

Poznań, 30.11.2016 r.

Prof. dr hab. inż. Wiesław Buczkowski
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska
i Gospodarki Przestrzennej
Instytut Budownictwa i Geoinżynierii
60-649 Poznań, ul. Piątkowska 94E

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Kamila Bacharza

z Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej

**pt. „Problem nośności na ścinanie strefy przypodporowej belek żelbetowych
w aspekcie badań doświadczalnych i norm”**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej prof. dr. hab. inż. Marka Iwańskiego, zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 9 listopada 2016 r.

2. Omówienie treści rozprawy

Promotorem recenzowanej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Barbara Goszczyńska, prof. PŚk.

Rozprawa doktorska dotyczy nośności na ścinanie strefy przypodporowej belek żelbetowych określonej na podstawie przepisów normowych zweryfikowanych badaniami doświadczalnymi.

Przedłożona do oceny rozprawa obejmuje 193 strony maszynopisu i podzielona została na 8 rozdziałów oraz spis wykorzystanej literatury. W tekście zamieszczono 139 rysunków (w tym 22 fotografie) oraz 25 tabel. Spis literatury obejmuje 111 pozycji (w tym 63 wydanych w ostatnim 10-leciu) oraz 8 norm. Wśród cytowanej literatury 59 to pozycje wydane głównie w języku angielskim (nieliczne w języku rosyjskim i niemieckim).

W pierwszym rozdziale dokonano przeglądu opublikowanych prac związanych z zagadnieniem ścinania w belkach żelbetowych. Zagadnienie nośności na ścinanie w konstrukcjach żelbetowych jest przedmiotem badań i analiz prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych na całym świecie. Zagadnienie to jest trudne do jednoznacznego rozstrzygnięcia z uwagi na złożony stan naprężeń występujący w strefie podporowej, niejednorodność materiału jakim jest beton, zmienność jego parametrów wytrzymałościowych i materiałowych (E i ν), a także z uwagi na zmieniające się fazy pracy elementu żelbetowego podczas obciążenia (faza sprężysta, plastyczna oraz zniszczenia). Z powyższych względów teoretyczne i jednoznaczne rozwiązanie zagadnienia ścinania jest zadaniem bardzo trudnym i do dziś nie do końca rozwiązany. Świadczy o tym również liczba cytowanych publikacji z ostatniego dziesięciolecia (63 pozycje).

W rozdziale 2 Autor rozprawy dokonał przeglądu wybranych modeli i metod obliczeniowych nośności na ścinanie w strefach przypodporowych belek żelbetowych. Przedstawił różne modele oparte na analogii kratownicowej, od modelu kratownicy Mörscha, poprzez różne jej modyfikacje, aż do modelu kratowniczego zalecanego w Eurokodzie 2.

Omówił również modele sygnowane nazwiskami licznych badaczy a bazujące na metodach granicznych stanów niszczenia jak np. metoda Boriszańskiego, Gyengö, Visy, Baya, Walthera, Kani, choć modele te aktualnie nie znajdują odbicia w przepisach normowych.

Autor wspominał również o współcześnie rozwijanych metodach autorskich, których koncepcje opracowano w ostatnich kilkunastu latach.

W rozdziale 3 zostały omówione metody wymiarowania strefy przypodporowej belek żelbetowych wg wybranych norm obowiązujących w Polsce od 1985 roku do chwili obecnej : PN-84/B-03264, PN-B-03264:2002, PN-EN-1992-1-1:2008 (Eurokod 2). Przedstawiono również podejście do wymiarowania opisane w Pre-normie Konstrukcji Betonowych (Model Code 2010), które mogą zostać przyjęte jako obowiązujące w kolejnych wersjach norm żelbetowych. Dla dopełnienia metod wymiarowania na ścinanie przedstawiono sposoby postępowania wg normy niemieckiej (DIN 1045-1:2008) oraz amerykańskiej ACI-318-14 z 2014 roku.

W rozdziale 4 zostały przedstawione: cel i tezy pracy.

