

Politechnika Warszawska.....
Pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa.....
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,
wybranego do przeprowadzenia postępowania)
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Anna M. Rakoczy.....
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Politechnika Warszawska, WIL.....
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 04.02.2022r....

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych..... w dyscyplinie¹
inżynieria lądowa i transport.....

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia
doktora habilitowanego cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych
pod tytułem: Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in situ i analizą MES
w ocenie poziomu niezawodności eksploatacyjnych, kolejowych stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.
Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.
Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c)
Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.
232 - 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i
obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest
na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

Anna Rakoczy.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

Załącznik 1: Dane wnioskodawcy

Załącznik 2: Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora.

Załącznik 3: Autoreferat przedstawiający opis działalności naukowo-badawczej

Załącznik 4: Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny

Załącznik 5: Kopie publikacji wraz z deklaracją wkładu autorskiego



2022-02-04

Załącznik 3

Autoreferat przedstawiający opis
działalności naukowo-badawczej



Anna M. Rakoczy
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

1. Imię i nazwisko.

Anna Maria Rakoczy

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- Doktor nauk technicznych na Wydziale Inżynierii Lądowej (Doctor of Philosophy degree in Civil Engineering), UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN, Lincoln, Nebraska, USA
 - Rok uzyskania tytułu: 2012
 - Promotor: Professor Andrzej S. Nowak, Ph.D.
 - Tytuł Rozprawy Doktorskiej: “Opracowanie modeli oceny niezawodności dla mostów kolejowych” (“Development of System Reliability Models for Railway Bridges”)
- Magister Inżynier na Wydziale Budownictwo, Uniwersytet Technologiczno – Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
 - Specjalność: Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie,
 - Rok uzyskania tytułu: 2008
 - Promotor: dr inż. Justyna Sobczak-Piastka,
 - Tytuł Pracy Magisterskiej: “Ocena stanu technicznego istniejącego mostu żelbetowego na podstawie badań in-situ i analizy konstrukcji” („Field Study and Analysis of an Existing Reinforced Concrete Bridge”)

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

10.2021 – obecnie	POLITECHNIKA WARSZAWSKA, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów, Zakład Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych Adiunkt
02.2021 - obecnie	INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW Zastępca Redaktora Naczelnego Kwartalnika Roads and Bridges – Drogi i Mosty
10.2020 – 09.2021	INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW, IBDiM, Adiunkt
06.2013 – 07.2020	TRANSPORTATION TECHNOLOGY CENTER, INC., Pueblo, CO, USA Manager Projektów Badawczych (Principal Investigator I)
08.2012 – 05.2013	UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN, Lincoln, NE, USA Pracownik Naukowo-Dydaktyczny (Post-Doctoral Research Associate and Lecturer)
05.2009 - 08.2012	UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN, Lincoln, NE, USA Asystent Naukowy (Graduate Research Assistant)

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).

4.1. Tytuł głównych osiągnięć naukowych

4.1.1 Cykl powiązanych tematycznie 6 artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy pod tytułem:

Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in-situ i analizą MES w ocenie poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.

Temat został przedstawiony w sześciu artykułach naukowych oraz zaprezentowany na siedmiu konferencjach międzynarodowych.

4.1.2 Oryginalne osiągnięcie badawcze pod tytułem:

Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostów kolejowych z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.

Temat został przedstawiony w dwóch artykułach naukowych oraz zaprezentowany na dwóch konferencjach międzynarodowych. W 2018 roku, artykuł opublikowany w ASCE został wyróżniony nagrodą Arthur M. Wellington, American Society of Civil Engineering (ASCE) za międzydyscyplinarne i innowacyjne osiągnięcie w dziedzinie transportu lądowego.

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięć naukowych

4.2.1 Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in-situ i analizą MES w ocenie poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.

A1.	<p>Rakoczy, A.M., (2021), „Fatigue Safety Verification of Riveted Built-up Girder in bending using AREMA, Eurocode, and Probabilistic Method”, Archives of Civil Engineering, Vol. 67, No 4, 2021. pp. 625 – 642; ISSN 1230-2945 Dostępny na stronie: https://ace.il.pw.edu.pl/wp-content/uploads/2021/12/art40_corr.pdf</p> <p>IF_{5lat} = 0,766 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 100%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., metodologia – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R.).</p>
A2.	<p>Rakoczy, A.M., Jivan-Coteti, A., (2021), „Estimation of the current structural reliability level of existing railway bridges and viaducts.” Roads and Bridges - Drogi i Mosty, [S.l.], Vol. 20, No. 3, pp. 289-309, Sep. 2021. ISSN 2449-769X. Dostępny na stronie: https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v20n3p289/615</p> <p>Punktacja MNiSW: 70. Mój udział wynosi 80%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.JC., metodologia – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R. i A.JC.).</p>

<p>A3.</p>	<p>Rakoczy, A.M.; Otter, D.E.; Dick, S.M. (2021), “Analytical and Measured Effects of Short and Heavy Rail Cars on Railway Bridges in the USA.”, MDPI, Applied Sciences Vol. 11, No. 7: 3126I, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.3390/app11073126</p>
	<p>IF_{5lat} = 2,736 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 60%.</p> <p>Wkład Autorski (oficjalny, dostępny na stronie https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3126/htm) koncepcja projektu badania – A.M.R. i D.E.O.; zbieranie danych – A.M.R.; analiza formalna – A.M.R.; dochodzenie – A.M.R., D.E.O. i S.M.D.; metodologia – A.M.R., i S.M.D.; walidacja - A.M.R.; wizualizacja – A.M.R.; przygotowanie draftu – A.M.R.; recenzja i edycja – D.E.O. and S.M.D.)</p>
<p>A4.</p>	<p>Rakoczy, A. M., Otter, D. E., and Dick, S., (2020), “Railroad Bridge Fatigue Life Estimation Using the Probabilistic Method and New Fatigue Resistance for Riveted Details.” Structure and Infrastructure Engineering Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 16, 2020 – Issue 3, pp. 381-393, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1663220</p>
	<p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 70%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R. i D.O., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R., D.O. i S.D., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R. i S.D., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – D.O. i S.D.).</p>
<p>A5.</p>	<p>Rakoczy, A. M., Nowak, A. S., and Dick, S., (2016) “Fatigue Reliability Model for Steel Railway Bridges,” Structure and Infrastructure Engineering, Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 12, 2016 - Issue 12, pp. 1602-1613, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1153664</p>
	<p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 70%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.S.N., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R. i S.D., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.S.N. i S.D.).</p>
<p>A6.</p>	<p>Rakoczy, A. M., and Nowak, A. S., (2014) “Reliability-Based Strength Limit State for Steel Railway Bridge,” Structure and Infrastructure Engineering, Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 10, 2014 - Issue 9, pp. 1–14, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2013.807291</p>
	<p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 80%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.S.N., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R. i A.S.N.).</p>

Ponadto, tematykę „*metody probabilistycznej wspomagannej pomiarami in-situ i analizą MES do określenia poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów*” prezentowałam na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych:

B1.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., “Improved Fatigue Evaluation of Riveted DPG Railroad Bridges Using Reliability Analysis”, AREMA Conference 2020, online, September 2020.
B2.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., “Can 100-year-old steel railroad bridges continue to be used in service?” 2019 IABSE Congress, New York City, NY, September 2019.
B3.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., Dick S. M., “Steel bridge fatigue life estimation using the probabilistic method”, The International Heavy Haul Association (IHHA) Conference 2019, Narvik, Norway, June 2019.
B4.	Rakoczy, A.M. and Otter D., “Member-level Redundancy for Steel Railway Bridge Girders.” Transportation Research Record 2019.
B5.	Rakoczy, A. M. , Nowak, A. S., and Dick, S. M., “Fatigue Reliability Indices for Steel Railway Bridge,” Proceedings of Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington D.C., January 2014.
B6.	Rakoczy, A.M. and Nowak, A.S., “Evaluation of Safety Level for Railway Bridges”, Proceedings of the 11th International Conference on Structural Safety & Reliability – ICOSSAR, June 2013.
B7.	Rakoczy, A.M. and Nowak, A.S., “Fatigue Reliability Assessment of 100-year Old Steel Railway Bridge”, Proceedings of the International Conference of Structural Failures, (Awarie Budowlane), Poland, May 2013.

4.2.2 Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.

A7.	Rakoczy, A. M. , X. Shu, and D. Otter. (2017), “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation for short Railway Bridges.” Transportation Research Record, No. 2642: Structures, Print ISSN: 0361-1981, pp. 127-138, Washington D.C., Dostępny na stronie: https://doi.org/10.3141/2642-14
	IF _{5lat} = 1,686 Punktacja MNiSW: 40. Mój udział wynosi 60%. Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R. i X.S., zbieranie danych – A.M.R. i D.O., analiza formalna – A.M.R. i X.S., dochodzenie – A.M.R. i D.O., metodologia – A.M.R. , X.S. i D.O., walidacja – A.M.R. , wizualizacja – A.M.R. , przygotowanie draftu – A.M.R. i X.S., recenzja i edycja – D.O.).
A8.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., Malone, J. J., and Farritor, S., (2016), “Railroad Bridge Condition Evaluation Using Onboard Systems,” ASCE Journal of Bridge Engineering, ISSN (print): 1084-0702, ISSN (online): 1943-5592, Vol. 21, Issue 9 - September 2016. ASCE 2018 Arthur M. Wellington Prize. Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000881
	IF _{5lat} = 3,167 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 60%. Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R. i D.O., zbieranie danych – A.M.R. , analiza formalna – A.M.R. i D.O., dochodzenie – A.M.R. , D.O., J.J.M. i S.F., metodologia – A.M.R. , D.O., J.J.M. i S.F., walidacja – A.M.R. , wizualizacja – A.M.R. , przygotowanie draftu – A.M.R. i D.O., recenzja i edycja – J.J.M. i S.F.).

