

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Racia **pt. „Kompostowanie odpadów porolniczych w warunkach hiperbarycznych”**

Recenzja została wykonana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu Pana Prof. dr hab. Marcina Kozaka na podstawie pisma (PD000000 4100.8. 2020) z dnia 03.08.2020 roku.

Praca doktorska była realizowana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jerzego Bieńka i prof. dr hab. inż. Andrzeja Białowca

Ocena problematyki badawczej i celu pracy

Jedną z najważniejszych zagadnień dotyczących ochrony środowiska, w tym gospodarki odpadami jest konieczność dostosowania przepisów prawnych obowiązujących w Polsce do prawodawstwa w Unii Europejskiej. Reguluje to Ustawa o odpadach środkach służących ochronie środowiska, życia i zdrowia ludzi, które zapobiegają i zmniejszają negatywny wpływ na środowisko oraz zdrowie ludzi (Dz.U.2019. 701). Zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego w sprawie gospodarowania odpadami komunalnymi i osadami ściekowymi do 2020 roku uzasadnione jest systematyczne bezpieczne dla środowiska ich wykorzystywanie i ograniczanie ich składowania. Bezpieczne wykorzystanie to między innymi selektywne ich gromadzenie i zagospodarowanie jako surowców wtórnych, a także zastosowanie kompostowania lub metod termicznych.

Obecnie trwają intensywne prace badawcze i wdrożeniowe nad procesami biologicznego i termicznego przekształcania bioodpadów, które pokazują nowe zastosowanie produktów wytworzonych w procesach konwersji termicznej oraz biologicznego przetworzenia odpadów. Bioodpady mogą być cennymi materiałami, z których w procesach przemian biologicznych i termicznych można uzyskać paliwa stałe, ciekłe, gazowe oraz nawozy użyźniające glebę. Według GUS w roku 2018 (91,9%) największa ilość odpadów komunalnych zebranych selektywnie pochodziło z gospodarstw domowych, główną frakcją były odpady biodegradowalne. Osady ściekowe są bogatym źródłem substancji organicznej oraz składników pokarmowych dla roślin i mogą być traktowane jako tani i ekologiczny nawóz organiczny. W krajowym planie gospodarki alternatywną metodą w zakresie gospodarki odpadami jest więc kompostowanie. Kompostowanie jako proces technologiczny wymaga określonych w pełni kontrolowanych czynników odpowiedzialnych za prawidłowy przebieg procesu. W trakcie rozkładu substancji organicznych zmniejsza się o ok. 50% objętość i masa stabilnego produktu, zawierającego substancje próchniczne, które można stosować w rolnictwie. O wartości

nawozowej kompostu decyduje skład organiczny materiału przeznaczonego do procesu, a także jego stopień dojrzałości.

Na podstawie licznych badań na przebieg samego procesu kompostowania możemy wpływać między innymi przez napowietrzanie, dostarczenie dodatku efektywnych mikroorganizmów (EM). Napowietrzanie materiału poddawanego procesowi kompostowania ma największy wpływ na dynamikę i szybkość osiągania określonych faz procesu. Najczęściej stosowanymi kryteriami oceny procesu kompostowania są zmiana długości czasu, temperatury oraz stężenia CO₂ w gazach procesowych, a także efektywność procesu. Mając na uwadze brak prac badawczych ukierunkowanych na analizę procesu kompostowania w warunkach hiperbarycznych, przy jednoczesnej dużej koncentracji badań w warunkach normalnego ciśnienia stwierdzam, że podjęty przez Pana mgr inż. Krzysztofa Racia temat badań dotyczący optymalizacji procesu kompostowania przez podwyższenie ciśnienia jest bardzo ważny i aktualny, posiadający znaczenie poznawcze i praktyczne.

Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej

Przedłożona do oceny praca doktorska została przygotowana w formie monografii, licząca wraz ze spisem tabel i rysunków 109 stron składa się z 8 rozdziałów i bibliografii:

1. Wstęp; 2. Przegląd literatury; 3. Geneza i cel pracy; 4. Materiały i metody badań; 5. Wyniki badań; 6. Dyskusja wyników; 7. Podsumowanie; 8. Wnioski; Bibliografia.

