

Prof. dr hab. inż.

Poznań, 25.02.2019r.

Edward SZCZECHOWIAK, prof. zw. PP

Politechnika Poznańska
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
90-965 POZNAŃ, ul. Berdychowo 4
tel. (61) 66 52 533, 438
E-MAIL: office_ee@put.poznan.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Sylwii BOROŃ
pt. *“Modelowanie zabezpieczenia przeciwpożarowego pomieszczeń budowlanych gazami gaśniczymi”*

Promotor: prof. dr hab. inż. Lech CZARNECKI

Promotor pomocniczy: dr inż. Przemysław KUBICA

Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na zlecenie Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie (DZ-04647R:50/EB/18 z dnia 3. stycznia 2019r.).

Ogólna ocena tematyki pracy

Praca doktorska pt. *„Modelowanie zabezpieczenia przeciwpożarowego pomieszczeń budowlanych gazami gaśniczymi”* zawiera 144 strony wraz ze spisem bibliografii, rysunków i tablic. Tekst pracy podzielono na dwanaście rozdziałów, łącznie z wnioskami. Zamieszczony spis bibliografii zawiera 130 pozycji (łącznie z normami, raportami z badań oraz witrynami internetowymi). Pozycji cytowanych z artykułów i książek jest 110, w tym 45 w języku angielskim. Większość cytowanych publikacji pochodzi z ostatnich 10 lat. Należy nadmienić, że jedna cytowana publikacja jest autorska i pięć współautorskich S. Boroń, Autorki dysertacji.

Problematyka analizowana w pracy dotyczy bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych. Bezpieczeństwo pożarowe należy do siedmiu podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych – zgodnie z prawem UE i prawem polskim. Stosuje się wiele systemów biernego i czynnego zabezpieczenia pożarowego. Powszechnie stosowane systemy gaśnicze, jako środek gaśniczy stosują wodę (hydranty, tryskacze). Jednak istnieją pomieszczenia z wyposażeniem specjalnym, gdzie gaszenie wodą nie jest możliwe – z uwagi na możliwość uszkodzenia cennego wyposażenia. W takich sytuacjach stosuje się rozwiązania oparte o gazy gaśnicze. Analizowane w recenzowanej pracy stałe urządzenia gaśnicze (SUG), wykorzystują gazy gaśnicze i należą do czynnych systemów bezpieczeństwa pożarowego. Rozwój zaawansowanych technologii bazuje na urządzeniach elektronicznych, mechatronicznych, optycznych itp. o znacznej wartości, stąd też ich ochrona przed zniszczeniem powinna być maksymalnie skuteczna. Zastosowanie stałych urządzeń gaśniczych gazowych (SUG-gaz), uruchamianych automatycznie po wykryciu pożaru jest rozwiązaniem działającym praktycznie bez zwłoki czasowej, co powoduje największą skuteczność ochrony. Urządzenia te posiadają zapas gazu gaśniczego w butlach pod odpowiednim ciśnieniem. Gaz jest doprowadzany do dysz rozmieszczonych w odpowiedni sposób w chronionym pomieszczeniu. Mamy tutaj do czynienia z wpływem

gazu gaśniczego z dyszy lub dysz do powietrza w pomieszczeniu. Skuteczność gaszenia zależy od utrzymania w czasie gazu o odpowiednim stężeniu (czas retencji) – dla zapewnienia skutecznego stłumienia płomienia. Analiza tych zjawisk jest związana z równaniami mechaniki płynów (podstawowe równanie Bernoulliego) i złożone równania przepływu Naviera-Stokesa wraz z równaniami ciągłości przepływu. W praktyce projektowej wykorzystuje się uproszczone modele zawarte w odpowiednich normach. Udoskonalenie tych modeli jest możliwe, ale należy zastosować modelowanie bardziej dokładne. W ocenianej pracy podjęto próbę zwiększenia wiarygodności opisu procesu przepływu gazu gaśniczego w pomieszczeniu poprzez zastosowanie metod numerycznej mechaniki płynów (CFD) – kod FLUENT-ANSYS. Wyniki zwalidowano dodatkowo badaniami doświadczalnymi w komorze badawczej – co pozwoliło na ocenę zbieżności opracowanego modelu z pomiarem fizycznym.

