

Gliwice, 17.06.2022

prof. dr hab. inż. Ireneusz Szczygieł
Katedra Techniki Ciepłej
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Alekseja Kaszko pt.:

Zastosowanie dynamicznych sieci bayesowskich w analizie ryzyka instalacji jądrowych

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górniczo i Energetyka Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego w oparciu o pismo nr RND-IŚGiE/44/2022 z dnia 28 kwietnia 2022 r.

Rozprawa doktorska powstała pod kierunkiem **prof. dr hab. inż. Krzysztofa Badydy**.

1. Przedmiot rozprawy

Przedmiotem rozprawy są zagadnienia związane z probabilistycznymi analizami bezpieczeństwa obiektów jądrowych. Autor zaproponował dwie metody pozwalające oszacowanie częstości zdarzeń inicjujących oraz uwzględnienie wielu zagrożeń w analizach PSA.

Pierwsza metoda została oparta na idei dynamicznych sieci bayesowskich. Pozwoliło to Autorowi na uwzględnienie takich parametrów jak starzenie się elementów czy okresowe remonty. Z uwagi na fakt, iż jest to podejście nowatorskie, Autor zaprogramował metodę w środowisku Matlab, przy wykorzystaniu powstałego oprogramowania przeprowadził obliczenia weryfikujące algorytm. Weryfikacji dokonano z użyciem danych generycznych. Druga metoda pozwala na uwzględnienie wielu zagrożeń w drzewach błędów i drzewach zdarzeń. Ponieważ jest to rozszerzenie znanych i używanych już metod, możliwe było wykorzystanie komercyjnego oprogramowania. Autor wykorzystał w tym celu oprogramowanie SAPHIRE. Wyniki obliczeń zweryfikowano, podobnie jak w przypadku pierwszej metody, przy wykorzystaniu danych generycznych.

W obydwu przypadkach obliczenia przeprowadzono dla nieistniejącej, wirtualnej elektrowni jądrowej.



Autor sformułował główną tezę pracy w postaci:

Zaproponowana metodyka i metoda oparta na modelach drzew błędów i drzew zdarzeń oraz dynamicznej sieci bayesowskiej pozwala na oszacowywanie wpływu wielu zagrożeń zewnętrznych na bezpieczeństwo instalacji jądrowej.

W celu wykazania poprawności tezy, Autor zdefiniował osiem zadań badawczych obejmujących studium literaturowe, sformułowanie metod, przygotowanie oprogramowania, przeprowadzenie symulacji i szczegółową analizę otrzymanych rezultatów połączoną z ich weryfikacją.

Problematyka rozprawy jest związana z aktualnymi zagadnieniami dotyczącymi bezpieczeństwa układów energetycznych, w szczególności energetyki jądrowej. W świetle wydarzeń zachodzących ostatnio na Świecie oraz w Polsce, wybór problematyki jest jak najbardziej słuszny i uzasadniony.

2. Omówienie układu rozprawy doktorskiej.

Recenzowana rozprawa została zredagowana na 181 stronach, przy czym treść zasadnicza zajmuje 130 stron, pozostała część to załączniki. Całość poprzedza streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz skrótów używanych w tekście. Pracę podzielono na pięć rozdziałów. Rozdział pierwszy pt. **Wprowadzenie** zawiera informacje podstawowe, opis problematyki badawczej, sformułowanie głównej tezy badawczej. Krótko zreferowano układ pracy. W rozdziale drugim zatytułowanym **Probabilistyczne Analizy Bezpieczeństwa** Autor zaprezentował aktualny stan wiedzy, przedstawił stosowane metody określania prawdopodobieństwa oraz ocenił jakość tych metod.

Główne rozdziały pracy to rozdział 3 oraz 4. W tych rozdziałach pokazano nowe metody czy metodologie które zostały opracowane w ramach ocenianej dysertacji. W rozdziale 3 zatytułowanym **Zastosowanie dynamicznych sieci bayesowskich w wyznaczaniu częstości zdarzeń inicjujących** zaprezentowano pierwszą z metod przedstawianych jako główne osiągnięcie pracy - metodę wyznaczania częstości zdarzeń inicjujących opartą na dynamicznych sieciach bayesowskich. Pierwsze podrozdziały zawierają opis aktualnie stosowanych metod, w kolejnych zaprezentowano nowatorską metodę opracowaną w ramach dysertacji. W dalszej części przeprowadzono obliczenia na wybranych obiekcie wirtualnym, po czym zweryfikowano wyniki obliczeń w danymi generycznymi.

Rozdział 4 zatytułowany **Model drzewa zdarzeń i drzew błędów dla wybranej sekwencji awaryjnej uwzględniający wiele zagrożeń zewnętrznych** poświęcono drugiej z metod objętych pracą, tj. modelowi drzewa zdarzeń i drzew błędów dla wybranej sekwencji awaryjnej uwzględniającemu wiele zagrożeń zewnętrznych. Oczywiście, w związku z wielką liczbą możliwych sekwencji zdecydowano się na wybraną sekwencję, którą zaprezentowano w pierwszym podrozdziale. Zdecydowano poddać analizie dwa czynniki zewnętrzne:

zdarzenia sejsmiczne i powodziowe. Zdefiniowano drzewa zdarzeń i błędów dla różnych przypadków by finalnie określić prawdopodobieństwo wielu zagrożeń.

Rozdział piąty zawiera podsumowanie i wnioski.

Spis literatury obejmuje 100 pozycji, w tym cztery pozycje własne.

W Dysertacji zamieszczono **cztery załączniki** zawierające kod źródłowy programu powstałego w ramach pracy, listy ścieżek analizowanych awarii oraz krótki opis komercyjnego programu Sapphire.

Jedyną uwagę mam do rozdziałów 3 oraz 4. Stanowią one zamknięty układ przypominający dwa odrębne artykuły naukowe. Każdy z nich zawiera podrozdział opisujący *state of art*, podstawy teoretyczne, opis metody stanowiącej istotę rozdziału i omówienie wyników obliczeń. Wstępem teoretycznym, dotyczącym opisywanych metod, opatrzona jest również cała dysertacja. Sprawia to ogólne wrażenie, że rozdziały 3 i 4 stanowią odrębną całość, bądź część innego opracowania i zostały dołożone do dysertacji po opatrzeniu ich dodatkowym wstępem i podsumowaniem. Oczywiście układ taki jest dopuszczalny, burzy jednak wrażenie spójności całej dysertacji.

W mojej ocenie układ pracy jest poprawny. Również dobór materiałów źródłowych nie budzi żadnych zastrzeżeń.

3. Uwagi krytyczne

Uwagi ogólne

1. Tytuł pracy nie oddaje zawartości pracy. W tytule pracy wspomniano o zastosowaniu dynamicznych sieci bayesowskich w analizie ryzyka instalacji jądrowych. Tymczasem w treści pracy wskazano dwie metody, które w jej ramach zostały opracowane: metodę opartą o dynamiczne sieci bayesowskie oraz metodę wykorzystującą drzewa błędów i drzewa zdarzeń. Również sformułowana teza pracy obejmuje obydwie metody.

2. Obydwie metody sprawiają wrażenie rozłącznych. W streszczeniu Autor pisze: (...) *autor opracował dwa podejścia uwzględniające wiele zagrożeń zewnętrznych które przy połączeniu tworzą jednolite podejście do modelowania wielu zagrożeń w analizach PSA*. W zaprezentowanej dysertacji nie pokazano jednak takiego połączenia. Obydwie metody, jak i obliczenia przeprowadzone przy ich zastosowaniu są zupełnie rozłączne. Bardzo wartościowe byłoby przeprowadzenie symulacji wykorzystujących obie metody łącznie i wskazanie wartości dodanej, jakie takie połączenie przynosi.

3. Nie opisano dokładnie elektrowni wirtualnej dla której przeprowadzono symulacje. Musiała być zdefiniowana, skoro podawane są nawet wysokości montażu generatorów dieslowskich czy też fakt istnienia falochronów. Zatem przeprowadzając symulacje Autor musiał założyć konkretny typ elektrowni, jej podstawowe parametry jak i miejsce lokalizacji.

Te założenia nie zostały zaprezentowane w pracy. Warto też ten obiekt odnieść do warunków polskich – czy takie zdarzenia mają szansę tu wystąpić.

Uwagi szczegółowe

- W pracy pojawia się spora liczba skrótów. Ich wyjaśnienie podane jest w zestawieniu zbiorczym umieszczonym na początku pracy. Jednak zasadne byłoby ich zamieszczanie w pierwszym miejscu pojawienia się skrótu. W wielu miejscach Autor tak czyni, niestety duża jest też liczba przypadków, gdy pojawiający się skrót nie ma objaśnienia (np. CDF na stronie 16).
- Nie zdefiniowano pojęcia zdarzenia inicjującego.
- Jak już wspomniano w opisie układu pracy, obydwie metody zostały zaprezentowane w postaci podrozdziałów. Czy nie lepiej było poświęcić im osobne rozdziały przenosząc części teoretyczne i omówienie do odrębnych rozdziałów dysertacji?
- *DBN została zaprojektowana w środowisku obliczeniowym Matlab.* To sformułowanie wydaje mi się nieścisłe. W Matlabie jedynie zaprogramowano metodę.
- Strona 16. Sformułowanie *Chociaż przez dużą część społeczeństwa instalacje jądrowe są uważane za bardzo niebezpieczne, co jest związane z postrzeganiem ryzyka oraz małą wiedzą o działaniu tych obiektów, to odnoszą się one do jednych z najbardziej bezpiecznych względem wyprodukowanej energii elektrycznej [2]. To bezpieczeństwo jest zapewniane poprzez badania, które trwają od końca lat 40-tych XX wieku. Badania te można podzielić na kilka fal związanych z awariami jądrowymi.* jest nie do końca jasne. Ponadto Autor uzasadnia wzrost bezpieczeństwa badaniami nad metodami probabilistycznymi. Większy wpływ na bezpieczeństwo ma rozwój technologii niż rozwój metod szacowania ryzyka.
- Strona 16. Autor podaje częstość zdarzenia w reaktorze rok. To sformułowanie budzi wątpliwości, tym bardziej, że linię niżej używa już sformułowania rok. W mojej ocenie czytelniej byłoby zdefiniować jednostkę jako */reaktor/rok lub podobnie.
- Pierwszy akapit rozdziału 1.2. Autor przywołuje tezę z rozdziału 1.1 po czym jej zaprzecza pisząc, że *obiekty te niosą dość duże teoretyczne ryzyko dla społeczeństwa oraz otoczenia.* Jaki jest zatem stan faktyczny w ocenie Autora?
- Strona 17. Autor wspomina o wczesnym uwolnieniu jako *bezinterwencyjnym uwolnieniu z obudowy* nie wspomina jednak co jest uwalniane. Jest oczywistym co Autor ma na myśli, jednak w formalnego punktu widzenia należało o tym wspomnieć.
- Strona 23: *Nowe podejście powinno umożliwić uzyskanie najbardziej realistycznych wyników awarii instalacji jądrowej spowodowanej zagrożeniami zewnętrznymi.* Co oznacza sformułowanie: wynik awarii?



