

Warszawa 2023-08-28

dr hab. inż. Artur Piekarczyk, prof. ITB
Instytut Techniki Budowlanej

*Recenzja spełnia
wymagania formalne*

PRZEWODNICZĄCA
Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
[Signature]
dr hab. inż. Beata Nowogońska, prof. UZ

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Kucharczyk-Biedniak

pt.: „Wpływ otulenia betonem na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojeniowych”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawą formalną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Kucharczyk-Biedniak na temat „Wpływ otulenia betonem na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojeniowych” jest pismo nr IBUD.51.04.2023 z dnia 26 czerwca 2023 roku Pani dr hab. inż. Beaty Nowogońskiej, prof. UZ Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowe Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Uniwersytetu Zielonogórskiego.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy oceny wpływu otulenia betonem na sprężyste wyboczenie prętów zbrojenia. Celem pracy jest ilościowa i jakościowa ocena wpływu otulenia zbrojenia na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojenia podłużnego. Praca realizowana jest na podstawie badań eksperymentalnych wybranych elementów testowych, obliczeń numerycznych oraz własnych analiz studialnych.

Praca zawiera 145 strony wraz ze spisem treści, wykazem bibliografii i załącznikiem. Rozprawa podzielona jest na dwie zasadnicze części. Pierwsza dotyczy opisu stanów awaryjnych konstrukcji żelbetowych oraz przeglądu literatury tematycznej. Druga część rozprawy to opis badań doświadczalnych i analiz numerycznych realizowanych przez doktorantkę w ramach prac własnych.

Tekst pracy podzielono na jedenaście sekcji. W sekcji 1 przedstawiony jest wstęp z ogólnym opisem założeń i struktury pracy. Sekcje od 2 do 5 to obszernie części opisowe, które dotyczą zachowanie się konstrukcji w stanach deformacji pozakrytycznych, niesprężystego wyboczenia prętów zbrojeniowych oraz ich nośności i roli otulenia zbrojenia. W sekcji 6 doktorantka prezentuje cel, zakres oraz tezy pracy. W sekcji 7 prezentowane są badania eksperymentalne a w sekcji 8 obliczenia numeryczne. W sekcji 9 doktorantka prezentuje podejście analityczne. Sekcja 10 to porównanie teoretycznych

i eksperymentalnych wyników pracy. Ostatnia sekcja 11 poświęcona jest na wnioski i podsumowania. Na końcu pracy zamieszczona jest bibliografia, która zawiera 77 pozycji, oraz załącznik nr 1 z dokumentacją pomiarów laboratoryjnych.

3. Ocena pracy doktorskiej

3.1. Część opisowa

1) Wstęp

- Mocne strony

We wstępie doktorantka krótko przedstawia naukowe tło pracy skupiając się głównie na aspektach technicznych związanych z mechanizmem powstawania stanów awaryjnych konstrukcji żelbetowych. Doktorantka przedstawia różne oddziaływania i mechanizmy uszkodzeń oraz awarii konstrukcji żelbetowych. Temat jest opisany ciekawie i poparty licznymi przykładami, co świadczy o gruntownym przeglądzie literatury i właściwym rozpoznaniu problemu naukowego. Wstęp zawiera również krótki opis zawartości pracy z podziałem na część opisową i badawczą, co dobrze porządkuje całość pracy.

- Usterki i niedokładności

W ostatnim akapicie wstępu doktorantka stwierdza, że jej praca stanowi uzupełnienie tematyki związanej ze statecznością prętów zbrojeniowych. Brakuje tutaj wzmianki o aktualnym stanie wiedzy na ten temat i naukowym pozycjonowaniu własnej pracy.

2) Opis

- Mocne strony

W opisie doktorantka prezentuje uszkodzenia konstrukcji żelbetowych powstałych wskutek różnych oddziaływań wyjątkowych (sejsmiczne, uderzenia, wybuchy). Opisy są szczegółowe i bogato ilustrowane. Dalej, w kolejnych sekcjach doktorantka przedstawia zjawisko niesprężystego wyboczenia prętów zbrojeniowych z podziałem na różne elementy konstrukcyjne. Kolejne sekcje poświęcone są opisowi zjawisk związanych z wyboczeniem wraz z prezentacją badań pozyskanych z literatury naukowej. Taka prezentacja doskonale pozycjonuje stan wiedzy.

