

Dr hab. inż. **Mariusz Maślak**, prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych
Katedra Konstrukcji Metalowych
Ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Kraków, grudzień, 2017

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Katarzyny Kubickiej
na temat:**

**„Ocena bezpieczeństwa pożarowego stalowych konstrukcji kratowych w ujęciu
probabilistycznym”**

1. Przedmiot i podstawa prawna wykonania recenzji.

Niniejsza recenzja dotyczy dzieła naukowego opracowanego przez panią mgr inż. **Katarzynę Kubicką**, pod promotorstwem dr hab. inż. **Urszuli Radoń**, prof. PŚk i przy współudziale w charakterze promotora pomocniczego pani dr inż. **Urszuli Pawlak**. Wykonałem ją zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, podjętą na posiedzeniu odbytym w dniu 18 października 2017 roku, na zlecenie Dziekana tego Wydziału, pana prof. dr hab. inż. **Marka Iwańskiego**, wyrażone w piśmie o sygnaturze BD-228/17 z dnia 27 października 2017 roku.

2. Krótka charakterystyka rozprawy.

Przedmiotowa rozprawa została opublikowana w formie wydawnictwa książkowego o charakterze monograficznym, sygnowanego logo Politechniki Świętokrzyskiej i nazwą Wydziału w którym prowadzony jest przewód doktorski Doktorantki. Liczy 216 stron druku i zawiera dwa streszczenia, jedno pisane w języku polskim drugie natomiast w języku angielskim. Formalnie dzieli się na pięć rozdziałów. Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do szczegółowych rozważań. Mieści się w nim przegląd literatury cytowanej przez Autorkę a także podstawowe założenia prezentowanej przez Nią analizy. Sformułowano w nim również samo zadanie badawcze postawione Doktorantce do rozwiązania i określono tezę naukową, której pozytywna weryfikacja ma w założeniu Autorki dzieła potwierdzić i uwiarygodnić wnioski zestawione w kończącym pracę rozdziale piątym. W rozdziale drugim w sposób syntetyczny omówiono podstawy teoretyczne konwencjonalnego, normowego podejścia do projektowania i kształtowania konstrukcji stalowych ze względu na oddziaływanie na nie pożaru rozwiniętego. Rozdział trzeci stanowi krótki przegląd klasycznych podejść probabilistycznych stosowanych w ocenie niezawodności ustrojów nośnych, ze szczególnym uwzględnieniem ich przydatności do analizy złożonych systemów konstrukcyjnych. Najbardziej obszerny rozdział czwarty to niejako „opus magnum” Autorki, w którym na tle swoich wcześniejszych rozważań, wprowadzających w zasadniczą tematykę pracy, przedstawia Ona i komentuje własne wyniki oraz wyprowadza interesujące poznawczo i w dużej mierze niewątpliwie oryginalne wnioski. Problematyka poruszana w tej części

dysertacji kojarzy ze sobą i łączy oba obszary analizy omawiane wcześniej przez Doktorantkę w sposób rozłączny w rozdziałach drugim i trzecim.