W pracy zamieszczony jest bogaty materiał dokumentacyjny, który obejmuje 57 rysunków i 15 tabel z obliczeniami statystycznymi. Stosownie do ważności prezentowanych treści wybrane rozdziały podzielone zostały na podrozdziały, co zwiększa przejrzystość prezentowanej tematyki i ułatwia jej studiowanie. Wykaz bibliograficzny rozprawy obejmuje 86 pozycji naukowych (w tym 2- Ustawa o Odpadach i Dziennik Ustaw oraz 1-Katalog odpadów), z tego 53 pozycje obcojęzyczne, co stanowi 62.8% wszystkich publikacji. Zestawienia tabelaryczne i rysunki ilustrujące wyniki korespondują z treścią rozprawy stanowiąc merytoryczną i wnikliwą dokumentację uzyskanych wyników badań.

Ocena merytoryczna rozprawy

Tytuł pracy jest czytelny, komunikatywny a podjęty temat będący treścią pracy doktorskiej Doktorant nakreśla już we wstępie akcentując problem badawczy związany z zagadnieniem zwiększenia wydajności procesu kompostowania odpadów porolniczych poprzez wprowadzenie dodatkowego czynnika jakim jest zwiększone ciśnienie. Z tego względu proponowane kompostowanie w warunkach hiperbarycznych jest nowym otwarciem w zakresie zwiększania efektywności procesu. W drugim rozdziale pracy (**Przegląd literatury**) w sposób bardzo wnikliwy przedstawia zagadnienia związane gospodarką odpadami komunalnymi w Polsce analizując podział i źródła pochodzenia odpadów komunalnych zebranych w 2018 roku. W szczegółowy sposób analizuje wpływ podstawowych parametrów technologicznych procesu kompostowania wilgotności, zawartości substancji organicznych, mikroorganizmów, odczynu pH, temperatury, przestrzeni powietrznych na mechanizm i kinetykę procesu kompostowania.

Według Doktoranta czynnikiem nie w pełni docenianym i nieuwzględnianym w optymalizacji procesu kompostowania jest podwyższenie ciśnienia. Brak prac badawczych ukierunkowanych na analizę procesu kompostowania w warunkach hiperbarycznych, przy

jednoczesnej dużej koncentracji badań w warunkach normalnego ciśnienia przyczynił się do podjęcia badań w tym kierunku i sformułowania hipotez badawczych:

1. Wzrost ciśnienia spowoduje osiągnięcie wyższej temperatury procesu ze względu na wzrost energii wewnętrznej układu bioreaktora.
2. Wzrost ciśnienia spowoduje skrócenie czasu osiągnięcia maksymalnej temperatury procesu kompostowania ze względu na wzrost kinetyki procesu rozkładu materii organicznej.
3. Spadek częstotliwości wymiany powietrza spowoduje obniżenie temperatury i obniżenie szybkości rozkładu materii organicznej ze względu na występowanie deficytów tlenowych.
4. Kompostowanie w warunkach hiperbarycznych zwiększy efektywność procesu.

Nawiązując do zredagowanych hipotez badawczych formułuje właściwie korespondujący cel główny pracy cyt., „określenie wpływu podwyższonego ciśnienia na proces tlenowego rozkładu materii organicznej z odpadów rolniczych” oraz cele szczegółowe:

1. Analiza możliwości wykorzystania podwyższonego ciśnienia w procesie rozkładu materii organicznej do przyspieszenia osiągnięcia wybranych faz procesu.
2. Analiza parametrów procesowych w stałych odstępach czasowych 4 i 8 godzinnych napowietrzania.
3. Analiza parametrów procesowych kompostowanych odpadów przed i po eksperymencie.