- Usterki i niedokładności

W opisie skutków zniszczenia przedstawionych w rys. 2, doktorantka używa potocznych stwierdzeń *...Można zaobserwować jak „plastyczne” są słupy w odniesieniu do zniszczonego obiektu. Zewnętrzne słupy wykazały się bardzo dużą ciągliwością...*. Trudno tu uzasadniać ciągliwość słupów jako elementów konstrukcyjnych, tym bardziej że jest to żelbet. Beton nie jest tworzywem ciągliwym. Jedyną tendencją ciągliwości może mieć zbrojenie. Opis rysunku 2.3 b i 2.5 wydają się nieprecyzyjne. Na zdjęciu widoczne jest niemal całkowite zniszczenie przekroju z utratą stateczności zbrojenia, a nie przegub plastyczny z niesprężystym wyboczeniem. Przegub plastyczny oznacza pracę przekroju i redystrybucję sił w zakresie plastycznym przed uzyskaniem zniszczenia. Wyboczenie niesprężyste może mieć niewielkie zakresy zakrytych plastyczne, które utrzymują zakres nośności granicznej. Na ilustracji widoczny jest zakres zniszczeniowy. W sekcji 4.1. Doktorantka wspomina o różnych gatunkach stalki zbrojeniowej powołując przy tym Eurokod 2 oraz normę PN-B-03264. Jest to pewna niekonsekwencja, ponieważ w streszczeniu i wstępie doktorantka nawiązuje jedynie do Eurokodu 2,

w którym stal zbrojeniowa definiowana jest przez przedział zakresu granicy plastyczności (od 400 do 600 MPa) oraz klas ciągliwości, co zasadniczo wyklucza klasy stali A0, A1 wg PN-B. W sekcji 4.2, doktorantka wyjaśnia trywialne pojęcia z mechaniki konstrukcji. Tego typu wyjaśnienia wydają się zbyteczne zwłaszcza w pracy doktorskiej. W sekcjach 4.3 i 4.4, doktorantka prezentuje odpowiednio wyniki obliczeń i badań doświadczalnych. Niestety nie wiadomo jaki jest cel tych prezentacji, ponieważ wcześniej nie przedstawia wyprzedającego komentarza.

3) Cel i zakres pracy

- Mocne strony

Cele i tezy pracy postawione są w rozdziale 6. Celem pracy jest ocena ilościowa i jakościowa ocena wpływu otulenie zbrojenia na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojenia podłużnego. W związku z postawionym celem, doktorantka przedstawia dwie zasadnicze tezy pracy:

1. *Otulenie betonem ma istotny wpływ na zachowanie się ściskanych prętów zbrojenia podłużnego.*
2. *O niesprężystym wyboczeniu prętów zbrojenia podłużnego, poza ich smukłością, decyduje w szczególności grubość otulenia betonem i wytrzymałość betonu.*

Cel jest określony prawidłowo i dobrze kierunkuje aktywność naukową doktorantki. Postawione tezy są właściwe i korespondują z określonym wcześniej celem pracy.

- Usterki i niedokładności

Cel i tezy pracy pojawiają się dopiero w punkcie 6 (czyli w około 1/3 całej pracy). W mojej ocenie ten punkt powinien pojawiać się w pracy możliwie wcześniej, ponieważ cel i tezy powinny determinować zasadniczy kierunek prac i związane z nimi treści.

3.2. Część badawcza

- Mocne strony

Część badawcza zasadniczo zawiera dwa różne podejścia. Pierwsze (cała sekcja 7) dotyczy badań eksperymentalnych, drugie zawiera podejście obliczeniowe numeryczne (sekcja 8) oraz analityczne (sekcja 9). Metodologia prac przyjętych przez doktorantkę jest ułożona logicznie i racjonalnie. Tezy postawione wcześniej i wynikające z niego problemy są motywacją do wykonania eksperymentu badawczego i obliczeniowego. Hierarchiczne podejście do planowania eksperymentu wpisuje się w metodologię badań naukowych i świadczy o dojrzałości naukowej doktorantki.

