prof. dr hab. inż. Wacław Szcześniak,

prof. zw. w Politechnice Lubelskiej

Wydz. Budownictwa i Architektury

Warszawa, 13. 07. 2018 r.

O P I N I A

O rozprawie doktorskiej pt. „Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym"

Autorstwa mgr inż. Joanny Kłosowskiej

Promotor: prof. dr hab. inż. Wojciech Gilewski, prof. nz. w PW

Promotor pomocniczy: dr inż. Paulina Obara PŚw

Opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału

Budownictwa i Architektury

Politechniki Świętokrzyskiej, prof. dra hab. inż. Marka Iwańskiego

Umowa XII/Dec-B/21/2018 z dnia 27.06.2018 r.

1. Układ pracy

Praca o łącznej objętości 215-stu stron jest podzielona na 10 rozdziałów: wprowadzenie, koncepcje tensegrity, tensegrity w budownictwie, definicje i nazewnictwo, modele struktur prętowo-cięgnowych typu tensegrity, analizy istniejących konstrukcji typu tensegrity, konstrukcji autorstwa Wacława Zalewskiego, konstrukcje inteligentne i składane-pozytywne/twórcze, wykorzystanie szczególnych cech tensegrity, aspektów technologiczno wykonawczych, podsumowania i wniosków, literatury, rysunków i ilustracji, tablic oraz bardzo obszernego dodatku 52 stronicowego pt. „Wybrane kody z programu *Mathematica*. Z dziesięciu rozdziałów merytorycznych, zasadnicze znaczenie , moim zdaniem, mają oryginalne rozdziały od 3 do 6. Praca zawiera również streszczenia w językach polskim i angielskim . Dodatkowo opracowanie jest ilustrowane 132- dwoma rysunkami i zdjęciami,

a tablice wyników obliczeniowych i inne liczą 20 sztuk. Spis literatury zawiera 181 nieponumerowanych pozycji, wszystkie cytowane w tekście Rozprawy.

O celu i zakresie rozprawy dowiadujemy się w rozdziale pierwszym na stronach 10 i 11 w punkcie 1.2. Jak pisze Autorka *„Podstawową tezą rozprawy jest stwierdzenie, że istnieje możliwość zastosowania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym. Aby ją udowodnić postawiono inne, ważne cele pomocnicze, podane niżej .*

- *Zbudowanie jasnej, opartej na mechanice konstrukcji definicji tensegrity na podstawie wniosków z analizy historii powstania idei tensegrity oraz istniejących w literaturze definicji.*
- *Określenie najważniejszych cech tensegrity użytecznych w konstrukcjach budowlanych i ocena ich ważności.*
- *Analiza modułów tensegrity, jako elementów wykorzystanych do budowy konstrukcji inżynierskich.*
- *Ocena możliwości zastosowania tensegrity w budownictwie kubaturowym pod kątem tworzenia struktur jedno- i wielomodułowych.*
- *Ocena możliwości zastosowania tensegrity w budownictwie kubaturowym pod kątem zagadnień technologicznych i odpowiedzi konstrukcji na obciążenia statyczne.*
- *Klasyfikacja i ocena wybranych istniejących projektów obiektów kubaturowym* („chyba kubaturowych rec.") *pod względem spełnienia wymogów definicji konstrukcji typu tensegrity."*

Następnie Doktorantka w punkcie *„Teoretyczne zaplecze badań stanowią:"* formułuje cztery punkty. Poniżej cytuję te 4 punkty.

- *Studia literaturowe dotyczące konstrukcji tensegrity ze szczególnym uwzględnieniem poszukiwania form tensegrity oraz ich zastosowania w budownictwie i innych dziedzinach.*
- *Studia dotyczące statyki i dynamiki struktur typu tensegrity.*
- *Symulacje komputerowe na bazie własnych programów komputerowych, opartych na metodzie elementów skończonych, napisanych w środowisku <<Mathematica>>.*
- *Symulacje komputerowe przy wykorzystaniu profesjonalnego oprogramowania metody elementów skończonych (program Sofistik).*

Cele ten Doktorantka realizuje konsekwentnie w następnych rozdziałach. W punkcie 1.3 nazwanym „struktura pracy" przedstawiono syntetycznie opis 10-ciu rozdziałów pracy.