Ponadto, tematykę „nowatorskiej metody oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych” prezentowałam na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych:

B8.	Rakoczy, A. M. , and Otter, D. E., “Vehicle-Based Detection of Changes in Bridge Condition”, AREMA Conference 2015, Minneapolis, October 2015.
B9.	Rakoczy, A. M. , X. Shu, and D. Otter. “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation for short Railway Bridges.” Proceedings of Transportation Research Board 96rd Annual Meeting, Washington D.C., January 2017.

4.2.3 Podsumowanie nauko-metryczne.

Sumaryczna liczba punktów za publikacje po uzyskaniu stopnia doktora, brana pod uwagę przy ocenie parametrycznej jednostki naukowej wg MNiSW, wynosi **710** pkt., z czego mój udział wynosi **520** pkt. Sumaryczny IF(5-letni) to 18,954 natomiast IF(w roku wydania) to 12,618. Więcej szczegółów dotyczących informacji nauko-metrycznych znajduje się w załączniku 4.

Tablica 1. Cytowania publikacji wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Cytowania Web of Science	Cytowania Scopus	Cytowania Google Scholar
A1	2021	Archives of Civil Engineering			
A2	2021	Roads and Bridges - Drogi i Mosty			
A3	2021	MDPI, Applied Sciences - Basel			
A4	2020	Structure and Infrastructure Engineering	4	4	5
A5	2016	Structure and Infrastructure Engineering	8	10	12
A6	2014	Structure and Infrastructure Engineering	4	5	7
A7	2017	Transportation Research Record	1	1	3
A8	2016	ASCE Journal of Bridge Engineering	0	1	4
Suma:			17	21	31

Tablica 2. Impact Factor publikacji wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Punkty MNiSW	IF (w roku publikacji)	IF 5 lat
A1	2021	Archives of Civil Engineering	100	0,8	0,766
A2	2021	Roads and Bridges - Drogi i Mosty	70		
A3	2021	MDPI, Applied Sciences - Basel	100	2,679	2,736
A4	2020	Structure and Infrastructure Engineering	100	3,087	3,533
A5	2016	Structure and Infrastructure Engineering	100	1,565	3,533
A6	2014	Structure and Infrastructure Engineering	100	1,454	3,533
A7	2017	Transportation Research Record	40	0,912	1,686
A8	2016	ASCE Journal of Bridge Engineering	100	2,121	3,167
Suma:			710	12,618	18,954

4.3. Omówienie celu naukowego prac i osiągniętych wyników cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, pt.: „Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in-situ i analizą MES do określenia poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.”

4.3.1 Skróty

AAR - Association of American Railroads

AREMA - American Railway Engineering and Maintenance of Way Association

CDF – Cumulative Distribution Function, dystrybuanta

COV – Coefficient of Variation, współczynnik zmienności

HAL - Heavy Axle Load, duże obciążenia osi

HTL – High Tonnage Loop, pętla badawcza o wysokim tonażu

FAST - Facility for Accelerated Service Testing, laboratorium badawcze zlokalizowane w TTCI

IFC – Instrumented Freight Car, wagon towarowy z urządzeniami do pomiaru geometrii toru

MGT – ang. Million Gross Tons; Million U.S Ton brutto

MGTonnes, MGMT– ang. Million Gross Tonnes (metric tons); mln ton brutto

Most typu TPG (Through Plate Girder) – zbudowany z dwóch dźwigarów blachownicowych, oraz systemu belek poprzecznych i podłużnych stanowiący ruszt, na którym bezpośrednio opierają się mostownice (o tzw. otwartym pomoście).

Most typu DPG (Deck Plate Girder) - zbudowany z dwóch dźwigarów blachownicowych, na których bezpośrednio opierają się mostownice (o tzw. otwartym pomoście).

TTCI - Transportation Technology Center Inc. zlokalizowane w pobliżu Pueblo w stanie Kolorado, USA

4.3.2 Wstęp

Po uzyskaniu tytułu Doktora na University of Nebraska-Lincoln (UNL), przez pierwszy rok (08.2012 – 06.2013) pracowałam na stanowisku naukowo-dydaktycznym. Następnie w 2013 rozpoczęłam pracę w Transportation Technology Center Inc. (TTCI), Pueblo, Kolorado, gdzie kontynuowałam, rozpoczęte podczas przygotowywania pracy doktorskiej, badania dotyczące modelu niezawodności opracowanego dla stalowych konstrukcji mostów kolejowych. Początkowo zajmowałam stanowisko starszego specjalisty, po 3 latach zostałam mianowana kierownikiem projektów badawczych. Moje badania naukowe w TTCI kontynuowałam w ramach programu badawczego: „Prognozowanie przydatności do użytkowania mostów kolejowych pod dużymi obciążeniami”. Opracowałam nowe parametry wytrzymałości zmęczeniowej dźwigarów nitowanych, co pozwoliło na udoskonalenie koncepcji metody probabilistycznej i dostarczyło dodatkowych informacji o przydatności do użytkowania konstrukcji mostów. Wyniki testów in-situ potwierdziły moją tezę, że metoda probabilistyczna daje lepsze oszacowanie przydatności do użytkowania

mostów niż inne metody analityczne. W dalszym etapie moich prac badawczych opracowałam autorskie oprogramowanie do obliczania skumulowanych cykli zmęzeniowych w konstrukcji mostów (DPG Fatigue software) oraz określenia prawdopodobieństwa powstawania rysy zmęczeniowej. Ten program analityczny umożliwia oszacowanie przydatności do użytkowania mostów kolejowych oraz ułatwia podejmowanie decyzji dotyczących priorytetyzacji napraw i wymiany mostów. Rezultatem moich prac badawczych powstałych w TTCI, USA są publikacje stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego.

4.3.3 Motywacja

Problem starzenia się mostów i wiaduktów kolejowych oraz ich degradacja stanowi ważne zagadnienie nie tylko w Ameryce Północnej, ale także w wielu krajach europejskich. Dane inwentaryzacyjne w Europie z 2005 roku wskazują ponad 220 000 obiektów kolejowych - ponad 35 procent tych mostów i wiaduktów ma więcej niż 100 lat, a tylko 11 procent jest eksploatowanych krócej niż 10 lat. Dominują krótkie przęsła, 62 procent ma 10 metrów lub mniej, a tylko 5 procent ma rozpiętość większą niż 40 metrów. Dla porównania w Ameryce Północnej ponad 50 procent mostów kolejowych z blachownicami stalowymi (DPG) (14 000 przęseł), obecnie eksploatowanych, ma ponad 100 lat, a najstarsze mosty mają blisko 150 lat. W związku z tym rośnie potrzeba opracowania skutecznych procedur oceny stanu technicznego i prognozowania przydatności do dalszej eksploatacji starzejących się konstrukcji mostowych.

Prognozowanie przydatności do użytkowania kolejowych obiektów inżynierskich, zaprojektowanych według schematów obciążenia obowiązujących w czasie ich projektowania, a użytkowanych obecnie w nowych warunkach eksploatacyjnych zwiększonego nacisku osi i prędkości pociągów towarowych, jest istotne przy podejmowaniu decyzji o ich dalszej eksploatacji. Dlatego też, niezwykle ważne jest opracowanie algorytmu określającego poziom niezawodności konstrukcji nośnej istniejących mostów i wiaduktów kolejowych w obecnych i w przyszłych warunkach eksploatacyjnych.

Określenie poziomu niezawodności istniejących mostów i wiaduktów kolejowych można przeprowadzić z różnymi poziomami dokładności i złożoności, od częściowych współczynników bezpieczeństwa do pełnej analizy probabilistycznej. Obecnie stosowane procedury oceny kolejowych obiektów inżynierskich są często nadmiernie uproszczone i nie uwzględniają zmienności obciążeń i parametrów nośności konstrukcji. Uproszczone obliczenia i zachowawcze założenia często prowadzą do niedoszacowania nośności, a przez to, zaniżonej oceny kolejowych obiektów inżynierskich w kontekście dalszej eksploatacji. Wiele dostępnych procedur oceny kolejowych obiektów inżynierskich opiera się na podejściu deterministycznym lub pół-probabilistycznym (tj. z wykorzystaniem częściowych współczynników bezpieczeństwa). W obu przypadkach wpływ obciążenia jest określany na podstawie wyników analizy statycznej konstrukcji, przy użyciu norm projektowych, które nie uwzględniają informacji o stanie technicznym konstrukcji z badań in-situ. Metody te są często uważane za zachowawcze i dlatego też rekomenduje się nowe podejście, wykorzystujące metodę niezawodności konstrukcji, która uwzględnia niepewności zmiennych.

Motywacją prac badawczych przeprowadzonych przeze mnie w ostatnich 10 latach i opublikowanych w recenzowanych czasopismach jest opracowanie i przedstawienie zastosowania metody probabilistycznej do oceny poziomu niezawodności istniejących mostów i wiaduktów kolejowych w aspekcie ich dalszej eksploatacji. To podejście bazuje na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia awarii rozpatrując poziom niezawodności elementów konstrukcji oraz całego rozpatrywanego obiektu. Ponadto, dane uzyskane z monitorowania stanu konstrukcji (ang. Structural Health Monitoring, SHM) przy użyciu urządzeń do wykrywania uszkodzeń (instrumental damage detection algorithms) mogą znacznie usprawnić podjęcie decyzji o przyszłej eksploatacji.

