

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ MGR INŻ. ŁUKASZA KRAWCZYKA

pt.: „WZMACNIANIE KRÓTKICH WSPORNIKÓW ŻELBETOWYM ZBROJENIEM WKLEJANYM”

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej z dnia 6 lipca 2017 nr 733 oraz pismo nawiązujące do tej uchwały z dn. 13.07.2017, które podpisał Dziekan WBA i IS dr hab. inż. Marek Lefik, prof. PŁ.

2. Przedmiot, treść pracy i układ redakcyjny pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Krawczyka pt. „Wzmacnianie krótkich wsporników żelbetowych zbrojeniem klejonym”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Tadeusz Urban, prof. PŁ.

Praca doktorska składa się z dwóch tomów. Pierwszy, główny tom rozprawy liczy 196 stron, drugi tom, to Załącznik zawierający na 260 stronach szczegółowe wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta badań.

Treść rozprawy podzielona została na 5 rozdziałów, do których uzupełnieniem jest tzw. Dodatek A, zawierający analizę błędów pomiarów uzyskanych bezstykową metodą z wykorzystaniem systemu ARAMIS. Ponadto do treści pracy dołączono na początku streszczenie w języku polskim i angielskim, zaś na końcu dysertacji spis rysunków, spis tablic, listę symboli i bibliografię (19 pozycji norm i aprobat oraz 150 pozycji prac naukowych).

Zasadniczą treść pracy doktorskiej rozpoczyna krótki, dwustronicowy rozdział 1. pt. Wprowadzenie, w którym Autor uzasadnia podjęcie tematyki, podaje zakres pracy i tezy rozprawy.

Doktorant sformułował dwie tezy a mianowicie: wsporniki o niskim stopniu zbrojenia można skutecznie wzmacniać za pomocą prętów klejonych oraz, że istniejące metody projektowania można stosować również do obliczeń tak wzmocnionych wsporników.

W rozdziale 2 (37 strony, 30 rys., 14 tablic, 30 wzorów) Autor w syntetyczny sposób przedstawił stan wiedzy na temat wzmacniania krótkich wsporników. Opisał dotychczas przeprowadzone badania wzmocnień wsporników. Prowadzone badania w dominującej większości dotyczyły wzmocnień za pomocą mat lub taśm CFRP. W tym samym rozdziale

opisano metody obliczania nośności żelbetonowych krótkich wsporników, skupiając się na dwóch metodach autorskich wykorzystujących model kratownicowy: Hagberga i Nagrodzkiej-Godyckiej – uwzględniającej wytrzymałość betonu na ściskanie przy ścinaniu f_{cr} . Obie metody uwzględniają zmienną wysokość strefy ściskanej wspornika.

Z metod normowych Autor opisał procedurę obliczeniową według PN-B-03264:1999, procedurę tej normy w wersji z roku 2002, która uwzględniała zalecenia *fib* jak również wnioski z badań Nagrodzkiej-Godyckiej, oraz ogólne zalecenia jakie znajdują się w obecnej europejskiej (w wersji oryginalnej EN-1992-1-1- w tłumaczeniu na język polski PN-EN-1992-1-1). Autor wymienił również nowsze badania nad wspornikami i analizy postulujące obliczanie nośności z wykorzystaniem modeli ST (m.in. Hwang, Muttoni z zespołem), jak też analizy wykorzystujące hipotezę ścinania –tarcia (głównie w literaturze amerykańskiej, m.in. Mattock). Przytoczono również zwięzły opis dotyczący nośności i wymaganego zakotwienia prętów wklejanych stosowanych, jako wzmocnienie. Rozdział 2 zakończono krótkim podsumowaniem.

Rozdziały 3,4 i 5 wraz z Dodatkiem A stanowią główną, autorską część pracy doktorskiej.

W rozdziale 3 (67 stron, 107 rysunków, 5 tablic) Doktorant przedstawił bardzo dobrze udokumentowane badania własne.

Doktorant zbadał w sumie 16 wsporników, pod pionowym obciążeniem doraźnym, które zostały podzielone na 5 serii. Stopień wewnętrznego zbrojenia głównego badanych wsporników był raczej niski ($\rho_s = 0,38\%$ do $0,5\%$). W każdej z serii przewidziano wspornik referencyjny (bez wzmocnień). Wsporniki obciążane były siłą pionową przekazywaną przez stalową płytkę, której długość była równa szerokości wspornika w seriach C, D i E. Wzmacniano elementy zarysowane, pod obciążeniem.