3. Ocena dzieła pod względem redakcyjnym i edytorskim.

W ocenie recenzenta przedstawiona do opiniowania rozprawa została przygotowana niezwykle starannie pod względem edytorskim. Język merytorycznego wywodu Autorki jest czytelny a przy tym jednoznaczny i precyzyjny. Dostrzeżone w tekście błędy typu „literówki” są niezwykle rzadkie i nie zaburzają w żaden sposób percepcji tekstu. W kilku miejscach pracy nieco rażą nie do końca zrozumiałe stwierdzenia. Recenzent nie wie na przykład o co chodzi w zdaniu przywołanym na stronie 135, w którym Autorka twierdzi, że „zastosowanie krzywej standardowej prowadzi do uzyskania zawyżonej klasy odporności ogniowej”. Jego zdaniem klasa ta może zależeć na przykład od sposobu izolacji elementu stalowego, trudno natomiast wiązać ją z taką czy inną metodą analizy. Czyżby chodziło tu po prostu o przeszacowanie prognozowanej odporności? Trochę szkoda również, że Doktorantka w ostatnim zdaniu swojej pracy lokalizuje siedzibę znanego w świecie laboratorium ITB w „pionkach” a nie w „Pionkach”. Nie wiadomo czy taki zapis poprawi Jej szanse prowadzenia w tym laboratorium dalszych badań, a taką chęć sygnalizuje przecież w zestawieniu swoich naukowych zamierzeń do realizacji po doktoracie. Chwaląc edytorską staranność Autorki trzeba również wskazać na bardzo dużą dbałość o precyzję i czytelność zamieszczonych w pracy rysunków. Są one jednolite pod względem stylu, nawet wtedy gdy stanowią proste przeniesienie z innych prac, a ich wartość ilustracyjną znakomicie podnoszą różne kolory linii zastosowane zresztą przez Doktorantkę z dużym wyczuciem, bez zbędnego przeładowania. Recenzent nie ma również zastrzeżeń do sposobu cytowania prac przywoływanych w tekście. Nie dostrzega bowiem w tym zakresie istotnych pomyłek czy braków.

4. Opinia w sprawie miarodajności tezy pracy.

Teza pracy została w prezentowanej dysertacji sformułowana w sposób następujący: *„Alternatywą dla tradycyjnego projektowania konstrukcji stalowych na warunki pożarowe, opartego o częściowe współczynniki bezpieczeństwa, może być wykorzystanie metod analizy niezawodności, w tym: metod aproksymacyjnych (FORM, SORM), symulacyjnych (Importance Sampling, Monte Carlo) i analizy systemowej”*. Tego typu konstatacji trudno zaprzeczyć nawet bez przeprowadzania jakiegokolwiek szczegółowej analizy. Wydaje się po prostu oczywista. W profesjonalnej literaturze można już zresztą doszukać się coraz większej liczby mniej lub bardziej złożonych artykułów publikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych czy też referatów wygłaszanych na specjalistycznych konferencjach, w których stopień gwarantowanego bezpieczeństwa, czy też wprost niezawodność, w odniesieniu do warunków pożarowych analizuje się wskazanymi w tezie metodami. W ocenie recenzenta w opiniowanej pracy nie odkrywa się niejako „ab ovo” przydatności przywołanych powyżej podejść obliczeniowych do tego rodzaju specjalistycznej przecież i specyficznej analizy. To co w prezentowanych przez Doktorantkę wynikach badań wydaje się autentycznie nowatorskie to wskazanie istotności i potrzeby przeprowadzania na tym polu uogólnionej na warunki pożarowe analizy systemowej, która na tle zestawianych z tą metodą pozostałych probabilistycznych procedur obliczeniowych daje wyniki w wielu sytuacjach odmienne, choć, wydaje się, także zdaniem recenzenta, bardziej godne zaufania.

5. Ocena rozeznania Doktorantki w światowym dorobku naukowym odnoszącym się bezpośrednio do podjętego przez Nią zadania badawczego.

Spis literatury cytowanej w pracy jest ilościowo bardzo obszerny a to wydaje się potwierdzać dobre rozeznanie Autorki w wybranej przez Nią dyscyplinie badawczej. Zawiera

