

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Roberta Osińskiego

nt.

PROGNOZA NUMERYCZNA CIĄGLIWOŚCI FIBROBETONU PRZY DYNAMICZNYM ROZCIĄGANIU

1. Podstawa wykonania recenzji.

Formalną podstawę opracowania przedmiotowej recenzji stanowiło pismo Pana prof. dr hab. inż. Adama Stolarskiego Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji, Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Pismo opatrzone nr. wych /N/00368/2019 z dn. 16.04.2019 oraz stosowna umowa o dzieło nr. 115/4000/501/2019.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

2.1. Uwagi wstępne

Znaczącą modyfikację cech wytrzymałościowych betonu uzyskać można poprzez modyfikację klasycznego składu betonu dodając włókno stalowe, które rozłożone w miarę równomiernie w objętości betonu wpływa korzystnie na jego wytrzymałość w złożonym stanie naprężeń.

Zbrojenie rozproszone w postaci włókien stalowych znane jest w inżynierii od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Cechami charakterystycznymi, które rekomendują stosowanie tego rodzaju zbrojenia są: podwyższenie zdolności konstrukcji na obciążenia dynamiczne, zmniejszenie wrażliwości konstrukcji na generowanie się rys i ich dalszy rozwój, oraz podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej. Obecnie istnieje szeroki asortyment włókien, które mogą być wykorzystane do zbrojenia konstrukcji betonowych (polipropylenowe, aramidowe i inne), jednak stalowe włókna rozproszone stanowią zasadniczy rodzaj

konstrukcyjnego i wspomagającego zbrojenia betonu. Pojedyncze włókna stalowe uzyskiwane są w różny sposób i występują jako: włókna proste lub odpowiednio kształtowane pod względem geometrycznym i mogą być uzyskiwane ze: stopu, jako włókna skrawane, włókna z drutu ciągnionego na zimno, włókna cięte z arkusza odpowiedniej blachy i szeregu innych rozwiązań.

Wymiary geometryczne wszystkich tych rodzajów włókien muszą być przydatne do jednorazowego wymieszania ich, ze składnikami typowej mieszanki betonowej lub w szczególnych sytuacjach z zaprawą cementową lub innym rodzajem spoiwa. Funkcjonalne charakterystyki tego rodzaju zbrojenia powinny znacząco wpływać przede wszystkim na nośność analizowanego elementu konstrukcyjnego. Mając jednak na uwadze, przeznaczenie analizowanego zagadnienia przede wszystkim do konstruowania elementów budownictwa obronnego na czoło wybija się rysoodporność poszczególnych elementów składowych tych budowli. Z dotychczasowej praktyki inżynierskiej i badawczej można zauważyć, że najbardziej rozpowszechnionym stalowym włóknem rozproszonym są włókna SFRC (Steel Fibre Reinforced Concrete)

2.2 Ocena przyjętych założeń, cel i aktualność problematyki

Problematyka, którą w niniejszej rozprawie przedstawił, Autor pomimo upływu kilkudziesięciu lat od jej pierwszych zastosowań jest wciąż aktualna. Obszary zastosowań tego rodzaju konstrukcji są wciąż odkrywane. W praktycznych zastosowaniach tego rodzaju zbrojenia znaczne pole do wykorzystania to: wszelkiego rodzaju nawierzchnie dróg, lotnisk, placów składowych na zewnątrz i wewnątrz budynków. Wewnątrz budynków to głównie do tzw. "posadzki pływające". Autor rozprawy, rozważanie swoje odniósł do obszaru budownictwa obronnego, wysuwając na pierwszy plan kwestie zarysowań konstrukcji pod wpływem obciążeń dynamicznych. Należy uznać, że jest to nowy obszar zastosowań, którego pomyslnie rozwiązanie daje szansę na uzyskanie trwalszych i bezpieczniejszych budowli o tym charakterze. Wymuszone obciążenia dynamiczne, stanowią podstawowy rodzaj obciążeń tego rodzaju budowli, narastają w krótkim czasie i one decydują o zachowaniu się takiego materiału w wybranych elementach konstrukcji. Reakcja takiego kompozytowego materiału na obciążenia dynamiczne jest zdecydowanie inna niż tradycyjnie uformowanego elementu żelbetowego. Uważam, że słusznie Autor rozprawy podjął dwukierunkowe działania w opracowywanym zagadnieniu tzn. analizy teoretycznej i badań materiałowych realizowanych w laboratorium. Taka koncepcja rozprawy jest zdecydowanie korzystniejsza dla rozpatrywanej problematyki. Założenia przyjęte do realizacji części doświadczalnej i konsekwentnie części analitycznej odniesiono tylko do jednej klasy betonu C25/30 i zróżnicowanej ilości zbrojenia rozproszonego tj: 20, 40, 60 kg/m³. Podczas obrony Autor powinien odnieść się do kwestii wiarygodności analizowanych i otrzymanych wyników i ich transformacji dla innych klas betonu, które co jest rzeczą naturalną mogą być wykorzystywane w tego rodzaju budowlach.

