

*Dr hab. inż. Renata Krzyżyńska, prof. uczelni*  
*Wydział Inżynierii Środowiska*  
*Politechnika Wrocławska*  
*Wybrzeże Wyspiańskiego 27*  
*50-370 Wrocław*  
*E-mail: renata.krzyzynska@pwr.edu.pl*

Wrocław, 31.08.2023 r.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**mgr inż. Karoliny Sobieraj**  
**pt. "Biological production of the carbon monoxide from biowaste"**  
**Biologiczna produkcja tlenku węgla z bioodpadów**

Przygotowanej pod kierunkiem naukowym współpromotorów:

**Prof. dr hab. inż. Andrzej Białowiec**

**Prof. dr hab. inż. Jacek Koziel**

**1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą formalną przygotowania recenzji jest pismo Pani Przewodniczącej Rady Dyscypliny, Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, dr hab. inż. Justyny Hachoł, prof. uczelni, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 18 lipca 2023 roku. Zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. -Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, z późn. zm.) rozprawa doktorska ma prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo w dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej. Ponadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonania artystyczne. Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczną, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej. Zgodnie z wytycznymi Rady Doskonałości Naukowej opinia dotycząca danej rozprawy doktorskiej powinna zawierać następujące elementy:

- ocena wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora określonej dyscypliny albo dyscyplinach;
- ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;

-ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonania artystyczne.

Recenzja została przygotowana zgodnie z powyższymi rekomendacjami.

## 2. Charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa stanowi zbiór opublikowanych w latach 2021–2023 (z czego dwa manuskrypty wysłane do czasopism w momencie złożenia rozprawy) i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, w skład których wchodzi następujące pozycje:

1. **Karolina Sobieraj**, Sylwia Stegenta-Dąbrowska, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec, 2021. *Modeling of CO Accumulation in the Headspace of the Bioreactor during Organic Waste Composting*, *Energies*, 14(5), 1-17, doi: 10.3390/en14051367  
Wydawnictwo: MDPI, IF: 3.2
2. **Karolina Sobieraj**, Sylwia Stegenta- Dąbrowska, Gang Luo, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec, 2022. *Carbon Monoxide Fate in the Environment as an Inspiration For Biorefinery Industry: A Review*, *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-24, doi: 10.3389/fenvs.2022.822463.  
Wydawnictwo: Frontiers Media, IF:5.4
3. **Karolina Sobieraj**, Sylwia Stegenta- Dąbrowska, Gang Luo, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec, 2023. *Biological treatment of biowaste as an innovative source of CO — The role of composting process*, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1-16, doi: 10.3389/fbioe.2023.1126737  
Wydawnictwo: Frontiers Media, IF:6.0
4. **Karolina Sobieraj**, Sylwia Stegenta-Dąbrowska, Christian Zafiu, Erwin Binner, Andrzej Białowiec, 2023. *Carbon monoxide production during biowaste composting under different temperature and aeration regimes*,  
Materials Wydawnictwo: MDPI, IF: 3.7
5. **Karolina Sobieraj**, Daria Derkacz, Anna Krasowska, Andrzej Białowiec, 2023. *Isolation and identification of CO-producing microorganisms from compost*, *Environmental Microbiology Reports* (under review). Wydawnictwo: John Wiley & Sons Ltd. IF: 3.7

6. **Karolina Sobieraj**, Karolina Giez, Jacek A. Koziel, Andrzej Białowiec, 2023. Assessment of emissions and potential occupational exposure to carbon monoxide during biowaste composting, Process Safety and Environmental Materials (MDPI), (under review)

W każdym z przedstawionych manuskryptów Pani mgr inż. Karolina Sobieraj jest pierwszym autorem, a wkład wynikający z załączonych oświadczeń jest znaczny, tj. brała udział w koncepcji badań, planowała, przygotowywała i wykonywała badania, pisała całość pierwszej wersji artykułu. W dwóch artykułach (M5 i M6) artykułach jest także autorem korespondencyjnym. Łączny wskaźnik wpływu (IF) prezentowanych publikacji (łącznie z tymi w trakcie recenzji) wynosi 26.2.