4. Materiały i metody badań. Badania metodą autorską wraz z promotorami zostały wykonane na stanowisku badawczym do kompostowania w warunkach hiperbarycznych w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w Zakładzie Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarką Odpadami. Materiałem wejściowym do procesu kompostowania w warunkach hiperbarycznych stanowiła skoszona trawa z terenów zielonych miasta Wrocławia o długości 50 i 150 mm. Brak jednak informacji w którym roku zostały wykonane badania i w jakim miejscu i okresie wzrostu pozyskano materiał do procesu kompostowania. Doktorant bardzo umiejętnie przedstawił ogólny plan doświadczeń i kolejność etapów realizacji celu pracy przedstawionego na schematach: stanowiska badawczego i szczegółowym schemacie blokowym przebiegu doświadczenia. Przyjęta metodyka pomiarów i statystyczna analiza danych przedstawione zostały poprawnie, co dało podstawę do prawidłowego wnioskowania uzyskanych wyników badań.

Rozdział **5. Wyniki** stanowi zasadniczą część pracy (str. 35-91) i jest oryginalnym osiągnięciem Doktoranta. Obejmuje on 6 podrozdziałów. Każdy podrozdział podzielony jest na dalsze podrozdziały w których mgr inż. Krzysztofa Racia bardzo szczegółowo analizuje wyniki badań. Mocną stroną dysertacji jest bardzo duża ilość uzyskanych wyników, a dobrze dobrane analizy statystyczne pozwoliły na wykazanie efektywności procesu kompostowania w warunkach hiperbarycznych, wpływu zmiany temperatury odpadów w trakcie kompostowania w warunkach hiperbarycznych przy częstotliwości wymiany powietrza co 4 h i 8 h, zmiany stężenia CO₂ w gazie procesowym podczas wymiany powietrza co 4h i 8h w trakcie kompostowania w warunkach hiperbarycznych oraz kinetyki produkcji CO₂. Należy tu podkreślić, że badania były praco- i czasochłonne. Monitorowanie zmian wartości sześciu wskaźników w materiałach poddawanych kompostowaniu wymagało dużego zaangażowania w oznaczenia analityczne w laboratorium. Wyniki są szczegółowo przedstawione na rysunkach

i poprawnie opisane, zgodnie z kolejnością czynników doświadczalnych. Szczegółowy opis wyników świadczy o dużej wnikliwości Doktoranta, co należy uznać za zaletę, ale z drugiej strony jest to pewna niedogodność w odbiorze tekstu i wymaga od czytelnika dużego skupienia w przedstawionej interpretacji wyników badań. W analizie wyników badań znalazły się pewne niedociągnięcia edycyjne, skróty myślowe czy nieprawidłowe sformułowania. Przykładowe uwagi edycyjne:

- „największym wzrostem wilgotności charakteryzowało się ciśnienie kontrolne” t.j. 0 kPa (str.36),
- „najniższym wzrostem wilgotności materiału kompostowanego charakteryzowało się ciśnienie 200kPa (str.36),
- „wzrostem wilgotności materiału kompostowanego charakteryzowały się pozostałe ciśnienia (str.36),
- „najlepszą efektywnością usunięcia materii organicznej wykazało się ciśnienie 200kPa, która w stosunku do próby kontrolnej wyniosła około ~7% (str.37),
- „że największym ubytkiem charakteryzowało się ciśnienie 200kPa i wyniosło ono średnio 25,5% w stosunku do masy początkowej” (str.38),
- „pomiarom najszybciej osiągającym temperaturę $>30^{\circ}\text{C}$ był pomiar 2, który tę temperaturę osiągnął już w 28 godzinie trwania badania”(str.46).

Należy jednak podkreślić, że mgr inż. Krzysztofa Racia wykazał się dużym doświadczeniem badawczym w analizie poszczególnych etapów eksperymentów zakresem badań i są one konsekwencją zaplanowanych wcześniej doświadczeń. Otrzymane i prawidłowo zinterpretowane wyniki badań przez Doktoranta potwierdzają realizację założonych celów rozprawy i weryfikację hipotez badawczych.

