

Prof. dr hab. inż. Mariusz Maślak  
Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Katedra Konstrukcji Mostowych, Metalowych i Drewnianych  
Warszawska 24  
31-155 Kraków  
e-mail: [mmaslak@pk.edu.pl](mailto:mmaslak@pk.edu.pl)

Kraków, październik 2021

**Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Dariusza Krzysztofa Lenia  
na temat „Ocena właściwości strukturalnych rozciąganych połączeń kołnierzowych  
metodą składnikową”**

**1. Uwagi formalne**

Niniejsza recenzja została opracowana na mocy uchwały Rady Dyscypliny „Inżynieria Lądowa i Transport” podjętej na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej w dniu 14 lipca 2021 roku. Postanowieniem tej uchwały zostałem powołany na recenzenta w postępowaniu doktorskim mgr inż. Dariusza Krzysztofa Lenia. Odpowiednie zlecenie podpisał przewodniczący Rady, pan prof. Tomasz Siwowski.

Opinia dotyczy dysertacji podsumowującej postępowanie doktoranta, zatytułowanej „Ocena właściwości strukturalnych rozciąganych połączeń kołnierzowych metodą składnikową”. Promotorem w tym postępowaniu jest dr hab. inż. Lucjan Ślęczka, prof. PRZ. Realizowane jest ono w dyscyplinie naukowej „Inżynieria Lądowa i Transport”.

**2. Kwestia doboru tematu, zasadność zidentyfikowanego celu badań i istotność weryfikowanej przez doktoranta tezy naukowej.**

Rozważania podjęte przez doktoranta dotyczą pewnego typu rozciąganych, realizowanych na śruby, połączeń doczołowych, stosowanych powszechnie w różnego rodzaju konstrukcjach stalowych, na ogół jako styki montażowe elementów prętowych o przekrojach rurowych. Obciążenie oddziałujące na łączniki przekazywane jest w tych połączeniach za pośrednictwem kołnierza, o relatywnie dużej ale skończonej sztywności, a więc podatnego na potencjalne sprężysto – plastyczne deformacje. Charakter deformacji obserwowanych w praktyce, po przyłożeniu do konstrukcji obciążenia zewnętrznego, w dużym stopniu determinuje sposób pracy analizowanego w rozprawie styku, w tym w szczególności implikuje jego realną nośność i oszacowaną dla tej nośności sztywność. Wydawać by się mogło, że mechanizm pracy tego rodzaju połączenia jest już dość dobrze rozpoznany. Napisano bowiem o nim jak dotąd wiele mniej lub bardziej zaawansowanych formalnie prac naukowych, które posłużyły do sformułowania modeli obliczeniowych odpowiadających poszczególnym podejściom analitycznym. Krótki przegląd takich modeli daje między innymi doktorant w pierwszej części opracowanej przez siebie dysertacji naukowej, opatrując je przy tym swoim własnym, odautorskim, krytycznym komentarzem. Już proste zestawienie tych modeli, a przede wszystkim jakościowa i ilościowa analiza uzyskanych po ich zastosowaniu wyników, prowadzi do w miarę jednoznacznej konstatacji, że pomimo niewątpliwie dość znacznego stopnia zaawansowania wykorzystanego do ich budowy podejścia obliczeniowego są to jak dotąd modele w dużym stopniu niedopracowane. Ich podstawowe parametry nie są bowiem jeszcze odpowiednio dobrze zweryfikowane w zestawieniu teorii z praktyką. Recenzent potwierdza zatem w pełni twierdzenie doktoranta, że w miarę dokładne rozeznanie co do realnego

zachowania się tego rodzaju styków pod przyłożonym do nich obciążeniem rozciągającym wydaje się być zadaniem naukowym o istotnym znaczeniu poznawczym, a jego wynik, skutkujący opracowaniem nowego, odpowiednio dobrze wykalibrowanego, modelu formalnego, jest niewątpliwie celem oczekiwanym przez projektantów. Uzyskanie tego rodzaju wyniku wymaga jednak od kandydata przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań, o precyzyjnie i w sposób nowatorski zarysowanym programie. O ile jednak populacja zamierzonych do wykonania na tym polu badań eksperymentalnych musi być z samej swej natury bardzo ograniczona, to opracowana na podstawie tych badań analiza parametryczna, bazująca na odpowiednio dobranym programie prowadzonych przez doktoranta symulacji numerycznych, może być zakrojona znacznie szerzej. Jest zatem w dużej mierze pozbawiona tego rodzaju uwarunkowań i ograniczeń. Właśnie tak sformułowany cel badawczy stawia przed sobą doktorant. Chodzi mu bowiem o w miarę szczegółową analizę „słabo dotychczas rozpoznanych właściwości strukturalnych nieuźebrowanych rozciąganych połączeń kołnierzowych kształtowników zamkniętych o przekroju kołowym przy zastosowaniu metody składnikowej”. Jest to cel niewątpliwie ambitny, zwłaszcza jeżeli odnieść go do dotychczasowych osiągnięć uzyskanych przez innych autorów na tym polu. Potrzebę dokonania tego rodzaju rozpoznania dostrzega również sam recenzent, a zatem nie ma on zastrzeżeń nie tylko do samego sformułowania celu badawczego ale przede wszystkim do proponowanego przez doktoranta zakresu podejmowanych przez niego zadań naukowych. Zakres ten jest w opinii recenzenta nakreślony, a następnie zrealizowany w praktyce, w sposób na tyle obszerny, a przy tym merytorycznie kompletny, że w dalszym toku recenzji, po dokonaniu oceny formalnej uzyskanych osiągnięć, będzie stanowił podstawę do wnioskowania o wyróżnienie pracy, niezależnie od pewnych uwag krytycznych i wątpliwości interpretacyjnych wskazanych poniżej. W klasycznym ujęciu badaniami eksperymentalnym prowadzonym w typowym postępowaniu doktorskim towarzyszy zwykle odniesiona do nich i kalibrowana na ich podstawie mniej lub bardziej złożona analiza numeryczna. Taki zestaw działań podejmowanych przez kandydata uznaje się zwykle za formalnie kompletny i na ogół wystarczający do odpowiednio precyzyjnego i jednoznacznego wnioskowania. W ocenianej dysertacji został on jednak w sposób znaczący poszerzony i wzbogacony. Analizę numeryczną poprzedza tu bowiem prowadzona w sposób hierarchiczny weryfikacja i walidacja poszczególnych parametrów obliczeniowych. Na podstawie tej analizy prowadzi się następnie opracowaną w sposób profesjonalny, a więc zgodny z klasyczną teorią eksperymentu, analizę parametryczną, co samo w sobie zasługuje na podkreślenie, jest bowiem częścią rozważań dość rzadko spotykaną w tego typu opracowaniach. Dociekania doktoranta kończy, zdaniem recenzenta bardzo udana, próba sformalizowania modelu uogólniającego na ten typ połączeń klasyczne zasady podejścia obliczeniowego oparte na dobrze znanych projektantom założeniach typowej metody składnikowej. Wnioskowanie oparte na tak szerokim i merytorycznie bogatym zestawieniu uzyskanych przez doktoranta danych, potraktowanym całościowo, można zatem, w opinii recenzenta, uznać za odpowiednio dobrze uzasadnione formalnie. Można przy tym dyskutować, czy sformułowanie „właściwości strukturalne”, zastosowane przez doktoranta nie tylko w tekście ale i w samym tytule ocenianej dysertacji naukowej, w sposób wystarczająco jasny i czytelny oddaje istotę podejmowanych działań. Recenzent ma tu bowiem dylemat, czy połączenie samo w sobie może mieć specyfikowane dla siebie „właściwości”, nawet te „strukturalne”. „Właściwości” kojarzy się bowiem w jego rozumieniu raczej z rozważanym materiałem, nie z samą konstrukcją. W tym przypadku lepszym określeniem wydaje się być chyba określenie „charakterystyka” połączenia, lub też, ujmując rzecz bardziej precyzyjnie, na przykład jego „parametry strukturalne”. Recenzent nie wie również po co proste i jednoznaczne określenie „rury” zamieniać w tekście na znacznie bardziej wyrafinowaną zbitkę słów „kształtowniki zamknięte o przekroju kołowym”. Autor, z niewiadomych względów, czyni tę zamianę powszechną w opracowanym przez siebie tekście

rozprawy, co w żadnej mierze, zdaniem recenzenta, ani nie uatrakcyjnia wywodu ani też nie czyni go bardziej „sophisticated”. Z podobną zamianą, zdaniem recenzenta zupełnie niepotrzebną, mamy zresztą do czynienia w ocenianej dysertacji również w odniesieniu do samych śrub. Autor z uporem, wielokrotnie, nazywa je bowiem „łącznikami mechanicznymi”, co wydaje się być, niezbyt zresztą udaną i zastosowaną niejako automatycznie, kalką z języka angielskiego. Trzecia uwaga recenzenta dotyczy samego tytułu dysertacji. W obecnym ujęciu w pełni uprawniona wydaje się być między innymi taka jego interpretacja, jakkolwiek niewątpliwie formułowana przez nieorientowanego w temacie czytelnika, zgodnie z którą analizowane połączenia mają być „rozciągane metodą składnikową”. Czytelność tytułu poprawiłoby tu na przykład proste dodanie słowa „dokonywane”, wstawionego tuż przed końcowym sformułowaniem „metodą składnikową”. Naprowadziłoby bowiem czytelnika w sposób jednoznaczny na fakt powiązania metody składnikowej z dokonywaną na jej podstawie oceną, nie zaś z samym faktem rozciągania.

Odnosząc się finalnie do celu badawczego i zakresu zadań formułowanych przez doktoranta, a także do weryfikowanej przez niego tezy naukowej, należy w sposób jednoznaczny skojarzyć podejmowane przez niego wysiłki z próbą opracowania takiego rodzaju modelu obliczeniowego aby mógł on zostać w powszechnym odczuciu uznany właśnie za uogólnienie klasycznej metody składnikowej. Nie chodzi zatem jedynie o sam, mniej lub bardziej zaawansowany sam w sobie, nowy model obliczeniowy, ale raczej, co znacznie trudniejsze, o wpasowanie tego modelu w ramy podejścia dobrze już rozpoznanego przez projektantów, tyle że stosowanego w praktyce jak dotąd jedynie w odniesieniu do połączeń doczołowych stalowych elementów dwuteowych, na ogół typowych dla styków łączących rygle ze słupami w stalowych szkieletach budynków. Doktorant pisze, że uogólnione podejścia obliczeniowe tego typu, proponowane dotychczas, mogą zostać uznane za w miarę wiarygodne dla doczołowych kołnierzowych, osiowo rozciąganych styków śrubowych, łączących elementy rurowe, jedynie w przypadku zastosowania do ich konstrukcji rur o odpowiednio dużych średnicach (na przykład takich jakie są stosowane powszechnie w przewodach kominów stalowych). W analizowanych w ocenianej rozprawie połączeniach kołnierzowych, stosowanych typowo w konwencjonalnych obiektach typu wieżowego, o stalowym ustroju nośnym, średnice łączonych ze sobą rur są jednak z reguły znacząco mniejsze. Są one przy tym na tyle małe, że krzywizna takiej rury, dodatkowo usztywnionej kołnierzem, ma zasadniczy wpływ na globalną deformację całego styku, obserwowaną w nim po przyłożeniu obciążenia. Wydaje się zatem, że stosowane dotychczas modele obliczeniowe nie pozwalają na dostatecznie wiarygodne szacowanie nośności i sztywności rozważanego połączenia, w tym w szczególności jego „właściwości strukturalnych”, co zresztą doktorant finalnie wykazuje w swojej rozprawie. Wynika stąd nagląca potrzeba opracowania na tym polu bardziej wiarygodnych modeli formalnych, dostosowanych w większym stopniu do osiowo rozciąganych styków stalowych rur o mniejszych średnicach. Doktorant stawia przed sobą do ewentualnego potwierdzenia tezę zakładającą, że zarówno nośność jak i sztywność tego typu połączeń można z odpowiednią dla oceniającego precyzją szacować dzięki zastosowaniu do ich analizy zastępczego modelu mechanicznego stanowiącego uogólnienie modelu typowego dla klasycznej metody składnikowej. W opinii recenzenta, dzięki przeprowadzonym w swoim postępowaniu badaniom a także dzięki towarzyszącym tym badaniom analizom, udało się autorowi ocenianej rozprawy w dużej mierze wykazać słuszność tak sformułowanej tezy.

### **3. Uwagi dotyczące kompozycji pracy.**

Przedstawiona do oceny rozprawa jest opracowaniem zwartym liczącym 186 stron bogato ilustrowanego i starannie opracowanego pod względem edytorskim tekstu wraz z zamieszczonym na początku spisem treści oraz z kończącym wywód wykazem cytowanej literatury. Wykaz ten liczy 89 pozycji uporządkowanych w kolejności alfabetycznej (w tym

między innymi zawiera odniesienia do 16 norm przedmiotowych). Doktorant przywołuje w tym spisie zarówno prace krajowe jak i międzynarodowe, w tym w znacznej mierze te opublikowane przez ich autorów w ostatnich latach. Przywołania te są w każdym przypadku jednoznacznie powiązane z tematyką poruszaną w pracy. Z tego względu zarówno obszerność samego spisu jak i zakres tematyczny cytowanej w nim literatury nie budzą zastrzeżeń recenzenta. Tekst rozprawy kończą streszczenia napisane w języku polskim i w języku angielskim.

Dużą wartość poznawczą mają wydzielone z pracy i odpowiednio oznaczone załączniki, spisane na 54 dodatkowych stronach rozprawy i dołączone do tekstu wywodu. Zarówno sama idea ich przygotowania jak i staranny sposób ich opracowania świadczą o dużej dbałości autora pracy o wygodę jej czytelnika, co należy w tym miejscu podkreślić. Taki sposób uporządkowania a zarazem prezentacji wyników daje bowiem nie tylko odpowiednią jasność i czytelność przekazu ale przede wszystkim pozwala czytającemu na jednoznaczną i precyzyjną orientację w odbiorze tekstu i podanych w nim informacji. Docenić trzeba również w tym względzie wykaz ważniejszych oznaczeń zamieszczony przed rozpoczęciem wywodu, bezpośrednio po spisie treści.

Podstawowy wywód merytoryczny został zorganizowany w 8 rozdziałach, dając w efekcie, w ocenie recenzenta, przekaz formalnie spójny i merytorycznie kompletny. Zwraca uwagę dość nietypowy dla konwencjonalnych dysertacji układ poszczególnych rozdziałów. Teza naukowa, cel i zakres pracy są tu bowiem ujawnione czytelnikowi dopiero na początku rozdziału 3 dysertacji, a więc po 73 stronach wcześniejszej lektury zawierającej od autorski komentarz doktoranta dotyczący zidentyfikowanych przez niego na interesującym go polu badawczym podejść obliczeniowych dotychczas stosowanych w praktyce projektowej. Recenzent w pełni akceptuje taki porządek prezentacji. Docenia bowiem antycypowane przez niego dążenie autora rozprawy aby wyraźnie rozdzielić to, co w tekście jest odtwórcze i kompilacyjne, stanowiące jedynie komentarz do już istniejących rozwiązań obecnych w literaturze przedmiotu od tego co stanowi oryginalny wkład tegoż autora do rozwiązania postawionego przed nim zadania naukowego. Co więcej, zdaniem recenzenta, taka kompozycja wywodu, zastosowana w praktyce, w dużym stopniu potwierdza dojrzałość autora w formatowaniu budowanego przez siebie przekazu. Nie daje się on bowiem wciągać w utarte szablony ale raczej poszukuje własnego środka wyrazu, dzięki czemu osiąga lepszy efekt informacyjny.

Recenzenta razi jednak pewna maniera doktoranta, który wielokrotnie w tekście pracy najpierw informuje czytelnika o danym, uzyskanym przez siebie, wyniku, szeroko go zresztą komentując, a dopiero później informuje tego czytelnika o tym, jak do tego wyniku doszedł, prowadząc go przez kolejne kroki zastosowanej przez siebie procedury obliczeniowej. Taki sposób pisania w znacznej mierze zaburza spodziewany przez odbiorcę pracy pewien ciąg przyczynowo – skutkowy, dzięki któremu może on przyswajając dostarczaną mu wiedzę poruszając się w ustalonym kierunku, w którym wychodzi od ogólnych założeń i w kolejnych krokach, po wielu następujących po sobie przekształceniach, dąży do uzyskania wiedzy na temat szczegółowych rozwiązań.

Za pewną słabość zastosowanej przez doktoranta kompozycji wywodu można również uznać zidentyfikowane przez recenzenta w tekście rozprawy wielokrotne powtarzanie odniesień do tych samych, cytowanych już wcześniej, badań doświadczalnych. Nie zawsze tego typu podejście ma bowiem logiczne uzasadnienie a często prowadzi po prostu do zupełnie zbędnego, kilkukrotnego powtarzania tych samych informacji. Wydaje się, że zamiarem autora było opisanie przywoływanych przez siebie badań najpierw w sposób bardzo ogólny (tak jak to zrobił na przykład w rozdziałach 2.2 i 2.3), a następnie powrócenie do ich opisu po raz kolejny, dopiero po wielu stronach tekstu, za to z odniesieniem do każdego z nich w sposób zdecydowanie bardziej szczegółowy. Wynikiem tego typu podejścia jest dość dojmujący dla czytelnika pracy brak rysunków, które, zdaniem recenzenta, powinny zostać zamieszczone w

przywołanych powyżej rozdziałach 2.2 i 2.3 ocenianej dysertacji. Ułatwiłyby one bowiem w dużym stopniu interpretację podawanych w tym miejscu informacji. Sprawę dodatkowo komplikuje brak w tej części pracy kompletności opisów oznaczeń poszczególnych symboli stosowanych w formułach zamieszczonych przez autora w tych rozdziałach (tak jest na przykład w odniesieniu do formuł (2.8) i (2.9)). Nie zawsze pomaga w tych przypadkach proste powołanie się na spis oznaczeń zamieszczony na początku rozprawy lub też na rysunki z załączników. Czytelnik nie spodziewa się jednak, że rysunek którego oczekuje w tym miejscu faktycznie znajduje się w opracowanej przez doktoranta pracy. Umieszczono go jednak kilka stron dalej, na przykład w bogato już ilustrowanym rozdziale 2.4, gdzie autor odnosi się do tego rysunku po raz kolejny. Konkludując, recenzentowi nie chodzi o kilkukrotne powtarzanie tych samych rysunków w różnych miejscach pracy. Wskazane jest jednak uzupełnienie i uporządkowanie stosowanych przez autora odniesień do tych rysunków. W wielu miejscach brak tego typu odniesienia wydaje się być bowiem szczególnie dojmujący.

#### **4. Ocena przeprowadzonych przez doktoranta badań eksperymentalnych i sposobu ich interpretacji.**

Fakt zrealizowania przez doktoranta badań eksperymentalnych prowadzonych w dość szerokim zakresie trzeba ocenić szczególnie wysoko. Były to bowiem badania nietrywialne, nakierowane na potwierdzenie występowania w tego typu połączeniach redystrybucji sił wewnętrznych warunkowanych realizacją tak zwanego efektu dźwigni. Efekt ten zachodził przy tym w różny sposób, zależny od obserwowanej w praktyce formy zniszczenia węzła. Zniszczenie to mogło być wynikiem samego tylko zniszczenia śrub, lub też, co znacznie bardziej prawdopodobne, interakcji odpowiedzi mechanicznej śrub i deformacji sprężysto – plastycznej kołnierza usztywnianego na brzegu przez ścianę zespawanej z tym kołnierzem rury stalowej. Deformacja plastyczna kołnierza mogła mieć w takiej sytuacji charakter globalny, z załomem plastycznym ujawniającym się na całym obwodzie tego kołnierza, albo też występować lokalnie w sąsiedztwie pojedynczej śruby lub ewentualnie grupy śrub. Podstawowym celem badania było zatem nie tylko oszacowanie wartości odpowiedniego współczynnika uznawanego za miarę przyrostu siły w śrubach, spowodowanego efektem dźwigni, ale również identyfikacja towarzyszącej temu współczynnikiowi formy zniszczenia.

W opisie przeprowadzonych przez siebie badań doktorant szeroko rozpisuje się na temat przygotowania kolejnych próbek a w szczególności nad sposobem ich opomiarowania. Opisuje również w miarę precyzyjnie samą ideę przeprowadzenia badania i przyjęty przez siebie sposób interpretacji uzyskanych wyników. Badania dotyczyły najpierw ustalenia charakterystyk wytrzymałościowych samych śrub, w gatunkach wykorzystanych do budowy poszczególnych elementów próbnych, a także analogicznych parametrów odniesionych do poszczególnych blach kołnierzowych. Szczególną wartość poznawczą recenzent przyznaje jednak badaniom eksperymentalnym odwzorowanych w maszynie wytrzymałościowej rozciąganych modeli węzłów. Analiza wykresów z rys. 4.22 upoważnia do akceptacji założenia o ich osiowym obciążeniu. Zestawienie wyników z tabeli 4.4 wskazuje natomiast na obserwację w wielu przypadkach realnego działania w śrubach ich znaczącego przeciążenia powodowanego efektem dźwigni. Zakres zmienności uzyskanych na tym polu oszacowań wydaje się jednak stosunkowo duży, a kwestia kojarzenia poszczególnych wyników z zaobserwowanymi w praktyce formami zniszczenia połączenia jest nadal trudna do jednoznacznego uchwycenia.

Doktorant wskazuje w swoim opisie na dwa alternatywne sposoby pomiaru siły w śrubie, pierwszy, tradycyjny, oparty na wykorzystaniu czujnika CL20, i drugi, alternatywny, prowadzony techniką ultradźwiękową. Porównanie wyników uzyskanych obiema drogami byłoby w tym przypadku niezmiernie ciekawe i interesujące poznawczo. Niestety, doktorant szybko studzi oczekiwania recenzenta pisząc: „w niniejszej pracy nie wykorzystano wyników prowadzonych (w ten sposób – przyp. recenzenta) pomiarów, ze względu na pewne

rozbieżności w uzyskanych wartościach sił, zwłaszcza w śrubach, w których na skutek deformacji giętej blach czołowych następowało ich zginanie (nie wiadomo czy w tym zdaniu słowo „ich” dotyczy blach czołowych czy też samych śrub – przyp. recenzenta)”. Sformułowanie takie recenzent traktuje jako taktyczny unik doktoranta, niemniej jednak z zainteresowaniem będzie oczekiwał bardziej dokładnego skomentowania zauważonych w tym względzie rozbieżności w czasie publicznej obrony. Autor, jak na razie, odsyła w tej sprawie recenzenta dając w tekście stosowny odnośnik kierujący go do pracy [54]. Jest to jednak opracowanie, którego sam doktorant nie jest nawet współautorem (artykuł autorstwa zespołu P. Nazarko i L. Ziemiański z 2017 roku), czego, niestety, nie zaznaczono w sposób jednoznaczny we wcześniejszym akapicie tekstu.

Sprawą kluczową dla finalnego skomentowania przez recenzenta tego rozdziału ocenianej rozprawy wydaje się być kwestia ilościowej interpretacji wyników zamieszczonych najpierw w tabeli 4.5 a następnie zilustrowanych na rys. 4.25. Doktorant pisze bowiem: „spośród przyjętych do porównania podejść obliczeniowych największą zgodność z wynikami badań doświadczalnych wykazuje metoda Łaguny”. Recenzent nie podziela tej opinii. W świetle zaprezentowanych wyników przeprowadzonych przez autora badań doświadczalnych ocena nośności złącza uzyskana po zastosowaniu metody Łaguny jest w większości przypadków bardzo znacząco przeszacowana. To przeszacowanie, co zresztą pokazuje sam doktorant, dochodzi nawet do 100%. Jest to przy tym błąd popełniany po stronie niebezpiecznej, a więc daje użytkownikowi złudne lecz nieprawdziwe przekonanie co do gwarantowanego mu poziomu bezpieczeństwa. Nie można zatem twierdzić, że przeprowadzone badania potwierdziły dużą wiarygodność tej metody szacowania nośności. W opinii recenzenta tę przydatność raczej w znacznej mierze zanegowały. Trzeba przy tym podkreślić fakt „bezpiecznego” niedoszacowania uzyskanej z badań eksperymentalnych nośności po zastosowaniu pozostałych, porównywanych ze sobą metod obliczeniowych. Proszę o szerszy komentarz autora rozprawy w tej sprawie, odniesiony do wyników zaprezentowanych na rys. 4.25 i przedstawiony wszystkim zainteresowanym w czasie publicznej obrony.

## **5. Komentarz do zastosowanego przez doktoranta modelu numerycznego.**

Kolejnym rozdziałem ocenianej rozprawy, decydującym o wartości i oryginalności zaproponowanego w niej podejścia analitycznego, jest rozdział 5, w którym autor przedstawia podstawy zbudowanego przez siebie modelu numerycznego a następnie demonstruje sposób walidacji podstawowych parametrów tego modelu oraz interpretacji wyników uzyskanych po jego zastosowaniu. Jak sam zaznacza, do budowy modelu wykorzystuje on pakiet MES ADINA. Ze względu na liczne symetrie zastosowany model odwzorowuje w trzech wymiarach jedynie wycinek całego połączenia, mieszczący w sobie część blachy kołnierzowej wraz z przylegającym do tej blachy fragmentem dospawanej do niej ścianki rury. Doktorant pisze, że podstawowe elementy skończone wykorzystane do budowy modelu to dwudziestosięmiwęzłowe elementy bryłowe. Niestety, w żadnym z rozpatrywanych przypadków nie odnosi się ani do liczby zastosowanych elementów ani też do czasu potrzebnego do wykonania stosownych obliczeń. Opisuje za to w sposób dostatecznie precyzyjny kolejne kroki sekwencyjnego procesu obciążania modelu. Nie jest do końca jasne w jaki sposób modelowano przy tym warunki brzegowe na styku blachy kołnierzowej ze sztywną płytą (które składowe przemieszczenia były na tym styku blokowane a które nie). Doktorant pisze, że uwzględniał tarcie pomiędzy łbem śruby a blachą kołnierza. Na rys. 5.4 widać, że w tym miejscu znajduje się podkładka. Czy oznacza to uwzględnianie tarcia zarówno pomiędzy łbem śruby i tą podkładką jak i pomiędzy tą podkładką a blachą kołnierzową, czy jedynie w jednej z tych płaszczyzn? Jeżeli tylko w jednej, to na której z nich i dlaczego na tej? W opisie modelu nie ma ani słowa na temat parametrów zastosowanych przez doktoranta do

modelowania spoiny. Czy modelowano ją w sposób analogiczny do stali z której wykonano elementy węzła? Czy w jakikolwiek sposób odwzorowywano podatność połączenia pomiędzy spoiną a łączonymi nią elementami stalowymi, czy też traktowano to połączenie jak fragment węzła o pełnej sztywności? Recenzent uznaje również za poprawny, ze względu na konieczny w tej analizie stopień uproszczenia, sposób modelowania oddziaływania pomiędzy gwintem śruby i gwintowaną powierzchnią otworu jedynie przez strefę kontaktu.

Te drobne uwagi nie umniejszają w żaden sposób wysokiej oceny recenzenta co do przydatności zbudowanego przez doktoranta modelu do odpowiednio wiarygodnego wnioskowania na temat nośności i sztywności analizowanego tym modelem połączenia. O tej przydatności w opinii recenzenta decyduje bowiem w największym stopniu staranna walidacja parametrów budowanego modelu, poprowadzona w sposób hierarchiczny, zgodnie z rekomendacjami normowymi i zasadami sztuki inżynierskiej. Wyniki uzyskane z obliczeń numerycznych wydają się dobrze współgrać z odpowiadającymi im wynikami uzyskanymi na podstawie badań doświadczalnych. Odnosi się to zarówno do oszacowania sztywności połączenia jak i do ilościowej i jakościowej identyfikacji wpływu powodowanego przez efekt dźwigni. Potwierdzeniem takiej konstatacji są dane zestawione w tabeli 5.3 a także odpowiednie wykresy oznaczone numerami 5.20a i 5.20b. Nieco gorszą zgodność wyników uzyskano w tym zestawieniu w odniesieniu do oszacowań sztywności początkowej badanych połączeń. W tym przypadku sztywność szacowana numerycznie była z reguły znacząco większa od tej, którą dla tego samego połączenia uzyskiwano na podstawie badań doświadczalnych. Dla recenzenta tego rodzaju efekt nie wydaje się niespodzianką. Tego typu zróżnicowanie jest bowiem często obserwowane w modelowaniu numerycznym. Uzyskane tą drogą wyniki należy zatem traktować z pewną dozą krytycyzmu a przy tym także niezbędnego do ostatecznego wnioskowania dystansu.

## **6. O aplikacyjnej wartości uzyskanych wyników.**

W opinii recenzenta już samo zestawienie przeprowadzonych przez doktoranta badań doświadczalnych i odniesionych do tych badań symulacji numerycznych, skojarzone z próbą uogólnienia wnioskowania przez odpowiednią interpretację wyników, byłoby materiałem wystarczającym do poparcia wniosku o dopuszczenie autora rozprawy do publicznej obrony. W tym przypadku autor ten idzie jednak znacząco dalej, co należy szczególnie podkreślić. Stawia bowiem przed sobą kolejne cele dążąc do tego aby uzyskanym dotąd wynikiom nadać walor aplikacyjny. W kolejnych rozdziałach opracowanej przez siebie dysertacji tworzy zatem zręby klasycznej analizy parametrycznej badając jak potencjalne uproszczenia modelu numerycznego mogą wpływać na finalne oszacowania nośności i sztywności połączenia. Takie podejście daje mu możliwość znacznego poszerzenia dostępnej do wnioskowania populacji wyników bez znaczącego ubytku ich wiarygodności. Próbuje nawet, choć chyba bez większego powodzenia, opisać uzyskane przez siebie relacje odpowiednimi wielomianami aproksymującymi. Sam jednak przyznaje, że ewentualne ich zastosowanie w praktyce inżynierskiej, ze względu na złożoność zapisu, wydaje się bardzo niepraktyczne, a zatem mało prawdopodobne.

Podjęciem zdecydowanie bardziej praktycznym wydaje się być natomiast próba skojarzenia uzyskanych przez doktoranta wyników z regułami klasycznej metody składnikowej. Sformułowane w tej części rozprawy zalecenia dają projektantom stosunkowo proste i dość czytelne w fizycznej interpretacji rekomendacje co do budowy zastępczego modelu mechanicznego badanego węzła. Model ten, w odczuciu recenzenta, opisuje pracę analizowanego w pracy połączenia w sposób znacząco bardziej precyzyjny w zestawieniu z analogicznymi modelami tego typu stosowanymi dotychczas. Szczególnie dobrą zgodność doktorant uzyskuje przy tym, choć nie w każdym przypadku, przy ilościowym szacowaniu wpływu na tę pracę efektu dźwigni (patrz rys. 7.17). Zgodność odniesiona do oszacowania



początkowej sztywności połączenia jest już jednak wyraźnie słabsza (rys. 7.18 i 7.19), co zdaniem recenzenta (jak zaznaczono wcześniej) nie jest niespodzianką. Niemniej jednak, odnosząc uzyskane w ten sposób oceny sztywności badanego w pracy połączenia do analogicznych oszacowań, uzyskanych na podstawie modeli dotychczas stosowanych w praktyce inżynierskiej, trzeba uznać, że i na tym polu odnotowano znaczący postęp. Recenzent chce jednak podkreślić, że przełożenie uzyskanych przez doktoranta wyników, zarówno tych jakościowych jak i tych ilościowych, z zapisów ogólnych, prezentowanych na ogół jedynie w publikowanych w małym nakładzie tabelach i towarzyszących im wykresach, na zapisy o innym charakterze, takie które są kojarzone z klasyczną metodą składnikową, powszechnie już stosowaną i chyba coraz lepiej przyswajaną przez projektantów, w sposób istotny zwiększa możliwość ich praktycznego wdrożenia i aplikacji na szerszą skalę. Dzięki tej formie prezentacji łatwiej bowiem o ich ewentualne wprowadzenie do różnego typu specjalistycznych rekomendacji i wytycznych, a przede wszystkim do przyszłych, odnowionych w stosunku do obecnych, zapisów normowych.

### **7. Próba podsumowania.**

W podsumowaniu do niniejszej recenzji należy zauważyć, że doktorant opracował i formalnie zweryfikował oryginalne narzędzie badawcze pozwalające na w miarę wiarygodne szacowanie nośności i sztywności pewnego typu śrubowego, doczołowego, osiowo rozciąganego połączenia kołnierzewego. Wykazał przy tym, że zaproponowany przez niego model numeryczny, kalibrowany na podstawie wyników uzyskanych w badaniach doświadczalnych, jest użyteczny do tego typu ocen nie tylko w odniesieniu do klasycznych połączeń kołnierzowych ale również do połączeń z pełną blachą czołową, zarówno sprężanych jak i niesprężanych. Dodatkowym efektem podjętych badań było formalne potwierdzenie występowania w tego typu połączeniach efektu dźwigni dociążającego śruby a także, w dużym stopniu, ilościowa weryfikacja tego wpływu. W swych rozważaniach analizowano jednak jedynie połączenia o idealnej geometrii (geometria ta była nawet intencjonalnie idealizowana w badaniach doświadczalnych). W praktyce inżynierskiej w większości tego typu połączeń należy spodziewać się wystąpienia imperfekcji montażowych, głównie geometrycznych. Recenzent rekomenduje doktorantowi przeprowadzenie w przyszłości analogicznych analiz odniesionych do tego typu połączeń ale z wprowadzonymi do nich imperfekcjami o charakterze imperfekcji zastępczej. Wydaje się bowiem, że taka imperfekcja zmieni w sposób znaczący realną ścieżkę równowagi a to bez wątpienia wpłynie na korektę zarówno nośności jak i sztywności analizowanego połączenia. Byłbym wdzięczny za krótki komentarz doktoranta na temat wpływu różnego rodzaju imperfekcji na realną pracę badanego przez niego połączenia, przedstawiony w ramach publicznej obrony.

Po szczegółowym rozważeniu wszystkich „za” i „przeciw” recenzent uznaje, że zakres przeprowadzonych przez doktoranta analiz jest „ponadnormatywnie” obszerny a sposób ich interpretacji niewątpliwie oryginalny i interesujący poznawczo. Wywód merytoryczny jest przy tym formalnie spójny i merytorycznie kompletny a uzyskane wyniki mają znaczną wartość aplikacyjną. Upoważnia go to zatem do wniesienia do Rady Dyscypliny „Inżynieria Lądowa i Transport” na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Lądowej i Architektury Politechniki Rzeszowskiej wniosku o wyróżnienie rozprawy. Oczywiście wniosek ten „nabierze mocy prawnej” dopiero po ewentualnym przyjęciu tej rozprawy przez Radę Dyscypliny podczas publicznej obrony. Za takim wnioskiem recenzenta przemawiają następujące argumenty:

- efektywne wzbogacenie typowego zestawu analiz łączącego w sobie rozważania na temat dotychczasowego stanu wiedzy z oryginalnymi poznawczo badaniami doświadczalnymi a także z kalibrowanymi dla wyników uzyskanych z tych badań symulacjami numerycznymi o dodatkowe analizy, w tym w szczególności analizę parametryczną i porównawczą analizę modelową,



- nowatorskie w swoim ujęciu doświadczalne potwierdzenie realizacji w badanych połączeniach efektu dźwigni dociążającego śruby i oszacowanie stopnia istotności tego wpływu,
- wykazanie, że dotychczas stosowane w praktyce inżynierskiej modele obliczeniowe pomimo relatywnie dużego stopnia ich złożoności nie prowadzą do wiarygodnych oszacowań nośności i sztywności rozważanego połączenia, zwłaszcza w przypadku połączeń łączących elementy wykonane z rur o małych średnicach.

#### **8. Wniosek końcowy.**

Uwzględniając wszystkie argumenty za i przeciw rozpatrzone w niniejszej recenzji uważam że oceniana rozprawa w wystarczającym stopniu 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 doktoranta do publicznej obrony.

