
Jacek Szafran

e-mail: jacek.szafran@p.lodz.pl

Politechnika Łódzka

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

Zakład Niezawodności Konstrukcji

Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź

Załącznik 1

Autoreferat dotyczący osiągnięć w pracy naukowo - badawczej

Łódź, maj 2018 r.

1. **Imię i Nazwisko:** Jacek Szafran
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**

Marzec 2011: doktor inżynier

Doktorat w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo (obroniony z wyróżnieniem); tytuł rozprawy doktorskiej „Analiza stochastyczna i niezawodność stalowych konstrukcji wież telekomunikacyjnych”, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, promotor: prof. dr hab. inż. Marcin Kamiński, recenzenci: prof. dr hab. inż. Paweł Śniady i prof. dr hab. inż. Jarosław Jędrzyak.

Listopad 2005: magister inżynier

Praca magisterska w zakresie konstrukcji budowlanych i inżynierskich pt. „Analiza możliwości dociążenia wież stalowych typu Lewandowski, używanych przez operatorów telefonii komórkowej w Polsce”, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, promotor: dr inż. Jerzy Pakuła.

Inne

Grudzień 2010: Uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno – budowlanej, nr ewidencyjny uprawnień: LOD 1465/PWOK/10.

3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowo/artystycznych.**

A) zatrudnienie w jednostkach naukowych:

od 26.10.2010 do 14.04.2011: Asystent

Zakład Konstrukcji Stalowych, Katedra Mechaniki Konstrukcji, Politechnika Łódzka.

od 15.04.2011 do chwili obecnej: Adiunkt

Zakład Niezawodności Konstrukcji, Katedra Mechaniki Konstrukcji, Politechnika Łódzka.

B) zatrudnienie w przemyśle:

od 01.07.2005 do 30.06.2006: Asystent projektanta konstrukcji - Biuro Projektów Radia i Telewizji „PROTEL”, Warszawa.

od 01.08.2006 do 31.10.2007: Inżynier budowy – przedsiębiorstwo Compact-Projekt Sp. z o.o., Łódź.

od 01.11.2007 do 01.06.2011: Asystent projektanta konstrukcji - przedsiębiorstwo Compact-Projekt Sp. z o.o., Łódź.

od 01.06.2011 do chwili obecnej: Główny projektant – przedsiębiorstwo Compact-Project Sp. z o.o. Sp. K., Łódź.

4. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w 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. nr 65, poz. 595 ze zm.):

A) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

Moje osiągnięcie naukowe stanowi jednotematyczny cykl publikacji pt. **Eksperymentalna i komputerowa analiza niezawodności stalowych wież kratowych.**

B) Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego: do oceny przedstawia się jednotematyczny cykl 23 publikacji na łączną sumę 313 punktów MNiSW (Impact Factor oraz Punkty MNiSW podano z roku publikacji lub z roku bieżącego)

Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports – zgodnie z Rozporządzeniem MNiSW z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego § 3 pkt. 4a

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Impact Factor | Punkty MNiSW |
|-------------|---|-------------------|----------------------|---------------------|
| A1 | J. Szafran, An experimental investigation into failure mechanism of a full-scale 40 m high steel telecommunication tower, <i>Engineering Failure Analysis</i>, 54 (2015), 131-145, (DOI: | 100% | 1.676 | 35 |

| | | | | |
|----|--|-----|-------|----|
| | <p>10.1016/j.engfailanal.2015.04.017).</p> <p>W pracy opisano mechanizm zniszczenia, postać zniszczenia oraz deformacje plastyczne kratowej wieży telekomunikacyjnej uzyskane podczas testu niszczącego konstrukcji w skali naturalnej (wysokość 40 metrów). Zaproponowano również modyfikację wartości normowego współczynnika smukłości efektywnej.</p> | | | |
| A2 | <p>J. Szafran, K. Rykaluk, A full-scale experiment of a lattice telecommunication tower under breaking load. <i>Journal of Constructional Steel Research</i>, 120 (2016) 160-175, (DOI: 10.1016/j.jcsr.2016.01.006).</p> <p>W pracy wykazano, że niezawodność stalowej konstrukcji wieży kratowej zależy od nośności wyboczeniowej jej krawężników, przy czym ich nośność teoretyczna jest mniejsza od rzeczywistej, uzyskanej drogą eksperymentu niszczącego w skali naturalnej. Przedstawiono również porównanie szacowanego obciążenia wiatrem na konstrukcję wraz z wyposażeniem z eksperymentalną siłą niszczącą.</p> | 80% | 2.028 | 35 |
| A3 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Stochastic Finite Element Analysis and Reliability of Steel Telecommunication Towers, <i>CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences</i>. Vol. 2060, no.1, (2012) pp.1-25.</p> <p>W pracy przedstawiono analizy probabilistyczne dotyczące szacowania niezawodności stalowych wież telekomunikacyjnych przy użyciu Stochastycznej Metody Elementów Skończonych dla różnych parametrów losowych tj. modułu Younga stali konstrukcyjnej, obciążenia temperaturą, oblodzeniem i wiatrem. Analizy losowe wykorzystują rozwinięcie funkcji odpowiedzi konstrukcji w szereg Taylora dziesiątego rzędu (wartości oczekiwane) i szóstego rzędu (momenty losowe wyższych rzędów).</p> | 70% | 0.67 | 30 |

| | | | | |
|----|---|-----|-------|----|
| A4 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Least Squares Stochastic Finite Element Method in structural stability analysis of the steel skeletal structures, <i>CMES: Computer Modeling in Engineering & Sciences</i>, Vol. 107, No. 1, (2015) pp. 27-57.</p> <p>W pracy zaprezentowano sposób określania podstawowych parametrów probabilistycznych, a także wskaźników niezawodności dla sił krytycznych stalowych konstrukcji kratowych wykorzystując symulacje numeryczne oparte na Stochastycznej Metodzie Elementów Skończonych, Ważonej Metodzie Najmniejszych Kwadratów, Metodzie pół-analitycznej oraz symulacji Monte-Carlo.</p> | 70% | 0.67 | 30 |
| A5 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Random eigenvibrations of elastic structures by the response function method and the generalized stochastic perturbation technique. <i>Archives of Civil and Mechanical Engineering</i>. 9(4): (2009) 5-32, (DOI: 10.1016/S1644-9665(12)60066-1).</p> <p>W pracy określono możliwości analizy konstrukcji inżynierskich w zakresie drgań własnych przy uwzględnieniu materiałowych i geometrycznych parametrów losowych wykorzystując metodę perturbacji stochastycznej, a także tradycyjne podejście Metody Elementów Skończonych. Wykorzystano metodę funkcji odpowiedzi do obliczeń probabilistycznych momentów dowolnego rzędu i współczynników wartości własnych konstrukcji.</p> | 70% | 2.216 | 30 |
| A6 | <p>J. Szafran, M. Kamiński, From full-scale testing of steel lattice towers to stochastic reliability analysis, <i>Archives of Mechanics</i>. 69(4-5):371-388, 2017.</p> <p>W pracy opisano niezawodność konstrukcji wieżowej w kontekście losowego obciążenia wiatrem, przy czym bazą dla przeprowadzonych</p> | 75% | 1.157 | 25 |

| | | | |
|---|--|--|--|
| testów numerycznych były badania niszczące rozważanego obiektu w jego skali naturalnej. Uzyskano wskaźniki niezawodności obiektu (metody FORM i SORM) oparte na analizie MES dla skalibrowanego modelu konstrukcji wieżowej przy wykorzystaniu złożonych implementacji komputerowych (algorytm BFGS, analiza P- Δ , podatność podpór, imperfekcje geometryczne prętów). | | | |
|---|--|--|--|

Inne publikacje – zgodnie z Rozporządzeniem MNiSW z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego § 4 pkt. 1-2.

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Punkty MNiSW |
|------|--|------------|--------------|
| A7 | <p>J. Szafran, K. Rykaluk, Diagonal bracing members of lattice towers - analytical versus experimental studies, <i>Recent Progress in Steel and Composite Structures, Publisher: CRC Press/Balkema Taylor&Francis Group, Editors: Gizejowski, Kozłowski, Marcinowski, Ziółko, pp. 94-95.</i></p> <p>W pracy przedstawiono porównanie wyników eksperymentalnych z rezultatami analiz numerycznych dla stalowych wież kratowych o skratowaniu typu X przy mimośrodowym połączeniu elementów układu wykratowania (kątowników nierównoramiennych). Wykazano, że wpływ rzeczywistych nieliniowości geometrycznych elementów, nieliniowości materiałowych, poślizgu śrub, a także mimośródów połączeń powodują, że używane najczęściej w praktyce inżynierskiej modele numeryczne MES wykorzystujące dwuwęzłowe skończone elementy belkowe nie pozwalają na prawidłowe oszacowanie sił przekrojowych w elementach skratowania wież.</p> | 80% | 15 |
| A8 | <p>J. Szafran, K. Juszczak, M. Kamiński, Dynamic response of the steel chimney by the Stochastic perturbation based Finite Element Method, <i>Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues, Publisher: CRC Press/Balkema Taylor&Francis Group, Editors: Kleiber, Burczyński, Wilde, Górski, Winkelmann, Smakosz, pp.559-</i></p> | 50% | 15 |

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| | 562. W pracy zdefiniowano model numeryczny wysokiej konstrukcji wspornikowej (komin stalowy) poddanej losowemu wzbudzeniu, na podstawie którego, po implementacji Stochastycznej Metody Elementów Skończonych uzyskano wartości wskaźnika niezawodności w funkcji czasu dla ściśle zdefiniowanej funkcji wymuszającej (obciążenie wiatrem). Praca ta jest kontynuacją wcześniejszych analiz dynamiki stochastycznej, a także stanowi istotny krok w budowie odpowiednich narzędzi numerycznych rozwijanych w przyszłości. | | |
| A9 | J. Szafran, K. Juszczak, M. Kamiński, Full-scale testing of steel lattice towers: requirements, preparation, execution, challenges, and the results. <i>Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: Rzeszów University of Technology, Editors: Romuald Tarczewski & Zbigniew Bieniek, pp.101-107.</i> W artykule zebrano niezbędne informacje na temat organizacji, prac przygotowawczych, potrzebnego sprzętu badawczego oraz trudności wykonawczych przy realizowaniu badań polowych konstrukcji wysokich w ich skali naturalnej. Ideą opracowania było zebranie danych, które mogą być pomocne dla osób podejmujących takie wyzwania badawcze. Publikacja stanowi cenne źródło informacji, a także uzupełnia stan wiedzy na ten temat. | 50% | 5 |
| A10 | J. Szafran, K. Juszczak, M. Kamiński, Steel hot-rolled, cold-formed, and hot-finished structural hollow sections - an experimental stability study, <i>Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Editors: Leszek Małyszko & Romuald Tarczewski, pp.89-94.</i> W pracy zaprezentowano wyniki laboratoryjnych badań doświadczalnych dotyczących nośności na wyboczenie okrągłych rur stalowych wykonanych według różnych technologii (jako rury gorącowałcowane, rury ze szwem | 50% | 5 |

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| | <p>wykańczane na gorąco oraz rury ze szwem wykańczane na zimno). Stwierdzono różnice w deformacjach plastycznych elementów, ich nośności wyboczeniowej, a także poszczególnych parametrach geometrycznych. Nie zaobserwowano natomiast wpływu istnienia szwu na mechanizm zniszczenia rur, co było głównym celem testów.</p> | | |
| A11 | <p>J. Szafran, K. Juszczyk, M. Kamiński, Steel lattice tower reliability estimation for serviceability limit state, <i>Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters</i>, Publisher: University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Editors: Leszek Małyszko & Romuald Tarczewski, pp.95-102.</p> <p>W artykule zaprezentowano bardzo złożoną procedurę obliczeniową dotyczącą stalowej wieży kratowej, zawierającą: kalibrację modelu MES rozważanej konstrukcji przy użyciu danych eksperymentalnych pochodzących z testów w skali naturalnej, pełną analizę dynamiczną (przy użyciu algorytmu obliczeniowego Hilbera-Hughesa-Taylor), numeryczne określenie probabilistycznych charakterystyk przemieszczeń i wreszcie analizę zmienności wskaźnika niezawodności (wg teorii SORM) w czasie i dla różnych wartości wejściowego współczynnika wariancji. Uzyskany algorytm obliczeniowy można uznać za niezmiernie przydatny w analizie rzeczywistych konstrukcji, którego atutem jest połączenie wykorzystania wyników eksperymentalnych ze złożonymi modelami MES oraz zaawansowaną analizą probabilistyczną. Wyniki uzyskane w ten sposób mają duże znaczenie praktyczne i poznawcze.</p> | 50% | 5 |
| A12 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Vibrations of elastic trusses with random parameters by the response function method and stochastic perturbation technique, <i>Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters</i>, Editor: Jan B. Obrębski, Warszawa, 2008.</p> <p>W pracy zaprezentowano implementację Stochastycznej Metody Elementów Skończonych do rozwiązywania problemów elastodynamiki. Uzyskano funkcje odpowiedzi konstrukcji (wartości własne) w zależności od losowego</p> | 50% | 5 |

| | | | |
|-----|---|------|---|
| | modułu Younga i losowej gęstości materiału. | | |
| A13 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Eigenvibrations of high telecommunication tower with random parameters by the response function method and SFEM, <i>Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Editor: Jan B. Obrebski, Warszawa, 2009.</i></p> <p>Artykuł jest rozwinięciem pracy A12. Dotyczy losowej analizy drgań własnych wieży telekomunikacyjnej. W analizie wprowadzono dotatkowe procedury numeryczne i obliczeniowe, które pozwoliły na uzyskanie czterech pierwszych momentów probabilistycznych, co jest istotnym wzbogacenie aparatu badawczego w rozpatrywanym zakresie.</p> | 50% | 5 |
| A14 | <p>J. Szafran, K. Juszczak, M. Kamiński, Design of steel structures for a given level of reliability using partial safety factors calibration procedure, <i>Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: University of Science and Technology in Bydgoszcz, pp. 55-58.</i></p> <p>Głównym osiągnięciem zaprezentowanym w pracy było kombinacyjne użycie uogólnionej metody perturbacji stochastycznej i procedury kalibracyjnej częściowych współczynników bezpieczeństwa w nawiązaniu do żadanego poziomu niezawodności wyrażonego za pomocą wskaźnika niezawodności β. Użycie takiego podejścia obliczeniowego ma duże znaczenie praktyczne i pozwala na określenie wymagań dotyczących niezawodności konstrukcji stalowej w formie popularnych w użyciu w praktyce inżynierskiej częściowych współczynników bezpieczeństwa, przy jednoczesnym wykorzystaniu złożonych analiz numerycznych i probabilistycznych. Metodyka obliczeń została zaprezentowana dla czterech niezależnych konstrukcji stalowych: komina i trzech wież telekomunikacyjnych różnych wysokości.</p> | 50% | 5 |
| A15 | <p>J. Szafran, Analytical determination of the aerodynamic resistance of the skeletal telecommunication towers. <i>Structure and Environment, nr 1/2015 5-14.</i></p> <p>W pracy przedstawiono analityczne obliczenia dotyczące oporu aerodynamicznego wysokich, stalowych konstrukcji kratowych ze szczególnym uwzględnieniem wpływu</p> | 100% | 9 |

| | | | |
|-----|---|-----|----|
| | <p>elementów wyposażenia obiektu na wyniki rozważanego parametru. W artykule główny nacisk położono na prawidłową interpretację zaleceń normowych dotyczących określania współczynnika oporu aerodynamicznego, którego przeszacowana wartość może prowadzić do nieprawidłowych wyników analizy nośności złożonych obiektów wieżowych.</p> | | |
| A16 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Eigenvalue analysis for high telecommunication towers with lognormal stiffness by the response function method and SFEM. <i>Computer Assisted Methods in Engineering and Sciences</i>. 16: (2009) 279-290.</p> <p>W opracowaniu zaprezentowano możliwość wykorzystania uogólnionej metody perturbacji stochastycznej do modelowania lognormalnych zmiennych losowych w mechanice konstrukcji na przykładzie kratowej konstrukcji wieżowej.</p> | 70% | 14 |
| A17 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, The Least Square Stochastic Finite Element Method in structural stability analysis of steel skeletal structures. <i>International Journal of Applied Mechanics and Engineering</i> 01/2015; 20(2):299-318.</p> <p>Artykuł zawiera wyniki analiz numerycznych sił krytycznych konstrukcji wieżowej. Wykonano analizy wykorzystujące podejście Ważonej Metody Najmniejszych Kwadratów (gdzie dystrybucja rozważana była na trzy różne sposoby: bez wag, rozkład trójkątny i rozkład Diraca) do określenia funkcji odpowiedzi konstrukcji w zależności od losowego modułu Younga. Wykazano, że ważona procedura Metody Najmniejszych Kwadratów z praktycznego punktu widzenia ma marginalne znaczenie dla rozważanych charakterystyk probabilistycznych (współczynników obciążenia krytycznego).</p> | 70% | 15 |
| A18 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, M. Solecka, Comparison of the Aluminium Versus Steel Telecommunication Towers in Stochastic Finite Element Method Eigenvibrations Analysis. <i>Mechanics and Mechanical Engineering Vol. 15, No.1 (2011)</i> 95-110.</p> <p>W pracy skoncentrowano się na różnicach w własnościach dynamicznych (losowa częstotliwość drgań własnych) konstrukcji wieżowej wykonanej ze stali konstrukcyjnej i</p> | 33% | 6 |

| | | | |
|-----|--|-----|---|
| | alternatywnie, z aluminium (parametrem losowym był moduł Younga obu materiałów). Rozkłady prawdopodobieństwa dla wszystkich postaci drgań konstrukcji stalowej są zdecydowanie bliższe rozkładowi Gaussa niż ma to miejsce w przypadku konstrukcji aluminiowej. | | |
| A19 | <p>J. Szafran, K. Rykaluk, Steel Lattice Tower Under Ultimate Load – Chosen Joint Analysis. <i>Civil And Environmental Engineering Reports</i> 25(2):199-210, 2017.</p> <p>W pracy przedstawiono dyskusję wyników dla określonego numerycznie stanu naprężenia wybranego węzła konstrukcji wieżowej dla dwóch przypadków obciążenia, przy czym podstawą dla przeprowadzonych analiz były uzyskane podczas badań wyniki eksperymentalne służące m.in. kalibracji modelu MES konstrukcji wieżowej.</p> | 80% | 6 |
| A20 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, Stochastyczna analiza drgań wymuszonych stalowych wież telekomunikacyjnych. <i>Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture</i>, 2/2014, 61, pp.43-56.</p> <p>W artykule przedstawiono komputerową analizę drgań wymuszonych stalowej konstrukcji wieżowej. Zagadnienie drgań wymuszonych rozwiązano numerycznie w programie MES natomiast funkcje odpowiedzi i algorytm wyznaczania charakterystyk losowych odpowiedzi wprowadzono symbolicznie w środowisku algebry komputerowej MAPLE. Stwierdzono, że rozzrut losowy funkcji niezbędnych do określenia podstawowych stanów granicznych konstrukcji wieżowych poddanych losowemu działaniu wiatru jest wielokrotnie większy od losowych fluktuacji amplitudy ciśnienia prędkości wiatru. Praca ta stanowi podwaliny dla przyszłych analiz związanych z dynamiką stochastyczną.</p> | 70% | 6 |
| A21 | <p>M. Kamiński, J. Szafran, <i>O komputerowym modelowaniu niezawodności stalowych wież telekomunikacyjnych.</i> Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej – Budownictwo nr 62, 51-66, 2010.</p> <p>W manuskrypcie zaprezentowano możliwości zastosowania analiz numerycznych opartych na uogólnionej metodzie perturbacji stochastycznej i funkcji odpowiedzi do wyznaczenia wskaźników niezawodności dla stalowych konstrukcji wież telekomunikacyjnych.</p> | 50% | 2 |
| A22 | M. Kamiński, J. Szafran, P. Świta, <i>Analiza stateczności</i> | 50% | 2 |

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| | <p><i>stalowych wież telekomunikacyjnych o parametrach losowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej – Budownictwo nr 63/2011, 152-165, 2011.</i></p> <p>W artykule zaprezentowano możliwości analiz komputerowych z zastosowaniem metody perturbacji stochastycznej do wyznaczenia probabilistycznych momentów obciążenia krytycznego stalowych wież telekomunikacyjnych. Praca stanowi podstawę rozwijanych w późniejszym czasie eksperymentów numerycznych dotyczących stateczności konstrukcji wieżowych.</p> | | |
| A23 | <p>J. Szafran, K. Rykaluk, Wpływ rodzaju skratowania wież na ich nośność i mechanizm zniszczenia, Materiały Budowlane 2018.</p> <p>W artykule przedstawiono porównanie eksperymentalnych wyników sił niszczących oraz mechanizmy zniszczeń dwóch wież o tej samej wysokości (42 m - badania obiektów w skali naturalnej), ale przy dwóch różnych typach skratowania ścian – typu pojedynczego i typu X. Uzyskane wyniki sił niszczących i obserwacja mechanizmów zniszczenia pozwoliły stwierdzić, że mniejsze zużycie stali spowodowane redukcją ilości elementów konstrukcyjnych w wieży z pojedynczym skratowaniem powoduje znaczący spadek nośności w porównaniu z wieżą mającą symetryczne podparcie krawężników. Wniosek powyższy ma bardzo duże znaczenie praktyczne, gdzie optymalizacja ciężaru własnego konstrukcji poprzez redukcję ilości elementów prowadzić może do znacznych spadków nośności obiektu.</p> | 80% | 8 |

C) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Stalowe wieże kratowe jako budowle przestrzenne używane są w wielu gałęziach przemysłu. Stanowią konstrukcje wsporcze dla linii średniego i wysokiego napięcia w energetyce. Wykorzystywane są jako wieże obserwacyjne (obronność kraju, turystyka), podpory dla elementów techniczno-przemysłowych (zbiorniki, taśmociągi itp.), wolnostojące pylony reklamowe, czy wreszcie jako elementy infrastruktury technicznej w telekomunikacji.

Szczególne wymagania dotyczą tych konstrukcji wieżowych, których ilość i powtarzalność jest bardzo duża. Do tej grupy można zaliczyć przede wszystkim wieże transmisyjne i telekomunikacyjne. Powodów tego stanu rzeczy jest kilka. Pierwszy z nich to

tzw. efekt skali czyli bardzo duża ilość niezbędnych obiektów, która stanowi o efektywności i niezawodności sieci, zarówno telekomunikacyjnej jak i energetycznej. Drugi to fakt, że obiekty te stanowią część tzw. inwestycji celu publicznego. Dzięki nim społeczeństwo ma zapewniony dostęp do istotnych, ważnych i w dzisiejszych czasach niejako oczywistych usług: dostępu do sieci energetycznych i bezprzewodowych usług telekomunikacyjnych. Ich niezawodność w czasach obecnych ma kluczowy wpływ na szeroko rozumiane bezpieczeństwo kraju.

Biorąc pod uwagę fakt, że stalowych, kratowych konstrukcji wieżowych powstaje duża ilość (w samej branży telefonii komórkowej jest to średnio kilkadziesiąt obiektów rocznie w skali kraju), wymagania co do ich użytkowania, wytwarzania i projektowania są nieco bardziej złożone niż w przypadku tradycyjnych konstrukcji stalowych. Z uwagi na ilość powstających wież decydującym kryterium projektowo-wykonawczym jest warunek minimalnego ciężaru własnego konstrukcji. Kryterium to jest w pełni uzasadnione: nawet mały zysk materiałowy dla pojedynczego obiektu powoduje znaczące oszczędności finansowe dla całości inwestycji. W praktyce inżynierskiej spotyka się kilka idei spełnienia takich wymagań. Do najczęściej stosowanych można zaliczyć: zastosowanie okrągłych profili rurowych o minimalnej dopuszczalnej grubości ścianek, ze skokową ich redukcją ku górze wieży, wybór rodzaju skratowania minimalizującego liczbę elementów konstrukcyjnych (np. skratowanie pojedyncze), wykorzystanie wyższych gatunków stali czy też modyfikacja rozstawu krawężników wieży.

Optymalizacja sposobu konstruowania i wytwarzania konstrukcji wieżowych w żadnym razie nie może spowodować spadku ich nośności, bezpieczeństwa i walorów użytkowych. W szczególności dotyczy to bezpieczeństwa ludzi i mienia – wymagania w tym zakresie ciągle rosną. Można zatem stwierdzić, że nadrzędnym celem nowoczesnego budownictwa jako głównej gałęzi gospodarki jest projektowanie i wytwarzanie obiektów, które są łatwe do wdrożenia (ze względu na cenę, sposób montażu, dostępność, niskie zużycie materiałów, rozwiązania proekologiczne) i jednocześnie charakteryzują się takimi walorami jak niezawodność, bezpieczeństwo i wysoka nośność.

Pomimo tak długiej historii wykorzystywania przestrzennych konstrukcji wieżowych w przemyśle stanowią one w dalszym ciągu przedmiot prac naukowych, analiz optymalizacyjnych i prac wdrożeniowych. Światowe trendy w tym zakresie obejmują głównie analizy procesów stochastycznych w zakresie obciążeń, właściwości materiałowych i imperfekcji geometrycznych, uzupełnione poprzez modyfikacje opisów analitycznych

zachowania konstrukcji, złożone symulacje komputerowe oraz szeroki zakres badań eksperymentalnych.

Jako znaczący wkład w rozwój światowej wiedzy na temat wysokich, lekkich i smukłych konstrukcji przestrzennych uważam przeprowadzone przeze mnie eksperymenty niszczące konstrukcji wieżowych o wysokości 40-42 metrów w ich skali naturalnej (6 niezależnych obiektów i testów). Obserwacja konstrukcji pod obciążeniem niszczącym, w szczególności kiedy dotyczy ich w pełnej skali, powszechnie uważana jest za najbardziej wiarygodne i optymalne źródło badawcze. Pomimo oczywistych problemów wykonawczych, które zostały przeze mnie zaprezentowane w pracy [A9], a do których można zaliczyć wybór procedury badawczej, znalezienie odpowiedniego miejsca przeprowadzenia badań, dobór stosownego sprzętu ciężkiego (dźwigi, holowniki), budowę stanowiska badawczego, aplikację systemów pomiarowych, czy też aspekty finansowe, uzyskane wyniki w sposób szczególnie poszerzają obecny stan wiedzy na w/w temat.

Przedstawiony przeze mnie cykl 23 prac odnosi się do dwóch niezależnych aspektów prowadzonych przeze mnie badań naukowych dotyczących przestrzennych, stalowych konstrukcji wieżowych: **analizy wyników uzyskanych podczas przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz komputerowego modelowania niezawodności tych obiektów.**

W omawianym cyklu prac można wykazać oryginalne osiągnięcia, które zostały przedstawione i opisane poniżej.

I. Identyfikacja rzeczywistej wartości współczynnika smukłości efektywnej k dla krawężników wieży wykonanej z prętów pełnych i skratowania typu X [A1].

Normowa definicja współczynnika smukłości efektywnej k krawężników wież określa jego wartość na podstawie układu elementów podpierających (układu skratowania), parametrów geometrycznych przekroju poprzecznego i geometrii segmentu oraz właściwości mechanicznych materiału. Wyniki eksperymentalne w postaci wartości sił osiowych w krawężnikach, obserwacji odkształceń elementów (w ujęciu lokalnym i globalnym), a przede wszystkim uchwycony mechanizm zniszczenia konstrukcji pozwala na wzbogacenie tej definicji o dodatkowe elementy. Sztywność połączeń kołnierzowych pomiędzy poszczególnymi segmentami wieży będąca skutkiem grubości blach w połączeniu, ilości, średnicy i klasy śrub jest istotnym parametrem decydującym o postaci utraty stateczności krawężników ściskanych. Tym samym ma ona kluczowy wpływ na miejsce występowania

przegubów plastycznych w elementach krawężnikowych pod obciążeniem niszczącym. Rezultatem tego odkrycia jest modyfikacja opisu analitycznego nośności na wyboczenie krawężników w wieżach rozpatrywanego typu. Informacja ta jest o tyle istotna, że jest to typ telekomunikacyjnej konstrukcji wspanielej występujący w Polsce najczęściej – w ilości ponad 2000 obiektów.

Wpływ zmodyfikowanego opisu nośności wyboczeniowej krawężników odgrywa kluczową rolę przy analizie nośności obiektów istniejących, zwłaszcza gdy chodzi o zwiększenie oddziaływań - w przypadku wież telekomunikacyjnych dochodzi od regularnej zmiany występujących obciążeń. Spowodowane jest to bardzo częstą wymianą sprzętu telekomunikacyjnego w postaci anten, modułów etc. na nowszy, bardziej zaawansowany technologicznie. Ujawnione zwiększone nośności tych obiektów pozwalają na oszczędności finansowe i materiałowe, a także zmniejszają czas trwania inwestycji. Tym samym przedstawione odkrycie wpisuje się w politykę proekologiczną państwa, pozwalając na podstawie zdobytej wiedzy teoretycznej na racjonalne korzystanie z zasobów i walorów środowiska przyrodniczego.

II. Wykazanie wpływu skratowania typu X na postać zniszczenia konstrukcji wieżowej [A1, A2, A6, A7].

Obserwacja mechanizmów zniszczenia dwóch niezależnych typów przestrzennych konstrukcji wieżowych o skratowaniu symetrycznym typu X pozwala na stwierdzenie, że niezawodność tych struktur w rozumieniu szeregowym zależy od nośności wyboczeniowych ich krawężników. Takie stwierdzenie jest uprawnione biorąc pod uwagę, że:

- oba typy zbadanych konstrukcji miały tylko jedną konstrukcyjną cechę wspólną – symetryczny typ skratowania,

- różniły się natomiast: przekrojem poprzecznym (trójkątny i kwadratowy), profilami stalowymi użytymi na krawężniki (okrągłe pręty pełne i gorącowalcowane rury okrągłe), przekrojami poprzecznymi elementów skratowania (gorącowalcowane kątowniki nierównoramienne i ceowniki zimmogięte), sposobem połączenia krawężników z krzyżulcami (dwoma śrubami jednoczętymi i jedną śrubą jednoczętą).

Eksperymentalne ujawnienie takiego zachowania konstrukcji wieżowych o skratowaniu typu X pod obciążeniem niszczącym ma bardzo duże znaczenie praktyczne i wdrożeniowe. Pozwala na optymalizację układu konstrukcyjnego w taki sposób, że najbardziej wrażliwymi na zniszczenie elementami konstrukcyjnymi są te najbardziej obciążone, a nie jak w innych

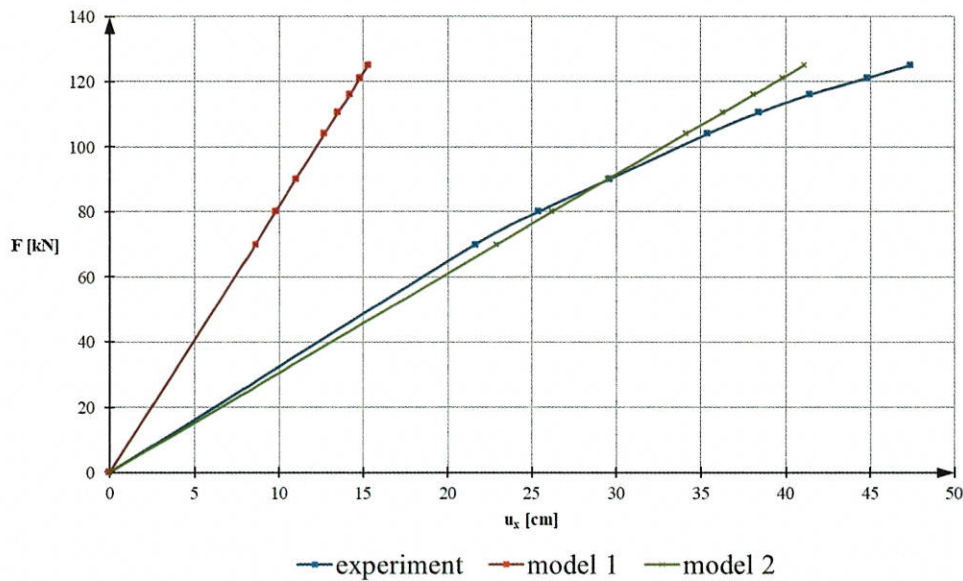
przypadkach elementy drugorzędne. Wiedza ta pozwala na znaczące oszczędności materiałowe bez znaczącej utraty nośności obiektu, co jest kluczowe z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, projektowej, a także procesu inwestycyjnego.

Filmy prezentujące mechanizmy zniszczenia wszystkich przebadanych konstrukcji znajdują się na płycie CD będącej załącznikiem do wniosku habilitacyjnego.

III. Ujawnienie wpływu sztywności fundamentów na postać zniszczenia i przemieszczenia węzłów przestrzennych wież o przekroju trójkątnym [A1, A2, A6, A7, A11, A14].

Ciężar i sztywność fundamentów wież o przekroju trójkątnym ma wpływ na mechanizm zniszczenia. Porównując sposób i postacie utraty stateczności konstrukcji tego samego typu ale utwierdzonych w fundamencie innej sztywności i ciężarze własnym można stwierdzić, że większa podatność węzłów podporowych prowadzi do innego mechanizmu zniszczenia konstrukcji. Informacja ta ma duże znaczenie teoretyczne i praktyczne – w skrajnych przypadkach, gdzie sztywność stalowych elementów kratownicy przestrzennej jest wysoka, o niezawodności układu może zdecydować sztywność fundamentu.

W komputerowej analizie konstrukcji pominięcie lub nieprawidłowe oszacowanie podatności fundamentów prowadzi do niedoszacowania przemieszczeń poszczególnych węzłów wieży. Jest to szczególnie istotne w przypadku konstrukcji telekomunikacyjnych, na których szczycie umieszczone są anteny radioliniowe. Są to urządzenia telekomunikacyjne wrażliwe na zmianę położenia (odchylenia od pionu, skręcenia) – nadmierne przemieszczenia konstrukcji wsporczej mają wpływ na jakość sygnału i łączność pomiędzy stacjami bazowymi (nadmierne wychylenie powoduje przemieszczenie wiązki fal biegnącej pomiędzy antenami radioliniowymi sąsiadujących stacji bazowych). Fakt ten został wykorzystany przy kalibracji modeli MES w analizach niezawodności rozpatrywanych obiektów wieżowych. W pracy [A11] przedstawiono porównanie eksperymentalnych wyników przemieszczeń dla wierzchołka wieży, wyników analizy MES modelu o podporach sztywnych (Model 1) oraz skalibrowanego modelu MES o podporach podatnych (Model 2). Wyniki te zaprezentowane są na wykresie poniżej.



Rys. 1. Porównanie eksperymentalnych wyników przemieszczeń szczytu wieży w funkcji obciążenia zewnętrznego z wynikami uzyskanymi za pomocą MES.

IV. Eksperymentalne udowodnienie różnic w mechanizmie zniszczenia i nośności wież o skratowaniu pojedynczym i podwójnym [A23].

Eksperymentalne porównanie sił niszczących wież o podobnej masie a różnych układach skratowania pozwoliło na stwierdzenie, że optymalizacja ciężaru własnego poprzez redukcję elementów konstrukcyjnych prowadzi do znacznego obniżenia nośności konstrukcji. Tym samym w przypadku wież potencjalnie mocno obciążonych niewskazane jest stosowanie niesymetrycznego układu wykratowania. Fakt ten ma duże znaczenie praktyczne i wdrożeniowe – wieże o skratowaniu pojedynczym nie powinny być wykorzystywane w przypadkach, gdzie dochodzi do częstych zmian wielkości i sposobu obciążenia.

V. Wykazanie rzeczywistego rozkładu sił wewnętrznych w elementach skratowania typu X wykonanych z kątowników nierównoramiennych i jego roli w mechanizmie zniszczenia [A1, A2, A7, A19].

Udowodniono, że rozkład sił w skratowaniu typu X dla elementów wykonanych z kątowników nierównoramiennych odbiega od rozkładu teoretycznego, gdzie jeden pręt jest ściskany, a drugi rozciągany. Eksperymentalne wyniki sił przekrojowych wykazują, że większość naprężeń w analizowanych prętach ma charakter rozciągający. Świadczy to o tym,

że w rzeczywistych układach konstrukcyjnych, które zawierają cały szereg nieliniowości, w tym geometrycznych (w skali mikro i makro), a także materiałowych ich sumaryczny efekt może w sposób zdecydowany wpłynąć na wyniki analizy. Dodatkowo analizy obliczeniowe przy użyciu MES wykazały, że kątowniki (równoramienne i nierównoramienne) pomimo łatwości połączenia ich z blachami węzłowymi jedną półką nie dają optymalnego rozkładu naprężeń, tym samym ilość użytego materiału jest zbyt duża – przewymiarowane są zarówno same elementy jak i dochodzące blachy węzłowe.

Należy zatem stwierdzić, że w przypadku wykorzystania skratowania symetrycznego typu X należy korzystać z elementów rurowych i łączenia ich z krawężnikami bez mimośródów. Daje to optymalne wykorzystanie przekroju (oszczędności materiałowe), a także co równie istotne, zmniejsza opór aerodynamiczny poszczególnych segmentów konstrukcji.

VI. Stochastyczna analiza niezawodności stalowych, kratowych konstrukcji wieżowych [A3, A4, A5, A6, A12, A13, A14, A16, A17].

Analizę losową stalowych konstrukcji wież kratowych z wykorzystaniem Stochastycznej Metody Elementów Skończonych uznaję za mój szczególny wkład w rozwój badań nad tą tematyką, który ma swoje odzwierciedlenie w wyżej zestawionych i zaprezentowanych publikacjach. Wykorzystując uogólnioną metodę perturbacji stochastycznej, oprogramowanie komputerowe MES (komercyjne i niekomercyjne) i system algebry komputerowej MAPLE określiłem pierwsze cztery momenty losowe, współczynniki wariancji, skośności i kurtozy przemieszczeń poziomych wież, ich kątów obrotu, częstotliwości drgań własnych, a także ekstremalnych sił wewnętrznych w skratowaniu i krawężnikach. Referencyjne modele numeryczne rozpatrywanych konstrukcji wykonałem przy użyciu trójwymiarowych elementów prętowych zgodnych z teorią Eulera-Bernoulliego traktując węzły jako idealnie sztywne lub całkowicie podatne (przegubowe). Uzyskane parametry probabilistyczne posłużyły do określenia wskaźników niezawodności (według teorii **First Order Reliability Method** i **Second Order Reliability Method**) konstrukcji ze względu na różne parametry losowe tj. oblodzenie, temperatura lub parcie wiatru. Szczególnie istotne wyniki zostały uzyskane dla losowego parcia wiatru traktowanego z zastosowaniem statycznego ekwiwalentu oddziaływania dynamicznego. Stworzono w ten sposób szereg rozwiązań porównawczych, które poza wnioskami płynącymi z rozwiązanych zadań stały się kolejno punktem wyjścia do przyszłych analiz dynamiki stochastycznej.

Niezależnie przeprowadziłem analizy dotyczące zagadnień stateczności takich konstrukcji, a także wpływu procedur obliczeniowych uwzględniających Ważoną Metodę Najmniejszych Kwadratów na uzyskiwane wyniki statystyk współczynników krytycznych.

VII. Wprowadzenie metody perturbacyjnej do analiz dynamiki stochastycznej obiektów wieżowych [A8, A11, A20].

Pierwszą pracą badawczą traktującą o wprowadzeniu uogólnionej metody perturbacji stochastycznej do zagadnień dynamiki konstrukcji było opracowanie „*On application of the Least Squares Stochastic Finite Element Method in structural dynamics*” zaprezentowane podczas 20-tej Międzynarodowej Konferencji Metod Komputerowych w Mechanice – Poznań 2013. Prace ta stanowi podstawę dla opracowanego i rozwijanego przeze mnie komputerowego algorytmu obliczeniowego. Szkieletowe obiekty wieżowe stały się przedmiotem badań nad komputerowym modelowaniem dynamicznej odpowiedzi konstrukcji na wymuszenie losowym ciśnieniem prędkości wiatru. Do tego celu wykorzystano Stochastyczną Metodę Elementów Skończonych zaimplementowaną z wykorzystaniem uogólnionej metody perturbacji stochastycznej w programie do obliczeń inżynierskich ROBOT oraz w systemie algebry komputerowej MAPLE. Metoda perturbacji w zastosowanej wersji wykorzystuje rozwinięcia poszukiwanych funkcji losowych w szeregi Taylora ze współczynnikami losowymi oraz całkowanie analityczne tych funkcji zgodne z klasycznymi definicjami rachunku prawdopodobieństwa. Technikę tą wybrano ze względu na dokładność porównywalną z dokładnością oferowaną tradycyjnie przez estymatory statystyczne metody symulacji Monte-Carlo przy jednoczesnym niewielkim nakładzie obliczeniowym (czas porównywalny do czasu niezbędnego dla rozwiązania deterministycznego MES o tej samej ilości stopni swobody). Podstawowy model MES został stworzony z wykorzystaniem dwuwęzłowych elementów prętowych posiadających po 6 stopni swobody w każdym węźle. Modelowanie drgań wymuszonych wykonano z zastosowaniem metody całkowania równań ruchu Hilbera-Hughesa-Taylora, natomiast nieliniowości materiałowe i geometryczne zamodelowano z wykorzystaniem algorytmu BFGS.

Zakładając w dalszej części gaussowską funkcję prawdopodobieństwa dla prędkości wiatru, a także wykorzystując jego wartości średnie zestawione w normie Eurocode 1 wyznaczono pierwsze cztery centralne momenty probabilistyczne, a także współczynniki wariancji, skośności oraz kurtozy dla sił normalnych w krawężnikach badanych wież. Ostatecznie wyznaczono wskaźniki niezawodności badanych wież zgodnie z teorią

pierwszego rzędu (FORM), a także drugiego (SORM). Stochastyczna dynamiczna odpowiedź konstrukcji była wyznaczana z użyciem metody perturbacji rzędu dziesiątego, a także wielomianowych lokalnych funkcji odpowiedzi, które łączą przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia poszczególnych punktów węzłowych struktury wieży z globalną prędkością wiatru. Poszukiwane lokalne funkcje odpowiedzi wyznaczono na podstawie wyników z serii eksperymentów MES ze zmieniającą się prędkością bazową wiatru przy pomocy tradycyjnej Metody Najmniejszych Kwadratów.

W konkluzji całokształtu wykonanych prac należy podkreślić, iż zaproponowane stochastyczne podejście do projektowania stalowych wież szkieletowych wykonane przy pomocy Stochastycznej Metody Elementów Skończonych (SMES) pozwala na uzyskanie kompletnego opisu niezawodności tych konstrukcji, a także ich wrażliwości zarówno deterministycznej, jak i stochastycznej na parametry związane z wpływami środowiska, parametrami materiałowymi oraz geometrycznymi. Wykonane testy wytrzymałościowe w pełnej skali pozwoliły na skalibrowanie prętowego modelu wieży w MES pracującego w zakresie nieliniowym geometrycznie i materiałowo tak, aby duże deformacje otrzymane w obydwu przypadkach były zbieżne. Parametry statystyczne własności mechanicznych badanej eksperymentalnie stali konstrukcyjnej posłużyło ustaleniu właściwego współczynnika wariacji modułu Younga oraz granicy plastyczności, które zostały następnie wykorzystane w odpowiednich testach numerycznych wykonanych przy użyciu SMES. Kontynuację prac badawczych w tej tematyce może stanowić wieloskalowa geometrycznie analiza konstrukcji wieżowych wykonana z użyciem elementów powłokowych dla rur stalowych oraz elementów trójwymiarowego stanu naprężenia dla blach węzłowych oraz łączników śrubowych.

D) Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego - zgodnie z Rozporządzeniem MNiSW z dnia 1 września 2011 r. w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego § 3 pkt 4b.

Do oceny przedstawiam zrealizowany przeze mnie jako głównego projektanta, a jednoznacznie wpisujący się w tematykę mojego osiągnięcia naukowego, typoszereg kratowych, stalowych wież telekomunikacyjnych. Został on opracowany, wykonany i wdrożony (na terenie Polski) dla jednego z największych operatorów telefonii komórkowej na świecie. Typoszereg jest moim pomysłem autorskim, który powstał na bazie zdobytej wiedzy

teoretycznej, aktywności naukowej oraz doświadczenia inżynierskiego i w sposób bezpośredni łączy moje badania naukowe z praktycznymi pracami wdrożeniowymi.



Fot. 1. Sylwetka wieży o wysokości 40 metrów.

Typoszereg konstrukcji wieżowych powstał w 2012 roku i realizowany jest z niewielkimi zmianami do dziś. Głównymi celami przyświecającymi podczas prac wdrożeniowych były:

- opracowanie geometrycznego rozwiązania typoszeregu stalowych konstrukcji wieżowych w zakresie wysokości od 20 do 60 metrów. Podział konstrukcji na poszczególne segmenty powinien jednocześnie umożliwiać budowę obiektów o wysokościach niestandardowych, których występowanie w praktyce inżynierskiej spowodowane może być wymaganiami prawnymi (zapisy miejscowych planów zagospodarowania terenu, prawo ochrony środowiska etc.), ograniczeniami spowodowanymi potrzebami służb lotniczych czy też uwarunkowaniami technologicznymi montażu anten.

- zrealizowanie typoszeregu wież telekomunikacyjnych spełniającego wymagania wszystkich klas niezawodności konstrukcji w rozumieniu normy PN-EN 1993-3-1 „Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 3-1: Wieże, kominy i maszty. Wieże i maszty”. Rozwiązanie tego zagadnienia polegało na takiej optymalizacji konstrukcji, aby w zależności od terenu usytuowania obiektu i konsekwencji jego ewentualnego zniszczenia spełnione były nadrzędne wymagania bezpieczeństwa, przy jednoczesnym zachowaniu kryterium minimalnego ciężaru własnego wież.
- zaprojektowanie typoszeregu odpowiadającego wymaganiom wszystkich stref obciążenia wiatrem na terenie Polski oraz wszystkich kategorii terenu (zgodnie z definicjami podanymi w normie PN-EN 1991-1-4 „Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Oddziaływanie wiatru). Wymaganie takie wiąże się bezpośrednio ze zróżnicowaniem stanu obciążenia poziomego konstrukcji dla obiektów o tych samych parametrach geometrycznych, co prowadzi z kolei do różnic w stopniu wykorzystania nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych. Spełnienie w/w wymagań wraz z kryterium materiałowym, podobnie jak w przypadku przyporządkowania klasy niezawodności prowadzi do optymalizacji elementów wież.
- zrealizowanie takiego rozwiązania konstrukcyjnego, które pozwoli na montaż na wieżach dwóch różnych konfiguracji antenowych ściśle związanych z obszarem umiejscowienia obiektu: dla obszarów zurbanizowanych (większa ilość sprzętu) oraz obszarów wiejskich (mniejsza ilość anten). Takie podejście projektowe wymusiło kolejną optymalizację elementów i ciężaru własnego konstrukcji.
- ponadto, dla każdej w/w konfiguracji sprzętowej przedstawiono tzw. wymagania dodatkowe – ilość, rodzaj i wielkość anten telekomunikacyjnych, które mogą zostać zamontowane w przyszłości. W związku z tym początkowa idea układu konstrukcyjnego **musiała być wzbogacona o elementy poprawiające nośność konstrukcji po jej ewentualnym dociążeniu**. Problem ten rozwiązano w następujący sposób: nośności na rozciąganie i ściskanie elementów konstrukcyjnych zostały dopasowane do stanu obciążenia konfiguracji podstawowej i dodatkowej. Podyktowane to było trudnościami wykonawczymi z poprawą tych parametrów konstrukcji w stanie istniejącym (trwałe połączenie

elementów pierwotnych z elementami wzmacniającymi). Dodatkowe elementy konstrukcyjne poprawiające nośność na wyboczenie krawężników (poprzez skrócenie ich długości wyboczeniowej) zostały zaprojektowane jako te, które możliwe są do zamontowania po dowieszeniu dodatkowego sprzętu telekomunikacyjnego. **Takie podejście pozwoliło na połączenie dwóch bardzo istotnych wymagań praktycznych: możliwości korygowania nośności obiektu wraz ze wzrostem wymagań technologicznych i co za tym idzie korzyściami finansowymi (dodatkowe koszty materiałowe ponoszone są dopiero wtedy kiedy jest to niezbędne).**

- spełnienie, oprócz wymagań dotyczących parametrów wytrzymałościowych poszczególnych konstrukcji, potrzeby łatwego dostępu do urządzeń telekomunikacyjnych, umożliwiającego bezpieczną ich obsługę. W sposób szczególny należy podkreślić rozwiązania dotyczące drabiny wjazdowej (poprowadzona na jednym z krawężników) i drabiny kablowej (zaprojektowana jako szereg wsporników przyspawanych do tego samego krawężnika wieży). Takie rozwiązanie pozwala na bezpieczne przemieszczenie się osoby obsługującej na szczyt wieży, ale także i bezpośredni dostęp do kabli antenowych ułożonych obok wchodzącego (Fot. 2.). **Największą jednak zaletą zaproponowanego rozwiązania jest zmniejszenie powierzchni nawierzchni elementów wyposażenia (w porównaniu z tradycyjnym umieszczeniem drabin wjazdowo-kablowych na ścianach wieży bądź wewnątrz trzonu), co skutkuje zmniejszeniem wielkości oddziaływania wiatru, a tym samym zmniejszeniem stopnia wykorzystania nośności elementów nośnych i oszczędnością materiału.** Mocowanie anten przewidziano na niezależnych platformach obsługowych dających możliwość łatwego i bezpiecznego dostępu do sprzętu telekomunikacyjnego.

Poza wszystkimi przedstawionymi powyżej zadaniami, **kluczowym i najważniejszym było uzyskanie takiego systemowego rozwiązania konstrukcyjnego, które zapewni jak największy stosunek nośności obiektu do jego ciężaru własnego.**

W mojej opinii cel ten udało się osiągnąć poprzez **umiejętne połączenie dwóch, na pozór wykluczających się rozwiązań – stabilizacji krawężników wieży poprzez system skratowania symetrycznego typu X oraz wykorzystanie elementów nośnych (w tym również krzyżulców) wykonanych jedynie z profili okrągłych rurowych różnych średnic.**



Fot. 2. Pomosty robocze oraz drabina włazowa i kablowa na szczycie konstrukcji wieżowej.

Układ skratowania symetrycznego typu X pozwala na dwustronne podparcie krawężników konstrukcji wieżowych i jest dość często wykorzystywanym systemem w rozwiązaniach inżynierskich, jednakże w zdecydowanej większości krzyżulce w tym układzie wykonane są z gorącowalcowanych kątowników bądź ceowników. Zastosowanie takich elementów pozwala na łatwe ich połączenie w miejscu skrzyżowania (zwykle poprzez połączenie na jedną śrubę i przekładkę wyrównującą), ale powoduje mimośrodowe połączenie krzyżulców z krawężnikami.

Zaproponowane i wdrożone przeze mnie rozwiązanie **polega na wykorzystaniu układu skratowania typu X wykonanego z rur okrągłych** i polega na połączeniu elementów w miejscu ich skrzyżowania poprzez umieszczenie w jednej z rur, płaskownika bezpośrednio do niej przyspawanego (jeden ciągły element). Połączenie z drugim krzyżulcem zrealizowane jest poprzez umiejscowienie śrub po przeciwległych stronach płaskownika. **Szczegóły tego i innych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiam na załączonej do wniosku dokumentacji technicznej a także na Fot. 3.**



Fot. 3. Rozwiązanie połączenia dwóch elementów skratowania wykonanych z rur okrągłych w miejscach ich przecięcia.

Istnieją dwie niewątpliwe zalety takiego rozwiązania:

- brak połączeń mimośrodowych w miejscach łączenia krzyżulców i krawężników – wykorzystano połączenie na tzw. „widelec”. Ten rodzaj połączenia skutkuje występowaniem jedynie sił osiowych w elementach, a co za tym idzie niewielkim ich wyężeniem i wymiarami poprzecznymi,
- **wykorzystanie profili rurowych poza oczywistymi atutami wytrzymałościowymi zmniejsza opór aerodynamiczny ustroju, co prowadzi do zmniejszonego oddziaływania wiatru i wyężenia elementów, a wreszcie do mniejszego, w porównaniu do innych rozwiązań, zużycia stali.**



Fot. 4. Połączenia pomiędzy elementami skratowania a krawężnikami.

Potwierdzeniem słuszności w/w rozwiązań konstrukcyjnych był zorganizowany i przeprowadzony przeze mnie w roku 2015 eksperyment polegający na kontrolowanym

zniszczeniu zaprojektowanej konstrukcji wieżowej (o wysokości 40 m). Idea testu polegała na obciążaniu wieży, aż do zniszczenia jednego z jej elementów (z ang. *pushover test*). Film prezentujący eksperyment został umieszczony na następującej stronie internetowej - <https://www.youtube.com/watch?v=7SbSVfdZ42M>, a także na płycie CD będącej załącznikiem do wniosku habilitacyjnego.

Najważniejsze wyniki eksperymentalne w kontekście powyżej opisanych systemowych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiają się następująco:

- o niezawodności obiektu decyduje nośność wyboczeniowa krawężników – w przypadku rozwiązań przeze mnie zaproponowanych wyboczeniu uległ krawężnik u podstawy wieży, co niewątpliwie świadczy o poprawności optymalizacji profili stalowych (zniszczeniu uległ element najbardziej obciążony co jest ze wszech miar korzystnym skutkiem),
- ujawniona postać zniszczenia konstrukcji jednoznacznie wskazuje na słuszność zastosowania systemu skratowania typu X wykonanego z okrągłych profili rurowych. Brak połączeń mimośrodowych generujących dodatkowe momenty zginające pozwala na optymalne wykorzystanie nośności krzyżulców, a co jeszcze ważniejsze, symetrycznej stabilizacji krawężników. Jak można zauważyć obserwując zarejestrowany mechanizm zniszczenia, najpierw dochodzi o utraty stateczności przez krawężnik, a dopiero później deformacji ulegają krzyżulce.

Warto w tym miejscu nadmienić, że przeprowadzony eksperyment miał w jednym ze swych założeń sprawdzenie poprawności przyjętych rozwiązań. Po dogłębnej analizie danych uzyskanych podczas testu dokonano **jedynie niewielkich, kosmetycznych zmian w koncepcji typoszeregu, co pozwala mi stwierdzić, że przyjęte przeze mnie oryginalne rozwiązania przyniosły pożądane efekty.**

Na potwierdzenie faktu, że wdrożony typoszereg wież **spełnia wymagania dużej nośności przy jednoczesnym niewielkim ciężarze własnym**, poniżej przedstawiam tabelaryczne zestawienie wyników eksperymentalnych sił niszczących uzyskanych dla różnych typów konstrukcji wieżowych. Podane wyniki uzyskałem w sześciu niezależnych testach, wykonanych dla obiektów w ich pełnej skali (o wysokości 40 i 42 metry) i identycznych warunkach obciążenia. Warto nadmienić, że wszystkie testowane konstrukcje należą do najczęściej wykorzystywanych rozwiązań tego typu w Polsce. **Opisana wyżej konstrukcja według mojego projektu znajduje się pod l.p. 6.**

| L.p. | Wysokość wieży/przekrój poprzeczny | Ciężar własny [kN] | Gatunek stali | Eksperymentalna siła niszcząca [kN] | Siła niszcząca/ciężar własny konstrukcji |
|------|------------------------------------|--------------------|---------------|-------------------------------------|--|
| 1. | 40 m / trójkątny | 75,8 | S235 | 108,7 | 1,43 |
| 2. | 40 m / trójkątny | 79,5 | S235 | 132,5 | 1,66 |
| 3. | 42 m / kwadratowy | 34,8 | S355 | 105,0 | 3,02 |
| 4. | 42 m / kwadratowy | 34,8 | S355 | 113,7 | 3,27 |
| 5. | 42 m / trójkątny | 41,6 | S355 | 61,2 | 1,47 |
| 6. | 42 m / trójkątny | 51,7 | S235 | 127,4 | 2,46 |

Rozpatrując aspekty ekonomiczne związane z powstawaniem powtarzalnych, typowych konstrukcji wieżowych należy wziąć pod uwagę, oprócz ciężaru własnego, dodatkowo:

- koszt montażu,
- gatunek stali z której konstrukcja jest wykonana (koszt zakupu rośnie wraz ze wzrostem jakości materiału),
- rodzaj wykorzystanych profili w kontekście technologii ich wykonania.

W tabelarycznym zestawieniu ukazującym stosunki sił niszczących do ciężaru własnego konstrukcji wyniki bardziej korzystne niż zaproponowana przeze mnie wieża miała konstrukcja o l.p. 4 i 5 (ten sam typ wieży). **Należy zwrócić jednak uwagę, że zostały one uzyskane dla konstrukcji wykonanej ze stali o nominalnej granicy plastyczności 355 N/mm², której koszt jest wyższy niż gatunku S235.**

Czynnikiem cenotwórczym w przypadku tworzenia od podstaw konstrukcji obiektu jest nie tylko wybór kształtowników na poszczególne elementy ustroju, ale również sposób ich wykonania. W zakresie technologii wykonania okrągłych profili rurowych istnieją trzy najbardziej rozpowszechnione sposoby produkcji:

- opisane normą PN-EN 10210-1 „Kształtowniki zamknięte wykonane na gorąco ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych” kształtowniki gorącowałcowane,
- profile rurowe kształtowane na gorąco ze szwem (opisane tą samą normą),

- oraz zdefiniowane w normie PN-EN 102109-1 „Kształtowniki zamknięte ze szwem wykonane na zimno ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych” tzw. rurowe profile zimnogięte.

Chcąc sprawdzić która z w/w technologii pozwala na bezpieczne wykorzystanie kształtowników rurowych w elementach nośnych ustrojów kratowych podjąłem trud wykonania badań laboratoryjnych (opisanych przeze mnie również w pracy [A10]). Dokonano sprawdzenia nośności wyboczeniowej rur o tej samej długości, średnicy i grubości ścianki ale wykonanych w różnych technologiach. Uzyskane wyniki pozwoliły na świadome i bezpieczne wykorzystywanie w praktyce kształtowników rurowych okrągłych ze szwem wykonanych na zimno. Biorąc pod uwagę fakt, że różnice pomiędzy jednostkową ceną zakupu tego typu elementów a ceną elementów wykonanych na gorąco sięgają 15-20%, ich zastosowanie należy uznać za korzystne ekonomicznie, ale także, czego dowodzą przeprowadzone badania, poprawne technicznie.

Najlepszą rekomendacją dla typoszeregu wież telekomunikacyjnych mojego autorstwa jest ilość wykonanych dokumentacji technicznych - dla 372 obiektów (stan na 21.05.2018).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych).

Moja działalność naukowa rozpoczęła się w roku 2007 wraz z początkiem studiów na Studium Doktoranckim Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Wtedy też zapoczątkowana została i kontynuowana jest do dziś moja współpraca naukowa z prof. dr hab. inż. Marcinem Kamińskim. Początki współpracy związane były z prowadzonymi przeze mnie wtedy intensywnymi studiami literaturowymi dotyczącymi probabilistycznej teorii konstrukcji. Jako że w tym czasie pracowałem na stanowisku inżyniera budowy i bezpośrednio miałem związek z procesem inwestycyjnym dotyczącym budowy sieci telefonii komórkowej w Polsce, moim szczególnym zainteresowaniem cieszyły się stalowe konstrukcje wysokie tj. wieże, maszty i kominy. Tematyka wież stalowych była ponadto przedmiotem mojej pracy magisterskiej wobec czego wybór zainteresowań był w pewien sposób naturalną konsekwencją. Miałem również za sobą kilkumiesięczną praktykę projektową w warszawskim Biurze Projektów Radia i Telewizji „Protel”, gdzie pracowałem głównie nad zagadnieniami projektowymi dotyczącymi wież i masztów. Rozpoczęcie studiów na Studium Doktoranckim było spowodowane dążeniem do łączenia praktyki inżynierskiej z pracą naukową. Cel ten przyświeca mi do dziś – nadrzędnym wyzwaniem jest dla mnie rozwiązywanie realnych problemów inżynierskich poprzez

narzędzia i wiedzę zdobytą podczas badań naukowych. Istotną w tym względzie (łączenia pracy naukowej z praktyką inżynierską) jest również możliwość obserwacji zmieniających się wymagań w budownictwie i idących w ślad za nimi nowymi problemami technicznymi.

Współpraca z prof. Marcinem Kamińskim przyniosła w roku 2008 i 2009 pierwsze opublikowane artykuły naukowe [A12, A13]. Dotyczyły one możliwości wykorzystania metody perturbacji stochastycznej w analizie drgań własnych konstrukcji. Wykonane wtedy analizy numeryczne i napisane kody programów obliczeniowych w środowisku algebry symbolicznej MAPLE stanowiły podwalinę dla przyszłych, bardziej złożonych zagadnień i opracowań. Losowe analizy wysokich konstrukcji z parametrami losowymi były przedmiotem kolejnych publikacji np. [A5, A16]. W roku 2010 nastąpiło otwarcie mojego przewodu doktorskiego. W roku 2011 obroniłem z wyróżnieniem doktorat w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo pt. „Analiza stochastyczna i niezawodność stalowych konstrukcji wież telekomunikacyjnych”. Niemalże w tym samym czasie, kontynuując praktykę projektową, uzyskałem uprawnienia do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń.

Moje zainteresowania naukowe nie dotyczyły jedynie smukłych, lekkich konstrukcji stalowych [B3] chociaż stanowiły one główny nurt prac badawczych i wdrożeniowych. W swojej pracy badawczej zajmowałem się również modelowaniem defektów w kompozytach w ujęciu losowym czego efektem jest praca [B1].

Kolejnym nurtem w mojej działalności naukowej było zastosowanie metod losowych w analizie mostów dla pieszych. Analizy numeryczne dotyczyły wpływów takich parametrów losowych jak grubość blach stalowych w mostach o spawanych przekrojach skrzynkowych, modułu Younga oraz statycznego obciążenia tłumem pieszych. Wyjściowymi parametrami losowymi opisanymi poprzez cztery pierwsze momenty losowe były w tym przypadku: ugięcie pomostu oraz częstotliwości drgań własnych konstrukcji. Numeryczny model rozważanego mostu dla pieszych wykonany został przy użyciu prętowych i powłokowych elementów skończonych, co zostało poprzedzone dodatkową analizą z parametrem w postaci gęstości siatki ES. Na uwagę, poza przedmiotem analiz, a także określeniem odpowiedzi konstrukcji przy pomocy złożonego modelu MES, zasługuje rozbudowanie algorytmu obliczeniowego podejścia perturbacyjnego. Zwykle rozwinięcie w szereg Taylora funkcji stanu do 10-go rzędu jest wystarczające do określenia pierwszych dwóch momentów losowych badanego parametru. W przypadku analiz związanych z mostami dla pieszych wprowadzono rozwinięcie 18-go rzędu, by prawidłowo określić trzeci moment centralny (także skośność), i rozwinięcie 20-go rzędu do określenia momentu czwartego rzędu (także

kurtozę). Było to możliwe przy jednoczesnym zastosowaniu Stochastycznej Metody Elementów Skończonych i Metody Funkcji Odpowiedzi zrealizowanej za pomocą Metody Najmniejszych Kwadratów (podejście wielomianowe), gdzie wszystkie pochodne cząstkowe ze względu na wejściowy parametr losowy określone są analitycznie. Wynikiem prac nad zagadnieniami losowości w analizie konstrukcji mostowych są artykuły naukowe [B2, B9].

Zagadnieniem wpisującym się w moje zainteresowania naukowe są również konstrukcje przekryć dachowych znacznych rozmiarów. Jedną z pierwszych wykonanych analiz była koncepcja ciekawego architektonicznie i jednocześnie złożonego konstrukcyjnie przekrycia stadionu żużlowego [B4].

W kolejnych pracach na tym temacie rozwinąłem aparat analityczny o dodatkowe elementy. Powiązanie dwóch metod – Metody Elementów Skończonych i Metody Objętości Skończonych pozwoliło na uzyskanie map współczynników ciśnień oddziaływania wiatru na złożoną konstrukcję dachu. Zasadniczym celem wykonanych prac było ukazanie różnic w wynikach sił przekrojowych w elementach konstrukcji dla dwóch różnych koncepcji szacowania obciążeń: analitycznego z wykorzystaniem zapisów normowych oraz komputerowej analizy CFD. Wynikiem tych badań są publikacje [B5, B10].

Zauważając, że współczesne budownictwo generuje nowe wymagania i wyzwania podjąłem badania nad nowoczesnymi materiałami izolacyjnymi tj. pianą PUR i polimocznik. Szczególnie ten drugi materiał, ze względu na swoje nieprzeciętne właściwości mechaniczne, a także możliwości wdrożenia w różnych gałęziach gospodarki wzbudził moje zainteresowanie. Wynikiem tego były przeprowadzone laboratoryjne badania eksperymentalne dotyczące użycia powłok polimocznikowych jako elementów wzmacniających kręgi betonowe [B7]. Biorąc pod uwagę jak obiecujące są wyniki tych badań z całą pewnością będę starał się je kontynuować i uzupełnić obecny stan wiedzy na ten temat [B6, B11].

Znaczną część z wyżej opisanego dorobku naukowego prezentowałem podczas licznych seminariów naukowych. Tematyka interesujących mnie konferencji związana była głównie z metodami komputerowymi w mechanice, konstrukcjami metalowymi, dynamiką konstrukcji, a także lekkimi konstrukcjami przestrzennymi i powłokowymi.

Równocześnie z pracą naukową zajmuje się również pracą w przemyśle. Zrealizowane przeze mnie oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, a także ekspertyzy i opinie techniczne **przedstawione są w Załączniku 2.**

i. Wykaz innych publikacji nie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

Publikacje naukowe znajdujące się w bazie Journal of Citation Reports (JCR).

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Impact Factor | Punkty MNiSW |
|------|---|------------|---------------|--------------|
| B1 | M. Kamiński, J. Szafran , Perturbation-based Stochastic Finite Element analysis of the interface defects in composites via Response Function Method, <i>Composite Structures vol. 97 (2013), pp. 269-276</i> , (DOI: 10.1016/j.compstruct.2012.10.023) | 50% | 3.858 | 40 |

Rozdziały w monografiach o zasięgu międzynarodowym.

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Punkty MNiSW |
|------|---|------------|--------------|
| B2 | M. Kamiński, J. Szafran , <i>Eigenvalue analysis for footbridge with random stiffness by stochastic finite element method</i> , Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Editors: Marcin Kamiński, Jan B. Obrębski, Łódź, Poland, 2011. | 50 % | 5 |
| B3 | J. Szafran , K. Baliński, <i>Comparative analysis of the single shell steel chimney according to PN-B and PN-EN standards</i> , Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Editor: Jan B. Obrębski, Warszawa, 2014. | 50% | 5 |
| B4 | J. Szafran , A. Nowakowski, <i>Structural analysis of long-span trusses of a speedway stadium roof</i> . Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: Rzeszów University of Technology, Editors: | 50% | 5 |

| | | | |
|----|--|-----|----|
| | Romuald Tarczewski & Zbigniew Bieniek, pp.108-117. | | |
| B5 | J. Szafran , K. Juszczak, M. Kamiński, <i>Computer FVM-FEM analysis of the large span grid shell roof</i> , Recent Progress in Steel and Composite Structures, Publisher: CRC Press/Balkema Taylor&Francis Group, Editors: Giżejowski, Kozłowski, Marcinowski, Ziółko, pp. 371-379. | 50% | 15 |
| B6 | J. Szafran , A. Matusiak, <i>Polyurea coating systems: definition, research, applications</i> , Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems - Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Editors: Leszek Małyszko & Romuald Tarczewski, pp.103-110. | 50% | 5 |
| B7 | J. Szafran , A. Matusiak, <i>Structural behavior and compressive strength of concrete rings strengthened with a polyurea coating system</i> , Monograph from Scientific Conference of IASS Polish Chapters, Publisher: University of Science and Technology in Bydgoszcz, pp. 55-58. | 50% | 5 |

Publikacje w czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Punkty MNiSW |
|------|---|------------|--------------|
| B8 | J. Szafran , Application of the Generalized Stochastic Perturbation Method in cable structures analysis. <i>Structure and Environment</i> , nr 2/2015 11-21. | 100% | 9 |
| B9 | J. Szafran , M. Kamiński, Bridges for pedestrians with random parameters using the Stochastic Finite Elements analysis. <i>International Journal of Applied Mechanics and Engineering</i> 01/2017. | 70% | 15 |
| B10 | J. Szafran , K. Juszczak, M. Kamiński, Dual Finite Volume Method and Finite Element Method Analysis of a Complex Large-Span Roof Structure. <i>International Journal of Applied</i> | 33% | 15 |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | <i>Mechanics and Engineering</i> 22(4):995-1018. | | |
|--|--|--|--|

Publikacje w czasopismach o zasięgu krajowym.

| L.p. | Tytuł | Mój udział | Punkty MNiSW |
|------|---|------------|--------------|
| B11 | A. Matusiak, J. Szafran, Piana PUR i polimocznik – innowacyjne izolacje natryskowe, <i>Inżynier Budownictwa</i> 4(2018): 45-50. | 50% | - |

- ii. **Zgodnie z §4 pkt. 3:** sumaryczny *impact factor* publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi: **12,275**.
- iii. **Zgodnie z §4 pkt. 4:** liczba cytowań publikacji według bazy Web Of Science (WoS) wynosi: **29**.
- iv. **Zgodnie z §4 pkt. 5:** indeks Hirsch’a opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS) wynosi: **4**.
- v. **Zgodnie z §4 pkt. 6:** kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach.

Projekt badawczy „*Networks Towers Reinforcement Cost Optimisation*” - projekt dotyczył badań polowych stalowych, kratowych wież telekomunikacyjnych dla sześciu niezależnych obiektów.

Czas trwania: 06.2014 - 06.2016, finansowany przez T-Mobile Polska S.A.

Kierownik i wykonawca projektu badawczego.

- vi. **Zgodnie z §4 pkt. 7:** międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność odpowiednio naukową albo artystyczną.

Nagroda JM Rektora Politechniki Łódzkiej za działalność naukową w latach: 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017.

- vii. **Zgodnie z §4 pkt. 8:** wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych.

| L.p. | Tytuł |
|------|--|
| 1. | M. Kamiński, J. Szafran , <i>Random eigenvibrations of elastic structures by the response function method and the generalized stochastic perturbation technique</i> , 18 th International Conference of Computer Methods in Mechanics, Zielona Góra, 2009. |
| 2. | M. Kamiński, J. Szafran , <i>Stochastic finite element method study on temperature sensitivity and reliability of the steel telecommunication towers</i> , 19 th International Conference of Computer Methods in Mechanics, Warsaw, 2011. |
| 3. | M. Kamiński, J. Szafran , <i>Analysis of ice covers effects on steel telecommunication towers using Stochastic Finite Element Method</i> , Proceedings of the 12 th International Conference on Metal Structures, Wrocław, 2011. |
| 4. | M. Kamiński, J. Szafran , P. Świta, <i>On stability of steel telecommunication towers with random parameters</i> . 6 th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering ECCOMAS 2012, 10-14.09. 2012, Wiedeń. |
| 5. | J. Szafran , M. Kamiński, <i>On application of the Least Squares Stochastic Finite Element Method in structural dynamics</i> , 20 th International Conference of Computer Methods in Mechanics, Poznań, 2013. |
| 6. | J. Szafran , <i>Opór aerodynamiczny stalowych konstrukcji wież telekomunikacyjnych</i> , Konferencja Naukowo-Techniczna “Konstrukcje Metalowe ZK 2014”, Kielce-Suchedniów, 02-04.07.2014. |
| 7. | J. Szafran , <i>Zastosowanie uogólnionej metody perturbacji stochastycznej w analizie konstrukcji ciągnowych</i> , Konferencja Naukowo-Techniczna “Konstrukcje Metalowe ZK 2014”, Kielce-Suchedniów, 02-04.07.2014 |
| 8. | J. Szafran , M. Kamiński, <i>Stochastyczna analiza drgań wymuszonych stalowych wież telekomunikacyjnych</i> , Sympozjum Dynamiki Konstrukcji DynKon, Rzeszów 2014. |
| 9. | J. Szafran , <i>Destructive testing of full-scale engineering structures as an excellent source of knowledge</i> . Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2015, Amsterdam Future |

| | |
|-----|--|
| | Visions, At Amsterdam, The Netherlands, August 2015. |
| 10. | J. Szafran , K. Juszczuk, M. Kamiński, <i>Dynamic response of the steel chimney by the Stochastic perturbation-based Finite Element Method</i> . PCM-CMM-2015 – 3 rd Polish Congress of Mechanics & 21 st Computer Methods in Mechanics September 2015, Gdansk, Poland. |
| 11. | J. Szafran , <i>From full-scale testing of steel lattice towers to stochastic reliability analysis</i> , 40 th Solid Mechanics Conference SOLMECH 2016, Warszawa, 08.2016. |
| 12. | J. Szafran , K. Juszczuk, M. Kamiński, <i>Reliability analysis of structural joints in steel lattice tower – experimental and numerical study</i> - 22 nd International Conference on Computer Methods in Mechanics, Lublin 2017. |
| 13. | J. Szafran , K. Juszczuk, M. Kamiński, <i>Projektowanie wspomagane badaniami na przykladzie stalowych, kratowych, wiez telekomunikacyjnych</i> - III Konferencja Naukowo –Techniczna „Tech-Bud 2017”, Kraków, listopad 2017. |
| 14. | J. Szafran , A. Matusiak, <i>Nowoczesne izolacje natryskowe w budownictwie na przykladzie pianki PUR i polimocznika</i> - III Konferencja Naukowo –Techniczna „Tech-Bud 2017”, Kraków, listopad 2017. |

viii. Zgodnie z §5 pkt. 2: udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji.

- Członek komitetu organizacyjnego IASS Polish Chapters - International Seminar of Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems, Łódź 2011.
- Członek stałego komitetu organizacyjnego IASS Polish Chapters - International Seminar of Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems, Rzeszów 2015.
- Członek stałego komitetu organizacyjnego IASS Polish Chapters - International Seminar of Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems, Olsztyn 2016.
- Członek stałego komitetu organizacyjnego IASS Polish Chapters - International Seminar of Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems, Bydgoszcz 2017.

- Przewodniczący komitetu organizacyjnego IASS Polish Chapters - International Seminar of Lightweight Structures in Civil Engineering - Contemporary Problems, Łódź 2018.
- ix. **Zgodnie z §5 pkt. 7:** członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych.
1. International Association for Shell and Spatial Structures – okres członkostwa od 2013.
 2. Polish Chapters of International Association for Shell and Spatial Structures – od 2014 roku, Sekretarz.
- x. **Zgodnie z §5 pkt. 8:** osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki.

Pracę dydaktyczną rozpocząłem w październiku 2010 r. na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej w Katedrze Konstrukcji Stalowych. Po przekształceniach administracyjnych obecnie pracuję w Katedrze Mechaniki Konstrukcji tego samego wydziału. Zajęcia dydaktyczne które prowadziłem obejmowały większość przedmiotów związanych z teorią konstrukcji, niezawodnością konstrukcji, konstrukcjami metalowymi, a także zagadnieniami technologicznymi w nowoczesnym budownictwie stalowym. W latach swej pracy dydaktycznej prowadziłem wykłady, ćwiczenia laboratoryjne i projektowe oraz laboratoria z niżej wymienionych przedmiotów.

Moim szczególnym wkładem w rozwój zajęć dydaktycznych na Wydziale Budownictwa Politechniki Łódzkiej było wprowadzenie na drugim stopniu studiów przedmiotu „Konstrukcje Ciężnowe”. Przedmiot poza oczywistymi zaletami dydaktycznymi pozwala mi również na prezentacje wyników moich prac badawczych i inspirowania studentów do ich późniejszego podejmowania i ciągłego rozwoju naukowego.

| L.p. | Przedmiot | Zakres prowadzonych zajęć |
|------|---|---------------------------|
| 1. | Bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji - II stopień, studia niestacjonarne | Wykład i laboratorium |
| 2. | Badania i odbiór konstrukcji – II stopień, studia stacjonarne | Wykład i laboratorium |

| | | |
|-----|--|-----------------------|
| 3. | Budownictwo Przemysłowe – <i>II stopień, studia stacjonarne i niestacjonarne</i> | Wykład i projekt |
| 4. | Diagnostyka i renowacja konstrukcji – <i>II stopień, studia stacjonarne i niestacjonarne</i> | Wykład i laboratorium |
| 5. | Konstrukcje Ciężnowe – <i>II stopień, studia stacjonarne</i> | Wykład i laboratorium |
| 6. | Konstrukcje Metalowe – Budownictwo Drogowe – <i>II stopień, studia stacjonarne</i> | Projekt |
| 7. | Konstrukcje Metalowe I – <i>I stopień, studia niestacjonarne</i> | Projekt i wykład |
| 8. | Konstrukcje Metalowe II – <i>I stopień, studia niestacjonarne</i> | Projekt i wykład |
| 9. | Niezawodność konstrukcji – <i>II stopień, studia niestacjonarne</i> | Projekt i wykład |
| 10. | Seminarium Dyplomowe – <i>I i II stopień, studia stacjonarne i niestacjonarne</i> | Wykład |
| 11. | Statistics and Reliability (po angielsku) – <i>I stopień, studia stacjonarne</i> | Projekt i wykład |
| 12. | Techniki wzmacniania konstrukcji – <i>I stopień, studia niestacjonarne</i> | Projekt i wykład |
| 13. | Technologia konstrukcji spawanych – <i>I stopień, studia niestacjonarne</i> | Wykład |
| 14. | Współczesne konstrukcje stalowe – <i>I stopień, studia niestacjonarne</i> | Wykład |
| 15. | Wspomaganie komputerowe projektowania konstrukcji stalowych - <i>I stopień, studia stacjonarne</i> | Laboratorium |
| 16. | Zabezpieczenia konstrukcji przed wpływami środowiska - <i>I stopień, studia stacjonarne</i> | Laboratorium i wykład |

xi. Zgodnie z §5 pkt. 9: opieka naukowa nad studentami

Promotorstwo prac dyplomowych na studiach I stopnia: **11**

Promotorstwo prac dyplomowych na studiach II stopnia: **10**

Recenzje prac dyplomowych na studiach I i II stopnia: **22**

xii. Zgodnie z §5 pkt. 10: opieka naukowa nad doktorantami

Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego: **1**

Maciek Szafran