

Warszawa, 5 września 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Mirosław Siergiejczyk
ul. Twarda 56A m.87
00-818 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Doroty Chybowskiej
nt. *„Modelowanie przyczynowo-skutkowe procesu przebiegu katastrof z zastosowaniem drzew niezdatności i niezawodności systemów wielofazowych na przykładzie zdarzeń morskich”*

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Jerzy Manerowski

Promotor pomocniczy: dr inż., st. of. mech. okr. Jarosław Myśków

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem opinii jest rozprawa doktorska mgr Doroty Chybowskiej nt. *„Modelowanie przyczynowo-skutkowe procesu przebiegu katastrof z zastosowaniem drzew niezdatności i niezawodności systemów wielofazowych na przykładzie zdarzeń morskich”*. Recenzja została opracowana na zlecenie dr. inż. Grzegorza Kowalczyka, prof. ITWL Kierownika Sekretariatu Naukowego i Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych (Pismo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w Warszawie z dnia 14.06.2022 r. nr 21/SN/R/22, powiadamiające o powołaniu przez Radę Naukową Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych w Warszawie w dniu 26.05.2022 r. na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr Doroty Chybowskiej nt. *„Modelowanie przyczynowo-skutkowe procesu przebiegu katastrof z zastosowaniem drzew niezdatności i niezawodności systemów wielofazowych na przykładzie zdarzeń morskich”*) oraz na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Uwagi wstępne

Transport morski towarów i pasażerów to jedna z najpowszechniejszych form przemieszczania się praktykowana od wieków na całym świecie, to jednak wciąż wiąże się z pewnym ryzykiem, które wynika przede wszystkim ze zmiennych, niekorzystnych, często wręcz ekstremalnych warunków atmosferycznych. Na poziom ryzyka wpływa też rosnący

ruch statków w portach, nie zawsze bezpieczny ładunek, a nawet terroryzm morski. Niemniej w porównaniu z innymi rodzajami transportu transport morski jest jedną z najbezpieczniejszych gałęzi transportu. Dzieje się tak, pomimo wielu różnorodnych zagrożeń. Statkami przewożone są różnorodne towary, począwszy od tzw. drobnicy poprzez surowce przemysłowe (np. ropa naftowa, ruda żelaza, węgiel), żywność, aż po materiały niebezpieczne. W przypadku transportu morskiego można rozważać zarówno kwestię bezpieczeństwa człowieka, jak i statku i ładunku. Ograniczenie oddziaływania tych zagrożeń jest możliwe wyłącznie dzięki stosowaniu norm i reguł podnoszących poziom bezpieczeństwa, poprzez eliminowanie tych zagrożeń. W związku z tym, że przyczyny negatywnych zdarzeń na morzu, w tym bardzo poważnych wypadków prowadzących do katastrof skutkujących śmiercią wielu ludzi ogromnymi stratami finansowymi lub wielopokoleniowymi skutkami dla środowiska morskiego nie są do końca wyjaśnione, a tym bardziej nie udaje się im zapobiec.

Rozprawa Pani mgr Doroty Chybowskiej dotyczy bardzo aktualnego problemu modelowania przyczynowo-skutkowego procesu przebiegu katastrof z zastosowaniem drzew niezdatności i niezawodności systemów wielofazowych na przykładzie zdarzeń morskich, uwzględniając obecny rozwój techniki i technologii wpływający na zwiększanie tonażu floty i rozmiary statków stwarzają coraz większe problemy wytrzymałościowe, przewożone są nowe ładunki o niespotykanych dotąd składach chemicznych, a często szkodliwych dla środowiska. Ponadto statki są wyposażane w zaawansowane rozwiązania technologiczne zarówno mechaniczne i sterownicze oraz cyfrowe kontrolno – diagnostyczne systemy przy relatywnie niskich wymaganiach organizacji morskich i armatorów dotyczących poziomu wykształcenia zawodowego członków wielonarodowych załóg.