Z uwagi na dwa obszary badawcze związane z biologiczną produkcją CO z odpadów biologicznych artykuły zostały podzielone na dwie grupy i ułożone w logicznej kolejności. Grupa I: Charakterystyka biologicznej produkcji CO podczas kompostowania odpadów biologicznych (manuskrypty M2, M3, M4 i M5). Drugi obszar badawczy II: Analiza narażenia pracowników zakładu kompostowania na skutek biologicznej produkcji CO (manuskrypty M1 i M6). Cała praca, w tym publikacje, napisane są w języku angielskim. Praca doktorska się z 36 stron opracowania, w którym ma miejsce syntetyczne opisanie wyników badań zawartych w sześciu manuskryptach. Resztę pracy stanowią wydrukowane artykuły wraz z oświadczeniami współautorów. Do pracy dołączono, 1.5 stronicowe, streszczenie przetłumaczone na język polski. Taka forma pracy jest popularną formą rozpraw doktorskich praktykowanych na świecie. Praca jest czytelna i logicznie ułożona.

W tym miejscu nie sposób także nie wspomnieć o wartości przywołanych powyżej prac i znaczeniu prowadzonych przez Doktorantkę badań naukowych, o których świadczyć mogą chociażby spersonalizowane wskaźniki naukometryczne, takie jak: liczba cytowań – łącznie: 44, wchodzących w skład rozprawy doktorskiej: 11 (bez autocytowań, według bazy Scopus, na dzień 30.08.2023) oraz Indeks Hirscha – 4, które uznaję za bardzo dobre jak na kandydatkę do stopnia doktora nauk technicznych, przy uwzględnieniu reprezentowanej dyscypliny naukowej.

### 3. Merytoryczna charakterystyka pracy i znaczenie podjętego tematu badań dla rozwoju dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo Energetyka

Głównym celem rozprawy doktorskiej było **zdobycie nowej wiedzy** w dziedzinie biologicznej produkcji CO podczas kompostowania odpadów biologicznych, w szczególności:

1. Określenie optymalnego poziomu aeracji i warunków termicznych do produkcji CO podczas kompostowania odpadów biologicznych;
2. Izolacja i identyfikacja mikroorganizmów odpowiedzialnych za produkcję CO podczas kompostowania odpadów biologicznych;
3. Określenie wskaźników emisji CO z przyzm kompostowych w skali technicznej.

Ponadto, ze względu na toksyczny charakter CO produkowanego podczas kompostowania, postawiono dodatkowy, czwarty cel badawczy, tj.: 4. ocena potencjalnego narażenia zawodowego pracowników zakładu kompostowania na CO podczas kompostowania odpadów biologicznych.

Ww. cele badawcze zostały podzielone na dwie grupy obejmujące dwa obszary badawcze tj.: pierwszy: Charakterystyka biologicznej produkcji CO podczas kompostowania odpadów biologicznych (cele badawcze: 1-3); oraz drugi: Analiza narażenia pracowników zakładu kompostowania na skutek biologicznej produkcji CO (cel badawczy 4).

Wszystkie **cele pracy** nawiązują wprost do tytułu rozprawy, natomiast cele szczegółowe mają wydzźwięk zarówno **poznawczy** jak i **praktyczny**. **Postawione hipotezy badawcze i przyjęte cele pracy są ze sobą bezpośrednio powiązane** i wywodzą się z uprzednio przeprowadzonego **krytycznego przeglądu literatury**. Z kolei, przewidziany zakres badań pozwala na zrealizowanie wyznaczonych celów, a tym samym zweryfikowanie postawionych hipotez. Wszystkie powyższe cele Pani mgr inż. Karolina Sobieraj zrealizowała, a wyniki opublikowała w czasopismach naukowych, stanowiących część rozprawy doktorskiej.