W serii A (2 wsporniki), B (2 wsporniki) i C (4 wsporniki) badano wsporniki jednostronne, o smukłości ścinania $a_c/d = 0,53$ do $0,67$. W dwóch kolejnych seriach D i E (po 4 elementy badawcze w każdej z tych serii) wsporniki były symetryczne (dwustronne), smukłość ścinania wynosiła odpowiednio $0,35$ i $0,29$ - co uzyskano poprzez zwiększenie wysokości wspornika.

Zróznicowany był kształt wsporników (prostokątne seria B, C i E i trapezowe: seria A, D) zapewne z uwagi na szczegóły techniczne wzmocnień, bowiem kształt nie wpływa na nośność wspornika (decyduje przekrój na styku ze słupem).

Zróznicowane pomiędzy seriami było również zbrojenie wewnętrzne. W seriach A i B zbrojenie główne kształtowano w postaci poziomych pętli, czyli zgodnie z zaleceniami normowymi. W seriach C i D zbrojenie główne było odgięte pionowo. Można założyć, że przy wyłącznie pionowym obciążeniu nie miało to istotnego znaczenia. Poza tym w praktyce często występuje sytuacja, że wzmocnienie należy wykonać z uwagi na wadliwie ukształtowane zbrojenie wewnętrzne.

Zbrojenie dodatkowe w seriach A, B, D i E stanowiły strzemiona poziome, natomiast w serii C były to strzemiona pionowe.

Wzmocnienia w postaci wklejanych prętów M16 usytuowane były poziomo lub ukośnie w jednej, dwóch lub kilku płaszczyznach. Dodatkowo w elementach C-III, D-III i E-III zastosowano specjalne okucia stalowe zlokalizowane przy słupie, pod wspornikami. Tak wzmocnione wsporniki nie stanowią już klasycznego krótkiego wspornika tylko wspornikowy element zespolony.

Podczas badań dokonywano pomiarów tensometrycznych na stali zbrojeniowej i betonie, stosowano również czujniki indukcyjne - rejestrowano przemieszczenia wsporników względem słupa, rozwój zarysowania i w wybranych miejscach szerokość rys.

W serii E odkształcenia, a ściślej przemieszczenia, rejestrowane były dodatkowo w sposób ciągły za pomocą cyfrowej korelacji obrazu (zastosowano system Aramis), co dało możliwość porównania wyników uzyskanych różnymi metodami rejestracji odkształceń i szerokości rys. Uzyskana w badaniach efektywność wzmocnień za pomocą prętów wklejanych była zróżnicowana. Dla wsporników o średniej smukłości ścinania wynosiła od 38% do 64%, pomijając wspornik B-I. Nie budzi to wątpliwości, ponieważ wsporniki te miały dość niski stopień zbrojenia wewnętrznego. Większą efektywność uzyskano dla Serii C, ze strzemiionami pionowymi (niezależnie czy wzmacniany pręt usytuowany był poziomo czy ukośnie) – co zdaniem recenzenta można uznać za potwierdzenie mniejszej skuteczności pionowych strzemiion w porównaniu z poziomymi strzemiionami.

W przypadku dodatkowego stalowego podparcia wspornika od dołu (element C-III) efektywność wzrosła bardzo znacznie (>150%).

Dla wsporników bardzo krótkich (krępych) efektywność wynosiła od 16 do 32% dla elementów I i II, przy czym ta wyższa wartość odnosi się do wspornika wzmocnionego prętami poziomymi (przez całą długość elementu). Potwierdza to wnioski z wcześniejszych badań innych autorów o skuteczności zbrojenia poziomego rozłożonego na wysokości elementu z uwagi na mechanizm niszczenia bardzo krótkich wsporników. Przy dodatkowym zastosowaniu podparcia stalowego wsporników Autor uzyskał 73 i 36% wzrostu nośności w wyniku wzmocnienia, przy czym efektywniejsze były w tym przypadku ukośnie wklejane pręty wzmacniające, co Autor pozostawia bez komentarza.

Rozdział 4 (36 s., 25 rys., 23 tablice) dotyczy analizy obliczeniowej. Przeanalizowano nośność badanych wsporników wybranymi metodami: opartą na modelu ST (zbrojenie główne i strzemiiona) i wytrzymałości betonu na ściskanie przy ścinaniu określonej z wykorzystaniem koła Mohra opracowaną przez Nagrodzką-Godycką, według modelu kratownicowego Hagberga z uwzględnieniem strzemiion w górnej połowie wspornika, oraz za pomocą modelu ST z normy aktualnej PN-EN-1992-1-1. W tym ostatnim przypadku zastosowano normową redukcję wytrzymałości betonu na ściskanie i pominięto wpływ strzemiion.

Dla wsporników o średniej smukłości ścinania Autor zaproponował obliczanie nośności według modelu ST, redukcję wytrzymałości betonu na ściskanie w ściskanym krzyżulcu betonowym zgodna z normą europejską oraz uwzględnienie strzemiion usytuowanych na 0,7 wysokości wspornika (licząc od górnej krawędzi) – co jest zbliżone do amerykańskiego normowego założenia (efektywne strzemiiona są na górnym odcinku równym 2/3 wysokości wspornika).

Nośność wsporników bardzo krótkich (krępych) z serii D i E Autor analizował za pomocą wspomnianego już kratownicowego modelu Nagrodzkiej-Godyckiej, metodą wykorzystującą ścinanie – tarcie w ujęciu Masta, wzorami z MC 2010 wg propozycji Randla dotyczącej wyznaczenia nośności według rozszerzonej teorii ścinania – tarcia.

Z uwagi na odmienny charakter niszczenia wsporników bardzo krótkich, w których dominuje zjawisko przecinania, na co w swoich pracach badawczych zwróciła uwagę Nagrodzka-Godycka podając własną propozycję modelu obliczeniowego dla żelbetowych wsporników o małej smukłości ścinania, Autor dokonał takiej analizy nośności wsporników na podstawie trzech propozycji określenia wytrzymałości betonu na przecinanie (wg Mohra,

Seybolda i Mörscha), uwzględniał również zbrojenie zszywające (na podstawie propozycji Paulay – Loeber). Podał też własną propozycję obliczania nośności bardzo krótkich wsporników żelbetowych. Jest ona zbieżna z propozycją Nagrodzkiej- Godyckiej, a która to w wersji uogólnionej znalazła się w normie PN-B-03263: 2002. Modyfikacje dotyczą założonej powierzchni przecinania (u Autora jest to przekrój wspornika b_d , zamiast powierzchni zazębniającej się) oraz przyjęcia głównego odkształcenia rozciągającego i kąta θ uzyskanych z pomiarów odkształceń systemem Aramis. Obie metody wykorzystują propozycję współczynnika redukcji wytrzymałości betonu według Zhanga i Hsu.

Powyższe zróżnicowanie założeń spowodowały minimalne różnice w obliczeniowych wartościach nośności pomiędzy obiema metodami (rzędu 3 KN czyli ok. 0,5%) w przypadku wsporników żelbetowych lub wzmocnianych naprężonymi prętami (badania KNG).

Zdecydowanie większe różnice są w przypadku wsporników badanych przez Autora wzmocnionych silnym zbrojeniem wklejanym, w tym z zastosowaniem podpory stalowej na dole wspornika).

Nośność wspornika C-III wzmocnionego dodatkową podporą stalową zlokalizowaną przy słupie w dolnej części wspornika została przeanalizowana w odrębnym podrozdziale 4.3. Wsporniki D-III i E-III z podobnymi dodatkowymi podporami stalowymi obliczano za pomocą metod jak dla żelbetowych krótkich wsporników.

Rozdział o analizie nośności wsporników zakończono krótkim, podsumowaniem (r.4.4). W kolejnym rozdziale 5, Doktorant zamieścił wnioski końcowe z przeprowadzonych badań i analiz obliczeniowych oraz nakreślił dalsze kierunki swoich badań.

Dodatek A to 9 stronicowe Autor omówił czynniki wpływające na dokładność uzyskanych wyników odkształceń uzyskanych za pomocą optycznej korelacji obrazów (odnoszące się do użytego w pomiarach systemu Aramis).

Tom I opracowania kończy spis stosowanych symboli, wykaz stosowanych norm i instrukcji (19 pozycji) oraz bibliografia prac naukowych – 150 pozycji.

Integralnie związany z pracą doktorską jest II tom opracowania stanowiący Załącznik (stron 260). Doktorant zamieścił w nim szczegółowe wyniki badań, dla poszczególnych serii wsporników.

3. Ocena merytoryczna pracy

Recenzowana praca doktorska ma charakter eksperymentalno-teoretyczny. Treść pracy ściśle odpowiada jej tytułowi.

Przyjęty temat pracy jak i kierunek jego realizacji uważam za ważny i aktualny. Coraz częstsze zmiany funkcji obiektów prowadzące często do wzrostu obciążeń, agresywne środowisko powodujące przyspieszoną degradację konstrukcji w zakresie zarysowania i nośności są powodem podejmowania decyzji o wzmocnieniu. Można je wykonać różnymi metodami. Dobór tej właściwej zależy od poprawnego rozpoznania pracy wspornika i jego stanu technicznego. Tematykę eksperymentalnego sprawdzenia efektywności wzmocnień krótkich wsporników podjęła jako pierwsza Nagrodzka-Godycka, Autor niniejszej dysertacji rozszerzył swoimi badaniami stan wiedzy w tym zakresie. Stosowane metody wzmocnienia za pomocą wklejanych prętów nie były dotychczas sprawdzane eksperymentalnie, problemy te nie są również objęte zaleceniami normowymi.

Powyższe sprawia, że podjęty temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Łukasza Krawczyka jest aktualny i ważny z uwagi na poznawczy charakter pracy i możliwość jej aplikacji do praktyki inżynierskiej, aczkolwiek niektóre proponowane wzmocnienia są dość pracochłonne w realizacji (szczególnie przy większej liczbie wzmocnianych wsporników w obiekcie).

Z tematem pracy doktorskiej są ściśle skorelowane: sformułowana teza badawcza oraz cel naukowy. Wszystkie części rozprawy doktorskiej są merytorycznie spójne. Dotyczy to rozdziału przedstawiającego stan wiedzy na temat wzmocnień wsporników, jak też rozdziałów dotyczących własnych badań oraz analiz Autora.

Na uwagę zasługują przeprowadzone i rzetelnie udokumentowane badania eksperymentalne.

Podstawowym warunkiem poznawczego charakteru badań naukowych jest poprawnie przyjęty program badawczy. Autor wykazując się odpowiednim poziomem wiedzy to w pełni zrealizował. Ponadto wykazał się umiejętnością prowadzenia badań eksperymentalnych z wykorzystaniem doświadczalnych nowoczesnych metod badawczych (Aramis).

Cel badań został osiągnięty, a sformułowane przez Autora tezy badawcze zostały udowodnione.

Jednoznacznie stwierdzam, że opiniowaną rozprawę oceniam jako bardzo dobrą. Poniżej wymienione argumenty stanowią uzasadnienie tej oceny.

Główne osiągnięcia pracy

Za najważniejszy oryginalny dorobek poznawczy Autora uważam:

- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych krótkich wsporników o średniej i małej smukłości ścinania wzmocnionych prętami wklejanymi według autorskiego programu badawczego. Zróżnicowane w badaniach było głównie zbrojenie wewnętrzne oraz kształt i usytuowanie prętów wzmacniających. Wyniki w zakresie odkształcalności, zarysowania i nośności umożliwiły ocenę skuteczności zaproponowanych wzmocnień krótkich wsporników z niskim stopniem zbrojenia wewnętrznego.
- Zastosowanie w badaniach nowoczesnych metod pomiarowych – cyfrowej korelacji obrazu (Aramis) umożliwiającej ciągły bezstykowy pomiar odkształceń i śledzenie rozwoju zarysowania. Rozszerzenie dysertacji o analizę błędów pomiarowych podczas posługiwania się metodą DIC (cyfrowej korelacji obrazu).
- Przeprowadzenie obliczeniowej analizy nośności wzmocnianych wsporników według wybranych metod obliczeniowych. Wyniki tych obliczeń i weryfikacji mają duże znaczenie poznawcze, jak i praktyczne. Mogą także stanowić pomoc dla projektantów w podejmowaniu racjonalnej decyzji odnośnie rodzaju wzmocnienia wsporników. Pozwalają na ocenę istniejących procedur obliczeniowych i ich przydatność do obliczania krótkich wsporników wzmocnianych zbrojeniem wklejnym.
- Zaproponowanie własnych modyfikacji do istniejących procedur obliczeniowych, szczególnie w odniesieniu do bardzo krótkich (krępych) wsporników.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Uwagi do badań