Cel przedstawiony przez Autora w niniejszej pracy to porównanie wyników nośności na ścinanie w strefie przypodporowej belek żelbetowych obliczanych na podstawie wybranych norm z wynikami nośności ścinania uzyskanymi z badań eksperymentalnych.

Na podstawie dotychczasowej wiedzy dotyczącej obliczania i nośności strefy ścinania w belkach żelbetowych Autor przedstawił kilka tez, a mianowicie:

- na nośność strefy przypodporowej belek żelbetowych mają wpływ: schematy statyczne, kształt i wymiary przekroju poprzecznego oraz program obciążeń, co powinno znaleźć potwierdzenie w badaniach eksperymentalnych,
- kąt nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych θ przyjmowany w obliczeniach odpowiada w przybliżeniu co do wartości kątowi nachylenia rys-ukośnych, powstałych w strefie ścinania,
- kąt nachylenia ściskanych krzyżulców betonowych θ zależy od sposobu i szerokości podparcia belki; przyjmowana w obliczeniach zgodnie z zaleceniami norm jego wartość jest raczej parametrem korygującym, przybliżającym wyniki obliczeń teoretycznych do wyników rzeczywistych,
- przyjęcie w obliczeniach zbyt małych wartości $\text{ctg } \theta$ wpływa na niedoszacowanie siły rozciągającej od ścinania w zbrojeniu podłużnym, co może być przyczyną przyjmowania zbyt małego przekroju prętów kotwionych na podporze i zbyt małej długości zakotwienia.

W rozdziale 5 zamieszczono opis planowanych i przeprowadzonych badań.

Do badań eksperymentalnych przygotowano 18 belek: 12 belek o przekroju $0,12 \times 0,30$ m w tym 4 o przekroju teowym ($b_{\text{eff}} = 0,4$ m) oraz 6 belek o przekroju $0,20 \times 0,45$ m, z betonu klasy C40/50, zbrojonych stalą BS500.

Badane belki różniły się konstrukcją zbrojenia, a także programem obciążenia (obciążenie cyklicznie zmienne oraz obciążenie monotoniczne). Opisano stanowisko badawcze, sposób obciążenia belek oraz aparaturę pomiarową, a także badania cech materiałowych betonu i stali.

Rozdział 6 przedstawia wyniki badań eksperymentalnych oraz wyniki obliczeń analitycznych.

Rozdział 7 dotyczy analizy porównawczej wyników doświadczalnych i uzyskanych z obliczeń analitycznych przeprowadzonych wg wybranych norm.

Rozdział 8 obejmuje podsumowanie i wnioski końcowe.

Zasadnicze dla oceny merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej są rozdziały 6, 7 i 8, które są przedmiotem oceny przedstawionej w punkcie 3 recenzji.

3. Ocena merytoryczna pracy

Cel pracy został jasno sprecyzowany. Przedstawiono również kilka tez, które zamierzono udowodnić przeprowadzonymi badaniami. Badania przeprowadzono na belkach o rozpiętości między podporami $l_{ef}=3,0m$, o przekroju prostokątnym $b=0,12m$, $h=0,30m$ oraz o przekroju teowym o wymiarach $b=0,12m$, $h=0,30m$, $h_t=0,10m$, $b_{eff}=0,40m$. Wszystkie wymienione belki zbrojone były w strefie rozciąganej zbrojeniem ze stali klasy A-IIIIN składającym się z trzech prętów $\phi 12mm$ oraz dwóch prętów $\phi 14mm$.

Przygotowano również belki o rozpiętości między podporami $l_{ef}=6,0m$ o przekroju $b=0,12m$, $h=0,30m$ zbrojone dołem czterema prętami $\phi 12mm$, a górą dwoma prętami $\phi 12mm$ oraz o przekroju $b=0,20m$, $h=0,45m$ zbrojone dołem 6 prętami $\phi 20mm$, górą $2\phi 10mm$.

