

SPIS TREŚCI

1. Imię i nazwisko.....	2
2. Posiadane dyplomy, stopnie nakowe.....	2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	2
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789).....	2
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	17
5.1. Działalność prowadzona przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora.....	17
5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.....	17
5.3. Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe.....	20
5.4. Udział w projektach badawczych.....	20
5.5. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych I krajowych konferencjach tematycznych.....	21
5.6. Syntetyczne ujęcie osiągnięć naukowo-badawczych.....	21
5.7. Najważniejsze osiągnięcia poza działalnością publikacyjną.....	24

1. **Imię i nazwisko:** Paulina Obara

2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:**

- 1997 – dyplom inżyniera – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa Lądowego. Temat pracy dyplomowej: „*Dwupoziomowy pawilon handlowy o powierzchni zabudowy 600 m²*”.

Promotor: dr inż. Jarosław Mucha

- 1998 – dyplom magistra inżyniera – Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa Lądowego. Temat pracy dyplomowej: „*Stateczność prętów prostych ściskanych niekonserwatywną siłą osiową*” (praca wyróżniona).

Promotor: prof. dr inż. Andrzej Gomuliński

- 2005 – stopień naukowy doktora nauk technicznych, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Temat pracy doktorskiej: „*Drgania, stateczność i rezonans parametryczny układów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*” (praca wyróżniona).

Promotor: prof. dr inż. Andrzej Gomuliński

- 2013 – dyplom ukończenia studiów podyplomowych: Odnawialne źródła energii, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury. Temat pracy dyplomowej: „*Pozyskiwanie ciepła z promieniowania słonecznego w budownictwie*”.

Promotor: dr hab. inż. Łukasz Orman

3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- 01.10.1999 – 30.09.2005 – *asystent*, Katedra Mechaniki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Świętokrzyska.
- 01.10.2005 – nadal – *adiunkt*, Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska.

4. **Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789)**

a) TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Dzieło opublikowane w całości:

„Dynamika i stateczność dynamiczna struktur tensegrity”

b) AUTOR, TYTUŁ PUBLIKACJI, ROK WYDANIA, NAZWA WYDAWNICTWA, RECENZENCI WYDAWNICZY

Paulina Obara, *Dynamika i stateczność dynamiczna struktur tensegrity*, 2019,
Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej,
PL ISSN 1897-2691, PL ISBN 978-83-65719-57-7

*Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Wacław Szcześniak
prof. dr hab. inż. Wojciech Gilewski*

c) OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRACY I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW WRAZ Z OMÓWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA

WPROWADZENIE

Tensegrity to wyraz pochodzący z języka angielskiego, będący złożeniem dwóch słów: „tension” – rozciąganie i „integrity” – spójność, integralność, całość. Termin ten opisuje struktury złożone wyłącznie z elementów ściskanych (zastrzałów, prętów) i rozciąganych (ciągów). Pomimo, że tensegrity są strukturami prętowo-cięgnowymi, to od konwencjonalnych ustrojów odróżniają je pewne specyficzne właściwości mechaniczne i matematyczne. W elementach tych konstrukcji występuje samorównoważny układ sił wewnętrznych nazywany stanem samonaprężenia (self-stress state). W przypadku braku stanu samonaprężenia struktury tensegrity są niestabilne, czyli geometrycznie zmienne. Stabilizacja następuje dopiero po wprowadzeniu wstępnych naprężeń, a ich modyfikacja pozwala na sterowanie parametrami statycznymi i dynamicznymi konstrukcji.

Struktury tensegrity mają ponad 60 lat, przy czym początkowo idea tensegrity była związana głównie ze sztuką (pierwsze tensegrity były rzeźbami) oraz w niewielkim, stopniu z architekturą, a co za tym idzie, z budownictwem. Aktualnie struktury tensegrity są stosowane w matematyce, biomedycynie oraz w inżynierii. Tymi rozwiązaniami zajmuje się wiele zespołów badawczych na całym świecie. Nie sposób jest wymienić wszystkich naukowców, ale do czołówki zaliczają się René Motro (Francja), Robert E. Skelton (Stany Zjednoczone Ameryki), Hidenori Murakami (Stany Zjednoczone Ameryki), Bin-Bing Wang (Singapur) i Y. Kono (Japonia). Do istotnych monografii dotyczących tematyki tensegrity zaliczyć można: „An Introduction to Tensegrity”¹, „Tensegrity. Structural Systems for the Future”², „Tensegrity Systems”³, „Art and Ideas”⁴ oraz „Tensegrity Structures. Form, Stability, and Symmetry”⁵. W Polsce strukturami tensegrity zajmuje się stosunkowo niewielu badaczy. Za prekursora uznawany jest Waław Zalewski, który zaprojektował dach Supersamu, zbudowanego w Warszawie w 1962 roku oraz dach hali sportowej, zbudowanej w Katowicach w 1971 roku. Pierwszym zastosowaniem rozwiązania tensegrity jako obiektu mostowego jest projekt kładki KL-03 nad trasą S-7 Salomea – Wolnica w Magdalence autorstwa Bogusława Markockiego⁶. Jediną monografią wydaną w języku polskim, dotyczącą struktur tensegrity, jest praca „Tensegrity – integrujące rozciąganie w systemach architektonicznych”⁷. Monografia Zbigniewa Bieńka ma charakter przyczynkowy – badania mają przede wszystkim charakter architektoniczny i dotyczą głównie poszukiwania i prezentacji morfologicznych metod kształtowania tych struktur. Tematyką tensegrity z mechanicznego punktu widzenia zajmuje się Wojciech Gilewski. Pod jego kierunkiem powstały trzy prace doktorskie dotyczące wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie mostowym⁸, możliwości zastosowania tensegrity jako konstrukcji

¹ Pugh A. (1976), *An introduction to tensegrity*, University of California Press, Berkeley, USA.

² Motro R. (2003), *Tensegrity. Structural systems for the future*, Kogan Page, London, UK.

³ Skelton R.E., de Oliveira M.C. (2009), *Tensegrity Systems*, Springer, London, UK.

⁴ Snelson K. (2013), *Art and Ideas*, NY: Kenneth Snelson In Association With Marlborough Gallery.

⁵ Zhang J.Y., Ohsaki M. (2015), *Tensegrity Structures: Form, Stability, and Symmetry*, Springer Japan.

⁶ Markocki B., Oleszek R. (2011), Koncepcja kładki dla pieszych o konstrukcji tensegrity w Magdalence koło Warszawy, *Inżynieria i Budownictwo*, nr 10/2011, 553- 557.

⁷ Bieńek Z. (2012), *Tensegrity – integrujące rozciąganie w systemach architektonicznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Monografia nr 96/12, Rzeszów.

⁸ Kasprzak A. (2014), *Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie mostowym*, Rozprawa doktorska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

inteligentnych⁹ oraz możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym¹⁰.

Bezpośrednią i najważniejszą inspiracją do podjęcia przeze mnie tematyki dotyczącej struktur tensegrity jest wzrost zainteresowania architektów i inżynierów zastosowaniem praktycznym tych rozwiązań. W ostatnich kilkunastu latach powstały liczne projekty i realizacje tego typu budowli. Przyczyn wzrostu zainteresowania konstrukcjami tensegrity można doszukiwać w dążeniu projektantów do oryginalności i innowacyjności. Z jednej strony struktury te są najprostszymi z możliwych, ponieważ ich elementy przenoszą tylko siły osiowe, ale z drugiej strony charakteryzują się one ciekawą architekturą. Należy również zauważyć, że z konstrukcyjnego punktu widzenia, struktury tensegrity zachowują stabilność przy minimalnej możliwej liczbie elementów. Dlatego są uważane za jedne z najbardziej optymalnych systemów.

Przeprowadzona analiza literatury wykazała, że zdecydowana większość prac oraz opracowań monograficznych dotyczy głównie projektowania i poszukiwania stabilnych form konstrukcyjnych tensegrity, algorytmów optymalizacyjnych, metod kontrolowania kształtu struktur tensegrity pod wpływem obciążeń zewnętrznych oraz zastosowania tych struktur. Na tym tle analiza parametryczna, dotycząca oceny wpływu stanu samonapężenia na własności dynamiczne struktur tensegrity, jest tematem niewielu prac. Dodatkowo prace te dotyczą konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych. Nie ma monograficznych opracowań opisujących w zwarty sposób zachowanie się pełnego spektrum konstrukcji. W znanych mi opracowaniach, brakuje również prac dotyczących analizy stateczności dynamicznej, rozumianej w ujęciu Bołotina¹¹. Problem ten jest często mylony z zagadnieniami obciążeń impulsowych. Analiza stateczności dynamicznej prowadzi do wyznaczenia obszarów rezonansu parametrycznego (niestateczności dynamicznej), które są groźne w aspekcie trwałości konstrukcji. Interpretując fizycznie zjawisko niestateczności dynamicznej, powiemy, że jeżeli parametry obciążenia znajdują się pomiędzy wyznaczonymi granicami niestateczności, to w konstrukcji powstają drgania o wzrastającej amplitudzie. Na temat drgań parametrycznych istnieje oczywiście bogata literatura, rozstrzygająca w zasadzie wszelkie kwestie podstawowe. Nie mniej jednak struktury tensegrity są szczególnym przykładem konstrukcji. Charakteryzują się one bowiem dodatkowym parametrem, jakim jest stan samonapężenia, który ma wpływ na kształt i zakres obszarów niestateczności.

Biorąc powyższe pod uwagę wydało mi się zasadnym podjęcie tematyki dotyczącej analizy dynamicznej, a w szczególności analizy stateczności dynamicznej, konstrukcji budowlanych typu tensegrity.

CEL NAUKOWY PRACY

Zasadniczym celem mojej pracy było zbadanie zachowania się struktur tensegrity pod wpływem działania obciążeń periodycznych i odpowiedź na pytanie, czy i w jakim stopniu stany samonapężenia wpływają na rozkłady obszarów niestateczności dynamicznej. Realizacja sformułowanego celu wymagała:

- zbudowania nieliniowego modelu matematycznego uwzględniającego wstępne naprężenia,

⁹ Al Sabouni-Zawadzka A. (2016), *Studium możliwości zastosowania konstrukcji inteligentnych w budownictwie mostowym*, Rozprawa doktorska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

¹⁰ Kłosowska J. (2018), *Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym*, Rozprawa doktorska, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.

¹¹ Bołotin W.W. (1956), *Dinamiczeskaja ustojcziwost uprugich sistiem*, Gostekhizdat, Moskwa.

- przeprowadzenia oceny jakościowej polegającej na zidentyfikowaniu stanów samonapężenia i mechanizmów infinitezimalnych,
- przeprowadzenia oceny ilościowej polegającej na zbadaniu zachowania się struktur tensegrity pod wpływem oddziaływania obciążeń zewnętrznych niezmiennych się w czasie:
 - ✓ określenia minimalnego i maksymalnego poziomu wstępnego sprężenia,
 - ✓ oceny wpływu wstępnego sprężenia na przemieszczenia konstrukcji,
 - ✓ oceny wpływu wstępnego sprężenia na sztywność konstrukcji,
 - ✓ oceny wpływu wstępnego sprężenia na nośność konstrukcji,
- przeprowadzenia analizy parametrycznej określającej wpływ stanu samonapężenia na własności dynamiczne, w tym częstotliwości drgań i postaci drgań,
- przeprowadzenia analizy stateczności dynamicznej prowadzącej do określenia rezonansowych częstości periodycznych wymuszeń oraz do wyznaczenia obszarów niestatecznych w funkcji wstępnego sprężenia.

OSIĄGNIĘTE WYNIKI

Jako główne osiągnięcie mojej pracy uznaję *oszacowanie wpływu stanu samonapężenia na rozkład obszarów niestateczności dynamicznej struktur tensegrity poddanych oddziaływaniu obciążeń periodycznych*¹². Zrealizowanie tego głównego osiągnięcia wymagało jednakże przeprowadzenia pomocniczych analiz. *Układ i charakter pracy jest konieczny do zrozumienia oryginalnych rozdziałów, w których opisałam dynamiczne własności kratownic typu tensegrity. Szczegółowe rozdziały dotyczące analiz statycznych, sprawiają, że praca stanowi zwarte i spójne opracowanie dotyczące rozwiązań tensegrity stosowanych w budownictwie*¹³. W literaturze światowej jest kilka monografii na temat tensegrity, przedstawiają one jednak zagadnienie w zupełnie inny sposób. Poniżej przedstawię kolejne etapy mojej pracy, w tym etapy pomocnicze (etapy 1, 2, 3, 4), prowadzące do realizacji sformułowanego celu (etap 5).

Etap 1 – opracowanie nieliniowego w zakresie geometrycznym modelu elementu tensegrity uwzględniającego wstępne naprężenia.

Systemy tensegrity są przestrzennymi kratowymi systemami znajdującymi się w stanie samonapężenia. Struktury te składają się z napiętych cięgien, które nie mają sztywności na ściskanie i z zastrzałów. Wszystkie elementy są prostoliniowe i są porównywalnej długości. Specyfika tensegrity polega na tym, że występujące w nich stany samonapężenia stabilizują istniejące mechanizmy infinitezimalne. Drugą istotną cechą tych systemów dotyczy wielkości przemieszczeń, które mogą być duże, nawet jeśli odkształcenia są małe. Do opisu zachowania struktur tensegrity przyjąłam model geometrycznie nieliniowy, w którym występują duże gradienty przemieszczeń, ale małe gradienty odkształceń. Z uwagi na specyfikę konstrukcji tensegrity, dodatkowo uwzględniłam warunek początkowych naprężeń, związanych z wprowadzeniem stanu samonapężenia. Jako podstawę do sformułowania równań kratownic tensegrity przyjąłam częściowo nieliniową teorię sprężystości w ujęciu *Total Lagrangian* – TL (stacjonarny opis Lagrange’a). Wyprowadziłam równania równowagi statycznej (w wersji nieprzyrostowej i przyrostowej) i dynamicznej pojedynczego elementu tensegrity oraz równania struktur tensegrity.

Przedstawiony w pracy opis wystarcza do analizy ilościowej płaskich i przestrzennych struktur kratowych, w tym struktur tensegrity, w zakresie geometrycznie nieliniowym i fizycznie liniowym.

¹² Pochyłą czcionką wyróżniłam fragmenty, które stanowią moje najważniejsze osiągnięcia.

¹³ Praca nie obejmuje zastosowań konstrukcji tensegrity w budownictwie mostowym.

Etap 2 – zidentyfikowanie stabilnych stanów samonapężenia i mechanizmów nieskończonych (analiza jakościowa).

Przed przystąpieniem do analizy ilościowej konstrukcji tensegrity konieczna jest ocena jakościowa, która pozwoli określić, czy struktura jest poprawnie zdefiniowana, czy występują w niej skończone lub nieskończone mechanizmy oraz czy możliwe jest występowanie samorównoważnych układów sił podłużnych (stanów samonapężenia). W swojej pracy, w tym celu wykorzystałam analizę spektralną macierzy kratownic, w tym rozkład macierzy wydłużeń według wartości osobliwych (singular value decomposition SVD). *Analizę jakościową przeprowadziłam w zakresie szerokiego spektrum konstrukcji. Począwszy od podstawowych płaskich i przestrzennych modułów, po skomplikowane konstrukcje stosowane w budownictwie tj. kopuły, wieże, czy płyty. W konstrukcjach zidentyfikowałam charakterystyczne cechy struktur tensegrity. Na tej podstawie dokonałam kwalifikacji do jednej z czterech grup zdefiniowanych w pracy, tj. idealne tensegrity, „czyste” tensegrity i konstrukcje o cechach tensegrity klasy 1 lub klasy 2.*

Wprowadzona przeze mnie klasyfikacja struktur tensegrity jest konsekwencją ich różnego zachowania się pod wpływem oddziaływań zewnętrznych. Zaproponowana klasyfikacja systematyzuje i w sposób precyzyjny określa struktury tensegrity, minimalizując nadużywanie tego określenia w stosunku do konstrukcji, które nimi nie są. W praktyce inżynierskiej takie usystematyzowanie ułatwia analizę i projektowanie tego typu konstrukcji.

Etap 3 – określenie wpływu stanu samonapężenia na statyczne właściwości struktur tensegrity (analiza ilościowa).

Analizę ilościową w przypadku klasycznych systemów kratownicowych można przeprowadzać przy założeniu hipotezy małych przemieszczeń, czyli przy założeniu liniowego modelu geometrycznego. Jednak w przypadku konstrukcji tensegrity takie podejście jest niewłaściwe. Niewystarczający jest również model quasi-liniowy (teoria II rzędu). Oba podejścia nie uwzględniają bowiem ważnej cechy konstrukcji tensegrity, która jest związana z usztywnianiem się struktury pod wpływem obciążenia zewnętrznego. W strukturach tensegrity obciążenie, wywołujące przemieszczenia zgodne z postacią mechanizmu nieskończonego, powoduje dodatkowe sprężenie konstrukcji – w cięgnach generują się dodatkowe siły rozciągające, a w zastrzałach – ściskające. W przypadku takich ustrojów początkowa odpowiedź nie może być wykorzystywana do określenia zachowania się konstrukcji. Wobec czego analizę należy przeprowadzać przy założeniu hipotezy dużych przemieszczeń (teoria III rzędu). Dodatkowo w przypadku struktur tensegrity analiza ilościowa jest analizą parametryczną prowadzącą do określenia wpływu poziomu wstępnego sprężenia na przemieszczenia, sztywność i nośność konstrukcji.

W celu ilustracji istotności problemu przedstawię zachowanie się najprostszej struktury zbudowanej z dwóch przegubowo połączonych elementów o długości L , o dwóch stopniach swobody $\mathbf{q} = [q_3 \ q_4]^T$ (rys. 1a). Co prawda konstrukcja ta nie jest strukturą tensegrity ponieważ nie spełnia wymogów definicji (nie występują w niej elementy ściskane – zastrzały), ale charakteryzuje się występowaniem zarówno stanu samonapężenia S (siły samonapężenia w cięgnach wynoszą $N^1 = S$, $N^2 = S$), jak i mechanizmu nieskończonego (rys. 1b). Jej zachowanie w pełni odzwierciedla zachowanie się struktur tensegrity.

Strukturę obciążałam siłą skupioną, przyłożoną w węźle 2, w kierunku pionowym (P_4). Z uwagi na symetrię konstrukcji i obciążenia przemieszczenie q_3 jest zerowe, a równowaga opisana jest równaniem postaci:

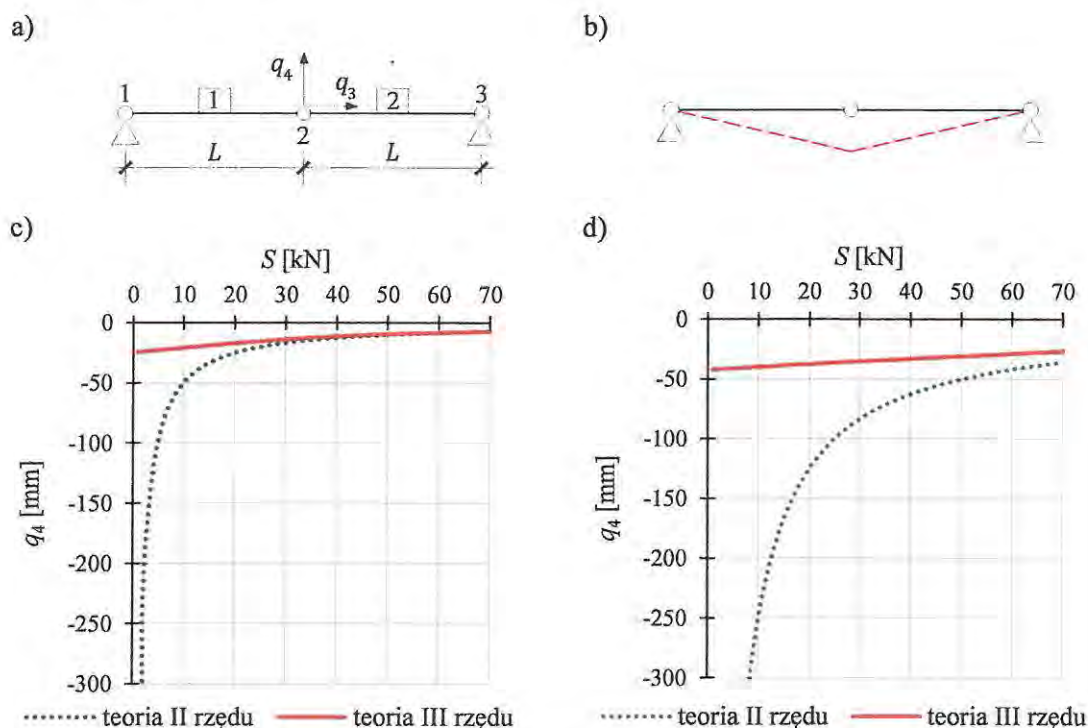
$$\left(\frac{2S}{L} + \frac{EA}{L^3}q_4^2\right)q_4 = P_4, \quad (1)$$

gdzie E jest modułem Younga, a A jest polem przekroju.

Zastosowanie teorii nieliniowej uwzględnia usztywnienie struktury pod wpływem obciążenia zewnętrznego, które wywołuje przemieszczenia zgodne z mechanizmem infitezymalnym $\left(\frac{EA}{L^3}q_4^3\right)$. W przypadku pominięcia tego wpływu rozwiązanie równania (1) prowadzi do zależności:

$$q_4 = \frac{P_4 L}{2S}, \quad (2)$$

z której wynika, że w przypadku braku wstępnego sprężenia ($S = 0$) przemieszczenie q_4 rośnie do nieskończoności.