Badania na nitowanych stalowych przęsłach mostów kolejowych DPG zostały przeprowadzone i przeanalizowane pod kątem wytrzymałości zmęczeniowej i bezpiecznej eksploatacji w ramach programu badawczego sponsorowanego przez AAR. Analizy te potwierdziły, że uproszczone obliczenia i zachowawcze założenia prowadzą do znacznego obniżenia szacowanego bezpieczeństwa konstrukcji. Obecne metody oceny zmęczenia zostały opracowane na podstawie niskiego prawdopodobieństwa zmęczenia, co oznacza, że nawet jeśli element konstrukcji mostu osiągnie granicę zmęczenia, konstrukcja prawdopodobnie będzie zdalna do dalszej eksploatacji pod warunkiem częstszych inspekcji. Amerykańska norma, AREMA Manual for Railway Engineering, rozdział 15, zawiera rekomendacje oceny zmęczenia opartą na krzywych S-N opracowanych przy założeniu 95-procentowego poziomu ufności dla 97,5 procent przeżywalności zastosowanej do danych testowych wykonanych na próbkach w pełnej skali. Również w normach europejskich trwałość mostu określa się najczęściej z poziomem ufności równym 95 procent. Dlatego też, gdy nośność osiągnie granicę, uszkodzenia mogą wystąpić w zaledwie 5 procentach elementów konstrukcyjnych mostu, np. pęknięcia w złączach, nitach, śrubach sprężające i pęknięcia w płycie betonowej itp. W przypadku, gdy ocena zmęczeniowa wykazałaby podwyższone prawdopodobieństwo, że inicjacja i propagacja pęknięć zmęczeniowych może mieć miejsce w niektórych krytycznych elementach rzeczywistej konstrukcji, możemy spodziewać się dużego ryzyka awarii budowlanej, a w konsekwencji zagrożenia bezpieczeństwa jego użytkowników.

Weryfikacja zmęczenia istniejących nitowanych mostów stalowych przy użyciu aktualnych zaleceń Eurokodu i AREMA opierają się na podobnych krzywych S-N, które przedstawiają liczbę cykli do zniszczenia w funkcji stałych zakresów naprężeń dla różnych kategorii detali. Na podstawie dwóch przykładów przedstawionych w autorskim artykule (Rakoczy, A.M., 2021, [A1]) stwierdzono, że zapisy podane w Eurokodzie są bardziej konserwatywne dla zakresu naprężeń poniżej 48 MPa (7 ksi), podczas gdy dla wyższych zakresów naprężeń weryfikacja zmęczenia jest podobna dla obu norm.

W przypadku konstrukcji nitowanych, w których dźwigary są zbudowane z wielu elementów, bezpośrednie konsekwencje pęknięcia zmęczeniowego mogą nie być tak poważne, jak w przypadku konstrukcji spawanych. Nitowane blachownice i połączenia mają większą niezawodność wynikającą z nadmiarowej nośności równoległego systemu wielu elementów. Dlatego też, jeśli jeden element ulegnie awarii, zwykle nośność pozostałych elementów jest wystarczająca do redystrybucji sił wewnętrznych. Element z zainicjowanym pęknięciem zwykle może utrzymać stateczność wystarczająco długo, do momentu wykrycia pęknięcia

podczas rutynowej inspekcji, umożliwiając tym samym podjęcie działań naprawczych, zanim rozwiną się poważniejsze uszkodzenia. Jeżeli nie ma konieczności podjęcia natychmiastowych działań naprawczych, prawdopodobny czas między pierwszym wykrywalnym pęknięciem a niekontrolowaną propagacją powinien być uwzględniony przy ustalaniu częstotliwości inspekcji.

Prawdopodobieństwo uszkodzenia zmęczeniowego elementu konstrukcji pozwala na bardziej kompleksowe oszacowanie dalszego bezpiecznego okresu użytkowania przęsła, które zależy od kategorii zmęczeniowej i obciążenia eksploatacyjnego dla różnych poziomów bezpieczeństwa (prawdopodobieństwo zainicjowania pęknięć zmęczeniowych). W okresie eksploatacji obiektu mostowego, skumulowane zmęczenie wzrasta z czasem w różnym tempie, w zależności od natężenia ruchu (ilość cykli), ciężaru wagonów i nacisków na oś (amplituda naprężenia). Wszystkie te czynniki należy określić, aby uzyskać dokładne wyniki analizy niezawodności. Metodą probabilistyczną szacuje się prawdopodobieństwo zapoczątkowania pęknięcia zmęczeniowego jako funkcji skumulowanej liczby cykli w danym zakresie amplitudy naprężenia. Analiza niezawodności może być wykorzystana do oszacowania pozostałego okresu użytkowania mostu o różnych poziomach bezpieczeństwa. Metodę można również zastosować do bardziej złożonych konstrukcji, takich jak mosty typu TPG z pomostem otwartym oraz kratownice.

W trakcie eksploatacji, na konstrukcję mostów i wiaduktów wpływa wiele procesów degradacyjnych i oddziaływań środowiskowych, które powodują, że ich poziom niezawodności i trwałość maleje z czasem. Dlatego też, poziom niezawodności konstrukcji powinien być określony biorąc pod uwagę stan techniczny konstrukcji i przewidywany okres eksploatacji. Następnie, poziom niezawodności istniejących konstrukcji może być określony w oparciu o teorię prawdopodobieństwa. Algorytm oceny przydatności konstrukcji do użytkowania, który wykorzystuje metody probabilistyczne i jest uzupełniany przez szczegółowe inspekcje techniczne konstrukcji (dokładna inwentaryzacja stanu istniejącego), zapewnia dokładniejsze prognozowanie i daje lepsze podstawy do podejmowania decyzji finansowych o zakresie, kosztach i terminach modernizacji, renowacji lub wymiany tych konstrukcji.

Metoda probabilistyczna może być stosowana przy ocenie uszkodzeń i szacowaniu poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. Metoda oceny poziomu niezawodności konstrukcji, służąca do tego celu, wymaga nie tylko informacji z jakim prawdopodobieństwem można spodziewać się uszkodzenia, ale także wagi jego konsekwencji. Na przykład, jeśli ze wstępnej analizy określono niedobór nośności elementu konstrukcji, to czy powoduje to konsekwencję o istotnym znaczeniu? Skutki przekroczenia nośności można wyrazić w czterech kategoriach: katastroficznej, krytycznej, marginalnej i nieistotnej. Dlatego też całkowite ryzyko uszkodzenia konstrukcji należy mierzyć prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia, możliwymi konsekwencjami spowodowanymi przez to zdarzenie oraz kryteriami społeczno-ekonomicznymi, które należy wziąć pod uwagę przy określaniu docelowego poziomu niezawodności.

Metoda probabilistyczna (niezawodnościowa) przy użyciu funkcji stanu granicznego określa granicę między akceptowalnym i nieakceptowalnym stanem konstrukcji. Przez

pojęcie konstrukcji inżynierskiej rozumiemy układ wielu współpracujących ze sobą elementów, stąd poziom jej niezawodności zależy nie tylko od poziomu niezawodności każdego z nich, ale także od sposobu, w jaki z sobą współpracują. Margines bezpieczeństwa wynikający z równania stanu granicznego można przedstawić na wiele sposobów, ale podstawowe założenie jest takie, że konstrukcja jest bezpieczna, gdy nośność jest większa niż oddziaływanie (obciążenie), jak przedstawiono w równaniach (1) i (2):

$$g(\text{Nośność}, \text{Oddziaływanie}) \geq 0 \rightarrow g(R, Q) \geq 0 \quad (1)$$

$$\text{Nośność}(R) \geq \text{Oddziaływanie}(Q) \quad (2)$$

Aby móc zastosować metodę probabilistyczną, należy określić zmienność parametrów, które wpływają na oddziaływanie i nośność konstrukcji. W przypadku określania poziomu niezawodności istniejących mostów i wiaduktów kolejowych, zaawansowane analizy statystyczne, takie jak metoda probabilistyczna, są używane, aby uwzględnić zmienność parametrów nośności (związane z parametrami materiału, geometrii oraz modelu analitycznego) i obciążenia w czasie.

Stany graniczne nośności są potencjalnymi formami uszkodzenia konstrukcji, związanymi głównie ze zniszczeniem materiałowym lub utratą stateczności konstrukcji. Stan graniczny nośności można zapisać w ogólnej postaci równania (2). Stany graniczne użyteczności to te warunki, które są związane ze stopniowym pogarszaniem się stanu technicznego konstrukcji, a tym samym komfortu użytkownika lub kosztami utrzymania. Najczęstsze stany awarii użytkowej obejmują nadmierne ugięcie, drgania lub trwałe odkształcenie. Stany graniczne użyteczności można zapisać w postaci równania (3):

$$\text{rzeczywiste zachowanie} \leq \text{dopuszczalne zachowanie} \quad (3)$$

Metody probabilistyczne stosowane w projektowaniu lub ocenie konstrukcji opierają się na pojęciu wskaźnika niezawodności. Po opracowaniu parametrów statystycznych obciążenia i nośności można obliczyć wskaźnik niezawodności, β , za pomocą równania (4):

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (4)$$

gdzie: $-\Phi^{-1}$ jest odwrotnością dystrybucji rozkładu normalnego standaryzowanego (rozkładu Gaussa). Powyższe równanie można przekształcić na prawdopodobieństwo awarii, P_f (prawdopodobieństwo zachowania niepożądanego). Stany graniczne użyteczności mają zazwyczaj mniej restrykcyjne wymagania dotyczące wskaźnika niezawodności niż stany graniczne nośności, ponieważ nie dotyczą bezpośredniego bezpieczeństwa konstrukcji.

