

Poznań, dn. 27.09.2020 r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Dach
Katedra Inżynierii Biosystemów
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Racia
pt. „Kompostowanie odpadów porolniczych w warunkach
hiperbarycznych”, wykonanej na Wydziale Przyrodniczo-Technologicznym,
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
nad którą opiekę naukową sprawowali
promotorzy:
prof. dr hab. inż. Jerzy Bieniek
prof. dr hab. inż. Andrzej Białowiec**

OCENA FORMALNA PRACY

Wykonanie recenzji rozprawy doktorskiej zlecił mi Przewodniczący Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, pan prof. dr hab. Marcin Kozak, zgodnie z uchwałą Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o wyznaczeniu mnie na recenzenta.

Promotorami pracy są prof. dr hab. inż. Jerzy Bieniek oraz prof. dr hab. inż. Andrzej Białowiec.

Rozprawa liczy łącznie 111 stron, a w swojej treści zawiera 58 rysunków i 15 tabel.

W ocenianej pracy wykorzystano cytowania ogółem z 86 pozycji literaturowych, przy czym 55 jest obcojęzyczna (przede wszystkim materiały angielskojęzyczne), co jest dowodem na szerokie korzystanie przez Doktoranta z zasobów literatury światowej.

Oceniana przeze mnie rozprawa posiada właściwą strukturę wymaganą dla dysertacji doktorskich, choć trochę brakuje mi aneksu zawierającego spis tabel i rycin. Za to dla niezorientowanego w tematyce kompostowania czytelnika pomocnym na pewno będzie spis ważniejszych oznaczeń na początku pracy. Największą objętościowo część (47 stron – blisko połowa merytorycznej części pracy) stanowi rozdział 5. Wyniki badań. Świadczy to o

położeniu przez Doktoranta największego nacisku w pracy na prezentację efektów swoich badań i ich omówienie .

W swojej pracy pan mgr inż. Krzysztof Rać podejmuje problematykę możliwości zintensyfikowania procesu kompostowania w stosunku do istniejących technologii, poprzez realizację tego procesu w warunkach hiperbarycznych. Z uwagi fakt, że badania nad procesem kompostowania prowadzone są już od początku lat 20. XX w., a w ostatnich dekadach ten proces był (i nadal jest) badany przez liczne zespoły naukowców z całego świata – zadanie to uważam za bardzo ambitne. Z jednej strony bowiem biologiczne procesy przetwarzania odpadów organicznych (kompostowanie i fermentacja) wydają się być najwłaściwsze do zastosowania w zagospodarowaniu bioodpadów, z drugiej jednak w skali rzeczywistej problemy w gospodarce odpadami organicznymi, z uwagi na liczne ograniczenia prawne i ekonomiczne, stają się coraz większe – zarówno w Polsce jak i w wielu krajach świata. Zwłaszcza wzrastająca ilość strumienia bioodpadów powoduje przekraczanie górnych granic przepustowości instalacji do kompostowania odpadów (przykładowo w Poznaniu w 2019 roku nominalny zakres możliwych do przerobienia odpadów biokompostownia w Suchym Lesie osiągnęła już... na początku sierpnia). Stąd konieczne są badania mające na celu optymalizację procesu oraz możliwość skrócenia termofilnej fazy kompostowania, przy zachowaniu odpowiedniej jakości parametrów wytworzonego kompostu. Dlatego, poza naukowymi aspektami niniejszej dysertacji, widzę również pewien potencjał powiązania jej wyników z praktyką gospodarczą.

Na tej podstawie uważam, że podjęcie przez Doktoranta tematu kompostowania bioodpadów porolniczych w warunkach hiperbarycznych ma bardzo silne uzasadnienie naukowe, włącznie z dużym potencjałem publikacyjnym w liczących się czasopismach o zasięgu międzynarodowym – a także wpisuje się w trendy gospodarcze poszukiwania lepszych rozwiązań w sektorze bioodpadów.

SZCZEGÓŁOWA OCENA PRACY

Tytuł ocenianej dysertacji odpowiada jej merytorycznej zawartości.

We **Wstępie** Doktorant nakreśla podstawy podjęcia realizacji ocenianej pracy oraz formułuje problem badawczy jako *zgłębienie wpływu warunków hiperbarycznych na proces kompostowania odpadów porolniczych*, a w szczególności poznania *niewyjaśnianego*

wcześniej wpływu podwyższonego ciśnienia na proces kompostowania poprzez obserwację produkcji CO₂, wzrostu temperatury w pierwszej fazie (wstępnego wzrostu temperatury) procesu rozkładu materii organicznej oraz efektywności technologicznej. Takie sformułowanie problemu badawczego jest poprawne, określa zarazem obszar niewiedzy, którego rozpoznanie zadeklarował Autor w postaci określenia *najkorzystniejszych wariantów ciśnień, podczas których zostaną osiągnięte optymalne warunki do uzyskania produktu, którego finalnie będzie można zastosować w rolnictwie.*

