

Łódź, 26 lipca 2021 roku

prof. dr hab. inż. Krzysztof Józwik
Instytut Maszyn Przepływowych
Wydział Mechaniczny
Politechnika Łódzka

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandry Dzido p.t. „*Research on Dry Ice Blasting Technology*”

wykonanej pod kierunkiem promotorów prof. dr hab. inż. Krzysztofa Badydy, a także współpromotora dr hab. inż. Piotra Krawczyka

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, z dnia 06.07.2021 r. (pismo RND-IŚGiE-58/2021).

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska została oceniona według pięciu kryteriów:

1. Wybór tematu, cel i zakres rozprawy.
2. Tytuł, teza naukowa i oryginalność rozprawy.
3. Metodyka badań.
4. Krytyczna analiza treści rozprawy.
5. Ocena formalnej strony rozprawy.

Wybór tematu, cel i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Dzido poświęcona jest badaniom technologii czyszczenia zabrudzeń przemysłowych suchym lodem w zastosowaniu do urządzeń zasilanych średnim napięciem. Technologia czyszczenia mieszaniną suchego lodu i powietrza jest stosowana powszechnie, ale nie ma w tym obszarze wielu badań, a więc i doniesień literaturowych, a w zastosowaniu do urządzeń zasilanych średnim napięciem stanowi nowe wyzwanie i to wieloaspektowe. Badania technologii wymagały realizacji prac konstrukcyjnych, przeprowadzenia eksperymentów, także numerycznych, a także oceny bezpieczeństwa zastosowania opracowanej konstrukcji i technologii do zastosowań w celu czyszczenia zabrudzeń przemysłowych urządzeń zasilanych średnim napięciem. Analiza numeryczna przepływu przez dyszę wymagała opracowania modelu przepływu dwufazowego naddźwiękowego, a uzyskane wyniki porównano z wynikami badań eksperymentalnych na stanowisku.

Zabrudzenia przemysłowe i procesy ich usuwania stanowią bardzo istotny problem, nad którego rozwiązaniem wciąż trwają prace. Problem ten staje się jeszcze bardziej istotny, a jednocześnie implikujący poważne trudności, gdy procesy usuwania zabrudzeń muszą być realizowane na elementach znajdujących się pod napięciem, szczególnie dla wyższych napięć. Jedną z metod stosowanych, można powiedzieć powszechnie, jest oczyszczanie powierzchni mieszaniną powietrza i suchego lodu. Zastosowanie tej technologii, czy też grupy metod powoduje jednak bardzo istotne problemy przy zastosowaniu do procesów usuwania zabrudzeń przemysłowych z urządzeń znajdujących się pod napięciem do 60 kV. Użycie powietrza, procesy intensywnej wymiany ciepła, będącej następstwem stosowania suchego lodu i jego sublimacji skutkują najczęściej tak znacznym obniżeniem temperatury dyszy, że pojawiający się szron staje się zagrożeniem bezpieczeństwa ze względu na możliwość porażenia prądem operatora. W literaturze tematyce tej, jak i zjawiskom bezpośrednio powiązanim nie poświęcono dotychczas wiele uwagi, a proces jest skomplikowany i zarówno badania eksperymentalne, jak i modelowanie numeryczne dotyczy zjawisk trudnych.

Podjęta w rozprawie tematyka jest niezwykle istotna z punktu widzenia zarówno efektywnego stosowania, bezpieczeństwa dla obsługi, ale także otoczenia, jak i przede wszystkim poznawczego w obszarze przepływów dwufazowych z intensywną wymianą ciepła, a także energetyki, budowy i eksploatacji maszyn. Szczególnie istotne jest rozpoznanie i możliwość modelowania zjawisk przepływowych zachodzących w dyszach aplikujących mieszaninę czyszcząca. Jest to więc zagadnienie aktualne i istotne ze względów poznawczych i aplikacyjnych, a jego poprawna realizacja umożliwi uzyskanie nowej konstrukcji urządzenia do zastosowań w warunkach specjalnych, przy zapewnieniu efektywności procesów i bezpieczeństwa użytkowników.