Przy takim podejściu wskaźnik niezawodności jest ograniczony do uszkodzenia jednego elementu w jednym stanie awarii, jest jedną funkcją stanu granicznego. Najprostszą metodą obliczania wskaźnika niezawodności jest metoda drugiego momentu pierwszego rzędu. Metoda ta uwzględnia liniowe funkcje stanu granicznego lub ich liniowe przybliżenie za pomocą szeregu Taylora. Metody symulacji matematycznej (np. Metoda Monte Carlo) stosuje się w przypadkach, gdy obliczenie wskaźnika niezawodności metodami uproszczonymi jest zbyt skomplikowane lub niemożliwe, na przykład w przypadku, w których wiele zmiennych losowych jest powiązanych za pomocą równania nieliniowego. W takich sytuacjach metody symulacji matematycznej mogą być przydatne do oszacowania

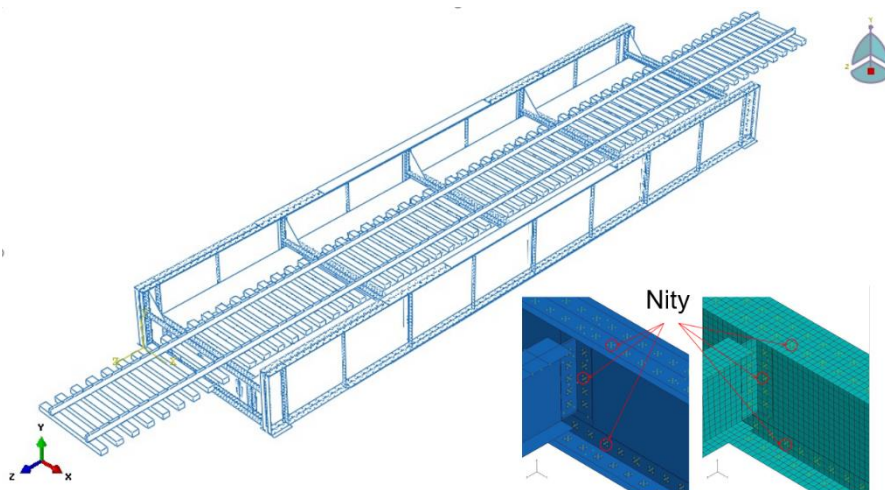
wskaźnika niezawodności bez utraty dokładności. Ponadto, procedura ta może być stosowana do liniowych i nieliniowych funkcji stanu granicznego. Metoda Monte Carlo zapewnia skuteczny sposób określenia wskaźnika niezawodności i prawdopodobieństwa awarii.

4.3.4 Zastosowanie metody probabilistycznej do określenia poziomu niezawodności stanu granicznego nośności

Jednym z typowych mostów kolejowych w USA z początku XX wieku jest most typu TPG o konstrukcji stalowej, nitowanej z otwartym pomostem. Ten rodzaj konstrukcji może być podatny na nagłą awarię, gdyż elementy i ich połączenia stanowią układ szeregowy. W takim systemie awaria jednego elementu może prowadzić do awarii całego obiektu. W autorskim artykule (Rakoczy i Nowak 2013, [A6]) opracowano identyfikację podstawowych parametrów obciążenia mostów kolejowych w USA i nośności oraz przedstawiono procedury analityczne do modelowania zachowania konstrukcji. Do zbadania nośności elementów konstrukcyjnych ocenianego obiektu wykorzystano metodę elementów skończonych (MES). Opracowano trójwymiarowy model konstrukcyjny (Rys. 1) w celu określenia rozkładu naprężeń w elementach i połączeniach. Na podstawie wyników analizy MES obliczono wskaźniki niezawodności dla elementów krytycznych.

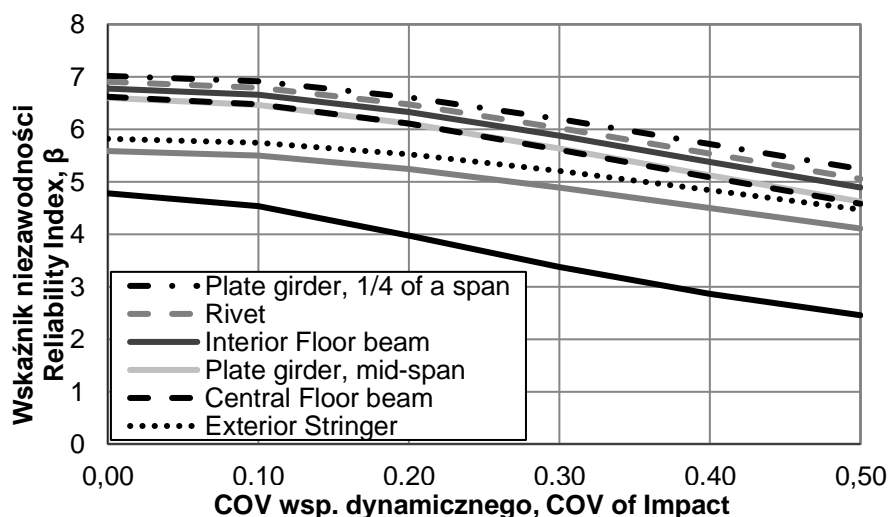
Model MES został wykorzystany do zbadania zachowania i wyęźżenia elementów konstrukcyjnych obiektu pod obciążeniem projektowym. Do modelowania podłużnic, belek poprzecznych, dźwigarów, kątowników łączących i blach węzłowych wykorzystano elementy powłokowe o czterech stopniach swobody na węzeł. Elementy trójwymiarowe (solid) z ośmiowęzłową bryłą, posłużyły do modelowania szyn, podkładów kolejowych, pokładu drewnianego i podsypki. Do utworzenia połączenia nitowanego zastosowano scalenia „powierzchnia-powierzchnia”, jak pokazano na Rys. 1. Ponadto, wprowadzono ograniczenie mechaniczne: przemieszczenie i obrót zostały przypisane do warunków brzegowych na obu końcach dźwigarów.

Wykorzystując parametry statystyczne obciążenia, rozstaw osi wagonów oraz technikę symulacji Monte Carlo, wygenerowano losowe obciążenie, które następnie przyłożono do konstrukcji mostu. Widma obciążenia wagonów zostały przypisane do nacisku na oś poszczególnych wagonów lub lokomotyw. Zaobserwowano, że różnice w obciążeniu osi występowały głównie między pierwszym a drugim wózkiem wagonu, a różnica między obciążeniami osi w tym samym wózku była minimalna. W związku z tym generowano i powtarzano dwie siły osi dla każdego wózka. Symulowano obciążenie nacisku osi zgodnie z rozkładem i parametrami statystycznymi. Dodatkowo, zastosowano współczynnik dynamiczny zwiększający obciążenie statyczne o średnio 10% przy założonej zmienności tego współczynnika w przedziale od 15% do 50%.



Rys. 1 Model MES rozpatrywanego mostu TPG wykorzystany w analizie niezawodności

W analizie uwzględniono naprężenia w głównych elementach konstrukcji mostu. Wskaźnik niezawodności obliczono dla ośmiu krytycznych lokalizacjach konstrukcji. Przedstawiono parametry statystyczne obciążenia i wytrzymałości wraz z obliczeniem wskaźnika niezawodności. Wyniki analizy wykazały, że poziom współczynnika niezawodności, β wynosi od 4,0 do 6,0 dla głównych elementów konstrukcji (Rys. 2). Kątowniki w połączeniu dźwigara z belką poprzeczną mają nieco niższe wartości β od 2,5 do 4,3. Natomiast, na połączeniach dwukątownikowych stwierdzono najbardziej krytyczne koncentracje naprężeń. Zaobserwowano, iż materiał wokół otworów oraz same trzpienie nitów mogą ulec pęknięciu i uszkodzeniu zwłaszcza pod obciążeniem cyklicznym co zostało potwierdzone w kolejnych pracach badawczych.



Rys. 2. Wskaźniki niezawodności elementów konstrukcji mostu a zmienność oddziaływania dynamicznego.

Głównym osiągnięciem tych badań jest opracowanie modelu niezawodności dla konstrukcji mostów kolejowych. Badania obejmowały opracowanie modeli obciążenia i nośności konstrukcji stalowej, w tym parametrów statystycznych zmiennych i ich rozkładu w postaci dystrybuanty (CDF). Podejście to zostało zademonstrowane na obiekcie mostowym o

układzie szeregowym, w którym awaria jednego elementu może prowadzić do awarii całego systemu. Analiza potwierdziła, że połączenia były najsłabszym ogniwem w układzie konstrukcyjnym. Analiza MES wykazała, że dwukątownikowe połączenie podłużnicy z belką poprzeczną wykazuje pewien stopień sztywności obrotowej, który powoduje powstawanie naprężeń wywołanych momentem zginającym. To połączenie jest zwykle konstruowana za pomocą dwóch kątowników i jest uważana za proste połączenia ścinane na etapie projektowania, które nie przenosi momentu. Natomiast połączenie to przenosi moment zginający a tym samym jest podatne na awarię, a w szczególności na uszkodzenia zmęczeniowe. Dlatego też w dalszych rozważaniach należy uwzględnić ocenę zmęczeniową tych połączeń z wykorzystaniem metody niezawodności.

Obliczenie maksymalnych naprężeń dla różnych elementów w moście wykazało, że rzeczywiste obciążenie powodowało naprężenia, które mieściły się w zakresie od 30 do 50 procent granicy plastyczności. Wynika to z faktu, że rozpatrywany obiekt był projektowany na cięższy model obciążenia projektowego, a zatem wymagany przekrój jest zawyżony. Analiza niezawodnościowa głównych elementów wykazała, że wskaźniki niezawodności były powyżej 4,0 nawet dla wysokiego współczynnika dynamicznego dla głównych elementów konstrukcji i nie powinny stanowić zagrożenia awarią w dalszej eksploatacji. Dzieje się tak, ponieważ obciążenie projektowe dla krótkich mostów jest konserwatywne w porównaniu z obecnymi warunkami ich eksploatacji. Wskaźnik niezawodności dla połączeń dwukątownikowych wynosi 2,5 przy współczynniku dynamicznym o zmienności (COV) 50%. Była to konsekwentnie najniższa wartość spośród wszystkich badanych komponentów, co oznacza, że połączenie dwukątownikowe jest krytycznym elementem (najsłabszym ogniwem) w całej konstrukcji.

