

prof.dr.hab. inż. Władysław Kryłowicz

Łódź 20.08.2021

Instytut Maszyn Przepływowych

Politechnika Łódzka

RECENZJA

Pracy doktorskiej p. mgr inż. Michała Stępnia

pt. „ **Analiza procesów ciepłno- przepływowych w dezintegratorze substratów przeznaczonych do fermentacji metanowej** „

Podstawa prawna recenzji

Niniejsza recenzja została zlecona decyzją Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 29 czerwca 2021. Recenzję zlecono pismem o sygnaturze RND-IŚGiE -60/2021 z dnia 6-go lipca 2021.

Przewód doktorski p. Stępnia był wszczęty przed dniem 30 kwietnia 2019 w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Energetyka, a zgodnie z nową klasyfikacją dotyczy dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Promotorem pracy doktorskiej jest p. dr hab. inż. Piotr Krawczyk, profesor Politechniki Warszawskiej.

Ocena formalna rozprawy doktorskiej

Przedłożona do recenzji rozprawa ma formę książkową, liczy ogółem 168 stron i jest podzielona na siedem rozdziałów plus wykaz piśmiennictwa i załącznik zawierający dokumentację techniczną prototypu dezintegratora. Wykaz piśmiennictwa obejmuje aż 139 pozycji i świadczy o dobrej orientacji Autora w dziedzinie będącej przedmiotem Jego doktoratu. Szkoda, że Autor pominął szereg prac dotyczących aplikacji zjawiska kawitacji w innych dziedzinach (m.in. prace ośrodka łódzkiego dotyczące metody kawitacyjnego rozbijania włókien celulozy na potrzeby przemysłu papierniczego).

Oceniana praca jest pod względem edycyjnym bez zarzutu, a struktura podziału treści przejrzysta i logiczna.

Ocena merytoryczna rozprawy

W punkcie 2 swojej pracy (strona 36) Doktorant sformułował jej cel , którym jest, cyt.” opracowanie nowatorskiej maszyny do dezintegracji mechanicznej substratów przeznaczonych do fermentacji metanowej metodą kawitacyjną i towarzyszącą jej metodą udarową”

Biorąc pod uwagę znane powszechnie problemy z zagospodarowaniem osadów ściekowych oraz konieczność dalszego rozpowszechnienia techniki biogazowni rolniczych tematykę pracy należy bezspornie uznać za bardzo trafnie wybraną. Świadczy o tym również różnorodność prac naukowych oraz patentów odnoszących się do tej dziedziny techniki. Autor w punkcie 1.7 pracy omawia szeroko znane z piśmiennictwa metody dezintegracji substratów, a następnie (strony 31-35) dokonuje przeglądu dotychczasowych doświadczeń praktycznych dotyczących podwyższenia intensywności produkcji biogazu. Porusza również kluczowy problem współzależności stopnia dezintegracji od nakładów energetycznych , omawiając ponadto budowę maszyn chronionych patentami.

Należy podkreślić, że to skupienie się Autora na dwu głównych grupach substratów przeznaczonych do fermentacji metanowej, czyli na osadach ściekowych i substratów wykorzystywanych w biogazowniach rolniczych (punkt 1.1, str. 15 jednej rozprawy) jest absolutnie słuszne. Z jednej strony nie powoduje to rozproszenia wysiłków , a z drugiej strony , ze względu na szeroki zakres zmian struktury mediów pozwala na pewne uogólnienie wyników pracy.

Cały rozdział trzeci rozprawy poświęcony jest koncepcji opracowywanego urządzenia, nazwanego przez Autora „ dezintegratorem hybrydowym”.

Głównymi założeniami projektowymi urządzenia są:

- Zwiększenie intensywności dezintegracji substratów biologicznych
- Jednoczesne obniżenie energochłonności procesu

Istota działania dezintegratora (strona 37) polega na założeniu, że **lokalny spadek ciśnienia konieczny do wywołania zjawiska kawitacji będzie wynikiem działania siły odśrodkowej działającej na medium przepływające przez obracający się wirnik.**

Schemat maszyny do dezintegracji osadów ściekowych przedstawiono na rysunku 3.2 (strona 39 rozprawy). Dalsze prace projektowe oparte były o ideę zaprezentowaną na tym rysunku. Elementem przekazującym energię płynowi

jest wirnik, a jego obrzeżu następuje efekt łączenia oddziaływań mechanicznych (strefy udaru) oraz oddziaływań kawitacyjnych, a ponadto występuje cyrkulacja czynnika. Tworzy to efekt synergii, zwiększającej efektywność procesu dezintegracji.

Przed przystąpieniem do projektu dezintegratora Doktorant przeprowadził szereg symulacji CFD, w oparciu o komercyjny kod ANSYS CFX. Symulacje przeprowadzono przy następujących założeniach:

- Płynem zastępczym, modelującym czynnik rzeczywisty jest woda
- Przyjęto model turbulencji $k-\epsilon$ (a ściślej biorąc RNG $k-\epsilon$)

W pracy zamieszczono uzasadnienie dla tych założeń (odpowiednio strony 59 i 61). Zagadnienie przyjęcia wody jako medium roboczego będzie jeszcze poruszane w ramach niniejszej recenzji.

Zakres przeprowadzonych symulacji jest moim zdaniem dość szeroki i na pewno ich wyniki pomogły Doktorantowi w wyborze ostatecznej koncepcji dezintegratora. Symulacje objęły trzy średnice wirnika oraz trzy prędkości obrotowe, analizy przeprowadzono dla dwu wersji maszyny: podstawowej i „rozwojowej” (według nazewnictwa Autora, str.65) - łącznie wykonano 18 symulacji. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wykresów rozkładów ciśnień oraz pól prędkości.

Obliczenia CFD umożliwiły ponadto lokalizację obszarów, w których może wystąpić kawitacja. Na rysunku 4.28 (str.81) zaznaczono procentowy udział objętości rowków wirnika, w których ciśnienie spada poniżej ciśnienia nasycenia, co jest warunkiem koniecznym dla zaistnienia kawitacji. Stwierdzono, że jest on kwadratową funkcją prędkości obrotowej wirnika.

Dezintegrator prototypowy został oczywiście wykonany w skali laboratoryjnej. Jego konstrukcja umożliwiała stosunkowo łatwe przeprowadzenie badań, w tym nawet ciągłego poboru próbek podczas ruchu roboczego.

Na rysunku 5.3 (str.86) p. inż. Stępień przedstawił w formie rozstrzelenia na detale wersję podstawową konstrukcji swojego dezintegratora. Fotografie obu zrealizowanych wersji urządzenia: podstawowej oraz rozwojowej zamieszczone zostały na str.92. W wyniku testów wstępnych zdecydowano się na prowadzenie prac badawczych na wariancie rozwojowej maszyny.

Cały obszerny rozdział szósty poświęcony jest badaniom stanowiskowym zaprojektowanego dezintegratora. Program badań obejmował:

- Obserwacje przebiegu zjawisk kawitacyjnych przy pomocy kamery
- Pomiary efektywności dezintegracji substratów

Podstawowa słabość przyjętej metodyki badań polega moim zdaniem na zupełnej rezygnacji Doktoranta z możliwości przeprowadzenia podstawowych pomiarów ciśnień statycznych a wybranych powierzchniach kontrolnych. Co prawda w rozdziale 7 (Podsumowanie, str.113) stwierdzono, że , cyt. "w maszynie występują strefy obniżonego ciśnienia w obszarze wirnika(co potwierdzono podczas obserwacji)", ale elementarny pomiar rozkładu ciśnień, nawet przy użyciu mikromanometru, mógłby umożliwić porównanie stanu faktycznego z wynikami symulacji CFD. Pomiary takie byłyby cennym uzupełnieniem strony empirycznej pracy, nawet jeżeli uzyskano by jedynie zgodność jakościową.

Tym niemniej, kamera umożliwiła zaobserwowanie zjawiska kawitacji i jakościową ocenę warunków jej zaistnienia.

Natomiast pomiary efektów dezintegracji, przeprowadzone dla dwu substratów o różnej strukturze : osadów ściekowych i kiszonki kukurydzianej należy uznać jako w pełni profesjonalne i wiarygodne. Wszystkie analizy chemiczne przeprowadzono zgodnie ze Standardowymi Metodami APHA (str.104).

Ocena końcowa rozprawy

Recenzowaną rozprawę oceniam bardzo wysoko, a zwłaszcza jej stronę aplikacyjną. Ponadto , Doktorant wniósł szereg elementów nowości , a jest to niewątpliwie Jego osobiste osiągnięcie. Na uwagę zasługuje ponadto Jego zdolność działania syntetycznego , bo praca obejmuje kilka dziedzin nauki i techniki.

Doktorant w pełni zrealizował swoje zamiary sformułowane w punkcie 2 „Cel pracy”.

W wyniku analizy pracy muszę jednak sformułować kilka kwestii, na które nie znalazłem w treści rozprawy wystarczającej odpowiedzi:

1. Urządzenie do dezintegracji działa według Autora na zasadzie hybrydowej , polegającej na połączeniu dezintegracji mechanicznej oraz kawitacyjnej. W związku z tym stawiam pytanie , czy istnieje możliwość oszacowania wzajemnego udziału obu oddziaływań. Równocześnie zdaje

sobie sprawę, że metodyka badań zastosowana przez Doktoranta (aczkolwiek wystarcza ona do osiągnięcia założonych celów) w zasadzie taki rozdział uniemożliwia. Dlatego też moje pytanie proszę traktować jako warunkowe.

2. Urządzenia skonstruowane przez Doktoranta są wykonane w skali laboratoryjnej. Używane w praktyce przemysłowej muszą być oczywiście o wiele większe. Czy Doktorant może sformułować kryteria, w oparciu o które oparta byłaby konstrukcja analogicznego urządzenia zbudowanego w o wiele większej skali?. Jest to również pytanie o uniwersalność osiągniętych rezultatów.
3. Symulacje numeryczne przeprowadzono przyjmując wodę jako zastępczy czynnik roboczy. Pan Stępień sformułował jasno przyczyny tego stanu rzeczy (punkt 4.2.4 rozprawy, strona 61) i trudno nie uznać zamieszczonej tam argumentacji. Ale pojawia się w związku z tym problem odstępstwa (nie niepewności) wyników numerycznych od rzeczywistości, wynikający, jak Autor pisze, cyt. : „z wyzwań związanych z modelowaniem szerokiej gamy niejednorodnych mieszanin, których skład może zmieniać się w czasie”. Czy Doktorant spotkał się w piśmiennictwie przedmiotu z próbą oceny wpływu niedoskonałości przyjętego zastępczego modelu medium roboczego?. Nadmieniam, że analogiczne problemy występują np. w medycynie przy próbach symulacji numerycznych opartych na niedoskonałym fizycznie modelu krwi.

Bardzo proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do powyższych uwag i wątpliwości.

Wnioski końcowe

Po przeprowadzeniu oceny merytorycznej oraz oceny edycyjnej rozprawy doktorskiej p. mgr. Inż. Michała Stępnia zatytułowanej : „*Analiza procesów cieplno- przepływowych w dezintegratorze substratów przeznaczonych do fermentacji metanowej* „, stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia bez żadnych zastrzeżeń wymagania określone w obowiązujących odpowiednich ustawach o stopniach i tytule naukowym wraz z późniejszymi zmianami. W związku z tym stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony Jego pracy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka.

Równocześnie stwierdzam jednoznacznie, że zmiana klasyfikacji dyscyplin (ze starej- Energetyka na nową, o szerszym zakresie – Inżynieria Środowiska,

Górnictwo i Energetyka) nie może być żadną przeszkodą w uznaniu dokonań Doktoranta. Skonstruowane przez Niego urządzenie może być zakwalifikowane jako maszyna robocza w sensie termodynamicznym- maszyna, w której kosztem energii mechanicznej dokonujemy konwersji energii , zwiększając poziom energii płynu. A taka maszyna mieści się w zakresie obu wymienionych powyżej dyscyplin naukowych.

Ponadto chciałbym złożyć wniosek o wyróżnienie pracy , w trybie przyjętym w Politechnice Warszawskiej. Swój wniosek motywuję następująco:

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie pracy

Pan mgr. Inż. Michał Stępień zawarł w swojej rozprawie komplety opis niemal gotowej do zastosowania technologii , będącej Jego osobistym osiągnięciem, a dotyczącej ważnej dziedziny gospodarki. Należy uznać krajowy prymat Doktoranta w tej dziedzinie – nie spotkałem się z krajowymi rozwiązaniami technicznymi, które reprezentują podobny poziom . Doktorant wykazał się dużą wiedzą techniczną oraz inwencją. Zgodnie z zapomnianym już nieco mottem: *„po co prowadzimy badania w zakresie hydro- aeromechaniki – po to, aby lepiej konstruować maszyny „* rozprawa Doktoranta zasługuje moim zdaniem na wyróżnienie.

