

dr hab. inż. Lucjan Ślęczka, prof. PRz

Rzeszów, 29 sierpnia 2018 r.

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

ul. Poznańska 2

35-084 Rzeszów

sleczka@prz.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Pieńko pt.

„Dobór kryteriów oceny nośności węzłów rusztowań budowlanych”

1. Podstawa opracowania i przedmiot recenzji

Recenzja została opracowana na wniosek Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej prof. dra hab. inż. Bogusława Szmygina, z dnia 25 czerwca 2018 r.

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska mgra inż. Michała Pieńko, o tytule podanym wyżej, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Ewy Błazik-Borowej, prof. PL. Rozprawa liczy 158 stron i wyróżniono w niej 5 rozdziałów, spis piśmiennictwa a także streszczenia w języku polskim i angielskim. Bibliografia zawiera wykaz 99 pozycji piśmiennictwa. W treści rozprawy zamieszczono 131 rysunków, 10 tablic oraz 23 numerowane wzory.

2. Ocena tematyki rozprawy

Rusztowania są tymczasowymi konstrukcjami nośnymi, które umożliwiają wykonywanie robót budowlanych na wysokości i przejmują wynikające stąd oddziaływania pionowe oraz poziome. Z konstrukcyjnego punktu widzenia są przestrzennymi ramami, najczęściej stalowymi, o znacznej wysokości i o dużej smukłości elementów. Współcześnie wykonuje się je zwykle jako systemowe. Istotnym ich elementem są węzły. Tworzą one z jednej strony styki montażowe części składowych rusztowania, z drugiej są zaś elementem konstrukcyjnym zapewniającym ciągłość przekazywania sił wewnętrznych pomiędzy ryglami a słupkami. Z uwagi na swoją budowę, nie są ani klasycznymi węzłami przegubowymi, ani sztywnymi, lecz mają najczęściej charakterystykę węzła podatnego.

Autor w swojej rozprawie zajął się oceną nośności i sztywności węzłów rusztowań modułowych pewnego typu, biorąc pod uwagę ich nietypowy kształt, inny mechanizm przekazywania sił w porównaniu do typowych węzłów stosowanych w konstrukcjach stalowych a także występujące zjawiska kontaktu oraz odmienne łączniki. Ta ocena nośności i sztywności została przeprowadzona dla wszystkich możliwych form obciążenia tego węzła. Co istotne, Autor rozpatruje także wpływ wielokrotnego montażu i demontażu węzłów rusztowań w warunkach placu budowy oraz dokonuje oceny tego wpływu na zachowanie węzłów.

Rozpatrywanie właściwości strukturalnych węzłów jest obecnie jednym z podstawowych etapów projektowania ram stalowych. Te właściwości w postaci nośności przy zginaniu węzła, jego sztywności początkowej i zdolności do obrotu wpływają istotnie zarówno na rozkład momentów zginających, przechył układu konstrukcyjnego, wrażliwość na efekty II rzędu, wielkość obciążenia krytycznego i granicznego oraz na charakterystyki dynamiczne. Znajomość charakterystyk strukturalnych węzłów rusztowań jest niezbędna do właściwej analizy globalnej takich konstrukcji i oceny warunków stanu granicznego nośności i użyteczności. Specyficzne formy eksploatacji węzłów rusztowań (wielokrotność montażu i demontażu a także powtarzalność przykładanych oddziaływań) są czynnikami, które mogą wpływać na degradację właściwości strukturalnych rozpatrywanego węzła.

Jak widać, rozpatrywany przez Autora problem naukowy mieści się nurcie współczesnych zagadnień budownictwa stalowego, jest aktualny i celowy. Należy ocenić go wysoko z punktu widzenia aplikacyjnego i możliwości wykorzystania w praktyce.

3. Zawartość rozprawy i uwagi ogólne

Zasadniczym celem rozprawy jest określenie właściwości strukturalnych rozpatrywanych węzłów rusztowań budowlanych, determinujących ich zachowanie w zakresie sprężystym, jak i sprężysto-plastycznym.

We wstępie Autor podaje genezę tematu, omawiając zasadniczą funkcję rusztowań budowlanych jako konstrukcji, którą jest spełnienie obliczeniowych warunków nośności i sztywności. Definiuje także przedmiot badań, którym jest węzeł rusztowania modułowego pewnego typu. Węzeł ten składa się z rozety mocowanej na rurze stojaka, na której zaczepiana jest rura rygla, za pomocą głowicy i klina.