1. Autor wykonał bardzo cenne i precyzyjne badania krótkich wsporników za pomocą wzmocnionych za pomocą wklejanego zbrojenia. Wątpliwości budzi zastosowanie do pomiaru odkształceń na powierzchni betonu tensometrów elektrooporowych o bardzo małej bazie – 10 mm. Takie bazy stosowane dla stali zbrojeniowej nie budzą żadnych wątpliwości. Natomiast dla betonu jest to baza mniejsza niż wymiar kruszywa. Ponieważ beton nie jest materiałem jednorodnym, takie odczyty mogą nie być miarodajne. Wyniki innych badaczy sugerują stosowanie tensometrów na betonie o bazie minimum 50 mm. Część badaczy uważa, że pomiary ekstensometryczne z jeszcze większych baz (np. 100 mm) są bardziej miarodajne.

Należy pamiętać, że są to odczyty powierzchniowe. Badania porównawcze na powierzchni betonu i w jego wnętrzu, pomimo precyzyjnego zachowania jednakowego obciążenia na szerokości wspornika wykazywały często różnice w odkształceniach [78].

Podobne wątpliwości mogą budzić punktowe odczyty z Aramis.

2. Jaki był powód zastosowania okrągłej podkładki pod siłą obciążającą wspornik o średnicy mniejszej niż jego szerokość (seria A,B)? Taka podkładka nie zapewnia płaskiego stanu odkształcenia. Modele obliczeniowe w zdecydowanej większości są modelami 2D, zakładającymi identyczny stan odkształceń (naprężeń) na całej szerokości wspornika.

3. Obliczanie nośności wsporników z dodatkowym podparciem od dołu (od strony ściskanej) za pomocą modeli czy wzorów formułowanych dla wsporników żelbetowych budzi wątpliwości. Zamierzeniem Autora było zapewne sprawdzenie ich przydatności dla takiej żelbetowo-stalowej wspornikowej konstrukcji. Autor powiększał wysokość wspornika o wymiar stalowej podpory, pozostawiając wartość a_c jak dla wspornika bez takiej podpory, co nie jest zgodne z prawdą.

4. Przytoczone przez Autora obliczenia wg metody Nagrodzkiej-Godyckiej bazują na eksperymentalnym kącie rys ukośnych i założonym przez nią modelu przecinania (z zazębającą się powierzchnią). Podane wartości to β_{exp} określone stosunkiem naprężeń ściskających w betonie do wytrzymałości betonu na ściskanie) były skomentowane przez Autorkę jako uproszczone obliczenie (str. 173 [102]) w celu prostego zobrazowania większego wykorzystania betonu przy wzmocnieniu za pomocą sprężenia.

W dalszym ciągu pracy Nagrodzkiej-Godyckiej w modelu uogólnionym kąt θ lub kąty (jeżeli pręty rozłożono na wysokości wspornika) były obliczane a współczynnik redukujący wytrzymałość – określany wzorem Zhanga i Hsu dla redukcji naprężeń. Odkształcenie ε_1 obliczano z wykorzystaniem zależności zależności Fostera i Gilberta i ogólnych wzorów z teorii żelbetu (z warunku nierozdzielności - pierwszego niezmiennika odkształceń wynikającego z koła Mohra). To dawało odkształcenia od 2,1 do 3‰, dla bardzo małych smukłości bliższe 2‰. W eksperymentalnych pomiarach za pomocą rozet udawało się takie odkształcenia osiągać, choć trudności z pomiarami, jak również chęć stworzenia uogólnionej metody były powodem złożenia potem w obliczeniach wartości 2 ‰. Obliczone współczynniki zmiękczenia betonu wynosiły średnio ok. 0,66 przy tej smukłości ścinania (decydowały wartości wg drugiego warunku – co jest zrozumiałe przy zastosowaniu średniej wytrzymałości betonu).

Nie jest zatem prawdą stwierdzenie, że w obliczeniach nośności według Nagrodzkiej-Godyckiej wymagana jest wartość 0,9.

Autorka w obliczeniach nośności z uwagi na wyężnienie zarysowanego krzyżulca otrzymała stosunek nośności eksperymentalnej do obliczeniowej od 1,01 do 1,2 (s.181) dla serii WIIIp.

W normie PN-2002 przyjęto uogólnienie metody - stały kąt θ i redukcję wytrzymałości według współczynnika zalecanego w EN. Weryfikacja tych wzorów przyniosła zapas bezpieczeństwa rzędu 30÷40%, co z uwagi na małą liczbę badań zostało zaakceptowane.