- Strona 23 opis zadań badawczych. Zadanie 8: *Przeprowadzono porównanie wyników nowej metody oraz tradycyjnego podejścia*. Której metody, skoro w pracy zdefiniowano dwie metody?
- Sformułowanie na stronie 26: *Awaria w Elektrowni Three Mile Island w 1979 roku spowodowana małą utratą chłodziwa (ang. small break Loss of Coolant Accident - SBLOCA) pokazała, że PSA może wykazać słabe miejsca instalacji jądrowych z powodu tego iż wbrew ogólnej opinii ta awaria została oceniona jako istotna w raporcie zespołu Lewisa[31]* jest niejasne. Sugeruje, że na działanie metody ma wpływ ocena przedstawiona w raporcie.
- Strona 28 opis bramki NAND: *jeżeli wszystkie bramki wejściowe będą równały się 1* – raczej chodzi tu o wejścia niż bramki wejściowe.
- Rysunek 2.3 na stronie 32 niewiele wnosi do pracy.
- Wielkości w tabelicy 2.4 są nieopisane. Np co oznacza Q_k ?
- Wydaje się, że wartości we wzorach (2.1)-(2.3) są błędnie obliczone.
- Strona 36. Jak rozumieć sformułowanie: *Bayesowskie podejście statystyczne ułatwia zwykły przypadek (...)* ?
- Tablica 3.6. Dlaczego wartości dla kolejnych lat nie zmieniają się? Jeżeli zmiany są poza zakresem liczb znaczących to należało albo zmienić format liczb, albo pozostać jedynie przy rysunku 3.14. W zaprezentowanej postaci tablica ta nic nie wnosi do pracy.
- Strona 86, rysunek 4.4. Opis pod rysunkiem wspomina o generatorach LHP, LHQ, LHR oraz LHS. Na rysunku pokazane są wszystkie generatory pod wspólnym symbolem DG. Z tego punktu widzenia rysunek i opis nie korespondują ze sobą.
- Rysunek 4.5 Słaby opis rysunku. Np. co oznacza EQ?
- Rysunki 4.6, 4.8, 4.13, 4.14, 4.22, 4.23 są nieczytelne.

5. Ocena pracy i wniosek końcowy

Do najistotniejszych osiągnięć Doktoranta należy, w mojej ocenie zaliczyć:

- Opracowanie oryginalnej metody stosującej dynamiczne sieci bayesowskie do wyznaczania częstości zdarzeń inicjujących. Metoda pozwala na uwzględnienie wpływu starzenia elementów systemu, a także konserwacji i przeglądów na częstość występowania awarii.
- Opracowanie metodyki wielu zagrożeń zewnętrznych w drzewach błędów i drzewach zdarzeń.

Przedstawione uwagi krytyczne nie wpływają na pozytywną ocenę pracy. Stwierdzam, że Doktorant zrealizował postawione cele pracy oraz zweryfikował główną tezę badawczą pracy. Doktorant wykazał się dużą pracowitością i uporem w dążeniu do osiągnięcia postawionego celu naukowego. Ponadto chciałbym podkreślić użyteczny charakter przeprowadzonych badań.

Po zapoznaniu z treścią przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że zawiera ona oryginalne ujęcie problemu naukowego i świadczy o opanowaniu przez jej Autora mgr inż. Alekseja Kaszko naukowych oraz analitycznych metod badawczych w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. W związku z powyższym wyczerpuje ona warunki określone przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w art. 187 ust. 1-2 z dnia 20 lipca 2018 r i uzasadnia dopuszczenie jej do publicznej obrony o co wnioskuję.