on 229 pozycji bibliograficznych, z czego, co wypada podkreślić, znaczącą część stanowią prace obcojęzyczne, publikowane w uznanych periodykach naukowych. Recenzent nie jest jednak w ocenie tego spisu do końca usatysfakcjonowany. Jeżeli bowiem wyłączyć z niego klasyczne i cytowane powszechnie prace odnoszące się do prezentacji samych tylko procedur probabilistycznych zastosowanych w dysertacji, nie skojarzone w żaden sposób z analizą pożarową ale z oczywistych względów przywoływane przez Autorkę, oraz te, które co prawda mają odniesienie do zagadnień związanych z weryfikacją poziomu bezpieczeństwa stalowych ustrojów nośnych przy poddaniu ich ekspozycji pożarowej ale nie postulują wykorzystania do tego celu formatu obliczeń opartego na wnioskowaniu niezawodnościowym, to z początkowo bardzo licznego i logicznego zestawienia „na placu boju” pozostanie stosunkowo niewiele szczególnie tu oczekiwanych pozycji, takich które łączą w sobie w sposób synergiczny tematykę związaną z analizą pożarową i metodę badawczą odniesioną do jakiegokolwiek formy analizy probabilistycznej. Szkoda, że Doktorantka nie dostrzegła na tym polu co najmniej kilku kluczowych publikacji, chociażby tych kojarzonych z zespołem prof. Luke Bisby’ego z Uniwersytetu w Edynburgu, czy też innych – autorstwa zespołu prof. George Hadjisophocleousa z Uniwersytetu Carleton w Ottawie. Cieszy natomiast zauważenie, choć w daleko niepełnym wymiarze, dorobku prof. Milana Holicky’ego z Politechniki w Pradze jak również prof. Mario Fontany z ETH w Zurichu. W komentarzu wprowadzającym w tematykę pracy doktorskiej, przedstawionym przez Autorkę w rozdziale 1.1, trochę brak wyraźniejszego rozróżnienia prac merytorycznie nowatorskich, o podstawowym znaczeniu dla reprezentowanej przez Doktorantkę dyscypliny nauki, od tych mniej istotnych, stanowiących jedynie mniej lub bardziej twórczy przyczynek do istniejących już procedur i podejść obliczeniowych albo nawet samą tylko, czasem subiektywną, ocenę autora co do ich wiarygodności i przydatności do praktycznego zastosowania. Recenzent nie ma też większych zastrzeżeń co do treści przedstawionych w rozdziałach drugim i trzecim niniejszej pracy. Ze swej natury mają one charakter odtwórczy, muszą zatem, sumując się, dać czytelnikowi przekaz bardzo syntetyczny i dobrze usystematyzowany. W wielu przypadkach, przy opisie niektórych zagadnień, dość dotkliwy dla tego czytelnika okazuje się jednak brak jakiegokolwiek, mniej lub bardziej rozbudowanego, odautorskiego komentarza. W rozdziale drugim Autorka nie zaznacza na przykład w sposób jednoznaczny, że w dalszej analizie odnosi się w zasadzie tylko do miękkich stali węglowych, w szczególności stali S235 i S275. Co spowodowało takie ograniczenie? Dlaczego nie zestawiono i nie porównano charakteryzujących te stali wartości parametrów opisujących ich właściwości cieplne i cechy mechaniczne z odpowiadającymi im wartościami typowymi dla powszechnie przecież stosowanych w praktyce konstrukcyjnych stali stopowych, chociażby stali S355? Dlaczego nie wspomniano o stalach wysokiej wytrzymałości i specyficznej dla nich odpowiedzi na oddziaływanie pożarowe? Wątpliwości recenzenta budzi też dość bezrefleksyjny sposób zestawiania ze sobą na tych samych wykresach i wzajemnego odnoszenia do siebie różnych oszacowań wartości tego samego parametru w sytuacji gdy niektóre z tych oszacowań zostały zaproponowane kilkadziesiąt lat temu a pozostałe – współcześnie. Czy wiarygodność każdego z tych oszacowań jest taka sama? Czy nie trzeba wziąć tu poprawki na inne kiedyś możliwości badawcze, na większą dawniej zmienność statystyczną próbek stali spowodowaną nie tak nowoczesnymi jak dziś procesami hutniczymi, na mniejszą reprezentatywność dostępnej wtedy do oceny próby statystycznej, itp. Co praktycznie wynika z wykresów przedstawionych przez Doktorantkę w rozdziale drugim? Czy ze względu na pokazany na nich duży rozrzut wyników trzeba na ich podstawie wnioskować o małej wiarygodności oszacowań zaproponowanych przez współcześnie obowiązujące normy europejskie? A może po prostu mniej więcej połowa z tych oszacowań nie jest już miarodajna w zestawieniu ze współczesnymi technologiami produkcji elementów stalowych i w zasadzie ich przywoływanie może wprowadzać

