

Dr hab. inż. Rafał KOBYLECKI, prof. PCz  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
ul. Brzeźnicka 60A, 42–201 Częstochowa  
Tel.: 603.783.933; E-mail: [rafal.kobylecki@pcz.pl](mailto:rafal.kobylecki@pcz.pl)

Częstochowa, 2021.09.07

## **Recenzja Rozprawy Doktorskiej mgr inż. Aleksandry DZIDO**

### **WPROWADZENIE**

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej nr RND-İSGiE-58/2021 z dnia 2021.07.06 oraz zawartą na jego podstawie umową o dzieło (PSP/zlecenie 504440700069) z autorem niniejszej recenzji.

### **ZAKRES ROZPRAWY**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra DZIDO nosi tytuł "Research on Dry Ice Blasting Technology". Pracę, napisaną po angielsku, stanowi łącznie 136 stron maszynopisu formatu B5, na których rozmieszczono 164 rysunki i 11 tabel. Manuskrypt oparty jest na 107 pozycjach bibliograficznych, w znakomitej większości anglojęzycznych. Rozprawa została podzielona na 10 głównych rozdziałów i zawiera dodatkowo wykaz użytych w pracy oznaczeń, spisy rysunków i tabel oraz streszczenia w języku angielskim i polskim.

Zakres merytoryczny rozprawy jest aktualny i wpisuje się w realizowane na świecie badania z zakresu poprawy efektywności i bezpieczeństwa pracy w szeroko rozumianej energetyce oraz poprawy warunków pracy różnych urządzeń energetycznych – głównie poprzez ograniczenie ich pracy w stanach nieustalonych, dzięki czemu wydłuża się czas eksploatacji danego urządzenia oraz następuje zmniejszenie liczby awarii – oba czynniki skutkują w efekcie mniejszym zużyciem zasobów (surowców pierwotnych), a tym samym poprawą stanu środowiska naturalnego (niższa emisja zanieczyszczeń). Proponowane w recenzowanej rozprawie wykorzystanie ditlenku węgla w formie stałej (tzw. suchy lód) do usuwania zanieczyszczeń z różnych powierzchni wpisuje się tym samym nie tylko w dążenie do poprawy warunków bezpiecznej pracy w energetyce, lecz także wpisuje się w bieżącą politykę światową, realizowaną przez Unię Europejską oraz inne wiodące gospodarki i ukierunkowaną na ograniczenie antropogenicznej emisji CO<sub>2</sub>, przede wszystkim dzięki wydłużeniu tzw. cyklu życia produktu (w tym przypadku urządzenia energetycznego) oraz ewentualnemu powtórnemu wyłapaniu i wykorzystaniu „zużytego” ditlenku węgla.

W świetle powyższego, tematyka badawcza podjęta przez Autorkę recenzowanej rozprawy doktorskiej jest jak najbardziej aktualna, a uzyskane i przedstawione w pracy wyniki cechuje niewątpliwie użyteczność, gdyż opracowana i zweryfikowana przez Doktorantkę konstrukcja dyszy może być wykorzystana w bardzo szerokim zakresie, nie tylko do usuwania zanieczyszczeń. Zakres rozprawy mgr inż. Aleksandry DZIDO oraz wykonane przez nią prace (zwłaszcza te o charakterze koncepcyjnym i eksperymentalnym) oraz uzyskane wyniki są cenne, gdyż pozwalają w efektywny sposób oczyszczać powierzchnie elementów maszyn i urządzeń znajdujących się pod napięciem bez konieczności ich odstawiania. Zdaniem

recenzenta, zakres i zaprezentowane wyniki rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry DZIDO wnoszą tym samym istotny wkład dla rozwoju nauki i gospodarki.

Rozprawa składa się z 10 głównych rozdziałów. W krótkim, półtorastronicowym wstępie (rozdział 1) Autorka zwięźle omawia podstawowe zanieczyszczenia niepożądane na powierzchniach maszyn i urządzeń pracujących pod średnimi napięciami – dotychczas usuwanie tych zanieczyszczeń wymagało odłączenia od źródła prądu, co stwarzało niebezpieczeństwo dla obsługi oraz prowadziło do wydłużenia całkowitego czasu czyszczenia i zwiększenia kosztów operacyjnych.

