

Prof. dr hab. inż. **Tomasz SIWOWSKI**
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Katedra Dróg i Mostów
35-959 Rzeszów, ul. Poznańska 2
e-mail: siwowski@prz.edu.pl

Rzeszów, 10.09.2023 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Damiana Szczecha
pt. *„Analiza wpływu rodzaju zbrojenia na nośność ścinania
betonowych belek ze zbrojeniem poprzecznym”*

1. Przedmiot i podstawa formalna recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Szczecha pt. *„Analiza wpływu rodzaju zbrojenia na nośność ścinania betonowych belek ze zbrojeniem poprzecznym”* przygotowana na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Renata Kotynia, kierowniczką Katedry Budownictwa Betonowego na ww. wydziale PŁ.

Recenzję wykonałem na podstawie następujących dokumentów:

- [1] Pismo Prodziekana ds. Studenckich Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, dra hab. inż. Piotra Ostrowskiego, prof. Uczelni, z dnia 29.06.2023 r.
- [2] Umowa o dzieło nr D/24/2023/W6 z dnia 11.07.2023 r. na opracowanie recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Damiana Szczecha, zawarta pomiędzy recenzentem a Prodziekanem ds. Studenckich Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej, dr hab. inż. Piotrem Ostrowskim, prof. Uczelni.
- [3] Rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Szczecha pt. *„Analiza wpływu rodzaju zbrojenia na nośność ścinania betonowych belek ze zbrojeniem poprzecznym”*, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Budownictwa Betonowego, Łódź, czerwiec 2023 r. (2 tomy).
- [4] Ustawa z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r. poz. 1669).
- [5] Ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 nr 65 poz. 595, z późniejszymi zmianami).
- [6] Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. 2018 r. poz. 261).
- [7] Rozporządzenie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 27 października 2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. 2022, poz. 2202).
- [8] Recenzje w postępowaniach o awans naukowy. Poradnik. Rada Doskonałości Naukowej, Warszawa, 2022 r.

Zgodnie z treścią ustaw [4] i [5] celem niniejszej recenzji jest ocena spełnienia przez rozprawę doktorską warunków określonych w art.13 ust.1 ustawy [5], a w szczególności odpowiedź na pytania:

- a) czy rozprawa stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**;
- b) czy rozprawa wykazała **ogólną wiedzę teoretyczną kandydata** w dyscyplinie „*inżynieria lądowa, geodezja i transport*” zgodnie z [7];
- c) czy rozprawa wykazała **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej** przez kandydata.

Zgodnie z rozporządzeniem [6] niniejsza recenzja zawiera **szczegółowo uzasadnioną ocenę** recenzenta, czy rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Szczecha (dalej: Kandydata) spełniania ww. warunki. Jednocześnie recenzent uwzględnił w swojej opinii wymagania sprecyzowane w wytycznych RDN [8].

2. Charakterystyka ogólna rozprawy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Kandydata [3] jest zgodnie z jej tytułem analiza wpływu rodzaju zbrojenia na nośność na ścinanie betonowych belek ze zbrojeniem poprzecznym. Podstawowa rozprawa (tom I) liczy 240 stron, podzielonych na 8 rozdziałów, a także streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz stosowanych oznaczeń, piśmiennictwo oraz spis tabel i rysunków. Rozprawa zawiera 35 tabel, 168 rysunków, a piśmiennictwo obejmuje 299 pozycji. Integralną częścią rozprawy jest odrębny tom II zawierający cztery załączniki. Tom II z załącznikami liczy łącznie aż 460 stron, co daje łączną objętość rozprawy 700 stron (!?).

Zgodnie z art.13 ust.2 ustawy [5] rozprawa ma **formę maszynopisu**, zawierającego obszerny przegląd stanu wiedzy (rozdziały 2 i 6), kompleksowy raport z doświadczalnych badań naukowych (rozdziały 3, 4 i 5) oraz część analityczną, dotyczącą weryfikacji wybranych procedur normowych (rozdział 7). Zasadnicza treść rozprawy została poprzedzona obszernym wprowadzeniem (rozdział 1), zawierającym także uzasadnienie podjęcia tematyki badań własnych, cel, tezy oraz opis zakresu pracy. Rozprawę kończą wnioski (rozdział 8), zawierające także postulowane przez Kandydata kierunki dalszych badań. W odrębnym tomie rozprawy (tom II) Kandydat zamieścił **szczegółowe** wyniki analizy piśmiennictwa (bazę danych) oraz wyniki własnych badań doświadczalnych (dane materiałowe, zestawienie parametrów zmiennych oraz wyniki badań belek).

Układ rozprawy, zarówno od strony formalnej, jak również merytorycznej, **jest poprawny**. Kandydat prawidłowo rozpoczął rozprawę od bardzo obszernego przeglądu stanu wiedzy nt. badań nad ścinaniem elementów betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym, a następnie przedstawił bardzo wnikliwą analizę parametryczną zgromadzonej bazy danych z piśmiennictwa. Na podstawie wniosków uzyskanych z przeglądu wiedzy i analizy bazy danych Kandydat poprawnie zaplanował własne badania doświadczalne, przedstawiając je w kolejnych rozdziałach rozprawy w standardowy sposób, tj. kolejno: materiały i metody badawcze (program badań), wyniki badań własnych (umieszczone także w tomie II), analizę tych wyników oraz wnioski końcowe z wykonanych badań, powtórzone częściowo w ostatnim rozdziale rozprawy.