Kolejny rozdział to **Przegląd literatury**. Doktorant opisuje w nim problemy gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem odpadów ulegających biodegradacji oraz analizuje kompostowanie i jego podstawy technologiczne, jak też parametry procesowe. W trakcie lektury nasunęło mi się wrażenie, że Autor dzieli bioodpady komunalne na te, które można wyłącznie kompostować i inne, głównie do fermentacji (strona 14, 1. akapit). Na podstawie moich własnych doświadczeń w tym obszarze, osobiście się z tym zdaniem nie zgadzam, bowiem przecież spośród *selektywnie zbieranych odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego z kuchni, stołówek i restauracji oraz z ogrodów i terenów zieleni miejskiej, a także części odpadów z targowisk oraz papieru i tektur* można używać w nowoczesnych biogazowniach III generacji wszystkie z powyższych materiałów oprócz drewna i jego odpadów. A w związku z tym mam pytanie do Doktoranta: Jakie są podstawowe różnice pomiędzy procesami kompostowania i fermentacji metanowej i która z tych technologii może mieć więcej zalet z punktu widzenia inwestycji w zagospodarowanie organicznych odpadów komunalnych?

Doktorant, opisując proces kompostowania podaje również (charakteryzując ten proces), iż w *fazie termofilowej zakres temperatur waha się w przedziale 45-55°C (w skrajnych przypadkach nawet do 70°C)*. Stwierdzenie, iż temperatura w fazie termofilnej w „skrajnych przypadkach” osiąga 70°C wydaje się nie być najszczęśliwsze, bowiem w przypadku prawidłowo prowadzonego kompostowania notorycznie osiąga ona i przekracza ten poziom, co stwierdzone było w dziesiątkach polskich publikacji naukowych i jeszcze większej liczby zagranicznych – a (uchylone już) Rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 r. ustanawiające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego wręcz wyznaczało minimalny poziom osiągniętej temperatury w czasie kompostowania na 70°C jako gwarancję efektu higienizacji kompostowanego materiału. Proszę Doktoranta o odniesienie się podczas

publicznej obrony do mojego pytania: jak kształtuje się wzrost temperatury w czasie fazy termofilnej kompostowania materiałów organicznych, jakie mogą być osiągnięte maksymalne temperatury? Także stwierdzenie na stronie 17., iż *nadmiar azotu jest uwalniany do atmosfery wywołując odory* – nie jest najszcześliwiej sformułowane, bowiem to ułatwiający się amoniak ma silny, nieprzyjemny, gryzący zapach. Z kolei te tzw. odory to różne inne, towarzyszące wzrostowi temperatury emisje związków złoonych, które nasilają się zwłaszcza w pierwszym tygodniu kompostowania.

Niezależnie od powyższych uwag stwierdzam, że część literaturowa dysertacji zawiera bardzo dużą dawkę wartościowych informacji naukowych opartych na szerokim zakresie wykorzystanych źródeł.

W kolejnym rozdziale (**3. Geneza i cel pracy**) Doktorant uzasadnia przyczynę podjęcia realizowanych badań i wykazuje obszar niewiedzy naukowej. Wymienia również przyjęte hipotezy badawcze oraz precyzuje cel pracy, jak też 3 cele szczegółowe.

W kolejnym rozdziale (4.) zatytułowanym **Materiały i metody badań** Doktorant charakteryzuje wykorzystane w badaniach substraty (sieczkę trawy różnej długości) oraz opisuje skonstruowane na potrzeby badań stanowisko badawcze. 4-komorowy układ badawczy posiadał zaawansowany program sterujący, który umożliwiał wizualizację parametrów roboczych stanowiska, ale również pozwalał na zmianę parametrów roboczych i ich symulację. W kwestii planu doświadczenia mam pewne wątpliwości, czy założony dłuższy czasokres (8 h) wymiany powietrza nie był zbyt długi dla zapewnienia odpowiednich warunków tlenowych w komorach biorąc pod uwagę fakt, że np. w badaniach realizowanych w kierowanej przeze mnie Pracowni Ekotechnologii przyjmuje się z reguły czasokres wymiany powietrza między 30 a 80 minut? Proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do tej kwestii w czasie publicznej obrony.

Bardzo pozytywnie oceniam umieszczenie przez Doktoranta schematu blokowego badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej (strona 31). Nie mam też zastrzeżeń do wykorzystanych metod oznaczeń parametrów badanych próbek oraz metodyki obliczeń statystycznych.