Tematyka ta jest aktualna, gdyż wpisuje się w ogólny kierunek poprawy metod badawczych i projektowych oceny zjawisk fizycznych – dla udoskonalenia rozwiązań technicznych, w tym przypadku dla zwiększenia skuteczności działania SUG-gaz. Ma to niewątpliwie wpływ na wzrost bezpieczeństwa pożarowego pomieszczeń.

Praca ta może być zaliczona do prac z zakresu poprawy metod obliczeniowych i efektywności urządzeń technicznych wykorzystywanych w budowie i eksploatacji SUG-gaz i mieści się na pograniczu dyscyplin: *Budownictwo* oraz *Inżynieria środowiska* oraz jest związana ze zwiększeniem skuteczności urządzeń poprawiających bezpieczeństwo pożarowe w budownictwie.

Charakterystyka merytoryczna pracy

Na początku pracy (rozdział 1) wprowadzono w problematykę bezpieczeństwa pożarowego i omówiono cechy charakterystyczne systemów gaśniczych z wykorzystaniem wody oraz z wykorzystaniem gazów gaśniczych. Tzw. stałe urządzenia gaśnicze wykorzystujące gazy gaśnicze (SUG-gaz) są niezbędne dla wielu pomieszczeń dla ochrony urządzeń o zaawansowanej technologii. Omówiono również strukturę rozprawy doktorskiej.

W rozdziale 2 na tle ogólnego przeglądu wiedzy zawartej w rozdziale pierwszym omówiono tezy i zakres pracy. Autorka sformułowała 2 tezy:

1. Zastosowanie metod CFD pozwala na trójwymiarowy opis przepływu gazu w objętości pomieszczenia, co zwiększa dokładność – w porównaniu z modelem dwuwymiarowym normowym;
2. Wykorzystanie CFD umożliwia dokonanie racjonalnego doboru rodzaju i ilości gazu gaśniczego z uwzględnieniem geometrii pomieszczenia.

W związku z tym praca obejmuje następujące zagadnienia:

1. Opracowanie modelu numerycznego przepływu gazu gaśniczego w pomieszczeniu chronionym wraz z przeprowadzeniem symulacji komputerowych rozpatrywanego procesu,
2. Wykonanie badań eksperymentalnych w komorze doświadczalnej, niezbędnych do walidacji opracowanego modelu CFD,
3. Przeprowadzenie obliczeń analitycznych z wykorzystaniem uproszczonego modelu dwuwymiarowego - stosowanego w normach do projektowania SUG-gaz.

W rozdziale 3 Autorka wyczerpująco scharakteryzowała gazowe stałe urządzenia gaśnicze (SUG-gaz) wraz z podaniem miejsc ich obowiązkowego stosowania, zgodnie z rozporządzeniem ministra spraw wewnętrznych. Omówiono ogólny schemat instalacji SUG-gaz z podstawowymi elementami. Więcej uwagi poświęcono na omówienie gazów

gaśniczych wykorzystywanych w tych instalacjach, dzieląc je na trzy grupy: gazy obojętne, chlorowcopochodne węglowodorów, dwutlenek węgla. W dalszej części omówiono istotne parametry projektowe instalacji gazów gaśniczych, takie jak: czas wyładowania środka gaśniczego, stężenie gaszące, stężenie projektowe (początkowe), czas retencji, masa środka gaśniczego, powierzchnia odciążająca. Przedstawiony materiał jest wyczerpujący i został oparty o obowiązujące normy z tego zakresu.