Piśmiennictwo wykorzystane przez Kandydata w rozprawie zawiera łącznie aż **299 pozycji** (w tym 27 norm i wytycznych projektowych), z czego zdecydowaną większość stanowią artykuły w zagranicznych czasopismach naukowych. Oceniając ogólnie wykorzystane przez

Kandydata piśmiennictwo można stwierdzić, że zostało ono dobrane prawidłowo, w liczbie adekwatnej do celów naukowych i tez rozprawy, i zostało **bardzo efektywnie wykorzystane** zwłaszcza w części rozprawy zawierającej przegląd stanu wiedzy (rozdział 2), a także w rozdziale opisującym procedury normowe projektowania elementów betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym (rozdział 6). Kandydat rzetelnie zebrał i przeanalizował wiedzę z krajowych i zagranicznych publikacji w zakresie przedmiotu rozprawy oraz z większości norm i wytycznych, zawierających stosowne procedury obliczeniowe. Zdecydowana większość wykorzystanych publikacji pochodzi z ostatnich 30 lat, jest więc to wiedza wystarczająco nowa, aby wnioski z jej przeglądu były aktualne.

Wśród cytowanego piśmiennictwa jest 15 współautorskich publikacji Kandydata, z czego **6 prac Kandydata dotyczy problematyki zawartej w rozprawie**. Prace te pochodzą z lat 2017 – 2021 i zawierają wybrane wyniki badań będących przedmiotem rozprawy. Trzy z tych prac stanowią referaty z konferencji zagranicznych, na których Kandydat prezentował swoje badania, pozostałe trzy są częściowymi raportami z badań, umieszczonymi w czasopiśmie krajowych. Częściowa prezentacja i/lub publikacja wyników badań Kandydata i tym samym ich pozytywna weryfikacja na forum krajowym i zagranicznym (konferencje, recenzje do czasopism) potwierdzają pośrednio dobrą wartość naukową rozprawy doktorskiej.

3. Ogólna ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Geneza i zasadność podjęcia tematu

Genezę i uzasadnienie podjęcia tematu przedstawił Kandydat dość przekonująco w p.1.5 rozprawy. Nie ulega wątpliwości, że problematyka optymalnego projektowania **konstrukcji betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym** wpisuje się w obecne trendy w inżynierii lądowej i jest jedną z najbardziej aktualnych. Ze względu na swoje doskonałe własności mechaniczne i fizyczne (m.in. odporność na korozję) pręty kompozytowe coraz częściej i szerzej zastępują konwencjonalne, stalowe pręty zbrojeniowe w konstrukcjach betonowych. Jednakże istniejące normy do projektowania takich konstrukcji są bardzo konserwatywne (zachowawcze), gdyż w większości przypadków są oparte na tradycyjnych wzorach do wymiarowania żelbetu. Szczególna dysproporcja pomiędzy wynikami badań a obliczeniami normowymi ma miejsce w przypadku oceny **nośności na ścinanie** elementów betonowych, zarówno niezbrojonych jak i zbrojonych na ścinanie prętami kompozytowymi. W pierwszym przypadku szerokie badania doświadczalne oraz ocenę wpływu różnych parametrów na nośność na ścinanie elementów betonowych przeprowadziła w swojej dysertacji dr M.Kaszubska (2018) pod kierunkiem prof. R.Kotyni. Rozprawa doktorska Kandydata podejmuje tę samą tematykę dla elementów betonowych zbrojonych na ścinanie prętami kompozytowymi, jest więc oczywistym uzupełnieniem wcześniej podjętej problematyki naukowej. Wyniki obu rozpraw mogą być podstawą do modyfikacji, optymalizacji i ujednoczenia dotychczasowych zasad projektowych, dotyczących ścinania elementów betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym. Na tym tle badania naukowe będące przedmiotem rozprawy doktorskiej Kandydata dobrze **wpisują się zarówno w trendy naukowe jak i potrzeby rynkowe** współczesnej inżynierii lądowej.

Motywuując podjęcie własnych badań, Kandydat wskazał na ograniczenia aktualnych norm i wytycznych do projektowania elementów ze zbrojeniem niemetalicznym, które bazują na analogiach z projektowaniem elementów żelbetowych. Wskazał jednocześnie, że problem zbrojenia na ścinanie jest jednym z najbardziej skomplikowanych, a w przypadku zbrojenia niemetalicznego jest dodatkowo bardzo zróżnicowany i niejednoznaczny w świetle aktualnych norm projektowych. Dlatego Kandydat uważa, że podjęcie tematu zbrojenia na ścinanie z

wykorzystaniem prętów kompozytowych przyczyni się do ujednoczenia zasad projektowania w tym zakresie. Poprzez szczegółową analizę parametrów zmiennych oraz precyzyjną ocenę (na podstawie badań własnych) wpływu wybranych parametrów na nośność na ścinanie elementów betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi, Kandydat zamierzał **zweryfikować dotychczasowe procedury normowe oraz je odpowiednio zmodyfikować**. Taka motywacja własnych badań naukowych w inżynierii lądowej jest jedną z najczęściej spotykanych, a jednocześnie uzasadnionych w kontekście potencjalnego wykorzystania efektów prac naukowych Kandydata w praktyce.

W rozprawie Kandydat podjął się doświadczalnej oceny wpływu wybranych parametrów na nośność na ścinanie elementów betonowych. Aby lepiej wykazać potencjalne różnice i/lub przewagi nowego materiału – prętów kompozytowych nad materiałem konwencjonalnym, tj. zbrojeniem stalowym, Kandydat przeprowadził w rozprawie badania porównawcze (zbrojenie GFRP vs. stalowe). Podjęcie się przez Kandydata badań eksperymentalnych nad zastosowaniem prętów kompozytowych do zbrojenia na ścinanie elementów betonowych w celu modyfikacji i udoskonalenia zasad projektowania takich elementów **uwzględniłem za ważne i uzasadnione**.

3.2. Cele i teza rozprawy

W rozprawie doktorskiej Kandydat powinien rozwiązać problem naukowy, realizując postawiony cel (cele) i/lub udowadniając sformułowaną tezę (tezy) metodami naukowymi. W recenzowanej rozprawie Kandydat nie sprecyzował problemu naukowego, lecz postawił sobie do realizacji kilka celów badawczych i sformułował aż cztery tezy. Stopień realizacji tych celów oraz udowodnienia tez został podsumowany we wnioskach końcowych rozprawy (rozdział 8).

Głównym celem rozprawy doktorskiej Kandydata była szczegółowa analiza mechanizmów zniszczenia na ścinanie belek betonowych o przekroju teowym zbrojonych na zginanie i ścinanie prętami kompozytowymi GFRP oraz porównanie tych mechanizmów z analogicznymi w konwencjonalnych belkach żelbetowych. Celem drugorzędym (?) rozprawy była analiza wpływu wybranych parametrów zmiennych (dotyczących wyłącznie zbrojenia) na nośność na ścinanie ww. belek. Ostatnim z celów rozprawy było porównanie wyników badań własnych z wynikami obliczeń normowych, wraz z weryfikacją i ewentualną modyfikacją wybranych procedur. W świetle przedstawionej wyżej genezy i zasadności podjęcia tematu, tak postawione **cele rozprawy są uzasadnione naukowo**, aczkolwiek w przypadku dwóch pierwszych celów można mieć pewne wątpliwości co do zasadności ich sformułowania (patrz p.4.1 i 4.2 recenzji). Postawione cele w rozprawie są **istotne i ważne także z punktu widzenia praktycznego** (projektowanie) i opisują także pośrednio problem naukowy (nie sprecyzowany w rozprawie), który Kandydat rozwiązał metodami naukowymi. Wszystkie **wymienione cele rozprawy zostały zrealizowane przez Kandydata w satysfakcjonujący sposób**.

Rozprawa zawiera **cztery szczegółowe tezy**, dotyczące wpływu na ścinanie czterech parametrów zbrojenia niemetalicznego belek betonowych (rodzaj, stopień, średnica, rozstaw). Zdaniem recenzenta Kandydat nieprawidłowo sformułował tezy rozprawy z następujących powodów:

- a) bo nie są wystarczająco powiązane z wszystkimi celami rozprawy;
- b) bo są oczywiste – zbrojenie na ścinanie (niezależnie od jego parametrów) zawsze ma dodatni (jakościowo i ilościowo) wpływ na nośność na ścinanie belek betonowych, bo po to właśnie jest stosowane;

- c) bo jest ich zbyt dużo, są zbyt szczegółowe i mają wyłącznie charakter jakościowy,
- d) bo wszystkie tezy zostały już wcześniej jakościowo i ilościowo „udowodnione”, co Kandydat wykazał w p.2.7 rozprawy, zawierającym podsumowanie stanu wiedzy.

Udowodnienie postawionych tez metodami naukowymi nie stanowiło zatem zbyt dużego wyzwania, co **zostało lakonicznie potwierdzone** przez Kandydata w p.8.2 rozprawy.

Tezy powinny być związane z celami pracy i mieć charakter odkrywczy, nie powielający znany stan wiedzy. Przynajmniej jedna z tez powinna dotyczyć dominujących mechanizmów zniszczenia na ścinanie belek betonowych o przekroju teowym. Kolejna teza powinna agregować wpływ poszczególnych parametrów badawczych nie tylko jakościowo, lecz również ilościowo. Teza mogłaby także zawierać np. gradację ważności efektów wpływu badanych parametrów. Wskazana byłaby także teza związana z modyfikacją procedur projektowych (co przecież stanowi jeden z celów pracy).

3.3. Przegląd stanu wiedzy

Przegląd stanu wiedzy w przedmiocie rozprawy jest zawarty w rozdziałach 1 i 2 (łącznie ok. 70 stron) i stanowi ok. 30% jej podstawowej treści (tom I). Obejmuje on ogólną charakterystyką zjawiska ścinania w elementach betonowych, opis mechanizmów przenoszących ścinanie oraz modeli teoretycznych, symulujących to zjawisko (rozdział 1), a także bardzo obszerny opis dotychczasowych badań na ścinanie elementów betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi wraz ze szczegółową analizą zebranej bazy danych (rozdział 2). Przegląd stanu wiedzy obejmuje krajowe i zagraniczne prace naukowe z ostatniej dekady XX w. i pierwszych dekad XXI w. Jest więc to wiedza stosunkowo nowa, dlatego wnioski z jej przeglądu są bardzo aktualne, a podsumowanie przeglądu (w szczególności p. 2.4 – 2.7) stanowi rzetelne uzasadnienie celów badań własnych Kandydata.

Na podkreślenie zasługuje bardzo profesjonalnie wykonany przegląd stanu wiedzy (zawartej w 20 publikacjach naukowych z lat 1993 - 2021) **w zakresie badań na ścinanie elementów betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi**. Kandydat szczegółowo przeanalizował wyniki badań łącznie 191 belek zbrojonych podłużnie i poprzecznie prętami kompozytowymi. Każde z badań zostało szczegółowo opisane, a opis każdorazowo zawierał program badań, zastosowane metody badawcze, analizę wyników oraz wnioski wyciągnięte przez autorów. Tak szczegółowa analiza piśmiennictwa pozwoliła Kandydatowi na wykonanie własnej, syntetycznej analizy wyników obcych badań doświadczalnych (p.2.6 rozprawy). Dysponując wynikami badań 191 elementów, Kandydat ocenił wpływ parametrów zbrojenia kompozytowego, wytrzymałości betonu oraz geometrii elementów na nośność na ścinanie elementów betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym. Dla każdego z ww. parametrów Kandydat opracował m.in. jakościowe wykresy dla uzyskanych zależności wraz z ich krótkim omówieniem, jednakże nie zdefiniował odpowiednich funkcji analitycznych, które pozwoliłyby na ilościową ocenę wykazanych zależności.

W podsumowaniu przeglądu obcych badań doświadczalnych (p.2.7 rozprawy) Kandydat wykazał wiele szczegółowych, głównie jakościowych zależności, zidentyfikował obszary braku wystarczającej wiedzy w tym zakresie, lecz nie sprecyzował szczegółowego uzasadnienia dla celów i zakresu badań własnych. Uzasadnienie to, zawarte w p.17 wniosków powtarzało opisaną już wcześniej (p.1.5 rozprawy) motywację do badań - uporządkowanie stanu wiedzy, zwiększenie bazy danych, ocenę wpływu zbrojenia kompozytowego itp.

Jako przegląd stanu wiedzy w przedmiocie rozprawy należy także traktować rozdział 6, w którym Kandydat omówił aktualnie dostępne procedury normowe i modele teoretyczne w zakresie prognozowania nośności na ścinanie belek betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi. Omówienie tego rozdziału zamieściłem w p.3.6 recenzji.

3.4. Zastosowane metody badawcze

Badania doświadczalne zostały wykonane na **18 belkach betonowych** o przekroju teowym i wymiarach 250/650 x 400 x 2400 mm, wykonanych z betonu C25/30. Dziesięć belek miało zbrojenie niemetaliczne z prętów kompozytowych GFRP o różnym stopniu zbrojenia, średnicy i rozstawie prętów, pozostałe osiem belek było zbrojone konwencjonalnie prętami stalowymi, również o różnym stopniu zbrojenia, średnicy i rozstawie prętów. Parametrami zmiennymi w badaniach porównawczych były: rodzaj zbrojenia (GFRP vs. stal), stopień zbrojenia podłużnego, stopień zbrojenia poprzecznego oraz średnica zbrojenia na ścinanie i jego rozstaw.

Belki były badane pod obciążeniem statycznym w schemacie trzypunktowego zginania aż do zniszczenia przez ścinanie. Podczas badań mierzono odkształcenia betonu, prętów kompozytowych i stalowych oraz przemieszczenia (ugięcia) i zarysowanie betonu belek. Zidentyfikowano również dokładnie postać zniszczenia poszczególnych belek. Do pomiarów tych wielkości Kandydat zastosował **bardzo bogaty i kompleksowy układ pomiarowy**, obejmujący:

- a) pomiary odkształceń prętów stalowych i kompozytowych za pomocą tensometrów elektrooporowych;
- b) pomiary odkształceń betonu za pomocą czujników indukcyjnych LVDT (*linear variable deflection transducers*);
- c) pomiary przemieszczeń belek czujnikami LVDT;
- d) pomiary odkształceń betonu za pomocą cyfrowej korelacji obrazu DIC (*digital image correlation*);
- e) pomiary rozwoju zarysowania betonu za pomocą cyfrowej korelacji obrazu DIC.

Tak bogaty, a zarazem nowoczesny i efektywny układ pomiarowy pozwolił Kandydatowi na zebranie bardzo obszernej bazy wyników badań własnych, co zdecydowanie uwiarygodniło wyciągnięte na ich podstawie **wnioski w zakresie mechanizmów zniszczenia** na ścinanie belek betonowych zbrojonych na zginanie i ścinanie prętami kompozytowymi GFRP i prętami stalowymi oraz **umożliwiło ilościową ocenę wpływu poszczególnych parametrów badawczych na nośność belek na ścinanie**.

Podstawowe badania doświadczalne belek zostały poprzedzone konwencjonalnymi **badaniami materiałowymi** betonu, prętów kompozytowych i stalowych wg adekwatnych procedur normowych.

3.5. Wyniki badań doświadczalnych i ich analiza

Rozdział 4 rozprawy zawiera wyniki przeprowadzonych przez Kandydata badań doświadczalnych w zakresie oceny mechanizmów zniszczenia belek, analizy zarysowania betonu, odkształceń betonu, prętów kompozytowych i stalowych oraz przemieszczeń belek. Zbiorcze, ilościowe wyniki badań belek zawierają tabele od 4.5 do 4.8 oraz podsumowanie badań doświadczalnych (p.4.3 w rozprawie). Szczegółowe, indywidualne wyniki badań dla każdej z belek są zawarte w załączniku (tom II).

Uzyskane przez Kandydata wyniki badań doświadczalnych i ich analiza mają **bardzo dużą wartość poznawczą i stanowią znaczący wkład do istniejącego stanu wiedzy w zakresie nośności na ścinanie belek betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi**. Dużą wartością badań naukowych Kandydata jest kompleksowość uzyskanych wyników, obejmujących zarówno ocenę mechanizmów zniszczenia na ścinanie, wyężenia, zarysowania i sztywności belek betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi GFRP i prętami stalowymi (p.4.2 i 4.3 rozprawy), a także ocenę wpływu wybranych parametrów zbrojenia GFRP na nośność na ścinanie ww. belek (p.5 rozprawy). W świetle przeprowadzonych badań Kandydat stwierdził, że **mechanizm zniszczenia na ścinanie belek zbrojonych prętami kompozytowymi i stalowymi jest podobny**. Występują oczywiście różnice ilościowe (na korzyść belek żelbetowych - co było oczywiste), jednak oprócz ich identyfikacji, uzyskana wiedza nie przynosi większych praktycznych korzyści (patrz uwaga p. 4.1 poniżej). Znacznie większą wartość mają wyniki badań belek ze zbrojeniem niemetalicznym w kontekście wpływu parametrów tego zbrojenia na nośność belek na ścinanie.

Zagadnienie to jest przedmiotem analizy, zawartej w rozdziale 5 rozprawy. Kandydat zbadał wpływ następujących parametrów: stopnia zbrojenia podłużnego (ρ_l), stopień zbrojenia poprzecznego (ρ_w), średnica (ϕ_s) i rozstaw (s) zbrojenia poprzecznego (strzemion) oraz rodzaj zbrojenia (GFRP vs. stal), na nośność belek na ścinanie, ich zarysowanie oraz sztywność (ugięcie). Wyznaczony doświadczalnie efekt wpływu ww. parametrów na nośność na ścinanie został przedstawiony graficznie, lecz Kandydat nie pokusił się o wyprowadzenie zależności analitycznych. Z grupy parametrów wybranych do analizy **tylko te dotyczące zbrojenia poprzecznego (ρ_w , ϕ_s , s) mogą być bezpośrednio wykorzystane** do ewentualnej weryfikacji i modyfikacji procedur normowych. Parametr ρ_l jest bowiem uwikłany w nośność betonu na ścinanie (V_c) i jego wpływ trudno wyznaczyć bezpośrednio z przeprowadzonych badań. Natomiast wynik porównania rodzaju zbrojenia GFRP vs. stal był od początku oczywisty, chociaż ilościowa identyfikacja tego wpływu (spadek nośności na ścinanie od 10% do 40% w przypadku prętów GFRP) ma także pewną wartość poznawczą, z zastrzeżeniem podanym w uwadze p. 4.1 poniżej.

Badania doświadczalne przeprowadzone przez Kandydata pozwoliły na wyznaczenie ilościowego wpływu parametrów charakteryzujących kompozytowe zbrojenie poprzeczne (ρ_w , ϕ_s , s) na nośność na ścinanie belek betonowych. **To jest głównym osiągnięciem badawczym Kandydata**, które zostało efektywnie wykorzystane do weryfikacji i modyfikacji procedur normowych. Bez wątplenia dużą wartość poznawczą ma także identyfikacja **wplywu osłabienia strzemion w narożach** na nośność na ścinanie belki związanej ze zbrojeniem poprzecznym (V_f), co pozwala na ujęcie tego wpływu w procedurach obliczeniowych. Oba osiągnięcia mają zatem swój wymiar praktyczny, związany z bezpiecznym i efektywnym projektowaniem belek zbrojonych prętami kompozytowymi.

3.6. Weryfikacja i modyfikacja procedur normowych

W rozdziale 6 Kandydat omówił aktualnie dostępne procedury normowe i modele teoretyczne (obliczeniowe) w zakresie prognozowania nośności na ścinanie belek betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi. Omówieniem objęto 9 norm oraz 4 modele obliczeniowe, wskazując na ich główne różnice. Kandydat przedstawił różne sposoby redukcji nośności betonu i/lub zbrojenia kompozytowego stosowane w poszczególnych normach przy ocenie nośności na ścinanie. Kandydat podkreślił także, że stosowane w normach współczynniki redukcyjne (nieprawidłowo nazwane współczynnikami bezpieczeństwa) prowadzą do „dość

konserwatywnej prognozy nośności na ścinanie”, dlatego podjął się ich weryfikacji i modyfikacji w oparciu w wyniki badań własnych.

Rozdział 7 zawiera wyniki prac weryfikacyjnych i modyfikacyjnych Kandydata w stosunku do czterech wybranych procedur normowych oraz czterech wybranych z piśmiennictwa modeli teoretycznych (nie podano kryterium tego wyrobu). Kandydat porównał wyniki własnych badań nośności na ścinanie 10 belek ze zbrojeniem kompozytowym z wartościami tej nośności, obliczonymi wg wybranych procedur normowych i modeli teoretycznych. Wśród procedur normowych najlepszą zgodność otrzymano dla norm amerykańskiej i kanadyjskiej, lecz wysokie wartości współczynników zgodności (odpowiednio 1,62 i 1,67) wskazują na wysoki stopień konserwatywności tych procedur. Lepsze wyniki Kandydat uzyskał dla modeli teoretycznych, wśród których najlepsze okazały się modele Heggera i Fico (współczynniki zgodności odpowiednio 1,07 i 1,10). Wyniki porównania pozwoliły Kandydatowi zaproponować odpowiednie modyfikacje najbardziej zgodnych procedur i modeli. Finalne modyfikacje zaproponowane przez Kandydata dotyczyły normy kanadyjskiej CSA oraz modelu Ollera. **Te propozycje stanowią zdaniem recenzenta najbardziej oryginalną i praktyczną wartość prac naukowych Kandydata.** Wprawdzie Kandydat dystansuje się od swoich osiągnięć, wskazując ich słaby punkt – brak uwzględnienia wpływu osłabienia naroży – to jednak w podsumowaniu rozdziału 7 proponuje zmiany w zakresie kontroli odkształceń kompozytu, mające ulepszyć zmodyfikowane procedury projektowe.

3.7. Podsumowanie rozprawy

Podsumowanie rozprawy zawiera bardzo szczegółowe **zestawienie wniosków jakościowych i ilościowych**, sformułowanych przez Kandydata w poszczególnych rozdziałach rozprawy oraz sugerowane przez Kandydata kierunki dalszych badań w przedmiocie rozprawy. W podsumowaniu Kandydat odniósł się tylko pośrednio do celów rozprawy i bardzo lakonicznie potwierdził jej tezy, bez sprecyzowania dowodów wynikających z przeprowadzonych prac naukowych. Jednakże ogólnie można stwierdzić, że poszczególne wnioski końcowe (jest ich w sumie aż 27 !?) zawierają informacje potwierdzające realizację celów rozprawy oraz udowadniają nie wprost postawione tezy.

Stopień realizacji celów oraz potwierdzenia tez rozprawy jest satysfakcjonujący. Kandydat w satysfakcjonujący sposób przeprowadził w rozprawie szczegółową analizę mechanizmów zniszczenia na ścinanie belek betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi GFRP oraz porównał te mechanizmy z analogicznymi w konwencjonalnych belkach żelbetowych. Kandydat bardzo dobrze przeprowadził analizę wpływu wybranych parametrów zmiennych zbrojenia kompozytowego na nośność na ścinanie ww. belek oraz porównał wyniki badań własnych z wynikami obliczeń normowych, wraz z weryfikacją i propozycją modyfikacji wybranych procedur projektowych. Jednocześnie z uwagi na nieprawidłowe sformułowanie przez Kandydata tez rozprawy, ich udowodnienie metodami naukowymi nie stanowiło zbyt dużego wyzwania i zostało wykonane automatycznie.

Mając świadomość ograniczeń własnej pracy naukowej, Kandydat **sprecyzował kierunki dalszych badań nad rozwojem procedur projektowych elementów betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym.** Wśród nich są m.in: uwzględnienie wpływu wytrzymałości betonu na nośność na ścinanie, badania stopnia osłabienia strzemion w narożach, dalsza weryfikacja i modyfikacja istniejących procedur normowych, a także wykorzystanie analiz numerycznych na modelach walidowanych w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań

doświadczalnych. Kierunki te wynikają wprost z doświadczeń uzyskanych przez Kandydata podczas realizacji własnych badań naukowych, będących przedmiotem rozprawy.

4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Kilka uwag krytycznych podałem już w p. 3 recenzji, oceniając ogólnie zawartość merytoryczną rozprawy. Poniżej przedstawiłem zbiorczo te i kolejne **uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz wątpliwości i pytania**, które sformułowałem po analizie rozprawy.

- 4.1. W świetle wyników rozprawy porównywanie analogicznych elementów betonowych zbrojonych prętami niemetalicznymi i stalowymi nie wnosi żadnej nowej wiedzy w stosunku do powszechnie znanych, intuicyjnych różnic pomiędzy takimi elementami, a wynikających z różnych charakterystyk materiałowych zbrojenia. Owszem, Kandydat wyznaczył różnice ilościowe w nośności porównywanych elementów, ale nie mają one większego praktycznego znaczenia. Zastosowanie prętów niemetalicznych w elementach betonowych nie wynika bowiem z potencjalnych korzyści ocenianych wg SGN, lecz z wysokiej trwałości zbrojenia niemetalicznego i związanej z tym podwyższonej trwałości (nie nośności) elementów betonowych. Reasumując, duży wkład pracy Kandydata w badanie nośności elementów żelbetowych uważam za nieefektywny i mało przydatny.
- 4.2. Zgodnie z tytułem pracy Kandydat ograniczył w badaniach liczbę parametrów zmiennych jedynie do parametrów opisujących zbrojenie podłużne i poprzeczne (stopień, średnica, rozstaw) oraz ich wpływu na nośność na ścinanie (V_f). Tymczasem średni wpływ betonu na ścinanie (V_c) wynosi ok. 60 – 70% całkowitej nośności na ścinanie elementu (por. rys.7-6 w rozprawie). Czy w świetle celu pracy (weryfikacja i modyfikacja procedur projektowych) pominięcie wpływu wytrzymałości betonu nie stanowi zbyt dużego ograniczenia badań i wiarygodności wyników w kontekście ich wykorzystania do prognozowania nośności na ścinanie?
- 4.3. Kandydat podkreśla oryginalność swoich badań związaną z przyjęciem teowego przekroju belki (p.1.6 rozprawy), na tle innych dotychczasowych badań, w których belki miały przekrój prostokątny (98% populacji wyników). W jaki sposób Kandydat zidentyfikował na podstawie własnych badań doświadczalnych wpływ tej oryginalnej geometrii przekroju na nośność belek na ścinanie?
- 4.4. Jaki cel miał Kandydat przyjmując jako jeden z głównych parametrów badawczych stopień zbrojenia podłużnego? Parametr ρ_l jest bowiem uwikłany w nośność betonu na ścinanie (V_c) i jego wpływ trudno wyznaczyć bezpośrednio zarówno z przeprowadzonych badań jak i analiz procedur normowych? Jaki wniosek nt. ilościowego wpływu tego parametru na całkowitą nośność na ścinanie można sformułować na podstawie przeprowadzonych badań?
- 4.5. Jaki jest ilościowy wpływ osłabienia strzemion kompozytowych w narożach na nośność na ścinanie belki? Czy wielkość tego negatywnego wpływu nie dyskwalifikuje praktycznie tego rodzaju zbrojenia na ścinanie (strzemiona)?
- 4.6. Na jakiej podstawie Kandydat zaproponował (p.7.4, wniosek 4) zwiększenie maksymalnego dopuszczalnego odkształcenia prętów strzemion z wartości 0,004 (proponowanej w wielu normach) do wartości 0,006? Czy wartość ta uwzględnia wpływ osłabienia w narożach?

4.7. Dlaczego Kandydat zaproponował modyfikację modelu Ollera (rys.7-11), skoro lepszą zgodność z wynikami badań uzyskano dla modeli Heggera i Fico (tabela 7-2)?

4.8. Czy generalne wnioski wyciągnięte z prac naukowych Kandydata można również odnieść do belek zbrojonych prętami niemetalicznymi, wykonanymi z innych kompozytów, np. CFRP i BFRP?

5. Ocena strony formalnej i redakcji rozprawy

Układ rozprawy ocenilem w p.2 recenzji i uznaję go za poprawny zarówno od strony formalnej, jak również merytorycznej. Redakcja tekstu rozprawy jest także właściwa, na dobrym poziomie edytorskim, bez większych błędów formalnych i językowych. Język rozprawy jest poprawny technicznie, spójny i zrozumiały.

Poniżej przedstawiłem **kilka najważniejszych uwag natury redakcyjnej**, jakie zauważałem oceniając tekst rozprawy:

- a) w tytule błędnie użyto wyrażenia „nośność ścinania”; prawidłowo powinno być „nośność na ścinanie” lub (stosowane rzadziej) „nośność przy ścinaniu”;
- b) p.1.1 do 1.4 rozprawy powinny być umieszczone w rozdziale 2, gdyż stanowią część przeglądu stanu wiedzy w tematyce rozprawy;
- c) Kandydat błędnie używa określenia „tablica” zamiast „tabela”;
- d) p.6.2 rozprawy jest zbędny, gdyż procedury dla żelbetu są powszechnie znane, a nie były one przedmiotem weryfikacji i modyfikacji, opisanych w rozdziale 7;
- e) brak oznaczenia norm na rys.7-7, s.205;
- f) niektóre (nieliczne) pozycje piśmiennictwa są opisane niejednolicie (brak jednego stylu) i w sposób niepełny, bez podstawowych informacji bibliograficznych;
- g) dyskusyjne jest umieszczanie w monografii wszystkich szczegółowych wyników pomiarów (załącznik II – łącznie ok. 460 !); zdaniem recenzenta w części głównej monografii powinny być umieszczone wykresy potwierdzające kluczowe wartości zawarte w tabelach, a pozostałe szczegółowe wyniki badań, nie uwzględniane w dalszej analizie, można było w monografii pominąć.

6. Ocena spełnienia przez rozprawę doktorską warunków określonych w art.13 ust.1 ustawy [5]

6.1. Ocena oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

Oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego przez Kandydata jest **ilościowa i jakościowa ocena wpływu wybranych parametrów zbrojenia kompozytowego GFRP na nośność na ścinanie belek betonowych ze zbrojeniem poprzecznym**. W szczególności do oryginalnych osiągnięć Kandydata zaliczam:

- a) ilościową i jakościową ocenę wpływu stopnia, średnicy oraz rozstawu zbrojenia kompozytowego na nośność na ścinanie, a także na zarysowanie, postać zniszczenia oraz sztywność belek betonowych ze zbrojeniem poprzecznym,
- b) weryfikację i modyfikację wybranych procedur normowych i modeli teoretycznych do oceny nośności na ścinanie belek betonowych ze zbrojeniem poprzecznym,
- c) autorskie propozycje modyfikacji, optymalizacji i ujednoczenia dotychczasowych zasad projektowych elementów betonowych, zbrojonych prętami kompozytowymi,

- d) szczegółową analizę mechanizmów zniszczenia na ścinanie belek betonowych zbrojonych na zginanie i ścinanie prętami kompozytowymi na podstawie własnych badań doświadczalnych,
- e) identyfikację wpływu osłabienia strzemion w narożach na nośność na ścinanie belki, co pozwala na ujęcie tego wpływu w procedurach projektowych,
- f) bardzo profesjonalny przegląd stanu wiedzy w zakresie badań na ścinanie elementów betonowych zbrojonych prętami kompozytowymi oraz stworzenie bazy danych do przyszłych analiz (wyniki badań 191 elementów).

Kandydat zrealizował postawione w rozprawie cele badawcze za pomocą indywidualnie zaprojektowanych badań doświadczalnych, obejmujących badania materiałowe (stal, GFRP, beton) oraz badania wytrzymałościowe z wykorzystaniem nowoczesnych technik pomiarowych, a także za pomocą prac analitycznych w zakresie procedur obliczeniowych (normowych, projektowych).

Zarówno podjęta przez Kandydata tematyka badawcza jak również opracowany przez niego indywidualny program własnych badań doświadczalnych oraz prac analitycznych cechują się wysokim stopniem oryginalności, w szczególności w warunkach krajowych. Dlatego jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa Kandydata stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, przez co **spełnia ona warunek określony w art.13 ust.1 ustawy [5]**.

6.2. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport”

Analiza treści rozprawy pozwala ocenić ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w przedmiotowej dyscyplinie jako **wystarczającą i satysfakcjonującą w świetle wymagań ustawowych**. W szczególności Kandydat wykazał się dobrą wiedzą ogólną w zakresie teorii konstrukcji betonowych, metod ich projektowania i badań doświadczalnych, a także wiedzą ekspercką w zakresie zastosowania zbrojenia niemetalicznego, będącego nowym i innowacyjnym materiałem budowlanym. Zastosowanie zbrojenia niemetalicznego w konstrukcjach betonowych jest głównym obszarem wiedzy eksperckiej Kandydata w przedmiotowej dyscyplinie. Kandydat nie tylko zna cechy, zalety i wady nowego materiału oraz obszary jego zastosowań w inżynierii lądowej, lecz także procedury obliczeniowe umożliwiające jego praktyczne stosowanie. Kandydat także potrafił prawidłowo wskazać kierunki rozwoju zastosowań zbrojenia niemetalicznego w inżynierii lądowej.

Wiedza ogólna Kandydata nie ogranicza się jedynie do inżynierii lądowej, ale obejmuje także **dyscyplinę inżynierii materiałowej**, pozwalając Kandydatowi prowadzić badania naukowe dotyczące zastosowań nowego, innowacyjnego materiału. Elementy wiedzy Kandydata z inżynierii materiałowej są widoczne głównie w przeglądzie piśmiennictwa (rozdział 2) oraz badaniach materiałowych (rozdział 4), gdzie profesjonalnie została przedstawiona charakterystyka prętów kompozytowych. Interdyscyplinarność wiedzy ogólnej Kandydata jest widoczna także w umiejętności wykorzystania synergii zalet dwóch różnych materiałów budowlanych: kompozytu GFRP oraz betonu. Taka interdyscyplinarność wiedzy jest aktualnie bardzo pożądana, gdyż rozwój współczesnej inżynierii lądowej jest napędzany w równym stopniu osiągnięciami inżynierii materiałowej i kreowaniem nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych.