- Usterki i niedokładności

W tej części pracy znajduje się kilka niedokładności, o których należy jednak wspomnieć. W sekcji 7.2.2, Autorka prezentuje założenia do badań statycznej próby rozciągania stali. Niestety brakuje informacji na ilu próbkach wykonane były badania prętów klasy A-II i A-IIIIN. W sekcji 7.2.4. prezentowane są wyniki badań prętów zbrojeniowych przeprowadzone w statycznej próbie ściskania. Doktorantka nie wspomina nigdzie wcześniej o tych badaniach. Nie wiadomo jakie są założenia do badań ani w jaki sposób zostały one przeprowadzone (brak schematu obciążenia i podparcia). W sekcji i 7.5.2. oraz późniejszych Doktorantka używa pojęcia nośność wyboczeniowa i podaje zależność 7.3. W tym przypadku raczej należy używać pojęcia nośność na wyboczenie, które jednak powiązane jest

wyboczeniem jako parametrem utraty stateczności. Trudno też przypisać zależności 7.3 znaczenie nośności na wyboczenie ponieważ nie ma w niej żadnego parametru związanego z wyboczeniem (np. współczynnik wyboczeniowy). W sekcji 7.6. Doktorantka analizuje wyniki badań. Na rys. 7.29 i 7.30 przedstawia zestawienia wyników wraz z liniami trendu przebiegu zmienności wyników. Dlaczego zastosowane są linie trendu w postaci zależności logarytmicznych? Przecież wskaźnik determinacji R^2 jako miara dopasowania modelu do danych o wartości około 0,7 świadczy o tym, że linia trendu nie wyjaśnia aż 30% zmiennych. Czy to jest wartość akceptowalna? W sekcji 8.1, doktorantka przedstawia założenia do obliczeń numerycznych. Założenia do obliczeń prętów zbrojenia bez otuliny są niejasne. Nad tabelą 8.1, Doktorantka pisze, że pręt został poddany ścisaniu siłą o wartości 1N? Przyjęcie metody Riksa wskazuje, że oczekiwane są punkty bifurkacji, jednak przy prostym kształcie przekroju poprzecznego pręta i ścisaniu osiowym trudno oczekiwać wtórnego układu równowagi. Oczywiście przyjęcie tej metody analizy nieliniowej nie jest błędem, ale w sekcji 8.2. do analizy prętów z otuliną stosowana jest metoda Newton – Raphson, co w porównaniu do poprzedniej sprawia wrażenie niekonsekwencji w założeniach. Doktorantka stosuje liniowe modele materiałowe podając jedynie granicę plastyczności, chociaż w tym przypadku należy raczej stosować modele sprężysto – plastyczne (ze wzmocnieniem lub bez) tym bardziej, że w opisie wyników obliczeń pojawia się zdanie „... *Jedynie dla prętów o małych smukłościach $s / \varnothing = 5$ można zaobserwować minimalne przekroczenie granicy plastyczności ...*”.

3.3. Część analityczna

- Mocne strony

Sekcja 9 w całości poświęcona jest analitycznemu określeniu nośności wyboczeniowej prętów zbrojeniowych w otuleniach betonem. Doktorantka przeprowadza estymację nieliniową wyników uzyskanych obliczeniowo na podstawie wcześniej ustalonych zależności analitycznych. Uzyskuje w ten sposób półmityczne zależności opisujące poziom współczynnika σ_{sb} / f_{sy} (nośność wyboczeniowa / granica plastyczności spytali) w zależności od parapetu s/\varnothing (długość / średnica pręta). Większa część prac jest wykonana skrupulatnie.

- Usterki i niedokładności

Mimo, że sekcja jest napisana poprawnie, to pozostaje pewien niedosyt związany ze zbyt oszczędnym opisem założeń do tych analiz. Trudno się zorientować co z czym i dlaczego jest porównywane i co ostatecznie z tego wynika.

3.4. Porównanie wyników obliczeń i eksperymentów

- Mocne strony

Sekcja 10 stanowi ilościowe i jakościowe zestawienie dotychczasowych prac. Doktorantka przedstawia swoje autorskie analizy, których finalnym celem jest oszacowanie korelacji zbieżności między wynikami badań eksperymentalnych a obliczeniami MES i rozwiązaniami analitycznymi. We wszystkich przypadkach korelacja zbieżności opisywana jest jako dobra lub zadawalająca. Większa część sekcji jest napisana poprawnie i zgodnie z metodologią analiz naukowych.