Podczas badań zastosowano aparaturę pomiarową pozwalającą na rejestrację obciążeń oraz przemieszczeń, a także optyczny system ARAMIS pozwalający prowadzić badania odkształceń na powierzchni elementu. Wykorzystano również pomiarowy system emisji akustycznej. Celem wykonanych badań prowadzonych aż do zniszczenia belek żelbetonowych było określenie obciążeń niszczących i odpowiadających im sił przekrojowych oraz uzyskanie obrazu zarysowania stref przypodporowych. Wyniki uzyskane z badań doświadczalnych porównano z obliczeniami teoretycznymi uzyskanymi zgodnie z procedurami opisanymi w normach: PN-EN 1992-1-1:2008 (EC2), ACI 318R-14 (norma amerykańska), PN-B-03264:1984, PN-B-03264:2002, DIN1045-1:2008 (norma niemiecka) oraz w Pre-normie Konstrukcji Betonowych (Model Code 2010).

Szczegółową analizę porównawczą otrzymanych wyników badań i obliczeń przedstawiono w najbardziej obszernym, liczącym 47 stron, rozdziale 7. Analizie poddano wiele aspektów, a między innymi: różnice w konstrukcji i obciążeniu belek żelbetonowych, zmiany szerokości podparcia belek i długość zakotwienia prętów na podporze, wielkość i kształt przekroju poprzecznego, wpływ wielkości kąta θ nachylenia ściskanych krzywuleców betonowych na nośność strefy przypodporowej oraz na nośność rozciąganego zbrojenia podłużnego uwzględnianego przy ścinaniu. Przeanalizowano również rozwartość rys ukośnych na poziomie wyznaczonych teoretycznie wartości nośności betonu na ścinanie.

W podsumowaniu oceny merytorycznej pracy stwierdzam, że podstawowy cel pracy został zrealizowany oraz przyjęte tezy zostały udowodnione.

Z przeprowadzonych analiz wynikają znaczne różnice pomiędzy wartościami naprężeń ścinających obliczonych na podstawie najczęściej stosowanych w praktyce norm żelbetowych, a naprężeniami ścinającymi uzyskanymi z badań doświadczalnych. Wartości nośności na ścinanie stref przypodporowych belek żelbetowych obliczone analitycznie we wszystkich analizowanych przypadkach były niższe niż wynikające z badań doświadczalnych, czyli zalecenia normowe dają zapas bezpieczeństwa. Największe różnice pomiędzy nośnością doświadczalną i teoretyczną zaobserwowano w przypadku obliczeń wykonanych zgodnie z zaleceniami norm: PN-EN 1992-1-1:2008 (EC2), PN-B-03264:2002, oraz Pre-normy Konstrukcji Betonowych.

Bardzo interesujące są zamieszczone w pracy obrazy zarysowania stref przypodporowych badanych belek uzyskane z wykorzystaniem optycznego systemu pomiarowego ARAMIS.

Porównanie wyników badań i obliczeń nośności na ścinanie potwierdziło poprawność zaleceń normowych przyjmowania kąta nachylenia krzywulców betonowych θ , ze wskazaniem jak w załączniku krajowym zalecenia aby w obliczeniach przyjmować $\text{ctg}\theta=2$.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Podczas recenzowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Kamila Bacharza zauważyłem kilka niedociągnięć oraz drobnych błędów, które przed dalszymi publikacjami lub wdrożeniami wyników badań należałoby uwzględnić. Poniżej podano najważniejsze tego typu spostrzeżenia;

- str. 26 pkt. 1.2. Ścinanie belek żelbetowych. Pomimo, że jest takie sformułowanie w użyciu, uważam, że jest ono niezręczne. Lepsze byłoby: ścinanie w strefach przypodporowych belek żelbetowych,

- str. 32 „W niniejszej pracy podjęto problem porównania doświadczalnej nośności na ścinanie belek żelbetowych strefy przypodporowej z wynikami obliczeń uzyskanymi na podstawie norm obowiązujących w Polsce od 1985 roku...” Dlaczego Autor pominął całkowicie normę PN-B-03264:1999 ?