Zhang i Hsu otrzymywali zróżnicowane odkształcenia, np. dla elementu VE2 ($f_c=114$ MPa) było to 11,05‰ co determinowało β o wartości 0,29. Natomiast dla panelu E0 (z betonu $f_c=35,4$ MPa) $\varepsilon_1 \approx 0\%$ i $\beta=0,9$.

Współczesne metody optycznego pomiaru odkształceń zwiększają precyzję odczytów, niekiedy wręcz je umożliwiają. Ważna jest (w zasadzie niezależnie od metody) interpretacja wyników pomiarów i odczyty z właściwej długości baz.

5. Rysunek 4.18 z wykresami zamieszczony na zakończenie rozdziału 4 jest merytorycznie nieuzasadniony. Metoda Nagrodzkiej-Godyckiej oparta na założeniu schematu przecinania betonu sformułowana została dla wsporników o bardzo małej smukłości ścinania, w których kąty θ wynoszą ok. $60 \div 70$ stopni. Autor, pomijając wątpliwe przyjęcie współczynnika redukcji β , rozważa przedział kątów od 25° czyli daleko poza zakresem metody. Zakładając, że Autor własną propozycją modyfikacji być może uznaje za ważną dla wszystkich smukłości ścinania należy pamiętać, że tak małe wartości kąta θ nie występują nawet w krótkich wspornikach o maksymalnej smukłości. Wysokie wartości θ rzędu $80-85^\circ$ są również mało prawdopodobne.

6. Należy żałować, że zamiast tego typu rozważań, po przeprowadzeniu tak wnikliwych badań i pomiarów Doktorant nie podał projektantom żadnej wskazówki dotyczącej przyjmowania wartości odkształceń ε_1 w tak wzmocnionych wspornikach, skoro zaobserwowano znacząco odmienne wartości tych odkształceń w swoich badaniach.

Jaka jest koncepcja Autora w wyjaśnieniu tak dużego ograniczenia udziału betonu w nośności wsporników wzmocnianych prętami wklejanymi?

7. Jak Autor uzasadniłby duże różnice w uzyskanej efektywności wzmocnienia pomiędzy wspornikami DIII i EIII?

4. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska jest wartościową pracą eksperymentalno- teoretyczną o znaczeniu poznawczym i praktycznym w zakresie efektywności wzmocniania żelbetowych krótkich wsporników.

Autor podjął własne badania eksperymentalne, podczas których zastosował nowoczesne metody pomiarowe. Były to dobrze zaplanowane badania jakościowe. Starannie przeanalizował uzyskane wyniki odkształceń, zarysowania i nośności, co umożliwiło mu poznanie wpływu różnych parametrów (zróżnicowane zbrojenie wewnętrzne, dwie grupy smukłości ścinania) na nośność wsporników wzmocnionych różnie usytuowanymi prętami wklejanymi. Wzmocnienia rozszerzono o zastosowanie w trzech wspornikach, dodatkowych podpór stalowych na dole wspornika.

Doktorant przeprowadził wnikliwą analizę nośności według wybranych metod, zaproponował także własne modyfikacje w procedurach obliczeniowych.

Całość dysertacji jest bardzo starannie opracowana, program badań bardzo czytelnie przedstawiony, wyniki są udokumentowane licznymi wykresami, tablicami i zdjęciami.

Cel pracy został osiągnięty a sformułowane przez Autora tezy badawcze zostały udowodnione.

Zasygnalizowane uwagi w niczym nie umniejszają merytorycznej wartości pracy i bardzo dobrej oceny rozprawy doktorskiej przedłożonej do recenzji.

Podsumowując niniejszą opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Krawczyka pt. „Wzmacnianie krótkich wsporników żelbetowym zbrojeniem wklejanym” spełnia wszystkie warunki merytoryczne i formalne, którym powinna odpowiadać rozprawa doktorska określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 – oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 22.09.2011 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora wraz z późniejszymi zmianami.

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Łukasza Krawczyka do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę starannie przeprowadzone szerokie badania eksperymentalne w skali naturalnej, wnikliwe opracowanie wyników i przeprowadzoną analizę a także dotychczasowy dorobek naukowy Doktoranta: mgr inż. Łukasza Krawczyka (spis prac i publikacji załączony do dokumentów) wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej pracy.

K. Nagrodzka-Godycka