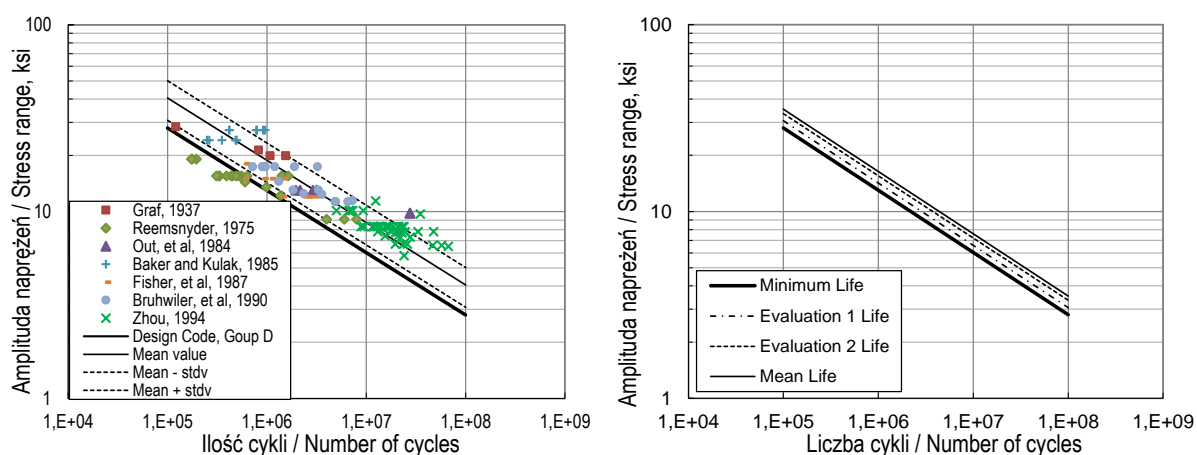
4.3.5 Zastosowanie metody probabilistycznej do określenia poziomu niezawodności połączeń w stanie granicznym zmęczenia – most typu TPG

W oparciu o badania, o których mowa w artykule (Rakoczy i Nowak 2013, [A6]), przeprowadzono analizę zmęczeniową wcześniej rozpatrywanej konstrukcji mostu. Podstawowym podejściem do szacowania trwałości zmęczeniowej elementu konstrukcji jest wykorzystanie krzywych S-N. Krzywe S-N definiują liczbę cykli obciążeń prowadzących do uszkodzenia detalu konstrukcyjnego w danym zakresie naprężeń o stałej amplitudzie. Każda krzywa S-N reprezentuje kategorię detalu konstrukcyjnego. Normy projektowe w USA przedstawiają siedem krzywych S-N dla siedmiu kategorii połączeń, zdefiniowanych jako kategorie detali A, B, B', C, D, E i E'. Krzywe S-N są oparte na dolnych granicach dużej liczby danych z pełnowymiarowych testów zmęczeniowych przy założeniu 95-procentowego poziomu ufności dla 97,5 procent przetrwania. Dlatego też, detal konstrukcyjny optymalnie zaprojektowany z wykorzystaniem krzywych S-N i faktycznie poddany cyklom naprężeń zakładanych w normie ma 2,5% prawdopodobieństwa pęknięcia w określonym czasie eksploatacji.

Most typu TPG zawiera głównie dwie kategorie detali zmęczeniowych. Są to połączenia nitowane, takie jak nitowane połączenia dwukątownikowe dla którego przyjmuje się kategorię D i elementy z kształtowników walcowanych, takie jak podłużnice i belki poprzeczne, które można zaliczyć do kategorii A. W badaniach skupiono się na detalach

kategori D, ponieważ mają one mniejszą wytrzymałość zmęczeniową a tym samym mogą szybciej ulec awarii.

Zgromadzone wyniki testów laboratoryjnych na próbkach testowanych pod obciążeniem cyklicznym o stałej amplitudzie wykazały szeroki zakres zmienności. Oznacza to, że wytrzymałość zmęczeniową należy traktować jako zmienną losową. Jeżeli parametry obciążenia i wytrzymałości materiałów są zmiennymi losowymi, nośność konstrukcji należy określać przy użyciu metody niezawodności. Celem autorskiego artykułu (Rakoczy, Nowak, Dick 2016, [A5]) było opracowanie modelu niezawodnościowego dla stanu granicznego zmęczenia przedstawionego na stalowym moście kolejowym typu TPG. Zaprezentowano wyniki analizy niezawodności dla różnych okresów eksploatacji od 10 do 100 lat oraz trzech przypadków warunków eksploatacyjnych. W każdym z rozpatrywanych przypadków obciążenia, najniższe wskaźniki niezawodności uzyskano dla połączeń dwukątownikowych podłużnicy z belką poprzeczną, co oznacza, że element ten ma największe prawdopodobieństwo rozwoju pęknięć zmęczeniowych w całej konstrukcji mostu. Rys. 3 (po lewej) przedstawia wyniki próbek laboratoryjnych kategorii D badanych w zakresie naprężeń o stałej amplitudzie, co potwierdza znaczna zmienność danych.



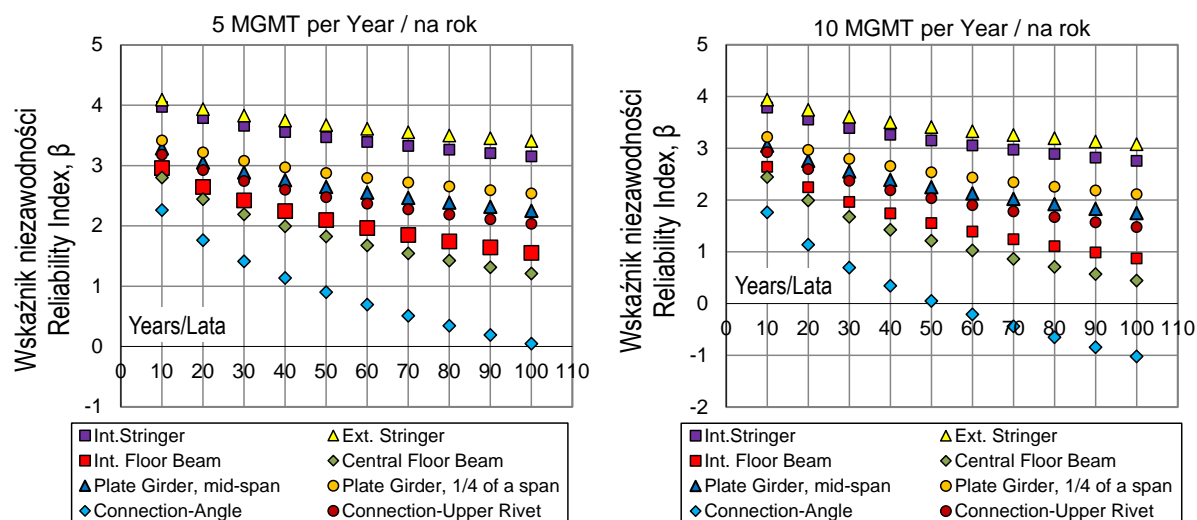
Rys. 3 Dane S-N dla kategorii D (po lewej) i S-N dla kategorii D opracowane na podstawie współczynnika RR z raportu NCHRP 721 (po prawej)

Na podstawie zależności S-N, dla danego naprężenia ekwiwalentnego, parametr uszkodzenia zmęczeniowego można wyrazić w postaci pierwiastka sześciennego z liczby cykli razy naprężenie do potęgi trzeciej ($S_e^3 N$)^(1/3) oraz reguły Palmgren'a-Miner'a. W związku z tym na wykresie probabilistycznym wykreślono funkcję rozkładu skumulowanego (CDF) wytrzymałości zmęczeniowej ($S_e^3 N$)^(1/3) dla kategorii D i na jej podstawie opracowano parametry statystyczne. Wartość średnia oraz wartość średnia +/- 1 odchylenie standardowe są również wykreślone na Rys. 3 (po lewej). Między liniami kreskowymi, (które są wartością średnią +/- 1 odchylenie standardowe) znajduje się około 70% wszystkich punktów danych co jest istotne statystycznie (statistically significant). Dla porównania, wykres przedstawiony na Rys. 3 po prawej stronie został opracowany na podstawie współczynnika nośności (RR) z raportu NCHRP 721.

Parametry statystyczne dla obciążenia zostały opracowane na podstawie statystyk podanych w literaturze. Ważnym wkładem tych badań było opracowanie modelu

symulacyjnego dla efektu obciążenia taborem kolejowym przejeżdżającym po moście. Zdefiniowano pociąg jednostkowy, który był zbudowany z 200 wagonów, a następnie wygenerowany 5000 razy w celu określenia rozkładu statystycznego i charakterystycznych parametrów statystycznych.

Dla różnych elementów i połączeń rozpatrywanej konstrukcji wygenerowano widmo naprężeń w czasie oraz zastosowano algorytm zliczania cykli przypadkowych przy użyciu metody „Rainflow”. Trwałość zmęczeniową elementów konstrukcyjnych oszacowano na podstawie krzywych S-N, które przedstawiają liczbę cykli do zniszczenia w funkcji stałej amplitudy naprężeń. W analizie niezawodności zarówno obciążenie, jak i siły wewnętrzne potraktowano jako zmienne losowe. Odpowiedź elementów i połączeń mostu była symulowana za pomocą linii wpływu opracowanych przy pomocy analizy MES i algorytmu napisanego w oprogramowaniu Mat Lab. Prawdopodobieństwo zniszczenia ze względu na zmęczenie obliczono przy użyciu zoptymalizowanego współczynnika uszkodzeń jako funkcji stanu granicznego oraz rozkładu statystycznego obciążenia i nośności. Zmęczenie rozpatrywano w ośmiu krytycznych miejscach mostu: w połowie rozpiętości wewnętrznych i zewnętrznych belek poprzecznych, w połowie rozpiętości wewnętrznych i zewnętrznych podłużnic, dźwigarów głównych w środku i ćwiartce przęsła oraz w połączeniach dwukątownikowych podłużnicy z belką poprzeczną. Całkowite uszkodzenia elementów i połączeń obliczono w oparciu o statystyczny model obciążenia, który został opracowany dla pociągów towarowych w USA. Wyniki analizy przedstawione na Rys. 4 dają szersze spojrzenie na określenie trwałości zmęczeniowej typowych mostów kolejowych poddanych obciążeniom cyklicznym.



