

Politechnika Śląska
Katedra Inżynierii Budowlanej
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

RECENZJA

ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGRA INŻ. PIOTRA SOKALA „WYTRZYMAŁOŚĆ NA DOCISK W BETONACH WYSOKIEJ WYTRZYMAŁOŚCI WZMOCNIONYCH STALOWYM ZBROJENIEM SPIRALNYM”

Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, Pana profesora Andrzeja Szaraty, wyrażoną w piśmie z dnia 29 września 2016 roku, nawiązującym do uchwały Rady wymienionego Wydziału, podjętej w dniu 21 września 2016r.

Formalną podstawą recenzji jest umowa z dnia 26 września 2016r.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Piotra Sokala pt. „Wytrzymałość na docisk w betonach wysokiej wytrzymałości wzmocnionych stalowym zbrojeniem spiralnym”. Praca ta została przygotowana na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej pod kierunkiem Pana dra hab. inż. Andrzeja Serugi prof. PK jako promotora.

Opiniowana dysertacja zawarta jest w jednym tomie, liczącym 281 stron.

Problematyka rozprawy

Jako tematykę swojej rozprawy Doktorant wybrał problematykę wytrzymałości na docisk w betonach wysokiej wytrzymałości, w tym ze zbrojeniem spiralnym strefy docisku. Jest to zagadnienie istotne z punktu widzenia możliwości bezpiecznego, a jednocześnie ekonomicznego projektowania stref zakotwienia kabli sprężających, a także projektowania stref oparcia ciężkich konstrukcji lub urządzeń na żelbetowych elementach konstrukcyjnych.

Jako cel pracy Doktorant przyjął doświadczalne wykazanie wpływu określonych parametrów betonu oraz skrupowania go zbrojeniem spiralnym na nośność i zachowanie się elementów w strefie bezpośredniego docisku. Analizę zagadnienia ograniczył praktycznie do



przypadku elementów poddanych obciążeniom doraźnym. Jako czynniki zmienne przyjął: wytrzymałość betonu na ściskanie (trzy przypadki), obecność zbrojenia zwojącego, intensywność i geometrię zbrojenia zwojącego oraz stosunek powierzchni badanego elementu do powierzchni docisku. Właściwe badania prowadzone były na dwóch typach próbek walcowych.

W powyższym kontekście Doktorant postawił cztery tezy, a mianowicie:

- brak stałego stosunku wytrzymałości na docisk do wytrzymałości na ściskanie (obniżenie wraz ze wzrostem wytrzymałości betonu),
- uzależnienie naprężeń w zbrojeniu zwojącym od wytrzymałości betonu (obniżenie naprężeń w stali w przypadku BWW),
- zasadność stosowania mniejszej średnicy spirali zbrojenia w przypadku BWW,
- wzrost nośności na docisk w elementach zbrojonych spiralą w porównaniu do elementów niezbrojonych, wraz ze wzrostem wytrzymałości betonu.

W opisanym stanie rzeczy temat badawczy podjęty przez Doktoranta należy uznać jako aktualny i ważny.

Treść rozprawy

Treść rozprawy zawarta jest w dziesięciu rozdziałach, uzupełnionych wykazem cytowanej literatury (158 pozycji).

Rozdział 1 (4 strony) zawiera ogólny opis problemu wytrzymałości betonu na docisk, a dalej sformułowanie tematyki, celu, tezy i zakresu rozprawy.

W rozdziale 2 (42 strony) Autor przedstawia stan wiedzy w zakresie badań betonu poddanego dociskowi, zapisów normowych, proponowanych w literaturze formuł obliczeniowych oraz wpływu poszczególnych czynników na uzyskane wyniki.

Godne podkreślenia jest tutaj nie tylko zacytowanie szeregu badań, ale również ich krytyczna analiza pod kątem wpływu poszczególnych czynników na uzyskane wyniki. Jednocześnie, razi bardzo nierówne potraktowanie poszczególnych, cytowanych prac, o czym później.

Rozdział 3 (12 stron) zawiera opis właściwości betonów wysokiej wytrzymałości. Rozdział ten, bazujący na zapisach wybranych norm, ma w zasadzie charakter informacyjny.

Rozdział 4 (14 stron) opisuje stan wiedzy (na podstawie badań obcych i norm) w zakresie zachowania się betonu w stanie skrępowania zbrojeniem.