- Usterki i niedokładności

W sekcji 10 doktorantka krótko opisuje co zostało zrobione wcześniej i co będzie realizowała w obecnym rozdziale. Niestety, opis jest bardzo lakoniczny i brakuje w nim jednoznacznego powiązania tych zdarzeń. Ma to szczególne znaczenie w obliczu stwierdzenia, które pojawia się w ostatnim zdaniu, (jak się wydaje jest to dowód jednej z tez) i brzmi następująco: „... w zależności od przyjętego rodzaju zbrojenia wykazano, że otulenie betonem ma znaczny wpływ na zachowanie się prętów poddanych osiowemu ściskaniu.”

3.5. Podsumowanie i wnioski

- Mocne strony

W sekcji 11 doktorantka krótko podsumowuje wyniki swoich dotychczasowych prac i udowadnia postawione w sekcji 6 tezy twierdząc, że:

1. „... otulina betonu ma znaczny wpływ na zachowanie się prętów zbrojenia podłużnego w żelbetonowych konstrukcjach betonowym. Im grubsze otulenie i większa smukłość prętów, tym większa nośność pręta na wyboczenie” .
2. „...o niesprężystym wyboczeniu prętów decyduje grubość otuliny betonu, jak i wytrzymałość samego betonu na rozciąganie oraz rodzaj stali zbrojeniowej, jak również ich smukłość.”

Doktorantka odnosi się wprost do postawionych wcześniej tez, co świadczy o konsekwencji w realizacji zadań. Ostatecznie doktorantka potwierdza tezy, jednocześnie podkreśla badawcze i analityczne walory pracy.

- Usterki i niedokładności

Przedstawione dowody (mimo, że prawdziwe) są ogólnikowe i sprawiają wrażenie niedokończonych. Jest to pewna niedokładność, którą można było uniknąć odwołując się na przykład do ilościowej oceny wpływu analizowanych parametrów, które przecież są skrupulatnie opisane w pracy doktorskiej.

3.6. Bibliografia

- Mocne strony

Bibliografia zawiera łącznie 77 pozycji z czego 67 to artykuły, materiały konferencyjne i opracowania książkowe, 10 pozostałych pozycji to normy projektowe i instrukcje branżowe. Wszystkie pozycje bibliografii związane są tematycznie z rozprawą doktorską i w zdecydowanej większości (zwłaszcza artykuły) są to prace, których tematyka jest nadal aktualna.

- Usterki i niedokładności

Sposób cytowania jest nietypowy. Zwyczajowo przyjmuje się, że numeracja cytowania w tekście zaczyna się od pozycji [1]. W tej pracy pierwsze cytowanie zaczyna się od pozycji [76], dalej również nie jest zachowana kolejność powołania bibliografii. Taki sposób cytowania utrudnia śledzenie tekstu.

3.7. Układ pracy i poprawność językowa

- Mocne strony

Struktura rozprawy doktorskiej jest poprawna. Doktorantka właściwie identyfikuje problem naukowy i go rozwiązuje dobierając przy tym różne metody analiz. Język jest użyty prawidłowo

a pisownia jest zredagowana starannie. W zdecydowanej większości grafiki zamieszczone w pracy są wykonane starannie i czytelnie.

- Usterki i niedokładności

Układ pracy jest niekonwencjonalny jak na rozprawę doktorską. Doktorantka we wstępie deklaruje, że praca zawiera dwie zasadnicze części, tj. opisową i badawczą. Jednak w spisie treści i układzie pracy brakuje wydzielonych rozdziałów odnoszących się do wspomnianych części. Zamiast tego, praca zawiera 11 punktów (sekcji), w których umieszczone są poszczególne zagadnienia tematyczne.

4. Uwagi

4.1. Pytania i zagadnienia problematyczne

Po przeprowadzeniu oceny rozprawy doktorskiej przedstawionej w pkt. 3 niniejszej recenzji, nasuwa się szereg szczegółowych uwag, na które oczekiwałbym wyjaśnień i komentarzy ze strony doktorantki:

- 1) Na wstępie i wcześniej w streszczeniu oraz licznych powołaniach w treści pracy doktorantka nawiązuje do Eurokodu 2. Można zatem przypuszczać, że treść pracy będzie odnosiła się do postanowień tej normy. Ale dalej doktorantka deklaruje, że będzie zajmowała się dwoma rodzajami stali zbrojeniowej A-II (gładka) i A-III N (żebrowana). Jakie jest powiązanie tej deklaracji z postanowieniami Eurokodu 2, skoro ten nie dotyczy stali zbrojeniowej gładkiej oraz stali o granicą plastyczności niższej od 400 MPa (co praktycznie wyklucza stałe gatunku od A-0 do A-II oraz stal A-III gatunku 34GS)?
- 2) Sekcja 7.5. poświęcona jest prezentacji wyników badań doświadczalnych. W pierwszej kolejności Doktorantka prezentuje wyniki próby ściskania wybranej próbki o oznaczeniu S10/60/g. Autorka interpretuje mapę odkształceń uzyskaną z pomiarów Cyfrowej Korelacji Obrazu systemem Aramis a następnie dla wybranego punktu ilustruje wyniki w układzie σ - ϵ na jak na wykresie 7.19. Na tym samym wykresie przedstawiany jest zależność σ - ϵ dla stali zbrojeniowej. Jak zostały pozyskane dane do ilustracji tego wyniku (dotyczy to również wykresów na rys 7.22, 7.23, 7.24 i 7.25)?
- 3) W sekcji 8.2.3 w podsumowaniu analiz numerycznych doktorantka stwierdza, że wyniki obliczeń są zgodne z wnykami badań eksperymentalnych. Co to znaczy, że są zgodne? Czy jest jakieś kryterium zgodności?
- 4) W sekcji 10.2. na rys 10.3 doktorantka porównanie wyników obliczeni analitycznych i badań doświadczalnych w dwóch układach odniesienia (σ/f_y) oraz ($\Delta s/s$). Aby te wyniki można było uznać za porównywalne to oczekuje się, że współczynnik kierunkowy równania liniowego opisującego zmienność danych powinien być zbliżony do wartości 1,0 (tak jak w sekcji 10.1. przy porównaniu obliczeń MES i eksperymentu). Dlaczego współczynnik kierunkowy w tym przypadku znacząco odbiega od tej wartości?

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Zagadnienie dotyczące wpływu otulenia betonem na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojeniowych jest skomplikowane i kłopotliwe, dlatego też wymaga szczególnie dużo uwagi i zaangażowania badawczego. Skomplikowanie zagadnienia dotyczy mnogości parametrów, których wzajemna korelacja nie jest oczywista. Kłopotliwość tego zagadnienia tkwi głównie w pozyskaniu tych parametrów i racjonalnym ich powiązaniu.

Doktorantka dostrzega potencjał w naukowym rozwiązaniu tego zagadnienia i w tym obszarze ulokowała swoje zainteresowania naukowe. Właściwie identyfikuje cel i definiuje dwie tezy pracy które udowadnia, wykorzystując przy tym wiedzę naukową i umiejętności badawcze.

Doktorantka nie ustrzegła się drobnych usterek i niedokładności, które wynikają z niekonsekwencji w realizacji celów i być może pośpiechu. Pozostawiam więc te zdarzenia, traktując je jako obszar do dalszego doskonalenia.


Oryginalność rozwiązania naukowego polega na wyznaczeniu korelacji parametrów określających wpływu otulenia betonem na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojeniowych.

Ogólna wiedza teoretyczna doktorantki w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport została zaprezentowana w sposobie identyfikacji i rozwiązywania problemów naukowych. Doktorantka właściwie definiuje problemy naukowe na podstawie analizy literatury oraz własnych doświadczeń. Samodzielnie dobiera i prawidłowo stosuje narzędzia obliczeniowe w postaci programów do analiz numerycznych Metodą Elementów Skończonych.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy doktorantki polega głównie na zaplanowaniu i wykonaniu badań eksperymentalnych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi pomiarowych techniką Cyfrowej Korelacji Obrazu. Doktorantka pozyskuje dane pomiarowe, poprawnie ocenia i interpretuje wyniki, wyciąga racjonalne wnioski.

Mając na uwadze powyższe stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska, pt.: „*Wpływ otulenia betonem na niesprężyste wyboczenie prętów zbrojeniowych*”, spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki¹.

W związku z tym, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Uniwersytetu Zielonogórskiego o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Anny Kucharczyk-Biedniak do publicznej dyskusji.



dr hab. inż. Artur Piekarczyk, prof. ITB

¹ Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 z późn. zm.).