W rozdziale 4 został przedstawiony stan wiedzy w zakresie modelowania przepływu gazu gaśniczego przez chronione pomieszczenie. Ważnym parametrem jest tutaj czas retencji gazu gaśniczego w pomieszczeniu chronionym. W obowiązujących normach istnieją trzy dwuwymiarowe modele analityczne przepływu gazu gaśniczego w pomieszczeniu:

- Model z ostrą granicą rozdziału między mieszaniną gaśniczą a napływającym czystym powietrzem (model z normy NFPA 2001:2012),
- Model z szeroką granicą rozdziału między mieszaniną gaśniczą a napływającym czystym powietrzem (model z normy PN EN 15004-1:2008 oraz ISO 14520-1:2006),
- Model z jednorodną mieszaniną gaśniczą w całej objętości chronionej, gdzie wraz z upływem czasu maleje stężenie gazu gaśniczego, jednak jest tutaj wymagane wymuszone mieszanie gazów w objętości chronionej (model z normy PN EN 15004-1:2008 oraz NFPA 2001:2012).

W dalszej części omówiono zależności bilansowe dopływu powietrza i wypływu mieszaniny gaz gaśniczy-powietrze oraz czasu retencji dla trzech w/w modeli.

W końcowej części rozdziału zwrócono uwagę na znaczenie szczelności pomieszczeń chronionych. Te nieszczelności powinny być znane, a wypływ mieszaniny gazu gaśniczego i powietrza powinien być określony w czasie. Zwrócono również uwagę na ograniczenia modeli normowych oraz przeprowadzono dyskusję kierunków poprawy jakości modelowania na podstawie studiów literaturowych. Te analizy skłoniły Autorkę do wykorzystania bardziej złożonych metod komputerowej mechaniki płynów (CFD), aby zwiększyć dokładność modelowania.

W rozdziale 5 zostały przedstawione podstawy metod numerycznych w odniesieniu do analizowanych w pracy zagadnień. Omówiono takie elementy równań opisujących zjawiska jak: zasada zachowania masy, zasada zachowania pędu, zasada zachowania energii, modelowanie turbulencji przepływu. W dalszej części omówiono metody dyskretyzacji równań Naviera-Stokesa oraz warunki brzegowe. Na końcu tego rozdziału brakuje jednak podsumowania z punktu potrzeb tej pracy.

W rozdziale 6 niniejszej pracy zawarto opis stanowiska doświadczalnego pozwalającego na ilościowe pomiary rozkładów przestrzennych stężeń gazów, zmiany temperatury oraz ciśnienia w pomieszczeniu chronionym po uruchomieniu gazowego urządzenia gaśniczego. W badaniach wykorzystano dwa normowe gazy gaśnicze obojętne o symbolu: IG-100 (N₂100%) oraz IG-01 (Ar100%) i cztery mieszaniny azotu z argonem o gęstościach zbliżonych do gęstości powietrza. W pracy przedstawiono komorę badawczą o wymiarach 5x5x2,8 m wraz z instalacją gazowego stałego urządzenia gaśniczego (SUG-gaz), aparaturą pomiarową do wielopunktowego pomiaru stężeń tlenu, temperatury, wilgotności względnej powietrza oraz ciśnienia. Gaz gaśniczy był zgromadzony w czterech butlach o pojemności 50 dm³ i ciśnieniu 20 MPa. Wypływ do pomieszczenia chronionego nastąpił przez centralnie umieszczoną dyszę. Komora posiadała dwa otwory kompensacyjne w górnej i dolnej części o powierzchni 225 cm² każdy. Zarówno sterowanie urządzeniem gaśniczym, jak również monitorowanie wyników zostały w pełni