Rys. 4 Wskaźnik niezawodności w czasie w latach dla rozpatrywanego mostu w różnych warunkach eksploatacyjnych

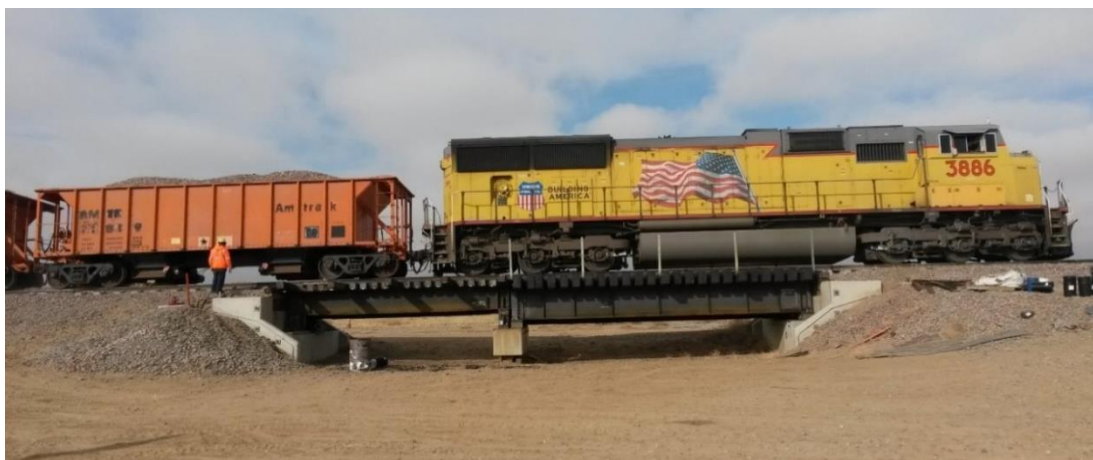
Wyniki analizy niezawodności dla stanu granicznego zmęczenia przedstawiono dla różnych okresów eksploatacji i trzech przypadków warunków obciążeń eksploatacyjnych. W każdym z rozpatrywanych przypadków obciążenia najniższy wskaźnik niezawodność uzyskano dla połączenia dwukątownikowego podłużnicy z belką poprzeczną. Badanie to potwierdziło, że w mostach nitowanych inicjacja pęknięcia zmęczeniowego w elementach

głównych jest mało prawdopodobna, ponieważ obciążenia cykliczne nie powodują cykli naprężeń o amplitudzie przekraczających szacowaną granicę zmęczenia elementów nitowanych (kategoria D). Analiza wykazała, że połączenia są najsłabszym ogniwem w rozpatrywanym układzie konstrukcyjnym. Projektanci konstrukcji i inspektorzy mostów kolejowych już wcześniej wykryli ten problem, a przedstawiona w niniejszym opracowaniu analiza potwierdziła ustalenia praktyczne i przedstawia podstawy naukowe tego zagadnienia. Dlatego, aby zapewnić bezpieczne eksploataowanie konstrukcji mostu typu TPG, zaleca się wykonywanie okresowych przeglądów ze szczególnym uwzględnieniem połączeń. Zwłaszcza, jeśli obserwuje się uszkodzenia zmęczeniowe w połączeniach dwukątownikowych lub w nitach, należy wymienić uszkodzone części.

Stosując metodę niezawodności można zidentyfikować krytyczne elementy konstrukcji mostu w celu bardziej szczegółowej inspekcji, a częstotliwość inspekcji można zaplanować częściej, jeśli analiza wykaże, że element konstrukcji mostu ma wyższe prawdopodobieństwo zainicjowania pęknięć. Analiza niezawodności może być również wykorzystana do oszacowania przewidywanego okresu eksploatacji mostu przy różnych poziomach niezawodności.

4.3.6. Zastosowanie metody probabilistycznej do określenia poziomu niezawodności połączeń w stanie granicznym zmęczenia – most typu DPG

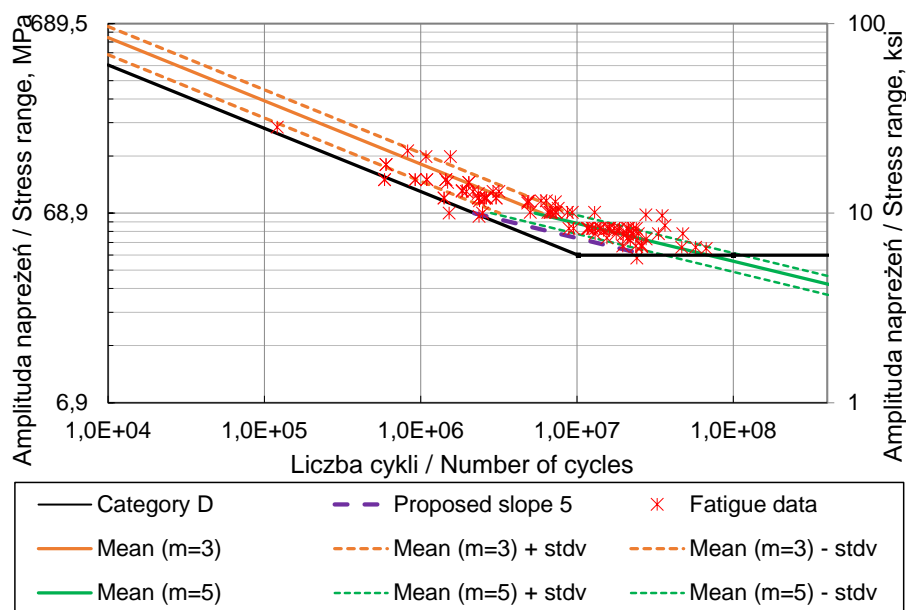
W oparciu o poprzednie badania, przeprowadzono analizę zmęczeniową obiektów mostowych, nitowanych typu DPG z otwartym pomostem, a wyniki analizy zostały przedstawione w autorskim artykule (Rakoczy, Otter, Dick 2020, [A4]). Modele obliczeniowe nośności zmęczeniowej przęseł DPG były kalibrowane, walidowane i weryfikowane z wszystkimi dostępnymi i odpowiednimi wynikami testów zmęczeniowych. W przypadku niektórych konstrukcji, modele niezawodności pozwalały na oszacowanie nośności zmęczeniowej, która jest dwukrotnie, a czasem nawet trzykrotnie wyższa, w porównaniu z uzyskanymi wartościami obliczonymi przy użyciu obecnie stosowanych uproszczonych metod. W artykule zademonstrowano metodę probabilistyczną na dwóch nitowanych przęsłach DPG o rozpiętości 7,3 metra (24 stopy) i 9,75 metra (32 stopy), badanych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych (Rys. 5).



Rys. 5. Nitowane przęsła DPG o rozpiętości 24 stopy (7,3 metra) i 32 stopy (9,75 metra) w West Steel Bridge w FAST

Głównym osiągnięciem tych badań było opracowanie modelu statystycznego nośności zmęczeniowej dźwigarów blachownicowych. Krzywe S-N przedstawiają liczbę cykli do zniszczenia jako funkcję stałych cykli naprężeń dla różnych kategorii detali zmęczeniowych. Koncepcja S-N prowadzi do konserwatywnego szacowania przydatności do dalszej eksploatacji, co potwierdzają wyniki testów uzyskane np. w Niemczech. Krzywe S-N są oparte na dolnej granicy dużej liczby danych z testów zmęczeniowych z granicą prawdopodobieństwa przetrwania o wartości 97,5%. Dlatego optymalnie zaprojektowany detal zgodnie z krzywymi S-N i pod działaniem obciążeń cyklicznych wywołujących naprężenia projektowe ma 2,5-procentowe prawdopodobieństwo zapoczątkowania pęknięcia zmęczeniowego w określonym czasie eksploatacji. Rozproszony, losowy charakter danych S-N jest jednym z czynników wpływających na niepewność szacowanej trwałości zmęczeniowej. W tej sytuacji wytrzymałość zmęczeniową należy traktować jako zmienną losową.

Krzywe S-N zawarte w AREMA i AASHTO zostały opracowane na podstawie danych zebranych z detali spawanych i nitowanych. Jednak nitowane elementy konstrukcyjne mają pewne cechy, których nie ma konstrukcja spawana – na przykład siła docisku nitów (ang. clamping force) i ich równoległy układ w detalu konstrukcyjnym. W celu lepszego wykorzystania metody probabilistycznej w opracowaniu (Rakoczy, Otter, Dick 2020, [A4]) przedstawiono parametry statystyczne bazując na wynikach testów zmęczeniowych dla detali nitowanych zebranych z pełnowymiarowych nitowanych dźwigarów mostowych (Rys. 6).



Rys. 6. Wyniki badań z przeglądu literatury i rozkładu statystycznego

W analizie uwzględniono wiele aspektów dotyczących badanych dźwigarów:

- Materiał, uwzględniono tylko próbki ze stali, próbki zawierające domieszki żelaza lub z kutego żelaza zostały wykluczone,
- Rozciąganie wywołane zginaniem i jednoosiowym rozciąganiem, prezentowane jest tylko rozciąganie wywołane zginaniem,

- Nity przebijane i rozwiercane (ang. sub-punched and reamed) oraz nity przebijane (ang. punched),
- Liczba cykli do zainicjowania pęknięcia w porównaniu z liczbą cykli do całkowitego zniszczenia.

Z przeprowadzonej analizy statystycznej wynika, że dane wykazują dwa trendy. Punkty danych poniżej zakresu naprężeń 9-10 ksi (62-69 MPa) mają inny rozkład statystyczny niż punkty danych powyżej 9-10 ksi (62-69 MPa). Można to wytłumaczyć zjawiskiem mechanicznym, w którym zakres naprężeń 9-10 ksi (62-69 MPa) to granica, powyżej którego łatwo przekracza się opór tarcia (docisk) między elementami nitowanymi, a rozwój pęknięć zmęczeniowych jest podobny jak w pojedynczych płytach z otwartymi otworami. Ponadto przy niższych zakresach naprężeń opór tarcia pomiędzy główką nita i elementu nitowanego opóźnia powstawanie i propagację pęknięć zmęczeniowych.