Rozdział 5 (27 stron) zawiera wyniki analizy parametrycznej zjawiska docisku, na podstawie dostępnych w literaturze wyników badań. Autor analizuje tutaj osobno elementy

bez zbrojenia i ze zbrojeniem zwojącym – każdorazowo biorąc pod uwagę liczebność elementów w danej próbie, wytrzymałość betonu, stosunek powierzchni próbki do powierzchni docisku oraz, w przypadku elementów ze zbrojeniem – stopień zbrojenia. Uzyskane wyniki odniesione są do wybranych norm, a analiza zakończona jest wnioskami. Wnioski uzyskane w tym rozdziale mają niewątpliwe odniesienie do tej pracy. Trzeba tutaj jednak postawić zarzut pewnej chaotyczności prezentowania zarówno źródeł, jak i wyników, o czym dalej.

W rozdziale 6 (32 strony) opisano przebieg badań własnych prowadzonych przez Autora rozprawy doktorskiej. Obejmowały one:

- sześć elementów próbnych (w tym dwa niezbrojone i sześć zbrojonych) wraz z badaniami materiałowymi,
- właściwe elementy badawcze w postaci walców o dwóch różnych wymiarach (200/400 mm i 252/504 mm); w elementach zróżnicowano wytrzymałość betonu (50, 70 i 100 MPa), zbrojenie zwojące (brak zbrojenia lub cztery rodzaje uzwojenia) oraz stosunek powierzchni elementu do powierzchni docisku ($cR = 1,0; 2,3; 4,0; 6,0$),
- badania materiałowe właściwych elementów badawczych.

W rozdziale 6 przedstawiono też wyniki badań wstępnych (wraz z wnioskami), wyniki właściwych badań materiałowych, osprzęt badawczy i pomiarowy oraz przyjęte procedury przygotowania i badania próbek.

Rozdział 7 (30 stron) zawiera wyniki badań własnych w zakresie: wytrzymałości na docisk, obciążeń rysujących i pomiarów odkształceń (naprężeń) w stali uzwojenia. Jako dodatkowe, zamieszczono informacje o pomiarach odkształceń przy użyciu drutu elektrooporowego, pomiarach odkształceń czujnikami strunowymi zabetonowanymi w próbkach i pomiarach wizyjnych. Wyniki przedstawiono w tabelach i na wykresach, praktycznie bez komentarzy.

Rozdział 8 (52 strony) zawiera analizę wyników badań, przedstawionych w rozdziale 7. W szczególności przedstawione są:

- zależność wytrzymałości betonu na docisk od wytrzymałości betonu na ściskanie i rozciąganie (osiowe i przy rozłupaniu) – w elementach niezbrojonych i zbrojonych,
- wpływ wartości R (pole próbki/pole docisku) na wytrzymałość na docisk – w elementach niezbrojonych i zbrojonych,
- wpływ zbrojenia zwojącego na wytrzymałość betonu na docisk,
- stosunek obciążenia rysującego do niszczącego,

- naprężenia w stali zbrojenia zwojącego w zależności od wytrzymałości betonu, wartości R , średnicy rdzenia spirali, stopnia zbrojenia i miejsca punktu pomiarowego,
- odkształcenia pod powierzchnią docisku,
- odkształcenia obwodowe,
- mechanizm zniszczenia.

W dalszej części pojawia się propozycja wzorów do obliczania wytrzymałości betonu na docisk w elementach niezbrojonych i ze zbrojeniem zwojącym, wraz z wynikami obliczeń.

W rozdziale 9 (36 stron) przedstawione są założenia do analizy MES i uzyskane wyniki. Do obliczeń Autor wykorzystał program ATENA (wersja 5), w którym analizował zarówno elementy niezbrojone, jak ze zbrojeniem zwojącym. Wstępna analiza obejmowała modele z betonu o siedmiu różnych wytrzymałościach (odpowiadających klasom) i pozostałych parametrach zgodnych z zaleceniami MC 2010, przy różnym zbrojeniu i różnych wartościach R . Na podstawie wyników tej analizy Autor sformułował tezy pracy doktorskiej.

Kolejne analizy MES wykonane zostały dla danych odpowiadających rzeczywiście przebadanym próbkom, a uzyskane stąd wyniki zostały przedstawione w tabelach lub na wykresach i skomentowane.

W rozdziale 10, liczącym 6 stron, Autor zawarł podsumowanie i wnioski, odnosząc je pośrednio do postawionych wcześniej tez, a także przedstawił plany dalszych badań.