Realizacja pierwszego celu badawczego (tj. określenie optymalnego poziomu aeracji i warunków termicznych do produkcji CO podczas kompostowania odpadów biologicznych):

Analiza literatury (M1-M3), przeprowadzona przez mgr inż. Karolinę Sobieraj, wykazała, że, pomimo postępu w procesach biorefineryjnych, idea połączenia "konwencjonalnego" procesu kompostowania z syntezą biochemikaliów (w tej pracy CO) nie była jeszcze rozważana. Praktycznie nie ma literatury branżowej w tym temacie. Kluczowymi czynnikami wpływającymi na produkcję CO są temperatura i stężenie O<sub>2</sub>, co stało się punktem wyjścia dla dalszych badań Doktorantki. W tym zakresie Doktorantka przeprowadziła badania w skali laboratoryjnej. Na podstawie uzyskanych wyników wyciągnęła wniosek, że na proces

uwalniania CO mają wpływ głównie dwa parametry: słabe napowietrzanie ( $<3,4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ ) i niska temperatura ( $<45^\circ\text{C}$ ). Z praktycznego punktu widzenia, proces kompostowania mający na celu uzyskanie wysokich stężeń CO może zachodzić w 'ekonomicznych warunkach', tj. opartych na niskosprawnym systemach napowietrzania. Jednakże, najwyższe stężenia CO, podczas kompostowania w warunkach laboratoryjnych, uzyskała w temp.  $65^\circ\text{C}$ . Wysoki poziom produkcji CO stymulowany niedoborami tlenu i dwoma zakresami temperatur, warunkami mezofilowymi i termofilowymi, podkreśla istotę biologicznej produkcji CO przez mikroorganizmy zdolne do produkcji CODH. Doktorantka opisała to w manuskrypcie nr 4 (M4), twierdząc jednocześnie, że pomimo aerobowego charakteru kompostowania, nie można wykluczyć uczestnictwa bakterii anaerobowych produkujących CODH. Co więcej, kompostowanie skoncentrowane na produkcji CO musi charakteryzować się nieco innym systemem prowadzenia procesu, związanym przede wszystkim z aktywnością różnych szczepów bakterii produkujących CO na różnych etapach procesu. Zdaniem Doktorantki, korzystne byłoby wydłużenie fazy mezofilowej przy temperaturach zbliżonych do  $35^\circ\text{C}$  ( $<45^\circ\text{C}$ ), a następnie materiał mógłby być poddany wysokiej temperaturze (warunki termofilowe,  $65^\circ\text{C}$ ) w celu sterylizacji produktu i wytwarzania CO.

Realizacja drugiego celu badawczego (tj. izolacja i identyfikacja mikroorganizmów odpowiedzialnych za produkcję CO podczas kompostowania odpadów biologicznych) opisana została w manuskrypcie nr 5 (M5). Badania przeprowadzone przez Panią Karolinę Sobieraj dowiodły, że wszystkie izolaty z próbek kompostu z przyzmy były szczepami bakteryjnymi, z przewagą bakterii Gram-dodatnich. Wykazano, że najczęstszymi bakteriami były przedstawiciele rodzaju *Bacillus* (*B. licheniformis*, *B. haynesii*, *B. paralicheniformis* i *B. thermolactis*). Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej po raz pierwszy w literaturze zidentyfikowano szczepy zdolne do produkcji CO podczas inkubacji w bioreaktorach. Wysokie stężenia uwalnianego CO podczas inkubacji były związane z niską zawartością tlenu ( $<6\%$ ) i wysokim poziomem  $\text{CO}_2$  ( $>8\%$ ).

Realizacja trzeciego celu badawczego (tj. określenie wskaźników emisji CO z przyzmy kompostowych w skali technicznej) opisana jest w manuskrypcie nr 6 (M6). Analizy emisji CO z pełnowymiarowych przyzmy kompostowych wykazały, że w trakcie standardowego procesu obsługi, emisja jest zmienna i jest wyższa po przekładaniu materiału. Po tym zabiegu, maksymalna średnia emisja CO jest od 1,7 do 13,7 razy wyższa niż przed przekładaniem materiału. Co więcej, średnie stężenia emitowanego CO wzrosły około 39-krotnie przed przekładaniem materiału i 14-krotnie po przekładaniu. Co więcej, Doktorantka twierdzi, że miejsca, które wcześniej były punktami emisji CO, mogą stać się także "pochłaniaczami CO".