W kolejnym rozdziale pt. **Wyniki badań** Doktorant opisuje najpierw zmiany poszczególnych parametrów kompostowanego materiału. Moje pewne zdziwienie budzi fakt niewielkiego spadku, lub czasem nawet wzrostu wilgotności materiału po procesie

kompostowania. Stąd moje pytanie: czy nie jest to efektem jednak zbyt małej intensywności przewietrzania komór? W kwestii redukcji zawartości materii organicznej (podobnej we wszystkich wariantach), Doktorant podaje wartość na poziomie 3,4%. Czy chodzi o redukcję procentową zawartości M.O. w stosunku do wartości początkowej, czy też spadek wagi o 3,4% w stosunku do masy początkowej materii organicznej? Czy nie jest to dość niska wartość jak na proces kompostowania – i znów pojawia się moje pytanie – czy gdyby skrócić czasokres wymiany powietrza, wówczas może ten spadek mógłby być głębszy? Proszę również Doktoranta o komentarz – czy gdyby skrócić czasokres wymiany powietrza wprowadzając w ten sposób większą ilość tlenu – możliwy byłby wzrost średniej temperatury maksymalnej? Swoją uwagę opieram również na obserwacjach Doktoranta – na stronie 66. stwierdza On bowiem, iż *Występowanie maksymalnego stężenia (CO₂) w czasie zależało od zastosowanego ciśnienia: najwcześniej maksimum wystąpiło przy ciśnieniach 200 kPa – około 76 godzin po rozpoczęciu eksperymentu, co wskazuje na najwyższą intensywność przemian w fazie wzrostu.* Czyli można przypuszczać, że im więcej tlenu w komorze w związku z podwyższonym ciśnieniem – tym szybciej i bardziej intensywnie zachodził proces kompostowania.

W rozdziale **6. Dyskusja wyników** Doktorant podsumował w bardzo rozbudowany sposób najważniejsze uzyskane rezultaty i zestawiał je z wynikami literaturowymi. Moje zdziwienie wywołał jednak fragment pracy dotyczący wilgotności (*W przypadku spadku wilgotności materiału zaleca się podlewanie pryzm z materiałem kompostowanym*) – wszak jednym z najbardziej ewidentnych korzyści z wynikających z procesu kompostowania jest spadek masy, który wynika przede wszystkim z powodu odparowania nadmiaru wody. Proszę więc Doktoranta o skomentowanie tego fragmentu podczas publicznej obrony. Autor podaje również, iż *Wzrost zawartości azotu jest związany ze spadkiem zawartości węgla organicznego w produkcji kompostowania.* Jest to prawda, ale tylko w odniesieniu do aktualnego stężenia pierwiastków w kompostowanej masie – należy jednak pamiętać, że biorąc pod uwagę początkową ilość azotu w materiale przeznaczonym do kompostowania – mamy jednak znaczący spadek azotu, wynikający choćby z emisji amoniaku poza reaktor. Ten sam efekt dotyczy fosforu i potasu – obserwuje się wzrost ich zawartości, ale na tle zmniejszającej się ogólnej masy kompostu.

W rozdziale **7. Podsumowanie** Doktorant podsumował uzyskane wyniki oraz zestawiał je z założonymi w rozdziale 3. hipotezami naukowymi. Na uwagę zasługują słuszne uwagi

Autora odnośnie potrzeby kontynuowania badań w podjętej tematyce. Z mojej strony szczególnie zasugerowałbym realizację doświadczeń z większym stopniem napowietrzania (krótszy czasokres wymian powietrza) oraz odprowadzaniem z dolnej części komór skroplin. Krytyczne uwagi oraz wątpliwości zamieszczone w niniejszej recenzji dotyczą niewielkiej części pracy doktorskiej, która zawiera wiele cennych danych badawczych.

Podsumowując ocenę merytoryczną pracy stwierdzam, iż Doktorant podjął się realizacji badań z dotychczas niezbadanego obszaru naukowego – co samo w sobie jest już cennym wkładem do świata nauki. Sądzę, że zawarty w dysertacji materiał badawczy ma dużą wartość publikacyjną. Kończąc chciałbym także podkreślić wysoki poziom edytorski pracy, choć Autor nie ustrzegł się pewnej liczby drobnych błędów stylistycznych czy interpunkcyjnych.

WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana przeze mnie praca doktorska wchodzi w praktycznie niezbadany do tej pory obszar prowadzenia badań nad kompostowaniem bioodpadów w warunkach podwyższonego ciśnienia. Znalezienie w obecnych czasach niezbadanego jeszcze obszaru naukowego w zakresie kompostowania uważam za bardzo dużą wartość niniejszej dysertacji – zwłaszcza z uwagi na tak wielką liczbę zespołów badawczych na całym świecie zajmujących się tematyką kompostowania. Uzyskane wyniki wnoszą wartościową wiedzę do tematyki kompostowania, a realizowane badania powinny być dalej rozwijane także w przyszłości.

Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska przedłożona przez mgr. inż. Krzysztofa Racia spełniła ustawowe wymagania do ubiegania się o stopień naukowy doktora, zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Na tej podstawie kieruję wniosek do Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie mgr. inż. Krzysztofa Racia do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