W rozprawie nie podano klasycznej tezy, w postaci twierdzenia, dla którego później zostaje przedstawione uzasadnienie, lecz sformułowano problem naukowy. Jest nim opis

zjawisk fizycznych zachodzących w rozpatrywanych węzłach rusztowań oraz dobór kryteriów oceny ich nośności.

Jako cel pracy, Autor wymienia:

- stworzenie stanowiska badawczego węzła rusztowania,
- wyznaczenie charakteru połączenia pomiędzy stojakiem i rygłem,
- określenie kryteriów nośności węzła,
- określenie wpływu wielokrotności użytkowania elementów na ich nośność.

W rozdziale tym sprecyzowano także zakres pracy, w postaci działań, które powinny być podjęte, aby sformułowany cel został osiągnięty. Rozdział liczy 4 strony.

Rozdział 2 jest przeglądem stanu wiedzy w zakresie rusztowań budowlanych i stosowanych w nich węzłów. Autor krytycznie przedstawił w nim normy i akty prawne dotyczące projektowania i oceny systemów prefabrykowanych rusztowań elewacyjnych. Zestawił doświadczalne i numeryczne metody badawcze służące do oceny zachowania węzłów pod obciążeniem. Zawarł także podsumowanie wyników badań rusztowań prowadzonych przez różne ośrodki. W zakończeniu rozdziału Autor podkreślił brak informacji na temat badań laboratoryjnych węzła rusztowania modułowego, który jest przedmiotem dysertacji. Autor zaznaczył potrzebę wykonywania takich badań na wyizolowanym węźle a nie na całej konstrukcji, a także konieczność uzyskania charakterystyki węzła w całym zakresie obciążenia. Rozdział ten liczy 45 stron.

Rozdział 3 jest opisem przeprowadzonych przez Autora badań doświadczanych. Badaniom poddano węzeł rusztowania modułowego Rotax Plus. Obejmowały one zarówno określenie parametrów mechanicznych stali elementów składowych węzła, jak i laboratoryjną ocenę zachowania całych węzłów. Ta ostatnia dostarczyła informacji na temat charakterystyk połączenia w postaci krzywych moment-obrót ($M-\phi$) oraz siła-przemieszczenie ($F-\Delta$) a także form zniszczenia węzła. Badania miały szeroki charakter. Rozpatrywano w nich praktycznie wszystkie formy obciążenia węzła, zarówno siły podłużne, momenty zginające i skręcające, jak i oddziaływanie siłami poprzecznymi, przy znacznej liczbie powtórzeń. Podkreślić należy fakt samodzielnego zaprojektowania i wykonania przez Autora dysertacji specjalnego uniwersalnego uchwytu umożliwiającego właściwe obciążanie węzła. W rozdziale tym dokonano także oszacowania nośności charakterystycznej węzła przy poszczególnych formach obciążenia. Nośność ta uwzględnia analizę statystyczną wyników a także uzyskaną formę zniszczenia (osiągnięty poziom ciągliwości). Na podstawie tych badań określono także kilkoma metodami sztywność węzła przy obciążeniu momentem zginającym. Rozdział jest obszerny i liczy 46 stron.

W rozdziale 4 Autor przedstawia analizy numeryczne rozpatrywanego węzła. Zawarto tam opis budowy modeli numerycznych oraz ich walidacji i weryfikacji na podstawie wyników badań doświadczalnych. Przeprowadzone analizy odnoszą się tylko do trzech wybranych schematów obciążenia węzła – przy działaniu momentu zginającego M_y (w płaszczyźnie pionowej), przy działaniu pionowej siły poprzecznej V_z oraz siły podłużnej w ryglu N_x . Ograniczony zakres analiz, w porównaniu do badań doświadczalnych, uzasadniony jest największą wartością tych oddziaływań pojawiających się w sytuacji obliczeniowej trwałej. W trakcie tych obliczeń Autor rozpatruje wpływ głębokości wbicia klina i wprowadzanych do modelu numerycznego współczynników tarcia w powierzchniach kontaktu.

W ostatniej części Autor modeluje zachowanie węzła pod wpływem obciążenia wielokrotnego: kilkunastokrotnego wbicia klina w otwór rozety oraz wielokrotnego działania momentu zginającego i siły podłużnej. Rozpatrywano pięćdziesiąt cykli oddziaływań danego typu. Na podstawie tych analiz Autor określa kryterium możliwości ponownego użycia elementów składowych rusztowania. Tym kryterium jest osiągnięcie granicznej głębokości osadzenia klina podczas montażu węzła. Cały rozdział liczy 40 stron i świadczy o dużych umiejętnościach Autora w zakresie analiz numerycznych złożonych zagadnień mechanicznych.