Do sformułowanego na stronie 37 celu pracy – jakim jest dostosowanie dobrze znanej technologii czyszczenia zabrudzeń przemysłowych suchym lodem do nowego obszaru użycia – czyszczenia urządzeń pracujących przy zasilaniu napięciem średnim, tzn. do 60 kV. Ze względu na postawiony cel, jak i zidentyfikowane zagrożenia i ryzyka podczas eksploatacji, Autorka zdefiniowała niezbędny zakres prac, co pozwoliło na zrealizowanie postawionego celu. Zakres ten obejmował:

- przegląd literatury związanej z tematyką pracy,
- dokonanie zmian konstrukcyjnych i eksploatacyjnych w strukturze urządzenia do czyszczenia zabrudzeń przemysłowych przy zastosowaniu mieszaniny powietrza i suchego lodu w celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz zminimalizowanie ryzyk zniszczenia,
- dla opracowanych konstrukcji, przy zapewnieniu odpowiedniej prędkości przepływu mieszaniny, granulacji suchego lodu i jego strumienia masy, wyznaczenie wpływu parametrów pracy i konstrukcyjnych na efektywność procesu czyszczenia,
- opracowanie modelu przepływu dwufazowego naddźwiękowego i jego implementacja w środowisku numerycznym,
- badania eksperymentalne wariantowe, a także w warunkach pracy przy zasilaniu prądem o średnim napięciu.

Podjęta przez Doktorantkę problematyka badawcza mieści się w aktualnym obszarze zainteresowania nie tylko społeczeństwa, przemysłu, ale jest także interesująca pod względem poznawczym. Tym samym stwierdzam, że problematyka jest dysertabilna i można ją zakwalifikować do dyscypliny energetyka (w ujęciu starej klasyfikacji dyscyplin), jak i inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki (dla nowej klasyfikacji dyscyplin).

Tytuł, teza naukowa i oryginalność rozprawy

Rozprawa zatytułowana jest:

Research on dry ice blasting technology,

co wskazuje, że lektura zawartości pozwoli czytelnikowi odnaleźć wyniki badań dotyczących technologii czyszczenia przy użyciu suchego lodu. Tak sformułowany tytuł pracy jest znacznie węższy, z jednej strony niż zawartość pracy, a z drugiej strony, nie wskazuje na istotę rozwiązane problemu, także poznawczego. W rozprawie oprócz wyników badań metody znajduje się opracowanie wielowariantowe konstrukcji dyszy aplikującej, jak również systemu zabezpieczenia przed oblodzeniem, ale także model naddźwiękowego przepływu dwufazowego i wyniki symulacji po zaimplementowaniu tego modelu do środowiska ANSYS.

Autorka w pracy formalnie nie definiuje tezy naukowej.

Metodyka badań

Doktorantka w pracy przeprowadza serie badań eksperymentalnych dla dwóch konstrukcji dysz aplikujących mieszaninę powietrza i suchego lodu. Dla badań mających na celu określenie mocy wymaganej do osiągnięcia odpowiedniego przepływu i braku lub minimalizacji sublimacji oraz wyznaczenie charakterystyki procesu czyszczenia – głównie szybkości procesu, skonstruowano i zbudowano stanowisko badawcze, a także zdefiniowano proces pomiarowy istotnych wielkości fizycznych. Uzupełnieniem i niezwykle ważną częścią dysertacji jest numeryczne modelowanie naddźwiękowego przepływu dwufazowego. Doktorantka opracowała model, a następnie zaimplementowała go do komercyjnego programu numerycznej mechaniki płynów ANSYS. Dla tak przygotowanego narzędzia wykonano modelowanie przepływu, a uzyskane wyniki porównano z wynikami badań eksperymentalnych. W pracy rozwiązano także niezwykle istotny problem występujący podczas czyszczenia zabrudzeń przemysłowych mieszaniną powietrza i suchego lodu – szronienia powierzchni dyszy. W pracy zaproponowano kilka rozwiązań i wyselekcjonowano to, które w ocenie Doktorantki zapewniło prawidłowe funkcjonowanie i najmniejszy wydatek energetyczny. Całość dysertacji kończą badania opracowanego rozwiązania konstrukcyjnego w rzeczywistych warunkach pracy, weryfikujące prawidłowość opracowanej technologii dla wybranych zastosowań – urządzeń pracujących przy zasilaniu średnim napięciem (do 60 kV).

Proponowana metodyka nie budzi zastrzeżeń, choć w pracy nie przedstawiono metody określenia niepewności pomiaru, a także nie wskazano jak zapewnić porównywalność warstw zabrudzeń dla poszczególnych typów zabrudzeń (jednorodność warstw, grubość warstw, porównywalność adhezji warstw do podłoża).

