

Prof. dr hab. inż. Marian Giżejowski, prof. zw. PW
Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej
al. Armii Ludowej 16
00-637 Warszawa
e-mail: m.gizejowski@il.pw.edu.pl

Warszawa, 5.03.2021 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Pawła Kaweckiego pt. *Stany graniczne nośności wielośrubowych styków doczołowych dźwigarów spawanych*

1. Podstawa opracowania

Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dnia 9 grudnia 2020 roku (pismo przewodniczącego prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego z dnia 14 grudnia 2020 roku).

2. Zawartość rozprawy doktorskiej

Rozprawa zawarta jest na 200 stronach komputeropisu części podstawowej, do której dołączono dwa załączniki: Załącznik A *Obliczenia połączeń* (o objętości 82 stron) oraz Załącznik B *Dodatkowe dane materiałowe* (o objętości 12 stron). Podstawowa część rozprawy zawiera oznaczenia, 8 rozdziałów, a także bibliografię podzieloną na literaturę (84 pozycje) oraz normy i wytyczne (73 pozycje).

Rozdział 1: Streszczenia, o objętości 4 stron, zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim.

Rozdział 2: Wstęp, o objętości 2 stron, zawiera omówienie celu i zakresu pracy. Celem pracy było zbadanie eksperymentalne i numerycznie rozkładu sił wewnętrznych w wielośrubowych stykach doczołowych dwuteowych blachownic spawanych, walidacja modeli numerycznych na podstawie zachowania się styków elementów stalowych badanych doświadczalnie, weryfikacja wyników uzyskanych z modeli analitycznych na podstawie porównania z wynikami uzyskanymi z analiz numerycznych. Zakres badań doświadczalnych, numerycznych i analitycznych zawężony został do oceny stanów granicznych nośności styków z większą niż 2 liczbą wewnętrznych szeregów śrub w strefie rozciąganej oraz o liczbie śrub równej 2 lub większej w szeregach przyległych do pasa rozciągającego. Sformułowano tezę i metodykę weryfikacji założonej tezy. Tezę pracy sformułowano trafnie jako ogólne stwierdzenie, że rozkład sił wewnętrznych w styku na poszczególne szeregi śrub w stykach doczołowych jest zależny od rozkładu sił wewnętrznych w elementach łączonych i od sztywności blachy czołowej w poszczególnych króćcach, a nie od nośności tych szeregów. Celem szczegółowym badań zrealizowanych w rozprawie doktorskiej było opracowanie propozycji modyfikacji modeli analitycznych nośności styków obliczanych zgodnie z eurokodową metodą składnikową, z uwzględnieniem specyfiki zachowania się styków blachownic wysokich.

Rozdział 3: Stan wiedzy na temat połączeń doczołowych, o objętości 46 stron (w tym 34 rysunków i 5 tabel), zawiera:

1. Omówienie stosowanych w praktyce śrubowych węzłów i styków doczołowych, bogato ilustrowane zdjęciami i szkicami.
2. Przegląd literatury wraz z zakresem zrealizowanych badań doświadczalnych i analiz numerycznych oraz syntezą propozycji opracowanych modeli analitycznych służących do oceny rozkładu sił w śrubach oraz stanów granicznych nośności śrub i blach czołowych.
3. Syntezę aktualnego stanu wiedzy z zakresu metod obliczania śrubowych węzłów i styków doczołowych, prezentowanego zarówno w literaturze, jak i w normach projektowania konstrukcji stalowych.

Rozdział kończy jest podsumowaniem, w którym stwierdzono, że stosowanie eurokodowej metody składnikowej prowadzi do „zbyt optymistycznej oceny nośności styków”. Twierdzenie to wydaje się zbyt uogólniające. Autor podał zakres stosowalności eurokodowej metody składnikowej w wersji ujętej w PN-EN 1993-1-8, wynikający z założeń przyjętych tamże do budowy modelu obliczeniowego. Autor wskazał poprawnie efekty, które nie zostały ujęte w wersji metody składnikowej ujętej w PN-EN 1993-1-8.

Rozdział 4: Badania doświadczalne, o objętości 54 stron (w tym 60 rysunków i 9 tabel), jest jednym z trzech zasadniczych rozdziałów pracy. Zawiera szczegółowe informacje dotyczące badań doświadczalnych, do których należą: opis zakresu badań i zestawienie elementów próbnych, opis stanowiska badawczego, przygotowanie elementów próbnych oraz oprzyrządowanie do pomiaru przemieszczeń i odkształceń w charakterystycznych punktach badanych elementów. Przedstawiono opracowanie wyników badań w formie przydatnej do walidacji modelu numerycznego GMNA metody elementów skończonych. Badania dotyczyły wielośrubowych styków blachownic spawanych, mianowicie dwóch styków z blachą czołową wystającą o wysokości 1500 mm, szerokości 430 mm i grubości 16 mm, różniących się rozmieszczeniem śrub przy pasie rozciągającym oraz dwóch styków o tym samym rozmieszczeniu śrub w styku, z blachą czołową wystającą o wysokości 1000 mm i szerokości 430 mm, ale różniących się grubością blach czołowych, mianowicie 16 mm i 20 mm. Organizację i metodologię badań oceniam wysoko w aspekcie pozyskania informacji potrzebnych do walidacji modelu numerycznego, a także przydatnych do oceny wiarygodności eurokodowego modelu analitycznego w zastosowaniu do styków blachownic wysokich. Na szczególne podkreślenie zasługują następujące elementy badań:

1. Ocena właściwości śrub w stykach sprężonych i niesprężonych na podstawie badań śrub pełnowymiarowych i próbek wytoczonych.
2. Wiarygodna metoda pomiaru sił w śrubach na podstawie tensometrów wklejonych w otworach wierconych przez łeb śrub.
3. Przedstawienie wyników badań w formie wykresów bezpośrednio przydatnych do walidacji modelu numerycznego na podstawie próby odtworzenia zależności uzyskanych doświadczalnie i odnoszących się nie tylko globalnej odpowiedzi elementu próbnego

(przemieszczeń wybranych punktów), ale przede wszystkim lokalnej odpowiedzi elementów składowych styku (sił w śrubach, rozwarcia styku blach czołowych).

Rozdział kończy się wnioskami. W podsumowaniu wyników badań doświadczalnych podano, że rozpoznano nie tylko rzeczywisty rozkład sił w śrubach styków w zależności od konfiguracji łączników i grubości blach, ale również form zniszczenia styków. Z uwagi na ograniczony zakres badań doświadczalnych sformułowano tezę, że rozkład sił w śrubach poszczególnych szeregów zależy od sztywności blachy czołowej i odległości od strefy docisku blach, a rozkład sił w śrubach szeregu od sztywności blachy czołowej w miejscach ich osadzenia. Tezę tę Autor weryfikował na podstawie wyników z późniejszych analiz parametrycznych z wykorzystaniem zwalidowanego modelu numerycznego MES.

Rozdział 5: Modele MES styków badanych doświadczalnie, o objętości 22 stron (w tym 26 rysunków i 6 tabel), jest drugim z kolei zasadniczym rozdziałem pracy. Zawiera szczegółowe informacje dotyczące budowy modelu numerycznego i jego walidacji na podstawie wyników zrealizowanych badań doświadczalnych. Walidacja hierarchiczna dotyczyła elementów składowych styków, takich jak materiał łączników i blach czołowych, a także odniosła się do adekwatności modelowania zachowania się śruby w próbie rozciągania, w którym pomija się dokładne odtworzenie części gwintowanej trzpienia śruby i jej wpływu na sztywność i nośność połączenia trzpienia śruby i nakrętki w styku. Walidacja modelu numerycznego dotyczyła:

1. Oceny stopnia wiarygodności rozkładu sił w śrubach i naprężeń w strefie rozciąganej środkiem blachownic.
2. Ewolucji rozwarcia blach czołowych w strefie rozciąganej styku.

Uzyskano zadowalającą zgodność wyników uzyskanych z analizy MES i badań doświadczalnych. W doświadczeniach nie monitorowano rozwoju stref docisku blach czołowych naprężeń. Nie dokonano też walidacji na podstawie ścieżek równowagi dotyczących globalnej odpowiedzi elementów próbnych na realizowany program obciążenia. Mimo tych braków, kryteria przyjęte do oceny poprawności budowy modelu numerycznego oceniam pozytywnie, a dokonane analizy jako spełniające kryteria walidacji hierarchicznej.

Rozdział kończy się wnioskami dotyczącymi walidacji modelu numerycznego oraz oceną adekwatności eurokodowego modelu oceny nośności w zastosowaniu do śrubowych styków blachownic, w których występuje wiele szeregów łączników mechanicznych.

Rozdział 6: Analiza parametryczna modeli MES styków doczołowych, o objętości 32 stron (w tym 10 rysunków i 26 tabel), przedstawia wyniki symulacji numerycznych 55 wirtualnych modeli styków w celu uzyskania informacji na temat wpływu różnych czynników na rozkład sił w śrubach i nośność, które nie mogły być szerzej zbadane na modelach fizycznych, z uwagi ograniczenia wynikające z kosztów szerzej zakrojonych badań eksperymentalnych. Podejście polegające na badaniach doświadczalnych, które są przeprowadzone w węższym zakresie w celu walidacji modelu numerycznego, a następnie wykorzystanie zwalidowanego modelu numerycznego do szerszych analiz parametrycznych jest obecnie przyjmowane jako

standardowe podejście w badaniach naukowych. Autor analizował wpływ takich czynników jak:

- wpływu liczby szeregów śrub na rozkład sił i nośność styków,
- wpływu grubości blach czołowych i gatunku stali,
- wpływu wysokości blachy czołowej (wystająca, wpuszczana),
- wpływu sprężenia na rozkład sił i ocenę nośności styków (styki sprężone i niesprężone),
- wpływu żeber pionowych w części wystającej i/lub żeber poziomych usztywniających blachy czołowe na rozkład sił i nośność styków.

Na podstawie przeprowadzonych analiz, Autor sformułował wnioski praktyczne o charakterze jakościowym. Analizowano blachy czołowe o grubości od 14 mm do 30 mm. Należy zaznaczyć, że styki z blachami „cienkimi”, o stosunku t_p/d znacząco mniejszym od jedności, charakteryzują się mechanizmem deformacji blach czołowych, w których ujawnia się stan membranowy. Model numeryczny powinien uwzględniać wspomniany efekt.

Rozdział kończy się wnioskami praktycznymi, które odnoszą się do wpływu różnych czynników na nośność i sztywność styków uwzględnianych w analizach parametrycznych. W podsumowaniu zwrócono uwagę na konieczność sprężania styków w celu zredukowania wpływu odchyłek wykonawczych i uniknięcia mechanizmów nagłego zniszczenia przy obciążeniach wielokrotnie zmiennych.

Rozdział 7: Ocena stosowania metody składnikowej wg normy PN-EN 1993-1-8 w odniesieniu do styków wysokich belek w świetle wyników badań i analiz MES, o objętości 14 stron (w tym 11 tabel), zawiera uwagi dotyczące dokładności eurokodowej metody składnikowej w odniesieniu do styków belek wysokich oraz przedstawia propozycję udoskonalenia eurokodowej metody składnikowej (CM). Zaproponowano:

1. Zmodyfikowaną metodę składnikową (MCM), z redukcją nośności króćców o modelach zniszczenia 2 i 3, przyległych do środka i pasa rozciąganego, w zależności od liczby śrub w szeregu oraz typu styku (blacha wystająca, blacha wpuszczana).
2. Metodę sztywności i obrotu (SRM), z redukcją nośności szeregów śrub, zależnie od położenia w stosunku do para rozciąganego i kierunku rozdziału sił.

W podsumowaniu przedstawiono ocenę nośności styków rozważanych w rozprawie stwierdzając, że zaproponowane modele obliczeniowe pozwalają na wiarygodne oszacowanie nośności wielośrubowych styków belek i blachownic wysokich. W uwagach końcowych przedstawiono zalecenia projektowe.

Rozdział 8: Wnioski końcowe, o objętości 4 stron, zawiera podsumowanie wyników badań przedstawionych w rozprawie, w kontekście nakreślonego celu badań i sformułowanej na wstępie tezy. Zamieszczono wnioski końcowe oraz wskazano kierunki dalszych badań w celu poszerzenia symulacji numerycznych o ilościową ocenę wpływu czynników nie uwzględnionych w rozprawie, a mających istotny wpływ na odkształcalność i obciążenie graniczne styków, m.in. wpływu klasy śrub w stykach niesprężonych, śrub z gwintem na całej długości w stykach sprężonych.

3. Ogólna ocena rozprawy

3.1. Tematyka

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy aktualnej tematyki nośności, odkształcalności oraz form zniszczenia śrubowych połączeń styków doczołowych, niesprężonych i sprężonych. Autor dokonał syntezy aktualnego stanu wiedzy w zakresie badań doświadczalnych, a także numerycznych i analitycznych modeli obliczeniowych styków, będących przedmiotem rozważań, na podstawie literatury i norm projektowania. Kandydat do stopnia doktora przeprowadził obszerne badania doświadczalne z rejestracją przemieszczeń oraz odkształceń w elementach składowych styków, a wyniki badań doświadczalnych wykorzystał do walidacji modeli numerycznych. Wyniki z zaawansowanych modeli numerycznych, odtwarzających zachowanie się styków badanych doświadczalnie, posłużyły do walidacji modeli numerycznych. W zaawansowanych analizach numerycznych GMNA Autor posługiwał się zwalidowanymi hierarchicznie modelami materiału łączników mechanicznych i blach czołowych oraz uproszczonym, bezgwintowym modelem śruby, umożliwiającym poprawną ocenę stanów granicznych nośności i rozwarcia styku. Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań i analiz numerycznych zaproponowano udoskonalenie modelu eurokodowego, wykorzystującego metodę składnikową (CM). Opracowane na podstawie badań Autora modele wykorzystujące podejścia MCM i SRM mają szersze zastosowanie niż model eurokodowy. Sformułowano ponadto szereg zaleceń racjonalnego projektowania styków wysokich belek i blachownic spawanych.

3.2. Ocena wartości naukowej

Autor wykazał się umiejętnością zaprojektowania i przeprowadzenia badań naukowych. W bardzo dobrym stopniu opanował współczesne narzędzia i techniki badawcze, rozszerzył analizy o nowe elementy i wykazał, że przy ich pomocy można przeprowadzić kompleksowe badania w zakresie sprężysto-plastycznego zachowania się śrubowych styków belek wysokich. Analizy dotyczyły idealnej geometrii styków i elementów próbnych z badanymi stykami w skali technicznej. Zdaniem recenzenta można było pokusić się o dokonanie pomiaru odstępstwa geometrycznego blach czołowych styków i elementów próbnych od stanu idealnego, co umożliwiłoby przeprowadzenie analiz numerycznych na podstawie mapowania nieidealnej geometrii blach czołowych i oceny wpływu imperfekcji geometrycznych na dystrybucję naprężeń w śrubach, redystrybucję naprężeń w blachach i formę mechanizmu zniszczenia. Zadaniem znacznie trudniejszym byłoby podjęcie próby oceny wpływu wstępnych naprężeń technologicznych, będących wynikiem procesu spawania blach czołowych, na uplastycznienie i proces redystrybucji naprężeń w elementach styku.

Podsumowując, problematyka naukowa została określona prawidłowo, obejmuje w sposób wyczerpujący zagadnienia związane z badaniami doświadczalnymi, symulacjami numerycznymi oraz rozwiązaniami analitycznymi, w odniesieniu do styków belek wysokich i blachownic stosowanych w stalowych konstrukcjach silniej obciążonych. Przyjęte cele badawcze rozprawy zostały potwierdzone wynikami szczegółowych dociekań naukowych, które w rozprawie zostały przedstawiono w sposób dogłębny i czytelny.

3.3. Ocena strony formalnej

Praca wykonana została starannie i wnikliwie. Na szczególne podkreślenie zasługuje przeprowadzenie analizy i syntezy aktualnego stanu wiedzy w sposób odpowiadający właściwemu prowadzeniu badań naukowych oraz przedstawienie wyników w sposób przejrzysty i ilustrowany dużą liczbą rysunków, tabel oraz wykresów.

Autor sprecyzował kolejne kroki w osiągnięciu założonego celu, poszczególne zadania badawcze rozwiązywał sukcesywnie, gdyż kolejne rozdziały stanowią rozwiązanie poszczególnych problemów naukowych. Na zakończenie każdego rozdziału zawierającego wyniki własnych dociekań naukowych, Autor przedstawia podsumowanie i wnioski z przedstawionych tamże analiz i badań. Jest to element rozprawy świadczący o dojrzałości naukowej badacza.

4. Uwagi do rozprawy

4.1 Uwagi ogólne

a) Rozpatrywano styki obciążone monotonicznie, bez uwzględnienia efektów zmienności oddziaływań w granicach nakreślonych przez realne kombinacje obciążeń. Styki belek wysokich i blachownic stosowane są w konstrukcjach silnie obciążonych, w szczególności w stalowych konstrukcjach przemysłowych. Konstrukcje te poddane są obciążeniom o charakterze powtarzalnym, zmieniającym się w pewnych z góry określonych granicach. Dysponując wiarygodnym modelem numerycznym, który został hierarchicznie zwalidowany na podstawie wyników badań dotyczących obciążenia narastającego monotonicznie, można było pokusić się o analizy zachowania się styków w sytuacji powtarzalności oddziaływań. Szereg uwag i wniosków zamieszczonych w pracy, odnoszących się do kształtowania styków z uwagi na obciążenia powtarzalne, wykracza poza zakres badań zrealizowanych na potrzeby rozprawy. Stwierdzenia te wynikają z wiedzy ogólnej, która nie została poparta ani badaniami doświadczalnymi, ani też symulacjami numerycznymi.

b) Modele numeryczne styków elementów próbných zbudowano przy założeniu, że są one wolne od naprężeń wstępnych technologicznych i montażowych, a geometria jest idealna (brak wycięć i dystorsji elementów składowych styków w stanie przed obciążeniem). Dotyczy to również geometrii elementów próbných. Założenia dotyczące budowy idealnego modelu numerycznego powinny być wyartykułowane w rozprawie.

c) Liczby dziesiętne pisane są w pracy dwojako, w tabelach na ogół z kropką, podczas, gdy we wzorach i w tekście z przecinkiem. W pracy należałoby stosować jedną z wymienionych wyżej konwencji zapisu.

4.2 Uwagi szczegółowe

W uwagach szczegółowych podano jedynie najważniejsze, zdaniem recenzenta, usterki tekstu. Przedstawione uwagi mają na celu doprecyzowanie sformułowań, oznaczeń lub wniosków. Poza tymi uwagami, strona redakcyjna rozprawy nie budzi zastrzeżeń.

Str. 73, Tab. 4.3 i 4.4

a) W Tabeli występuje odkształcenie oznaczone symbolem ϵ , które na rysunkach 4.5-4.8 dotyczy odkształcenia w próbie rozciągania. Brakuje indeksu, który potwierdzałby, który punkt na wykresie σ - ϵ jest brany pod uwagę, czy dotyczący odkształcenia ϵ_u w punkcie granicznym, gdy osiągnięta jest wytrzymałość na rozciąganie f_u , czy też chodzi o odkształcenie na granicy zerwania próbki. Chyba chodzi o tę ostatnią właściwość.

b) W badaniu próbki BL 16-5 z blachy o grubości 16 mm otrzymano odkształcenie na granicy zerwania próbki 0.166, znacząco odbiegające nie tylko od wartości uzyskanych w odniesieniu do innych próbek z blach o grubości 16 mm (mieszczą się w granicach 0.275–0.306), ale również w odniesieniu do próbek z blach pozostałych grubości od 12 mm do 25 mm. Uwzględnienie tej próbki w statystyce prowadzi do sytuacji, że współczynnik zmienności oceniany dla blach o grubości 16 mm wynosi 22% i jest znacząco wyższy od wartości uzyskanych w odniesieniu do pozostałych grubości blach (mieszczą się w granicach 3–8%). Wyniki z badania próbki BL 16-5 należałoby odrzucić z powodu braku wiarygodności w identyfikacji materiału samej próbki (wyższa granica plastyczności i niższa wytrzymałość na rozciąganie niż pozostałe próbki BL 16-1 – BL 16-4) lub sposobu realizacji próby rozciągania tej próbki.

Str. 74 – 80

Podrozdział 4.2.2: *Wyniki pomiarów grubości blach* można umieścić w załączniku, bez szkody co do czytelności podstawowego tekstu rozprawy.

Str. 81, w. 8-15 od dołu

a) Wartość średnia wytrzymałości na rozciąganie (zapisana jako f_{ub}) nie może być równa wartości minimalnej $R_{m,min}$. Chyba chodzi o wartość nominalną, spełniającą minima brakarskie producenta, a nie wartość średnią?

b) W indeksie we wzorze (4.2) występuje $0,9 R_u$. Chyba chodzi o wartość $0.9 f_u$, a nie $0,9 R_u$?

c) Czy wzór (4.3) dotyczy nośności granicznej w rozumieniu wartości spełniającej minima brakarskie?

Str. 82, Tab. 4.9 i rys. 4.17

Podobne uwagi jak do str. 73.

Str. 83, Rys. 4.17

Krzywe F - ϵ odpowiadające seriom A i B przenikają się w zakresie odkształceń powyżej $\epsilon=0.01$. Stosując kolory bardzo mało różniące się między sobą i jeden typ linii, trudno ocenić przebieg tych krzywych w obszarze odkształceń powyżej $\epsilon=0.01$. W celu lepszej czytelności rysunku, krzywe serii A należałoby oznaczyć linią ciągłą, serii B zaś linią przerywaną.

Str. 100-101

Strona 100 kończy się opisem oznaczeń do rys. 4.39. Strona 101 rozpoczyna się od fragmentu zdania poświęconego wyjaśnieniu długości L_T części śruby. Brak początku zdania. Najprawdopodobniej jedna strona tekstu rozdziału 4.5.1 została pominięta, odnosząca się do wyjaśnienia wartości liczbowych długości L_C , L_B i L_S części trzpienia śruby.

Str. 129, tytuł podrozdziału 5.2.2

Tytuł „Walidacja wyników analizy rozkładu sił w śrubach” nie jest trafny. Walidacja powinna dotyczyć modelu numerycznego. W tym konkretnym podrozdziale dotyczy jednego z elementów hierarchicznej walidacji modelu, mianowicie rozkładu sił w śrubach wyznaczonego z modelu numerycznego w odniesieniu do rozkładu sił w śrubach uzyskanego w badaniach doświadczalnych.

Str. 132, tytuł podrozdziału 5.2.3

Uwaga analogiczna do poprzedniej. Dotyczy rozkładu naprężeń.

Str. 135, tytuł podrozdziału 5.2.4

Uwaga analogiczna do poprzednich dwóch. Dotyczy rozwarcia styku.

Modele numeryczne odtwarzały zachowanie się styku w badaniach doświadczalnych przeprowadzonych na elementach próbnym pokazanych na rys. 4.31. Dotyczyły więc budowy skończenie-elementowego modelu elementu próbnego, w którym występowały analizowane styki śrubowe. Pełna walidacja modelu numerycznego powinna dotyczyć również przemieszczeń charakterystycznych punktów elementu próbnego, np. przemieszczeń pionowych w środku, a także na początku i na końcu odcinka środkowego o długości 4800 mm. W pracy nie podano jak zbudowano model MES elementu próbnego, koncentrując się na modelowaniu styku. Wyniki dotyczące map naprężeń dotyczyły elementów styku oraz fragmentów blachownic w pobliżu styku. Czy dokonano walidacji modelu numerycznego elementów próbnym badanych doświadczalnie, chociażby w zakresie globalnych ścieżek równowagi odnoszących się do przemieszczeń pionowych?

Str. 141, w. 2-4 od dołu

Pierwsze zdanie wniosków jest zbyt ogólne i mało precyzyjne. Nie podano jakich badań i analiz dotyczyły wyniki osiągające zadowalającą zgodność. Czy chodzi o wyniki badań doświadczalnych i wyniki analiz numerycznych? Badanie jest terminem ogólnym i może dotyczyć badania zachowania się modeli fizycznych, wirtualnych, analitycznych, itp.

Str. 175, w. w. 8 od góry

Zdanie „Ocenę nośności tą metodą styków o modelach zniszczenia 2 lub 3 ...” jest niefortunne. Nie chodzi tu o „metodę styków”, ale o metodę składnikową. Powinno być „Ocenę nośności metodą składnikową styków o modelach zniszczenia 2 lub 3 ...”. Poza tym w tytule zamiast „badań” powinno być „badań doświadczalnych” (patrz uwaga poprzednia).

Str. 181, wzór (7.8)

Wzór nie jest zapisany poprawnie pod względem matematycznym. Powinno być:

$$k_t \cong \frac{1,6A_s}{2t_p + d}$$

Str. 189, w. 7 dołu

Termin „profil walcowany” jest niepoprawny. Profil może być dwuteowy, ceowy itp. Walcowany może być kształtownik.

4.3. Podsumowanie

W podsumowaniu stwierdzam, że uwagi ogólne i zauważone usterki redakcyjne nie mają istotnego znaczenia jeżeli chodzi o wartość merytoryczną rozprawy. Wspomniane braki nie obniżają mojej wysokiej oceny poziomu naukowego rozprawy.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgra inż. Pawła Kaweckiego zatytułowaną *Stany graniczne nośności wielośrubowych styków doczołowych dźwigarów spawanych*, która powstała w Politechnice Rzeszowskiej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Aleksandra Kozłowskiego, stwierdzam, że w pracy tej Autor przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazując się:

a) Ogólną wiedzą teoretyczną i praktyczną z zakresu:

- teorii węzłów i styków konstrukcji stalowych oraz stanów granicznych nośności i odkształcalności, ocenianych na podstawie zaawansowanych badań doświadczalnych,
- metodologii badań naukowych wykorzystujących procedury hierarchicznej walidacji i weryfikacji modeli obliczeniowych, w zakresie śrubowych styków doczołowych z efektami ewolucji kontaktu i tarcia między elementami składowymi.

b) Wiedzą praktyczną z zakresu komputerowego modelowania i zaawansowanej analizy GMNA w zastosowaniu do deterministycznej oceny nośności i odkształcalności styków belek wysokich i blachownic obciążonych monotonicznie.

Przedstawiony w rozprawie problem naukowy mieści się w nurcie aktualnej tematyki w odniesieniu do konstrukcji stalowych, ma walory innowacyjnych analiz i badań o charakterze teoretycznym i aplikacyjnym. Autor rozpoznał aktualny stan wiedzy w tematyce objętej rozprawą, sformułował problem badawczy oraz wykazał się umiejętnością prowadzenia badań w zakresie odpowiednim do nakreślonego celu rozprawy, a także w zakresie zastosowanej metodologii badań i sposobu wnioskowania. Wykazał się umiejętnościami wykraczającymi poza standardowe wymagania odnoszące się do uzyskania stopnia doktora w zakresie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport oraz specjalności budowlane konstrukcje metalowe.

Przedstawiona wyżej ocena rozprawy oznacza, że praca spełnia z wyróżnieniem wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65. poz. 595 z późniejszymi zmianami).

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony rozprawy doktorskiej oraz o jej wyróżnienie na zasadach przyjętych ustaleniami Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Rzeszowskiej.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wojciechowski', is written in a cursive style.