Jak dotąd taki trend nie był dotąd raportowany w literaturze. Autorka twierdzi, że miejsce „pochłaniania CO” nie były równomiernie rozłożone i większość z nich znajdowała się w pobliżu boków stosów (>50% wszystkich lokalizacji). Przemiana punktów emisji w punkty absorpcji CO jest potencjalnie związana z obecnością mikroorganizmów produkujących enzym CODH (dehydrogenaza tlenu węgla) w tych obszarach pryzm.

Realizacja czwartego celu badawczego (tj. ocena potencjalnego narażenia zawodowego pracowników zakładu kompostowania na CO podczas kompostowania odpadów biologicznych) została opisana w manuskryptach nr 1 i 6 (M1 i M6). Badania wskazały, że kompostowanie odpadów może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia pracowników obsługujących proces prowadzony w hali kompostowania, zarówno w zamkniętych reaktorach, jak i w pryzmach. Zamknięte kompostowanie może mieć niezamierzone skutki, takie jak gromadzenie się szkodliwych substancji. Modelowanie przeprowadzone w ramach manuskryptu M1 wykazało, że proces kompostowania prowadzony w zamkniętych bioreaktorach przez pierwsze 14 dni prowadzi do gromadzenia się CO powyżej poziomu 100 ppm (wybranego jako bezpieczny poziom dla 15 minut pracy), zarówno gdy bioreaktor nie jest wentylowany, jak i w procesie z wentylacją określaną jako krótka (dziennie otwieranie bioreaktora). Sytuacja ta występowała pomimo uwzględnienia różnych stosunków objętość przestrzeni nad materiałem do objętości odpadów (H:W) w reaktorze. Badania wskazały, że w przypadku awarii systemu wentylacji przestrzeni nad materiałem, stężenie CO osiąga niebezpieczne wartości dla pracowników już w ciągu pierwszych 24 godzin. Ponadto modelowanie pokazało, że nawet codzienny wydatek gazu zgromadzonego w przestrzeni nad materiałem w bioreaktorze nie jest wystarczający, aby obniżyć stężenie CO do bezpiecznego poziomu. Może natomiast osiągnąć 3.2%, co stanowi zagrożenie życia dla pracowników zakładu. Z kolei badania nad emisją CO przeprowadzone w skali technicznej w zakładach kompostowania pokazały, że koncentracja CO przez 1 godzinę w zamkniętej hali kompostowania może wynieść maks. 59 ppm przed przekładaniem, a >135 ppm po przekładaniu. Jest to szczególnie ważne ze względu na wartości progowe WHO dotyczące stężenia CO. Zgodnie z uzyskanymi wynikami, poziom tego gazu w zamkniętej hali kompostowania przekroczył ekspozycję 1 godz. i 15 min. (odpowiednio 25 i 90 ppm). Jak wskazano w manuskrypcie przeglądowym (M2), osoby pracujące w takim środowisku mogą doświadczać różnych objawów, takich jak ból głowy, dzwonienie w uszach, zmęczenie, osłabienie, nudności i wymioty. W związku z powyższym Doktorantka opracowała zalecenia dotyczące procesu kompostowania w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracowników obsługujących go. Obliczyła (manuskrypt M5), że w przypadku prowadzenia procesu

