

dr hab. Marek Konecki, prof. SGSP

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Szymona Karola Ptaka

„ANALIZA ZAGROŻEŃ WYBUCHOWYCH ZWIĄZANYCH ZE WSPÓLSPALANIEM
BIOMASY I WĘGLA”

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawa składa się łącznie z 11 rozdziałów i 8 załączników zawierających wyniki badań doświadczalnych oraz obliczone współczynniki korelacji liniowej Pearsona. Zawiera łącznie 181 strony, 158 pozycji bibliograficznych.

Praca została podzielona na część literaturową oraz eksperymentalną. Rozpoczyna się od wprowadzenia w tematykę pracy, a także określenia celu i zakresu rozprawy. Sformułowano tezę pracy oraz szczegółowe problemy badawcze. W pierwszym rozdziale autor wprowadza czytelnika w zagadnienia związane z wybuchowością pyłów w kontekście podstaw fizykochemicznych.

Drugi rozdział opisuje potencjalne źródła zapłonu, które mogą być obecne w otoczeniu miejsca wytworzenia pyłowej atmosfery wybuchowej. Autor sięga do literatury przedmiotu, ukazując stan wiedzy w zakresie możliwości powstania zapalenia od tychże czynników.

W trzecim rozdziale scharakteryzowano najważniejsze czynniki wpływające na proces wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej, takie jak: wpływ wielkości cząsteczek czy stężenia tlenu. Podkreślono różnice w zagrożeniu wybuchem pyłów w porównaniu ze zjawiskami zachodzącymi podczas wykorzystywania w procesach technologicznych gazów palnych. W dalszych podrozdziałach autor opisał wskaźniki zapalności i wybuchowości, podając naukowe podstawy poszczególnych parametrów.

Rozdział czwarty opisuje problematykę związaną z wytwarzaniem energii z paliw stałych. Opisano zjawiska zachodzące podczas rozkładu termicznego i pirolizy węgla oraz zaprezentowano wzory empiryczne służące szacowaniu ciepła spalania na podstawie analizy elementarnej i/lub technicznej. Autor podał wnioski wynikające z prowadzonych na świecie

badania nad wprowadzeniem biomasy do współspalania jako paliwa komplementarnego do węgla. Następnie autor dokonał zbliżonej analizy dla różnego rodzaju biomasy dostępnej na rynku światowym. Zestawiono wyniki analizy elementarnej i technicznej 50 próbek biomasy, podano ciepło spalania oraz adiabaticzną temperaturę płomienia w porównaniu do węgla kamiennego. Opisano technologię przetwarzania biomasy do postaci wykorzystywanej w energetyce. Przedstawiono aktualny stan wiedzy w zakresie rozkładu termicznego i pirolizy biomasy. Następnie opisano zjawiska niebezpieczne, które mogą być (lub były w przeszłości) przyczyną pożaru lub wybuchu. Odwołano się do udokumentowanych zdarzeń historycznych. Piąty rozdział zawiera syntetyczny opis sposobów zapobiegania wybuchom pyłów. Autor opisuje w nim zarówno koncepcję ochrony przed wybuchem wynikającą z obowiązujących aktów prawnych, jak i podaje rozwiązania techniczne i organizacyjne, mające na celu niedopuszczenie do powstania wybuchu lub ograniczenie jego skutków.

Szósty rozdział rozpoczyna część eksperymentalną pracy. Autor przedstawia argumenty, które przeważały o wyborze zastosowanych 5 próbek biomasy. Opisano sposób przygotowania próbek do badań eksperymentalnych. Zestawiono także wyniki badania podstawowych parametrów poszczególnych próbek biomasy i próbki węgla kamiennego. Przeprowadzono m.in. analizę rozkładu ziarnowego oraz analizę mikroskopową kształtu cząstek uzyskanego pyłu.

Kolejny rozdział zawiera opis metodyki przeprowadzonych badań. Autor podjął się oznaczenia maksymalnego ciśnienia wybuchu, maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu, dolnej granicy wybuchowości obłoku pyłu, minimalnej temperatury zapłonu warstwy i obłoku pyłu, określenia ciepła spalania brutto, minimalnej energii zapłonu obłoku pyłu. Przeprowadzono analizę termograwimetryczną w atmosferze utleniającej i inertej, sprzężoną z techniką FTIR. Przeprowadzono analizę elementarną poszczególnych próbek oraz dokonano analizy korelacji liniowych pomiędzy uzyskanymi wskaźnikami palności i wybuchowości. Badaniom poddano zarówno próbki pyłów biomasy oraz węgla jak i mieszaniny pyłu biomasy z pyłem węglowym w proporcjach wagowych 1:1.

Ósmy rozdział opisuje wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Autor przeprowadził także ich analizę, podejmując próbę wytłumaczenia zaobserwowanych zjawisk, np. efektu synergii zwiększającego zagrożenie wybuchem próbek, które charakteryzują podobne przebiegi rozkładu termicznego.

Dziewiąty rozdział jest zestawieniem wniosków z przeprowadzonej analizy literaturowej oraz z przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Autor podzielił wnioski na ogólne oraz szczególne, przedstawione dla każdej z badanych próbek biomasy z osobna. Dziesiąty rozdział zawiera zestawienie wcześniej opisanych wniosków z pracy badawczej do postaci 10 zwięzłych punktów.

Jedenasty, ostatni rozdział stanowi opis kierunków dalszych badań w obszarze wybuchowości mieszanin pyłowych węgla i biomasy.

W spisie literatury zamieszczono głównie artykuły naukowe z czasopism z części A listy MNiSW. W załącznikach do pracy oznaczonych od "A" do "H" autor przedstawił szczegółowe wyniki badań eksperymentalnych. Na ostatniej stronie umieszczone zostało streszczenie w języku polskim oraz angielskim.

Ogólna ocena rozprawy

Praca doktorska dotyczy zagrożenia pożarowego i wybuchowego związanego ze współspalaniem węgla i biomasy.

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant zajmuje się bardzo ważną i aktualną problematyką dotyczącą inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, związaną bezpośrednio z zagrożeniem ludzi, ale także mającą wpływ na ciągłość procesów dostarczania energii elektrycznej. Rozprawa dotyczy problemu naukowego jakim jest określenie wpływu różnic w składzie i strukturze chemicznej nie badanych dotychczas pyłów biomasy oraz paliwa konwencjonalnego (węgla) na ich fizykochemiczne parametry palności i wybuchowości.

Autor w swojej pracy podkreślił zwrot polityki energetycznej krajów Unii Europejskiej w stronę odnawialnych źródeł energii. Jego zdaniem szerokie wykorzystanie paliwa kopalnego w postaci węgla kamiennego w Polsce wymusiło poszukiwanie surowców alternatywnych. Jednocześnie autor podkreśla, że zastosowanie biomasy w Polsce i na świecie, mimo wielu poświęconym temu zagadnieniu badań naukowych, ciągle prowadzi do pożarów i wybuchów. Zastosowanie biomasy prowadzi zwykle do redukcji związków NO_x, jednocześnie powodując wzrost zagrożenia wybuchem na drodze obniżenia minimalnej temperatury zapłonu obłoku pyłu, czy obniżając minimalną energię zapłonu.

Biomasa dostępna na polskim rynku nie została jak dotąd zbadana pod kątem bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego.

Jednocześnie literatura przedmiotu nie opisuje jednoznacznie przebiegu samego procesu wybuchu obłoków pyłów biomasy i węgla, właściwych zakładom energetycznym,

gdzie prowadzi się współspalanie węgla i biomasy. W związku z tym autor podjął się próby rozwiązania postawionej tezy, że wykorzystanie biomasy do celów energetycznych wpływa na poziom bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego. Jednocześnie sformułowano trzy problemy szczegółowe, tj.:

- 1) Znaczące różnice w składzie i strukturze chemicznej biomasy oraz paliwa konwencjonalnego (węgla) mogą wpływać na fizykochemiczne parametry palności i wybuchowości.
- 2) Zmiana parametrów fizykochemicznych przechowywanego, transportowanego, rozdrabnianego i wreszcie spalanego materiału palnego (tj. mieszaniny biomasy i węgla) może wymuszać ekonomicznie i technicznie wymagające zmiany w infrastrukturze elektrowni, pod kątem bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego.
- 3) Możliwe jest zaadoptowanie innych dostępnych na rynku rodzajów biomasy w energetyce.

Należy podkreślić, że celem pracy było rozwiązanie podanego na początku oryginalnego problemu naukowego, ale także optymalizacja praktycznego znaczenia wyników i możliwości ich implementacji w sektorze energetycznym. Podjęta przez Doktoranta problematyka mieści się w głównym nurcie podejmowanych na świecie prac badawczych w zakresie bezpieczeństwa.

Autor wykazał się dobrą ogólną wiedzą teoretyczną, problematyki wybuchowości pyłów, ich własności i oznaczeń parametrów wybuchowości, zagrożeń pożarowo – wybuchowych związanych z zastosowaniem biomasy, a także dotyczącą sposobów zapobiegania pożarom i wybuchom.

Doktorant słusznie zdecydował się na wykorzystanie normowych metod badawczych służących oznaczeniu poszczególnych wskaźników palności i wybuchowości, tj. maksymalnego ciśnienia wybuchu, maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu, dolnej granicy wybuchowości obłoku pyłu, minimalnej temperatury zapłonu warstwy i obłoku pyłu, określenia ciepła spalania brutto, minimalnej energii zapłonu obłoku pyłu.

Badanie termogravimetryczne przeprowadzono zgodnie ze standardami obowiązującymi dla tworzyw sztucznych. Badanie FTIR produktów rozkładu termicznego i pirolizy próbek rozpoczęto od analizy literaturowej pod kątem możliwych związków wydzielanych podczas ogrzewania próbek. Następnie wykorzystano oprogramowanie OMNIC w celu dopasowania widm IR zawartych w bibliotece do otrzymanych podczas badań.

Badania zostały przeprowadzone rzetelnie i dokładnie, są bogato udokumentowane. Świadczą o sprawnym warsztacie naukowym Doktoranta. Ma to szczególne znaczenie z uwagi np. na wpływ niewielkich różnic w rozkładzie średnicy cząstek i ich wilgotności na własności pyłów.

Z kolei analizy korelacji liniowych pomiędzy uzyskanymi wynikami badań dokonano dzięki obliczeniu współczynników korelacji liniowej Pearsona, których wartość interpretowano zgodnie ze skalą przyjętą za cytowaną literaturą.

Doktorant formułuje ważne wnioski wynikające z analizy wyników przeprowadzonych badań.

Za zasadniczy element poznawczy pracy uważam szczegółową dyskusję różnic w mechanizmach wybuchu różnych biomas. Wykazano, że dodatek biomas wpływa na poziom bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego, dokumentując wpływ różnic w składzie węgla kamiennego i biomasy na fizykochemiczne parametry palności i wybuchowości obu materiałów jak i ich mieszanin.

Wykazano niejednoznaczny wpływ dodatku biomasy na bezpieczeństwo wybuchowe. Dodatek badanych biomas podwyższa dolną granicę wybuchowości w założonych warunkach inicjacji wybuchu – 2 kJ. Z tego punktu widzenia nie występuje pogorszenie bezpieczeństwa wybuchowego. W przypadku źródeł o innej mocy, dane mogą być jednak inne. Wartość minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu wskazuje na poprawę warunków bezpieczeństwa, ale niższe wartości minimalnej energii zapłonu i minimalnej temperatury zapłonu obłoku, wskazują na zwiększenie zagrożenia wybuchem.

Wobec ograniczonej liczby badanych biomas, wnioski te wymagają dalszej weryfikacji od strony technicznych aspektów spalania.

Doktorant słusznie konkluduje, że wobec wpływu wielu parametrów struktury materiałów, sposobu ich składowania, geometrii układu, warunków ciepłno – przepływowych środowiska na zapłon i propagację wybuchu mieszanin pyłowo – powietrznych, wymagane są szczegółowe rozwiązania konstrukcyjne np. eliminujące większe bodźce energetyczne, obniżenie lokalnych temperatur powierzchni i inne. Wynikają one z analizy badań parametrów palności i wybuchowości. Konieczne wydaje się więc wprowadzenie do zakładów energetycznych rozwiązań technicznych i organizacyjnych ograniczających ryzyko wzniesienia pyłu, i w konsekwencji wybuchu.

Ważnym wnioskiem jest to, że zawartość azotu (N) oraz tłuszczów roślinnych w biomacie może stanowić wstępne kryterium oceny przydatności danej biomasy do współspalania z węglem.

Otrzymano również cenne dane korelacyjne opisujące złożone zależności między własnościami fizycznymi, fizykochemicznymi i składem badanych biomas, a zjawiskami takimi jak rozkład termiczny, rozprzestrzenianie wybuchu, zapłon warstwy i obłoku pyłu.

Np. otrzymano silne korelacje między minimalną energią zapłonu, a temperaturą ubytku 50% masy próbki, podczas rozkładu termicznego, jak i zawartością wodoru (H), a temperaturą początku rozkładu termicznego.

Przedstawiona rozprawa świadczy o nabyciu w jej trakcie przez Doktoranta dużych umiejętności prowadzenia samodzielnych badań naukowych i poprawnej interpretacji wyników. O umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej świadczy wnikliwe sformułowanie problemu naukowego, podanie istotnego celu o walorach zarówno poznawczych jak i użytkowych oraz jego realizacja.

Uzyskane wyniki stanowią znaczący wkład do specjalności inżynieria bezpieczeństwa pożarowego.

Rezultaty pracy mogą służyć poprawieniu bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego podczas współspalania węgla i biomasy w elektrowniach stanowiąc istotne dane eksperymentalne jak i metodyczne.

Uwagi szczegółowe

Ocena rozprawy jest pozytywna. Niemniej jednak autor nie ustrzegł się pewnych błędów czy nieścisłości, na które powinien zwrócić uwagę, pisząc kolejne publikacje.

W pracy zabrakło analizy niepewności oznaczeń poszczególnych badanych parametrów (podano jedynie ich wartości średnie), co nie powinno jednak mieć wpływu na sam charakter korelacji Pearsona. Od 1999 r. przy opracowywaniu wyników pomiarów należy stosować się do zaleceń normy ISO dotyczącej obliczania i zapisu niepewności pomiarów, opublikowanych w Polsce przez Główny Urząd Miar, pod tytułem „Wyrażanie niepewności pomiaru”

W pracy zawarto też nadmiernie uproszczone określenie zjawiska turbulencji (str. 13), jak i zjawiska płomienia (str.17). W pierwszym przypadku podanie, że jeżeli powstaje

uporządkowany lub nieuporządkowany (czyli dowolny) ruch cząsteczek, może to powodować turbulencję, nie jest stwierdzeniem prawdziwym. Mimo tego, że wiele jeszcze brakuje do całościowego opisu zjawiska, zmiana charakteru ruchu cząstek, kontrolowanego krytyczną wartością liczby Reynoldsa, jest związana z własnościami mikroskopowymi samego ośrodka, tam gdzie efekty bezwładnościowe, związane ze znaczącymi prędkościami płynu, dominują nad efektami lepkości, i silnie zależą od geometrii przepływu i warunków brzegowych.

Nadmiernie uroszczono również pojęcie płomienia jako gazowych produktów spalania podgrzanych do wysokiej temperatury. Sprawa jest bardziej skomplikowana, płomień jest obszarem widzialnym silnie egzotermicznych reakcji chemicznych, o złożonej strukturze i zmiennym składzie produktów rozkładu termicznego i spalania, zawierającym obok produktów gazowych również cząstki stałe (sadza).

Zamiast pojęcia „szybkość rozprzestrzeniania płomienia (str. 17) należało użyć – prędkość rozprzestrzeniania płomienia, bo mamy do czynienia z wielkością wektorową, a nie skalarną.

Podjęto, zakończoną powodzeniem, próbę poprawy dokładności szacowania ciepła spalania pyłu biomasy, na podstawie wyników analizy elementarnej oraz określonej podczas badań termograwimetrycznych zawartości części lotnych (VM) oraz pozostałości (popiołu – Ash). W opisie zabrakło krótkiego komentarza, że podany błąd względny (niepewność) nieprzekraczający 0,12%, odnosi się do procedury regresji, a nie do bezpośredniego szacowania ciepła spalania z dużo większą niepewnością.

Rozprawa napisana została ogólnie starannie od strony edytorskiej. Doktorant jednak nie ustrzegł się pewnych błędów jeśli chodzi o styl i precyzję sformułowań. W kilku miejscach (str. 11, 13) użyto nieprawidłowego zwrotu „zmiana parametru”, „fluktuacje parametrów”, zamiast wartości parametrów.

Ponadto, „ciśnienie wybuchu zbliżone do równania” (str.15), „stężenie materiału palnego na jednostkę objętości (str.32), „przekroczenie progu (str. 34), „niższa masa”, niski współczynnik” (str. 27, 43), „polepszenie, pogorszenie parametrów”. Są to jednak niewielkie błędy biorąc pod uwagę całość pracy.

Ocena końcowa

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymogi zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, w szczególności:

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o istotnym znaczeniu praktycznym,

Doktorant wykazał ogólną wiedzę teoretyczną, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym, wnoszę o przyjęcie recenzowanej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Warszawa, 15.05.2016



Marek Konecki