zautomatyzowane (centralka sterowania ESSER 8010, system pomiarowy ADAM-4000 i program ADAM VIEW). Wyniki pomiarów w czasie zmian stężenia tlenu przedstawiono przykładowo na rys. 13 - dla gazu gaśniczego IG-01 oraz na rys. 14 - dla gazu gaśniczego Ar7%_{obj}-N₂93%_{obj}. Dla pozostałych gazów wyniki zamieszczono w załączniku nr 1 (na płycie CD). W tabl. 5 podano ważny dla oceny poszczególnych gazów gaśniczych czas retencji (mierzony od stężenia tlenu na początku – 11,7%_{obj} do wartości 13,0%_{obj} lub 13,1%_{obj}). Czasy te się wyraźnie różnią dla poszczególnych badanych gazów gaśniczych, od 128s – dla IG-01 do 6050s – dla Ar7%_{obj}-N₂94%_{obj}.

Natomiast na rys. 15 pokazano rozkład temperatury i ciśnienia wewnątrz pomieszczenia chronionego, do którego został uwolniony gaz gaśniczy. Na początku po uwolnieniu gazu nastąpił spadek temperatury o 1,9-4,12K – w wyniku izentalpowego dławienia w dyszy wtryskowej. Natomiast później przebiegi te w czasie dla wszystkich badanych gazów są dość podobne, przyrosty temperatury nie przekraczają 2-3K, a nadciśnienia dochodzi do 70-90 Pa. Brakuje tutaj pełniejszej oceny i podsumowania uzyskanych wyników – z punktu widzenia efektywności stosowania poszczególnych badanych gazów gaśniczych.

W dalszej części pracy (rozdziale 7) przedstawiono obliczenia w oparciu o model normowy dla tych samych 6 gazów gaśniczych, które przebadano doświadczalnie. Obliczono czas retencji (tabl. 7) i porównano z wynikami pomiarów (różnice są znaczne, zależnie od składu gazu gaśniczego i mieszczą się w przedziale -14% do -76%). Natomiast na rys. 16 do rys. 21 przedstawiono porównanie stężenia tlenu dla 6 badanych gazów gaśniczych i porównano z obliczeniami normowymi z szeroką granicą rozdziału faz. Porównanie wyników pokazuje dość słabą korelację, która jest najslabsza dla badanych gazów o gęstości zbliżonej do gęstości powietrza.

W rozdziale 8 zamieszczono model numeryczny przepływu gazu gaśniczego przez pomieszczenie chronione wraz z założeniami oraz wyniki wybranych obliczeń numerycznych. Celem badań numerycznych CFD było opracowanie modelu odwzorowującego przepływ gazu gaśniczego przez pomieszczenie chronione o geometrii jak komora doświadczalna. Model uwzględniał wpływ dodatkowych czynników, jak etap uwolnienia gazu gaśniczego, przepływ turbulentny gazów, zróżnicowanie parametrów atmosferycznych, co pozwoliło na większą dokładność odwzorowania, niż w dotychczas stosowanych modelach. Symulacje procesów przepływu gazu gaśniczego przez pomieszczenie chronione przeprowadzono w programie ANSYS Fluent (w. 18.2), który jest oparty na metodzie objętości skończonych.

Symulacja pozwoliła na analizę przebiegu procesu przepływu mieszaniny gaśniczej (łącznie 6 gazów gaśniczych) przez pomieszczenie o wymiarach komory badawczej. Wyznaczone numerycznie maksymalne wartości stężeń uzyskanych po wyładowaniu gazu dobrze odwzorowują rzeczywistą zmianę stężenia w pomieszczeniu, uzyskane na podstawie pomiarów. Po zakończeniu etapu wyładowania (ca. 60 s obliczeń), gaz gaśniczy wypełnił całą objętość komory badawczej. Model numeryczny odwzorowuje gradienty stężeń w pomieszczeniu, a uzyskane wartości są zbliżone do wyników pomiarów (błąd mieści się w przedziale 2,2-5,8%). Po zakończeniu etapu wyładowania mieszanina gazu gaśniczego i powietrza dąży do uzyskania stanu równowagi, co zależy od wyporu termicznego i przepływów wymuszonych np. wentylacji. Badania numeryczne dla tego stanu pokazano w pracy na rys. 37 i 38. Na intensywność procesu mieszania i opadania ma w pierwszej kolejności różnica gęstości powietrza i gazu gaśniczego.