kompostowania w zamkniętym reaktorze, przepływ powietrza niezbędny do utrzymania stężenia CO poniżej 100 ppm w przestrzeni nad materiałem nie powinien być niższy niż  $\geq 7.15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Mg}$  masy mokrej<sup>-1</sup>. Ponadto wskazała optymalny stosunek objętość przestrzeni nad materiałem do objętości odpadów (H:W), który powinien być wyższy niż 4:1. Jeśli proces odbywa się na przyzmach kompostowych, ich wysokość nie powinna przekraczać 1 metra, aby zmniejszyć ryzyko nadmiernego gromadzenia się CO w hali kompostowania. W manuskrypcie nr 6 (M6) zaproponowała także instrukcje dotyczące obsługi kompostowania bioodpadów w zamkniętej hali. Zaznaczyła, że obecny system pracy oparty na 8-godzinnych zmianach, podczas których wykonywane są te same czynności (w tym przekładanie materiału), nie jest korzystny z punktu widzenia utrzymania bezpiecznych warunków pracy. Zaleciła skrócenie czasu spędzanego przez pracowników w zamkniętej hali kompostowania i ograniczenie działań do tych, które wymagają jedynie umiarkowanego wysiłku fizycznego. Ze względu na wyższą emisję CO z górnej części przyzm i tendencję do gromadzenia się CO w wyższych częściach zamkniętych hal zaleca się także wyposażenie pracowników odpowiedzialnych za wyrównywanie i przekładanie stosów w indywidualne środki ochrony osobistej, takie jak osobiste detektory CO oraz odpowiednie maski oddechowe z filtrami. Zalecana jest także automatyzacja procesu przekładania materiału, co zmniejszyłoby ekspozycję pracowników. W hali kompostowania należy także zamontować sygnalizatory, zwłaszcza nad materiałem kompostowym. Szczególną uwagę należy zwrócić na wdrożenie niezawodnych systemów wentylacji w zamkniętych zakładach kompostowania, zapewniających usuwanie zanieczyszczeń przy jednoczesnym dostarczaniu świeżego powietrza. Zaleca się regularne monitorowanie emisji CO przez cały proces kompostowania, nie tylko na początkowych etapach, ponieważ są one zmienne i mogą wzrastać wraz z temperaturą, osiągając wielokrotne szczyty w trakcie procesu.

Biorąc powyższe pod uwagę, uważam, że **wszystkie cele rozprawy zostały osiągnięte**. Uważam także, że rozprawa doktorska prezentuje **ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki na wysokim poziomie w dyscyplinie Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka**. Doktorantka wykazała się także **umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**.

Dysertacja stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** w obszarze biologicznej produkcji tlenku węgla z bioodpadów. Co więcej, przeprowadzone badania przyczyniły się do zdobycia nowej, dotąd nieopublikowanej wiedzy na temat powstawania i emisji CO z przyzm kompostowych, tym samym **podkreślając ważności ich dla rozwoju dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo Energetyka**

Przedłożoną do oceny rozprawę w **całości oceniam wysoko**. Na etapie tej lektury nasuwały się pewne pytania, uwagi i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

**Uwagi szczegółowe:**

1. Rodział 1: *Introduction*: Przy omawianiu emisji gazów powstających w procesie kompostowania pominięto (brak nawet jednego zdania) te najbardziej charakterystyczne i niebezpieczne gazy dla człowieka jakimi są siarkowodór ( $H_2S$ ) czy amoniak ( $NH_3$ ).
2. Rodział 2: *CO production from the composting*. Doktorantka pisze, że temat nie jest dyskutowany w literaturze światowej, a emisja tego gazu jest wiązana głównie z procesami spalania. W całej bazie istnieje zaledwie 37 artykułów w tematyce kompostowania i emisji CO, a w ostatnich latach (2019-2022) w bazie pojawiło się zaledwie 6 pozycji. Doktorantka nie zamieszcza jednak natomiast żadnego wytłumaczenia. Uwalnianie się CO z procesów kompostowania jest wiedzą powszechną, jednakże brak zainteresowania badaczy tą tematyką z czegoś wynika. Opisanie trudności czy ograniczeń związanych z tym tematem nie zaważyłoby na pozytywnej ocenie rozprawy, a świadczyłoby o umiejętności analityczno-krytycznego myślenia Doktorantki.
3. Rodział 5: *The structure of the doctoral dissertation*: Na rozprawę doktorską składa się cykl 6-ciu publikacji, z czego dwie są w trakcie recenzji. Zakres prowadzonych badań i wartość merytoryczna artykułów są na wysokim poziomie i z pewnością wyniki badań wzbudziłyby zainteresowanie wielu badaczy. Jedyną wątpliwość w tym temacie budzi publikacja wyników w czasopismach wydawnictw, które pomimo przyznanej punktacji ministerialnej, nie cieszą się w krajowym i międzynarodowym środowisku naukowym uznaniem i nie są uważane za prestiżowe. Szkoda, że Doktorantka, pomimo ciekawych i wartościowych wyników badań, nie pokusiła się na publikację, chociaż jednego artykułu, w prestiżowym czasopiśmie wydawnictw typu *Elsevier* czy *Springer*. Różnorodność byłaby atutem rozprawy.
4. Manuskrypt 1 (M1): Str. 2 – paragraf 3: W opublikowanym artykule jest błąd: napisane jest, że „tlenek węgla (CO) jest cięższy od powietrza”. W rzeczywistości, jest odwrotnie: CO jest nieco lżejszy od powietrza.
5. Manuskrypt 1(M1): Doktorantka przedstawia rekomendacje dotyczące minimalnej wymiany powietrza i wysokości pryzm, aby utrzymać stężenie CO poniżej