- uważam, że praca byłaby pełniejsza, gdyby Autor w punkcie 3, gdzie omawiał metody wymiarowania stref przypodporowych wg wybranych norm podał krótko zalecenia dotyczące zbrojenia tych stref tzn. rozstaw strzemion, długość odcinków na których należy stosować zagęszczony rozstaw strzemion, rozmieszczenie prętów odgiętych itp.,

- rys. 5-10 przedstawiający schematy podpór nieprzesuwnej i przesuwnej jest mało precyzyjny (wymaga objaśnienia lub usunięcia); całkowicie wystarczające są schematy pokazane na rys. 5-11,

- na rys. 5-22 i 5-23 należy poprawić wykresy sił tnących. Z rysunku (szkicu) wynika, że na obu odcinkach belki siły tnące są tej samej wielkości, a przecież reakcja na podporze dalej oddalonej od obciążającej siły skupionej jest mniejsza niż na drugiej podporze,
- na rys. 5-21 + 5-24 wykresy momentów i sił tnących należy pokryć kreskami o układzie pionowym, a nie ukośnym,
- na rys. 5-6 (str. 85) na przekroju poprzecznym pokazano zbrojenie składające się z $4\phi 12\text{mm}$, a na przekroju podłużnym pokazano $6\phi 20\text{mm}$; należy poprawić dane na przekroju poprzecznym,
- na rys. 6-6 (str. 118) błędnie zaznaczono początek dotyczący siły rozciągającej w zbrojeniu podłużnym powstałej od momentu gnącego i siły poprzecznej (czerwona linia). Początek powinien być na podporze a nie na końcu belki. Na krótkim odcinku (15 cm) poza podporą nie ma ani momentu gnącego ani siły poprzecznej (chyba, że uwzględni się ciężar własny?). Na rysunku tym we wzorze na nośność zbrojenia podłużnego występuje f_{yk} , a powinno być f_{yd} . We wzorze tym jest również $d-d_2$. Właściwiej byłoby zamiast d_2 użyć symbolu a_2 ,
- na str. 108 napisano: „w trakcie betonowania doszło do przesunięcia prętów podłużnych wzdłuż elementu” „błędy wykonawcze popełnione przy wykonywaniu zbrojenia polegające na niedotrzymaniu projektowanego rozstawu strzemion i kąta ich nachylenia”. Na str. 82 przy schemacie belki strzemiona są prostopadłe do osi belki ! Ponieważ belki były wykonywane w Zakładzie Prefabrykacji wynika stąd dla Autora nauka na przyszłość, żeby przy realizacji kolejnych badań uczestniczył i nadzorował proces produkcji elementów przeznaczonych do badań.

5. Wnioski końcowe

Praca doktorska powinna być świadectwem opanowania przez Doktoranta wiedzy specjalistycznej oraz metod badawczych z zakresu tematyki doktoratu. Powinna stanowić samodzielne rozwiązanie przez Autora zagadnienia naukowego i wykazać Jego wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej. Musi też być wykonana metodami uznanymi za właściwe w danej dyscyplinie naukowej.

Rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Podjęty w recenzowanej pracy temat nośności ścinanej strefy podporowej belek żelbetonowych jest wciąż aktualny i nie do końca jeszcze rozwiązany. Wyniki zaprezentowane w pracy doktorskiej wnoszą duży wkład do lepszego rozpoznania problemu. O aktualności podjętego tematu świadczy chociażby liczba publikacji na powyższy temat, które ukazały się w ostatnich latach. Podjęte przez Doktoranta badania powinny być kontynuowane.

Na podstawie Ustawy z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” wraz z późniejszymi zmianami, stwierdzam, że recenzowana praca doktorska pt. „Problem nośności na ścinanie strefy przypodporowej belek żelbetowych w aspekcie badań doświadczalnych i norm” autorstwa mgr inż. Kamila Bacharza z Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie zagadnienia naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora i jego umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Wnoszę zatem o przyjęcie recenzowanej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr inż. Kamila Bacharza do publicznej obrony.

Witold Bielecki

Poznań, 30 listopada 2016 r.