

prof. dr hab. inż. Wojciech RADOMSKI
profesor zwyczajny Politechniki Łódzkiej

ul. Pasteura 4/6, m. 59, 02-093 Warszawa
tel.: (22) 822 90 97; tel. k. 603 647 863
e-mail: w.radomski@il.pw.edu.pl

Warszawa, dnia 17 sierpnia 2014 roku

RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ PANA MGR INŻ. KRZYSZTOFA GOLONKI
PT. „STUDIUM STROPÓW PŁASKICH
SPRĘŻONYCH KABLAMI BEZ PRZYCZEPNOŚCI”

1. Podstawa formalna i przedmiot recenzji

Niniejszą recenzję opracowałem na prośbę Dziekana Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, Pana prof. dr hab. inż. Jana Ślusarka, wyrażoną w skierowanym do mnie piśmie, noszącym datę 30 czerwca 2014 roku, w którym powołuje się on na decyzję Rady wymienionego Wydziału, podjętą w tej sprawie dnia 25 czerwca 2014 roku.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Krzysztofa Golonki pt. „Studium stropów płaskich sprężonych kablami bez przyczepności”, przygotowana pod kierunkiem Pana prof. dr inż. Andrzeja Ajdukiewicza jako promotora. Praca ta obejmuje dwa tomy formatu A4 – tom I jest zasadniczą częścią dysertacji i liczy 253 strony, tom II zawiera załączniki (aneksy) w liczbie pięciu (oznaczone literami A – E) i liczy łącznie 318 stron.

Pewne idee zawarte w pracy były już w Polsce opublikowane przez Autora, na co wskazuje pozycja [2] bibliografii, umieszczonej na końcu rozprawy.

2. Tematyka, treść i sposób zredagowania rozprawy – wstępne elementy jej oceny

Tematyka rozprawy ma zupełnie bezpośrednie odniesienia do praktyki inżynierskiej. Jednym ze współczesnych kierunków rozwoju różnego rodzaju betonowych budynków użyteczności publicznej jest zapewnienie pomieszczeniom dużych przestrzeni użytkowych, które oprócz swobodnego spełniania bieżących, określonych funkcji, pozwalałyby też na łatwą rearanżację wewnątrz, stosownie do mogących wystąpić w przyszłości innych potrzeb. Spełnienie obu wymienionych warunków wymaga stosowania w tych budynkach stropów o dużych rozpiętościach, co prowadzi do eliminowania tradycyjnych rozwiązań konstrukcyjnych w postaci gęstej siatki słupów oraz podciągów. Z oczywistych względów stropy o dużej rozpiętości powinny mieć zarazem możliwie małą wysokość konstrukcyjną, inaczej rzecz ujmując powinny być możliwie smukłe. Nie jest rzecz jasna rzeczą łatwą taki strop zaprojektować i zrealizować – wymaga to wprowadzenia niekonwencjonalnych rozwiązań inżynierskich. Takie właśnie rozwiązanie jest przedmiotem analiz przedstawionych

w ocenianej tu dysertacji doktorskiej. Należy ją zaliczyć do grupy prac wnoszących istotny i oryginalny wkład w rozwój konstrukcji przez zaproponowanie nowatorskiego rozwiązania. Nie jest to więc - chciałoby się powiedzieć - klasyczna rozprawa, oparta na badaniach wykonanych w laboratorium lub na istniejących obiektach, bądź też oparta na zaawansowanych analizach teoretycznych; jest rozprawą o charakterze studialno-projektowym. W tym stwierdzeniu nie ma niczego pejoratywnego. Przeciwnie, nowatorskich prac konstrukcyjno-technologicznych jest obecnie stosunkowo niewiele, a to przecież one kreują realny postęp w budownictwie. Autor dysertacji postawił sobie za cel opracowanie koncepcji wiotkiego betonowego stropu płytowego o symbolu AG-25. Założył, że wymiary stropu w planie to 63,00m x 63,00m, że jest on oparty w każdym z czterech naroży na czterech wiotkich słupach o osiowym rozstawie 12,50m (*nota bene* – nie znalazłem nigdzie wymiarów tych słupów) i że wymiary w planie środkowej, niepodpartej na słupach części stropu są równe 63,00m x 25,00m, a wysięg wszystkich wsporników, licząc od osi słupów, ma 6,50m. Grubość płyty została przyjęta jako równa 0,45m, jedynie w obszarach o wymiarach 5,00m x 5,00m przylegających do słupów i nad słupami, grubość ta jest zwiększona do 1,00m, głównie ze względu na zabezpieczenie przed przebicciem. Środkowa część stropu ma rozpiętość w obu kierunkach 25,00m x 25,00m. Wykonstruowanie tak wiotkiego stropu w stosunku do jego rozpiętości wymagało właśnie owych niekonwencjonalnych rozwiązań konstrukcyjnych. W celu zredukowania ciężaru własnego Autor zastosował odciążające elementy wypełniające, niektóre własnego pomysłu, oraz sprzężenie kablami bez przyczepności, przebiegającymi całkowicie wewnątrz przekroju betonowego oraz kablami, które na odcinakach środkowych są usytuowane na zewnątrz przekroju betonu. Tak zaprojektowany strop Autor poddał wszechstronnej analizie obliczeniowej, w której wykazał, że spełnia on wszystkie wymagania obecnych norm, łącznie z odpornością pożarową. Analizy te, zawierające pewne cechy nowości, zostaną szerzej przedstawione i zaopiniowane w punkcie 3. recenzji – Merytoryczna ocena pracy.