Merytoryczna ocena rozprawy

Już na początku tej części recenzji stwierdzam, że opiniowaną rozprawę doktorską Pana magistra inżyniera Piotra Sokala oceniam pozytywnie. Za taką oceną przemawiają poniższe argumenty.

- Temat rozprawy jest dobrany trafnie, ma bowiem zarówno znaczenie poznawcze, jak i bezpośrednie odniesienie do praktyki projektowej. Jest to, w moim pojęciu, szczególnie cenne, świadczy bowiem o umiejętności sformułowania tematu badawczego powiązanego z rzeczywistymi problemami konstrukcyjnymi.
- Autor wykazał dobrą znajomość poruszanej tematyki, wyrażoną w krytycznym przeglądzie stanu wiedzy.
- Program badań i obliczeń został prawidłowo dobrany i umiejętnie zrealizowany. Na szczególne podkreślenie zasługuje tutaj wykonanie szczegółowych badań własnych, a w tym próby (choć nie zawsze udane) zastosowania nietypowych metod pomiarowych.



- Wyniki badań i analiz zostały przedstawione w sposób szczegółowy, co pozwala na ich wykorzystanie przez innych badaczy i wykonanie odrębnych analiz. Niestety, wspomniana szczegółowość jest też pewną wadą pracy, bowiem nadmiar danych miejscami zmniejsza czytelność przekazu.
- Autor wykazał się umiejętnością prawidłowego i logicznego wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników badań i analiz. Jest to cenna umiejętność, bowiem najlepiej nawet opracowane wyniki bez odpowiedniej interpretacji pozostają jedynie zbiorem liczb i wykresów.
- Autor w sposób uczciwy zaprezentował także te wyniki i analizy, które nie wykazywały zadowalającej zgodności z przyjętymi тезami pracy.

Wśród szczegółowych osiągnięć poznawczych pracy wymienić należy:

- wykazanie, które czynniki najsilniej wpływają na wytrzymałość betonu na docisk,
- wykazanie, które z czynników można traktować jako drugorzędne lub pomijalne,
- zaproponowanie wzorów pozwalających na obliczenie wytrzymałości betonu na docisk – w przypadku elementu niezbrojonego i ze zbrojeniem zwojącym,
- wykazanie możliwości wiarygodnej analizy numerycznej – w odniesieniu do wytrzymałości na docisk,
- wskazanie na potencjalnie groźne zawyżenie wytrzymałości betonu na docisk przez niektóre procedury normowe.

Obowiązkiem recenzenta jest także sformułowanie pytań i uwag krytycznych, w tym o charakterze dyskusyjnym. Poniżej przedstawiono wybrane uwagi (w nieco przypadkowej kolejności).

- Tytuł pracy obiecuje nieco więcej, niż jej treść – jest zbyt ogólny.
- Cytowane w rozdziale 2 prace potraktowane są bardzo nierówno – od dwóch stron, z przytoczeniem szeregu wzorów i wniosków (przykładowo p. 2.2.16), poprzez parę linijek bez podania jakichkolwiek wyników (przykładowo p. 2.2.3 – dwie linijki opisu), do zbiorczego ujęcia 31 prac w kilku linijkach tekstu (p. 2.14.2).
- W pracy pokazane są zależności zachowania się betonu w zależności od średnicy pętli zbrojenia zwojącego oraz od stosunku R . Brakuje natomiast powiązania tych dwóch wielkości, a bezpośrednio powiązania średnicy pętli zbrojenia ze średnicą pola docisku – a ta zależność ma zapewne istotny wpływ na zachowanie się próbki. W przypadku uzwojenia o średnicy równej lub mniejszej od pola docisku może ono zacząć działać jak klin w betonie. Rzutuje to, przykładowo, na wniosek 10.1.2.C i D.