Autorka rozprawy podjęła tematykę modelowania przebiegu katastrof morskich, z wykorzystaniem modelowania łańcuchów przyczynowo skutkowych. Dobry model prognozy nie replikuje zdarzeń z przeszłości, tworzy natomiast schemat relacji utworzonych w oparciu o dane historyczne. Taki model powinien brać pod uwagę zmienność procesów w ujęciu dynamicznym, a nie tylko ich stan aktualny. Model raz zbudowany wymagać będzie ciągłej pielęgnacji. Jeśli proces ten zostanie zaniechany, to trudno oczekiwać wiarygodnych prognoz w dłuższym horyzoncie czasowym. Jest wiele sposobów prognozowania i służą różnym celom. W pracy Doktorantka wykorzystwała jedną z możliwych kategorii modelowania, a mianowicie modele przyczynowo – skutkowe. Celem stosowania modeli przyczynowo – skutkowych jest predykcja, występująca w ramach uprzednio zdefiniowanego horyzontu czasowego, gdzie znajomość przyczyny ma zwiększać możliwość przewidywania rezultatu.

W rozprawie Autorka dokonała analizy wybranych trzydziestu katastrof morskich, zarówno, jako całego zbioru jak i każdej z nich z osobna. Populacja katastrof dotyczących eksploatacji złożonych systemów takich jak statki towarowe i pasażerskie oraz platformy wydobywcze, została wytypowana na podstawie kryteriów takich jak: utrata życia przez dużą liczbę osób, utrata ładunku, pożar i/lub eksplozja, wyciek substancji niebezpiecznych i zanieczyszczenie środowiska, zatonięcie lub poważna awaria obiektu.

Sformułowanie tematu rozprawy można uznać za zasadne i odpowiadające współczesnym potrzebom nauki jak i potrzebom w szczególności gospodarki morskiej. Informacje uzyskane przez Autorkę w wyniku badania scenariuszy opisanych przez różne Zespoły i Komisje Państwowe powołane do badania wypadków morskich, ekspertów innych organów i służb, naukowców oraz inne formalne i nieformalne źródła stanowią podstawę do kompleksowego ujęcia tematyki modelowania katastrof morskich.

Doktorantka podejmując zagadnienia dotyczące modelowania przyczynowo-skutkowego procesu przebiegu katastrof z zastosowaniem drzew niezdatności i niezawodności systemów wielofazowych wzbogaca wiedzę i praktykę w zakresie badania katastrof morskich oraz projektowania jednostek pływających i wybranych obiektów oceanotechnicznych, a także systemów bezpieczeństwa transportu morskiego.

3. Przedmiot i zakres pracy

Recenzowana rozprawa doktorska została opracowana w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych i liczy łącznie 273 strony. Składa się ze Wstępu, pięciu rozdziałów merytorycznych uzupełnionych o Wnioski, streszczenie, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów użytych w prac, słowniczek pojęć użytych w pracy, bibliografię, spis fotografii i rysunków, spis tabel i załączniki. Bibliografia zawiera 128 pozycji literatury, w tym duża część bibliografii jest napisana w języku angielskim. Przed częścią właściwą pracy zamieszczono spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów użytych w pracy, słowniczek pojęć użytych w pracy oraz Wstęp. Zasadnicza treść pracy ma 5 rozdziałów głównych, Wnioski oraz wykaz piśmiennictwa cytowanego.

W rozdziale **Wstęp** (bez numeracji) Autorka przedstawiła argumentację uzasadniającą podjęcie badań naukowych będących tematem rozprawy oraz scharakteryzowała główne problemy badawcze. Opisała trendy rozwojowe w budownictwie okrętowym i przemysłowych obiektów oceanotechnicznych oraz związane z tym zagrożenia w transporcie morskim prowadzące do katastrof skutkujących ofiarami w ludziach oraz degradacją środowiska morskiego.

Powołując się na pozycje literaturowe wybranych autorów wskazuje, że ze względu na złożoność tematu narzędzia analityczne, teorie, modele, podejścia stosowane do opisu zjawisk zachodzących podczas wypadków jak i dotychczasowe badania przyczynowości wypadków są niewystarczające. Zwraca uwagę na ograniczone bazy danych dotyczące wypadków morskich, zwłaszcza z powodu specyfiki badanych wyspecjalizowanych obiektów, stosowania języka państwa bandery lub badającej komisji oraz regionu występowania zdarzenia, co ogranicza możliwość wykorzystania takich źródeł.

Przedstawiła także ogólny opis swoich badań, w tym po raz pierwszy tezę pracy, stwierdzając, „...iż w danej populacji katastrof w każdej fazie procesu przebiegu katastrofy wyróżnionej za pomocą sieci zdarzeń występują dominujące klasy zdarzeń elementarnych” oraz uznała, że potwierdzenie tezy wymagało realizacji szeregu celów poznawczych i użytecznych. Jednym z tych celów było opracowanie modeli łańcuchów przyczynowo-skutkowych prowadzących do katastrofy, na które składała się uprzednio wykonana klasyfikacja zidentyfikowanych zdarzeń elementarnych w badanej populacji katastrof i ich podział na fazy przebiegu katastrofy zgodnie z siecią zdarzeń: utajoną, początkową, narastającą, krytyczną i ujścia energii.

W **Rozdziale 1** zawarto wprowadzenie do tematyki podjętych badań, w tym zaprezentowano ogólne trendy rozwoju statków i obiektów oceanotechnicznych, przedstawiono wprowadzenie do tematyki bezpiecznej eksploatacji statków morskich oraz omówiono znaczenie konsekwencji wystąpienia wypadków na morzu. W rozdziale tym autorka przedstawiła także ogólny cel podjętej pracy badawczej, którym jest pozyskanie nowej, interdyscyplinarnej wiedzy podstawowej z zakresu modelowania katastrof morskich.

W **Rozdziale 2** Autorka prezentuje przegląd teorii i modeli opisujących powstawanie wypadków i katastrof. Rozpoczęła prezentację tematyki od jednej z pierwszych teorii - domina Heinricha. Kolejno scharakteryzowała teorie organizacyjno-procesowe, w tym opisała teorię czynnika ludzkiego, teorię powszechności wypadków NAT, teorię wysokiej niezawodności HRT, teorię inkubacji katastrofy, inżynierię odporności oraz ramy socjotechniczne Rasmussena. Dalej przedstawiła i opisała teorie behawioralne, w tym teorię „cele – swoboda – czujność”, teorię Russela Ferrela i teorię homeostazy ryzyka. W kolejnym podrozdziale przedstawiła systemowe ujęcie tematyki powstawania katastrof w postaci cybernetycznej teorii zagrożeń. Kolejno Autorka przedstawiła podział modeli i teorii opisujących przyczynowość katastrof oraz opisała model muchy, model sera szwajcarskiego, model śledzenia przyczyn źródłowych wypadku, model systemowy, system analizy i klasyfikacji czynników ludzkich, model przyczynowości wypadku 2-4 (model 24) , analizę

sieci zdarzeń, formalną ocenę bezpieczeństwa. Można zauważyć, że przedstawiony przegląd metod, teorii i modeli jest bardzo interdyscyplinarny i obejmuje podejścia opisujące zachowanie środków technicznych, operatorów maszyn i urządzeń oraz ich otoczenia i warunków realizacji procesu eksploatacji.

Rozdział 3 przedstawia szczegółowo przyjęte w pracy metody badawcze, postawioną tezę, założone cele i zakres pracy. Elementy te zostały opisane szczegółowo w dalszej części niniejszej recenzji. Rozdział 3 dostarcza również informacji o przyjętym w pracy obiekcie badań, który stanowi populacja trzydziestu katastrof morskich, zarówno jako cały zbiór jak również każda z nich z osobna. Wytypowane katastrofy dotyczyły eksploatacji złożonych systemów socjotechnicznych (jednostek) takich jak statki towarowe i pasażerskie (26) oraz platformy wydobywcze (4). Zasadniczym kryterium selekcji populacji katastrof były poważne konsekwencje każdego z analizowanych wypadków scharakteryzowane przez Autorkę.

Rozdział 4 przedstawia opis i charakterystykę wszystkich 30 analizowanych katastrof. W wyniku dogłębnej analizy jakościowej poszczególnych zdarzeń elementarnych oraz występowania cech wspólnych dla zbliżonych zdarzeń w różnych katastrofach, zdarzenia takie przypisano do klas opierając się na analogii pomiędzy nimi. Klasy dotyczą błędów popełnionych przez człowieka oraz jego zdolności psychofizycznych, nieefektywnego systemu zarządzania i kontroli, panujących warunków środowiskowych, stanu technicznego urządzeń i wyposażenia oraz działania tzw. siły wyższej. Podczas modelowania procesu przebiegu każdej katastrofy zastosowano sieć zdarzeń i eksperymentalnie podzielono zdarzenia elementarne na pięć faz: utajoną, początkową, narastającą, krytyczną i ujścia energii. Ponadto każdemu zdarzeniu elementarnemu przypisano klasę oraz numer odzwierciedlający jego lokalizację w łańcuchu przyczynowo-skutkowym. Szczegółowy opis trzydziestu katastrof otwiera RMS Titanic (1912), zaś kończy m/v Grande America (2019).

Rozdział 5 przedstawia modele katastrof morskich zbudowane przez autorkę dla analizowanej populacji katastrof. Autorka przyjęła jako bazową metodę blokowe schematy niezawodności (RBD), którą zaadoptowała do opisu procesu katastrof, co jest podejściem nowatorskim, gdyż modele te wykorzystywane są w ujęciu klasycznym do opisu struktury niezawodnościowej obiektów. W rozdziale tym przedstawione zostały modele RBD i ich analiza zgodnie z podejściem przedstawionym w Rozdziale 3. Wartości prawdopodobieństwa opisującego poszczególne zdarzenia elementarne są równe prawdopodobieństwu wystąpienia klasy, do której dane zdarzenie przynależy. Prawdopodobieństwo wystąpienia każdej z klas określono w odniesieniu do analizowanej populacji trzydziestu katastrof. Autorka dla każdego modelu RBD zbudowała pomocnicze modele obliczeniowe w postaci dualnych drzew

niezdatności, których analiza umożliwiła Jej wyznaczenie istotności zdarzeń elementarnych w poszczególnych fazach katastrofy za pomocą przyjętych miar ważności. W kolejnym kroku w oparciu o uzyskane wyniki obliczeń, dla każdej katastrofy Autorka przedstawiła ranking istotności zdarzeń w każdej z faz. Ranking przedstawia zestawienie zdarzeń od najbardziej istotnych do najmniej ważnych.

Rozdział 6 przedstawia wnioski z przeprowadzonych badań. Autorka wskazuje, że szczegółowa analiza procesu przebiegu katastrof przeprowadzona na przykładzie populacji trzydziestu wytypowanych zdarzeń morskich mających miejsce w okresie 1912-2019 ukazuje istniejące silne zależności pomiędzy fazami procesu przebiegu katastrofy. Rozdział przedstawia szereg wniosków ogólnych i szczegółowych, ilościowych i jakościowych odnoszących się do dominujących klas zdarzeń mających największy wpływ na zajście każdej fazy w badanej populacji katastrof. Autorka przedstawiła również zestawienie czynników tzw. siły wyższej na zajście poszczególnych wypadków w analizowanej populacji katastrof. Autorka konfrontuje uzyskane wyniki analizy istotności z postawioną tezą pracy, która została udowodniona.

W pracy zawarto wykaz literatury, który zawiera 128 pozycji, w tym 3 publikacje, w których Doktorantka jest współautorką (w tym jedna publikacja wydana pod nazwiskiem rodzimym). Dobór i wykorzystanie źródeł uważam za prawidłowe. Większość materiału źródłowego stanowią publikacje zagraniczne.

Kolejno w pracy zamieszczono spisy fotografii i rysunków oraz tabel. Dysertację kończą załączniki w postaci rysunków 30 dualnych drzew niezdatności wykorzystanych w rozprawie jako pomocnicze modele obliczeniowe do wyznaczenia istotności zdarzeń elementarnych w każdej z faz każdej katastrofy.

Należy stwierdzić, że treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Układ pracy jest czytelny i poprawny oraz spełnia standardy pracy doktorskiej. Podział pracy na rozdziały jest właściwy, a ich tytuły są jasno określone i tworzą logicznie uporządkowany materiał. Rozdziały wraz z podrozdziałami oddają jednoznacznie zawarte w nich treści. Bibliografia źródłowa stanowi 128 pozycji literaturowych dobrze dobranych do wsparcia treści rozprawy i prowadzonych rozważań oraz jest właściwie zaprezentowana przez cytowanie w tekście.

3. Ocena rozprawy i uwagi

Jako metodę badawczą wyselekcjonowanej i scharakteryzowanej w pracy populacji katastrof morskich, Autorka przyjęła połączenie sieci zdarzeń oraz analizy drzew niezdatności (FTA). Pierwsza z wymienionych metod umożliwia odzwierciedlenie przebiegu katastrofy

jako procesu złożonego ze zdarzeń i stanów o różnym charakterze, które można skategoryzować i podzielić na mniejsze zdarzenia i stany (zdarzenia elementarne). Dzięki temu przebieg całej katastrofy można przyporządkować do faz w sieci zdarzeń tj. do fazy utajonej, początkowej, narastającej, krytycznej i ujścia energii. Z kolei FTA najlepiej odwzorowuje wpływ zdarzeń elementarnych (najniższego poziomu) na zdarzenia pośrednie prowadzące finalnie do katastrofy (zdarzenia szczytowego).

Celem poznawczym pracy jest zbadanie wpływu poszczególnych zdarzeń elementarnych na wystąpienie określonej fazy katastrofy oraz zajście zdarzenia szczytowego. Realizacja tego celu wiązała się z dowiedzeniem prawidłowości postawionej przez Autorkę tezy mówiącej, że w danej populacji katastrof w każdej fazie procesu przebiegu katastrofy wyróżnionej za pomocą sieci zdarzeń występują dominujące klasy zdarzeń elementarnych.

Poszczególne modele zostały poddane analizie jakościowej i ilościowej. Określono liczbę zdarzeń należących do poszczególnych klas zdarzeń dla każdej z katastrof. Umożliwiło to ocenę wpływu na katastrofę zdarzeń w kontekście ich źródła, a mianowicie czynnika ludzkiego, niezdatności systemu technicznego lub siły wyższej. Podstawową grupą wskaźników ilościowych wyliczonych dla każdego drzewa niezdatności są miary istotności zdarzeń elementarnych: niezawodnościowa miara Birnbauma, strukturalna miara Birnbauma, miara Vesely-Fussela, miara krytyczności Lamberta oraz potencjał poprawy. Zostały one wykorzystane do określenia wpływu każdego ze zdarzeń elementarnych składających się na daną fazę katastrofy na wystąpienie tej fazy. Wyniki obliczeń były z kolei podstawą do zbudowania rankingu istotności zdarzeń w każdej fazie każdej z katastrof i wyciągnięcia szczegółowych i ogólnych wniosków, w tym udowodnienia prawdziwości postawionej tezy pracy.

Aplikacja opracowanych modeli umożliwi prowadzenie holistycznej oceny działania systemów w kontekście ich bezpieczeństwa. Modele te mogą znaleźć zastosowanie w analizie ryzyka oraz poszukiwaniu przyczyn katastrof morskich. Dodatkowo aplikacja tych modeli do celów analizy probabilistycznej umożliwia zlokalizowanie powiązanych ze sobą elementów procesu (zdarzeń elementarnych), których interakcje mogą prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa i zniszczenia całości lub części systemu. Jest to bardzo ważne dla współczesnego rozwoju cywilizacji wykorzystującej złożone systemy techniczne w życiu codziennym.

Stwierdzam, że treść pracy jest zgodna z jej tytułem. Rozprawa jest napisana według zasad obowiązujących przy redagowaniu prac doktorskich, a jej układ jest w zasadzie poprawny (Uwagi edycyjne). Podział pracy na rozdziały jest właściwy, a ich tytuły są w

zasadzie (Uwagi merytoryczne) jasno określone i tworzą logicznie uporządkowany materiał. Rozdziały wraz z podrozdziałami w większości oddają jednoznacznie zawarte w nich treści (Uwagi merytoryczne).

Zauważone drobne uwagi dotyczące treści merytorycznych rozprawy, a w szczególności:

- Według opiniującego w pracach doktorskim nie powinno się we wstępie zamieszczać treści tezy. Teza rozprawy jest wynikiem analizy przedmiotu badań i na podstawie oceny treści merytorycznych tych analizowanych materiałów źródłowych można właściwie sformułować taką tezę, co poprawnie uczyniono na stronie 57.
- W rozdziale trzecim „Teza, cele i zakres pracy” w podrozdziale 3.4 Analiza modeli katastrof Autorka informuje *„Poszczególne modele zostały poddane analizie jakościowej i ilościowej. Określono liczbę zdarzeń należących do poszczególnych klas zdarzeń dla każdej z katastrof. Umożliwiło to ocenę wpływu na katastrofę zdarzeń w kontekście ich źródła, a mianowicie czynnika ludzkiego, niezdatności systemu technicznego lub siły wyższej”*. W tej części rozprawy nie ma takiej analizy, ale są tylko scharakteryzowane *miary istotności zdarzeń elementarnych*. Zatem tytuł tego podrozdziału odbiega od jego treści merytorycznej.
- W rozdziale trzecim „Teza, cele i zakres pracy” w podrozdziale 3.4 Analiza modeli katastrof, jako miary istotności zdarzeń elementarnych proponuje niezawodnościową miarą Birnbauma, strukturalną miarę Birnbauma, miarę Veseley-Fussella, miarę krytyczności oraz potencjał poprawy. Wybór tych miar budzi wątpliwości. Według normy PN-93/N-50191: Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność, jakość usługi *„Jest to zespół właściwości, które opisują gotowość obiektu i wpływające na nią: nieuszkodzalność, obsługiwalność i zapewnienie środków obsługi. Stwierdza się, że termin niezawodność powinien być używany tylko do ogólnego, nieliczbowego opisu”* i dalej wg tej samej normy *„Gotowość oznacza zdolność obiektu do utrzymywania się w stanie umożliwiającym wypełnianie wymaganych funkcji w danych warunkach, w danej chwili lub w danym przedziale czasu, po założeniu, że są dostarczone wymagane środki zewnętrzne”*. Zatem niezawodności jest postrzegana, jako zespół własność, które są pozytywnie oceniane przez użytkowników. Zaś w rozprawie doktorskiej identyfikowane są a nieuchronnością wypadku (katastrofy). Co prawda Autorka na str. 69 zastrzega *„Przytoczone w niniejszym rozdziale definicje tych miar zostały nieco zmodyfikowane poprzez odniesienie ich zastosowania dla przyjętego w pracy ujęcia procesowego, a nie jak w pierwowzorach do analizy*

strukturalnej niezawodności systemów technicznych”, ale z punktu widzenia nauki, jaką jest *Inżynieria niezawodności* budzi to wątpliwości. W szczególności dotyczy to niezawodnościowej miary Birnbauma i potencjału poprawy.

- W rozdziale trzecim „Teza, cele i zakres pracy” w podrozdziale 3.4 Analiza modeli katastrof w opisie Strukturalnej miary Birnbauma stwierdza „*Strukturalna miara Birnbauma I^{Bs} dla i-tego zdarzenia danej fazy katastrofy definiowana jest w niniejszym zastosowaniu, jako względna liczba stanów analizowanego modelu opisującego daną fazę katastrofy, dla których i-te zdarzenie jest krytyczne. Można to interpretować, jako możliwą liczbę stanów zdarzeń (zachodzących lub niezachodzących w trakcie danej fazy), w których i-te zdarzenie musi wystąpić, aby zaszła dana faza katastrofy dla których i-te zdarzenie jest krytyczne. Można to interpretować, jako możliwą liczbę stanów zdarzeń (zachodzących lub niezachodzących w trakcie danej fazy), w których i-te zdarzenie musi wystąpić, aby zaszła dana faza katastrofy.*”. W pracy nigdzie nie znalazłem wyróżnienia i opisu tych stanów zdarzeń.
- W rozdziale trzecim „Teza, cele i zakres pracy” w podrozdziale 3.4 Analiza modeli katastrof, na stronie 68 Autorka informuje, że „*Opracowane modele FTA dla każdej z katastrof posłużyły, by przy wykorzystaniu wcześniej wyliczonego prawdopodobieństwa zdarzeń pierwotnych określić ilościowe wskaźniki analizy drzewa niezdatności*”. W pracy, po pierwsze nie znalazłem żadnej zależności, która pozwalałaby na wyliczenie *prawdopodobieństwa zdarzeń pierwotnych*, a po drugie w pracy, zdaniem Autorki, „*wcześniej*” na temat obliczania zdarzeń pierwotnych nie ma żadnej wzmianki w treści pracy (poza Wstępem).
- W pracy brakuje zapisu formalnego, w jaki sposób zostały obliczone prawdopodobieństwa elementarne. Na str. 63 Doktorantka pisze „*W kolejnym kroku określono przynależność zdarzeń elementarnych do poszczególnych klas zdarzeń, po czym określono prawdopodobieństwo występowania poszczególnych zdarzeń w analizowanej populacji katastrof*”. Czy „*prawdopodobieństwo występowania poszczególnych zdarzeń w analizowanej populacji katastrof*”, zaś na str. 59 informuje „*Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia każdego ze zdarzeń elementarnych w całej populacji katastrof jako prawdopodobieństwa a posteriori przynależności zdarzenia do określonej klasy zdarzeń, co wyznaczono opierając się na częstości występowania każdej z klas zdarzeń w całej populacji wszystkich zdarzeń elementarnych wszystkich analizowanych katastrof*”. Autorka przyjęła, że