W podsumowaniu przeprowadzonych analiz, na wykresach rys. 39-50 przedstawiono porównanie wyników obliczeń numerycznych z rezultatami badań doświadczalnych oraz obliczeń wg normy PN-EN 15004-1:2008. Jak wynika z tych analiz, rozkład stężeń gazu gaśniczego wyznaczonych numerycznie jest zbliżony do wartości otrzymanych doświadczalnie, podobnie jest z czasem retencji, natomiast wyniki wyznaczone wg normy odbiegają jednak od tych wartości (szczególnie czas retencji jest krótszy).

W rozdziale 9 Autorka podjęła próbę uogólnienia wyników przeprowadzonych badań i eksperymentów numerycznych. W tym celu przeprowadzono analizę porównawczą wyników w skali laboratoryjnej (mała komora o objętości $0,72 \text{ m}^3$), z wynikami w dużej komorze o objętości 70 m^3 . Wprowadzono liczby podobieństwa: czasów retencji i 2 liczby podobieństw komór badawczych. Jest to próba interesująca, ale materiał badawczy jest zbyt wąski, aby mówić o uogólnieniu. Wskazane byłoby w przyszłości zastosować ogólne zasady teorii podobieństwa w analizie przepływów.

W rozdziale 10 Autorka przeprowadza analizę błędów i niepewności pomiarowych, co w pracy doświadczalnej jest ważnym elementem, świadczącym na korzyść tej pracy. Natomiast w rozdziale 11 pokazano kierunki dalszych prac: badanie innych grup gazów gaśniczych, analiza działania dysz wylotowych gazu gaśniczego oraz badania z uwzględnieniem pożaru i innych źródeł ciepła. W rozdziale 12 przedstawiono wnioski i uwagi końcowe wynikające z przeprowadzonych badań i analiz obliczeniowych. Jest ich łącznie 13 i świadczą o tym, że podstawowe tezy zostały udowodnione oraz wykazały przydatność modelowania numerycznego w analizie przepływu gazu gaśniczego przez pomieszczenie chronione.

Ocena pracy

W moim przekonaniu postawione 2 tezy zostały w wystarczającym stopniu udowodnione, chociaż zakres przebadanych wariantów jest dość wąski, co utrudnia uogólnienie wyników na inne przypadki konstrukcyjne komór chronionych i różne przepływy strumieni gazów gaśniczych oraz usytuowania dysz wtryskowych gazu do komory. Jednak ogólna zasada prowadzenia badań i ich zakres są poprawnie skonstruowane. Przeprowadzone badania numeryczne z wykorzystaniem CFD oraz równolegle przeprowadzone badania doświadczalne podnoszą wiarygodność uzyskanych wyników. Można stwierdzić, że zastosowanie metod CFD pozwala na trójwymiarowy opis przepływu gazu gaśniczego przez pomieszczenie chronione, co stanowi postęp w porównaniu z dotychczasowymi metodami dwuwymiarowymi (teza 1). Zastosowanie metod CFD pozwala również na dokonanie racjonalnego doboru rodzaju i ilości gazu gaśniczego, z uwzględnieniem geometrii pomieszczenia, rozprężania gazu w pomieszczeniu, turbulentnego przepływu mieszaniny gaśniczej oraz zmienności warunków mikroklimatycznych na zewnątrz i wewnątrz komory (teza 2). Uzyskane w/w wyniki są niewątpliwym pewnym wkładem Autorki w rozwój badań i doskonalenie metod ochrony pomieszczeń z wykorzystaniem stałych urządzeń gaśniczych gazowych (szczególnie należy podkreślić opracowanie trójwymiarowego modelu CFD do badań przepływu gazu gaśniczego przez chronione pomieszczenie).