W kolejnym rozdziale (nr 2) krótko omówiono aktualnie dostępne i stosowane przemysłowo technologie oczyszczania, wykorzystujące parę wodną, wodę pod wysokim ciśnieniem, niskie ciśnienia, czy też metody mechaniczne, chemiczne oraz fizykochemiczne (wykorzystujące np. ultradźwięki), zaś w rozdziale 3 przedstawiono różne sposoby usuwania zanieczyszczeń z wykorzystaniem suchego lodu (zestalonego ditlenku węgla).

Cel i zakres pracy zawiera tekst rozdziału 4 – głównym zamierzeniem Autorki było wykonanie i opracowanie nowej konstrukcji dyszy, umożliwiającej przepływ strumienia suchego lodu bez wydzielania się szronu i lodu na powierzchni dyszy. Główne, postulowane przez Doktorantkę, problemy techniczne, które należało rozwiązać podczas opracowywania konstrukcji dyszy to: 1/ umożliwienie pracy dyszy i oczyszczania powierzchni w warunkach pracy czyszczonego urządzenia pod napięciem (konieczna izolacja elektryczna), 2/ współpraca dyszy z układem usuwającym oddzielone z powierzchni zanieczyszczenia, tak aby uniknąć porażenia operatora prądem, 3/ eliminacja zjawiska „zamarzania” układu czyszczenia skutkującego przerwami w pracy (wzrost kosztów) oraz 4/ zapewnienie łatwej pracy operatorowi z jednoczesnym wymogiem konieczności utrzymywania odpowiedniej (ponad 1m) odległości operatora od czyszczonych powierzchni.

Rozdział 5 rozprawy poświęcony jest badaniom (testom) wstępnym, w efekcie których skonfigurowano stanowisko laboratoryjne do badań skuteczności usuwania zanieczyszczeń, zbadano wstępnie pracę dwóch rodzajów dysz (A i B), dokonano kalibracji podajnika suchego lodu (rys. 5.13) oraz ilości ciepła konsumowanego przez sublimujący CO<sub>2</sub> (rys. 5.15), a także określono podstawowe parametry pracy układu, dokonano wyboru różnych powierzchni do oczyszczenia (rys. 5.18-5.23) oraz dokonano wyboru kątów i odległości między dyszą a oczyszczaną powierzchnią (m.in. rys. 5.35-5.40). W efekcie badań wstępnych dokonano wyboru rodzaju dyszy do dalszych badań oraz ustalono główne parametry procesu, takie jak ciśnienie powietrza transportowego, kąt natarcia, odległość od powierzchni, rodzaj powierzchni itp.).

Kolejny rozdział (szósty) poświęcony jest opracowaniu modelu przepływu oraz wykonaniu siatek obliczeniowych i realizacji obliczeń numerycznych przepływu z wykorzystaniem środowiska Ansys CFX. W rozdziale tym dokonano również analizy przepływu strumienia suchego lodu i powietrza przez dysze.

Rozdział 7 zawiera omówienie różnych sposobów przeciwdziałania wydzielaniu się szronu i obładzaniu powierzchni dysz przez które przepływa ekspandujący strumień CO<sub>2</sub>. Analiza różnych konstrukcji przez Autorkę doprowadziła do opracowania układu eksperymentalnego z wykorzystaniem gorącego oleju jako środka przeciwdziałającego szronieniu (rys. 7.18-7.20). W rozdziale tym przedstawiono także konstrukcję prototypowej dyszy (rys. 7.24-7.27), zapewniającej zachowanie odpowiedniej odległości operatora od czyszczonej (pod napięciem) powierzchni oraz jednocześnie łatwo manewrowalnej i sterowalnej, a dodatkowo współpracującej z układem zasysania usuniętych zanieczyszczeń i pyłów (rys. 7.27).