„...prawdopodobieństwo $Pr(Z_i)$ i-tego zdarzenia należącego do klasy XX równe jest ilorazowi liczby wystąpień zdarzenia należącego do klasy XX w całej badanej populacji do całkowitej liczby wszystkich zaobserwowanych zdarzeń w całej populacji katastrof zgodnie ze 3.1.”. Ta zależność nie dotyczy zdarzeń elementarnych, ponieważ w liczniku wyrażenia m_{XX} oznacza liczbę wszystkich zdarzeń należących do klasy XX w całej populacji katastrof.

- W pracy Autorka używa pojęcia *zdarzenia elementarne* i *zdarzenia pierwotne*. Czy te zdarzenia są tożsame, czy też dotyczą innego sposobu klasyfikacji?
- Dyskusyjne też wydają się stwierdzenia Autorki dotyczące systemów bezpieczeństwa. Doktorantka w pracy na str. 27 pisze na podstawie źródła, że „Systemy kontroli bezpieczeństwa na współczesnych statkach są coraz bardziej złożone z jednej strony wskutek nadmiarowości i wielu poziomów zabezpieczeń, z drugiej w wyniku stosowania technologii cyfrowych, które są novum w transporcie morskim i niosą za sobą dodatkowe poziomy zabezpieczeń, nowy rodzaj zależności, interakcji i ryzyka jak również słabe, jeszcze nieujawnione ogniwa” oraz dalej „Myślenie a priori o katastrofie podczas budowy wysoko specjalistycznej jednostki, których współcześnie występuje coraz więcej w transporcie morskim, nie jest raczej praktykowane, ale jak pokazują liczne przypadki przedstawione w pracy, powinno być obligatoryjne.” Stosowanie w fazie projektowania i produkcji nadmiarowości i wielu poziomów zabezpieczeń świadczy o myśleniu o bezpieczeństwie i zapobieganiu katastrofom *a priori* podczas projektowania i budowy statków.
- Nie jest do końca czytelne jest stwierdzenie w rozdziale Wnioski na str. 216, że „bezdyskusyjne poleganie na nowych technologiach dające fałszywe poczucie pewności prowadzące do zignorowania zagrożenia”. Zdaniem oceniającego na temat systemów wspomagania decyzji różnych decydentów w transporcie morskim można znaleźć w literaturze bardzo wiele opracowań komplementujących te systemy. Właśnie to tej klasy systemy rejestrują dane i działania decydenta. Rejestracja cyfrowa takich działań może być jednym ze źródeł informacji (lub dowodów) w ocenach załóg przez armatorów, producentów urządzeń oraz w badaniach katastrof morskich. W innych gałęziach transportu takie systemy są obligatoryjne i wspomagają działania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa i efektywności.
- W rozdziale Wnioski na str. 216 lakoniczny zapis „homeostaza ryzyka”. Takie stwierdzenie nie jest dość zrozumiałe i wymaga komentarza.

- W rozdziale Wnioski na str. 216 Autorka informuję o tym, że „...skłoniło autorkę do samodzielnego opracowania szczegółowych opisów przebiegu katastrofy w sposób procesowy na podstawie wielu źródeł”. Czy dokumenty źródłowe nie były wystarczająco dokładne, że trzeba było opracowywać szczegóły przebiegu danej katastrofy?