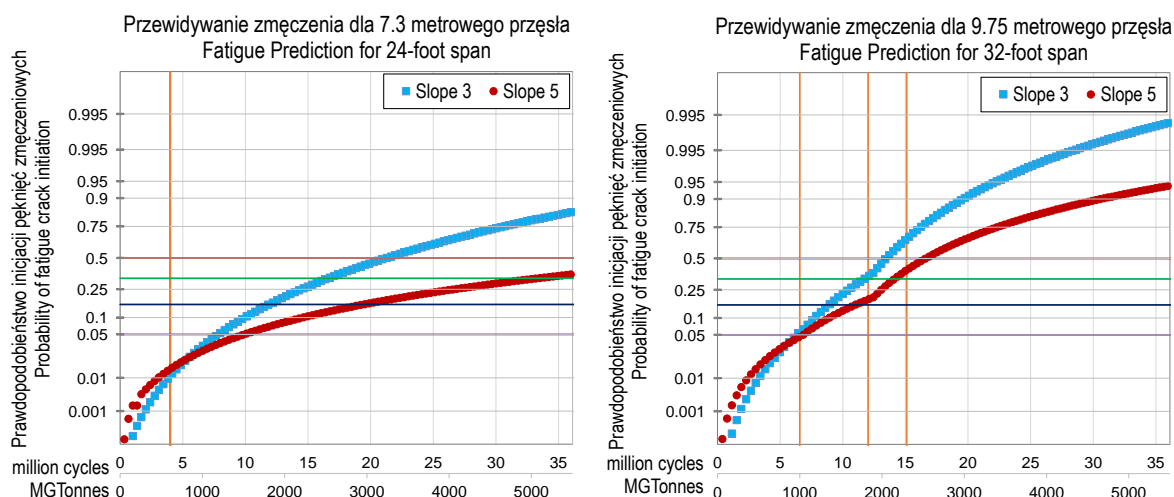
Dla dostępnych danych przeprowadzono analizę statystyczną. Wszystkie dane powyżej 10 ksi (69 MPa) uwzględniono z nachyleniem krzywej trzeciego stopnia ($m=3$), a następnie dane wykreślono na wykresie probabilistycznym. W oparciu o powyższe rozważania i analizę statystyczną, dane o amplitudzie cykli poniżej 10 ksi (69 MPa) uwzględniono z nachyleniem piątego stopnia ($m=5$). Średnia wartość oraz średnia wartość ± 1 odchylenie standardowe są przedstawione na Rys. 6. Pomiędzy liniami przerywanymi (które są wartością średnią ± 1 odchylenie standardowe) znajduje się 70 procent wszystkich punktów danych. W oparciu o rozkład próbek przedstawiony na Rys. 6 opracowano nowe parametry statystyczne wytrzymałości zmęczeniowej elementów i połączeń nitowanych, które zestawiono tabularycznie. Wyprowadzone parametry posłużyły do obliczenia prawdopodobieństwa zapoczątkowania pęknięć zmęczeniowych dla dwóch pręseł typu DPG zlokalizowanych na FAST.

Następnie, przeprowadzono analizę niezawodności wykorzystując wyprowadzony model statystyczny granicy zmęczeniowej dla nitowanych konstrukcji. Metodę zademonstrowano na moście West Steel Bridge z dwoma nitowanymi stalowymi pręsełami DPG i otwartymi pokładami znajdującymi się na pętli badawczej wysokiego tonażu (HTL) na FAST. Oba pręśla były nadmiernie obciążone (w porównaniu do standardów AREMA) przez pociągi o dużych naciskach osi (HAL) w FAST. Jednak, oba pręśla były/są eksploatowane bez problemu; pręśla nie wymagały remontów mimo dużej skumulowanej ilości cykli naprężeń i 630 MGT (572 MGTonnes) skumulowanego obciążenia. Oprzyrządowanie pomiarowe: tensometry i potencjometry strunowe były zamontowane na dolnych blachach półek blachownic w połowie rozpiętości na wszystkich głównych dźwigarach West Steel Bridge. Urządzenia pomiarowe mają zautomatyzowany system gromadzenia danych, uruchamiający się, gdy pociąg zbliża się do wiaduktu. Dane były gromadzone i rejestrowane dla każdego przejazdu pociągu.

Odpowiedź konstrukcji i amplitudy naprężeń różnią się pod obciążeniem różnymi wagonami mimo, iż nominalnie te wagony są załadowane do tej samej lub zbliżonej wagi. Aby wykorzystać dane z typowego przejazdu pociągu, cykle naprężeń zostały policzone jak dla przebiegu przypadkowego przy użyciu metody „Rainflow counting”. Zgodnie z wytycznymi AREMA, ekwiwalentny zakres naprężeń można obliczyć przy użyciu metody

średniego pierwiastka sześciennego (ang. the root-mean cube method). Rozpatrzono amplitudy naprężeń dla obu dźwigarów na obu przęsłach podczas 120 dni pomiarów. Średni zakres naprężeń ekwiwalentnych dla rozpiętości 32 stóp (9,75 metra) wynosił 9,85 ksi (68 MPa), a dla rozpiętości 24 stóp (7,3 metra) wynosił 6,5 ksi (45 MPa) – obie wartości podano dla dźwigarów zlokalizowanych na zewnętrznej części łuku, gdzie oddziaływania są wyższe.

Wyniki analizy rozpatrywanych przęseł przedstawiono w oparciu o parametry statystyczne dla proponowanej dwuliniowej krzywej S-N oraz autorskiej metody probabilistycznej. Przęsło o rozpiętości 32 stóp (9,75 metra) zlokalizowane na FAST nie wymaga remontu a łączna skumulowana suma obciążenia to 2330 MGT (2114 MGTonnes) z ponad 630 MGT (572 MGTonnes) ponadwymiarowego obciążenia HAL. Skumulowana liczba cykli na rozpatrywanym obiekcie to ponad 15 milionów cykli o ekwiwalentnej amplitudzie naprężenia wynoszącej 56,5 MPa (8,2 ksi) obliczone na podstawie 12 milionów cykli o amplitudzie 51 MPa (7,4 ksi) i 3,0 milionów cykli o amplitudzie 68 MPa (9,85 ksi) przy użyciu nachylenia 5. Wskaźnik niezawodności dla tego przypadku jest na poziomie 0,06. Dlatego przy 15 milionach cykli prawdopodobieństwo inicjacji pęknięcia wynosi około 47,8% (Rys. 7, po lewej). Maksymalne naprężenia na półce dolnej dźwigara są poniżej 69 MPa (10 ksi); dlatego należy użyć krzywej S-N z nachyleniem 5 stopni. Przy tym założeniu, przęsło mostu ma około 50 procent prawdopodobieństwa zainicjowania pęknięcia zmęczeniowego przy bieżących 15 milionach cykli. Porównując przewidywania zmęczeniowe konstrukcji przy użyciu krzywej z nachyleniem 3 stopnia, dźwigar mostu ma około 60 procent prawdopodobieństwa zainicjowania pęknięcia zmęczeniowego, a prawdopodobieństwo powstania pęknięcia rośnie szybciej. Dlatego też, właściwe jest zastosowanie parametrów statystycznych krzywej z nachyleniem $m = 5$ i nowych parametrów statystycznych wytrzymałości zmęczeniowej. Prowadzi to do wniosku, że przęsło może być bezpiecznie używane do momentu osiągnięcia 22 milionów cykli, przy przewidywanej inicjacji pęknięć zmęczeniowych na poziomie około 75%.



Rys. 7 Szacowanie inicjacji pęknięć zmęczeniowych dla rozpatrywanych przęseł przy użyciu metody probabilistycznej

Podobne obliczenia przeprowadzono dla rozpiętości 7,3 m (24 stopy), a wyniki przedstawiono na Rys. 7 (po prawej). Wyniki pokazują, że przęsło mostu ma mniej niż 1

procent prawdopodobieństwa zainicjowania (wykrycia) pęknięcia zmęczeniowego przy bieżących skumulowanych cyklach na poziomie około 4 milionów. Minimalna trwałość zmęczeniowa z 5-proc. prawdopodobieństwem inicjacji pęknięć i wskaźnikiem niezawodności 1,64 zostanie osiągnięta przy około 10 milionów cykli. Średnia trwałość zmęczeniowa zostanie osiągnięta przy ponad 50 milionach cykli lub po ponad 50 latach eksploatacji.

Zgodnie z obliczeniami wg. AREMA i Eurokodu bezpieczeństwo zmęczeniowe przęsła o długości 9,75 metra zostało już przekroczone. Jednak przęsło jest nadal używane bez konieczności wzmocnienia, nie odnotowano żadnych uszkodzeń mimo dodatkowych cykli naprężeń spowodowanych zwiększonym naciskiem osi (36 ton). Przykład ten potwierdza, że weryfikacja zmęczenia oceniana aktualnymi metodami jest zbyt zachowawcza. Natomiast, metoda probabilistyczna pozwala na szacowanie prawdopodobieństwa wykrycia zainicjowania pęknięcia zmęczeniowego jako funkcji zależnej od wielkości amplitudy naprężeń i ilości cykli. Inspekcje należy planować częściej, jeśli element mostu wykazuje większe prawdopodobieństwo rozwoju pęknięcia zmęczeniowego. Analiza niezawodności może być również wykorzystana do oszacowania przewidywanego okresu eksploatacji mostu o różnych poziomach bezpieczeństwa. Do prawidłowego wdrożenia metody niezbędna jest szczegółowa inspekcja całej konstrukcji. Inspekcja powinna zidentyfikować wszystkie istotne wady, takie jak widoczne pęknięcia zmęczeniowe, poziom korozji i inne uszkodzenia. Metoda probabilistyczna pozwala na bardziej kompleksową ocenę zmęczenia i określa z większą dokładnością przewidywany okres dalszej eksploatacji.