Praca jest dość zwarta, poszczególne zagadnienia przedstawiono w sposób wystarczający dla udowodnienia postawionych tez, całość tekstu jest logicznie ułożona, choć tytuły niektórych rozdziałów mogły być nazwane bardziej jednoznacznie. Praca jest napisana poprawnym językiem, choć występują drobne usterki stylistycznych i językowe. Jednak niektóre przyjęte założenia, wprowadzone uproszczenia i sposób przedstawienia

niektórych fragmentów pracy budzi pewne wątpliwości. Najważniejsze z nich podaję poniżej:

1. We wprowadzeniu (rozdział 1) brakuje krytycznego przeglądu stanu wiedzy w zakresie zabezpieczenia pomieszczeń chronionych gazami gaśniczymi, co lepiej uzasadniałoby postawione tezy i zakres badań.
2. Rozdział 5 i rozdział 8 są powiązane i powinny być razem w bezpośrednim sąsiedztwie.
3. Badania doświadczalne ograniczono do jednego pomieszczenia i jednej dyszy wtryskowej umieszczonej centralnie. Interesujące byłyby wyniki dla innych geometrii pomieszczeń, większej liczby dysz i dla dysz o innej geometrii wypływu?
4. W badaniach zastosowano dyszę z jednym otworem, w dyszach stosowanych w systemach jest kilkanaście lub więcej otworów, ponadto kąt rozwarcia strugi też się różni. Jaki to ma wpływ na uzyskane wyniki w porównaniu z układami gaśniczymi stosowanymi w praktyce?
5. Nie analizowano przepływu gazu przez dyszę (przepływ izentalpowy) i ciśnienia gazu tuż za dyszą po rozprężeniu – co ma wpływ na początkowy spadek temperatury i rozkład ciśnienia w komorze na początku procesu. Nie do końca jest jasne od jakiego momentu jest prowadzone modelowanie numeryczne (procesy rozprężania są bardzo szybkie w początkowej fazie).
6. Brak podziału parametrów opisujących działanie stałych urządzeń gaśniczych gazowych na parametry projektowe i operacyjne. Taki podział ułatwia dobór parametrów i analizę ich wpływu na projektowanie i działanie systemu.
7. W badaniach doświadczalnych używano butli z gazem o masie 50 dm^3 i ciśnieniu 20 MPa. Nie ma informacji ile gazu zostało wprowadzone do komory (w m^3) i jaki to spowodowało przyrost ciśnienia statycznego na początku procesu?
8. Nie do końca jest jasne usytuowanie otworów kompensacyjnych w komorze i wymiarów tych otworów. Może skuteczniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie zaworów upustowych utrzymujących zadane ciśnienie w komorze – co może wydłużyć czas retencji (analogia do komór chłodniczych, gdzie takie zawory są bardzo ważne dla utrzymania szczelności i odpowiedniego ciśnienia)?
9. Badania były prowadzone praktycznie bez źródeł ciepła w komorze. Jakie różnice by wystąpiły w warunkach pożaru lub źródeł ciepła w komorze?
10. Analiza cytowanego piśmiennictwa wykazuje, że najczęściej w tekście były cytowane trzy normy: PN-EN 15004-1:2008 (30 razy), NFPA 2001 oraz ISO 14520-1:2006 (po 20 razy), dokumentacja techniczne ANSYS Fluent jest cytowana 9 razy, natomiast artykuły naukowe są cytowane jednostkowo?
11. Rozdział 10 dotyczący analizy dokładności pomiarów i obliczeń powinien być raczej częścią rozdziału 6 lub zamieszczony w załączniku, gdyż zakłóca on rytm pracy.
12. Uwagi szczegółowe:
 - a. str. 7 – brakuje tytułu rozprawy w języku angielskim?
 - b. str. 10 – nie *symbole grackie* lecz *symbole greckie*?
 - c. str. 10 – powinno być *wilgotność względna powietrza*,
 - d. str. 10 – nie [%v/v] lecz [%_{obj}],
 - e. str. 11 – zostały wprowadzone stałe: k , k_1 do k_4 i każda ma inny wymiar. Jest to niewłaściwe, bo wprowadza zamieszanie?
 - f. str. 12 – nie *masowe natężenie przepływu* a lepiej *strumień masy*,
 - g. str. 12 – nie *pole ciśnienia* a lepiej *gradient (spadek) ciśnienia*,
 - h. str. 25 – nie *wyładowaniu CO_2* a lepiej *rozprężeniu CO_2* ,
 - i. str. 35-38 – źródło pochodzenia zależności (6) do (15)?