Rozdział 5 zawiera podsumowanie rozprawy, wnioski końcowe i podaje możliwe kierunki dalszych badań. Rozprawa kończy się spisem wykorzystanego piśmiennictwa oraz streszczeniami w języku polskim i angielskim.

4. Ocena merytoryczna

Przedstawiony w dysertacji problem naukowy mieści się w nurcie aktualnych badań prowadzonych w zakresie stalowych konstrukcji budowlanych (wpływ charakterystyki węzłów na zachowanie stalowych konstrukcji szkieletowych) i ma wymiar aplikacyjny. Uzyskane rezultaty, opracowana metodologia badawcza i zaproponowane kryteria oceny wpływu oddziaływań powtarzalnych mogą zostać bezpośrednio wykorzystane przez producenta rozpatrywanego typu rusztowania oraz przez szersze grono naukowców i inżynierów zainteresowanych tą tematyką.

Tytuł przedstawionej dysertacji jest szczegółowy i dobrze opisuje jej zawartość.

Brak wyraźnie sformułowanej tezy jest zastąpiony określeniem problemu naukowego, który został jasno postawiony, a cele rozprawy zostały wyraźnie określone. Do rozwiązania tego problemu naukowego Autor podjął działania w następujących obszarach:

- Przegląd stanu wiedzy w zakresie rozpatrywanego zagadnienia, analiza i synteza wpływających z tego przeglądu informacji.
- Przeprowadzenie szerokiego zakresu badań doświadczalnych, ocena charakterystyk strukturalnych węzłów na podstawie uzyskanych rezultatów oraz identyfikacja form zniszczenia węzłów.
- Stworzenie modeli obliczeniowych przy zastosowaniu MES, walidacja i weryfikacja tych modeli a następnie ich wykorzystanie do analizy zjawisk pominiętych podczas badań doświadczalnych.
- Synteza otrzymanych wyników i opracowanie wniosków wpływających z przeprowadzonych badań i analiz.

Podejście takie należy ocenić jako właściwe i typowe dla dysertacji doktorskich w dziedzinie konstrukcji stalowych.

Przegląd piśmiennictwa odnosi się do współczesnych prac naukowych. Spośród 99 cytowanych pozycji bibliograficznych jedynie 9 jest datowanych przed rokiem 2000, z czego trzy to odniesienia do starszych wersji polskich norm. Przedstawiony przez Autora przegląd stanu zagadnienia daje dowód bardzo dobrej orientacji Autora w rozpatrywanej przez niego dziedzinie.

Poziom merytoryczny rozprawy a także logika wywodu są na dobrym poziomie. Każdy z zasadniczych rozdziałów kończy się krótkim podsumowaniem, co stwarza dużą jasność prowadzonego wywodu.

Zdaniem recenzenta do oryginalnych osiągnięć Autora można zaliczyć następujące rezultaty pracy:

- Stworzenie uniwersalnego stanowiska do badań takich węzłów. Opracowana metodologia może być wykorzystana przez innych badaczy.
- Uzyskanie realnych charakterystyk strukturalnych węzłów w postaci krzywych $M-\phi$ oraz $F-\Delta$ na podstawie szerokiego zakresu badań doświadczalnych.
- Opracowanie złożonego modelu obliczeniowego za pomocą MES węzła rusztowania, jego weryfikacja i walidacja oraz wykorzystanie do analizy zjawisk, których badania doświadczalne nie obejmowały.
- Praktyczne wskazanie kryteriów przydatności elementów składowych rusztowania do dalszego użytkowania, wynikających z wielokrotnego montażu elementów, jak i wielokrotnego ich obciążania.