niepotrzebne zamieszanie? Procedury kolejno przytaczane przez Doktorantkę w rozdziale trzecim opiniowanej pracy stosują się do dobrze zweryfikowanych i opisanych, klasycznych już metod probabilistycznych. W tej części rozprawy zaproponowane przez Autorkę objaśnienie każdej z rozpatrywanych technik obliczeniowych wydaje się wystarczająco precyzyjne. Może trochę brakuje napisania wprost jakim to obiektem matematycznym jest „tajemnicza” funkcja Laplace’a i jak wiąże się ona z dystrybuantą rozkładu normalnego. Szczegółową informację na ten temat recenzent odnalazł co prawda w dalszej części rozważań, ale podanie jej właśnie w tym rozdziale w jego ocenie wydaje się właściwsze. Recenzent chciałby również zapytać, czy Autorka kilkakrotnie w tekście tego rozdziału mówi o „standardowej przestrzeni gaussowskiej” czy może raczej o „standaryzowanej przestrzeni gaussowskiej” i czy oba te wyrażenia są tożsame.

6. Opinia na temat przedstawionych przez Doktorantkę analiz porównawczych pozwalających na weryfikację istotności różnego rodzaju czynników determinujących zachowanie się stalowej kratownicy w warunkach pożarowych.

W pierwszych trzech podrozdziałach kluczowego do oceny pracy rozdziału czwartego Doktorantka zestawia i komentuje wyniki prowadzonych przez siebie analiz porównawczych. Wskazuje przy tym na różną odpowiedź mechaniczną analizowanych kratownic stalowych na oddziaływanie pożarowe jeśli tylko przy tych samych wymiarach, materiale i schemacie konstrukcyjnym różny będzie na przykład scenariusz ich nagrzewania, opisany wybraną krzywą temperatura stali – czas pożaru, albo też inne będą zastosowane parametry izolacji przeciwogniowej poszczególnych prętów. Zachowanie się w pożarze porównywanych ze sobą kratownic różnicuje także odmienny, mniej lub bardziej efektywny, sposób skrupowania swobody realizacji odkształceń termicznych. Wyniki uzyskane przez Autorkę w żaden sposób nie zaskakują, są bowiem w dużej mierze oczywiste. Pewną wartość merytoryczną można im przypisać ze względu na oceny i porównania ilościowe. Cenne wydaje się również na tym polu dostrzeżenie odmienności w sposobie deformacji ustroju nośnego w temperaturze pożarowej przy różnie ukształtowanych i sformalizowanych warunkach brzegowych. Jest to konstatacja pozornie bezdyskusyjna, niemniej jednak jak dotąd nie znajduje ona należnego przełożenia na rekomendowane do stosowania w praktyce projektowej normowe zasady obliczeń specyfikowane dla warunków ekspozycji ogniowej. Zdaniem recenzenta ciekawsze i bardziej pouczające dla czytelnika tej części rozprawy mogłyby okazać się nieco odmiennie zestawienia. Można by na przykład porównać odpowiedź na ekspozycję ogniową dwóch identycznych kratownic, obciążonych w identyczny sposób. Identyczna w rozpatrywanej chwili pożaru byłaby przy tym temperatura poszczególnych prętów. Jedyna różnica pomiędzy porównywanymi konstrukcjami wynikałaby z odmiennego sposobu wcześniejszego dochodzenia do temperatury odnotowanej w chwili badania, czyli po prostu z założenia innego scenariusza rozwoju pożaru. W pierwszym z rozpatrywanych przypadków nagrzewanie elementów kratownicy byłoby początkowo stosunkowo powolne a następnie temperatura stali narastałaby z coraz większą intensywnością, w drugim natomiast - na początku bardzo intensywny przyrost temperatury prętów z biegiem czasu ulegałby stopniowemu spowalnianiu. W efekcie stan nagrzania poszczególnych elementów ustroju nośnego, w obu przypadkach identyczny w chwili przeprowadzania badania, generowałby jednak całkowicie odmienny stan naprężenia i odkształcenia. A zatem dwie identyczne konstrukcje, w danej chwili pożaru obciążone w sposób identyczny, nie dadzą jednak w wyniku tego oddziaływania identycznej odpowiedzi mechanicznej, zarówno w odniesieniu do obserwowanych deformacji jak i do zidentyfikowanych wartości naprężeń. To co w opinii recenzenta korzystnie i znacząco wyróżnia analizy Autorki na tle bardzo już bogatego zbioru dostępnych w literaturze analiz podobnego typu wiąże się z zauważeniem, docenieniem wagi i uwzględnieniem w szczegółowych rozważaniach faktu stopniowego wyłączania się z