- j. str. 34 i 49 – oznaczenie gęstości „d” oraz w innym miejscu „ρ”?
- k. str. 64 – nie *pomiar różnicy ciśnień* a *pomiar różnicy ciśnienia*, to samo dotyczy temperatury,
- l. str. 66 – nie *ułamek objętościowy* O_2 a *udział objętościowy* O_2 ,
- m. str. 80, 89, 94, 98 i 99 – słaby kontrast rysunków,
- n. str. 82, 94 – adiabatyczne rozprężenie gazu gaśniczego występuje już w pomieszczeniu, natomiast w samej dyszy wystąpi izentalpowe dławienie.

Mimo powyższych usterek i niedociągnięć, pracę oceniam pozytywnie, zawiera ona wiele wartościowych badań i analiz z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi komputerowych (modelowanie CDF trójwymiarowe) i wnosi nowe wartości do analizy zabezpieczenia przeciwpożarowego pomieszczeń stałymi gazowymi urządzeniami gaśniczymi. Wykonanie badań doświadczalnych przepływu gazu gaśniczego w komorze testowej pozwoliło na walidację modelu komputerowego CDF (wykorzystano pakiet ANSYS Fluent 18.2 z numeryczną adaptacją do wymagań stanowiska testowego). Są to niewątpliwie istotne osiągnięcia Autorki i wnoszą nowe wartości do analizy zjawisk w systemach gaszenia stałymi urządzeniami gaśniczymi z wykorzystaniem gazu.

Wniosek końcowy

Przytoczone uwagi ogólne i szczegółowe nie umniejszają zasadniczych wartości merytorycznych pracy. Część z powyższych uwag jest dyskusyjna, generalnie mają skorygować uchybienia, ukierunkować ewentualne dalsze badania prowadzone przez Autorkę w tym zakresie i rozszerzenie badań o nowe geometrie komór i konstrukcje dysz w systemach gaśniczych w celu ustalenia optymalnych ich wymiarów i uzyskania uogólnionych zależności kryterialnych.

Stwierdzam więc, że Doktorantka przedstawiła ciekawą pracę wnoszącą nowe elementy do problematyki analizy stałych urządzeń gaśniczych z wykorzystaniem gazu. Uzyskane wyniki mają wartość poznawczą i mogą być również wykorzystane w praktyce inżynierskiej. Doktorantka dobrze opanowała zasady prowadzenia badań doświadczalnych i analizę oraz opracowywanie wyników tych badań, jak również dobrze porusza się w modelowaniu numerycznym z wykorzystaniem metod CFD. Mogę więc stwierdzić, że potrafi formułować i rozwiązywać problemy naukowe oraz oceniać uzyskane wyniki. Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Sylwii BOROŃ pt. *“Modelowanie zabezpieczenia przeciwpożarowego pomieszczeń budowlanych gazami gaśniczymi”* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003r. nr 65 poz. 595 – 2003 z późn. zm.) – biorąc pod uwagę art. 179 ust. 1. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r., poz. 1669). Wnoszę więc o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji.