

Dr hab. inż. Krzysztof Gromysz
Katedra Konstrukcji Budowlanych,
Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska,
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,
tel. 322371127

Gliwice, 17 maja 2016 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Eweliny Kołodziejczyk pt. „Efektywność stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości jako zbrojenia żelbetowych elementów prętowych”

1 Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej prof. dr hab. inż. Dariusza Gawina z dnia 1.04.2016 r. oraz uchwała Rady Wydziału nr 718 z dnia 24.03.2016 r.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Eweliny Kołodziejczyk pt. „Efektywność stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości jako zbrojenia żelbetowych elementów prętowych”.

2 Charakterystyka rozprawy

2.1 Zawartość rozprawy

Rozprawa składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów oraz trzech rozdziałów nienumerowanych (streszczenia w języku polskim i angielskim, zestawienia najważniejszych oznaczeń oraz bibliografii) – łącznie 158 stron. Ponadto do rozprawy dołączone są Załączniki. Dwa z nich oznaczone jako A oraz B liczą 15 stron i stanowią jedną całość z wspomnianymi powyżej rozdziałami tworząc Tom I. Istnieje także Tom II zatytułowany Załączniki, który liczy 102 strony. Kolejne części tego tomu tworzą nienumerowane rozdziały, które zatytułowano: Załącznik 1, Załącznik 2, Załącznik 3.

W rozdziale pierwszym (Wprowadzenie) przedstawiono uzasadnienie podjęcia prac badawczych nad stalą o podwyższonej wytrzymałości jako zbrojenia żelbetowych elementów

prętowych. Rozpoczęto od krótkiego opisu ewolucji parametrów stali wykorzystywanej do zbrojenia betonu. Wykazano, że obecnie mamy do czynienia z konstrukcjami zbrojonymi stalą o wytrzymałości od 190 MPa (stal St0S stosowana w Polsce praktycznie do chwili obecnej) jak i stalą o wytrzymałości 670 MPa (stal SAS670/800) zastosowaną na przykład w budynku Muzeum Śląskiego w Katowicach. Przywołano dane literaturowe o wykorzystaniu stali o granicy plastyczności wynoszącej 1280 MPa (pozycja [29] z 2008 r.). Jeżeli zauważymy, że podobny wzrost wytrzymałości ma miejsce w przypadku betonu istotne staje się pytanie czy w sposób równie efektywny wzrasta nośność konstrukcji żelbetowych. Cel pracy w omawianym rozdziale pierwszym został sformułowany w formie pytania: czy celowe jest stosowanie zbrojenia elementów prętowych ze stali o podwyższonej wytrzymałości.

W rozdziale drugim (Stan wiedzy) przedstawiono raporty z badań dotyczące stali HSS lub HSR (High Strength Steel lub High Strength Reinforcement). Następnie opisano wybrane publikacje dotyczące wpływu granicy plastyczności stali na nośność elementów żelbetowych z uwzględnieniem stali HSS, jak również badania eksperymentalne odnoszące się do zachowania elementów przy skrępowaniu betonu. W podsumowaniu tego przeglądu wykazano ograniczoną możliwość pełnego wykorzystania zbrojenia o podwyższonej wytrzymałości w elementach żelbetowych obciążonych siłą i momentem. Jako główną przyczynę wskazano ograniczoną odkształcalność betonu. Wzrost możliwych odkształceń betonu z ok. 0,3% do ok. 0,35% daje silne zbrojenie poprzeczne. Wskazano jednocześnie na złożony problem stosowania zbrojenia HSS w przypadku konstrukcji obciążonych długotrwale. Z jednej strony obciążenie działające długotrwale prowadzi do korzystnych, większych odkształceń betonu, z drugiej jednak strony, w przypadku elementów smukłych intensyfikuje oddziaływanie efektów drugiego rzędu.

W rozdziale trzecim (Obliczenia przekroju wg zaleceń EC2) opisane zostały założenia obliczeniowe obowiązujące w EC2, a następnie zrelacjonowano wyniki obliczeń przekroju prostokątnego zbrojonego symetrycznie. Obliczenia były prowadzone dla dwóch klas betonu: C30/37 i C90/105 oraz dwóch stopni zbrojenia $\rho_L = 0,004$ i $\rho_L = 0,04$. Niezależnie od stopnia zbrojenia przyjęto taką samą odległość zbrojenia od krawędzi przekroju $a_1 = a_2 = 0,1h$. Obliczenia prowadzono metodą nieliniowej warstwowej analizy elementów opracowaną przez prof. M. Kamińską i prof. A. Czekwianińca. W kolejnych punktach zrelacjonowano wyniki obliczeń przedstawiające wpływ granicy plastyczności stali na: nośność przekroju (podpunkt 3.1.1) oraz na sztywność (podpunkt 3.1.2). Wyniki w podpunkcie 3.1.1 przedstawiano w układzie

współrzędnych (N/bh , M/bh^2), co pozwoliło zachować jednakowe jednostki osi układu współrzędnych. Wyniki w podpunkcie 3.1.2 przedstawiono w układzie (κh , M/bh^2). W tym przypadku oś pozioma jest bezwymiarowa, a pionowa wyrażona w paskalach. Na podstawie analizy wykresów wyciągnięto wnioski, które można uznać za tezy wykorzystane do opracowania programu badań doświadczalnych. W szczególności zauważono, że w przypadku elementów ściskanych zwiększenie granicy plastyczności stali nie prowadzi do zwiększenia obliczeniowej nośności elementów. Z tą pozornie sprzeczną z intuicją inżyniera tezę autorka zmierzyła się w kolejnych rozdziałach swojej pracy. Już w podsumowaniu rozdziału 3 znajduje się stwierdzenie, że rozwiązanie tego problemu tkwi w możliwości przejmowania przez beton odkształceń.

W rozdziale czwartym (Badania doświadczalne stali zbrojeniowej) zrelacjonowane są badania próbek stali o podwyższonej wytrzymałości (gatunki SAS670/800 i SAS950/1050) oraz stali gatunku St500, która jest obecnie stosowana powszechnie. Badania polegały na tworzeniu wykresów $\sigma_s(\varepsilon_s)$ zarówno dla odkształceń ε ujemnych (zwiększanie długości próbki) jak i dodatnich (zmniejszanie długości próbki). Odkształcenia mierzone były za pomocą tensometrów elektrooporowych. Na podstawie wykresów $\sigma_s(\varepsilon_s)$ wyznaczano parametry mechaniczne stali. Co istotne badano stal nie tylko w próbie doraźnego obciążenia, ale także wykonywano badania ściskania z częściowym odciążeniem. W ten sposób uzyskiwano fragmenty pętli histerezy oraz zidentyfikowano efekt Bauschingera. Pomiary geometrii zębowania pozwoliły na stwierdzenie, że pręty badanych gatunków spełniają wymagania dotyczące przyczepności. Prawdopodobnie na podstawie tego spostrzeżenia w dalszej części pracy uznano, że nie następują przemieszczenia między betonem a stalą zbrojeniową. W rozdziale czwartym zrelacjonowano ponadto badania siedmiodrutowych splotów ($6\phi 5 \text{ mm} + \phi 5,5 \text{ mm}$) o średnicy 15,5 mm. Sploty te po przeprowadzeniu próby rozciągania zmieniały swoją strukturę, wskutek rozplątania się drutów. Z kolei próby badania drutów splotów na ściskanie nie powiodły ze względu na utratę przez nie stateczności.

Rozdział piąty (Badania doświadczalne słupów żelbetowych) zawiera sprawozdanie z przebiegu badania dwóch serii słupów oraz interpretację ich wyników. Seria oznaczona jako I obejmuje 10 słupów o kołowym przekroju średnicy 200 mm i wysokości 600 mm. Zbrojenie podłużne poszczególnych słupów stanowiło 10 lub 4 pręty średnicy 18 mm gatunku SAS670/800 lub SAS950/1050. Zbrojenie poprzeczne stanowiły spirale o skoku 50 mm lub 300 mm. Ponadto

w dwóch elementach jako dodatkowe zbrojenie poprzeczne zastosowano dwie warstwy maty CFRP, które naklejono na powierzchni elementów. Zastosowano ponadto dwa różne betony. Jeden o wytrzymałości 25 MPa a drugi o wytrzymałości 100 MPa. Badania polegały na doraźnym doprowadzaniu elementów do utraty nośności. Dwa słupy, przed właściwym badaniem, poddano okresowemu ścisaniu przez 14 dni, przy czym ten zabieg nie miał wpływu na nośność elementów. W trakcie badań mierzono, za pomocą tensometrów elektrooporowych, odkształcenia zbrojenia poprzecznego. Przed badaniem na powierzchni elementów mocowano przetworniki przemieszczeń liniowych oraz tensometry elektrooporowe. O sile występującej w betonie jak i w prętach zbrojenia podłużnego wnioskowano na podstawie odkształceń powierzchniowej warstwy betonu (odkształcenia pomierzone przy pomocy tensometrów i przetworników przemieszczeń). Naprężenia w zbrojeniu poprzecznym wyznaczano na podstawie pomierzonych odkształceń tego zbrojenia.

Seria oznaczona jako II objęła badania 5 słupów o przekroju 140 mm/250 mm i wysokości 600 mm. Funkcję zbrojenia podłużnego tych elementów stanowiły 4 sploty, a zbrojenia poprzecznego strzemiona lub warstwy mat CFRP. Podczas badań mierzono: odkształcenia zbrojenia poprzecznego przy pomocy tensometrów elektrooporowych, odkształcenia (skrócenia) zewnętrznej powierzchni słupów przy pomocy czujników indukcyjnych oraz siłę obciążającą.

W rozdziale szóstym (Propozycja obliczeniowego ujęcia czynników wpływających na nośność) przedstawiono wyniki obliczeń nośności przekrojów żelbetowych według metody nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych z uwzględnieniem skutków skrępowania betonu oraz fazy obciążenia długotrwałego. Wyniki obliczeń były odnoszone do wyników badań doświadczalnych.

W rozdziale siódmym (obliczeniowa ocena efektów stosowania stali HSS) zrelacjonowano wyniki obliczeniowych analiz wpływu pełzania i skrępowania betonu na nośność smukłych przekrojów żelbetowych zbrojonych stalą o podwyższonej wytrzymałości. Wykazano ograniczoną możliwość efektywnego wykorzystania zbrojenia o podwyższonej wytrzymałości w elemencie żelbetowym. Jednocześnie wskazano, że skrępowanie betonu korzystnie wpływa na nośność elementów, w szczególności w odniesieniu do betonów cechujących się niższą wytrzymałością.

W rozdziale ósmym znajdują się wnioski i uwagi końcowe.

2.2 Tematyka rozprawy

W budownictwie obserwujemy intensywny rozwój w zakresie materiałów, w szczególności tych do wznoszenia konstrukcji – betonu jak i stali zbrojeniowej. Rozwój ten daje potencjalną możliwość projektowania i realizacji co raz ambitniejszych konstrukcji. Rolą badacza w takiej sytuacji jest zweryfikowanie w jaki sposób wzrost wytrzymałości materiału przekłada się na zwiększenie nośności: przekroju, elementu i całej konstrukcji. Jest to bardzo odpowiedzialna i trudna rola, ponieważ z jednej strony materiały te wykraczają poza opis norm do projektowania konstrukcji żelbetonowych, a z drugiej istnieje oczywista tendencja do projektowania konstrukcji co raz bardziej smukłych, przenoszących co raz większe obciążenia. Obciążenia przekrojów konstrukcji nie wynikają tylko z równoważenia przez nie obciążeń zewnętrznych, ale także z sił generowanych przez efekty drugiego rzędu. Autorka przyjęła w tej sytuacji postawę badacza, który w sposób systematyczny i precyzyjnie rozważa zagadnienie badając je doświadczalnie i weryfikuje metodami obliczeniowymi. Odpowiedzi na pytania o efektywność stosowania stali HSS są istotne nie tylko z poznawczego punktu widzenia, ale także utylitarnego. Podjęta tematyka wpisuje się zatem w nowoczesne podejście do badań naukowych, które żąda od badaczy aby wyniki badań budowały podstawy gospodarki opartej na wiedzy. Podjęta tematyka umiejętnie łączy ponadto zagadnienia konstrukcyjne i materiałowe. Tematykę badań oceniam zatem bardzo wysoko. Już w tym miejscu należy stwierdzić, że przeprowadzone badania dały jednoznaczne jakościowo odpowiedzi na zadane pytanie o efektywność zbrojenia HSS. W wielu aspektach efektywność ta została oceniona również ilościowo.

3 Uwagi dotyczące rozprawy

Pracę należy uznać za dzieło kompletne, ponieważ podjęty problem został zdefiniowany, postawiono tezy, rozwinięto je i przeanalizowano oraz wyciągnięto wnioski naukowe, a także wnioski ważne z punktu widzenia praktyki. W pracy zrelacjonowano zarówno wyniki badań doświadczalnych jak i wyniki obliczeń. Tworzą one spójny opis podjętych problemów.

Sposób prowadzenia badań doświadczalnych oraz zrelacjonowane obliczenia oceniam wysoko. W kolejnych podpunktach wskazuję elementy warte przedyskutowania czasie publicznej obrony oraz drobne usterki, które mają charakter drugorzędny.

3.1 Uwagi dotyczące struktury rozprawy

Podział rozprawy na rozdziały, podrozdziały i punkty w nich zawarte jest czytelny. Zakończenie rozdziału poprzedniego wprowadza czytelnika w kolejną część pracy. Jednak już układ załączników nie jest jasny. Jak przedstawiłem w poprzednim rozdziale recenzji, w Tomie I pracy znajdują się Załączniki oznaczone jako A oraz B. Z kolei w Tom II, zatytułowany załączniki, tworzą trzy części (nienumerowane rozdziały), które zatytułowano: Załącznik 1, Załącznik 2, Załącznik 3. Występuje więc dysonans w nazewnictwie. Ponadto żaden z tych załączników nie zawiera krótkiego opisu na początku, z którego można by się dowiedzieć o jego zawartości. Co więcej w tekście pracy nie ma odwołania do punktów załączników.

Autorka zachowała jednolitą strukturę rozdziałów w rozprawie, cechującą się tym, że na końcu każdego z nich znajduje się podsumowanie. Intencją autorki było ułatwienie czytelnikowi śledzenie treści pracy oraz wypunktowanie najważniejszych spostrzeżeń. W rozdziale 3 prowadzi to jednak niespójności polegającej na tym, że występują w nim dwa podrozdziały 3.1 i 3.2, przy czym ten drugi podrozdział jest podsumowaniem pierwszego. Kontynuując analizę struktury pracy w tym miejscu należy zauważyć jeszcze jeden mankament rozdziału 3. Przedstawiono w nim wyniki obliczeń przeprowadzone według metody nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych. Sama metoda opisana jest jednak dopiero w punkcie 6.1.1.

Struktura rozdziału 5, w którym opisano badania słupów nie odpowiada układowi zrelacjonowanych badań. Przeprowadzono badania dwóch serii słupów, a w spisie treści w podrozdziale 5.1 została wyróżniona tylko seria I. Prawdopodobnie pominięty został podrozdział 5.2, który winien się odnosić do serii II. W konsekwencji w spisie treści w podrozdziale 5.1 występują punkty o tych samych tytułach.

Przyjęty w pracy sposób oznaczania wzorów nie współgra z numeracją rysunków i tabel. Rysunki i tabele mają w nazwie numer rozdziału, w którym się znajdują. Natomiast wzory w swoich oznaczeniach w miejscu, w którym należałoby się spodziewać odniesienia do numeru rozdziału mają inną liczbę.

Zrelacjonowany w rozdziale drugim przegląd literatury składa się z czternastu punktów (zgrupowanych w czterech podrozdziałach). W każdym punkcie omówione zostały badania i wyniki uzyskane przez oddzielne grupy badaczy. De facto w tych 14 podpunktach zamieszczono streszczenia 14 cykli badań. Podsumowanie dokonanego przeglądu stanowi ostatnia strona rozdziału. Przegląd literatury znajdujący się w pracy doktorskiej powinien być

w większym stopniu opracowaniem krytycznym. W końcu z takiego krytycznego opracowania wynika konieczność podjęcia prac nad tematem.

3.2 Uwagi dotyczące badań doświadczalnych

Przeprowadzono dwie serie porównawczych badań doświadczalnych słupów żelbetowych. W pierwszej serii, liczącej 10 słupów uzwojonych, parametry materiałowe i geometryczne poszczególnych elementów zostały tak dobrane, aby zapewnić możliwość porównywania wpływu poszczególnych parametrów na nośność elementów. Założenie to zostało w pełni zrealizowane. W serii drugiej, liczącej tylko 5 elementów o przekroju prostokątnym, takie podejście okazało się już mniej efektywne. Jednak uwaga krytyczna odnosi się do tego, że elementy serii I oraz II z punktu widzenia tez postawionych w pracy, nie miały żadnej części wspólnej. Elementy tych serii różniły się zarówno przekrojem elementów, typem zbrojenia poprzecznego (za jednym wyjątkiem, gdy stanowiły je maty) oraz gatunkiem i typem zbrojenia podłużnego. Zwykle w badaniach porównanie wyników między seriami jest najsilniejszym argumentem dowodzącym tezy. W tym układzie seria II nie wnosi wiele do pracy. Dowodem na to jest między innymi fakt, że w podsumowaniu badań znajdującym się w podrozdziale 5.2 oraz we wnioskach zamieszczonych w rozdziale 8 nie ma odniesienia do wyników badań elementów zbrojonych splotami. Stąd stosunkowo obszerna prezentacja badania tych pięciu elementów w rozdziale 5 wydaje się niepotrzebna. Można było zacytować wyniki tych badań we wprowadzeniu powołując się na publikację Autorki.

O sile występującej w prętach zbrojenia podłużnego wnioskowano na podstawie odkształceń powierzchniowej warstwy betonu. Takie wnioskowanie jest oczywiście poprawne w pierwszej fazie obciążania. Wraz ze zwiększaniem obciążenia i zbliżaniem się do rzeczywistej nośności słupa takie podejście jest obarczone co raz większym błędem. Nie można wykluczyć przemieszczeń prętów zbrojenia głównego względem betonu zarówno skrępowanego (rdzenia) jak i otuliny. Pękanie betonu wzdłuż prętów zbrojenia głównego (co jest widoczne na fotografiach zamieszczonych w pracy) świadczy o dwóch zjawiskach. Pierwszym jest rozpoznany przez Autorkę mechanizm wyczerpania możliwości przenoszenia odkształceń przez beton (siły przekazywane są na pręty zbrojenia głównego, które tracą stateczność). Drugim jest nie rozważany w pracy problem oddziaływania żebrowania zbrojenia na otulinę betonową. Należy stwierdzić, że wykazanie iż geometria żebrowania spełnia wymagania normy PN-EN 10080

(punkcie 4.1.1 rozprawy) nie gwarantuje, że w każdej sytuacji odkształcenie zbrojenia i otaczającego betonu będzie takie same. Współdziałaniem betonu i stali zbrojeniowej rządzą prawa związane w większym stopniu z grubością otuliny i występowaniem odpowiedniego zbrojenia poprzecznego niż z geometrią żebrowania pręta. Planując badania należało przewidzieć tensometryczne pomiary odkształceń zbrojenia głównego i na ich podstawie wnioskować o sile w tym zbrojeniu, tak jak czyniono to określając siłę w zbrojeniu poprzecznym.

Przeprowadzone badania pozostawiają pewien niedosyt, ponieważ nie podjęto badań elementów o przekroju prostokątnym ze zbrojeniem głównym z prętów HSS. Słupy o takim właśnie przekroju (a nie kołowym) są wykonywane w polskich warunkach najczęściej. Z tego powodu bardzo istotna byłaby odpowiedź w jakim zakresie w takich słupach możemy liczyć na zwiększenie możliwości przejmowania odkształceń przez beton znajdujący się w przestrzeni między prętami zbrojenia głównego. Zdaniem recenzenta bardziej wartościowe z utylitarnego punktu widzenia byłby inny plan badań, który przewidywałby wykonanie zbrojenia głównego elementów serii II z prętów HSS $\phi 18$. Dałoby to możliwość bezpośredniego porównania efektu skrępowania betonu w przypadku słupów o przekroju kołowym i prostokątnym.

3.3 Uwagi dotyczące obliczeniowego ujęcia czynników wpływających na nośność

W przyjętym przez autorkę sposobie postępowania nośność całego słupa jest utożsamiana z nośnością jego przekroju. W związku z tym do analizowanego przekroju przykładane są wszystkie siły wynikające ze zjawisk występujących na długości całego słupa. Postępowanie takie jest rozwinięciem metod opisanych w normach. Jednym z istotniejszych założeń w takim sposobie postępowania jest uwzględnienie odkształcenia osi słupa. W pracy założono, że oś tą reprezentuje linia odpowiadająca podstawowemu przypadkowi wyboczenia, co odpowiada równocześnie pierwszej postaci drgań własnych. Jako schemat przyjęto tu pręt dwustronnie podparty przegubami. Przyjęte założenie odbiega istotnie od warunków doświadczeń opisanych w pracy. Wydaje się (brak schematu stanowiska w pracy, a zdjęcia nie dają dostatecznej informacji), że prasa wykorzystywana do badań słupów zapewnia przegubowe podparcie co najwyżej jednego skrajnego przekroju próbki. Warunki podparcia drugiego skrajnego przekroju są zbliżone do utwierdzenia, ponieważ brak przemieszczeń liniowych zapewnia występowanie siły tarcia na styku prasy i próbki, a brak możliwości obrotu wynika z konstrukcji prasy. W takiej sytuacji maksymalny mimośród występuje nie w połowie wysokości elementu, a bliżej górnej płyty prasy. I właśnie tam obserwowano najintensywniejsze zniszczenia po zaprzestaniu

obciążania, co szczególnie wyraźnie widać w przypadku elementów S-A.10.C.aw i S-A.10.C.bw. W elementach tych większy wpływ na zniszczenie miało globalne odkształcenie osi elementu a w mniejszym stopniu lokalna utrata stateczności prętów.

Mam jeszcze jedną wątpliwość dotyczącą przyjmowania mimośrodów początkowego. Czy na podstawie samego tylko wyrażenia (4.3) – ($u_{\text{mid}} = L^2 \kappa_{\text{mid}} / \pi^2$) można oszacować wartość u_{mid} . Wielkości u_{mid} (mimośród w środku słupa /na rys. 6.4 błędnie podano u_{max}) i κ_{mid} (krzywizna w środku jego długości) są wielkościami zależnymi. Z (4.3) oraz z wzorów przywołanych powyżej tej zależności nie można wyznaczyć wprost szukanej wartości u_{mid} . Do rozpoczęcia obliczeń polegających na kolejnych iteracjach są potrzebne są jeszcze inne zależności, których nie przywołano w pracy. Brakuje w szczególności związku między momentem zginającym, krzywizną i parametrami przekroju żelbetowego.

Wnioski wynikające z badań i obliczeń można wyciągać w odniesieniu do elementów o przebadanych rozmiarach. Tak też w pracy czyniono. Jednak wyniki przeprowadzonych badań doświadczalnych oraz opracowany sposób prowadzenia obliczeń będzie służył inżynierom. Nasuwa się tu pytanie. W jaki sposób można uogólniać wnioski wyciągnięte na podstawie badania elementów o wysokości 0,6 m i średnicy 0,2 m na konstrukcje o rzeczywistych wymiarach. Czy wystarczającym podobieństwem jest tu stopień zbrojenia i smukłość elementów, czy też konieczne będzie przeprowadzenie badań elementów w skali 1:1?

Zaproponowany przez autorkę sposób analizy obliczeniowej jest rozwinięciem metod stosowanych w normach odnoszących się do projektowania konstrukcji żelbetowych. Dotyczy to w szczególności sprawowania złożonych problemów zachodzących w całym elemencie, a nawet konstrukcji do jednego przekroju. Doktorantka udowodniła, że potrafi takimi metodami się posługiwać. Co więcej rozwinęła je wydzielając w przekroju strefy betonu skrzepowanego i nieskrępowanego oraz wprowadziła te zagadnienia do procedur obliczeniowych. Uważam, że posiadając taką wiedzę o zjawiskach fizycznych zachodzących w elementach ściskanych i posiadając umiejętność prowadzenia złożonych obliczeń należy dalsze analizy prowadzić biorąc pod uwagę elementy i konstrukcje jako całość. Pozwoli to na realne modelowanie zagadnień, które okazują się niezwykle istotne dla zasadności stosowania stali HSS. Zagadnieniami tymi są: problem lokalnej utraty stateczności prętów zbrojeniowych (analiza warunków podparcia prętów zbrojenia głównego w elemencie), zagadnienie kontaktu zbrojenia i betonu w warunkach znacznego obciążenia otuliny (zwykle bada się wyrywanie pręta z nieobciążonej próbki

betonowej), zagadnienia reologiczne skrępowanego betonu. W takim podejściu metody normowe będą tylko pewnym odniesieniem.

3.4 Uwagi dotyczące edycji pracy i inne

W pracy dostrzeżono następujące niekonsekwencje edytorskie:

- na części rysunków występują opisy w języku angielskim, mimo że cała praca jest napisana w języku polskim (na przykład na rysunkach o numerach 2.7, 2.10, 2.11); podobnie wtrącenia w języku angielskim znajdują się we wzorach, na przykład 0.38, 0.39,
- w znacznej części pracy przyjęto konsekwentną, choć niepoprawną zasadę, że w tekście zmienne wielkości fizyczne oznaczane są kursywą a na rysunkach te same wielkości pisane są już normalną czcionką,
- w całej pracy funkcjonują stosowane równolegle cztery różne oznaczenia średnicy pręta: ϕ , #, \emptyset oraz Φ ; z rysunków i tekstu pracy nie wynika, aby # oznaczało np. pręt żebrowany natomiast ϕ pręt gładki; są to prawdopodobnie ciągle oznaczenia nominalnej średnicy pręta, która w tabelicy 4.1 została opisana jako \emptyset_{nom} (to już piąte oznaczenie tej samej wielkości),
- stopień zbrojenia raz wyrażany jest w postaci liczby a raz w procentach (w tym drugim przypadku powinno być procent zbrojenia, na przykład s. 59),
- znak dziesiętny raz jest oznaczony kropką, a raz przecinkiem (na przykład na s. IX $f_{0.2y}$, $f_{0.1k}$), podobnie w tekście np. w tabelicy 2.5 stosowana jest znak „,” natomiast już na sąsiednim rysunku 2.10 znak „.”,
- na części wykresów opisy osi są pogrubione (rozdziały 4, 5) a na części pisane czcionką normalną (pozostałe rozdziały),
- pojęcie długości słupa stosowane jest wymiennie z wysokością słupa (np. s. 102 nad i pod wzorem 4.2); przez długość słupa powinno się oznaczać odległość między punktami podparcia elementu a pojęcie wysokości powinno być zarezerwowane dla opisanie jednego z wymiarów przekroju elementu,
- w tekście występują niezrozumiałe pojęcia: stopień krzywizny, stopień odkształcenia (s. 4, 15 wiersz od dołu),
- pojęcie klasy betonu stosowane jest wymiennie z jego wytrzymałością (np. tablica 2.1),

- w tezie I pracy pojawia się stwierdzenie: „stopień wykorzystania wytrzymałości stali zbrojeniowej w elemencie prętowym traktowany jest jako wskaźnik efektywności tego zbrojenia”. Pojęcia: stopień wykorzystania wytrzymałości stali zbrojeniowej oraz wskaźnik efektywności zbrojenia nie zostały precyzyjnie w pracy zdefiniowane, nie figurują także w spisie oznaczeń, mimo, że są w pracy jednymi z ważniejszych pojęć. W każdym razie postawieniem tezy I na str. 10 autorka zaczyna rozprawę i przywołaniem tej tezy na str. 142 kończy rozprawę.

Przedstawione w niniejszym rozdziale recenzji uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na ogólną ocenę pracy. Należy podkreślić, że badania doświadczalne zostały zaplanowane i przeprowadzone bardzo dokładnie i starannie udokumentowane. Ponadto rozwinięta została metoda obliczeń nieliniowych. Również wnioskowanie jest spójne. Poza badaniami doświadczalnymi samodzielną pracą Autorki jest rozwinięcie obliczeniowej metody dotyczącej nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych. Na podstawie własnych badań doświadczalnych oraz obliczeń wyciągnięte zostały wnioski o dużym znaczeniu poznawczym i utylitarnym.

4 Posumowanie i wnioski

Recenzowana praca została poświęcona problemowi ważnemu dla praktyki inżynierskiej – zasadności i efektywności stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości w słupach.

Autorka przed przystąpieniem do badań własnych gruntownie przeanalizowała istniejące opracowania literaturowe oraz przeprowadziła obliczenia wstępne dostępnymi metodami. Na tej podstawie postawiła tezy a następnie zaprojektowała i przeprowadziła badania doświadczalne. Bazując na wnioskach z badań rozbudowała metodę nieliniowej analizy żelbetowych elementów prętowych i przeprowadziła obszerne analizy obliczeniowe. Wyniki tych badań i analiz znacznie poszerzyły wiedzę o rozważanym problemie oraz doprowadziły do rozbudowania programu komputerowego do obliczeń przekrojów żelbetowych.

Przedstawiona rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a doktorantka udowodniła, że ma wiedzę i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Eweliny Kołodziejczyk pt. „Efektywność stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości jako zbrojenia żelbetowych elementów prętowych” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (tekst jednolity Dz. U. z 2014 r. poz. 1852, z późniejszymi zmianami) oraz w ustawie z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2011 r., Nr 84, poz. 455). W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie przedstawionej pracy doktorskiej.

