

Częstochowa, 12.08.2013 r.



Prof. dr hab. inż. Robert Sekret

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii

Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji

ul. Brzeźnicka 60A, 42-200 Częstochowa

E-mail: rsekret@is.pcz.czyst.pl

Tel. kom.: 664 758 109

Szanowny Pan

Prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz

Dziekan Wydziału

Inżynierii Środowiska i Energetyki

Politechniki Śląskiej

ul. Konarskiego 18

44-100 Gliwice

Recenzja

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Stoleckiej

1. Wprowadzenie

Recenzja niniejsza została napisana w odpowiedzi na pismo Pana Dziekana Prof. dr hab. inż. Janusza Kotowicza Nr RIE-BD/4/647/2012/2013 z dnia 15 lipca 2013 roku.

2. Zakres rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Stoleckiej nosi tytuł „Ocena ryzyka związanego z transportem i przechowywaniem nośników energii”. Zawiera 193 strony tekstu (nie licząc piśmiennictwa i źródeł internetowych), 204 rysunki oraz 41 tabel. Oparto ją o 112 pozycji bibliograficznych i powołano się w niej na 14 źródeł internetowych. Rozprawa została podzielona na 8 rozdziałów.

Pierwszy rozdział rozprawy to wprowadzenie dotyczące: problematyki bezpieczeństwa maszyn, urządzeń i technologii; regulacji prawnych z zakresu technologii wychwytu ditlenku węgla oraz przykładów awarii i katastrof instalacji związanych z substancjami niebezpiecznymi. Materiał ten oparto o: analizę zestawień liczby kłesk na świecie w latach 1900-2013, regulacje europejskie wraz z implementacją ich do prawa polskiego w zakresie rozwoju technologii wychwytu i składowania ditlenku węgla (tzw. technologii CCS), analizy struktur wypadków w sektorze gazowym z uwzględnieniem udziału gazu ziemnego oraz analizę przyczyn wypadków z udziałem wodoru. Przedstawiony materiał

poparto 11 przykładami katastrof z udziałem substancji niebezpiecznych. W zakończeniu rozdziału pierwszego przedstawiono cel pracy. Zakres pracy, podany na końcu rozdziału pierwszego, precyzuje co uważane będzie za osiągnięcie założonego celu.

Rozdział drugi oceniającej pracy to wybrane aspekty wiedzy o metanie i wodorze z zakresu: właściwości fizycznych i chemicznych; metod otrzymywania, transportu, magazynowania, zastosowania oraz właściwości fizyczne i chemiczne ditlenku węgla wraz z problematyką jego transportu.

Rozdział trzeci zawiera istotne aspekty dotyczące ryzyka związanego z transportem i magazynowaniem nośników energii. W rozdziale tym zdefiniowano pojęcia ryzyka, zwłaszcza ryzyka technicznego. Zawarto w nim również schemat procedury analizy ryzyka, charakterystykę podstawowych zagrożeń, tj. pożaru, wybuchu, z uwzględnieniem parametrów atmosferycznych w postaci stabilności pogody oraz wpływu wiatru. W rozdziale trzecim zostały także opisane metody identyfikacji zagrożeń w postaci drzewa zdarzeń - ET oraz metody drzewa uszkodzeń - FTA. W dalszej części rozdziału trzeciego zostały zawarte: problematyka oszacowania ryzyka, skutki pożaru dla ludzi i otoczenia z uwzględnieniem promieniowania cieplnego, skutki wybuchu dla ludzi i otoczenia z uwzględnieniem negatywnego wpływu fali ciśnieniowej i oddziaływania odłamków, skutki oddziaływania różnych poziomów stężenia ditlenku węgla na człowieka i zwierzęta. W końcowej części rozdziału zostały scharakteryzowane i przedstawione przykłady funkcji probitowych wraz z kryteriami akceptowalności ryzyka.

Rozdział czwarty to przegląd literaturowy modeli obliczeniowych dotyczących negatywnych skutków uwolnień substancji niebezpiecznych, które zostały zastosowane w oceniającej pracy. Modele zostały podzielone na trzy grupy, tj. modele promieniowania cieplnego dla pożarów, modele skutków wybuchów oraz modele transportu substancji w atmosferze.

Rozdział piąty pracy doktorskiej stanowi analizę ryzyka transportu metanu. Został w nim przedstawiony zakres promieniowania z wykorzystaniem modelu punktowego (z uwzględnieniem transmisyjności atmosfery i zmian temperatury otoczenia) oraz modelu Chamberlain'a (z uwzględnieniem wpływu wiatru, transmisyjności atmosfery i zmian temperatury otoczenia). W kolejnej części rozdziału piątego zostały zawarte wyniki analizy wybuchu chmury metanu z wykorzystaniem modelu TNT i modelu Baker-Strehlow oraz oceny skutków pożaru i wybuchu metanu. Dla oceny skutków pożarów i wybuchu wykorzystano zależności procentowego udziału zgonów w funkcji odległości obserwatora dla trzech założonych średnic rurociągów z uwzględnieniem przestrzeni swobodnej oraz przestrzeni ograniczonej. W zakończeniu rozdziału piątego przedstawiono wyniki oszacowania ryzyka w procesie transportu metanu. Dla prezentacji wyników wykorzystano zależności wartości ryzyka w funkcji odległości od miejsca strumieniowego pożaru dla trzech założonych średnic rurociągu, trzech ciśnień metanu w rurociągu oraz dwóch gęstości zaludnienia z wykorzystaniem najprostszego modelu obliczeniowego. W przypadku prezentacji wyników analiz dotyczących oszacowania ryzyka wybuchu wykorzystano zależności wartości ryzyka w funkcji odległości od miejsca wybuchu dla trzech założonych

średnic rurociągu, trzech ciśnień metanu w rurociągu oraz dwóch gęstości zaludnienia z uwzględnieniem zarówno przestrzeni swobodnej oraz przestrzeni ograniczonej. Dodatkowo zostało ujęte ryzyko wybuchu metanu oszacowane zgodnie z założeniami modelu Baker-Strehlow i modelu TNT. Rozdział ten prezentuje także wyniki oszacowania ryzyka dla przypadku natychmiastowego i opóźnionego zapłonu metanu z wykorzystaniem najprostszego modelu obliczeniowego dla pożaru i modelu TNT dla wybuchu.

Rozdział szósty rozprawy to implementacja zaproponowanych w rozdziale czwartym modeli dla potrzeby analizy ryzyka transportu i magazynowania wodoru. W ocenianym rozdziale zostały przedstawione wyniki badań dotyczące: strumienia wypływającego gazu, promieniowania z wykorzystaniem modelu punktowego oraz modelu Chamberlain'a dla trzech założonych średnic przewodów i trzech ciśnień wodoru w rurociągu, jak również skutki awarii zbiornika ciśnieniowego magazynującego wodór. Podobnie, jak w przypadku metanu, przedstawione zostały wyniki badań dotyczące wpływu wiatru oraz transmisyjności atmosfery na poziom promieniowania. W kolejnej części rozdziału szóstego Autorka przedstawiła wyniki analizy wybuchu chmury wodoru z wykorzystaniem modelu TNT i modelu Baker-Strehlow. W tym celu, podobnie jak w przypadku metanu, wykorzystane zostały zależności liczby zgonów w funkcji odległości dla różnych średnic rurociągu z uwzględnieniem przestrzeni swobodnej oraz przestrzeni ograniczonej. W zakończeniu rozdział szósty zawiera wyniki oszacowania ryzyka w procesie transportu wodoru. Zostały one opracowane zgodnie z formułą przedstawioną w rozdziale piątym, który dotyczył metanu.

Rozdział siódmy pracy doktorskiej stanowi analizę ryzyka transportu ditlenku węgla. We wstępie rozdziału przedstawiono opis technologii wychwytu CO₂ (tj. technologii opartej na absorpcji chemicznej przy wykorzystaniu roztworu monoetanolaminy, technologii zgazowania węgla przed procesem jego spalania oraz technologii spalania tlenowego z recyrkulacją CO₂) oraz zagrożenia wynikające z zastosowania przytoczonych technologii. Główna część rozdziału siódmego to: wyniki rozkładu ciśnienia, temperatury, udziału frakcji ciekłej w uszkodzonym rurociągu w funkcji czasu, czy rozkładu strumienia masowego, ciśnienia, temperatury, udziału frakcji ciekłej w otworze w funkcji czasu oraz ilości uwolnionego gazu w funkcji czasu dla dwóch długości rurociągu (dla rurociągu o długości 0,5 km i 10 km). W dalszej części rozdziału siódmego zamieszczono wyniki obliczeń dyspersji CO₂ wokół uszkodzonego rurociągu o długości 0,5 km oraz 10 km. Wyniki zostały przedstawione jako zależności: zmian wysokości linii centralnej chmury gazu, stężenia CO₂ w linii centralnej chmury, zmian temperatury w linii centralnej chmury w funkcji odległości oraz zmian stężenia CO₂ w linii centralnej chmury w funkcji czasu. W rozdziale siódmym zostały także zaprezentowane wyniki oszacowania stref zagrożeń w obrębie uszkodzonego rurociągu w postaci rozkładu maksymalnych stężeń CO₂ a w dalszej kolejności wyniki badań dotyczące zasięgu fali ciśnieniowej powstałej w skutek zjawiska BLEVE podczas magazynowania ditlenku węgla w zbiorniku. Ostatni podrozdział stanowi oszacowanie ryzyka powstałego w czasie transportu CO₂ rurociągami oraz jego niekontrolowanego wycieku.

W tym celu wyniki badań przedstawione zostały jako zależności wartości ryzyka w funkcji odległości od miejsca uwolnienia oraz wartości ryzyka w funkcji odległości od miejsca BLEVE.

Ostatni ósmy rozdział rozprawy doktorskiej to podsumowanie i wnioski.

3. Ocena pracy

Pozyskanie energii, obok produkcji żywności stanowi podstawowy kierunek działania w gospodarce a jej dostępność to czynnik stymulujący rozwój gospodarczy. Polska posiada bardzo specyficzny system energetyczny. Ponad 90 procent energii elektrycznej jest wytwarzane z wykorzystaniem węgla jako nośnika energii pierwotnej oraz ponad 60 procent mocy produkcyjnych stanowią urządzenia eksploatowane od ponad 30 lat, które w najbliższej przyszłości staną się przestarzałe. Ponadto trudnym będzie dotrzymanie limitów emisji CO₂, które zostały nałożone na Polskę przez Unie Europejską bez szerokiej modernizacji źródeł wytwórczych. W dodatku, jak przewiduje Międzynarodowa Agencja Energii, należy spodziewać się znacznego wzrostu zapotrzebowania na energię w najbliższych 20-40 latach. Dlatego też, w celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego kraju istnieje silna potrzeba rozwoju innowacyjnych technologii energetycznych pozwalających na racjonalną gospodarkę węglem oraz wdrażanie nowych nośników energii pierwotnej wraz z podjęciem intensywnych działań związanych z racjonalizacją użytkowania energii. Dla realizacji tych kierunków istotnymi problemami badawczymi są m.in. transport i magazynowanie ditlenku węgla oraz wodoru. Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższą sytuację podjęcie przez Doktorantkę w rozprawie zadania oceny ryzyka związanego z transportem i przechowywaniem nośników energii świadczy o znajomości współczesnych zagadnień gospodarki energetycznej oraz trafności tematyki naukowo-badawczej.

Doktorantka interesująco przedstawiła wprowadzenie do pracy, tj. rozdział pierwszy. Autorka bardzo precyzyjnie określiła motywację do podjęcia się tematu badań. Uznała m.in., że pozyskanie wiedzy na temat bezpieczeństwa wychwyty i składowania ditlenku węgla prowadzić będzie nie tylko do minimalizacji zagrożeń dla ludzi i otoczenia ale również do wzrostu akceptacji społecznej wykorzystania tych technologii oraz że katastrofy technologiczne stanowiące ok. 32% liczby klęsk na świecie stanowią istotny problem badawczy i praktyczny, np. w przypadku energetycznego wykorzystania wodoru. Można podkreślić, że Autorka podjęła się interesującego z punktu widzenia naukowego i aplikacyjnego celu, tj. identyfikacji i oceny ryzyka związanego z transportem i przechowywaniem wodoru oraz ditlenku węgla wraz z określeniem czynników wpływających na poziom tego ryzyka. Przedstawiony zakres pracy szczegółowo informuje o kolejnych etapach realizacji założonego celu pracy.

W rozdziale drugim Doktorantka charakteryzując wybrane gazy, tj. metan, wodór oraz CO₂ słusznie odniosła się także do biologicznych technologii otrzymywania wodoru, gdyż coraz częściej są one brane pod uwagę jako przyszłościowe w kontekście wytwarzania wodoru, np. dla ogniwo paliwowych.

Rozdział ten jest czytelny i zawiera minimum wymaganej wiedzy dla potrzeby realizacji części badawczej pracy.

Oceniając rozdział trzeci pracy należy stwierdzić, że w przeprowadzonym przeglądzie literatury Doktorantka trafnie wskazała na zagrożenia związane z uwolnioną energią cieplną w trakcie pożaru oraz falę wybuchową wraz z rozprzestrzenianiem się toksycznej chmury gazu jako istotne czynniki dla oszacowania ryzyka transportu oraz magazynowania nośników energii. Ważnym elementem tego typu analiz jest określenie prawdopodobieństwa ich zajścia. Zaproponowane przez Doktorantkę w tym celu funkcje probitowe nie budzą zastrzeżeń.

Przedstawione w rozdziale czwartym modele obliczeniowe negatywnych skutków uwolnień substancji niebezpiecznych, które stanowią podstawę oceny ryzyka, charakteryzują się spójnym opisem matematycznym. Zaproponowane przez Doktorantkę modele pozwalają na ich implementację do rozwiązywania zagadnień dotyczących obliczania promieniowania cieplnego dla pożarów, skutków wybuchów oraz charakterystyki transportu i dyspersji w atmosferze dla oszacowania ryzyka transportu metanu, transportu i magazynowania wodoru oraz transportu ditlenku węgla. Zaproponowane opisy matematyczne wybranych modeli są czytelne, logicznie ułożone i pozwalają na dużą łatwość jego użytkowania pomimo dużej złożoności problematyki.

Podsumowując ocenę rozdziałów 2-3-4 należy stwierdzić, że Doktorantka rzeczowo i czytelnie przedstawiła studium literatury przedmiotu badań oraz metodykę badawczą.

Rozdziały 5-6-7 przedstawiają uzyskane wyniki badań oraz ich analizę w zakresie szacowania ryzyka transportu metanu, transportu i magazynowania wodoru oraz transportu ditlenku węgla. Zgodnie z oczekiwaniami Autorki rozprawy zastosowanie wybranych i opisanych w rozdziale czwartym modeli obliczeniowych pozwoliło na uzyskanie wartości ryzyka na podstawie których można dokonać oceny wpływu szeregu czynników na bezpieczeństwo badanych procesów. Wybór modeli obliczeniowych jest trafny i uzasadniony. Uważam, że sposób organizacji oraz przeprowadzenia badań wskazuje na nabycie przez Doktorantkę umiejętności doboru metod badawczych oraz analizy uzyskanych wyników.

Nie mam zastrzeżeń do przedstawionych wniosków końcowych. Są one czytelne i przekonujące oraz odnoszą się do celu pracy oraz zaproponowanego zakresu badań. Uważam, że prezentowana w rozprawie problematyka powinna być dalej kontynuowana w obszarze opracowania zasad bezpiecznej eksploatacji.

Po zapoznaniu się materiałem rozprawy nasuwa się również kilka pytań i uwag:

1. W pracy nie zdefiniowano pojęć „przechowywać” i „magazynować”. Czy są to synonimy, czy też ze względu np. na czas zatrzymania lub metodę realizacji opisują one inne procesy, lub te same procesy ale realizowane w odmiennych warunkach?

2. Na stronie 192 (ostatni wiersz) oraz stronie 193 rozprawy (pierwszy wiersz) zapisano: „..... ryzyko wybuchu wodoru jest akceptowalne w momencie, gdy korzyści związane z wykorzystaniem rurociągu do transportu tego gazu przewyższają wartość ryzyka.” Czy kryterium ekonomiczne w tym przypadku jest w pełni uzasadnione?
3. Które z zaproponowanych w pracy modeli obliczeniowych powinny stanowić podstawę do oceny ryzyka związanego z transportem i magazynowaniem analizowanych substancji?
4. Czy zaproponowane modele obliczeniowe można wykorzystać w przypadku wystąpienia nagłego znaczącego zniszczenia instalacji, np. w wyniku klęsk żywiołowych? Jeżeli nie to, w jakim kierunku należałoby dalej rozwijać zaproponowane modele?
5. Szerszego komentarza wymagałaby również niepewność uzyskanych wartości ryzyka, czy komentarz dotyczący analizy wrażliwości.

Za istotne osiągnięcia rozprawy uważam:

- 1) Opracowanie metodologii oceny ryzyka związanego z transportem i magazynowaniem wodoru oraz transportem ditlenku węgla.
- 2) Przeprowadzenie nowatorskiej w skali kraju analizy ryzyka związanego z potencjalną awarią rurociągów transportujących dwutlenek węgla i następnie analizy transportu chmury tego gazu w atmosferze.
- 3) Określenie stref bezpieczeństwa wokół sieci i instalacji związanych z transportem i przechowywaniem wodoru.
- 4) Określenie czynników oddziałujących na zasięg niebezpiecznych stref w sąsiedztwie rurociągów transportujących metan, wodór oraz dwutlenek węgla ze wskazaniem stopnia ich wpływu na zasięg tych stref i poziom ryzyka.

4. Wniosek końcowy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie bardzo ważnego problemu naukowego, jakim jest ocena ryzyka związanego z transportem i przechowywaniem nośników energii. Jej poziom merytoryczny spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wobec powyższego wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę istotne osiągnięcia rozprawy przedstawione w mojej ocenie uważam, że praca doktorska mgr inż. Katarzyny Stoleckiej pt. „Ocena ryzyka związanego z transportem i przechowywaniem nośników energii” kwalifikuje się do wyróżnienia.

