowane masy prób, charakteryzujące się dziesięciokrotną różnicą: seria A – z użyciem prób o masie 8 g oraz seria B – z użyciem prób o masie 80 g. Ustalenie korzystniejszej ilości biomasy w eksperymencie polegało na obliczeniu stosunku ilości wyprodukowanego ditlenku węgla do ilości poboru tlenu w powtarzanych pomiarach respi-

to the excessive drying (a too low mass in the testing chamber). In this way it was established, that a better variant in carried out experiment is variant B with the testing of 80 mg mass samples.

Linear modelling was used to calculate the equations describing the changes in the gas composition in the testing chamber in the time under biomass decomposition. Fourteen linear equations were obtained basing on the experimental results in series B. The accuracy of the mathematical linear models to the experimental data were checked by the determination coefficient R^2 . The obtained results of R^2 were > 0.99 in twelve equations, indicating a very high fitting of the linear models to the experiment data for series B. Two results of R^2 were about 0.9 which also confirms the usefulness of the linear modeling in the short time experiment for the purpose the assessing microbial activity.

rometrycznych. Wykazano, że aktywność mikrobiologiczna serii A została zakłócona z powodu nadmiernego wysuszenia (zbyt mała masa próby w komorze testowej). W ten sposób ustalono, że lepszym wariantem w badaniach biologicznego rozkładu biomasy jest wariant B, gdzie masa próby wynosiła 80 g.

Do opisanie zmian składu gazu w komorze badawczej w czasie rozkładu biomasy zastosowano modelowanie liniowe. Na podstawie wyników eksperymentalnych w serii B uzyskano czternaście równań liniowych. Dopasowanie matematycznych modeli liniowych do danych eksperymentalnych sprawdzono za pomocą współczynnika determinacji R^2 . Otrzymane wyniki R^2 wynosiły $> 0,99$ w dwunastu równaniach, co wskazuje na bardzo wysokie dopasowanie modeli liniowych do danych eksperymentalnych dla serii B. Pozostałe dwa wyniki R^2 wynosiły około 0,9, co również potwierdza użyteczność modelowania liniowego w krótkookresowym eksperymencie oceny aktywności mikrobiologicznej drobnoustrojów.

REFERENCES

- [1] Haug R. T.: *Composting Process Design Criteria, Part I — Feed Conditioning*, Biocycle, 1986, 27 (7), 36-43.
- [2] Żygadło M.: *Principles of solid waste treatment and management*, Kielce University of Technology, Kielce 2013.
- [3] Tom A. P., Haridas A., Pawels R.: *Biodrying Process Efficiency:-Significance of Reactor Matrix Height*, Procedia Technology, 2016, 25, pp. 130-137.
- [4] Francou C., Linères M., Derenne S., Le Villio-Poitrenaud M., & Houot S.: *Influence of green waste, biowaste and paper-cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting*, Bioresource Technology, 2008, 99 (18), 8926-8934.
- [5] Bernal M.P., Sanchez-Monedero M.A., Paredes C., Roig A.: *Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil*, Agriculture, Ecosystems and Environment, 69, 1998, pp. 175-189.
- [6] He P. J., Lü F., Shao L. M., Lee D. J.: *Oxygen limitation in static respiration activity index test*, Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2006, 81 (7), 1177-1184.
- [7] Dębicka M., Żygadło M., Latosińska J.: *The effectiveness of biodrying waste treatment in full scale reactor*, Open Chemistry, 2017, 15(1), pp. 67-74.
- [8] Binner E., Zach A.: *Biological reactivity of residual wastes and dependence on the duration of pretreatment*, Waste Management and Research, 1999, 17(6), pp. 543-555.
- [9] Scaglia B., Acutis M., Adani F.: *Precision determination for the dynamic respirometric index (DRI) method used for biological stability evaluation on municipal solid waste and derived products*, Waste management, 2011, 31(1), pp. 2-9.
- [10] Sidelko R., Siebielska I., Szymański K., Skubała, A., Kołacz N.: *Ocena stabilności kompostu w czasie rzeczywistym*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2014, 17, pp. 221-230.
- [11] Kulcu R., & Yaldiz O.: *Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes*, Bioresource Technology, 2004, 93(1), pp. 49-57.
- [12] Jain M. S., Jambhulkar R., Kalamdhad A. S.: *Biochar amendment for batch composting of nitrogen rich organic waste: Effect on degradation kinetics, composting physics and nutritional properties*, Bioresource Technology, 2018, 253, pp. 204-213.
- [13] Gea T., Barrena R., Artola A., Sánchez A.: *Monitoring the biological activity of the composting process: oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI), and respiratory quotient (RQ)*, Biotechnology and Bioengineering, 2004, 88 (4), pp. 520-527.
- [14] Wagland S. T., Tyrrel S. F., Godley A. R., Smith R.: *Test methods to aid in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill*, Waste Management, 2009, 29(3), pp. 1218-1226.