efektywnego przenoszenia obciążeń w warunkach pożaru o narastającej intensywności kolejnych prętów kratownicy, skutkującego skojarzonymi z tymi zdarzeniami, następującymi po sobie, zmianami jej schematu statycznego. Doktorantka wykazała przy tym, co dla praktyki projektowej wydaje się niezmiernie istotne, że pręty pierwotnie zaprojektowane jako rozciągane w kolejnych chwilach ekspozycji ogniowej mogą stać się prętami ściskanymi a zatem ulegać wyboczeniu. Ocena realnego poziomu bezpieczeństwa odniesiona do wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego w przypadku kratownicowych ustrojów nośnych musi zatem być prowadzona z dużym rozeznaniem i wyczuciem.

7. Uwagi do przeprowadzonych przez Doktorantkę analiz probabilistycznych.

W opinii recenzenta analizy probabilistyczne wykorzystane przez Doktorantkę do szacowania odporności ogniowej kratownic stalowych, zaprezentowane i szeroko komentowane w dysertacji, są w dużym stopniu nowatorskie i wnoszą istotny wkład do obecnego stanu wiedzy. Szczególny walor oryginalności trzeba w tym zakresie przyznać rozważaniom opartym na uogólnionej ze względu na uwzględnienie specyficznych oddziaływań pożarowych analizie systemowej. Wprowadzenie jednak do tytułu rozdziału czwartego ocenianej pracy sformułowania „analiza pożarowo-niezawodnościowa”, będącego swego rodzaju neologizmem, nawet przy uwzględnieniu tak zwanego „skrótów myślowego” wydaje się pewnym nadużyciem. O ile recenzent nie ma oporów przed zbitką słowną „analiza niezawodnościowa”, to jego zdaniem drugie zestawienie - „analiza pożarowa” - nie jest do końca jednoznaczne. Połączenie w jedno obu przywołanych wcześniej wyrażenia, samo w sobie zresztą chyba nie w pełni logiczne, daje wrażenie niepotrzebnego przesytu informacyjnego. Kwestią kluczową w ocenie przeprowadzonych w pracy analiz jest formalne odniesienie się do przyjętych założeń. Założenie o normalności rozkładów prawdopodobieństwa charakteryzujących wszystkie wielkości interpretowane w pracy jako zmienne losowe jest ograniczeniem bardzo mocnym i w wielu przypadkach nie do końca prawdziwym. Wiele z tych zmiennych opisuje się zwykle przy pomocy rozkładów niesymetrycznych, w tym w szczególności rozkładu Gumbela. Niemniej jednak, sformułowanie takiego założenia wydaje się w pracy koniecznością, zwłaszcza ze względu na formalizm zastosowanej przez Doktorantkę w dalszych rozważaniach analizie systemowej. Z tego względu w niniejszej recenzji jest ono przez recenzenta w pełni akceptowane i uznawane za miarodajne. Znacznie większe wątpliwości ma on jednak przy weryfikacji całego zastosowanego w dysertacji zestawu zmiennych losowych, podawanego zresztą przez Autorkę nie do końca wprost. Oczywistym jest na tym polu potraktowanie jako zmiennej losowej granicy plastyczności stali z której wykonano kratownicę. Doktorantka specyfikuje w odniesieniu do tej wielkości zarówno jej wartość średnią jak i gaussowski współczynnik zmienności. Czy jednak miara tej zmienności, uwzględniająca również zmienność geometrycznych wymiarów przekroju poprzecznego, będzie taka sama jak to ma miejsce dla tej samej stali w trwałej sytuacji projektowej, bez uwzględniania wpływu pożaru? W profesjonalnej literaturze takie przyjęcie na ogół jest akceptowalne. Tyle tylko, że jako zmienną losową trzeba potraktować równocześnie współczynnik określający stopień redukcji granicy plastyczności rozważanej stali w temperaturze pożarowej, na przykład tak jak to zaproponował prof. Milan Holický. Nie ma jednoznacznych informacji na temat prawidłowej interpretacji wartości tego współczynnika podawanych w normach europejskich. Nie do końca wiadomo bowiem czy są to odpowiednie wartości średnie, czy też może kwantyle specyfikowane przy odpowiednim prawdopodobieństwie przewyższenia. Tymczasem Doktorantka traktuje wartości tego współczynnika jako miary w pełni deterministyczne. Takie przyjęcie co prawda znakomicie ułatwia prowadzenie analiz, jego wpływ na tyle jednak zmienia uzyskane wyniki, że kryterium stosowalności tego typu uproszczenia wymaga co najmniej odautorskiego komentarza. Analogiczna wątpliwość recenzenta dotyczy również losowej zmienności

modułu sprężystości liniowej. Szkoda, że stopień redukcji tej wielkości w temperaturze pożarowej jest w interpretacji Doktorantki miarą także w pełni deterministyczną. Wielokrotnie w swoich obliczeniach, w odniesieniu do prętów ściskanych, Doktorantka wylicza wartość odpowiedniego współczynnika wybocheniowego. Jest to w oczywisty sposób zmienna losowa. Do jej wyliczenia przy zadanej temperaturze materiału wykorzystuje się bowiem specyfikowaną dla warunków pożarowych losową smukłość, a ta zależy zarówno od losowej granicy plastyczności stali jak i od losowego modułu sprężystości liniowej. Jeżeli jednak stopień redukcji obu tych wielkości w temperaturze pożarowej został potraktowany jako nielosowy to trudno mówić o losowości współczynnika wybocheniowego. Z dużym uproszczeniem, choć w oczywisty sposób akceptowalnym, mamy do czynienia również po stronie obciążenia przy zapisie warunku stanu granicznego. Zakłada się bowiem, że na rozważaną kratownicę oddziałuje jedynie przyłożone do węzłów obciążenie o charakterze stałym. Nie ma zatem mowy o towarzyszącym mu obciążeniu zmiennym. Rozważenie kombinacji obu tych obciążeń pozwoliłoby na znaczne uatrakcyjnienie prowadzonych analiz. Doktorantka oczywiście traktuje efekt obciążenia jako zmienną losową opisywaną normalnym rozkładem prawdopodobieństwa z odpowiednimi parametrami skupienia i rozrzutu, nie zastanawia się jednak w żaden sposób nad jego strukturą ani nad wpływem tej struktury na ostateczne wnioski. Szkoda też, że w sformułowaniu warunku granicznego nie podjęto próby jakiegokolwiek kwantyfikacji miary opisu błędu modelu obliczeniowego. Recenzent zdaje sobie sprawę, że analiza probabilistyczna, aby była dostatecznie wiarygodna, powinna mieścić w sobie zarówno wszelkiego typu źródła losowości jak też i towarzyszące im, lub nawet uzupełniające model, źródła niepewności. Z tej racji zastosowane przez Doktorantkę uproszczenia przyjmuje i akceptuje z pewnym poczuciem niedosytu. Z drugiej strony jednak rozumie, że takie, wydaje się nadmiernie uproszczone, sformułowanie modelu formalnego zostało zdeterminowane przez cel naukowy postawiony na wstępie pracy. Tylko bowiem przy tego rodzaju uproszczeniach można było skutecznie wprowadzić do rozważań techniki obliczeniowe typowe dla klasycznej analizy systemowej, a właśnie te analizy decydują o wartości pracy. Dobrze, że Autorka prowadzi analizę swoich kratownic wieloma alternatywnymi względem siebie metodami. Tylko w ten sposób, przy pomocy tak zwanej walidacji, może bowiem zestawić i porównać odpowiadające sobie wyniki uzyskane przy różnych podejściach obliczeniowych. Bardzo interesujące poznawczo jest to, że wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu analizy systemowej wykazują pewną odrębność w stosunku do wszystkich pozostałych. Swoje porównania Doktorantka wzbogaca o praktycznie ważne zestawienia czasu obliczeń numerycznych potrzebnego do uzyskania wyników. Rezultatem podstawowym dla generalnego wnioskowania wydaje się przy tym wykres 4.54 przedstawiony na stronie 193 ocenianej dysertacji. W odczuciu recenzenta jest to pierwszy w ogóle napotkany w literaturze diagram pokazujący jak zmienia się niezawodność kratownicy wraz z narastaniem temperatury tworzących ją prętów stalowych w kolejnych minutach pożaru, uwzględniający przy tym następujące po sobie zmiany jej schematu statycznego generowane wyłączaniem się z pracy kolejnych elementów. Tego typu zmiany można zresztą na przywołanym wcześniej wykresie dość łatwo zidentyfikować i zinterpretować. W oczywisty sposób wraz z rozwojem pożaru skojarzonym z narastającą w czasie temperaturą gazów spalinowych w bezpośrednim otoczeniu kratownicy jej niezawodność maleje. Początkowy wzrost poziomu bezpieczeństwa w pierwszej fazie pożaru, w której wskaźnik niezawodności badanego ustroju nośnego wzrósł od wartości 7,77 do nieznacznie większej wartości 7,94, Autorka tłumaczy dość przekonująco. Recenzent nie rozumie jednak dlaczego w momencie pożaru, w którym rozważana kratownica z ustroju statycznie niewyznaczalnego stała się ustrojem statycznie wyznaczalnym, modelowanym teraz przez prosty - czysto szeregowy system niezawodnościowy, nastąpił tak jakościowo znaczący i ilościowo wyraźny wzrost wartości wskaźnika niezawodności, od wartości 1,46 - bardzo już bliskiej wartości

