

Recenzja rozprawy doktorskiej
Mgr inż. Natalii Kraus-Namroży
"Analiza skuteczności tłumienia pożaru baterii litowo-jonowych
za pomocą instalacji mgły wodnej niskociśnieniowej z dyszą
DMS"

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Dorota Brzezińska,
Profesor Politechniki Łódzkiej

Podstawą formalną opracowania recenzji jest prośba o wykonanie recenzji w postępowaniu o nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych mgr inż. Natalii Kraus-Namroży w piśmie z dnia 2.10.2024 r.

A. OCENA TEMATYKI PODJĘTYCH BADAŃ

Mając na uwadze potrzebę ograniczenia zmian klimatycznych i kosztów wytwarzania energii, od wielu lat rozwijane są urządzenia wykorzystujące bezpośrednio energię słoneczną lub energię zawartą w poruszającym się powietrzu i wodzie. Dostęp do odnawialnych źródeł energii nie jest jednak stały i wymagane jest magazynowanie energii. Dominującą technologią w tym obszarze stały się baterie litowo-jonowe, w których jony litu przemieszczają się z anody przez ciecz elektrolitową i separator do katody. Ogniwa są produkowane w dużych ilościach i wykorzystywane między innymi w telefonach komórkowych, laptopach, elektronarzędziach oraz środkach transportu. Pomimo dobrych parametrów baterii litowo-jonowych w zakresie gęstości energii oraz kosztów produkcji, wiele aspektów związanych z bezpieczeństwem ich eksploatacji wymaga dalszych prac. Używany jest w nich między innymi łatwopalny elektrolit, stwarzający wysokie ryzyko zapłonu podczas pojawienia się niekontrolowanego wzrostu temperatury bądź uszkodzenia mechanicznego ogniwa. W przypadku, gdy temperatura baterii wzrasta, elektrolit zaczyna parować, zwiększając wewnętrzne ciśnienie co może prowadzić do uwalniania dymu, pęknięcia obudowy oraz wybuchu gazu i pożaru. Podczas pożaru dochodzi do reakcji pomiędzy komponentami ogniwa nawet gdy nie jest dostarczany tlen. W literaturze jest wiele prac poświęconych ograniczeniu i tłumieniu pożarów baterii litowo-jonowych poprzez wykorzystanie mgły wodnej, piany i proszków gaśniczych. W publikacjach z ostatnich lat wykazano, że zastosowanie mgły wodnej z dodatkiem piany fluorosyntetycznej zapobiega ponownemu zapłonowi baterii litowo-jonowych w przeciwieństwie do proszku ABC i CO₂.

Oceniana praca wpisuje się więc w cykl badań nad ograniczeniem i tłumieniem pożarów baterii litowo-jonowych. Podjęte badania są istotne ze względu na dynamiczny rozwój magazynów energii opartych na ogniwach litowo-jonowych. Podjęty temat badań należy więc uznać za ambitny i uzasadniony.



B. CHARAKTERYSTYKA PRACY

Recenzowana praca doktorska jest napisana w języku polskim, liczy 106 stron i została podzielona na 8 rozdziałów. Rozpoczyna się od podziękowań, streszczeń w języku angielskim i polskim, spisu treści, listy rysunków, tabel oraz ważniejszych symboli. Praca kończy się spisem wykorzystanej literatury.

W rozdziale pierwszym przytoczono obowiązujące przepisy w zakresie projektowania instalacji gaśniczej, opisano zagrożenia związane z użytkowaniem baterii litowo-jonowych oraz przedstawiono kilka prac na temat analizy i tłumienia pożarów w tych bateriach. Z przeglądu literatury wynika, że jednym z najskuteczniejszych metod kontrolowania pożaru baterii jest zastosowanie stałego urządzenia gaśniczego mgłowego. Jego skuteczność zależy od generowanej wielkości kropeł wody, odległości dyszy od źródła pożaru oraz obecności przeszkód ograniczających dostęp do ognia.

Rozdział drugi zawiera opis celu i zakresu pracy. W oparciu o przeprowadzoną analizę dostępnej literatury oraz obserwacje Doktorantki sformułowano tezę pracy: instalacja mgłowa niskociśnieniowa, z odpowiednio rozmieszczonymi dyszami, może tłumić i kontrolować pożar baterii litowo-jonowych.

W rozdziale trzecim przedstawiono poszerzony przegląd literatury dotyczący budowy ogniw, analizy pożaru oraz stosowanych instalacji gaśniczych. W rozdziale tym przedstawiono własne zdjęcia palących się ogniw. Podano jakie cechy powinien mieć środek gaśniczy: dużą pojemnością cieplną do chłodzenia ogniw, izolacyjność elektryczną zapobiegającą zwarciu akumulatora podczas gaszenia pożaru, oraz wysoką zwilżalność i niską lepkość ułatwiającą przenikanie środka gaśniczego do kompaktowego zestawu baterii.

Rozdział czwarty stanowi przegląd literatury dotyczącej zjawiska rozpylenia cieczy. Scharakteryzowano tu rozpylacze w zależności od wykorzystanej energii użytej do rozpylenia cieczy. Ponadto opisano właściwości oraz parametry rozpylanej wody.

Na uwagę zasługuje rozdział piąty, w którym Doktorantka opisuje badania eksperymentalne parametrów wody rozpylonej przez dyszę mgłową spiralną (DMS). Przedstawione jest zbudowane przez Doktorantkę stanowisko laboratoryjne do pomiaru wielkości kropli badanego rozpylacza oraz jego makroparametrów. Scharakteryzowano średnie średnice objętościowe kropli rozpylanej przez dyszę DMS, zasięg strumienia dyszy, jej kąt rozpylenia oraz współczynnik wypływu. W rozdziale tym została opisana metodyka pomiaru oraz przedstawiona analiza uzyskanych wyników. Wielkość kropli użytej w badaniach dyszy mgłowej została określona na czterech osiach X+, X-, Y+ oraz Y-. Pomiarów przeprowadzono dla wybranych wartości ciśnienia w zakresie od 4 do 12 bar. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów potwierdzono, że dysza DMS może być zakwalifikowana jako mgłowa i użyta do dalszych badań.

Najbardziej wartościowym rozdziałem pracy jest rozdział szósty, w którym opisano badania eksperymentalne wpływu instalacji mgłowej niskociśnieniowej z dyszą DMS na tłumienie i kontrolowanie pożarów pakietów baterii litowo-jonowych. Przeprowadzono je na stanowisku badawczym, znajdującym się w komorze testowej Ośrodka Badawczo-Szkoleniowego techniki Przeciwożarowej

w Szczyrzycu. Komora była podzielona na dwie części. W pierwszej znajdowała się aparatura sterująca, a w drugiej części znajdowały się kamery oraz zostały przeprowadzone pożary. Do testów użyto ogniwa o wymiarach 65 mm i ϕ 18 mm. Było ono zbudowane z anody na bazie grafitu interakcyjnego oraz katody na bazie litowanego tlenku kobaltu i niklu. Pojemność znamionowa ogniwa wynosiła 4,7 Ah a napięcie nominalne 3.63 V. W pierwszym etapie badano eksperymentalnie kontrolowanie pożaru 20 ogniw a w drugim przeprowadzono próby pożaru 3 modułów po 51 ogniw każde. Testy obejmowały badanie ogniw naładowanych w 30% oraz 100%. Przeprowadzono pożary bez gaszenia oraz z gaszeniem. Do gaszenia pożaru zastosowano kolejno instalację mgłową niskociśnieniową bez dodatku oraz z dodatkiem 3% oraz 5% dodatku spieniającego Orchidex AFFF ECO. Rozpoczęcie testów następowało w momencie podpalenia taboretu gazowego. W tym samym momencie było włączone nagrywanie kamerą video z wbudowaną funkcją termowizji.

Podsumowanie wyników badań, a także wnioski końcowe zawiera rozdział siódmy. Główny cel doktoratu, którym było sprawdzenie czy instalacja mgłowa niskociśnieniowa z odpowiednio rozmieszczonymi dyszami może tłumić i kontrolować pożar baterii litowo-jonowych został osiągnięty. Dodatkowo z przeprowadzonych badań wyciągnięto szereg wartościowych wniosków. Zaobserwowano, że poziom naładowania ogniw ma znaczący wpływ na szybkość ich spalania, przy czym ogniwa naładowane w 30 % wytwarzają szczególnie dużo dymu, natomiast ogniwa naładowane w 100 % palą się bardziej intensywnie. Mgła wodna generowana przez dyszę DMS istotnie obniża temperaturę pożaru, zapobiega zapaleniu się, a nawet uszkodzeniu kolejnych ogniw w pakiecie. W żadnym z testów, po uruchomieniu instalacji mgłowej niskociśnieniowej nie doszło do wybuchu ogniw w modułach sąsiadujących z modułem stanowiącym źródło pierwotne pożaru. Dodatek spieniający typu AFFF nie wpłynął znacząco na poprawę skuteczności gaśniczej baterii litowo-jonowych za pomocą instalacji mgłowej niskociśnieniowej.

Rozdział ósmy przedstawia proponowane dalsze kierunki badań.