W pracy zostały zauważone drobne usterki edycji rozprawy, a w szczególności:

- W Rozdziale 3 i podrozdziale 3.3. Modelowanie katastrof Autorka informuje, że „Realizacja rozprawy przedstawiona została w postaci graficznej na rysunku 3.2. Kolejne działania przedstawione zostały w postaci żółtych prostokątów, zaś ich rezultaty w postaci zielonych figur w kształcie strzał”. Zdaniem czytającego nie widać tych prostokątów, a tylko żółte i zielone strzałki.
- W Rozdziale 4 w tabelach *Przebieg katastrofy statku ...w rubrykach Opis zdarzeń* brakuje informacji o źródłach.
- Rozdział „*Modele katastrof morskich*” powinien wg kontynuacji numeracji oraz zgodnie ze Spisem treści być Rozdziałem piątym (5), jak też powinna się zaczynać od cyfry 5 numeracja opracowań katastrof w tym rozdziale,
- Rozdział „*Wnioski*” powinien wg kontynuacji numeracji oraz zgodnie ze Spisem treści być Rozdziałem 6”.
- W tabelach w Rozdziale 4. w kolumnach „*Opis zdarzeń*” wydaje się zasadnym zaznaczenie przez Autorkę cech wypadku pochodzących z własnych analiz Autorki, co wskazywała wcześniej.

Inne uwagi typu błędów edytorskich zostały przekazane bezpośrednio Autorce. Tego typu uwagi oraz zauważone błędy i usterki edycyjne nie umniejszają pozytywnej oceny strony edycyjnej pracy. W dalszych opracowaniach, a w szczególności przeznaczonych do publikacji w czasopiśmie naukowych należy takich błędów unikać.

W tej części recenzji odniosę się do tych zagadnień, których w tekście pracy nie znalazłem. Przy czym zawarte poniżej uwagi często mają charakter wątpliwości i zarazem formułują pytania, na które chciałbym, żeby Doktorantka w trakcie publicznej obrony udzieliła odpowiedzi.

1. Proszę wyjaśnić, jak są identyfikowane i definiowane stany analizowanego modelu opisującego daną fazę katastrofy.
2. Proszę uzasadnić wybór niezawodnościowej miary Birnbauma, strukturalnej miary Birnbauma oraz potencjału poprawy, jako miar istotności zdarzeń elementarnych.

3. Proszę o wyjaśnienie, w jaki sposób zostały obliczone prawdopodobieństwa elementarne.
4. Czy przedstawiony sposób modelowania przyczynowo-skutkowego procesu przebiegu katastrof może być wykorzystany w innych gałęziach transportu?

4. Wnioski końcowe

Reasumując należy stwierdzić, że mgr Dorota Chybowska:

W pracy zrealizowano szereg następujących celów utylitarnych:

1. Dokonała przeglądu teorii, modeli i metod wykorzystywanych w badaniu przyczyn źródłowych wypadków i katastrof.
2. Przygotowała szczegółowe opisy trzydziestu katastrof morskich i opracowała blokowe modele ich przebiegu z wykorzystaniem sieci zdarzeń.
3. Opracowała modele katastrof w postaci dualnych drzew niezdatności.
4. Wyznaczyła prawdopodobieństwa wystąpienia katastrofy o danym przebiegu (prawdopodobieństwa zdarzenia szczytowego) w analizowanej populacji.
5. Opracowała wnioski dotyczących przyczyn wypadków w transporcie morskim biorąc pod uwagę różne rejony żeglugi oraz typy obiektów morskich.
6. Przedstawiła ogólne wnioski dotyczące przyczyn katastrof morskich oraz ich następstw na przełomie lat 1912-2019.

Przechodząc do podsumowania można stwierdzić, że Doktorantka w sposób jednoznaczny określiła problem badawczy, potrafiła samodzielnie sformułować zadanie naukowe, które następnie rozwiązała. Analizowany problem jest dość trudny teoretycznie, a poprawne jego rozwiązanie świadczy o dojrzałości badawczej Doktorantki. Przedstawiona rozprawa wykazuje, że Doktorantka dysponuje wiedzą i dorobkiem naukowym o charakterze podstawowym w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna w zakresie niezawodności i eksploatacji systemów technicznych.

Wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr Doroty Chybowskiej spełnia wymagania wynikające z Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm) Dział V Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki* oraz mieści się w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Mechaniczna*. Biorąc powyższe pod uwagę stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Mirosław

Siergiejczyk