dopuszczalnej aż do wartości 3,58 – tym razem stosunkowo bezpiecznej. Tego typu trudny do logicznego uzasadnienia skok w dużej mierze, w opinii recenzenta, wydaje się podważać wiarygodność interpretacji całego wykresu. Przed opublikowaniem tego wyniku wskazana wydaje się zatem jego dodatkowa weryfikacja.

8. Pytania recenzenta do Doktorantki z prośbą o merytoryczne ustosunkowanie się do nich podczas obrony pracy doktorskiej.

W związku z przywołanymi wcześniej uwagami recenzent będzie wdzięczny za ustosunkowanie się Doktorantki podczas obrony przygotowanej przez Nią pracy doktorskiej do następujących pytań szczegółowych:

- a) na czym polega specyfika odpowiedzi na oddziaływanie pożarowe konstrukcyjnych stali stopowych, stali nierdzewnych i stali o podwyższonej wytrzymałości, czy ich właściwości, zarówno cieplne jak i mechaniczne, zmieniają się z narastaniem temperatury w sposób analogiczny do procesu zmian, który cechuje typowe konstrukcyjne stale niskowęglowe,
- b) czy zdaniem Autorki współczynniki redukcyjne wyrażające odpowiednio stopień redukcji granicy plastyczności stali konstrukcyjnej w temperaturze pożarowej oraz stopień redukcji modułu sprężystości liniowej w temperaturze pożarowej powinny w prowadzonej w pracy analizie zostać potraktowane jako zmienne losowe a nie wielkości deterministyczne, a jeśli tak to jak takie potraktowanie zmieniłoby zapis warunku granicznego specyfikowanego dla stanu granicznego nośności ogniowej,
- c) jak Autorka interpretuje otrzymany w wyniku przeprowadzonej analizy skokowy wzrost wartości wskaźnika niezawodności w sytuacji gdy rozważana kratownica na skutek kolejnej zmiany schematu statycznego z ustroju statycznie niewyznaczalnego staje się ustrojem statycznie wyznaczalnym.