C. UWAGI DYSKUSYJNE

Pytania do pracy:

- 1) Cel pracy powinien wynikać z kompleksowo przeprowadzonego przeglądu literatury. Stan wiedzy na moment rozpoczęcia pracy doktorskiej lepiej byłoby przedstawić na początku pracy czyli w rozdziale 1 a nie w rozdziałach 1, 3 i 4.
- 2) Podczas wykonywania pomiarów termowizyjnych istotna jest wartość współczynnika emisyjności, kąt obserwacji, odległość od obiektu oraz warunki atmosferyczne (obecność mgły wodnej). Które z tych wielkości uwzględniono podczas proponowanej korekty pomiaru temperatury w rozdziale 3.5? Czy mierzono temperaturę termoparami, czy wykorzystano informację o temperaturze przemiany fazowej wody? Czy proponowana korekta była wykorzystana przy pomiarach temperatury w rozdziale 6?
- 3) Współczynnik wypływu jest nazywany również współczynnikiem przepływu na stronie 40 i jest oznaczony jako alfa. Tymczasem w rozdziale piątym jest już

oznaczony jako K. Czy to jest ta sama wielkość? Jaka jest jej interpretacja fizyczna? jaka jest jej jednostka miary?

4) W pracy nadużywane jest słowo „optymalne” między innymi na stronach 3, 21, 22, 29, 30. Średnicę kropeł uzyskaną z dostępnej literatury również nie nazywałbym optymalną. Mówiąc o optymalizacji należy podać funkcję celu oraz jej zmienne.

5) Co oznacza indeks „0,9” w zmiennej $Dv_{0,9}$ na stronie 50 i następnych?

6) W badaniach eksperymentalnych dla wszystkich wielkości mierzonych należy określać niepewności pomiarowe. Dla urządzeń pomiarowych dobrze jest podać ich dokładności.

Uwagi redakcyjne:

a) numery stron w spisie treści nie zawsze są przy prawym marginesie,

b) wprowadzenie jednostek dla definiowanych zmiennych poprawiłoby czytelność pracy np.: na stronach 36-38.

c) błędne równanie (4.5).

d) temperatura oraz ciśnienie nie są własnościami tylko parametrami stanu, str. 37.

e) niekonsekwencja w oznaczeniu napięcia powierzchniowego, równanie (4.7) i (4.9).

f) błąd w równaniu (5.2).

D. OCENA KOŃCOWA

W recenzowanej rozprawie Doktorantka podejmuje ambitny temat badań nad ograniczeniem i tłumieniem pożarów baterii litowo-jonowych. W tym celu zbudowała stanowisko laboratoryjne do pomiaru wielkości kropli, zasięgu strumienia, kąta rozpylenia, współczynnika wypływu oraz wpływu przeszkody na strumień wody generowany przez dyszę DMS. Mgr inż. Natalia Kraus-Namroży przeprowadziła szerokie badania eksperymentalne na tym stanowisku w celu określenia parametrów dyszy mgłowej spiralnej. Uzyskane wyniki pozwoliły na dopuszczenie testowanej konstrukcji do tłumienia i kontrolowania pożarów ogni w litowo-jonowych. Doktorantka przeprowadziła również szereg badań eksperymentalnych w komorze testowej Ośrodka Badawczo-Szkoleniowego techniki Przeciwpożarowej w Szczyrzycu. Analizowała wpływ instalacji mgłowej niskociśnieniowej z dyszą DMS na tłumienie i kontrolowanie pożarów pakietów baterii litowo-jonowych. Testy obejmowały badanie ogni naładowanych w 30% oraz 100%. Przeprowadzono pożary bez gaszenia oraz z gaszeniem. Do gaszenia pożaru zastosowano instalację mgłową niskociśnieniową bez dodatku oraz z dodatkiem substancji spieniających w różnych stężeniach.

Pomimo zamieszczonych uwag merytorycznych Doktorantce udało się uzyskać szereg nowych oryginalnych wyników oraz wyciągnąć z nich wnioski pozwalające na udowodnienie postawionej tezy pracy. Mgr inż. Natalia Kraus-Namroży w ocenianej rozprawie wykazała się szeroką wiedzą, umiejętnością wnioskowania i profesjonalizmem w zakresie badań eksperymentalnych oraz znajomością nowoczesnych przyrządów pomiarowych.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona praca Pani Mgr inż. Natalii Kraus-Namroży pt. "Analiza skuteczności tłumienia pożaru baterii litowo-

jonowych za pomocą instalacji mgły wodnej niskociśnieniowej z dyszą DMS" spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z 20 lipca 2018 roku. Powinna więc być dopuszczona przez Radę Dyscyplin Naukowych Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz Inżynieria Bezpieczeństwa Akademii Pożarniczej do dalszego postępowania w celu nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

W związku z tym wnoszę do Rady Dyscyplin Naukowych Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz Inżynieria Bezpieczeństwa Akademii Pożarniczej o dopuszczenie Pani Mgr inż. Natalii Kraus-Namroży do dalszych etapów postępowania w celu nadania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.