dopuszczalnej granicy bezpiecznej dla człowieka. Według Doktorantki, minimalna ilość powietrza to  $\geq 7.15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Mg}$  masy mokrej<sup>-1</sup>. Proszę o wyjaśnienie jak ta wartość odnosi się do obowiązujących norm dotyczących wentylacji tego typu obiektów oraz proszę podać założenia (wyjściowe do modelu i obliczeń) na podstawie których Doktorantka doszła do takich wniosków.

6. Manuskrypt 1-3 (M1-3): W rozprawie doktorskiej dużo miejsca poświęcone jest parametrom wpływającym na emisję CO (głównie temperatura i O<sub>2</sub>). Czy doktorantka zauważyła korelację między emisją CO a rodzajem kompostowanych odpadów?
7. Manuskrypt 5 (M5): Badania przeprowadzone przez Doktorantkę dowiodły, że wszystkie izolaty z próbek kompostu z przyzmy były szczepami bakteryjnymi, z przewagą bakterii Gram-dodatnich. Wykazano, że najczęstszymi bakteriami były przedstawiciele rodzaju *Bacillus* (*B. licheniformis*, *B. haynesii*, *B. paralicheniformis* i *B. thermolactis*). Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej po raz pierwszy w literaturze zidentyfikowano szczepy zdolne do produkcji CO w ilości 1000 ppm (*B. paralicheniformis*), > 800 ppm (*B. licheniformis*) i ok. 600 ppm (*Geobacillus thermodenitrificans*, podczas inkubacji w bioreaktorach.  
Jakie parametry wpływają na rozwój konkretnej grupy bakterii? Czy można 'regulować' liczebność/typ bakterii zmieniając warunki procesu lub skład bioodpadów i tym samym regulować do pewnego stopnia bioprodukcję CO?
8. Manuskrypt 6 (M6): Emisja CO. Do pomiaru CO emitowanego z przyzmy zastosowano metodę „*flux chamber method*” z *Environment Agency Wales LFTGN07: Guidance on Monitoring Landfill Gas Surface Emissions 2010*”. Proszę przedstawić adaptację tej metody we własnych pomiarach.
9. Manuskrypt 6 (M6): Doktorantka twierdzi, że miejsca w przyzmach, które wcześniej były punktami emisji CO, mogą stać się także "pochłaniaczami CO". Jak dotąd taki trend nie był dotąd raportowany w literaturze. Proszę o wyjaśnienie tego zjawiska.

Jednocześnie pragnę podkreślić, że zamieszczone **powyżej uwagi i komentarze żaden sposób nie umniejszają wartości naukowej ocenianej rozprawy doktorskiej.**

#### 4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny **rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie** ważnego problemu naukowego, jakim jest biologiczna produkcja tlenku węgla (CO) z bioodpadów.

Tematyka rozprawy jest **aktualna i ważna zarówno z naukowego, jaki praktycznego punktu widzenia**. Uzyskane wyniki przyczyniają się do rozwoju dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. **Doktorantka wykazuje wysoką ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. W mojej ocenie, przedstawiona **rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania stawiane przez obowiązujące ustawodawstwo**.

Przy ocenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Sobieraj, wzięłam pod uwagę: znaczenie, oryginalność podjętej tematyki, poprawność formowania celów i hipotez badawczych, metodykę badań, opis interpretacji uzyskanych wyników, strukturę rozprawy oraz jej strony warsztatowej. Biorąc pod uwagę powyższe kryteria oraz uwagi zawarte w recenzji stwierdzam, że oceniona przeze mnie praca doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.- Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1668, z późn. zm.). W związku z powyższym **wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do kolejnych etapów przewodu doktorskiego**.

Wrocław, 31.08.2023



.....  
Dr hab. inż. Renata Krzyżyńska, prof. uczelni