9. Końcowa ocena pracy

Pomimo uwag krytycznych przywołanych przez recenzenta w niniejszym opracowaniu generalna ocena pracy jest wysoce pozytywna. Bez wątplenia wnosi ona istotny wkład w obecny stan wiedzy w zakresie analizy odpowiedzi prętowych konstrukcji stalowych na oddziaływanie pożarowe, a zwłaszcza w tworzenie i weryfikację technik i procedur obliczeniowych służących do wiarygodnego szacowania poziomu bezpieczeństwa gwarantowanego użytkownikom tego rodzaju ustrojów w warunkach pożaru. Na taką ocenę dysertacji zasadniczy wpływ mają w dużej mierze nowatorskie i oryginalne analizy probabilistyczne, uogólnione na rozważania specyficzne dla warunków pożaru. Jakkolwiek zastosowany model probabilistyczny wydaje się dość mocno uproszczony, a uzyskane wyniki rodzą wątpliwości co do ich jednoznacznej interpretacji, to jednak należy podkreślić pewną pionierskość w podejściu Autorki do rozważanej problematyki, uwidaczniającą się zwłaszcza wtedy gdy promuje wykorzystanie do rozwiązania postawionego Jej zadania alternatywnej względem stosowanych dotychczas techniki analizy systemowej. Wybór tego rodzaju procedury obliczeniowej niejako wymusza założone przez Autorkę uproszczenia modelu formalnego. Wyniki zaprezentowane przez Autorkę, jakkolwiek same w sobie interesujące poznawczo, wymagają jeszcze pewnego dopracowania, chociażby ze względu na brak oczekiwanego przez recenzenta „zszycia” wartości uzyskanych po analizie złożonego ustroju statycznie niewyznaczalnego z analogicznymi do nich wartościami otrzymanymi z analizy znacznie prostszego w rozważaniach ustroju statycznie wyznaczalnego, modelowanego czysto szeregowym systemem niezawodnościowym. Nie wydaje się prawdopodobne aby w pewnym momencie pracy kratownicy statycznie niewyznaczalnej, na skutek wyłączenia się kolejnych prętów ze współpracy przy przenoszeniu obciążeń, niezawodność tego ustroju w

sposób nagły uległa skokowemu podwyższeniu. Trzeba jednak docenić to, że Doktorantka do przeprowadzenia swoich, w znacznej mierze unikalnych analiz, musiała się odpowiednio przygotować, czemu zresztą daje wyraz w rozdziale trzecim ocenianej pracy stanowiącym syntetyczne wprowadzenie do klasycznych technik wnioskowania niezawodnościowego. Wymagało to od Niej opanowania trudnych i często nieoczywistych procedur matematycznych, bazujących na specyficznym aparacie obliczeniowym. Dodatkowym utrudnieniem była przy tym potrzeba odpowiedniego uogólnienia opracowanych przez siebie algorytmów, umożliwiającego ich efektywną aplikację do dość wąskiej grupy zagadnień związanych z analizą zachowania się ustrojów nośnych konstrukcji budowlanych w warunkach pożaru. Wszystkie przywołane wcześniej aspekty, w tym zwłaszcza te, które świadczą o oryginalnym podejściu Doktorantki do postawionego przed Nią zadania badawczego, pozwalają recenzentowi sformułować wniosek o wyróżnienie prezentowanej pracy i przedstawić go do rozważania Radzie Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.

Uwzględniając wszystkie argumenty za i przeciw przytoczone i rozpatrzone w niniejszej recenzji uważam że oceniana rozprawa w pełni spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte „Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”, z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595, wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Doktorantki do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of several vertical and diagonal strokes, located at the bottom center of the page.