

Poznań, dn. 5 czerwca 2018 r.

Dr hab. inż. Jacek Dach, prof. nadzw.
Instytut Inżynierii Biosystemów
Wydział Rolnictwa i Bioinżynierii
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Pulki

**pt. „Technologiczne i środowiskowe uwarunkowania toryfikacji komunalnych
osadów ściekowych”,**

**wykonanej na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii
Środowiska Politechniki Warszawskiej**

**pod kierunkiem dra hab. inż. Andrzeja Białowskiego, prof. UPWr jako promotora
oraz dra inż. Piotra Manczarskiego jako promotora pomocniczego**

OCENA FORMALNA PRACY

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem na zlecenie Dziekana Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, pana prof. dra hab. Krzysztofa Wojdygi, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału nr 14/2018 z dn. 17 kwietnia 2018 r. o powołaniu mnie na recenzenta.

Rozprawa zawiera łącznie 181 stron, w tym 26 rysunków, 23 tabele oraz 152 pozycje literaturowe, wśród których 120 to literatura angielskojęzyczna pochodząca w dużej mierze z renomowanych czasopism naukowych, natomiast pozostałe cytowania dotyczą głównie polskojęzycznych artykułów naukowych oraz norm pomiarowych i aktów prawnych.

Praca oparta jest przede wszystkim na doświadczeniach przeprowadzonych przez Doktoranta, a jej zakres oraz wykorzystane metody badawcze są typowe dla dyscypliny inżynieria środowiska.

Praca posiada właściwą strukturę dla dysertacji doktorskich. Zwróciłbym tu jednak uwagę na pewne utrudnienie, które Doktorant stworzył recenzentom. Oceniana rozprawa doktorska zawiera wprawdzie rozwiązanie problemu naukowego (zgodnie z art. 13.1. ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym [...]) oraz wykazuje bardzo dużą wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynierii środowiska, to jednak sam problem naukowy został sformułowany w sposób niejawnny, co zgodne jest z metodologią nauk, ale – jak

wspomniałem – zmusza recenzenta do jego wyszukania (w omawianej dysertacji problem naukowy znajduje się w końcowej części wstępu).

Na uwagę zasługuje także bardzo obszerna dokumentacja badawcza, którą doktorant załączył dodatkowo w formie elektronicznej na płycie CD. Zawiera ona szczegółowy wykaz uzyskanych wyników z poszczególnych doświadczeń. Bardzo sensowne było umieszczenie tych danych w aneksie na załączonym nośniku bowiem dokumentacja ta liczy aż 184 strony tabel i rysunków, więc umieszczenie ich bezpośrednio w rozprawie zaburzyłoby strukturę objętościową poszczególnych rozdziałów i utrudniło wyszukanie najbardziej istotnych wyników.

SZCZEGÓŁOWA OCENA PRACY

Praca podejmuje temat zagospodarowania osadów ściekowych metodą toryfikacji w celu uzyskania produktu o podwyższonej wartości energetycznej (choć nie tylko) czyli karbonizatu. Podjęty przez Doktoranta temat jest niezwykle aktualny, bowiem zmieniające się w ostatnich latach przepisy dotyczące zagospodarowania osadów ściekowych sprawiają coraz większy problem oczyszczalniom ścieków. Coraz trudniej jest wykorzystywać osady ściekowe w rolnictwie, umieszczanie ich na składowiskach odpadów jest już zabronione, a kompostowanie z kolei wymaga stosowania dodatkowych materiałów strukturotwórczych i wiąże się generalnie z dość uciążliwymi emisjami do środowiska. Potwierdzeniem tego stanu zawieszenia są dane przytoczone przez Doktoranta: według danych GUS z 2016 roku aż 49% osadów produkowanych w Polsce było... magazynowane na oczyszczalniach celem późniejszego wykorzystania. Tak więc nie było to żadne zagospodarowanie osadów, ale przesunięcie w czasie narastającego problemu. Problem ten narasta także dlatego, że masa produkowanych w kraju osadów wzrasta z roku na rok, przede wszystkim w wyniku podłączania wciąż nowych obszarów kraju do systemów kanalizacji. W tej sytuacji pojawia się pilna potrzeba wdrażania nowych technologii, dzięki którym problem zagospodarowania osadów ściekowych może zostać rozwiązany, z uwzględnieniem redukcji kosztów oraz respektowaniem norm ochrony środowiska. Pyroliza osadów ściekowych, a zwłaszcza ich toryfikacja wydaje się być bardzo obiecującym rozwiązaniem. Do chwili obecnej jednak ta technologia była stosowana do zupełnie innych materiałów (przede wszystkim do biomasy lignocelulozowej). Brak informacji o procesie toryfikacji osadów ściekowych, dynamice