Rys. 1. a) Struktura dwuelementowa, b) mechanizm infitezymalny; wpływ wstępnego sprężenia S na przemieszczenie q_4 : c) $P_4^1 = -1$ kN, d) $P_4^2 = -5$ kN

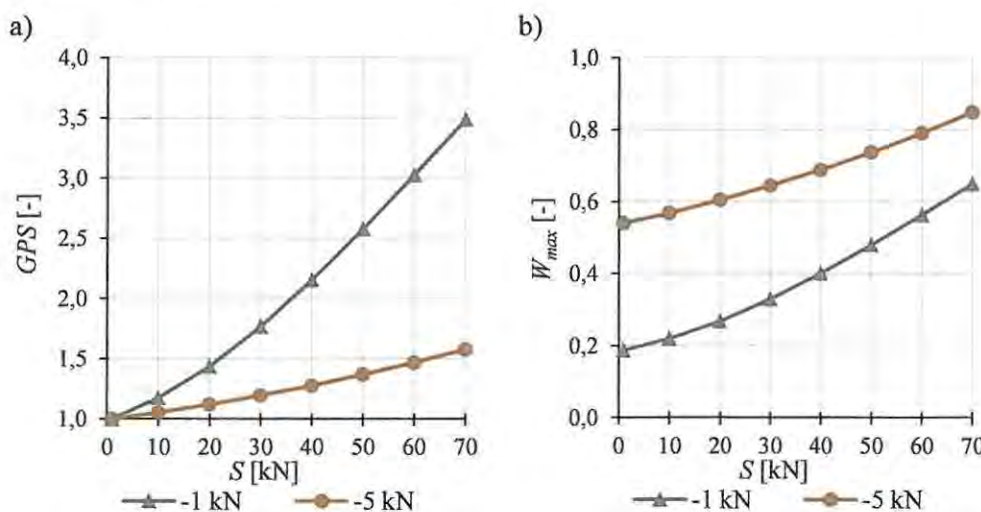
Na rysunkach 1c i 1d przedstawiłam wpływ wstępnego sprężenia S na przemieszczenie q_4 . Rozpatrzyłam dwa przypadki obciążenia $P_4^1 = -1$ kN (rys. 1c) i $P_4^2 = -5$ kN (rys. 1d). Przyjęłam, że cięgna o długości $L = 1$ m i średnicy $\phi = 20$ mm wykonane są ze stali S460N. Przy wprowadzaniu sił wstępnego sprężania nie przekroczyłam 85% nośności $N_{Rd} = 110,2$ kN (85% $N_{Rd} = 93,7$ kN). Sztywność rozważanej struktury zależy nie tylko od geometrii i właściwości materiałowych, ale również od poziomu stanu samonapężenia S , który stabilizuje występujące mechanizmy infitezymalne, oraz od obciążenia zewnętrznego P_4^i . W miarę zwiększania się wartości sił sprężających, różnice pomiędzy obliczeniami wykonanymi według teorii II i III rzędu, stają się coraz mniejsze. Oznacza to, że wpływ nieliniowości jest najbardziej znaczący przy małych wartościach sił wstępnego sprężania. Przy czym, przy mniejszym obciążeniu większy wpływ na całkowitą sztywność struktury

mają siły samonapężenia – różnice pomiędzy obliczeniami wykonanymi według teorii II i III rzędu przy sile $P_4^1 = -1$ kN są mniejsze niż przy sile $P_4^2 = -5$ kN.

W przedstawionej przeze mnie strukturze występuje tylko jedno niezerowe przemieszczenie, wobec czego ocena zachowania się tego przemieszczenia (ocena lokalna) jest zarazem oceną zachowania się całej konstrukcji (ocena globalna). W przypadku konstrukcji o wielu stopniach swobody, z przyczyn obiektywnych, nie jest możliwe prześledzenie wszystkich przemieszczeń. Wobec czego zasadnym wydaje się wprowadzenie parametru, który w sposób miarodajny określi wpływ stanu samonapężenia na całkowitą sztywność struktury przy zadanym obciążeniu. W literaturze dotyczącej struktur tensegrity nie znalazłam jednak żadnego parametru charakteryzującego zmianę sztywności, wobec czego w pracy zaproponowałam tzw. globalny parametr sztywności (GPS). Parametr GPS wyraża stosunek dwóch energii odkształcenia, mierzonej odpowiednio przy minimalnym oraz przy i -tym poziomie stanu samonapężenia

$$GPS = \frac{[\mathbf{q}(S_{min})]^T \mathbf{K}_S(S_{min}) \mathbf{q}(S_{min})}{[\mathbf{q}(S_i)]^T \mathbf{K}_S(S_i) \mathbf{q}(S_i)}, \quad (3)$$

gdzie $\mathbf{K}_S(S_{min})$ i $\mathbf{q}(S_{min})$ są odpowiednio sieczną macierzą sztywności i wektorem przemieszczeń konstrukcji przy minimalnym poziomie stanu samonapężenia, natomiast $\mathbf{K}_S(S_i)$ i $\mathbf{q}(S_i)$ – przy i -tym poziomie stanu samonapężenia.



Rys. 2. Wpływ wstępnego sprężenia S na: a) globalny parametr sztywności GPS , b) wyężenie struktury W_{max}

W przypadku analizowanej struktury, charakter zmian parametru GPS przedstawiłam na rysunku 2a. Przy maksymalnym stanie samonapężenia w przypadku obciążenia P_4^1 parametr GPS jest 2,2 razy większy niż w przypadku obciążenia P_4^2 . To potwierdza wcześniejsze wnioski, że przy mniejszym obciążeniu siły samonapężenia mają większy wpływ na całkowitą sztywność struktury. Oczywistym jest również fakt, że siły wstępnego sprężenia wpływają na siły normalne N , a tym samym na wyężenie elementów $W_{max} = N/N_{Rd}$. Wobec czego, oprócz globalnego parametru sztywności, dodatkowo śledziłam zmianę wyężenia w zależności od poziomu stanu samonapężenia (rys. 2b). Tak jak w przypadku sztywności, tak i w przypadku wyężenia, wpływ sił samonapężenia maleje ze wzrostem obciążenia.

Bardzo istotnym aspektem przeprowadzonych przeze mnie analiz było określenie zakresu sprężania, który jest cechą indywidualną konstrukcji. Wartość minimalnego poziomu stanu samonapężenia uwarunkowana jest właściwym rozkładem sił normalnych w elementach konstrukcji, tzn. wciągach muszą występować siły rozciągające, a w zastrzałach –

ściskające. W niektórych przypadkach obciążenie zewnętrzne powoduje inny rozkład sił normalnych, który jest korygowany dopiero przez wprowadzenie odpowiedniego poziomu sił samonapężenia. Z kolei wartość maksymalnego poziomu stanu samonapężenia zależy od nośności najbardziej wyczerpanych elementów.

W pracy przeprowadziłam ocenę ilościową, obejmującą obliczenia odpowiedzi konstrukcji na działanie obciążeń statycznych, stosując analizę nieliniową (teoria III rzędu) i quasi-liniową (teoria II rzędu). Siły normalne w elementach określałam w funkcji sił wstępnego sprężenia S : $N^j = y_{ij} \cdot S$ (y_{ij} – składowe wektora stanu samonapężenia wyznaczonego w analizie jakościowej). W celu uzasadnienia celowości wprowadzonych przeze mnie definicji struktur tensegrity, w rozważaniach uwzględniłam wybrane konstrukcje reprezentujące trzy grupy:

- idealne i „czyste” tensegrity,
- konstrukcje o cechach tensegrity klasy 1,
- konstrukcje o cechach tensegrity klasy 2.

Udowodniłam, że sztywność idealnych i „czystych” struktur tensegrity oraz struktur o cechach tensegrity klasy 1 (struktury, w których zidentyfikowane są mechanizmy), zależy nie tylko od geometrii i właściwości materiałowych, ale również od poziomu stanu samonapężenia i od obciążenia zewnętrznego. Należy tu jednak podkreślić, że wpływ samorównoważnych układów sił na stabilizację konstrukcji można wykazać tylko przy obciążeniu, które wywołuje przemieszczenia zgodne z mechanizmem infinitezymalnym. W pozostałych przypadkach przemieszczenia są niewrażliwe na zmiany poziomu samonapężenia. Przeprowadzone analizy wykazały, że wpływ stanu samonapężenia na całkowitą sztywność struktury, jest większy przy mniejszym obciążeniu oraz, że wpływ obciążenia jest najbardziej znaczący przy małych wartościach sił wstępnego sprężenia.

Sterowanie sztywnością jest możliwe tylko w przypadku konstrukcji charakteryzujących się występowaniem mechanizmu infinitezymalnego. Istnienie stanu samonapężenia w strukturach o cechach tensegrity klasy 2 (struktury, w których nie identyfikowane są mechanizmy) pozwala na ich sprężenie, jednak są one niewrażliwe na zmiany poziomu sił. Analizy tych konstrukcji można przeprowadzać stosując quasi-liniowy model geometryczny.

Etap 4 – określenie wpływu stanu samonapężenia na dynamiczne właściwości struktur tensegrity.

Modyfikacja poziomu stanu samonapężenia w strukturach tensegrity pozwala również na sterowanie ich właściwościami dynamicznymi. Odpowiedź dynamiczna tych konstrukcji może być badana z wykorzystaniem analizy modalnej:

$$(\mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma(S) - \omega^2 \mathbf{M})\tilde{\mathbf{q}} = \mathbf{0}, \quad (4)$$

gdzie \mathbf{K}_L jest macierzą sztywności liniowej, $\mathbf{K}_\sigma(S)$ jest macierzą wstępnych naprężeń (macierzą sztywności geometrycznej), która uwzględnia wpływ stanów samonapężenia S , \mathbf{M} jest konsekwentną macierzą mas, $\tilde{\mathbf{q}}$ jest amplitudą, a ω jest częstością drgań własnych.

W poprawnie podpartej konstrukcji tensegrity pominięcie w równaniu (4) wpływu wstępnego sprężenia ($\mathbf{K}_\sigma(S) = 0$) prowadzi do otrzymania zerowych częstości drgań własnych. Tym zerowym wartościom odpowiadają postacie drgań realizujące mechanizm. Jeżeli mechanizm jest infinitezymalny, to wszystkie rozwiązania równania własnego z uwzględnieniem stanów samonapężenia są dodatnie. Jeśli wartość własna w dalszym ciągu pozostaje zerowa, oznacza to, że odpowiadający jej mechanizm nie jest infinitezymalny.

Wpływ stanu samonapężenia na własności dynamiczne zilustruję na przykładzie omawianej wcześniej struktury dwuelementowej (rys. 1a). Układ równań (4) w tym przypadku ma postać:

$$\left\{ \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \frac{S}{L} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} - \frac{\omega^2 \rho AL}{6} \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 4 \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

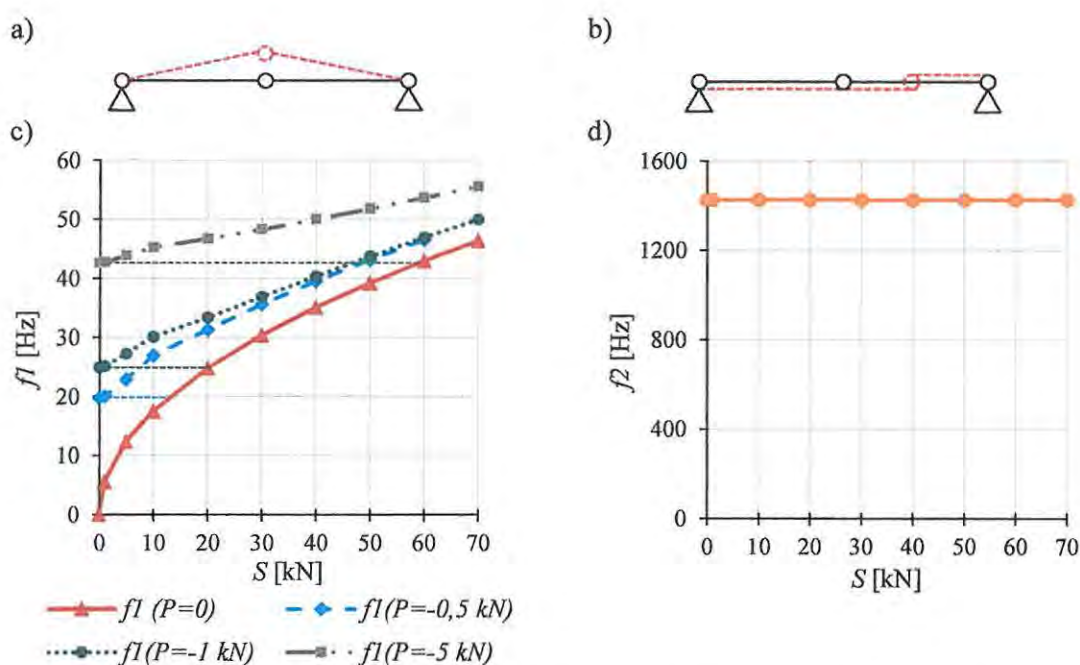
gdzie ρ jest gęstością materiału.

Nietrywialne rozwiązanie układu (5) prowadzi do wyznaczenia częstości drgań własnych:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{3S}{\rho AL^2}}, \quad \omega_2 = \sqrt{\frac{3(EA + S)}{\rho AL^2}} \quad (6)$$

i odpowiadających im postaci drgań:

$$\tilde{\mathbf{q}}(\omega_1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{q}}(\omega_2) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$



Rys. 3. Postaci drgań: a) pierwsza, b) druga; wpływ wstępnego sprężenia S na częstotliwość drgań: c) f_1 , d) f_2

Pierwsza częstość drgań własnych (6)₁ jest silnie zależna od stanu samonapężenia:

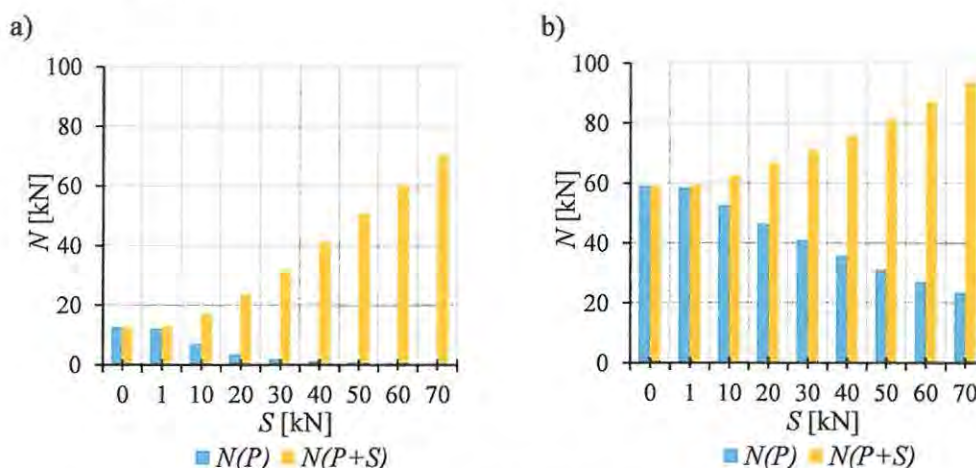
- jeżeli stan samonapężenia nie zostanie uwzględniony ($S = 0$) częstość jest zerowa i odpowiada mechanizmowi infitezyrnalnemu (rys. 3a), którego postać opisuje wektor (7)₁,
- jeżeli do elementów będą wprowadzone siły rozciągające ($S > 0$) częstość rośnie proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego amplitudy stanu wstępnego sprężenia,
- jeżeli do elementów będą wprowadzone siły ściskające ($S < 0$) częstość jest liczbą urojoną, co oznacza niestabilność struktury.

W przypadku drugiej częstości drgań własnych $(6)_2$ wpływ stanu samonapężenia S jest pomijalnie mały, gdyż przy spełnieniu warunku nośności, wartości sił wstępnego sprężenia S są dużo mniejsze od sztywności podłużnej ($S \ll EA$). Drugą postać drgań (rys. 3b) opisuje wektor $(7)_2$.

Wpływ wstępnego sprężenia S na częstości drgań własnych $f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$ przedstawiłam odpowiednio na rysunku 3c – przypadek $f_1(P=0)$ i rysunku 3d. Wartość pierwszej częstości zmienia się od 0 do 44,6 Hz, natomiast druga częstość jest praktycznie niewrażliwa na zmianę poziomu sprężenia – przy $S=0$ wynosi 1424,9 Hz, a przy $S_{max} = 70$ kN – 1425,6 Hz.

Przeprowadzona przeze mnie analiza statyczna struktur tensegrity, wykazała dużą wrażliwość konstrukcji tensegrity nie tylko na poziom stanu samonapężenia S , ale również na oddziaływanie obciążenia zewnętrznego. Udowodniłam, że obciążenie, wywołujące przemieszczenia zgodne z postacią mechanizmu infinitezimalnego, działa podobnie do samonapężenia, powodując dodatkowe sprężenie ustroju. W związku z tym przeanalizowałam również wpływ niezależnego od czasu obciążenia zewnętrznego P na częstość drgań $f(P)$. Obciążenie potraktowałam jako początkowe zaburzenie stanu równowagi, a więc jako nałożenie warunków początkowych. Obliczenia wykonałam stosując analizę nieliniową.

Na rysunku 3c przedstawiłam wpływ wstępnego sprężenia S na pierwszą częstość drgań swobodnych struktury obciążonej siłą o stałej wartości $f(P)$. Rozpatrzyłam trzy przypadki obciążenia siłą skupioną przyłożoną w węźle 2 w kierunku pionowym $P = -0,5$ kN, $P = -1$ kN i $P = -5$ kN. Obciążenie zewnętrzne spręża konstrukcję – w cięgnach generują się dodatkowe siły rozciągające i początkowa dynamiczna odpowiedź struktury (przy $S=0$) odpowiada wartościom częstości drgań własnych przy następujących poziomach sił: $N(P = -0,5$ kN) = 12,72 kN, $N(P = -1$ kN) = 20,20 kN, $N(P = -5$ kN) = 59,12 kN.



Rys. 4. Siły normalne w cięgnie struktury dwuelementowej: a) $P = -0,5$ kN, b) $P = -5$ kN

Po wprowadzeniu stanu samonapężenia siły normalne od obciążenia zewnętrznego sukcesywnie maleją i tym samym maleje jego wpływ na częstość drgań swobodnych. Przykładowo, na rysunku 4 przedstawiłam zmianę wartości sił normalnych w cięgnie powstających od obciążeń $N(P)$ i sił normalnych generowanych w sumie przez obciążenie i siły sprężenia $N(P+S)$.

Przeprowadzona analiza wykazała, że wpływ stanu samonapężenia na pierwszą częstość drgań wraz ze wzrostem wartości obciążenia maleje. Druga częstość drgań

jest niewrażliwa zarówno na zmianę poziomu sprężenia, jak i na oddziaływanie obciążeń zewnętrznych.

W pracy przeprowadziłam ocenę ilościową, obejmującą obliczenia dynamicznej odpowiedzi wybranych konstrukcji, reprezentujących, tak jak w przypadku analizy statycznej, trzy grupy struktur tensegrity. Analizowałam wpływ wstępnego sprężenia S na drgania własne $f(P = 0)$ oraz na drgania swobodne struktur obciążonych siłą o stałej wartości $f(P)$. Udowodniłam, że liczba częstotliwości drgań własnych, które są zależne od wstępnego sprężenia, równa jest liczbie mechanizmów infinitezymalnych. Przy braku sprężenia częstotliwości te są zerowe, a odpowiadające im postacie drgań realizują mechanizmy. Po wprowadzeniu stanu samonapężenia częstotliwości wzrastają proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego tego stanu. Wrażliwość tych częstotliwości drgań własnych na stan samonapężenia jest na tyle duża, że zmiana poziomu wstępnego sprężenia może być z powodzeniem stosowana do sterowania właściwościami dynamicznymi konstrukcji. Pozostałe częstotliwości są praktycznie niewrażliwe na zmianę poziomu stanu samonapężenia. *W przypadku zidentyfikowania kilku mechanizmów, bardziej wrażliwe na zmianę wstępnego sprężenia są wyższe częstotliwości.*

Na odpowiedź dynamiczną struktury tensegrity ma również wpływ obciążenie zewnętrzne, które powoduje dodatkowe sprężenie ustroju. Wpływ obciążeń, tak jak w analizie statycznej, jest większy przy mniejszym poziomie stanu samonapężenia.

Przeprowadzone przeze mnie analizy wykazały, że sterowanie parametrami dynamicznymi, tak jak i statycznymi, jest możliwe tylko w przypadku konstrukcji charakteryzujących się występowaniem mechanizmu infinitezymalnego (idealne i „czyste” tensegrity oraz struktury o cechach tensegrity klasy 1). W literaturze mianem tensegrity nazywane są również konstrukcje, w których nie występuje mechanizm. W pracy takie konstrukcje nazwałam strukturami o cechach tensegrity klasy 2 – struktury te są niewrażliwe na poziom stanu samonapężenia.

Etap 5 – badanie zachowania się konstrukcji pod wpływem oddziaływania obciążeń zewnętrznych zmieniających się w czasie.

Analiza konstrukcji poddanych oddziaływaniu obciążeń periodycznych prowadzi do wyznaczenia obszarów niestateczności dynamicznej (rezonansu parametrycznego). W pracy przeprowadziłam analizę stateczności dynamicznej struktur tensegrity poddanych oddziaływaniu obciążeń zmieniających się w czasie w sposób harmoniczny:

$$P(t) = P + P_t \cos(\theta t); \quad \theta = \frac{2\pi}{T}, \quad (8)$$

gdzie P jest stałą częścią obciążenia, P_t jest amplitudą siły wymuszającej, a θ jest częstością drgań wymuszenia.

Wyznaczyłam granice głównego (pierwszego) obszaru niestateczności na płaszczyźnie parametrów:

$$v = \frac{P_t}{P}, \quad \eta = \frac{\theta}{2\pi}, \quad (9)$$

gdzie v jest współczynnikiem pulsacji (wzbudzenia), a η jest rezonansową częstotliwością drgań obciążenia zewnętrznego.

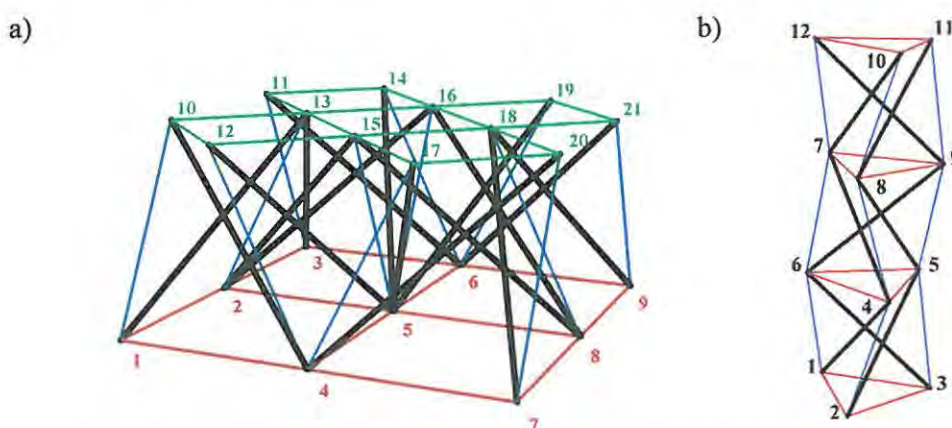
Głównym celem analizy było określenie wpływu wstępnego sprężenia S na rozkład i zakres obszarów rezonansu parametrycznego. *Do oceny ilościowej wprowadziłam parametr*

λ , który wyraża stosunek pola obszaru niestatecznego przy i -tym poziomie stanu samonaprężenia $P_\eta(S_i)$ do pola obszaru niestatecznego przy minimalnym poziomie stanu samonaprężenia $P_\eta(S_{min})$:

$$\lambda = \frac{P_\eta(S_i)}{P_\eta(S_{min})}. \quad (10)$$

Parametr (10) w sposób miarodajny określa zmianę powierzchni obszaru niestateczności, a tym samym wpływ poziomu wstępnego sprężenia.

Analizę stateczności dynamicznej przeprowadziłam na przykładzie wybranych, jakościowo różnych konstrukcji, których zachowanie zależy od poziomu stanu samonaprężenia. W celu ilustracji zagadnienia, przedstawię zachowanie się dwóch z nich, tj. płyty Quartex swobodnie podpartej w płaszczyźnie dolnej na czterech krawędziach (rys. 5a) oraz wieży Simplex (rys. 5b). Obie konstrukcje są strukturami o cechach tensegrity klasy 1, przy czym w płycie został zidentyfikowany jeden mechanizm initezydalny, natomiast w wieży – trzy.

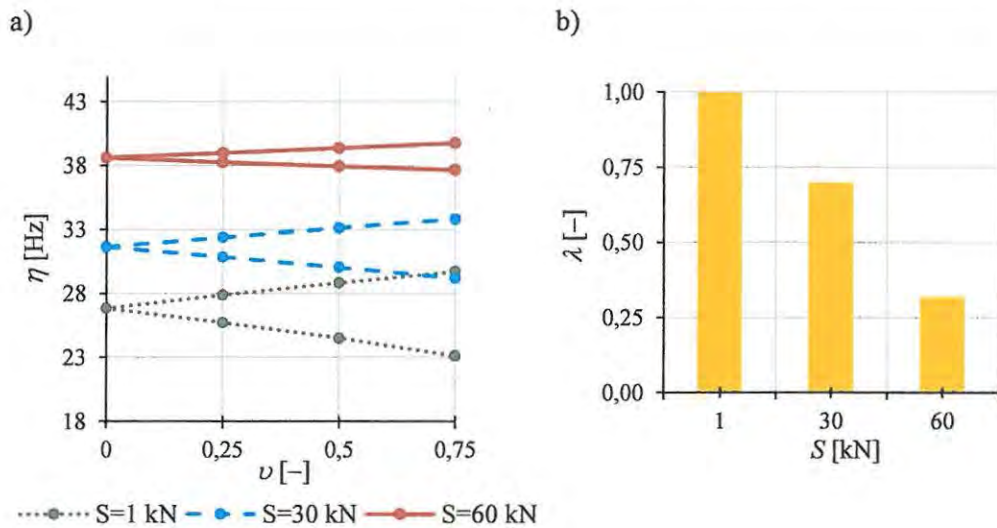


Rys. 5. Analizowane struktury o cechach tensegrity klasy 1: a) płyta Quartex, b) wieża Simplex

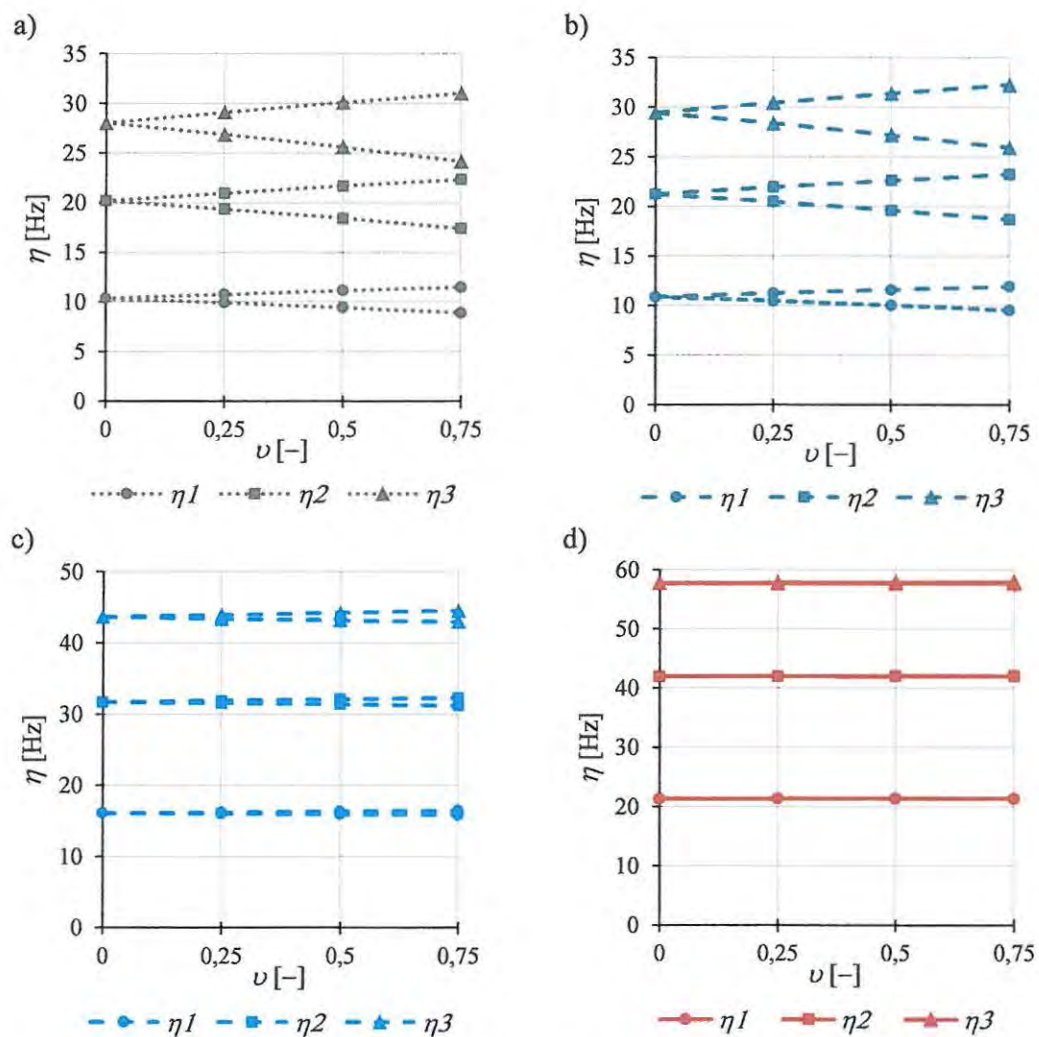
Płytę obciążałam czterema siłami zmiennymi w czasie w sposób harmoniczny (8), przyłożonymi w węzłach: 13, 15, 16 i 18 w kierunku pionowym. Przyjęłam stałą wartość obciążenia na poziomie $P = -10$ kN. Granice głównego obszaru rezonansu parametrycznego, w zależności od poziomu wstępnego sprężenia S , przedstawiłam na rysunku 6a.

Wraz ze wzrostem S częstotliwości rezonansowe rosną, a zakres obszarów niestateczności zmniejsza się (rys. 6b). Przy maksymalnym poziomie stanu samonaprężenia parametr λ wynosi $\lambda = 0,32$, co oznacza, że obszar niestateczny jest o 68 % mniejszy od obszaru przy minimalnym poziomie stanu samonaprężenia $S_{min} = 1$ kN. Jednak, pomimo zmniejszenia powierzchni obszaru, w dalszym ciągu istnieje możliwość wzbudzenia ruchu niestabilnego.

Wieżę obciążałam siłą przyłożoną w węzle 10 w kierunku pionowym. Przyjęłam stałą wartość obciążenia na poziomie $P = -10$ kN. Granice głównego obszaru rezonansu parametrycznego, w zależności od poziomu wstępnego sprężenia S , przedstawiłam na rysunku 7. Z uwagi na to, że struktura cechuje się trzema mechanizmami initezydalnymi wyznaczone są trzy główne obszary niestateczności, odpowiadające trzem rezonansom częstotliwości obciążenia: η_1 , η_2 i η_3 . Przy czym, powierzchnia obszarów niestatecznych jest większa przy wyższych częstotliwościach.

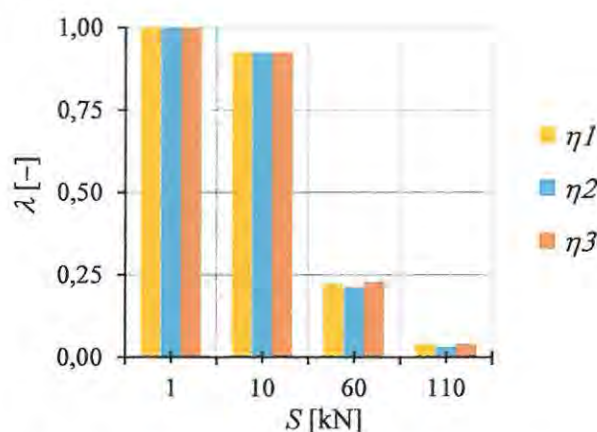


Rys. 6. a) Granice głównego obszaru niestateczności płyty Quartex, b) wpływ stanu samonapężenia S na zakres obszaru niestateczności



Rys. 7. Granice głównego obszaru niestateczności wieży Simplex 3: a) $S = 1 \text{ kN}$, b) $S = 10 \text{ kN}$, c) $S = 60 \text{ kN}$, d) $S = 110 \text{ kN}$,

Tak jak w poprzednim przykładzie, wraz ze wzrostem poziomu samonapężenia S częstotliwości rezonansowe rosną, a zakres obszarów niestateczności się zmniejsza. Przy czym zmiana zakresu obszarów we wszystkich trzech przypadkach jest porównywalna (rys. 8). Przy małych wartościach sił wstępnego sprężenia zakres trzech głównych obszarów niestateczności zmienia się w niewielkim stopniu, np. przy $S = 10$ kN parametr λ wynosi $\lambda = 0,93$, co oznacza że obszary niestateczne są tylko o 7 % mniejsze od obszarów przy minimalnym poziomie stanu samonapężenia $S_{min} = 1$ kN. Jednakże, dalsze sprężanie konstrukcji znacząco zawęża obszary niestateczności – przy $S = 60$ kN parametr λ wynosi ok. $\lambda = 0,2$ (obszary zmniejszają się o 80 %), a przy maksymalnym poziomie – $\lambda = 0,04$ (obszar zmniejsza się o 96 %), co oznacza, że granice niestateczności praktycznie się pokrywają. Przy dużych wartościach wstępnego sprężenia zmniejsza się zatem ryzyko wzbudzenia ruchu o rosnących w czasie amplitudach.



Rys. 8. Wpływ stanu samonapężenia S na zakres obszaru niestateczności

Jak wykazałam w rozważaniach prowadzonych w etapie 3 i 4, w przypadku struktur charakteryzujących się występowaniem mechanizmu infinitezimalnego (idealne tensegrity, „czyste” tensegrity oraz struktury o cechach tensegrity klasy 1) modyfikacja poziomu stanu samonapężenia pozwala na sterowanie ich parametrami statycznymi i dynamicznymi. Jest to duża zaleta tych konstrukcji. Nie mniej jednak, w przypadku oddziaływania obciążeń zmieniających się w czasie, może w tych konstrukcjach nastąpić wzbudzenie ruchu o rosnących amplitudach.

Przeprowadzona analiza stateczności dynamicznej wykazała, że w przypadku struktur tensegrity powierzchnia głównych obszarów niestateczności jest ściśle związana ze stanem samonapężenia. Liczba głównych obszarów niestateczności zależy bowiem od liczby mechanizmów, czyli od liczby częstotliwości drgań własnych zależnych od tego stanu. Natomiast zakres obszarów jest ściśle związany z poziomem wstępnego sprężenia – największa powierzchnia jest przy minimalnym poziomie, a wraz z jego wzrostem zakres obszarów niestateczności się zmniejsza. Oznacza to, że ryzyko wzbudzenia drgań niestabilnych jest dużo większe przy niskim poziomie stanu samonapężenia. W strukturach, które charakteryzują się porównywalnym wyteżeniem zastrzałów i cięgien, przy maksymalnym poziomie samonapężenia granice obszarów niestateczności pokrywają się, czyli w znacznym stopniu zmniejsza się ryzyko wzbudzenia ruchu o rosnących w czasie amplitudach.

Otrzymane z analizy stateczności dynamicznej wyniki są potwierdzeniem wniosków otrzymanych z analiz statycznych i dynamicznych – wpływ obciążenia na zachowanie się struktur tensegrity jest najbardziej znaczący przy małych wartościach sił wstępnego sprężenia.

Ocenę jakościową i ilościową, obejmującą obliczenia odpowiedzi konstrukcji na działanie obciążeń statycznych i dynamicznych, wykonałam stosując samodzielnie opracowane procedury obliczeniowe bez wykorzystania programów komercyjnych. Procedury te były konieczne do opracowania w zakresie analizy jakościowej oraz w zakresie stateczności dynamicznej, a wykorzystanie ich w pozostałych zagadnieniach podyktowane było dwoma czynnikami. Po pierwsze zachowaniem spójności pracy, a po drugie możliwościami istniejących programów komputerowych. Należy tu zwrócić uwagę, że zagadnienia związane z tego typu strukturami są znacznie bardziej złożone niż w przypadku typowych ustrojów prętowo-ciężnowych. Z uwagi na to, że struktury tensegrity bez uwzględnienia stanu samonapężenia są konstrukcjami zmiennymi geometrycznie, ich analiza z zastosowaniem komercyjnych programów jest niemożliwa. Jak również, uwzględnienie wstępnego sprężenia jest możliwe tylko na zasadzie wprowadzenia odpowiedniego obciążenia osiowego wszystkich elementów – przy czym najpierw należy zidentyfikować w konstrukcji stan samonapężenia. Wykorzystanie w pracy zdefiniowanego wstępnie sprężonego elementu tensegrity i zaimplementowanie go do procedury obliczeniowej, obejmującej analizę geometrycznie nieliniowych układów prętowych, umożliwiło mi pełną analizę, przy dowolnym poziomie samonapężenia. Zaproponowana w pracy procedura oparta jest na metodzie elementów skończonych. Moduł obliczeniowy został napisany w środowisku Mathematica, które pozwoliło na uproszczenie operacji poprzez wykorzystanie zaimplementowanych tam funkcji i komend. Rozwiązanie algebraicznego układu równań nieliniowych wykonano implementując we wspomnianym środowisku metodę Newtona-Raphsona. Program umożliwia dowolne definiowanie geometrii konstrukcji, parametrów materiałowych i obciążeń, a następnie identyfikację stanu samonapężenia i śledzenie zachowania się wybranych statycznych, geometrycznych i dynamicznych parametrów w funkcji tego stanu.

EWENTUALNE WYKORZYSTANIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW – WKŁAD W ROZWÓJ DYSCYPLINY NAUKOWEJ

Biorąc pod uwagę wzrost zainteresowania zastosowaniem struktur tensegrity w budownictwie, podjęta przeze mnie tematyka wydaje się być istotna. Praca stanowi zwarte i spójne opracowanie, umożliwiające zrozumienie zachowania się tych nietypowych rozwiązań pod wpływem stałych i zmiennych w czasie obciążeń zewnętrznych. Ponadto, w swojej pracy wykazałam, że w przypadku struktur tensegrity, obciążenia okresowo zmieniające się w czasie, mogą wzbudzić drgania niestabilne. Zwłaszcza przy niskim poziomie stanu samonapężenia obszar niestateczności obejmuje duży zakres zmienności parametrów obciążenia.

Zaproponowany w pracy nieliniowy w zakresie geometrycznym model jest wystarczający do analizy jakościowej i ilościowej zarówno płaskich, jak i przestrzennych struktur tensegrity. W konsekwencji możliwe jest projektowanie tych struktur z wykorzystaniem ich unikalnych i wyjątkowych właściwości, umożliwiających sterowanie parametrami statycznymi i dynamicznymi. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane m.in. w procesie projektowania standardowych konstrukcji budowlanych typu tensegrity, tj. kopuły, wieże czy płyty. Należy tu podkreślić, że projektowanie konstrukcji tensegrity, w których możliwe jest to sterowanie, stanowi wyzwanie w zakresie oprogramowania. Wykorzystanie komercyjnych programów, z uwagi na geometryczną zmienność tych konstrukcji, jest bowiem niemożliwe.

Ponadto, zrozumienie zachowania struktur tensegrity umożliwia również zastosowanie ich w aplikacjach niestandardowych. Idea tensegrity może być wykorzystana w projektowaniu konstrukcji składalnych i w budownictwie inteligentnym do projektowania struktur charakteryzujących się takimi cechami jak: samo-sterowanie, samo-diagnoza, samo-naprawa i aktywna kontrola. Nowe i przyszłe potencjalne zastosowania tej koncepcji to, inspirowane tensegrity, metamateriały o wyjątkowych właściwościach mechanicznych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Jestem absolwentką Wydziału Budownictwa Lądowego (obecnie Wydział Budownictwa i Architektury) Politechniki Świętokrzyskiej. Studia na kierunku budownictwo, specjalność konstrukcje budowlane, ukończyłam w 1998 roku, uzyskując tytuł zawodowy magistra inżyniera. Po ukończeniu studiów, przez rok, pracowałam jako kosztorysant w firmie budowlanej „KOŁDICO” oraz jako projektant w firmie budowlanej „MZM Budownictwo Mieszkaniowe”. Początki mojej działalności naukowo-badawczej to koniec roku 1999. W październiku 1999 roku podjęłam pracę jako asystent w Katedrze Mechaniki Budowli Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej. W Katedrze tej (obecnie Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych) pracuję po dzień dzisiejszy.

5.1. Działalność prowadzona przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

W pierwszym okresie mojej pracy naukowo-badawczej zajmowałam się zagadnieniami stateczności i dynamiki płaskich ustrojów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej i bezwładności obrotowej masy równomiernie rozłożonej. W ramach prowadzonych badań byłam kierownikiem dwóch samodzielnych prac badawczych:

- Praca badawcza 2.43/8.65 pt. „*Analiza stateczności dynamicznej płaskich ustrojów prętowych z uwzględnieniem odkształceń postaciowych*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2000-2002.
- Praca badawcza 2.43/8.72 pt. „*Jakościowe badanie drgań parametrycznych pręta z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002-2004.

Na dokończenie badań uzyskałam Grant Naukowy Rektora pt. „*Drgania, stateczność i rezonans parametryczny układów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2004-2005.

Wyniki prowadzonych badań prezentowałam na konferencjach doktoranckich, a końcowym efektem było przygotowanie i obrona, w lutym 2005 roku, pracy doktorskiej pt. „*Drgania, stateczność i rezonans parametryczny układów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*”. Przedstawiona przeze mnie praca została wyróżniona, decyzją Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, oraz nagrodzona indywidualną nagrodą Rektora Politechniki Świętokrzyskiej. Tematyka dysertacji obejmowała rozważania teoretyczne, przy czym do najważniejszych moim zdaniem osiągnięć zaliczyć można:

- wyprowadzenie wzorów transformacyjnych metody przemieszczeń w przypadku zagadnienia stateczności i dynamiki belek Timoshenki o różnych warunkach brzegowych,
- udowodnienie związku pomiędzy przybliżonym podejściem skończenie elementowym a ścisłą liniową analizą stateczności i drgań harmonicznymi w/w belek,
- wyprowadzenie równania ruchu belki Timoshenki w przypadku zmiennej w czasie dużej siły osiowej,
- zastosowanie metody małego parametru Poincarégo w badaniach stateczności dynamicznej.

5.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Moja działalność naukowa, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, jest wielowątkowa. Ta wielowątkowość wynika z mojej ciekawości, którą wzbudziły bardzo interesujące wykłady z mechaniki budowli oraz stateczności i dynamiki. Wykłady te były prowadzone przez prof. dr inż. Andrzeja Gomulińskiego. Osobowość i pasja Pana Profesora wywarły ogromny wpływ

na moje życie i na mój rozwój naukowy. Wybrałam pracę na uczelni, zamiast praktyki zawodowej, bo dzięki temu mogłam zaspokoić moją ciekawość i rozwijać swoje zainteresowania. Zainteresowania te związane są z szeroko pojętą mechaniką konstrukcji budowlanych i można je podzielić na cztery obszary.

Pierwszy obszar związany jest z kontynuowaniem zagadnień poruszanych w pracy doktorskiej, czyli z analizą stateczności, analizą drgań i z analizą stateczności dynamicznej układów prętowych. Bazując na doświadczeniach zdobytych przed doktoratem, w swoich pracach badałam wpływ odkształcalności postaciowej i bezwładności obrotowej na obciążenia krytyczne i częstości drgań. Dodatkowo badałam wpływ podatności połączeń, zmiennych przekrojów oraz niekonserwatywnych sił na statyczne i dynamiczne właściwości konstrukcji oraz badałam współpracę konstrukcji z podłożem sprężystym. Moje badania były teoretyczne, a analizy prowadziłam zarówno w zakresie geometrycznie liniowym jak i nieliniowym. Stosowałam podejście analityczne oraz przybliżone, z wykorzystaniem metody elementów skończonych zaimplementowanej w autorskich programach. W ramach prowadzonych badań brałam udział w pracy statutowej 2.17/7.01 pt.: „Wybrane zagadnienia statyki, stateczności i dynamiki układów prętowych i powierzchniowych”, realizowanej w latach 2007-2009. Wyniki prac przedstawiałam na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz publikowałam w czasopiśmie. Łączna liczba dorobku publikacyjnego z tej tematyki obejmuje 26 prac. Za najważniejsze uważam dwie publikacje – pierwsza pt. „Vibrations and stability of Bernoulli-Euler and Timoshenko beams on two-parameter elastic foundation”, opublikowana w 2014 roku w czasopiśmie *Archives of Civil Engineering* i druga pt. „Dynamic stability of moderately thick beams and frames with the use of harmonic balance and perturbation methods”, opublikowana w 2016 roku w czasopiśmie znajdującym się na liście *JCR Bulletin of The Polish Academy of Sciences*.

Ponadto, moje zainteresowania naukowe połączyłam z pasją dydaktyczną, co zaowocowało napisaniem przeze mnie podręcznika akademickiego, pt. „Metoda przemieszczeń w analizie konstrukcji prętowych”, wydanego w 2011 roku przez Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Podręcznik ten obejmuje zagadnienia dotyczące statyki, stateczności oraz dynamiki konstrukcji prętowych.

Zainteresowania tą tematyką wykorzystywałam również prowadząc wiele prac dyplomowych magisterskich, które miały charakter analityczno-obliczeniowy. Byłam również promotorem pomocniczym, obronionej 3 kwietnia 2019 roku, pracy doktorskiej Katarzyny Nowak pt. „Zjawisko pełzania w powierzchniowych konstrukcjach betonowych” oraz jestem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej Ewy Nowak pt. „Nieliniowość fizyczna i geometryczna w konstrukcjach powierzchniowych”.

Drugi obszar dotyczy struktur tensegrity. Tym tematem zajęłam się w 2014 roku, nawiązując współpracę z Profesorem Wojciechem Gilewskim z Politechniki Warszawskiej. Tematyka struktur tensegrity bardzo mnie zainteresowała, z uwagi na ich wyjątkowość. Przy czym, w odróżnieniu od większości badaczy, nie zainteresowała mnie ich strona architektoniczna i możliwość tworzenia nowych form. Zainteresowała mnie ich wyjątkowość z mechanicznego punktu widzenia. Ucząc mechaniki budowli powtarzam studentom, że konstrukcje budowlane nie mogą być geometrycznie zmiennie, a tu się okazało, że jest to duża zaleta. Dzięki temu, że w strukturach tensegrity występują mechanizmy, możemy sterować ich właściwościami statycznymi i dynamicznymi. Sterowanie odbywa się za pomocą zmiany poziomu samonapężenia, czyli samorównoważnego układu sił wewnętrznych, który jest immamentną cechą tych struktur. Projektowanie konstrukcji tensegrity stanowi jednak wyzwanie w zakresie oprogramowania. Z uwagi na geometryczną zmienność tych konstrukcji wykorzystanie komercyjnych programów jest niemożliwe. W tym zakresie moim istotnym wkładem jest zbudowanie procedury obliczeniowej w programie Mathematica, która

umożliwia przeprowadzanie analiz jakościowych i ilościowych płaskich i przestrzennych konstrukcji kratowych o dowolnej ilości elementów.

Podjęmując współpracę z Profesorem Gilewskim zostałam promotorem pomocniczym, obronionej 14 listopada 2018 roku, pracy doktorskiej Joanny Kłosowskiej pt. „Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym”. Moje prace związane były z badaniem zachowania się struktur tensegrity pod wpływem obciążeń zewnętrznych. Rozważania dotyczyły rozwiązań tensegrity stosowanych w budownictwie, za wyjątkiem zastosowań w budownictwie mostowym. Dodatkowo w swoich badaniach uwzględniałam zastosowanie modelu kontynualnego do analizy przestrzennych przekryć prętowych typu tensegrity. Model kontynualny został zaproponowany przez Profesora Gilewskiego. Ja wykorzystałam ten model do analizy ortogonalnych płyt i pasm tarczownic typu tensegrity. Rozważałam różne płaszczyzny podparcia konstrukcji, a zatem różne powierzchnie odniesienia (dolną, środkową i górną). Analizy prowadziłam z wykorzystaniem sześcioparametrowej teorii powłok. W ramach prowadzonych badań byłam kierownikiem pracy statutowej 17/7.03 pt.: „Analiza stanów granicznych konstrukcji budowlanych”, realizowanej w latach 2013-2015. Efekty prowadzonych prac były przedstawiane na konferencjach krajowych oraz publikowane w czasopiśmie. Łączna liczba dorobku publikacyjnego z tej tematyki obejmuje 15 prac. Za najważniejsze, oprócz monografii habilitacyjnej, uważam dwie prace opublikowane w 2019 roku w czasopiśmie znajdujących się na liście JCR. Pierwsza praca pt. „Truth and Myths about 2D Tensegrity Trusses” opublikowana jest w czasopiśmie *Applied Sciences-Basel*, natomiast druga pt. „Application of linear six-parameter shell theory to the analysis of orthotropic tensegrity plate-like structures” – w *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*.

W trakcie wspólnych badań zwróciłam uwagę na to, że mnogość prac dotyczących struktur tensegrity przysparza wielu problemów z określeniem jednoznacznej definicji i klasyfikacji tych konstrukcji, w szczególności w zakresie ich zachowania pod wpływem oddziaływań zewnętrznych. Dodatkowo, brak w literaturze polskiej pracy monograficznej dotyczącej mechaniki konstrukcji tensegrity nie ułatwia zrozumienia zachowania się tych nietypowych rozwiązań. Stąd zrodził się pomysł monografii pt. „Dynamika i stateczność dynamiczna struktur tensegrity”, którą przedstawiam jako moje osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym. Jej układ i charakter stanowi zwarte i spójne opracowanie dotyczące rozwiązań tensegrity stosowanych w budownictwie. Ponadto monografia obejmuje tematykę stateczności dynamicznej, którą interesuję się od początku mojej pracy naukowej. Określenie obszarów niestateczności dynamicznej struktur tensegrity jest moim oryginalnym osiągnięciem.

Trzeci obszar moich zainteresowań dotyczy niezawodności konstrukcji budowlanych. W tym zakresie, od roku 2017, współpracuję z Panią Profesor Urszulą Radoń z Politechniki Świętokrzyskiej. Jestem promotorem pomocniczym w otwartym 27 października 2017 roku przewodzie doktorskim Wojciecha Mochockiego pt. „Analiza statyczno-wytrzymałościowa wież kratowych w ujęciu probabilistycznym”. Moje badania w tym zakresie dotyczą oceny niezawodności statycznie niewyznaczalnych stalowych konstrukcji kratowych. Analiza dotyczy sformułowania stanu granicznego, obliczenia prawdopodobieństwa awarii i określenia wskaźnika niezawodności. Do oceny niezawodności konstrukcji stosuję podejście systemowe, które umożliwia zarówno określenie modeli niezawodnościowych jak i analizę niezawodności. Identyfikacja modelu niezawodnościowego systemu opiera się na badaniach transformacji z bezpiecznego systemu strukturalnego do układu o zmiennej geometrii (mechanizmu). Ten etap badania, w połączeniu z uwzględnieniem obciążeń statycznych, pozwala na określenie minimalnego krytycznego zbioru prętów odpowiadającego najbardziej prawdopodobnemu scenariuszowi uszkodzenia konstrukcji. W ramach prowadzonych badań brałam udział w pracy statutowej 02.0.04.00/2.01.01.01.0001 pt.: „Modelowanie i ocena

nośności konstrukcji budowlanych” realizowanej w latach 2016-2019. Łączna liczba dorobku publikacyjnego z tej tematyki obejmuje 5 prac. Za najważniejszą uważam pracę pt. „*Assessment of steel truss fire safety in terms of the system reliability analysis*”, opublikowaną w 2019 roku w czasopiśmie *Archives of Civil and Mechanical Engineering* znajdującym się na liście JCR.

Czwarty obszar moich zainteresowań dotyczy modelowania materiałów. W tym zakresie podjęłam próbę weryfikacji ortotropowego modelu drewna, sprawdzając warunki ograniczające na stałe techniczne. Badania prowadziłam bazując na danych dostępnych w literaturze. Mój dorobek publikacyjny w tym zakresie obejmuje 3 prace, w tym jedną pt. „*Verification of orthotropic model of wood*”, opublikowaną w czasopiśmie *Archives of Civil Engineering*. Podejmując tę tematykę myślałam, że dane literaturowe będą wystarczające do właściwego opisu modelu. Jednakże dostępne mi dane były często błędne lub niejasne, dlatego też doszłam do wniosku, że kompletna analiza wymaga przeprowadzenia badań doświadczalnych. Niestety na chwilę obecną, z racji pełnionej od 2012 roku funkcji prodziekana do spraw studenckich i dydaktyki, prowadzenie przeze mnie badań doświadczalnych jest niemożliwe. Nie wykluczone jest jednak, że w najbliższej przyszłości wrócę do tego tematu.

5.3. Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe

Jestem współautorem jednego patentu „*Element konstrukcyjny przegrody metalowo-szklanej*”, przyznanego w 2018 roku (współautor A. Szychowski).

5.4. Udział w projektach badawczych

W trakcie mojej pracy zawodowej byłam kierownikiem 4 krajowych prac badawczych i brałam udział w 2 pracach statutowych.

5.4.1. Kierownictwo pracy badawczej

1. Kierownik pracy badawczej 2.43/8.65 pt. „*Analiza stateczności dynamicznej płaskich ustrojów prętowych z uwzględnieniem odkształceń postaciowych*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2000-2002.
2. Kierownik pracy badawczej 2.43/8.72 pt. „*Jakościowe badanie drgań parametrycznych pręta z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2002-2004.
3. Kierownik Grantu Naukowego Rektora pt. „*Drgania, stateczność i rezonans parametryczny układów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2004-2005.
4. Kierownik pracy badawczej 2.17/7.03 (02.0.06.00/2.01.01.01.0008) pt.: „*Analiza stanów granicznych konstrukcji budowlanych*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2013-2015.

5.4.2. Uczestnictwo w statutowej pracy badawczej

1. Udział w pracy statutowej 2.17/7.01 pt.: „*Wybrane zagadnienia statyki, stateczności i dynamiki układów prętowych i powierzchniowych*” – realizacja dwóch podtematów: „*Analiza dynamiczna belki Timoshenki na dwuparametrowym podłożu sprężystym*” (100%), „*Ocena zbieżności MES za pomocą „patch testu”*” (50%), Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2007-2009.
2. Udział w pracy statutowej 02.0.04.00/2.01.01.01.0001 pt.: „*Modelowanie i ocena nośności konstrukcji budowlanych*”, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2016-2019.

5.5. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych

Moją działalność naukową łączę z działalnością popularyzatorską realizowaną przez aktywny udział w konferencjach krajowych i zagranicznych. Jestem autorem lub współautorem 32 referatów z czego 29 zostało wygłoszone po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Ogółem 31 z 32 referatów zostało recenzowanych i opublikowanych w materiałach konferencyjnych (po uzyskaniu stopnia naukowego doktora 28 z 29). 19 referatów wygłoszonych na konferencjach międzynarodowych oraz 13 referatów na konferencjach krajowych – szczegółowy wykaz zawarto w załączniku 5 wniosku habilitacyjnego.

5.6. Syntetyczne ujęcie osiągnięć naukowo-badawczych

Mój dorobek naukowy obejmuje **58** prac, w tym **15** samodzielnych (przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora opublikowałam **5** prac, w tym **3** samodzielnie). Z dorobku **29** publikacji zostało opracowanych w języku angielskim, a **29** w języku polskim. Najbardziej liczące się prace to **1** monografia habilitacyjna, **1** podręcznik akademicki, **1** patent oraz **4** publikacje wydane przez czasopisma znajdujące się w bazie Journal Citation Reports. Sumaryczny impact factor (IF) dla tych publikacji, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi **IF=6,596**. W moim dorobku poza listą JCR wyróżnić można **1** pracę opublikowaną w czasopiśmie wyróżnionym w WoS, **13** prac opublikowanych w czasopismach z listy B MNiSW oraz **14** prac opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazach Web of Science (WoS) i Scopus. Liczba wszystkich cytowań wynosi: **28** według bazy WoS, **35** według bazy Scopus oraz **65** według bazy Google Scholar. Indeks Hirscha opublikowanych prac wynosi: **3** według bazy WoS, **4** według bazy Scopus oraz **5** według bazy Google Scholar. Sumaryczna liczba punktów za publikacje po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, brana pod uwagę przy ocenie parametrycznej jednostki naukowej wg MNiSW, wynosi **581** punktów (po uwzględnieniu procentowego udziału – **368,11** pkt.)

W tabelach 1-4 przedstawiłam podsumowanie mojego dorobku naukowego, w tym: zestawienie dorobku naukowo-badawczego, wraz z liczbą punktów wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (tabela 1), zestawienie niepuktowanych osiągnięć naukowo-badawczych (tabela 2), liczbę cytowań publikacji i indeks Hirscha (tabela 3) oraz wykaz czasopism dla publikacji powstałych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, impact factor i liczbę punktów (tabela 4).

Szczegółowy wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej, odbytych stażach i działalności popularyzującej naukę, przedstawiłam w załączniku 5 wniosku habilitacyjnego.

Tabela 1. Sumaryczny punktowany dorobek naukowo-badawczy (wg załącznika 5 – stan na dzień 11.04.2019)

Rodzaj osiągnięcia	Liczba		Punktacja MNiSW	
	razem	po uzyskaniu stopnia doktora	razem	po uzyskaniu stopnia doktora
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	4	4	90	90
Publikacje naukowe w czasopismach wyróżnionych w WoS	1	1	15	15
Publikacje naukowe w czasopismach z listy B MNiSW	13	11	93	81
Monografie	2	2	100	100
Rozdziały w monografii				
- w języku polskim	5	5	25	25
- w języku angielskim	3	3	30	30
Materiały z konferencji międzynarodowych (zarejestrowanych w Web of Science)	8 6 ¹	8 6 ¹	120 90 ²	120 90 ²
Pozostałe recenzowane publikacje naukowe w czasopismach lub materiałach konferencyjnych	15	12	0	0
Udzielone patenty	1	1	30	30
Suma	58	53	503 593²	491 581²

¹prace opublikowane, oczekujące na uzyskanie sygnatury WoS.

²punkty uwzględniające publikacje oczekujące na uzyskanie sygnatury WoS.

Tabela 2. Zestawienie niepunktowanych osiągnięć naukowo-badawczych (wg załącznika 5 – stan na dzień 11.04.2019)

Rodzaj osiągnięcia	Liczba	
	razem	po uzyskaniu stopnia doktora
Udział w pracach badawczych w ramach działalności statutowej w charakterze:		
- kierownika	4	1
- członka zespołu	2	2
Nagrody i wyróżnienia	12	12
Członkostwo w organizacjach oraz towarzystwach naukowych	1	1
Udział w komitetach organizacyjnych konferencji	1	1
Opieka nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego:		
- prace obronione	2	2
- prace w toku	2	2
Stáže krajowe i zagraniczne	2	2
Recenzowanie artykułów	2	2
Wygłoszone referaty na konferencjach	32	29

Tabela 3. Liczba cytowań publikacji i indeks Hirscha

Nazwa bazy	Liczba cytowań	Liczba cytowań bez autocytaowań	Index Hirscha
Web of Science	28	17	3
Scopus	35	22	4
Google Scholar	65	38	5

Tabela 4. Wykaz czasopism dla publikacji powstałych po uzyskaniu stopnia doktora, impact factor i liczba punktów zgodnie z rokiem opublikowania

	Nazwa czasopisma	Rok publikacji	Liczba publikacji	Impact factor	Punktacja MNiSW
Czasopisma znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR)					
1	Journal of Theoretical and Applied Mechanics	2019	1	0,783	15 ¹
2	Archives of Civil and Mechanical Engineering	2019	1	2,763	30 ¹
3	Applied Sciences-Basel	2019	1	1,689	25 ¹
4	Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences	2016	1	1,361	20
Czasopisma wyróżnione w WoS					
5	Archives of Civil Engineering	2018	1	-	15
Czasopisma z listy B MNiSW					
6	Archives of Civil Engineering	2014	1	-	6
7	Structure and Environment	2017	1	-	9
		2014	1	-	3
8	Engineering Transactions	2016	1	-	15
9	ACTA Scientiarum Polonorum. Seria Architektura	2015	2	-	22
		2010	1	-	6
		2009	1	-	4
10	Logistyka	2014	1	-	10
11	Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska	2012	1	-	4
12	Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Informatyki	2013	1	-	2
		2007	1	-	0
Materiały z konferencji międzynarodowej (zarejestrowane w Web of Science)					
13	IOP Conference Series-Materials Science and Engineering	2019	1	-	15 ²
		2018	1	-	15
14	Engineering Mechanics	2018	1	-	15 ²
		2017	1	-	15
15	AIP Conference Proceedings	2018	1	-	15
16	MATEC Web Conference	2019	2	-	30 ²
		2018	2	-	30 ²
		2017	1	-	15
17	Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues	2016	1	-	15
18	Procedia Engineering	2016	1	-	15
		2015	2	-	30
Razem			31	6,596	306 396²

¹zgodnie z Komunikatem MNiSW z dnia 25 stycznia 2017 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznanych za publikacje naukowe w tych czasopismach, ustalonego na podstawie wykazów ogłoszonych w latach 2013-2016.

²punkty uwzględniające publikacje oczekujące na uzyskanie sygnatury WoS.

5.7. Najważniejsze osiągnięcia poza działalnością publikacyjną

5.7.1. Promotor pomocniczy przewodów doktorskich

Byłam promotorem pomocniczym w 2 przewodach doktorskich:

1. **Katarzyna Nowak** (13.09.2012-03.04.2019)
Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Zjawisko pełzania w powierzchniowych konstrukcjach betonowych*”; Promotor prof. Vladimir Sidorow, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.
2. **Joanna Kłosowska** (14.10.2015-14.11.2018)
Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Ocena możliwości wykorzystania konstrukcji tensegrity w budownictwie kubaturowym*”; Promotor prof. Wojciech Gilewski, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.

Aktualnie jestem promotorem pomocniczym w 2 przewodach doktorskich:

1. **Ewa Nowak** (od 13.09.2012)
Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Nieliniowość fizyczna i geometryczna w konstrukcjach powierzchniowych*”; Promotor prof. Vladimir Sidorow, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.
2. **Wojciech Mochocki** (od 27.09.2017)
Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Analiza statyczno-wytrzymałościowa wież kratowych w ujęciu probabilistycznym*”, Promotor prof. Urszula Radoń, Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.

5.7.2. Nagrody i wyróżnienia za działalność naukową

1. Wyróżnienie pracy doktorskiej: „*Drgania, stateczność i rezonans parametryczny układów prętowych z uwzględnieniem odkształcalności postaciowej*” (2005).
2. Nagroda Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za pracę doktorską (2005).
3. Nagrody Zespołowe Rektora Politechniki Świętokrzyskiej II stopnia za działalność organizacyjną, dydaktyczną i naukową w latach: 2008, 2010, 2011, 2012, 2014, 2017, 2018.
4. Nagroda Zespołowa Rektora Politechniki Świętokrzyskiej III stopnia za podnoszenie jakości kształcenia i działalność organizacyjną na rzecz wydziału: 2016.
5. Nagroda Rektorów Polskich Uczelni Rolniczych za pracę roku 2009 w Acta Scientiarum Polonorum „*Ocena wrażliwości siły krytycznej prętów ściskanych niekonserwatywną siłą osiową*” Architektura 8 (1-2) 2009, s. 21-30 (współautor W. Gilewski).
6. Medal Komisji Edukacji Narodowej (2013).

5.7.3. Działalność dydaktyczna

Moje zainteresowania naukowe wykorzystuję w działalności dydaktycznej, prowadząc wykłady, ćwiczenia oraz zajęcia projektowe z takich przedmiotów jak: mechanika teoretyczna, mechanika budowli, dynamika i stateczność konstrukcji, teorie sprężystości i plastyczności. Byłam również promotorem 64 prac dyplomowych inżynierskich (prace z zakresu projektowania konstrukcji metalowych) i 47 prac dyplomowych magisterskich (prace projektowe oraz analityczno-obliczeniowe). Prowadzę również seminaria dyplomowe inżynierskie. Ponadto jestem autorem podręcznika akademickiego, pt. „*Metoda przemieszczeń w analizie konstrukcji prętowych*”, wydanego w 2011 roku przez Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Podręcznik obejmuje zagadnienia dotyczące statyki, stateczności oraz dynamiki konstrukcji prętowych. Szczegółowe informacje dotyczące osiągnięć dydaktycznych przedstawiłam w załączniku 5 wniosku habilitacyjnego.

5.7.4. Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

W celu podniesienia kompetencji w zakresie projektowania konstrukcji budowlanych, w latach 2008–2009 odbywałam staż w biurze projektowym „CELER”. Umiejętności nabyte podczas pracy na stanowisku asystenta projektanta wykorzystałam w pracy naukowej. W 2016 roku, w ramach programu ERASMUS +, odbyłam również tygodniowy staż naukowo-dydaktyczny w Uniwersytecie w Żylinie. Celem stażu było nawiązanie współpracy i podniesienie moich kompetencji w zakresie działalności naukowo-dydaktycznej.

5.7.5. Udział w komitetach organizacyjnych

W lipcu 2014 roku byłam zastępcą przewodniczącego Konferencji ZK2014 Konstrukcje Metalowe. Była to dwudniowa konferencja zorganizowana przez Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej.

5.7.6. Członkostwo w krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

Od 2008 roku jestem członkiem Komitetu Nauki Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa.

5.7.7. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Recenzowałam 2 publikacje naukowe – jedną w czasopiśmie znajdującym się na liście JCR *Archives of Civil and Mechanical Engineering* i jedną w czasopiśmie z listy B MNiSW *Structure and Environment*.

5.7.8. Funkcje pełnione w uczelni

1. 01.09.2012 – nadal – prodziekan do spraw studenckich i dydaktyki na Wydziale Budownictwa i Architektury.
2. 01.03.2007 – 31.12.2011 – kierownik Zakładu Mechaniki Budowli.
3. 01.01.2012 – 30.09.2013 – po/kierownika Katedry Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych.
4. 01.11.2016 – nadal – kierownik Zakładu Mechaniki i Metod Komputerowych.
5. Sekretarz Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w latach 2005-2008.
6. Członek Komisji ds. wdrożenia Krajowych Ram Kwalifikacji w latach 2012-2013.
7. Zastępca przewodniczącego Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w latach 2012-2019.
8. Członek Senatu Politechniki Świętokrzyskiej w kadencji 2016-2020.

5.7.9. Inne ważniejsze osiągnięcia

1. Przygotowanie nagrodzonego wniosku konkursowego na dofinansowanie podstawowej jednostki organizacyjnej uczelni w zakresie wdrażania systemów poprawy jakości kształcenia oraz Krajowych Ram Kwalifikacji. Do konkursu zgłoszono program kształcenia na pierwszym stopniu kierunku budownictwo o profilu ogólnoakademickim – uzyskana kwota dofinansowania wynosiła 1 mln zł. (2012).
2. Udział w przygotowaniu dokumentacji programów kształcenia na kierunku budownictwo oraz na kierunku architektura i urbanistyka, zgodnie z założeniami Krajowych Ram Kwalifikacji (2012).
3. Przygotowanie dokumentacji dotyczącej jakości kształcenia na Wydziale Budownictwa i Architektury (2013).
4. Przygotowanie dokumentacji programu kształcenia na kierunku geologia inżynierska na studiach pierwszego stopnia o profilu ogólnoakademickim (2015).

Paulina Obara

 (podpis habilitanta)