2.3. Struktura rozprawy

W recenzowanej rozprawie wyróżnić można:

- część doświadczalną związaną z badaniami wytrzymałości fibrobetonu na rozciąganie i jego cech materiałowych ,
- część teoretyczną, w która zawiera przede wszystkim model fizyczny zjawiska powstałej rysy, oraz ogólny algorytm analiz numerycznych.

Następnie sformułowano ogólną strukturę algorytmu i analizę zachowania próbki poddanej próbie rozłupywania. Podobnie przedstawiono strukturę algorytmu i analizę zachowania się próbki betonowej poddanej próbie osiowego rozciągania. Kolejny rozdział siódmy to wyniki analiz numerycznych dla próbek zbrojonych włóknem rozproszonym ze zróżnicowaną jego ilością. W rozdziale ósmym przedstawiono podsumowanie analiz numerycznych dla: próbek rozłupywanych i próbek poddanych klasycznemu rozciąganiu wg. zasady Michae'liisa.

Praca zawiera bibliografię, w której uwzględniono czterdzieści cztery pozycje literatury, które są właściwe dla opracowywanego zagadnienia. Normy wykorzystywane w rozprawie przez Autora, to siedem pozycji. Należy zauważyć, że pozycje literatury są reprezentatywne dla rozpatrywanego zagadnienia, są aktualne i w większości są to prace opracowane przez polskich autorów. Następnie Autor rozprawy przedstawił dwa

Załączniki, w których zamieścił wyniki własnych badań wraz z podstawowymi informacjami wynikającymi ze statystycznego ich opracowania. Całość rozprawy przedstawiono na dziewięćdziesięciu czterech arkuszach formatu A₄. Moje uwagi dotyczące struktury rozprawy dotyczą:

- propozycji zamiany kolejność rozdziałów 1 i 2,
- w rozdziale 3, Autor nadaje tytuł „Badania doświadczalne „ i zamieszcza jeden podpunkt zatytułowany „ Program badań”. Uważam również, że Autor rozprawy w wyniku dotychczasowych poczynań badawczych powinien pokusić się o propozycje dalszych kierunkowych poczynań naukowych. Mam świadomość tego, że problematyka wykorzystania tego rodzaju konstrukcji dla budownictwa obronnego została dopiero rozpoczęta i nie jest przypadkowa.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Przedstawiając program badań doświadczalnych, Autor rozprawy nie zamieścił podstawowych informacji dotyczących składu betonu, podaje tylko klasę betonu C 25/30, to zdecydowanie zbyt skromna informacja o betonie, który został wykorzystany w eksperymencie. Skład betonu i jego charakterystyki materiałowe powinny być wyjściowymi danymi do przeprowadzonych w pracy analiz teoretycznych. Jak podano w pkt. 2.2. niniejszej recenzji. Autor rozprawy w doświadczalnej części pracy przyjmuje tylko jedną klasę betonu, nie uzasadnia dlaczego to tylko ta jedna klasa została przyjęta, i jakie argumenty przemawiały za jej przyjęciem. Odnoszę wrażenie, że ta jedna klasa betonu, przeznaczona do realizacji części doświadczalnej ogranicza znacznie możliwość dalszego pozytywnego wnioskowania o zjawiskach wyróżnionych w tej części i ewentualnej transformacji wyników dla innych klas betonu. Zdaniem recenzenta tej rozprawy, zależność taka przeniesiona wprost na inne