Krytyczna analiza treści rozprawy

Praca napisana jest w języku angielskim. Nie powinno to mieć wpływu na poprawność językową przedstawionego materiału. W pracy znajduje się spora liczba błędów językowych dotyczących różnych obszarów języka i o różnym charakterze. Zastosowano błędny zapis liczb, oddzielając przecinkiem część całkowitą liczby od ułamkowej. W języku angielskim stosuje się kropkę jako separator. Odniesienia do rysunków i tabel mają niepoprawną składnię. Powinno stosować się jednakowe słownictwo określające rozdziały i podrozdziały pracy i przy odwoływaniu się do nich, należałoby używać dużych liter. Występuje także sporo błędów złej formy czasownika oraz nieodpowiednio dobranych słów, które mają nieco odmienne znaczenie, np. „lead” zamiast „conduct” w odniesieniu do prowadzenia badań lub „detachment” zamiast „separation” w opisie oderwania warstwy przepływu. W pracy używa się dla ciśnienia i natężenia przepływu jednostek nienależących do układu SI, odpowiednio bar dla ciśnienia i natężeniu przepływu jako odniesienie czasu użyto godzinę („h”). Jest to tym bardziej zastanawiające, że w pracy stosuje się wzory, które nie są przystosowane, a więc zakładają użycie wielkości fizycznych z wartościami wyznaczonymi w układzie SI. Podobnie, dla temperatury stosuje się przede wszystkim stopnie Celsjusza, co nie jest błędem, ale do stosowania w przeliczeniach należy pamiętać, że to nie jest temperatura bezwzględna. Podpisy do rysunków i tabel zakończono w większości przypadków kropkami – konsekwentnie, ale podpisy są równoważnikami zdań i nie wymagają na końcu kropek. Rysunki 5.18 (strona 49), 5.21 (strona 51), 7.27 (strona 112) nie mają odniesienia w tekście, a rysunek 7.21 (strona 107) zawiera legendę w języku polskim. W warstwie edycyjnej należy jeszcze wspomnieć o mało istotnym niedopatrzeniu – nieoptymalnym rozmieszczeniu tekstu, rysunków i tabel, co sprawia, że pozostało wiele pustych powierzchni rozbudowujących objętość pracy.

Doktorantka wykonała bardzo dużo badań, zarówno eksperymentalnych, jak i w zakresie modelowania i numerycznego modelowania przepływu. Uzyskane wyniki zaprezentowano w postaci rysunków, które czytelnie przedstawiają efekty badań doświadczalnych i numerycznych.

W tym miejscu należy podkreślić pewien niedosyt. Przedstawione wyniki są raczej omówione jak raport z badań, a nie analiza zjawiska. Oczekiwałbym podczas publicznej obrony pogłębionej analizy i próby wyjaśnienia zaobserwowanych zmian i wpływu poszczególnych parametrów np. na efektywność procesu czyszczenia, czy też intensywności szronienia dyszy. To główna uwaga do recenzowanej rozprawy.

Jednakże, należy wskazać kilka dyskusyjnych zapisów, które znalazły się w tekście dysertacji. Należą do nich:

- ✓ Na stronie 16 wskazuje się, że woda ze względu na swoje właściwości jest bardzo dobrym medium, jest ona łatwo dostępna i nietoksyczna. Ta łatwość z dostępnością wody jest dyskusyjna. A czy w układach czyszczenia zabrudzeń przemysłowych istnieje możliwość użycia wody w układzie zamkniętym lub przynajmniej częściowo zawracać wodę do procesu?
- ✓ Na stronie 34 mówi się o możliwości użycia czyszczenia mieszaniną powietrza i suchego lodu jako technologii wstępnego przygotowania powierzchni różnych materiałów do naniesienia warstw, w tym warstw na tytanie. O jakich warstwach dla tytanu i wstępnym przygotowaniu powierzchni jest ta wzmianka?