przemian, parametrach procesu oraz charakterystyce otrzymanego karbonizatu były więc genezą podjęcia realizacji ocenianej przeze mnie pracy.

Przechodząc do merytorycznej oceny stwierdzam, że tytuł odpowiada zarówno treści pracy, jak i zgodny jest z zakresem przeprowadzonych przez Doktoranta badań i analiz.

We **Wstępie** Doktorant przedstawia genezę i przedmiot rozprawy oraz formułuje cel i tezę pracy. W mojej opinii najważniejszym elementem wstępu jest problem naukowy, który Doktorant formułuje w następujący sposób: nie są znane właściwości wytworzonego z osadów ściekowych karbonizatu, nie poznano także kinetyki procesu, nie są znane ewentualne skutki środowiskowe produkcji karbonizatu z osadów ściekowych i jego wykorzystania w środowisku. Rozdział 1.3 we wstępie (Treść rozprawy) uważam za zbędny, bowiem nie wnosi żadnych istotnych informacji poza tymi, które są oczywiste dla treści kryjących się za poszczególnymi tytułami rozdziałów.

W rozdziale **2. Istniejący stan wiedzy** Doktorant na 44. stronach w szczegółowy i obszerny sposób wyjaśnia zagadnienia podstawowe związane osadami ściekowymi i procesem toryfikacji. Jest to zawierający ciekawe informacje rozdział wsparty licznymi cytowaniami z literatury przedmiotu. Ze swej strony miałbym ważną uwagę do stwierdzenia Doktoranta zamieszczonego w rozdziale 2.2.4 (str. 38), iż „Każda biomasa roślinna jest zbudowana z lignocelulozy”. *Jest to dla mnie zdumiewająca opinia, niezgodna z faktami, stąd proszę Doktoranta o odpowiedź podczas publicznej obrony na pytanie: „jakie związki, poza lignocelulozowymi, stanowią budulec biomasy roślinnej, a które grupy roślin w ogóle nie zawierają lignocelulozy”?*

Po przeczytaniu rozdziału 2. miałbym również wątpliwości w zakresie nazewnictwa, bowiem Doktorant używa zamiennie określeń „biowęgiel”, „karbonizat” i „toryfikat” – tymczasem nie są to pojęcia całkowicie tożsame. *Proszę więc Doktoranta o sprecyzowanie, co w jego opinii kryje się pod tymi trzema pojęciami.*

W rozdziale **3. Metodyka badań** Doktorant opisuje przedmiot badań, substraty jak też sam sposób prowadzenia doświadczeń, wykorzystaną aparaturę oraz metodykę pomiarów i analiz. Opis ten jest szczegółowy, zastosowane metody są właściwie oraz zwyczajowo stosowane gwarantując uzyskanie reprezentatywnych wyników i w zasadzie nie mam do tego rozdziału żadnych istotnych uwag. Sugerowałbym jedynie Doktorantowi umieszczenie w przyszłej publikacji tabeli 3.1. w rozdziale wyniki, *a co do treści samej tabeli*

mam pytanie: jak to jest możliwe, że średnia zawartość suchej masy próbek (15,73%) jest niższa, niż dolna granica zakresu badanych próbek (16.0%)?