klasy betonu może się nie sprawdzić, a ewentualne wnioskowanie może dotyczyć tylko wybranych zagadnień. Proszę więc w trakcie rozprawy odnieść się do tej nie wyjaśnionej w rozprawie kwestii. Szersze spektrum wnioskowania wypływa ze zróżnicowanej ilości zbrojenia rozproszonego w jednostce objętości betonu. Autor analizuje próbki betonu tej samej klasy, w której zastosował 20, 40, i 60 kg udział „fibrów” w metrze sześciennym betonu. Uzyskane dla betonu zbrojonego „fibrami” wyniki badań, Autor konfrontuje z wynikami właściwymi dla betonu referencyjnego. Zróżnicowana ilość „fibrów” pozwala na zwiększenie obszaru analizy i wnioskowania korzystnego dla całości rozprawy. W analizowanych próbkach betonu Autor rozważa betony o różnej jednorodności tj. beton bardzo dobrej jakości (**BDJ**) i beton o dostatecznej jakości (**DSTJ**), jest to dość subiektywne rozróżnienie. Na podstawie badań wytrzymałości ultradźwiękową metodą określającą prędkość przejścia fali, wyznaczono jej uśrednioną falową prędkość, która wymaga pewnego wyjaśnienia podczas obrony pracy. W przypadku (**BDJ**) uzyskano prędkość przejścia $v_i = 3651,5 - 3779,6$ m/s, świadczy to o stosunkowo dobrym dopasowaniu falowym w obrębie jednorodności tego betonu. Dla betonu (**DSTJ**) prędkość przejścia cechuje się większym rozrzutem jednak górna granica prędkości jest znacznie wyższa, niż w betonie (**BDJ**). Wyniki przejścia fali w takim kompozytowym ośrodku są trudne do jednoznacznego określenia z uwagi na zjawisko intensywnego tłumienia prędkości falowej i rodzaj rozłożenia „fibrów” w tym przypadku powinien być analizowany układ 3D (dający przekonanie o idealnej strukturze zbrojenia). Jeżeli jednak Autor rozprawy zdecydował się eksponować prędkość przejścia fali w próbce i porównywać te prędkości ze sobą to powinien uwzględnić „współczynniki efektywności kierunkowej włókien η^{id} ” gdzie ($i = 1, 2, 3$) - dla opracowania, których wyznaczono zależności patrz (15 poz zamieszczona w bibliografii.)

3.1. Pozytywne walory rozprawy

Należy stwierdzić, że część teoretyczna rozprawy jest zdecydowanie lepiej opracowana i przedstawiona niż jej część doświadczalna. Walorami tej części opracowania są: oryginalna koncepcja wykorzystania metody fal naprężeń. Konsekwencją tego jest utworzony, dyskretny model analizowanych próbek pojedynczej i całej ich serii. Oryginalnością wyróżnia się podział elementarnej objętości próbki o masie Δ_m usytuowanych jako dwie połówkowe masy brzegowe umieszczone na równoległych i przeciwnych podstawach, każdego elementarnego sześcianu takie podejście - zmienia ugruntowane, w którym masę przypisywano do jej środka. Prezentowane podejście do całościowej analizy zagadnienia pozwoliło na opis propagacji falowej na wyróżnionych kierunkach ruchu. W komputerowym programie obliczeniowym wyznaczono :

- siły normalne i siły ścinające działające na masę na wyznaczonym kierunku x,y,z,
- przemieszczenia u, v, w i konsekwentnie wyznaczono stan odkształceń, naprężeń dla odpowiednich kierunków, odkształcenia postaciowe i naprężenia normalne,
- elementy stalowe – „fibry” potraktowano jako elementy wtopione w środki elementów dyskretnych matrycy betonowej,
- w analizie komputerowej dla włókien stalowych przyjęto aproksymacyjny i model sprężysto- plastyczny, wyznaczając siły w pojedynczym „ fibrze „ dla poszczególnych

kierunków, a w konsekwencji wielkości naprężeń i odkształceń. Podsumowaniem teoretycznej części rozprawy są wnioski z analiz numerycznych dla wymienionych stanów obciążeń rozciągających próbki. Należy stwierdzić, że Autor krytycznie odnosi się również do własnych, niektórych wyników wpływających z wykonanych analiz. Warto przytoczyć w tym miejscu, negatywny wniosek Autora, który dotyczy szacowania ciągliwości fibrobetonu podczas rozłupywania próbek. W próbkach rozciąganych według koncepcji Michae'alisa w każdym z przekrojów ustalono „fibry” aktywne stosownie do ich ułożenia względem siły rozciągającej. Można tu pokusić się o stwierdzenie, że Autorowi rozprawy, udało się analizować model 3D, rozłożenia włókien w próbce, co czyni ten model bliski rzeczywistości. Interesująca w pracy jest koncepcja tzw. „rysy rozmytej”, która umożliwiła opis destrukcji próbek rysami rozdzielonymi. Przytoczone spostrzeżenia są istotną wartością decydującą o pozytywnych walorach rozprawy.

3.2. Uwagi dyskusyjne i krytyczne dotyczące rozprawy

Oprócz dominujących w rozprawie pozytywnych walorów, dostrzeżono jednak pewne nieścisłości i uchybienia, na które pragnę zwrócić uwagę.

1. O brakach w części doświadczalnej pracy pisałem w pkt. 3. niniejszej recenzji.

2. Należy rozważyć zjawisko skali próbek, które w badaniach doświadczalnych występuje bardzo często. Dlatego proszę o wyjaśnienie sposobu związanego z uwzględnieniem ewentualnego efektu skali, który może wystąpić pomiędzy badanymi próbkami i uzyskanymi wynikami prezentowanymi w rozprawie, a rzeczywistym elementem konstrukcyjnym, w którym pozytywne osiągnięcia rozprawy mogą być zdyskontowane.

3. Pewien niedosyt rozprawy wynika z faktu, że z obszernego zakresu analitycznego pracy, Autor przedstawił stosunkowo skromne wnioski, które zdaniem recenzenta powinny zawierać pewne uogólnienia badanych zjawisk.

4. Proszę o wyjaśnienie przebiegu siły rozciągającej przedstawionej na rys. 7.2.3. i dalszych, z których wynika, że występuje zjawisko załamania ciągliwości i jej późniejszej odbudowy przy odkształceniach właściwych wysokiej wytrzymałości „fibrów” tj. około 1400 MPa. Dla jakiego współczynnika α , definiującego efekt „rysy rozmytej”, podane są te wyniki.

5. Jak wytłumaczyć skrajne różnice otrzymanych wyników numerycznych w stosunku do wyników normowych, strona 6, rys.1.1.

6. Uważam również, że w spisie literatury do recenzowanej rozprawy, powinna znaleźć się następująca publikacja książkowa, autora Michała A. Glinickiego pt” *Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych. Wpływ mikrostruktury, projektowanie materiałowe, diagnostyka*” Wydawnictwo Instytutu Badawczego Dróg i Mostów . Warszawa 2011.

4. Ocena końcowa i wniosek wpływający z recenzowanej rozprawy

Jednoznacznie stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Roberta O sińskiego pt. „**Prognoza numeryczna ciągliwości fibrobetonu przy dynamicznym rozciąganiu.**” jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego.

Podstawowe walory rozprawy przedstawiono w pkt. 3.1. to jednak należy podkreślić, że:

- tematyka rozprawy i jej rozwiązanie, ma duże znaczenie dla rozwoju technologii betonów kompozytowych,
- bogata teoretyczna analiza zagadnienia, swoją oryginalnością stanowi wartościowy wkład do tej problematyki, który przekracza osiągnięcia krajowe w tym zakresie,
- otrzymane rezultaty analizy teoretycznej są przeprowadzone z dużą starannością i nie budzą wątpliwości co do ich wiarygodności. Autor rozprawy wykazał się umiejętnością opracowania użytecznych programów komputerowych, które umożliwiły wnikliwą analizę opracowywanego zagadnienia. W związku z powyższym rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Osińskiego, pod wyżej wymienionym tytułem spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim i zgodnie z Ustawą z dnia 14.03.2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26.09.2016, w sprawie szczegółowego trybu przeprowadzenia czynności w przewodach doktorskich (Dz.U. nr. 1586 z 2016 r.) zgłaszam wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Roberta Osińskiego do publicznej obrony przed Radą Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej.