Wyniki badań eksperymentalnych z wykorzystaniem opracowanej konstrukcji dyszy zawarto w rozdziale 8, gdzie krótko odniesiono się także do kwestii BHP – zdaniem Autorki opracowana konstrukcja spełnia wymagania, co potwierdziły wyniki badań zrealizowane w Instytucie Energetyki w Warszawie.

Rozdział 9 poświęcony jest dyskusji wyników, zaś rozdział 10 obejmuje podsumowanie głównych wniosków uzyskanych w efekcie realizacji recenzowanej rozprawy doktorskiej.

## OCENA ROZPRAWY

Zdaniem recenzenta tematyka pracy jest ważna zwłaszcza z praktycznego punktu widzenia, gdyż opracowanie układu pozwalającego na bezpieczne czyszczenie powierzchni urządzeń pracujących pod napięciem pozwala na większą elastyczność pracy instalacji energetycznych, a także prowadzi do niewątpliwego zmniejszenia kosztów. **Istotny element nowości**, stanowiący oryginalny dorobek doktorantki, stanowi opracowanie nowej konstrukcji dyszy z układem przeciwdziałającym wydzielaniu szronu na powierzchni, a także wykonanie prototypu i przeprowadzenie badań. Na podkreślenie zasługuje również uwzględnienie aspektów BHP przy konstrukcji dyszy. Nadmienić należy, iż zaprezentowana konstrukcja dyszy może mieć moim zdaniem zastosowanie nie tylko w ujęciu „wąskim” w układach czyszczenia w energetyce, lecz również np. w inżynierii chemicznej czy materiałowej.

Skupiając się *stricte* na energetyce, istotne jest (uwzględniając aktualne uwarunkowania rynkowe oraz aspekty ekonomiczne i środowiskowe), że zaproponowane w pracy rozwiązanie pozwoli niewątpliwie na wydłużenie możliwości ekonomicznej eksploatacji istniejącego parku maszynowego i urządzeń energetycznych, które obecnie często muszą pracować w warunkach dalece odbiegających od projektowych. To sprawia, że podjęta tematyka pracy i zaproponowane rozwiązanie jest bardzo aktualne, mimo dotychczasowego dorobku światowej nauki w tym zakresie, zwłaszcza na przestrzeni ostatnich lat.

Wyniki uzyskane w ramach realizacji przez mgr inż. Aleksandrę DZIDO rozprawy doktorskiej niewątpliwie cechuje użyteczność, a zastosowanie ich w praktyce skutkować będzie nie tylko poprawą warunków BHP podczas usuwania zanieczyszczeń z wybranych powierzchni pod napięciem, lecz także prowadzić będzie do poprawy efektywności wykorzystania majątku produkcyjnego znajdującego się zarówno w polskich, jak i zagranicznych siłowniach ciepłych oraz w instalacjach i układach przesyłu oraz dystrybucji energii elektrycznej – zwłaszcza tam, gdzie kwestia utrzymywania odpowiedniego stopnia czystości powierzchni jest istotna. Zdaniem recenzenta, wyniki rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry DZIDO stanowią tym samym istotny wkład do rozwoju nauki w obszarze szeroko rozumianej energetyki.

## UWAGI KRYTYCZNE

W efekcie lektury rozprawy nasuwają się jednak także pewne uwagi krytyczne i pytania recenzenta odnośnie przedstawionej w pracy treści merytorycznej. Najważniejsze z nich to:

1. Str. 22 i rozdział 3.1.3.1: proszę o wyjaśnienie, czy pelety suchego lodu powstają wskutek krzepnięcia fazy ciekłej, w procesie resublimacji, czy może obie możliwości są dopuszczalne?
2. Pokazywanie dysz zbiorczo na rys. 3.12, a następnie ponownie kolejno na 3.14-3.23 jest chyba niepotrzebne? Moim zdaniem lepiej byłoby pokazać wszystkie dysze na jednym zbiorczym rysunku – można by obok zdjęć dysz pokazać także schematy ich przekrojów, co niewątpliwie ułatwiłoby lekturę.
3. Rys. 3.24: Jeśli wpływ medium jest realizowany do ośrodka o ciśnieniu otoczenia to chyba nie powstaje faza ciekła CO<sub>2</sub> jak zaznaczono na rysunku?
4. Tezy i cel pracy (rozdział 4) nie są wyraźnie sformułowane, choć są one wzmiankowane w tekście rozprawy. Ponadto, w rozdziale tym brak jest treści odnośnie 'Thesis content' co sugeruje tytuł.
5. Opis do rys. 5.1: W jakim zakresie można było regulować strumień suchego lodu wykorzystując 'feeder'? Jakiego rodzaju był to podajnik (śrubowy, stołowy, etc.)?
6. Rys. 5.6 i 5.7 (lecz także 7.12, 7.18 i 7.23): dla jasności sprawy należałoby zaznaczyć istotne elementy pokazane na tych rysunkach – pokazanie samego tylko zdjęcia ogranicza odbiór treści przez czytelnika.

7. Wyniki pokazane na rys. 5.9-5.12 byłyby łatwiejsze do analizy gdyby pokazano je na jednym rysunku (np. oznaczonym a-d). Podobna uwaga tyczy się rys. 5.18-5.23 oraz 7.2-7.11.
8. Rys. 5.13: Nie pokazano punktów pomiarowych; ponadto opis (każdego) rysunku powinien zawierać kompletną legendę (np. typ podajnika, parametry, etc.) – każdy z rysunków w publikacjach naukowych powinien stanowić zamkniętą całość, inaczej lektura jest dość kłopotliwa.
9. Brak jest wyjaśnienia dlaczego wykonano badania (tekst ponad rys. 5.24) tylko dla kątów  $90^\circ$  i  $30^\circ$ , a np. nie uwzględniono np.  $45^\circ$  co wydaje się naturalne? Proszę też o wyjaśnienie czy „operatorem” była Doktorantka czy inna osoba?
10. Rys. 5.25-5.26 (i inne odpowiednie) powinny być pokazane dla takiego samego zakresu osi X i Y.
11. Rys. 5.29 : W jaki sposób określono straty ('dry ice losses')? Ze zmian masy?
12. Rys. 5.33-5.34 i 6.61-6.65: w tekście pracy brakuje, moim zdaniem, wyjaśnienia powodów wykonania badań jedynie dla dyszy o geometrii B?
13. Rozdział 5.4 – tu tekst rozprawy jest dość nieprecyzyjny, np. pierwszy akapit to *de facto* wprowadzenie, zaś ostatnie siedem linijek powinno znaleźć się chyba w rozdziale „Cel i tezy pracy” (rozdział 4)? Treść rozdziału 5.4 powinna obejmować moim zdaniem wyniki (outcomes) i ich analizę. Podobna uwaga dotyczy tekstu w rozdz. 6.6.
14. Uwagi budzi dobór palety kolorów dla wyników pokazanych na rys. 6.7, przez co są one dość kłopotliwe do analizy przez czytelnika.
15. Brak jest podania jasnego kryterium doboru wielkości siatki (rys. 6.16).
16. Liczbę Macha (np. równ. 6.21) lepiej jest chyba zapisywać jako (Ma) – termin 'M' dotyczy raczej masy molowej.
17. Tabela 6.4: Proszę o wyjaśnienie co rozumiane jest pod pojęciami 'element quality' i 'aspect ratio'?
18. Opis wyników zestawionych na rys. 6.50-6.55 jest dość lakoniczny, a są one niewątpliwie bardzo interesujące.
19. Co rozumiane jest jako 'transport efficiency' (rys. 6.60)?
20. Jak zdefiniowano 'nozzle efficiency' (rys. 6.64)?
21. Rys. 7.14: Brak jest informacji po jakim czasie pracy wykonano zdjęcie? Podobna uwaga (brak podania czasu badań) dotyczy również rys. 8.1.
22. Brak jest szerszego komentarza odnośnie np. budowy 'prototype oil heater' (np. rys. 7.17), a to chyba jedno z istotnych osiągnięć pracy? Nie jest też jasne na czym polegał opisywany przez Autorkę test wstępny ('pre-test') oraz co oznacza 'd' w odniesieniu do podanej mocy 1,8kW (str. 105)?
23. Str. 116: szkoda że w pracy nie pokazano choć części wyników badań zrealizowanych w Instytucie Energetyki – rozumiem, że ich zakres wykraczał poza ramy recenzowanej rozprawy doktorskiej, ale lakoniczne stwierdzenie Autorki, że dysza pomyślnie przeszła wymagane testy może budzić u czytelnika pewien niedosyt.
24. Rozdziały 9 i 10 chyba można by połączyć w jeden usuwając część tekstu (np. pierwszy akapit rozdziału 9) i formułując wnioski w punktach wraz z podaniem najważniejszych osiągnięć pracy – niewątpliwie ułatwiłoby to lekturę i poprawiło odbiór pracy przez czytelnika.