- ✓ Na stronie 35 mówi się o wydajności ssania wyrażonej w m^3/h . Pomijając jednostkę czasu, jakie warunki należy przyjąć dla wyznaczenia objętościowego natężenia przepływu?
- ✓ Na stronach 43 i 44 znajdują się schematy dysz (rysunki 5.9 – 5.11) z wymiarami. W inżynierii przyjmuje się, że średnica jest wyraźnie odróżniona od innych wymiarów, najczęściej literą d , D lub ϕ . Na przedstawionych schematach żaden z przekrojów kołowych nie został tak zwymiarowany.
- ✓ Na stronie 52 rysunek 5.23 przedstawia inny rodzaj zabrudzenia niż omawiany w tekście dla tego rysunku.
- ✓ Na stronie 67 w tabeli 6.1 podano wartości kilku parametrów wyznaczonych dla powietrza. Dla jakich warunków wyznaczono te wartości?
- ✓ Na stronie 80 mówi się o prawidłowym określaniu warunków brzegowych i jest wzmiankowane, że w wielu książkach i literaturze (mając najprawdopodobniej na myśli artykuły naukowe) ten problem jest szczegółowo dyskutowany. Natomiast przywoływana jest tylko jedna pozycja literaturowa ([102] ze spisu literatury).
- ✓ Rysunki zawarte na stronach 83 – 91 w opisie zawierają w wielu przypadkach czas wskazujący na całkowity czas obliczeń. Kilka rysunków w opisach tej wielkości fizycznej i jej wartości nie zawiera. Czy to oznacza, że czas obliczeń dla tych wyników był inny?
- ✓ W legendzie rysunku 7.21, zamieszczonego na stronie 107, znajdują się trzy linie o różnych kolorach. W legendzie dla tych linii przypisano cyfry 1, 2, 3 – co te cyfry oznaczają?
- ✓ Na stronach 114 i 115 znajdują się dwa przeciwstawne stwierdzenia dotyczące wpływu kąta ustawienia dyszy na szybkość procesu. Które z nich jest prawdziwe?

Ocena formalnej strony rozprawy

Napisana w języku angielskim, licząca 136 stron praca składa się z 14 numerowanych rozdziałów (a w nich 55 podrozdziałów), streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu treści, spisu literatury (przypisano numer rozdziału), spisu rysunków, tablic, oznaczeń i skrótów (wszystkim spisom przypisano numery rozdziałów), zawiera 107 pozycji cytowanych źródeł literaturowych oraz stron internetowych, które nie zostały ułożone alfabetycznie. Wszystkie źródła zawarte w spisie literatury mają swoje odniesienie w tekście pracy. Podział treści nie budzi zastrzeżeń.

Podsumowanie

Pomimo mankamentów językowych, drobnych niejasności i braku analitycznego sposobu przedstawienia wyników pracy uznaje, że mgr inż. Aleksandra Dzido w Swojej rozprawie doktorskiej zawarła istotne osiągnięcia wynikające ze zrealizowanych badań, w tym także numerycznych. Zaliczam do nich uzyskane wyniki wpływu parametrów konstrukcyjnych i przepływowych w nowej konstrukcji dyszy na jej efektywność w procesie czyszczenia zabrudzeń przemysłowych, model naddźwiękowego przepływu dwufazowego i jego implementacja numeryczna, weryfikacja systemów zabezpieczających dyszę przed szronieniem, a co za tym, możliwość wykorzystania tak opracowanej konstrukcji i parametrów

procesu dla czyszczenia urządzeń zasilanych prądem o średnim napięciu (do 60 kV). Uważam, że dokonane badania stanowią o ich komplementarności, co jest bardzo ważnym atutem rozprawy, a przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska posiada istotny ładunek wiedzy praktycznej. Najważniejszymi elementami nowości jest nie tylko opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego i procesu umożliwiającego czyszczenie zabrudzeń przemysłowych z powierzchni urządzeń zasilanych prądem o średnim napięciu, ale także nowa wiedza w tym obszarze uzyskana podczas realizacji badań eksperymentalnych i numerycznych.

Biorąc pod uwagę całość pracy stwierdzam, że Autorka rozwiązała problem naukowy związany z inżynierią środowiska, górnictwem i energetyką (według poprzedniej klasyfikacji – z energetyką) w zakresie wystarczającym i w sposób bardzo dobry. Uważam, że rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Aleksandry Dzido w przedstawionej wersji spełnia kryteria określone Ustawą¹ w sprawie trybu i warunków przeprowadzania przewodów doktorskich i rekomenduję dopuszczenie Autorki i rozprawy do dalszych etapów.

¹ Ustawa „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. nr 65 poz. 595 z dn. 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami)