

Dr hab.inż. Elżbieta Fornalik-Wajs, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Wydział Energetyki i Paliw
Katedra Podstawowych Problemów Energetyki
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 26.06.2023

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Eleonory Skrzypek

*„Thermo-hydraulic modeling of a steel metal layer on top of a corium pool
in a PWR under severe accident conditions”*

1. Wybór tematu

Elektrownia jądrowa musi spełniać restrykcyjne wymagania bezpieczeństwa określone przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA), a w przypadku Polski, także zapisy prawa Unii Europejskiej/Wspólnoty Euroatom. Te wymagania dotyczą pięciu niezależnych od siebie poziomów bezpieczeństwa. Temat opiniowanej pracy, dotyczący awarii elektrowni jądrowej, w której doszło do stopienia rdzenia, wpisuje się w czwarty poziom sekwencji bezpieczeństwa. W ramach tego poziomu, systemy bezpieczeństwa mają zapobiegać uszkodzeniu obudowy rdzenia reaktora. Wszystkie badania skoncentrowane na minimalizacji uwolnienia substancji promieniotwórczych są zatem niezwykle ważne. Wybór tematu jest więc uzasadniony, a przeprowadzone badania istotne dla procesu projektowania elektrowni jądrowej oraz analiz związanych z bezpieczeństwem jej funkcjonowania.

2. Ogólna charakterystyka

Praca została zawarta na 199 stronach. Składa się ze streszczenia, opisu struktury pracy, listy publikacji, spisu treści, listy rysunków i tabel, spisu stosowanych skrótów, 7 rozdziałów, 4 załączników oraz wykazu literatury obejmującego 157 pozycji.

Rozdział 1 jest wprowadzeniem w zagadnienia tzw. ciężkiej awarii elektrowni jądrowej oraz jej przebiegu. Zaprezentowano podział awarii ze względu na miejsce zachodzenia (w zbiorniku reaktora lub poza nim). Opisano proces topnienia rdzenia reaktora oraz zjawisko naturalnej konwekcji, która może być wówczas aktywowana w ciekłym metalu (stali). Zdefiniowano i uwzględniono w analizach efekt ogniskowania (focusing effect), który może odgrywać znaczącą rolę w przebiegu ciężkiej awarii. Rozdział zakończono opisem strategii zatrzymania stopionego metalu w zbiornikach reaktora i znaczenia analiz transportu energii w tej stosunkowo cienkiej warstwie w kontekście bezpieczeństwa. W rozdziale tym został również sformułowany cel badań.

Rozdział 2 przedstawia motywację do podjęcia tematu oraz wyniki badań wstępnych. Badania te przeprowadzono z wykorzystaniem programów MELCOR i MAAP oraz platformy PROCOR. Przywołane programy służą do analiz systemowych,

także w stanach awarii. Platforma PROCOR posłużyła natomiast do analizy efektu ogniskowania, ponieważ jest dedykowana analizom zachowania się rdzenia podczas ciężkich awarii. Zaobserwowano różnice w wynikach pochodzących z obu programów, wynikające z zastosowanych modeli numerycznych, opisujących poszczególne etapy procesów oraz dyskretyzacji przestrzeni obliczeniowej. Natomiast wyniki z obu programów potwierdzają rolę warstwy ciekłego metalu w basenie stopionego rdzenia i efektu ogniskowania, jako przyczynę uszkodzenia zbiornika reaktora. Przedstawiono wyniki analizy wrażliwości wpływu cienkiej warstwy metalu na rozwój awarii. Rozdział zakończono podsumowaniem badań wstępnych i podkreśleniem niedoskonałości analiz przeprowadzanych przy wykorzystaniu wspomnianych w tym rozdziale programów oraz konieczność dokładnych badań związanych z warstwą metalu w basenie stopionego rdzenia w warunkach ciężkich awarii. Wykazane zostały niedoskonałości analiz dla grubości warstwy poniżej 10 cm z powodu niewłaściwego podejścia do konwekcji naturalnej. Wspomniane wnioski w pełni uzasadniają podjęcie tematyki badawczej zawartej w pracy.

Rozdział 3 zawiera przegląd literatury dotyczącej procesu krzepnięcia i topnienia warstwy metalu oraz procesów konwekcyjnych w niej zachodzących. Przywołano liczne publikacje przedstawiające różne podejście do analiz tych problemów (eksperymentalne, numeryczne, teoretyczno-analityczne). Wyraźnie zaakcentowano możliwości oferowane przez metody obliczeniowej mechaniki płynów (Computational Fluid Dynamics, CFD), które w opinii Doktorantki pozwalają na określenie lokalnych (przestrzennych) wartości parametrów termicznych. Podkreślono rolę dwóch zjawisk wpływających na stan cienkiej warstwy metalu, a mianowicie konwekcji Rayleigha-Benarda oraz Benarda-Marangoniego.

Rozdział 4 rozpoczyna główną część pracy i jest związany z modelem procesów topnienia i krzepnięcia zachodzących w cienkiej warstwie metalu. Zdefiniowano równania wynikające z zasady zachowania masy, pędu i energii dla fazy ciekłej wraz z warunkami brzegowymi, a dla fazy stałej równanie przewodzenia ciepła wraz z warunkami brzegowymi oraz transport pędu na granicy międzyfazowej. Przedstawiono modele 0D i 1D (referencyjny), powiązania między nimi i wymianę niezbędnych informacji. Kolejno zaprezentowano procedurę obliczeniową z definicją geometrii. Przeprowadzono weryfikację modelu podstawowego (0D) dla trzech przypadków różniących się warunkami brzegowymi. Na podstawie wyników, sformułowano wnioski dotyczące wykorzystania odpowiedniego rozkładu temperatury w ciele stałym do analiz przesuwania się granicy międzyfazowej.

Rozdział 5 dotyczy teoretycznej analizy mechanizmu konwekcji w ciekłej warstwie metalu. Zaprezentowano proces wyprowadzania równań opisujących zjawisko (wynikających z zasady zachowania masy, pędu i energii) oraz warunków brzegowych w postaci bezwymiarowej. Przeprowadzono analizę stabilności warunków brzegowych na górnej powierzchni. Przedstawiono interpretację fizyczną zjawisk konwekcji Rayleigha-Benarda i Benarda-Marangoniego w zależności od zmienności wartości parametrów bezwymiarowych. Przykładowe obliczenia i ich analizy zostały zawarte w publikacji [117], natomiast w tym Rozdziale sformułowano wnioski, z

których wynika, że zjawisko Benarda-Marangoniego ma istotny wpływ na transport energii oraz efekt ognisowania w cienkich warstwach ciekłego metalu.

Rozdział 6 przedstawia analizę zjawiska konwekcji z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów dla dwóch przypadków testowych: BALI-Metal (dane eksperymentalne) oraz konwekcji Rayleigh-Benarda w płynie o niskiej wartości liczby Prandtla Reyleigh-Benard (dla danych numerycznych). Pierwsza z analiz testowych odzwierciedlała złożoność warunków brzegowych, ale przeprowadzono ją dla wody, natomiast druga – dla płynu o niskiej wartości liczby Prandtla, ale uproszczonych warunków brzegowych. Analizy dla BALI-Metal dotyczyły geometrii 2D i 3D. Zgodność wyników została uznana za akceptowalną, choć jednocześnie stwierdzono, że konieczne są analizy dla płynu o niskiej wartości liczby Prandtla, które w kolejnym etapie prac wykonano. Dalsza część Rozdziału 6 dotyczy kolejnych analiz 2D i 3D warstwy ciekłego metalu w basenie stopionego rdzenia reaktora jądrowego oraz analizy wrażliwości dla wybranych parametrów. Stwierdzono, że CFD pozwoli określić wartości parametrów (np. grubość warstwy metalu, czy odprowadzany boczny strumień energii), będących granicą, poza którą będzie istniało niebezpieczeństwo uszkodzenia zbiornika reaktora. Sformułowano także wniosek, że CFD może być wykorzystane w celu przygotowania rzeczywistych eksperymentów. Następnie zaprezentowano model warstwy płynu, jego konfigurację oraz wyniki obliczeń przy założonych warunkach brzegowych. Rozdział zakończono propozycją korelacji opisującej zależność liczby Nusselta od liczby Rayleigha, współczynnika koncentracji oraz grubości warstwy. Stanowi to ukoronowanie badań numerycznych oraz wartość dodaną o znaczeniu aplikacyjnym.

W Rozdziale 7 podsumowano przeprowadzone badania, sformułowano najważniejsze wnioski oraz wskazano kierunki dalszych prac badawczych.

3. Ogólna ocena

Podjęta tematyka jest bardzo złożona, a prace realizowano z wykorzystaniem szerokiego spektrum metod badawczych i narzędzi. Opiniowana dysertacja jest przez to obszerna i zawiera liczne odwołania do źródeł zewnętrznych, w których zamieszczono szczegóły dotyczące konfiguracji modeli, zakresu analizowanych parametrów, wyniki, itp. Utrudnia to śledzenie jej treści, choć rozumiem powody takiego działania.

Praca ma przemyślaną strukturę. Słowa wstępu i podsumowania w rozdziałach ułatwiają podążanie za tokiem myślowym Doktorantki, uwypuklają ważne wnioski oraz uzasadniają podjęte wybory związane z przejściem do kolejnych etapów analiz.

W krótkiej charakterystyce pracy wymieniłam Rozdział 2 jako zawierający badania wstępne (z odwołaniami do publikacji Doktorantki), Rozdział 4 jako rozpoczynający główną część pracy, co wynikało ze sposobu prezentowania badań (opis matematyczny, szczegóły dotyczące konfiguracji, itp.). Uważam jednak, że wszystkie te rozdziały kontrybuują do rozwiązania problemu naukowego, a przede wszystkim wskazują na obszary potencjalnych zastosowań osiągnięć.

Rozdziały 4, 5 i 6 potwierdzają dużą wiedzę Doktorantki z zakresu modelowania matematycznego i numerycznego, swobodę w posługiwaniu się zapisem matematycznym, umiejętności programistyczne oraz znajomość licznych narzędzi numerycznych (programów obliczeniowych czy języków programowania). Ponadto wykazują właściwe podejście do modelowania zagadnień fizycznych, a zwłaszcza weryfikacji stosowanych modeli. Należy to podkreślić, gdyż Doktorantka włożyła dużo wysiłku w analizy porównawcze z dostępnymi badaniami eksperymentalnymi i numerycznymi.

Warto zwrócić uwagę na Rozdział 5 dotyczący teorii podobieństwa i analizy wymiarowej. Wyprowadzenie równań i warunków brzegowych w postaci bezwymiarowej świadczy o dojrzałości naukowej Doktorantki. Rzadko spotyka się tak dokładnie przedstawiony model matematyczny. Dodatkowo, został on wykorzystany do oceny wpływu konwekcji Rayleigha-Benarda i Benarda-Marangoniego na transport energii i jej znaczenie dla utrzymania integralności zbiornika reaktora.

Podsumowując, praca zawiera wartościowy materiał badawczy, w mojej opinii nawet zbyt obszerny w kontekście wymagań stawianych pracom doktorskim, co z pewnością wpłynęło na czas i wysiłek włożony w jej przygotowanie. Natomiast wynik tych prac jest imponujący. Potwierdza on wiedzę i kompetencje Doktorantki w każdym z prezentowanych aspektów badań, wskazuje na umiejętności krytycznego postrzegania zjawisk, analizy i syntezy, planowania i przeprowadzania badań numerycznych. Są to cechy, które powinien posiadać samodzielny naukowiec.

4. Osiągnięcia

Za osiągnięcia Doktorantki uznaję:

- podjęcie trudnej tematyki i przeprowadzenie modelowania zjawisk zachodzących w cienkiej warstwie ciekłego metalu, znajdującej się w basenie stopionego materiału rdzenia reaktora jądrowego;
- ocenę zjawisk zachodzących w warstwie ciekłego metalu z różnych punktów widzenia, aby określić ich znaczenie dla bezpieczeństwa;
- konstrukcje modeli, począwszy od 0D do modelu CFD, co potwierdza szerokie umiejętności posługiwania się licznymi programami oraz przygotowanie narzędzi numerycznych, które mogą być wykorzystywane do kontynuacji badań;
- zastosowanie teorii podobieństwa oraz interpretacja zjawisk zachodzących w cienkiej warstwie metalu dla różnych wartości liczb podobieństwa;
- sugestie dotyczące poprawy modeli dotychczas stosowanych, wynikające z analizy uzyskanych wyników obliczeń;
- opracowaną korelację opisującą liczbę Nusselta w funkcji liczby Rayleigha, współczynnika wyrażającego stosunek gęstości strumieni górnego i dolnego oraz grubości warstwy metalu

Powyższe świadczy o wysokiej wartości merytorycznej przeprowadzonych prac oraz o dojrzałości naukowej Doktorantki.

5. Szczegółowe uwagi krytyczne

W pracy dostrzega się drobne niedociągnięcia, które przedstawiam w kolejności ich występowania w tekście:

- Str. 43 i kolejne – Rozdział 2. – skrótowy opis badań przeprowadzonych z wykorzystaniem programów MELCOR i MAAP ułatwiły zrozumienie podejścia do problemu i przedstawione wnioski. Powinno się unikać odwołań do źródeł zewnętrznych w tak szerokim zakresie informacji;
- Str. 50 – brakuje informacji, w jaki sposób Platforma PROCOR korzysta z danych uzyskanych z programu MAAP, pojawia się natomiast odwołanie do artykułu [54]. Brakuje też uściślenia, które z dostępnych pakietów (str. 48) były wykorzystywane w analizach;
- Str. 65-66 i znaczna część pracy – brakuje informacji o źródłach, z których zaczerpnięto wzory;
- Str. 65, Rów. (4.3) – brakuje informacji, jak należy rozumieć wielkość \dot{q}_i^{vol}
- Str. 73, Rys. 4.5 – Symbol Δt powinien być na środku odcinka $t^{n-1} t^n$, natomiast z rysunku wynika jakby reprezentował odcinek $t^{n-1} \bar{t}$
- Str. 74 – brakuje wyjaśnienia, co oznacza wyrażenie „right BC” w zdaniu „*The calculation of the 1D slab heat conduction will be performed by the defined (fixed) temperature on the top (right BC)*”;
- Str. 74, Rów. (4.35) i (4.34) nie powinny być nazywane korelacjami, gdyż są to równania bilansowe;
- Str. 81 – brakuje informacji, na podstawie jakich przesłanek został dobrany krok czasowy (0.1 s)
- Str. 82 – dla testu #3 w pkt. 3 dla czasu 50000 s powinno być „*power level is increased*”;
- Str. 91 – brakuje opisu Rys. 4.23;
- Str. 101 – liczba Strouhala jest związana ze zjawiskami, które cechują się periodycznością – jej wykorzystanie w przedstawionych analizach nie zostało uzasadnione;
- Str. 107, Równ. (5.42) – W przywoływanej publikacji [104] równanie ma inną postać
- Str. 113 – brakuje wyjaśnienia, dlaczego warunek na powierzchni swobodnej został określony jako „*no-slip*”
- Str. 114 – przyjęcie wartości krytycznej liczby Rayleigha i krytycznej liczby Marangoniego na podstawie publikacji [103] nie zostało uzasadnione
- Str. 114 – istnieje duża różnica w wartościach ΔT branych pod uwagę. w Tab. 5.2 są podane wartości liczb podobieństwa dla $\Delta T = 400$ K, natomiast w Załączniku C przeprowadzana była analiza zmienności dla $\Delta T = 20$ K - zastanawia ta rozbieżność
- Str. 114 – pkt. 2, Warunek $Ra \gg 1$ nie jest wystarczający do stwierdzenia, że wystąpi konwekcja Rayleigha-Benarda;
- Str. 121 – zdanie „*Special dimensioning was conducted to reproduce the thermal resistance associated with the radiative heat transfer in the reactor configuration*” jest niejasne, brakuje informacji, jak to odwzorowanie zostało przeprowadzone;

- Str. 122 – brakuje uzasadnienia dla następującego założenia: „*it was assumed that the overall heat balance should be greater than 90 %*”;
- Str. 122 – brakuje informacji dotyczących konfiguracji modelu oraz podziału przestrzeni obliczeniowej;
- Str. 123, Tab. 6.2 – bilans energii jest niedomknięty w przypadku 2D
- Str. 123 – wspomniano małe różnice w wartościach temperatury uzyskanych na drodze numerycznej i eksperymentalnej, lecz brakuje informacji ilościowej, jak „małe” są to różnice;
- Str. 125 – brakuje informacji; czy na Rys. 6.5-6.7 są przedstawione wielkości chwilowe czy uśrednione. Brakuje też informacji szczegółowych dotyczących analiz zmiennych w czasie (krok czasowy, długość czasu rzeczywistego);
- Str. 129 – pkt. 2 – zdanie “*Higher temperature differences were found during simulations – due to the calculation type – which represented only the thermal hydraulics aspect (no conduction)*” jest niejasne
- Str. 129 – pkt. 3 – zdanie “*In the cold tongue region on the bottom plate, the heat transfer is opposite to the other part of the plate*” jest niejasne, ponieważ transport energii na sposób ciepła zawsze odbywa się z ośrodka o temperaturze wyższej do ośrodka o temperaturze niższej;
- Str. 130 i 147 – brakuje wyjaśnienia co oznacza wyrażenie “*the speed and correctness ... are adequate*” w zdaniu “*the speed and correctness of the experimental simulation results in comparison to the validation data are adequate*”;
- Str. 135 – w Podsumowaniu są wspomniane wartości RMS składowych prędkości, które w tym rozdziale nie były prezentowane;
- Str. 137 – w opisie Rys. 6.18 wspomniano o kilku strukturach konwekcyjnych, które nie są widoczne na wspomnianym rysunku;
- Str. 138 – zamieszczono wnioski z analiz, których wyniki nie zostały przedstawione w pracy (znajdują się one jedynie w cytowanej publikacji);
- Str. 140 – Legenda Rys. 6.20, 6.21 brak wyjaśnienia co oznacza symbol 3.5h i 0.3h;
- Str. 142 brakuje informacji, czy „*average surface lateral*” oznacza wielkość uśrednianą w domenie przestrzeni, czy też czasu.
- Str. 142, Rys. 6.23 – Interpretacja wyników zaprezentowanych na tym rysunku nie jest oczywista;
- Str. 145, Tab. 6.11 - dlaczego liczba elementów siatki nie wzrasta wraz ze wzrostem grubości warstwy metalu. Brakuje informacji o parametrach generowanych siatek
- Str. 145, Tab. 6.10 i 6.11 – wielkości ϕ_{dn} i ϕ_{up} mają inny wymiar;
- Str. 148 – Brakuje informacji, jaki był ustalony poziom zbieżności;
- Str. 155 – Brakuje zdefiniowanej różnicy pomiędzy top zone i top Surface;
- Str. 157 – Brakuje informacji, w jaki sposób wyznaczano „*averaged layer temperature*”;
- Str. 161 – stała w Rów. (6.19) jest inna niż na Rys. 6.42

- Str. 173. – analiza liczby Biota jest dyskusyjna w przypadku warstwy ciekłego metalu
- Str. 168 – wspomniano prezentację linii prądu, w pracy jednak nie było takiego rysunku
- Str. 175 – „*the value of the Crispation number is around unity, which indicates the surface deformation presence.*” Rys. C1 wskazuje na znacznie mniejsze wartości. Analogiczna sytuacja występuje na str. 181 i dotyczy Rys. C.7
- Str. 176 – “*In heat transfer problems, the Prandtl number controls the relative thickness of the momentum and thermal boundary layers*” – jest sformułowaniem żargonowym, ponieważ liczba Prandtla nie kontroluje, a opisuje/reprezentuje co się dzieje w płynie pod względem warstwy przyściennej hydrodynamicznej i termicznej
- Str. 177 – podana krytyczna wartość liczby Rayleigha jest inna, niż na str. 114. Brakuje wyjaśnienia, dlaczego taką wartość przyjęto w tym przypadku
- Str. 177-179, Rys. C.4-C.6 – Brakuje wyjaśnienia, w jaki sposób była analizowana wartość liczby Galileusza, Prandtla, itp. w zależności od różnicy temperatury, jaka różnica temperatury była wprowadzana. Zasadna jest taka analiza dla liczb podobieństwa charakteryzujących proces konwekcyjny (np. Rayleigha, Marangoniego), które zależą od różnicy temperatury
- Str. 180 – podany jest zakres zmienności parametru e (0.01-0.5 m), a na Rys. C.8, C.9 przedstawiona jest maksymalna wartość 0.16 m.

Wymienione uwagi nie wpływają na wysoki poziom merytoryczny pracy, ani na jej znaczenie dla rozwoju dyscypliny.

6. Uwagi krytyczne wymagające odpowiedzi

- (1) W tytule pracy jest wspomniany reaktor PWR. Często Doktorantka uogólnia analizy i wnioski do reaktorów LWR. Nasuwa się pytanie, czy warunki w trakcie awarii reaktora PWR i BWR będą takie same i czy takie uogólnienie jest zasadne?
- (2) Str. 76 – dlaczego zostało zaproponowane wykorzystanie rozkładu temperatury w postaci funkcji kwadratowej, która jest związana z istnieniem źródła energii wewnątrz płyty? Co przemawia za takim wyborem?
- (3) Str. 91, Rys. 4.22 – dla czasu ok. 25000 s zabserwowano znaczny, krótkotrwały spadek temperatury. Dlaczego na Rys. 4.23 ten fakt nie został uchwycony? Podobna sytuacja, tylko ze wzrostem temperatury, zobrazowana została na Rys. 4.20, a konsekwencje są widoczne na Rys. 4.21.
- (4) Str. 101, pkt 2 – Brakuje wyjaśnienia przyjętych założeń, tj. $St = 1$, $Pe = 1$. Z czego one wynikają i czy są słuszne dla analizowanego układu?
- (5) str. 145 i 149 – Prośba o interpretację fizyczną liczby Rayleigha dla górnej i dolnej powierzchni. Różnica temperatury pomiędzy jakimi elementami była brana pod uwagę?
- (6) Str. 179 – Fragment „*The Marangoni number is highly influenced by the T variations. The number is directly having an impact on the Ma value. With the*”



higher difference between the bottom and top surfaces, the establishment of the instabilities is more probable due to the high-temperature difference at the free surface." jest niejasny, proszę o wyjaśnienie.

7. Uwagi Edytorskie

Poniżej zostały wymienione uwagi edytorskie. Pominięto uwagi o charakterze językowym.

- Brakuje spisu symboli. W opisie matematycznym zjawisk niejednokrotnie stosowano te same symbole do oznaczania różnych wielkości, zatem spis oznaczeń byłby pomocny przy studiowaniu pracy
- Str. 36, Rys. 1.8 – brakuje objaśnienia symboli znajdujących się na tym rysunku
- Str. 40, Rys. 1.9 – nie zdefiniowano dwóch najniższych warstw
- Str. 52, Rys. 2.4 – występują różnice w nazwie rysunku i jego podpisie, brakuje też informacji co oznacza „*numer of cases*”
- Str. 79, linia 7 od dołu – powinno być „na Rys. 4.8”
- Rozdział 4.6.2 – stosowanie różnych oznaczeń, czy ϕ_{in} to to samo co ϕ_{up} ?
- Str. 91 - brakuje opisu Rys. 4.23
- Str. 101 – nazwisko brzmi Grashof
- Str. 111 – pkt. 4 Crispation number – symbol Cr
- Str. 130 – brakuje odniesienia do Tab. 6.4
- Str. 133 – skróty znajdujące się w legendzie Rys. 6.15 nie zostały wyjaśnione
- Str. 137 – jest odwołanie do Tab. 6.7, a powinno być do Tab. 6.6
- Str. 156, Rys. 6.36 – niezgodność symboli w legendzie i na podpisie rysunku
- Str. 159, Rów. 6.14 – Wielkość R powinna być w liczniku
- Bibliografia - W wielu przypadkach brakuje informacji bibliograficznych [14], [31], [65], [73], [75], [76], [83], [124], [126], [137], [140], [148], [152]

8. Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr. inż. Eleonory Skrzypek zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza szeroką wiedzę teoretyczną Doktorantki, jak również umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej z zastosowaniem różnych metod i narzędzi badawczych. Uważam, że zostały spełnione ustawowe wymagania stawiane pracom doktorskim i wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Doktorantki do kolejnych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Wnoszę również o wyróżnienie pracy ze względu na dużą wartość merytoryczną uzyskanych wyników (częściowo już opublikowanych) i potencjał ich wykorzystania w analizach bezpieczeństwa związanych z ciężkimi awariami w reaktorach jądrowych.