Tematykę rozprawy oceniam zatem pozytywnie. Jest ona interesująca od strony poznawczej i praktycznej, a przy tym bardzo przydatna wobec wspomnianych na wstępie potrzeb kształtowania dużych przestrzeni w różnego rodzaju budynkach użyteczności publicznej, co dodatkowo nakłada na projektantów szczególnie wysoką odpowiedzialność za proponowane rozwiązania konstrukcyjne, zarówno pod względem doraźnej wytrzymałości i bezpieczeństwa, jak i trwałości w ciągu całego okresu przewidywanej eksploatacji obiektu.

Ze względu na dość niejednorodny układ konstrukcyjny stropu (o czym także w p. 3. tej recenzji) i potrzebę przeprowadzenia wielu różnych analiz obliczeniowych, treść rozprawy nie była łatwa do zredagowania. Dodatkową trudność sprawiło to, że Autor starał się bardzo szczegółowo i rzetelnie udokumentować poszczególne części obliczeń, co dobrze świadczy o jego odpowiedzialności. Rozprawa została więc przedstawiona w formie dwóch oddzielnych i obszernych tomów. Tom drugi – jak już wspomniano w p. 1 recenzji – to Aneksy, zawierające kompletne wydruki obliczeń komputerowych, z których tylko pewne fragmenty „wycięto” i przedstawiono w zasadniczej części dysertacji. Ta część zasadnicza zredagowana jest logicznie, sekwencja rozdziałów – właściwa, a treści prezentowane w poszczególnych dziesięciu rozdziałach odpowiadają ich tytułom. Tak więc, mimo nadmiernej może drobiazgowości w niektórych fragmentach pracy, co nie ułatwia lektury, sposób zredagowania pracy zasługuje na pozytywną ocenę.

Pracy w swej części zasadniczej zawiera także bardzo szczegółowy wykaz oznaczeń, spis ilustracji (jest ich łącznie 212) oraz tablic (jest ich łącznie 14). Bibliografia, umieszczona na samym końcu tej części, obejmuje 71 publikacji, w zdecydowanej większości

niemieckojęzycznych, co jest zrozumiałe ze względu na kraj działalności Doktoranta, oraz 17 norm i wytycznych, ujętych w oddzielnym spisie. Według mojego rozeznania Autor nie pominął żadnych istotnych prac z zakresu tematyki swojej rozprawy.

3. Merytoryczna ocena rozprawy

Od razu i całkowicie jednoznacznie stwierdzam, że opiniowaną tu rozprawę Pana mgr inż. Krzysztofa Golonki oceniam pozytywnie. Uzasadniam to następującymi, ujętymi w punktach, argumentami (oznaczonymi przez A i kolejne numery).

A1. Za ceną i oryginalną wartość rozprawy uważam już samą jej tematykę, czemu dałem częściowo wyraz w poprzednim punkcie recenzji. Nie ma obecnie zbyt wielu dysertacji mających charakter studialno-projektowy lub technologiczny (bądź łączących oba te obszary), które wносиłyby istotny postęp do budownictwa. Ta – mimo pewnych zastrzeżeń przedstawionych dalej w uwagach krytycznych – niewątpliwie do takich prac kreujących rozwój należy.

A2. Autor opracował oryginalne rozwiązanie stropu o dużej rozpiętości (środkowy obszar 25,00m x 25,00m). Strop przyjął jako bardzo wiotki, bo – jak już nadmieniono w punkcie 2 recenzji - jego grubość wynosi tylko 0,45m, z wyjątkiem obszarów przypodporowych (tj. przysłupowych) 5,00m x 5,00m, w których występują pogrubienia tworzące przekrój grubości 1,00m. Te przyjęte przez Doktoranta wymiary wymagały bardzo przemyślanego rozwiązania konstrukcyjnego, które można uznać za oryginalne. Oryginalność ta polega głównie na zastosowaniu sprężenia stropu wewnętrznymi i zewnętrznymi kablami bez przyczepności oraz użyciu trzech typów, pustych w środku i umieszczonych w różnych obszarach płyty, elementów odciążających w celu zredukowania ciężaru stropu. Dwa rodzaje tych elementów: elipsoidalne (oznaczone jako typ 1) i kuliste (oznaczone jako typ 3), są produkowane i stosowane, trzeci – oznaczony jako typ 3 i złożony z półkuli o średnicy 36cm oraz powierzchni walcowej o wysokości 12,7cm – jest pomysłem Autora rozprawy. Na marginesie warto zauważyć, że elementy odciążające tej samej firmy, które Doktorant zaproponował, nazwane „pastylkami”, były zastosowane na budowie Stadionu Narodowego w Warszawie. Analiza obliczeniowa wykonana przez Doktoranta wykazała, że w obszarach stropu o grubości 0,45m, w których zastosowano owe elementy odciążające, nastąpiła dość znacząca redukcja ciężaru własnego stropu: w przypadku elementów elipsoidalnych - o 19%, kulistych - o 14% i elementów własnej koncepcji Autora - o 22% (str. 113, tablica 8). Te ostatnie właśnie okazały się najbardziej efektywne – jego pomysł był więc dobry.

A3. Za jeden z najbardziej nowatorskich pomysłów sam Doktorant uznaje sprężenie stropu kablami częściowo przebiegającymi w obrębie jego przekroju, a częściowo na zewnątrz. W ten sposób efektywniejsze jest wykorzystanie stali sprężającej wskutek zwiększonego w pewnych obszarach mimośrodowego działania siły sprężającej. Wypada zgodzić się z Autorem, że choć sam pomysł nie jest całkiem oryginalny, bo tego rodzaju rozwiązanie stosowano dotychczas do wzmocnienia konstrukcji, to jednak w odniesieniu do nowych obiektów jest propozycją poprzednio niespotykaną. Rozwiązanie to jednak nie jest bezdyskusyjne, czemu dam wyraz w uwagach krytycznych (por. **B2.**). Natomiast ma ono według Autora tę zaletę, że pozwala na wykorzystanie przestrzeni między kablami i stropem na bezkolizyjne prowadzenie ciągów instalacyjnych. Ponadto zastosowanie wszystkich kabli sprężających (i tych wewnętrznych i tych częściowo zewnętrznych) jako kabli bez przyczepności jest w tym przypadku słuszne, ponieważ niezależnie od zmniejszenia strat

doraźnych sprężania, pozwala na ewentualne doprężenie kabli w stadium eksploatacji obiektu, gdyby z jakichkolwiek powodów było to potrzebne. Sytuacje takie występują (np. zmiana funkcji pomieszczeń i towarzysząca temu zmiana układu lub wartości obciążeń), więc przewidzenie przedstawionej możliwości jest wysoce uzasadnione. Do oryginalnych rozwiązań konstrukcyjnych można ponadto zaliczyć zaproponowane przez Doktoranta zamocowanie stropu do elementów usztywniających go w płaszczyźnie poziomej (str. 44, rys. 38), co umożliwiło uwzględnieniu w wymiarowaniu osiowej siły od sprężenia.

A4. Autor do analiz numerycznych użył dwóch komercyjnych pakietów programów komputerowych – *MicroFe* (trzy różne modele obliczeniowe: dwa dotyczące SGN - AG25_N1, AG25_N2 oraz jeden dotyczący SGU - AG25_U1 – str. 94) oraz *Sofistik* (model AG25_U2, str. 95, użyty do weryfikacji obliczeń dotyczących SGU za pomocą modelu AG25_U1), oba bazujące na MES. Ten drugi jest w Polsce znany i powszechnie już stosowany do projektowania na przykład obiektów mostowych, natomiast pierwszy z wymienionych nie jest w Polsce szerzej znany, choć mogą się oczywiście mylić. Niemniej jednak zastosowanie programu *MicroFe* należy uznać w Polsce za nowe doświadczenie obliczeniowe. Doktorant wykazał bardzo dobre opanowanie obu tych zaawansowanych narzędzi. Przejawił też własną inwencję, wprowadzając własne uproszczone procedury obliczeniowe, zastępujące dokładniejsze wprawdzie, ale znacznie bardziej uciążliwe w praktyce procedury nieliniowe, iteracyjne. Inwencja ta znalazła też wyraz w autorskiej procedurze Doktoranta wprowadzonej do programu *Excel*, służącej do sprawdzenia założeń obliczeniowych na liniowo-sprężystym modelu betonu ze zbrojeniem. Jednocześnie wykazał on dużą odpowiedzialność w interpretowaniu wyników analiz numerycznych, o czym świadczy między innymi to, że obliczenia SGU płyty stropowej uzyskane za pomocą programu *MicroFe*, model AG25_U1, zweryfikował stosując program *Sofistik*. Na uznanie zasługuje bardzo dokładne udokumentowanie wyników obliczeń komputerowych w bardzo obszernych aneksach.

A5. Doktorant określił sobie plan zanalizowania, czy zaproponowany przez niego szczególnie smukły strop spełnia wszystkie podstawowe wymagania zawarte w przepisach projektowania. Jako podstawowe źródło tych wymagań przyjął Eurokod 2. Potraktował więc swe zadanie bardzo pragmatycznie. Uważam takie postępowanie za słuszne wobec bezpośrednich odniesień praktycznych jego rozprawy. Autor udowodnił w sposób inżynierski (tj. bez nadmiernego komplikowania), że zarówno od strony statycznej, jak i dynamicznej, a także od strony odporności pożarowej zaproponowany przez niego strop spełnia warunki stawiane we współczesnych przepisach. Aby to wykazać rozpatrywał SGN i SGU, uwzględnił efekty *tension stiffening* i efekty reologiczne oraz – w pewnym zakresie – efekty wynikające z teorii drugiego rzędu, a także określił częstotliwości drgań własnych stropu i jego zachowanie w warunkach pożaru. Co więcej, zanalizował SGU stropu po 70 latach jego eksploatacji. Potraktował więc swe zadanie szeroko i odpowiedzialnie. Pewne sprawy kontrowersyjne dotyczące zagadnień obliczeniowych poruszę jeszcze w dalszej sformułowanych uwagach krytycznych (uwaga **B3.**)

A6. Opiniowana tu rozprawa, mająca charakter - jak już kilkakrotnie podkreślano – studialno-projektowy, stanowi bardzo dobre źródło rozwijania wiedzy dla projektantów i realizatorów nowoczesnych obiektów użyteczności publicznej. Można sądzić, że takie też było zamierzenie Autora, na co wskazuje rozdział 8, zatytułowany „Wskazówki dla projektantów”. W rozdziale tym są sformułowane bardzo przydatne zalecenia oraz przestrogi, wynikające z analiz zawartych w dysertacji. Uważam to za dużą jej wartość. Również i z tego powodu zasługuje ona na rozpowszechnienie.

A7. Generalnie, Doktorant wykazał dużą wiedzę i bardzo dobre rozeznanie zagadnień teoretycznych w ujęciu inżynierskim oraz zagadnień technicznych i technologicznych, a także aktualnych możliwości realizacyjnych dotyczących w sposób szczególny stropów o dużej smukłości i mających znaczne rozpiętości. Ponadto Autor wskazał obszary wymagające dalszych, pogłębionych analiz, bo przecież – co oczywiste – jego rozprawa sprawy nie zamyka.

Można by znaleźć zapewne więcej jeszcze argumentów uzasadniających merytoryczną wartość opiniowanej dysertacji. Poprzestaną jednak na już przedstawionych, uznając je za całkowicie wystarczające.

Pozytywna ocena rozprawy nie oznacza jednak, że nie można w odniesieniu do niej sformułować uwag krytycznych, a przede wszystkim pytań dyskusyjnych. To dobrze, bo do rzetelnej dyskusji, stanowiącej przecież niezbywalny i twórczy czynnik rozwoju nauki i techniki, skłaniają tylko dobre prace, a tu opiniowana do nich należy, co uzasadniono formułując poprzednio argumenty oznaczone przez A1 ÷ A7. Mam zatem następujące najważniejsze uwagi i pytania (oznaczone przez B i kolejne numery).

B1. Zacznę niejako od końca. Autor w podsumowaniu swej rozprawy (rozdział 10, w10g i dalsze), że: „*Pierwszy obszar stanowiło studium możliwości dostępnych aktualnie środków technicznych prowadzących do koncepcji konstrukcji płaskiego stropu o dużej rozpiętości, spełniającej wymagania przydatności w zakresie nośności, użyteczności i trwałości, przy możliwie najmniejszym ciężarze stropu. Studium w tym zakresie stanowiło wytypowanie kierunków ograniczonej optymalizacji konstrukcji (podkreślenie moje), w której funkcję celu stanowiła masa stropu, a kryterium stanowiły wymagania wskazane w przepisach projektowych*”. Otóż nie rozumiem o jakiego rodzaju optymalizację tu chodzi. Przecież masa stropu nie wynikała z żadnych rozważań optymalizacyjnych tylko z jego wymiarów, z których wszystkie zostały przyjęte przez doktoranta *a priori*. Doktorant sprawdził tylko, czy jego oryginalne rozwiązanie konstrukcyjne (co oceniłem pozytywnie – patrz A5.) o zadanych wymiarach spełnia wymagania normowe. Wiem, że kierując się własnym niemałym doświadczeniem inżynierskim, starał się, aby jego strop był możliwie lekki, ale przecież te starania nie miały nic wspólnego z dążeniem do minimum masy jako funkcji celu. Można by prowokacyjnie zapytać, czy rezultaty analiz obliczeniowych przeprowadzonych przez Doktoranta byłyby istotnie inne, gdyby na przykład głowice wokół słupów miały wymiary 4,90m x 4,90m zamiast założonych 5,00m x 5,00m, a sam strop miałby grubość 0,44m zamiast założonej 0,45m, a przecież byłby on wtedy lżejszy. Masa stropu w ściśle pojmowanym ujęciu przyjmowanym w optymalizacji, nie była więc żadną funkcją celu.

B2. Zagadnienia, które w tym punkcie poruszę są świadomie dyskusyjne – jestem po prostu ciekawy zdania Doktoranta jako inżyniera z dużym doświadczeniem. Otóż sama idea prowadzenia kabli zewnętrznych w przypadku stropów o dużej smukłości jest oczywiście umotywowana efektywnością sprężania (duże mimośrodowość). Niemniej jednak, mimo że strop spełnia warunki odporności pożarowej, to – jak sam Autor przyznaje – wymagają one specjalnych osłon. Kable te muszą być po pożarze w pierwszej kolejności wymienione (por. str. 226, ostatni akapit). Ponadto, montaż dewiatorów może być kłopotliwy. Zewnętrzne kable w budynkach użyteczności publicznej są newralgicznym fragmentem konstrukcji, podatnym na nieświadome lub – co gorsze – świadome uszkodzenia. Znane mi są systemy sprężania płaskich stropów za pomocą układu kabli wyłącznie wewnętrznych (np. BBR VT CONA CMM, prezentowany zresztą w rozprawie w rozdziale 4). Nie pozwalają one (przynajmniej jak dotychczas) na realizację stropów o tak dużej rozpiętości, jak analizowany przez

Doktoranta, ale system ten może być rozwijany w tym kierunku zastosowań. Piszę o tym wszystkim dlatego, że zastanawiam się sam nad możliwością uniknięcia kabli zewnętrznych, na przykład przez zwiększenie sił sprężających w kablach wewnętrznych (zastosowanie tzw. kabli większej mocy). W tym aspekcie pytam też o przyjętą klasę betonu C30/37. Wyliczone straty siły sprężającej od odkształceń sprężystych płyty stropowej są niewielkie – w zależności od grup kabli zawarte są od 0,5% do 1,2% (str. 91), natomiast straty od pełzania betonu, niezależnie od grupy kabli są stałe i równe 3,5% (str. 92). W sumie też stosunkowo niewiele. Z drugiej strony wiadomo, że zastosowanie betonów klas wyższych od wymienionej pozwala na zwiększenie efektywności sprężania, również w aspekcie strat doraźnych i reologicznych. Może warto więc podjąć analizę analogiczną do przeprowadzonej w rozprawie w odniesieniu do zastosowania wyższych klas betonu do wykonania stropu, tym bardziej że na świecie obserwowana jest obecnie wyraźna tendencja do stosowania betonów wyższych klas, przede wszystkim ze względu na trwałość. Trzeba sobie zadawać sprawę, że gdy projektujemy stropy o tak znacznych rozpiętościach i smukłościach jak analizowany w ocenianej tu rozprawie, przechodzimy niejako do obiektów nowej generacji, wymagających często innej, wyższej jakości materiałów konstrukcyjnych. Na przykład w mostownictwie stosowanie betonów klas C50/60, a nawet wyższych, jest coraz częstsze, co można zaobserwować także w Polsce. Tymczasem, sam Doktorant to zresztą przyznaje, klasa C30/37 jest stosowana rutynowo i nie stanowi żadnego *novum* w przeciwieństwie do stropu, który takie *novum* bezdyskusyjnie stanowi. Pytam więc całkiem konkretnie: czy gdyby w analizowanym stropie tę, stosunkowo niską obecnie klasę betonu, zastąpić betonem na przykład klasy C50/60 i sumaryczne straty sprężania zmniejszyć z 20% (tak przyjął Doktorant) do 15% (co wydaje się możliwe przy tak wysokiej klasie betonu), to czy pozwoliłoby to na eliminację lub choćby redukcję liczby kabli zewnętrznych? Być może nie, ale pytanie takie warto sobie moim zdaniem postawić. Trzeba też mieć na uwadze, że pewien wzrost kosztu betonu wyższej klasy i tak jest rekompensowany przez cechy użytkowe stropu i jego większą trwałość. A co do wykorzystania przestrzeni między kablami zewnętrznymi i spodem stropu na prowadzenie instalacji, to przecież można je i tak mocować do tego spodu, bo brak podciągów to ułatwia.

B3. Sprawa związana jest z analizą obliczeniową, a ściślej z przyjętymi do tej analizy obciążeniami. Autor przyjął następujące obciążenia (str. 118, p.5.5.): stałe – ciężar własny generują automatycznie programy *MicroFe* i *Sifistik*, ciężar warstw podłogowych $g_{2k} = 1,75kN/m^2$ i obciążenie zmienne $q = 5,0kN/m^2$ oraz obciążenie od sprężenia generowane również przez program *MicroFe*. Być może czegoś nie zauważyłem, ale pominięto moim zdaniem ciężar możliwych instalacji oraz jakichś podwieszek maskujących. Ponadto, sam Doktorant na str. 229, w punkcie 1) pisze: „...poprzez trasowanie kabli w przestrzeni pomiędzy stropem podwieszonym a płytą stropową ...”. A więc, co naturalne, jakieś stropy podwieszane mogą występować. Czy wobec tego obciążeń tych nie należało chociaż orientacyjnie uwzględnić? Pytam o to także dlatego, że jak wynika z podpisów rysunków 123 ÷ 137 (str.141 ÷ 149) wyężenie (por. Uwagi szczegółowe, uwaga 1.) w niektórych fragmentach konstrukcji sięga 100% (np., str. 149, rys. 137). Czy zatem wszystko od strony przyjętych obciążeń jest w porządku? A ponadto – co zostało całkowicie pominięte – czy nie należało uwzględnić efektów termicznych spowodowanych różnicą temperatury między spodem i wierzchem stropu, co w budynkach użyteczności publicznej może się przecież zdarzyć.

B4. Interesująca, ale dość jednak skomplikowana koncepcja konstrukcyjna stropu, będącego przedmiotem rozprawy, jest pod względem wykonawczym dość trudna w realizacji. Zaproponowanie trzech różnych typów elementów odciążających (chciałoby się,

by był to jeden, np. ten autorski) oraz różnych układów kabli sprężających, instalacja dewiatorów oraz nie zawsze prosty układ zbrojenia miękkiego stanowią, że konstrukcja jest pracochłonna (być może się mylę). Dlatego brak mi w rozprawie jakichkolwiek odniesień kosztowych, traktujących także czas wykonania jako kategorię ekonomiczną. Wiem, że poszerzałoby to i tak bardzo obszerna pracę, ale chętnie poznałbym opinię Doktoranta na ten temat, tym bardziej, że sam wspomina w tekście, iż obecnie wymaga się od firm wykonawczych dokładnej, ale szybkiej pracy.

Zagadnień wartych dyskusji można by sformułować znacznie więcej, bo opiniowana praca jest tego warta. Poprzestanę jednak na już przedstawionych.

4. Uwagi szczegółowe

Nижer podane uwagi nie są uporządkowane według stopnia ich ważności merytorycznej, redakcyjnej lub językowej. Sformułowano je w kolejności odpowiadającej drobnym w większości uchybieniom, które spostrzegłem w miarę czytania pracy. Są to następujące uwagi.

1. Str. 3, w1d – Używając określenia *optymalny* trzeba zawsze definiować kryterium optymalizacji. Pod jakim względem przedstawione na str. 3 rozwiązanie nie jest optymalne. Jakie warunki musiałoby spełnić, aby uznać je za optymalne (np. minimum kosztów?). Krócej rzecz ujmując, słowo *optymalny* jest ostatnio nadużywane i nadawane jest mu nieściśle znaczenie (por. też np. str. 151, w1g). To samo dotyczy błędnie, ale nagminnie niestety, stosowanego obecnie terminu *wytężenie* – używając go trzeba nawiązywać do hipotez wytrzymałościowych; *wytężenie* to nie jest np. stopień wykorzystania naprężeń (w stosunku do wartości nieprzekraczalnych) lub poziom występujących naprężeń, jak się powszechnie i mylnie uważa.

2. Str. 7, rys. 11 – Warto przypomnieć, że słupy grzybkowe (bardzo starannie opracowane pod względem kształtu) chętnie stosował w swych, także niemostowych, realizacjach SP. Profesor Zbigniew Wasiutyński (np. w Gmachu GUS i w garażach sejmowych w Warszawie).

3. Str. 8, w2d i w wielu innych miejscach - W dysertacjach doktorskich (i nie tylko w nich) nie należy stosować skrótów: *ww*.

4. Str. 11, rozdział 11 – W kontekście historii żelbetu trochę razi całkowite pominięcie postaci Josepha Moniera (1823-1906). Str. 12, drugi akapit – Wypadałoby wymienić także nieznaną zjawiska *pelzania* betonu, nie tylko *skurczu*.

5. Str. 14, w15d – Stwierdzenie o odrzuceniu hipotezy płaskich przekrojów jest dość dyskusyjne w tym kontekście. Na przykład hipotezę tę w pewnym stopniu burzy także zjawisko *shear lag*, występujące w konstrukcjach skrzynkowych sprężonych kablami z przyczepnością. Przy sprężaniu kablami bez przyczepności założenie o płaskich przekrojach może w wielu przypadkach nadal obowiązywać.

6. Str. 17, w17d – Nie [N6] tylko [N9].

7. Str. 25, punkt 3.11. – Norm wymienionych w tekście nie umieszczono w spisie norm i wytycznych projektowania na str. 252.

8. Str. 36 – Brak powołania w tekście na rys. 32.
9. Str. 39 – Warto ujednoczyć oznaczenia na rys 34 i we wzorach – np. L_s (rys.) i l_s (wzory).
10. Str. 41, tablica 7 – Warto podać źródło tej tablicy [?].
11. Str. 52, w2d – Nie 5.2.2. lecz 5.2.3.
12. Str. 60, rys. 51 i dalsze – W aneksie, na który jest powołanie w podpisie np. rys 51, oś pozioma oznaczona jest przez y , a na rysunku przez x . Wiem, że to „na jedno wychodzi”, ale zwracam na to uwagę „dla porządku”.
13. Str. 83, w8g – Na pełzanie betonu wpływa też rodzaj kruszywa, co pominięto. Warto informację o pełzaniu nieco rozwinąć albo napisać ogólnie i krótko, że pełzanie zależy od składu betonu.
14. Str. 86, w12d - Warto podać numer strony lub numer punktu, bo podanie samego tytułu nie ułatwia szukania odpowiedniego fragmentu w tekście.
15. Str. 90, w10d – Trzeba podać konkretny numer rysunku, a nie pisać: *na poniższym rysunku. Nota bene*, poniżej żadnego rysunku nie ma.
16. Str. 120, w13d – Co to jest model *elastyczno-sprężysty*? Do tej pory nie spotkałem się z takim dualistycznym terminem.
17. Str. 129, napis nad rys. 101 – *Głowica słupa rogowego*. Ten trzeci wyraz nie jest odpowiedni (uwaga ta dotyczy także kilku innych fragmentów rozprawy).
18. Str. 140, początek punktu 5.7.3. – Brak powtórzenia oznaczeń detali („A” ÷ „F”) w tekście. Po co zatem oznaczenia te wprowadzono?
19. Str. 143, w4d oraz str. 145, w1g – To, że wymiarowanie jest trywialne nie oznacza, że nie jest potrzebne. Warto było jednak podać jakąś informację o zbrojeniu tych *trywialnych* obszarów głowic słupów. A to choćby dlatego, żeby mieć rozeznanie co do globalnego zużycia stali miękkiej w całym stropie.
20. Str. 152, w13g – Gdzie ta teza została sformułowana?
21. Str. 157, w18d oraz kilka innych fragmentów tekstu – Jest podana informacja o uwzględnieniu efektu *tension stiffening*. Warto by dodać opis procedury – jak to zrobiono? Ponadto – ale to drobiazg – warto wszędzie poprawić Mpa na MPa i Gpa na GPa.
23. Str. 204, w3d – Trzeba podać numer rysunku (rys. 188), jest tylko (*patrz rysunek*).
23. Str. 229, punkt 6) – Ponawiam pytanie o miejsce postawienia tej tezy w rozprawie. Bo to, że stwierdzono iż momenty rysujące pełny przekrój prostokątny betonu są mniejsze od momentów rysujących o tych samych wymiarach zewnętrznych lecz z wydrążeniami jest istotnym stwierdzeniem, ale to nie jest dowód tezy, której – być może nieuważnie czytając – nie znalazłem.

24. Str. 231, w18d – C30/35 czy C30/37 (np. str. 43, w4g, str. 83, w6d)?

25. Z satysfakcją stwierdzam, że wszystkie pozycje ujęte w spisie bibliograficznym zostały zacytowane w tekście rozprawy. Natomiast nie znalazłem zacytowania wymienionych w spisie norm i wytycznych następujących pozycji: [N7], [N8], [N16] i [N17] – mogłem jednak coś przeoczyć. Na nie umieszczone w spisie normy, na które powołano się w tekście, wskazałem w uwadze 7.

26. Ponieważ Doktorant rozwija swą działalność zawodową już od ćwierćwiecza w Niemczech, więc z oczywistych względów spraw językowych nie oceniam tu tak szczegółowo i ostro jak w odniesieniu do innych prac doktorskich. Ograniczę się przeto do jednej tylko uwagi – w tekście bądź co bądź naukowym (przecież do dysertacja doktorska!) nie powinno znaleźć się sformułowanie: *...umożliwiająca bardziej optymalną redukcję ciężaru płyty stropowej* (str. 45, w6d). Generalnie polszczyzna rozprawy jest dość poprawna, co stwierdzam z satysfakcją.

Nie chciałbym, aby powyższe uwagi były przyjęte jako „czepianie” się recenzenta do mało ważnych szczegółów. Jedyną moją intencją było wskazanie drobnych w większości uchybień, które zauważyłem i które mogą być łatwo i szybko usunięte przy przygotowywaniu fragmentów rozprawy do publikacji. Myślę, że uwzględnienie choćby części tych uwag przyczyniłoby się do podniesienia wartości przyszłych prac Autora. Oczywiście nie wymagam, aby Doktorant ustosunkował się do uwag szczegółowych podczas publicznej obrony swojej dysertacji.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując niniejszą opinię, jednoznacznie i z przekonaniem stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Krzysztofa Golonki pt. „Studium płaskich stropów sprężonych kablami bez przyczepności” spełnia wszelkie kryteria merytoryczne i formalne stawiane dysertacjom doktorskim. Pracę tę oceniam pozytywnie. Dlatego z satysfakcją stawiam wniosek o dopuszczenie Doktoranta do jej publicznej obrony.