Inne drobniejsze uwagi do manuskryptu – nie wpływające jednak na jakość pracy – mają głównie charakter techniczno-edycyjny oraz stylistyczny (językowy). Najważniejsze z nich to:

- Na oznaczanie różnych strumieni stosowany jest zapis z kropką ponad daną wielkością,
- Tekst pod równaniem 5.3 jest niejasny (urwany?),
- 5 od dołu linia tekstu na str. 46 jest niepełna ('The of the nozzle...'),
- Zapis oznaczenia osi X i podpis pod nią (rys. 7.21) jest nieprecyzyjny – chodzi chyba o minuty?
- Brak podania źródła literaturowego na str. 68 linia 7.

## WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry DZIDO zatytułowana "Research on Dry Ice Blasting Technology" zawiera oryginalne informacje, które mogą być wykorzystane praktycznie, zwłaszcza w zakresie realizacji usuwania zanieczyszczeń z powierzchni znajdujących się pod napięciem.

Zaproponowana i zweryfikowana przez Autorkę konstrukcja nowej prototypowej dyszy dla układu oczyszczania suchym lodem stanowi niewątpliwie element nowości pracy. Dysza tego typu może być wykorzystana w bardzo szerokim zakresie – nie tylko do postulowanego przez Doktorantkę oczyszczania urządzeń pozostających pod średnim napięciem, lecz także w innych układach i instalacjach wykorzystujących CO<sub>2</sub> w formie stałej (nie tylko do usuwania zanieczyszczeń). Opracowanie modelu matematycznego oraz wykonanie przez Autorkę obliczeń numerycznych stanowi dopełnienie części eksperymentalnej przedstawionej w recenzowanej rozprawie doktorskiej, a wyniki pracy mają niewątpliwie silny charakter użyteczny, przedstawiając się na pozytywne efekty społeczne i środowiskowe (m.in. poprawa bezpieczeństwa pracy, lepsze wykorzystanie zasobów, itp.).

W opinii końcowej chcę podkreślić złożoność problematyki i trudności techniczno-badawcze w obszarze zainteresowań naukowych Doktorantki oraz szeroki zakres wykonanych przez nią prac (opracowanie modelu, obliczenia numerycznej, prace koncepcyjne i eksperymentalne), których spektrum świadczy o szerokiej wiedzy merytorycznej mgr inż. Aleksandry DZIDO, a osiągnięcie sukcesu wymagało rozwiązania przez Doktorantkę wielu problemów naukowych i inżynierskich. Mgr inż. Aleksandra DZIDO wykazała się w powyższym zakresie ponadprzeciętnymi umiejętnościami, których dodatkowym potwierdzeniem jest napisanie rozprawy w języku angielskim. Kompozycja i zakres merytoryczny pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry DZIDO spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w odpowiednich przepisach i **wobec powyższego wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**

Jednocześnie, z uwagi na wspomniane w recenzji osiągnięcia Doktorantki oraz walory poznawcze i użyteczne ocenianej przeze mnie rozprawy, a także perspektywy implementacji wyników w przemyśle, **stawiam wniosek o jej wyróżnienie.**

Częstochowa, 2021.09.07