Kolejny rozdział **4. Wyniki** liczący 64 strony (plus obszerny, 184-stronicowy aneks ze szczegółowymi wynikami badań) prowadzi do rozwiązania problemu naukowego, bowiem zawiera dane odnośnie kinetyki procesu toryfikacji, właściwości uzyskanego karbonizatu, uzyskanych zeń wyciągów wodnych oraz stopnia toksyczności – zarówno osadu ściekowego jak i produktu końcowego. Doktorant w sposób szczegółowy opisuje uzyskane wyniki, wykonując każdorazowo ich analizę statystyczną. Nie wyjaśnia i nie komentuje jednak na tym etapie uzyskanych rezultatów, bowiem obszerne komentarze zawarł w kolejnym rozdziale nr 5 – Dyskusji.

W rozdziale **Dyskusja** Doktorant analizuje i omawia uzyskane wyniki konfrontując je z danymi literaturowymi oraz wyjaśnia możliwe przyczyny występujących różnic.

Rozdział końcowy pracy (**Podsumowanie**) zawiera sumaryczne omówienie uzyskanych wyników w odniesieniu do założonego celu pracy oraz sformułowanego problemu naukowego. Mimo obszernego podsumowania zawartego na 4. stronach brakuje mi nieco klasycznych, kilkupunktowych wniosków. Wniosek zawarty na stronie 160 („Proces toryfikacji nie zwiększył stężenia metali ciężkich w karbonizatach w stosunku do materiału surowego”), jakkolwiek oparty na rozdziałach 4.3 i 5.4 - jest dla mnie trudny do przyjęcia. Skoro bowiem proces toryfikacji powoduje z reguły utratę części składników lotnych, to logicznym jest, że powinien nastąpić (choćby niewielki) wzrost stężenia metali ciężkich (w stosunkowo niskiej temperaturze nie wykazują one właściwości lotnych). *Proszę więc Doktoranta o uzasadnienie tak sformułowanego wniosku.*

Bardzo pozytywnym aspektem podsumowania jest wskazanie dalszych etapów badań do realizacji w przyszłości, co oznacza, że wraz z zagłębianiem się w kolejne etapy badań procesu toryfikacji Doktorant ma świadomość pojawiających się nowych problemów badawczych oraz technicznych i technologicznych. Z mojego punktu widzenia, jako naukowca bardzo zaangażowanego we wdrożenia opracowanych rozwiązań, szczególnie interesujący wydaje mi się postawiony przez Doktoranta postulat „przeprowadzenia analizy energochłonności procesu toryfikacji”, który osobiście rozszerzył bym o analizę kosztochłonności tego procesu.

Podsumowując rozprawę doktorską chciałbym podkreślić, że zarówno rozdział 2. Istniejący stan wiedzy, ale też przede wszystkim rozdziały 4. Wyniki oraz 5. Dyskusja zawierają cenny materiał o bardzo dużym potencjale publikacyjnym w renomowanych czasopiśmie o zasięgu światowym. Moją sugestią podpieram także tym faktem, że mgr inż. Jakub Pulka jest już współautorem kilku pozycji notowanych w bazie Web of Science, więc tym bardziej sugeruję tworzenie kolejnych publikacji z wykorzystaniem obszernego materiału zawartego w niniejszej dysertacji.

W powodu bardzo dużej objętości rozprawy doktorskiej (łącznie, wraz z aneksem to 365 stron) zamieszczam tylko najważniejsze z uwag i pytań, które nasunęły mi się podczas lektury pracy:

Rys. 4.4. – w wariancie c, a częściowo a, d i f-część przebiegów nie kończy się w 60. min. badań – czy to nie sugeruje, że proces utraty masy nadal trwa (zwłaszcza dotyczy to wariantu c – czyli 240°C) i należałoby wówczas przeprowadzić badania z wydłużonym czasem np. do 80 minut?

Str. 84: Doktorant stwierdza, że w badaniach z wykorzystaniem mokrego osadu ściekowego „w ciągu 60 min. nie uzyskano procesu toryfikacji (poza temp. 300°C), a jedynie odparowanie wody” i konkluduje, iż „jest to istotna obserwacja technologiczna wskazująca na konieczność stosowania wydłużonego czasu zatrzymania o czas niezbędny na wysuszenie osadu”. Wydaje mi się jednak, że w warunkach realnie działającej technologii osad należałoby suszyć na wcześniejszym etapie, bowiem toryfikator (czy też pyrolizer) nie jest urządzeniem dedykowanym do suszenia wilgotnych materiałów. Utrata wody w strumieniu osadu liczonej w Mg/h zachodzić będzie w odmienny sposób niż w próbkach o masie liczonej w gramach, stąd przeniesienie takich wniosków wymagałoby zastosowania analizy wymiarowej, której w pracy nie przeprowadzono. Dodatkowe wyjaśnienia w dyskusji na stronie 137 nieco przybliżają ten problem – ale są niepełne.

Str. 91: wyniki wartości energetycznej uzyskanych karbonizatów i osadu ściekowego w sposób znaczący różnią się od schematu bilansu energii w procesie toryfikacji, którą Doktorant przedstawił na rys. 2.5. *Czym mogą być spowodowane te różnice?*

Str. 159: jakkolwiek wyniki badań dla optymalnych parametrów procesu wykazały znaczący wzrost wartości energetycznej karbonizatu uzyskanego z osadów ściekowych, to jednak stwierdzenie „osiągnięcie wartości [...] zbliżających karbonizaty do parametrów węgla

kamiennego” wydaje mi się znacząco przesadzone, choćby z uwagi na bardzo dużą zawartość substancji mineralnych w osadach.

Str. 162: mam wątpliwości w zakresie sformułowanego wniosku, iż „szczególnie interesujące są kierunki zastosowania rolniczego uzyskanego karbonizatu”. W pracy nie prowadzono typowych badań wazonowych czy polowych zastosowania nawozowego uzyskanego karbonizatu, więc choć z innych publikacji jasno wynika bardzo pozytywny wpływ stosowanego karbonizatu (czy też raczej biowęgla) na wzrost i plonowanie roślin uprawnych – to jednak wniosek ten uważam w tym wypadku za niewłaściwy, gdyż nieoparty odpowiednimi badaniami.

Dodatkowo chciałbym zwrócić uwagę na pewne błędy interpunkcyjne i tzw. literówki występujące w tekście.

Powyższe uchybienia nie wpływają jednak istotnie na wartość naukową ocenianej przeze mnie pracy.

WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona mi do recenzji dysertacja podejmuje nowatorski temat rozwiązania problemu zagospodarowania osadów ściekowych (energetycznego) w procesie toryfikacji przy uwzględnieniu zmiennych parametrów osadów oraz procesu przetwarzania. Należy podkreślić, że Doktorant zrealizował badania w sposób kompleksowy, rzetelnie i stosując odpowiednią metodykę, a dodatkowo wyniki zostały poddane rozbudowanej analizie statystycznej. Moje uwagi do pracy zawarłem bezpośrednio w tekście recenzji, o wyjaśnienie wątpliwości zwróciłem się bezpośrednio do Doktoranta formułując wcześniej pytania i oczekuję odpowiedzi na nie podczas publicznej obrony.

Należy też podkreślić, że bardzo pozytywnym aspektem realizacji niniejszej pracy doktorskiej jest fakt, iż została ona sfinansowana w ramach grantu NCN pozyskanym przez zdobyty przez Doktoranta w 6. konkursie Preludium.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska przedłożona przez mgra inż. Jakuba Pulkę spełniła ustawowe wymagania do ubiegania się o stopień naukowy doktora w dyscyplinie inżynieria środowiska, 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.). Niedociągnięcia czy drobne błędy popełnione przez Doktoranta nie

wpływają na bardzo pozytywną ocenę przedłożonej mi do recenzji dysertacji. Na tej podstawie kieruję wniosek do Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Jakuba Pulkę do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jacek Duda