Poniżej podano kilka uwag dotyczących merytorycznej zawartości rozprawy:

- Przeprowadzone przez Autora badania doświadczalne rozpatrywanego węzła mają bardzo szeroki charakter i są niemal wzorcowe. Należy odnieść się z uznaniem do ich zaplanowania, realizacji i opracowania wyników. Jednak szkoda, że stosowano wyłącznie monotonicznie rosnący charakter obciążenia. Obciążenie z odciążeniami dostarczyłoby informacji na temat potencjalnych luzów początkowych oraz danych doświadczalnych do szacowania sztywności węzła przy odciążeniu.
- W jaki sposób wyznaczano wartość nośności granicznej $r_{u,i}^a$ (por. tabl. 3.3) dla tych charakterystyk $M-\phi$ czy $F-\Delta$, które miały charakter monotonicznie rosnący i nie występowało w nich lokalne ekstremum (np. dla obciążenia momentem M_y i M_z)?
- Skąd Autor zaczerpnął wzór (3.20) służący do określenia nośności obliczeniowej węzła? Występujący w nim współczynnik częściowy $\gamma_F=1,5$ odnosi się do oddziaływań, co kłóci się z ideą metody współczynników częściowych. Być może chodzi tu o nazewnictwo i za pomocą tego wzoru określany jest zakres obciążenia węzła służący do późniejszego wyznaczania jego sztywności.
- Klasyfikacja sztywności według PN-EN 1993-1-8 do której odwołuje się Autor (str. 98, rys. 3.45) ma związek ze sztywnością węzła na zginanie. Odniesienie do niej charakterystyki węzła przy skręcaniu (str. 99, wiersz 12g) nie jest właściwe.

5. Ocena formalnej postaci rozprawy

Ogólnie praca jest napisana starannie i poprawną polszczyzną. Występują w niej jednak w niewielkiej liczbie lapsusy czy pewne niezręczności językowe. Zostały one przedyskutowane bezpośrednio z Autorem.

Do zauważalnych mankamentów związanych z formalną postacią rozprawy można zaliczyć pewne niezręczności w zakresie nomenklatury technicznej:

- Zamiast słowa „wytrzymałość” w kilku przypadkach (str. 16, wiersz 4g; str. 19, wiersz 1d oraz 8d; str. 20, wiersz 1d) należało użyć słowa „nośność”. Według PN-EN 1990 wytrzymałość jest właściwością mechaniczną materiału, podawaną w jednostkach naprężeń, zaś nośność opisuje zdolność elementu albo jego przekroju do przejścia oddziaływań bez uszkodzenia mechanicznego i wyrażana jest w jednostkach siły lub momentu.
- Stan graniczny „użytkowania” (str. 19, wiersz 6d), to oczywiście stan graniczny „użytkowalności”.

- W wielu kilku miejscach tekstu występują „spawy” (str. 26, wiersz 16d; str. 62, wiersz 12d; str. 70 wiersz 5g; str. 83, wiersz 2g i 6g; str. 109, wiersz 2d;). Powinny być „spoiny”.
- Podobnie zamiast „stabilność” (str. 19, wiersz 13d i 5d; str. 38, wiersz 12d; str. 45 wiersz 10d; str. 47, wiersz 13g, itp.), raczej powinna być „stateczność”, a gdy piszemy o fazie betonowania, zamiast „płynnego betonu” (str. 33, wiersz 5g) powinna występować raczej „mieszanka betonowa”.
- Strona 35, wiersz 5d - jest „analiza drugiego rzędu z uwzględnieniem nieliniowości geometrycznej”; wystarczy „analiza drugiego rzędu”.
- Zamiast „właściwości plastycznych” (strona 96, wiersz 5g) powinna być „ciągliwość”.
- „Prasa wytrzymałościowa’ to urządzenie do wywierania ściskania. W większości przypadków w tekście chodzi o maszynę wytrzymałościową (uniwersalną).

6. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska mgra inż. Michała Pieńko rozwiązuje oryginalne zadanie naukowe dotyczące zachowania węzłów rusztowań budowlanych oraz wpływu oddziaływań powtarzalnych na ich charakterystyki strukturalne. Temat rozprawy wypływa ze współczesnej praktyki inżynierskiej a osiągnięte rezultaty mogą być bezpośrednio wykorzystane w działalności inżynierskiej. Autor dokonał przeglądu stanu zagadnienia, przeprowadził szerokie badania doświadczalne, przeanalizował także zachowanie węzła tworząc jego modele obliczeniowe za pomocą wyrafinowanego modelowania MES. Opracowane wnioski wynikają z przeprowadzonych analiz. Zdaniem recenzenta założony w rozprawie cel został osiągnięty.

Rozprawa wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora dotyczącą konstrukcji metalowych. Wykazuje także jego umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych, komputerowej analizy konstrukcji oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Biorąc powyższe pod uwagę, uważam, że recenzowana rozprawa spełnia wymogi odnośnie prac doktorskich zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami). Wnioskuje o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Lucjan Steude