W rozdziale **6. Dyskusja wyników** przedstawiono rezultaty własnych badań w nawiązaniu głównie do najnowszej zagranicznej literatury, ściśle związanych z tematem pracy. Autor we właściwy sposób analizuje uzyskane wyniki dotyczące wpływu podstawowych parametrów technologicznych na proces kompostowania i prowadzi merytoryczną ich dyskusję z danymi zawartymi w opublikowanych uznanych czasopismach. Ta część pracy doktorskiej świadczy o umiejętnym konfrontowaniu wyników badań uzyskanych przez Doktoranta i rzeczową dyskusją z literaturą przedmiotu.

Rozdział 7. **Podsumowanie.** Zgodnie z założoną koncepcją, przyjętymi hipotezami oraz celami szczegółowymi pracy przeprowadzone badania nad kompostowaniem odpadów porolniczych w warunkach hiperbarycznych są odzwierciedleniem uzyskanych najważniejszych wyników badań zawartych we wcześniejszych podrozdziałach. Mają one charakter zarówno poznawczy jak i praktyczny. Doktorant stwierdza, że warunki beztlenowe miały bezkompromisowy wpływ na przebieg temperatur, w związku z czym kontynuację badań kompostowania w warunkach hiperbarycznych należy przeprowadzać z taką częstotliwością wymiany powietrza, aby nie dopuszczać do warunków beztlenowych. Wskazał, że dzięki częstotliwości wymiany powietrza $t_{wp} = 4$ h uniknięto niekorzystnych warunków beztlenowych i w tej częstotliwości uzyskano największą powtarzalność wyników przy zadanych wariantach ciśnień. Mając na uwadze uzyskane pozytywne wyniki należy badania te kontynuować przy częstotliwościach przewietrzania < 8 h w skali laboratoryjnej oraz zainicjować w skali technicznej. Kolejnym działaniem kontynuacji badań w skali

laboratoryjnej według Autora powinno być zawężenie zakresu ciśnienia od 100 kPa do 200 kPa, przy uwzględnieniu odstępów wymiany powietrza, tak aby nie dopuszczać do wytwarzania się warunków beztlenowych.

Rozdział **8. Wnioski**. Doktorant w sposób wyważony i precyzyjny sformułował 5 wniosków, które poprawnie i trafnie uogólniają osiągnięcia przedstawione w rozprawie doktorskiej dając odpowiedź na postawione w pracy hipotezy i cele badawcze. Mają one charakter zarówno poznawczy jak i praktyczny. Wniosek 5 w obecnej formie to bardziej stwierdzenie pokazujące kierunek dalszych badań w skali laboratoryjnej dotyczących wpływu proponowanego nadciśnienia podczas kompostowania.

Rozdział **9. Bibliografia** w ponad 62% to pozycje obcojęzyczne wykonany został zgodnie z wymogami edytorskimi jednak brak w tekście rozprawy cytacji wybranych pozycji bibliograficznych zamieszczonych w spisie literatury oraz brak w wykazie bibliograficznym cytowanych pozycji autorów w tekście rozprawy doktorskiej.

Ocena formalna pracy

Praca przygotowana jest starannie mimo to Autor nie ustrzegł się drobnych błędów, które powinny być usunięte przed oddaniem pracy do publikacji. W tekście rozprawy występuje kilka błędów stylistycznych oraz nieścisłości, które zamieszczam poniżej:

- brak w wykazie bibliograficznym cytowanych 16 pozycji autorów w tekście rozprawy doktorskiej: str.12- Szpadta i Jędrzak (2008), str.14- Diaz, Savage (2007); Pedro i in. (2003); Pan i in. (2012), str.16- Silva i in. (2014); Jain i in. (2019); Huerta-Pujol i in. (2010); Tang i in. (2003), str. 19- Tiquia i in. (2002), str. 20- Steven, Clark (1979); Külcü i Yaldiz (2014), str.21 - De Guardia i in. (2010a); Jain i in. (2018); Gabrielsa i in.(1993); Mohee i Mudhoo (2005),
- brak w tekście rozprawy odwołania się do 8 pozycji bibliograficznych zamieszczonych w spisie literatury: Atchley S. H., Clark, J. B.(1979), Klimiuk E., Łebkowska M.(2008), Kulikowska D., Bilicka K.(2009), Manczarski P.(2007), Pilarski K., Pilarska A.(2009), Przywarska R.(2001), Rosik-Dulewska Cz.(2012), Stegenta S., Kałdun B., Białowiec A.(2016), Wasiak G., Mamełka D.(1999), Nelson S.O. 2015; Wenchuan Guo, Xinhua Zhu, Yi Liu, Hong Zhuang. 2010,
- w pracach naukowych stosuje się zapis $\text{mg O}_2 \cdot (\text{g s.m})^{-1}$; $\text{g} \cdot (\text{kgs.m})^{-1}$; $\% \text{CO}_2 \cdot \text{h}^{-1}$; $\text{gCO}_2 \cdot (\text{kg s.m})^{-1}$; $\text{g} \cdot (\text{m}^3 \text{ h})^{-1}$ a nie jak stosuje Autor w pracy $\text{mg O}_2/\text{g s. m.}$ -str. 34 i 39, $\text{g}/\text{kgs.m.}$ - str. 42 i 43, $\% \text{CO}_2/\text{h}$, - str. $\text{gCO}_2/\text{kg s.m.}$ -str. od 78 - 87 $\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ – str. 97,
- podpisy pod rysunkami 5.1.2.1 - 5.1.6.4; 5.6.2.9 – 5.6.2.14 wymagają drobnej korekty – jest „ przy czterech ciśnieniach” zmienić na „ przy czterech wartościach ciśnienia” ,
- rysunki z podpisami 5.2.1 ; 5.5.2; 5.2.4; 5.3.3; 5.4.1; 5.4.2; 5.4.4; 5.5.2; 5.5.3; 5.6.2.1; 5.6.2.2; 5.6.2.7; 5.6.2.8 nieodpowiednio sformatowane,
- brak konsekwencji w podpisach rysunków: rys.5.2.1 - „przy ciśnieniu atmosferycznym (nadciśnienie $p = 0$ kPa); rys.5.3.1 - „, przy nadciśnieniu $p = 0$ kPa”; rys. 5.3.3 - „,przy ciśnieniu $p = 100$ kPa” ; rys.5.4 .4 - „,przy ciśnieniu atmosferycznym (nadciśnienie $p = 200$ kPa)” ; rys.5.5.2 - „, przy ciśnieniu atmosferycznym ($p = 50$ kPa)”.
- nieprawidłowe skróty myślowe czy sformułowania w opisie wyników, przykładowo: „najwyższą temperaturą maksymalną charakteryzuje się pomiar 3, gdzie T_{max}

wynosiła 54,4°C; „wszystkie pomiary osiągnęły temperatury powyżej 50°C”; „wszystkie pomiary charakteryzowały się dużą powtarzalnością” - str. 48.

Przedstawione w recenzji niedociągnięcia edycyjne, skróty myślowe czy nieprawidłowe sformułowania mogą być łatwo usunięte i nie mają one jednak wpływu na ocenę strony merytorycznej rozprawy, którą uważam za bardzo wartościową a obszar badań wpisuje się w najnowsze trendy technologii przeróbki odpadów zawierających składniki biodegradowalne.

Wniosek końcowy

Moim zdaniem w przedłożonej do recenzji rozprawie profesjonalne podejście Doktoranta do zagadnień, zarówno w kwestii przeglądu literatury jak i organizacji badań, ich przeprowadzenia a także interpretacji wyników stanowi oryginalne rozwiązanie jasno sprecyzowanego problemu naukowego. Charakteryzuje się aktualnością tematu, oparta jest na najnowszej wiedzy a jej wyniki mogą mieć duże znaczenie użytkowe w zagospodarowaniu odpadów porolniczych. Podjęte badania uważam za bardzo wartościowe i uzupełniają wiedzę naukową w dyscyplinie Rolnictwo i Ogrodnictwo.

Reasumując stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Racia **pt., „Kompostowanie odpadów porolniczych w warunkach hiperbarycznych”** spełnia wymagania wynikające z Ustawy z dn. 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003r. nr 65, poz.595, z późn. zm.) i Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie Pana mgr inż. Krzysztofa Racia do dalszego toku przewodu doktorskiego.