Współczesna inżynieria lądowa stała się już dawno nauką interdyscyplinarną, a rozprawa Kandydata dobrze pokazuje zasadność tego stwierdzenia. Kandydat w rozprawie wykorzystał

wiedzę ogólną z dwóch dyscyplin z dziedziny nauk inżyniersko-technicznych, efektywnie i skutecznie łącząc ją dla realizacji głównych celów rozprawy. Dlatego jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa **wyказała ogólną wiedzę teoretyczną** Kandydata w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport”, przez co **spełnia ona warunek określony w art.13 ust.1 ustawy [5]**.

6.3. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata

Rozprawa doktorska Kandydata powstała **pod kierunkiem doświadczonego promotora**: prof. dr hab. inż. Renaty Kotyni, która jest inicjatorem, liderem i głównym kierownikiem prac naukowych KBB PŁ w zakresie zastosowania zbrojenia niemetalicznego w konstrukcjach betonowych. Trudno zatem mówić o pełnej samodzielności prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata. Bez wątplenia przedmiot rozprawy (pomysł), elementy jej oryginalności, zakres, program badań oraz wnioski końcowe powstały przy dużym zaangażowaniu Pani Promotorki. Ponadto Kandydat, będąc doktorantem jednostki naukowej, w której realizowano badania doświadczalne, musiał bez wątplenia korzystać ze wsparcia chociażby personelu laboratorium badawczego KBB PŁ.

Jednakże oba ww. fakty nie podważają dużej samodzielności prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata, zwłaszcza w zakresie przeglądu stanu wiedzy, na etapie realizacji badań doświadczalnych, obróbki ich wyników i analizy wniosków z badań, a także w samodzielnym wykonaniu prac analitycznych, dotyczących procedur normowych. Kandydat skutecznie realizując i finalizując rozprawę doktorską **potwierdził nabycie stosownych kompetencji do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. Kompetencje te można określić następująco:

- a) zdolność do krytycznego przeglądu istniejącej wiedzy, zawartej w źródłach krajowych i zagranicznych, w celu identyfikacji podstawowych problemów badawczych i opracowania planu badań doświadczalnych;
- b) zdolność do planowania badań doświadczalnych w zakresie elementów budowlanych;
- c) zdolność do prowadzenia badań doświadczalnych (materiałowych, wytrzymałościowych) w zakresie elementów budowlanych z wykorzystaniem konwencjonalnych metod badawczych;
- d) zdolność do wykorzystania konwencjonalnych i niekonwencjonalnych (DIC) technik pomiarowych w inżynierii lądowej;
- e) umiejętność obróbki i wizualizacji wyników badań doświadczalnych, analizy tych wyników oraz wyciągania poprawnych wniosków;
- f) zdolność do wykorzystywania, weryfikacji i aktualizacji procedur normowych, stosowanych w inżynierii lądowej;
- g) umiejętność wyznaczania kierunków dalszych badań w oparciu o wyniki przeprowadzonych własnych badań i analiz.

Ww. kompetencje nabyte przez Kandydata potwierdzają **umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej**, przez co **spełniony jest warunek określony w art.13 ust.1 ustawy [5]**.

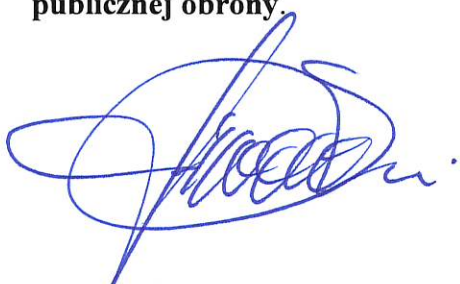
7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Szczecha stanowi **oryginalne rozwiązanie problemu naukowego**, jakim była ocena wybranych parametrów zbrojenia niemetalicznego na nośność na ścinanie belek betonowych ze zbrojeniem poprzecznym. Kandydat rozwiązał problem naukowy metodami doświadczalnymi i analitycznymi, realizując własny program

badania naukowych. W wyniku opisanych w rozprawie prac naukowych Kandydat ocenił ilościowo i jakościowo efektywność niekonwencjonalnego zbrojenia niemetalicznego do zbrojenia elementów betonowych na ścinanie oraz porównał ją z efektywnością rozwiązań konwencjonalnych (zbrojenie stalowe). Kandydat zweryfikował wybrane procedury normowe i modele teoretyczne do oceny nośności na ścinanie i opracował autorskie propozycje modyfikacji, optymalizacji i ujednoczenia dotychczasowych zasad projektowych elementów betonowych, zbrojonych prętami kompozytowymi.

Kandydat wykorzystał w rozprawie wiedzę z dwóch dyscyplin z dziedziny nauk inżyniersko - technicznych, efektywnie i skutecznie łącząc ją dla realizacji celów rozprawy, przez co **wykazał ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie „inżynieria lądowa, geodezja i transport”**. Podczas realizacji rozprawy Kandydat nabył także odpowiednie kompetencje badawcze, które **potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia przez niego pracy naukowej**. Jednocześnie ze względu na rosnące zapotrzebowanie na zastosowanie zbrojenia niemetalicznego w budownictwie, zwłaszcza w obszarze infrastruktury transportowej, wyniki pracy naukowej Kandydata **mają duże znaczenie praktyczne**.

Reasumując mogę jednoznacznie stwierdzić, że oczywiste walory poznawcze rozprawy, oryginalna realizacja postawionych celów metodami naukowymi, a także wykazana w pracy ogólna wiedza teoretyczna i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata, upoważniają mnie do stwierdzenia, że rozprawa doktorska mgr inż. Damiana Szczecha pt. „*Analiza wpływu rodzaju zbrojenia na nośność ścinania betonowych belek ze zbrojeniem poprzecznym*”, **spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w ustawie [5] oraz do postawienia wniosku o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony**.



Tomasz Siwowski
Rzeszów, 10.09.2023 r.