- [15] Evangelou A., Gerassimidou S., Mavrakis N., Komilis D.: *Monitoring the performances of a real scale municipal solid waste composting and a biodrying facility using respiration activity indices*, Environmental Monitoring and Assessment, 2016, 188(5), 302.
- [16] Barrera R., d'Imporzano G., Ponsá S., Gea T., Artola A., Vázquez F., ... Adani F.: *In search of a reliable technique for the determination of the biological stability of the organic matter in the mechanical-biological treated waste*, Journal of Hazardous Materials, 2009, 162(2-3), pp. 1065-1072.
- [17] Gomez R. B., Lima F. V., Bolasell M. A. G., Gea T., Ferrer A. S.: *Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process*, Bioresource Technology, 2005, 96 (10), pp. 1153-1159.
- [18] Adani F., Ubbiali C., Tambone F., Scaglia B., Centemero M., Genevini P.: *Static and dynamic respirometric indicates-Italian research and studies*. In: Biological Treatment of Biodegradable Waste-technical aspects. Brussels: The Environment DG and the Joint Research Centre of the European Commission, 2002.
- [19] Cossu R., & Raga R.: *Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste*, Waste Management, 2008, 28 (2), pp. 381-388.
- [20] Genc N.: *Evaluation by Respiration Measurements (OTR, CTR and RQ) of the Biological Activity in Sludge Digestors Operated Under Microaerobic Conditions*, Chemical and biochemical engineering quarterly, 2007, 21 (2), pp. 163-168.
- [21] Gómez R. B., Lima F. V., Ferrer A. S.: *The use of respiration indices in the composting process: a review*, Waste Management & Research, 2006, 24 (1), pp. 37-47.
- [22] PN- EN 15590:2011. Solid recovered fuels, Determination of potential rate of microbial self heating using the real dynamic respiration index.
- [23] PN- EN 14774-3:2010. Solid biofuels, Determination of moisture content – Oven dry method, Part 3: Moisture in general analysis.
- [24] PN- EN 15169:2007. Characterization of waste, Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments.
- [25] Di Maria F., Micale C., *What is the acceptable margin of error for the oxygen uptake method in evaluating the reactivity of organic waste?*, „Waste Management”, 2014, 34 (8), pp. 1356-1361.
- [26] Adani F., Badio D., Calcaterra E., Genevini P.: *The influence of biomass temperature on biostabilization-biodrying of municipal solid waste*, Bioresource Technology, 2002, 83, pp. 173-179.
- [27] Scaglia B., Erriquens F. G., Gigliotti G., Taccari M., Ciani M., Genevini P. L., Adani F.: *Precision determination for the specific oxygen uptake rate (SOUR) method used for biological stability evaluation of compost and biostabilized products*, Bioresource Technology, 2007, 98(3), pp. 706-713.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0004 MNSP.IKIO.14.001

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracy statutowej nr: 05.0.09.00/2.01.01.01.0004 MNSP.IKIO.14.001