- Podobnie, istotny w praktyce jest nie tylko stosunek R , ale także fizyczny wymiar pola betonu wokół pola docisku. W badaniach, z uwagi na niewielką średnicę próbek, była to zawsze wartość dosyć mała, w praktyce natomiast wymiar ten może być bardzo różny. Należy przypuszczać, że przy odpowiednio dużym polu betonu wokół pola docisku (a także wokół pętli zbrojenia zwojającego) może nie dojść do rozerwania betonu wokół pola docisku (widoczny w badaniach efekt klina) – wówczas wartość graniczna dążyć będzie do wytrzymałości betonu na zmiężdżenie. W tym aspekcie istotne będzie też przypowierzchniowe zbrojenie elementu.
- Dość po macoszemu potraktowany został problem obciążeń długotrwałych – tylko dwa elementy i to ze stosunkowo krótkim czasem obciążenia.
- W pracy wyraźnie brakuje przeanalizowania wyników badań obcych przy użyciu proponowanych przez Autora wzorów, co, w przypadku uzyskania dobrej zgodności, znacznie zwiększyłoby ich wiarygodność. Jest to tym istotniejsze, że wzory zaproponowane w p. 8 i powtórzone w p. 10 (bazujące na wynikach badań własnych) różnią się od wzorów z p. 5 (bazujących na analizie wyników badań obcych).
- Autor zaproponował alternatywne wzory do oceny wytrzymałości betonu na docisk, nie precyzując ewentualnych uwarunkowań ich wyboru (jeśli takie są). Wspomniana wyżej analiza wyników badań obcych prawdopodobnie wykazałaby wyższą wiarygodność któregoś z nich.
- W odniesieniu do prezentowanych procedur normowych – przyrost wytrzymałości betonu w czasie jest silnie zależny od warunków dojrzewania (p. 3.1.3), a moduł sprężystości betonu powinien zawierać współczynnik dla kruszywa granitowego (p. 3.2.1). To oczywiście uwagi do norm, a nie do Autora – chociaż powinien wspomnieć o tych problemach.
- Czym Autor tłumaczy zaniżenie parametrów stali zbrojeniowej $\varnothing 10\text{mm}$ w stosunku do wartości deklarowanych przez producenta? Czy, wobec takiego wyniku, wykonano więcej badań w celu weryfikacji pierwszego wyniku?
- Co jest przyczyną niezgodności pomiędzy wartościami odkształceń betonu na wykresach 6.14-6.15 i w tabeli 6.7?
- Nie można mówić o skurczu spirali (str. 149), a jedynie o jej skrócie sprężystym. Na ile uzyskane w stali odkształcenia/naprężenia spowodowane skurczem betonu są wiarygodne? Pytanie to jest tym bardziej zasadne, że Autor modelował skurcz (p. 9.1.1.5) bazując na danych z tabeli 6.10, które sam określił jako orientacyjne.
- Skąd wynika wykładnik potęgi we wzorach 6.5, 6.6?



- Autor, badając 3 lub 4 próbki każdego typu, podał jedynie uśrednione wartości wyników. Jak duże były odchylenia od tej średniej w poszczególnych typach próbek? Czy w każdej grupie elementów obserwacje jakościowe były identyczne?
- Wyniki pomiarów czujnikami strunowymi i pomiarów wizyjnych wydają się mało wiarygodne w ujęciu ilościowym.
- Część wniosków bazuje na niepewnych danych ilościowych – zwłaszcza tam, gdzie uwzględniany jest wpływ skurczu betonu próbki, który w rzeczywistości nie był mierzony, a jedynie szacowany numerycznie.
- Porównanie wyników siły niszczącej z analizy numerycznej i z obliczeń wzorem 6.1 (p. 9.2.2) nie prowadzi do wiarygodnych wniosków, bowiem porównywane są tutaj jedynie dwie teorie, z pominięciem rzeczywistości. Wiarygodna jest dopiero analiza porównawcza wyników MES i badań (p. 9.4 i dalsze).
- Po co, w analizie numerycznej, analizowane są przypadki elementów skończonych o wymiarach porównywalnych z całą próbką (element 100 lub 60 mm w próbce $\varnothing 252$ mm)?
- Wniosek 10.1.1.D nie precyzuje, czy mowa jest o wytrzymałości w teście osiowego rozciągania, czy przy rozłupywaniu. Generalnie, odniesienie jakichkolwiek wyników do wytrzymałości betonu na rozciąganie jest ryzykowne, bowiem jest to wielkość dość „kapryśna”.
- Pomimo fachowo przeprowadzonych i rzetelnie udokumentowanych badań modelowych trzeba pamiętać, że zostały one ograniczone do modeli reprezentujących trzy wytrzymałości betonu, ze znacznym zróżnicowaniem pozostałych czynników. Tym samym, uzyskane wartości mają charakter jednostkowy, a bazujące na nich wnioski (w tym proponowane wzory) nie mogą być traktowane jako uniwersalne. Powinno być wyraźnie podkreślone w podsumowaniu pracy. Przykładowo, wniosek 10.1.1.E nie powinien być uogólniony na wszystkie betony na kruszywie bazaltowym i cemencie portlandzkim.
- Aptekarska dokładność typu „99% granicy plastyczności stali” (p. 10.1.3.C) jest mało wiarygodna – wynik częściowo bazuje na opisanym już, szacunkowym uwzględnieniu skurczu oraz na założeniu, że podczas gięcia spirali o małej średnicy nie wprowadzono do materiału wstępnych naprężeń – co jest fizycznie niemożliwe.
- Wnioski końcowe, aczkolwiek sformułowane w sposób czytelny i uporządkowany, nie odnoszą się wprost do tez pracy.