W rozdziale 2 pod tytułem „Koncepcja tensegrity" omawia się rys historyczny, idee powstania, tzw. „Simpleks" Snelsona, zalety i wady konstrukcji tensegrity.

W obszernym rozdziale 3 zawartym na stronach 16-53 „Tensegrity w budownictwie" w podrozdziałach 3.1-3.6 Doktorantka omawia szereg wykonanych i istniejących konstrukcji typu: wieże, płyty i powłoki, mosty i kładki, przekrycia hal i stadionów, łuki i inne zastosowania. W krótkim rozdziale 4 na stronach 50-53 zatytułowanym „Definicje i nazewnictwo" Kandydatka dyskutuje polemicznie z różnymi propozycjami nazwy tensegrity w literaturze przedmiotu i co jest ważne proponuje własną definicję konstrukcji tensegrity opierając się

o podstawy teoretyczne mechaniki technicznej. Wprowadzając oznaczenia T, S, M, W, C, N wyróżnia tzw. tensegrity abstrakcyjne, czyste i inne dokonując ich racjonalnych definicji.

Obszerny rozdział 5-ty zawarty na stronach 54-94 nosi tytuł „Modelowanie struktur prętowo-cięgnowych typu tensegrity jest złożony z siedmiu podrozdziałów, podsumowania i dwóch podpunktów, jest to jeden z najważniejszych rozdziałów w rozprawie. Przedmiotem rozważań są tutaj podstawy teoretyczne metody elementów skończonych z uwypukleniem tego co wiąże się z obliczeniami statycznymi i dynamicznymi konstrukcji tensegrity. Następnie w podrozdziale 5.6 na stronach 6383 pt. „Prawdy i mity o płaskich konstrukcjach tensegrity" przedstawiono szczegółowe obliczenia 18 przykładów różnych konstrukcji kratownic nazywanych niejednokrotnie niewłaściwie w literaturze przedmiotu konstrukcje tensegrity.

Wyznaczono macierze jednowierszowe **L, M, y, O** oraz macierze **B.**

Dokonano zestawienia tabelarycznego przykładów i tych cech opisanych przez T,S,C i M,N,W oraz wyciągnięto odpowiednie wnioski. Następnie w podrozdziale 5.7 noszącym tytuł „Typowe trójwymiarowe moduły tensegrity" Autorka stwierdza, że metoda rozkładu macierzy **B** według jej wartości własnych może być stosowana również do kratownic przestrzennych takich jak: simpleks, quartex, octahedron oraz ścięty czworościan. Następnie rozwiązano cztery przykłady skomplikowanych konstrukcji przestrzennych wyznaczając macierze q, **S, L, M, O, x, y** . W każdym przykładzie określono zerowe wartości własne macierzy **L** odpowiadające za istnienie mechanizmów **M.**

W również obszernym rozdziale 6 o tytule „Analiza istniejących konstrukcji inżynierskich typu tensegrity" zawartego na stronach 95-129, zawierającym 5 podrozdziałów i 10 podpunktów poddano analizie obliczeniowej zastosowaną teorią istniejący obiekty konstrukcyjne White Rhino, Warnow Tower, kratownicę typu Kono, Blur Bulding, kopułę Geigera oraz kopułę Fullera. Wyznaczano tu między innymi tzw. przemieszczenia w funkcji S i mnożniki self-stress w funkcji pierwszej częstotliwości drgań własnych. Z każdej analizy wyciągnięto odpowiednie wnioski. W krótkim rozdziale 7 „Konstrukcje autorstwa Wacława Zalewskiego" omówiono szczegółowo Katowicką Halę Główną tzw. „Spodek" i rozebrany warszawski „Super Sam" . Oba historyczne obiekty były prekursorami konstrukcji tensegrity.

Krótki rozdział 8 noszący tytuł „Konstrukcje inteligentne i składane - pozytywne twórcze wykorzystanie szczegółowych cech tensegrity" Doktorantka przytacza przykłady tych konstrukcji jako sterowalnej, zdolnej do adaptacji w panujących warunkach, między innymi zdolne do: samo-sterowania, samo-diagnozy, samo-naprawy i aktywnej kontroli.

Rozdział 9 pt. „Aspekty technologiczne i wykonawcze" zawarty na stronach 139-145 jest złożony z 5-ciu podrozdziałów: materiały, połączenia, wykonanie i realizacja, realizacja sprężenia wstępnego, awarie struktur prętowo-cięgnowych.

Ostatni 10-ty rozdział to „Podsumowanie i wnioski".

2. Uwagi o rozprawie

Po wielokrotnym przeczytaniu tej pracy nie mam zasadniczych uwag merytorycznych, nie znalazłem w niej żadnych błędów. Trzy moje drobne uwagi są następujące:

Recenzent chciałby jednak aby Doktorantka na publicznej obronie doprecyzowała istotę teorii III-go rzędu, którą zastosowała w środowisku Sofistyka, wskazała przy tym na różnice pomiędzy teoriami I-go, II-go i trzeciego rzędu. Jak można zauważyć choćby w monografii J. Warmińskiego, „Nieliniowe postacie drgań", PWN, 2011 w silnej nieliniowości jednej częstości drgań własnych może odpowiadać kilka postaci tych drgań, jak z tym sobie poradzić na poziomie tensegrity. W rozprawie jest niewiele powiedziane o podstawach teoretycznych teorii III rzędu.

Czym tłumaczy się początkową stałość wykresu zależności między pierwszą częstotliwością drgań własnych a mnożnikiem self-stress, rys. 119 na stronie 125.

Jaka jest różnica w definicjach tensegrity zawartych w pracy A. Kasprzaka a definicją własną Pani na stronach 52 i 53.

Skoro tensegrity to kratownice, to czy w przypadku konstrukcji statycznie niewyznaczalnej można stosować znany wzór: $n=r+3(a-1)-g$, gdzie: g

oznacza liczbę przegubów jednokrotnych, a oznacza liczbę obwodów zamkniętych, r to liczba reakcji zewnętrznych.

2.1. Uwagi redakcyjne i językowe

Praca napisana jest kiepską, ubogą polszczyzną, niedopracowana językowo stanowi słaby punkt tej interesującej rozprawy.

1. Wiem jak można rozwiązać zadanie albo równanie. Nie wiem i nie mam pojęcia jak można rozwiązać „zagadnienie" , nawet własne. Rozwiązaniem zagadnienia i problemu Doktorantka zajmuje się na wielu stronach swojej pracy: 55, 57, 61, 62, 63. Nie wiem też czy „problem" str.55 może mieć układ przemieszczeniowy. „Siły te zawiera wektor własny..." czytamy na str.61. Siła jest wektorem i niczego nie może zawierać, a poza tym liczba mnoga nie jest potrzebna w tym zdaniu.
2. A analizowanie konstrukcji „pod kątem" lub ocenę ustrojów „pod kątem" prowadzi Doktorantka na wielu stronach 11, 64, 95,121 i innych. Na pewno pod kątem 90 stopni przecinają się przyprostokątne w trójkącie prostokątnym, lepiej byłoby użyć np. słów: w funkcji, w zależności, celem itp. Wyrażenie „z wyjątkiem" nie pisze się w języku polskim „za wyjątkiem" str.53 i inne.
3. Mam wątpliwości czy na stronie 54 wielkości **q, S,** Δ, a nawet **P** są wektorami, pomimo powszechnych stwierdzeń w literaturze przedmiotu, bo jak na przykład wyglądałby iloczyn wektorowy takich wielkości ? Myślę, że to raczej macierze jednokolumnowe lub jednowierszowe. A wyrażenia „często" lub „najczęściej" np. str. 141,148 i wiele innych,

w pracach naukowych są niejednoznaczne, bowiem nie jest wiadomo czy to raz w tygodniu, czy dwa razy na miesiąc, czy 3 razy w roku. Lepiej używać słowa „niejednokrotnie".

4. Słowo „dla" używane bezkrytycznie i powszechnie w opracowaniu nieskończenie wiele razy , jest typowym wytrychem językowym świadczącym o niestaranności językowej Autorki. Ten przyimek łączący się z dopełniaczem wg słownika „Poprawnej polszczyzny, Doroszewskiego" nie jest stosowany prawidłowo w tej pracy. „Dla" powinno łączyć się z istotami żywymi, "książka dla czytelnika", „film dla dorosłych" Na pewno lepiej napisać „w przypadku" niż „dla przypadku" np. na stronie 58 .
5. Drugim wytrychem językowym używanym wielokrotnie w pracy jest słowo „posiada" str. 9, 10, 36, 65, 72 i wiele innych. Ani tensegrity, ani konstrukcja, ani macierz nie mogą nic posiadać, bo nie mają osobowości prawnej, nie mają Pesela. One mogą coś mieć.
6. Na stronie 60 rozprawy napisano „[Zhang: 2006 o którą pracę chodzi]". Nie mam zielonego pojęcia, o którą chodzi, bowiem w spisie są aż 3 prace, a Zhang jest ich współautorem!
7. Praca [Cwyl, Wierzbicki: 2015] cytowana na stronie 144 nie istnieje w spisie literatury. Wygodniej byłoby, gdyby pozycje literatury były ponumerowane liczbami.
8. Moim zdaniem wyrażenia „praca konstrukcji" (str. 144), oraz „kontrola pracy" (str. 14) nie są poprawne. Bowiem praca sił zewnętrznych na przemieszczeniach równoważy pracę naprężeń na odkształceniach i bilans jest zerowy, zgodnie z zasadą zachowania energii. Lepiej zatem by było, żeby konstrukcje przestały pracować i poszły na emeryturę, bo nie tylko, że nie pracują, ale trzeba je dodatkowo utrzymywać. Z drugiej strony praca w mechanice to iloczyn skalarny dwóch wektorów. Dopuszczam jednak pojęcie pracy sił zewnętrznych i wewnętrznych.
9. Jako wieloletni wykładowca mechaniki teoretycznej nie zgadzam się też z pojęciem „ruch sztywny" lub „ruchy sztywne" używane w MES. Ruch jest w mechanice dobrze zdefiniowany i może być postępowy, obrotowy, płaski, kulisty itp. To ciało jest sztywne, a nie ruch.
10. Skróty „wg." str. 7, 143, 146 i inne pisze się w języku polskim bez kropki podobnie jak mgr, zaś wrażenie "ptętowo-cięgnowymi" jest niepoprawne na stronie 7 w streszczeniu.
11. Na stronie 9 „Hesło" to nie to samo co hasło. A wyrażenie na stronie 10 „projektów obiektów kubaturowym..." nie trzyma się kupy. Literówka też daje znać na stronie 64 w wyrażeniu „stano samonaprężenia".
12. Nie wiem co to jest „hil uliczny" str.133, 143 „a ilość aktywnych elementów" zastąpić lepiej słowem liczba, str. 137. Z kolei słowo „szczególności" na stronie 139 nie ma „g". Z kolei wyrażenie „istnienie stano samonaprężenia" na stronie 64 nie brzmi dumnie.
13. Nazwisko „Al Sabuni –Zawadzka" na stronie 140 nie ma w środku literki „o" a spisie literatury i innych powołaniach ma, to które jest poprawne.
14. W dodatku na stronach 164 -215 powinno się „coś" opisać, co obliczamy po kolei chociaż w jednym przykładzie np. w 13-tym.

3. Oryginalne elementy rozprawy

Bazując na podstawach mechaniki teoretycznej i mechaniki konstrukcji Doktorantka proponuje własną oryginalną definicję konstrukcji tensegrity wprowadzając oznaczenia T, S, M, W, C, N wyróżnia tzw. tensegrity abstrakcyjne, czyste i inne według własnego pomysłu.

1. Podstawy teoretyczne metody SVD prowadzą z kolei do wyznaczenia pewnych macierzy **B, L, M, O, S, x, y** , określających między innymi zerowe wartości własne poprzez macierz **L**, wektory własne macierz **M** i inne.
2. Oryginalne elementy tej rozprawy to przede wszystkim liczne przykłady obliczeniowe z zastosowaniem metody SVD do analizy jakościowej kratownic w tym struktur tensegrity. W rozdziale 5 podrozdział 5.6 jest rozwiązanych i przeanalizowanych 18 przykładów zadań płaskich. Następnie 4 przykłady obliczeniowe w podrozdziale rozdziale 5.7 „Typowe trójwymiarowe moduły tensegrity" rozwiązano i przeanalizowano 4 zadania struktur przestrzennych tensegrity.
3. Wysoko oceniam oryginalne przykłady obliczeniowe zawarte w rozdziale 6 pod tytułem „Analiza istniejących konstrukcji inżynierskich typu tensegrity". Przedmiotem obliczeń są tu istniejące konstrukcje : White Rhino, Wieża Warnow Tower następnie dwuwarstwowe kratownice tensegity Kono, Blur Building, Kopuła Geigera i Kopuła Felera. Jest to 7 oryginalnych przykładów zastosowania teorii I, II i trzeciego rzędu w celu rozpoznania kinematycznego mechanizmów infinitezymalnych i innych cech.
4. Doktorantka wykazała, że tensegrity to konstrukcja sterowalna, zdolna do adaptacji w panujących warunkach, między innymi zdolna do: samosterowania, samo-diagnozy, samo-naprawy i aktywnej kontroli.
5. Oryginalnym elementem tej pracy jest opracowanie Autorskich programów w kodzie Wolframa <<Mathematica>>. Jako entuzjasta i wieloletni użytkownik tego programu od wersji 2 do 11 oraz jako oficjalny ekspert u profesora Wolframa polecam wysłanie jednego algorytmu do ewentualnej nagrody, przyznawanej dla Autorów zastosowań tego systemu. Nie bez znaczenia pozostają też algorytmy Sofistyk zastosowane w teorii III-go rzędu w obliczeniach komputerowych.

4. Wniosek końcowy

Rozprawę doktorską mgr inż. Joanny Kłosowskiej pt. „Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym" oceniam wysoce pozytywnie, z uwagi na jej bezdyskusyjne oryginalne elementy merytoryczne opisane wyżej. Autorka zamieściła w niej 29 przykładów obliczeniowych prowadzących do rozpoznania kinematycznego kratownic w tym tensegrity, określenia wartości własnych, postaci drgań własnych, określenia mechanizmów infinitezymalnych i stanów samonaprężenia.

Doktorantka wykazała się poza tym w tej pracy biegłą znajomością statyki, stateczności i dynamiki budowli, a w szczególności metodą elementów skończonych, rachunkiem

macierzowym. Poza tym wykazała się umiejętnościami opracowania wyników obliczeń, ich interpretacji, wyciągania logicznych wniosków, niezbędnych w pracy naukowej.

W świetle ustawy z 14 marca 2003 roku wraz z późniejszymi zmianami w lipcu 2007 i październiku 2011 roku stwierdzam. Rozprawa doktorska mgr inż. Joanny Kłosowskiej stanowi oryginalne rozwiązanie zadania naukowego, a Doktorantka wykazała się z nawiązką wiedzą teoretyczną w zakresie dyscypliny budownictwo.

Wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Joanny Kłosowskiej do publicznej obrony Jej rozprawy przed Radą Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.