W zakresie edytorskim praca stoi na bardzo dobrym poziomie, chociaż rażą pewne niedociągnięcia, a wśród nich:



- brak powołania na źródło wielu cytowanych wzorów – w efekcie nie wiadomo, czy są to propozycje Autora, czy też pochodzą z publikacji, a jeśli tak, to jakich,
- poważny bałagan w numeracji wzorów na stronach 116-117, gdzie większość opisywanych we wnioskach wzorów ma nieprawidłowe numery,
- nadmiar danych tabelarycznych w tekście; zdaniem recenzenta można było w pracy przedstawić jedynie zbiorcze wykresy z odpowiednim komentarzem, a szczegółowe tabele wyników przesunąć do załącznika,
- zbyt szczegółowy, czterostopniowy sposób numerowania podrozdziałów, skutkujący liczącym aż 8 stron spisem treści,
- błędne cytowanie rysunku 2.1 – w rozdziale 1, z opisem w tekście niezgodnym z treścią rysunku; rysunek ten ma też błędny podpis, bowiem część "b" przedstawia naprężenia, a nie siły,
- w tytule rozdziału 4 „Skrępowanie betonu okrągłym stalowym zbrojeniem” razi słowo „okrągłe” – chodzi o kształt przekroju pręta, czy o kształt spirali zbrojenia?
- powołanie na wzór 5.3 (str. 94). Wzoru tego nie ma w tekście, a istniejący wzór 5.3 dotyczy czegoś innego.
- cytowanie rysunków nie w kolejności – przykładowo 8.30 wcześniej niż 8.29,
- słowo „ilość” użyte w odniesieniu do rzeczowników policzalnych (np. w tytule tabeli 6.11 „ilość próbek”),
- pisanie rozwinięcia dziesiętnego w konwencji z kropką zamiast przecinka (jak w tekście anglojęzycznym),
- niefortunne sformułowania typu: "beton o wyższej wytrzymałości betonu", "obciążanie za pomocą płyt stalowych", "rośnie przyrost", "długość dłuższego boku",
- wielokrotne użycie słowa "trawersa" zamiast "trawers",
- wielokrotne użycie słowa "posiada", "posiadają" w odniesieniu do cech przedmiotu,
- określenie "skrępowanego zbrojenia"; skrępowany jest beton – tymże zbrojeniem (str. 88),
- powtórzenie akapitu na stronach 218-219,
- drobne błędy literowe i interpunkcyjne.

Cytowane wyżej drobne niedociągnięcia nie zaburzają czytelności opracowania, a zwróciłem na nie uwagę, aby ustrzec Autora przed powtórzeniem ich w przyszłych publikacjach, które, moim zdaniem, powinny powstać w celu upowszechnienia wyników pracy.

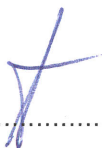
Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana magistra inżyniera Piotra Sokala pt. „Wytrzymałość na docisk w betonach wysokiej wytrzymałości wzmocnionych stalowym zbrojeniem spiralnym” stanowi cenny wkład w rozwój wiedzy w zakresie możliwości bezpiecznego, a jednocześnie ekonomicznego projektowania elementów betonowych/żelbetowych/sprężonych narażonych na docisk znacznymi siłami.

Pomimo sformułowanych wcześniej uwag krytycznych uważam recenzowaną pracę za oryginalną i cenną, spełniającą wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Ponadto, co istotne, recenzowana praca w pełni udowadnia spełnienie przez Doktoranta wymagań stawianych na ósmym poziomie uczenia się (wg Europejskich Ram Kwalifikacji) w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji.

Tym samym wnoszę o dopuszczenie Pana magistra inżyniera Piotra Sokala do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy doktorskiej.



.....
dr hab. inż. Jacek Hulimka prof. Pol. Śl.