Przedstawione przykłady potwierdzają, że weryfikacja nośności konstrukcji nie zależy od wieku konstrukcji, ale od jej aktualnego stanu technicznego oraz widma obciążenia eksploatacyjnego, jakie było, jest i jakie będzie w przyszłości. Należy pamiętać, że parametry materiałowe są istotne w procesie weryfikacji zmęczenia. Dlatego potrzebne jest określenie właściwości materiału i prawidłowej charakterystyki stali konstrukcyjnej, zwłaszcza z obiektów historycznych, gdzie właściwości stali są często nieznanne. Zależność S-N została określona na podstawie danych z mostów zlokalizowanych w USA i wykonanych ze stali ASTM A373 (obecnie A36/A36M) i może nie być odpowiednia do przewidywania zachowania zmęczeniowego istniejących mostów metalowych w Europie.

4.3.7. Wstępne ustalenia dotyczące nośności resztkowej uszkodzonej stalowej blachownicy w moście DPG

Wcześniejsze rozważania dotyczące bezpiecznej eksploatacji istniejących mostów i wiaduktów kolejowych zapoczątkowały kolejne badania dotyczące uszkodzonego dźwigara blachownicowego w normalnych warunkach eksploatacji. W artykule konferencyjnym TRB (Rakoczy i Otter 2018, [B4]) przedstawiono wstępne wyniki badań na stalowym przęśle DPG z uszkodzonym dźwigarem, które były prowadzone w TTCI. Obecność wielu elementów w blachownicowym dźwigarze stalowym zapewnia redundancję na poziomie elementu konstrukcji (in-membr redundancy). Jeżeli w jednym elemencie powstanie pęknięcie, nastąpi redystrybucja naprężeń na inne części tego złożonego elementu konstrukcyjnego. Nadmiarowe elementy w blachownicy połączone na nity umożliwiają dźwigarom dalsze przenoszenie obciążenia w przypadku uszkodzenia pojedynczego elementu.

Przeprowadzono test, mający na celu ocenę konstrukcji podczas eksploatacji i określeniu potencjalnej redundancji, która może być obecna w nitowanych dźwigarach wykonanych z wielu komponentów, w tym blach środkika, kątowników i blach półek dolnych i górnych. W dolnej częściowej półki blachownicy (poddanej rozciąganiu od zginania) o rozpiętości 32 stóp (9,75 metra) zainicjowano trzy pęknięcia. Uszkodzony dźwigar mimo zainicjowanych pęknięć przenosi obciążenie bez żadnych zmian ugięcia i zgromadzonych ponad 2,5 miliona cykli od rozpoczęcia testu. W każdym z trzech nacięć widoczne są pęknięcia (Rys. 8). Jednak w dwóch z nich zauważalna jest jedynie minimalna propagacja pęknięć poza wrębami. Pęknięcie w trzecim nacięciu nie rośnie.

Naprężenia w pobliżu środka blachy półki dolnej w połowie rozpiętości wynoszą i pozostają na tym samym poziomie od lutego 2015 r. Planowano, że konstrukcja mostu będzie monitorowana, często sprawdzana i oceniana pod kątem naprawy w przypadku wystąpienia nadmiernego przyrostu pęknięcia lub całkowitego pęknięcia. Obecność więcej niż jednej blachy w półce dolnej w blachownicowym dźwigarze stalowym zapewnia poziom „nadmiarowości” (nadmiarowej nośności) w tym elemencie konstrukcji mostu.



Rys. 8 Nacięcia w dolnej półce blachownicy o rozpiętości 9,75 metra (32 stopy) oraz propagacja pęknięcia

Dotychczasowe badania laboratoryjne na próbkach w skali rzeczywistej wykazały, że propagacja pęknięć i pęknięcie elementu (na przykład półki dolnej) pozostają ograniczone do tego elementu, nie powodując uszkodzenia w sąsiednim elemencie po pęknięciu. Testy w FAST na rzeczywistym przęśle mostu przy rzeczywistym obciążeniu pociągami posłużą do zebrania dalszych informacji na temat tego zachowania. W konsekwencji mogą pozwolić na znaczne wydłużenie szacowanego okresu dalszej eksploatacji przęsła.

4.3.8. Pomiary in-situ i monitoring

Badania diagnostyczne konstrukcji oraz monitoring w czasie rzeczywistym są ważnymi narzędziami, które pozwalają uzyskać odpowiedź konstrukcji w rzeczywistych warunkach obciążenia dynamicznego. Najbardziej wiarygodne są wyniki uzyskane z badań in-situ w warunkach eksploatacyjnych i charakterystyki materiału określona na podstawie pobranych próbek. Dane z monitoringu dostarczają informacji o rzeczywistym zachowaniu konstrukcji – jej nośności, stopniu rozłożenia obciążenia na poszczególne elementy oraz identyfikacji parametrów dynamicznych. Obecny rozwój aparatury pomiarowej i technologii przetwarzania danych umożliwia prowadzenie badań terenowych w sposób zautomatyzowany, co prowadzi do tworzenia systemów monitoringu technicznego.

W artykule (Rakoczy, Otter, Dick 2021, [A3]) przedstawiono wyniki danych z monitoringu oraz analizę dwóch mostów kolejowych. Pierwszy most składa się z dwóch nitowanych przęseł kratownicowych o długości 33,5 m (110 stóp) i 61 m (200 stóp) z torem na podsypce (Rys. 9). Most znajduje się na odcinku prostym a wszystkie elementy kratownic mają przekroje złożone.

Drugi rozpatrywany most ma pięć przęseł typu DPG (nitowanych stalowych blachownic) z torem na podsypce i znajdującym się na łuku poziomym stąd też dźwigary północne (G1) mają całkowitą długość 34,7 m (113 stóp, 10 cali) a dźwigary południowe (G2) 35 m (115 stóp).

Celem przeprowadzonych badań było porównanie wpływu oddziaływań na mosty kolejowe w USA wagonów o różnej długości, w szczególności określenie oddziaływania krótkich i ciężkich wagonów kolejowych. Drugim aspektem tych badań było porównanie naprężeń obliczonych na podstawie zmierzonych odkształceń i naprężeń obliczonych za pomocą modeli analitycznych. Pomiary odkształceń wykonano in-situ w warunkach eksploatacyjnych. Następnie porównano wyniki wyteżenia elementów mostu z obliczeń analitycznych i pomiarów terenowych pod obciążeniem eksploatacyjnym w tym krótkimi wagonami o długości 12,8 m (42 ft.) i typowymi 16,2 m (53 ft.) wagonami towarowymi. Wyniki z analizy MES odpowiadają naprężeniom obliczonym z pomierzonych odkształceń z niewielkimi rozbieżnościami.



Rys. 9 Monitoring na przęsłach kratownicowych

Obliczenia analityczne wykazały, że wpływ krótkich wagonów był najbardziej widoczny na elementach głównych, takich jak słupki końcowe, krzyżulce, pasy górne i dolne w przęsłach kratownicy oraz na naprężeniach zginające w przęsłach dźwigarów. Dane z badań

potwierdziły, że krótkie wagony powodują większe naprężenia na dłuższych przęsłach mostów. Odnotowano następujące zależności:

- Krótkie wagony o długości 12,8 m (42 stopy) generowały naprężenia o 29 do 31 procent wyższe niż wagony o typowej długości 16,2 m (53 stopy) w pasie górnym i dolnym oraz powodowały naprężenia o 20 do 21 procent wyższe na słupkach końcowych i krzyżulcach w przęsłach kratownicy o długości 61 m (200 stóp).
- Krótkie wagony spowodowały 30-procentowy wzrost naprężeń zarówno w górnym, jak i dolnym pasie kratownicy o rozpiętości 33,5 m (110 stóp). Na słupkach końcowych odnotowano 26-procentowy wzrost naprężeń z powodu krótkich wagonów.
- Krótkie wagony szynowe o długości 12,8 m (42 stopy) powodowały maksymalne obciążenia użytkowe o 22 i 26% większe niż wagony o długości 16,2 m (53 stopy) w środku rozpiętości dźwigarów przęseł DPG.
- Rozważane elementy w kratownicach i na nitowanym stalowym przęśle DPG określają całkowitą nośność konstrukcji, dlatego należy starannie planować przejazd krótkich wagonów w długich składach pociągów.
- W podłużnicach w przęśle o rozpiętości 61 m (200 stóp) nie zaobserwowano wzrostu naprężeń pod obciążeniem krótkimi wagonami. Jednak w podłużnicach odnotowano pełne cykle obciążeń (od maksymalnego do zera, całkowite odciążenie) podczas przejeżdżania pociągu, a zatem te elementy mogą być bardziej podatne na zmęczenie.

Dane z testów potwierdziły, że podłużnice w przęśle o rozpiętości 61 m (200 stóp) nie doznały wzrostu naprężeń z powodu przejazdu krótkich wagonów. Krótkie wagony o długości 12,8 m (42 stopy) nie powodowały wzrostu akumulacji cykli zmęczeniowych w podłużnicach. Jednak podłużnice, które są stosunkowo krótkie w porównaniu z innymi elementami kratownicy, są całkowicie odciążane podczas przejazdu pociągu. Ponieważ zmęczenie jest regulowane przez zakres naprężeń i wielkość cykli naprężeń, te krótkie elementy mostu mogą być bardziej podatne na zmęczenie w porównaniu z dłuższymi elementami, które nie są całkowicie odciążone podczas przejazdu pociągu.

Przetestowane przęsło DPG z nitowanymi połączeniami zostało dodatkowo zweryfikowane modelem analitycznym zmęczenia mostu, opracowanym przez TTCI dla tego typu dźwigarów. Obliczenia analityczne wykazały, że środek przęsła może nie być najbardziej krytycznym miejscem dla kumulacji zmęczenia, w zależności od długości wagonu i rozpiętości przęsła. Zakresy naprężeń na zakończeniach blach półki dolnej były najwyższe dla tej konkretnej rozpiętości. Dane testowe potwierdziły przewidywania analityczne. Podsumowując:

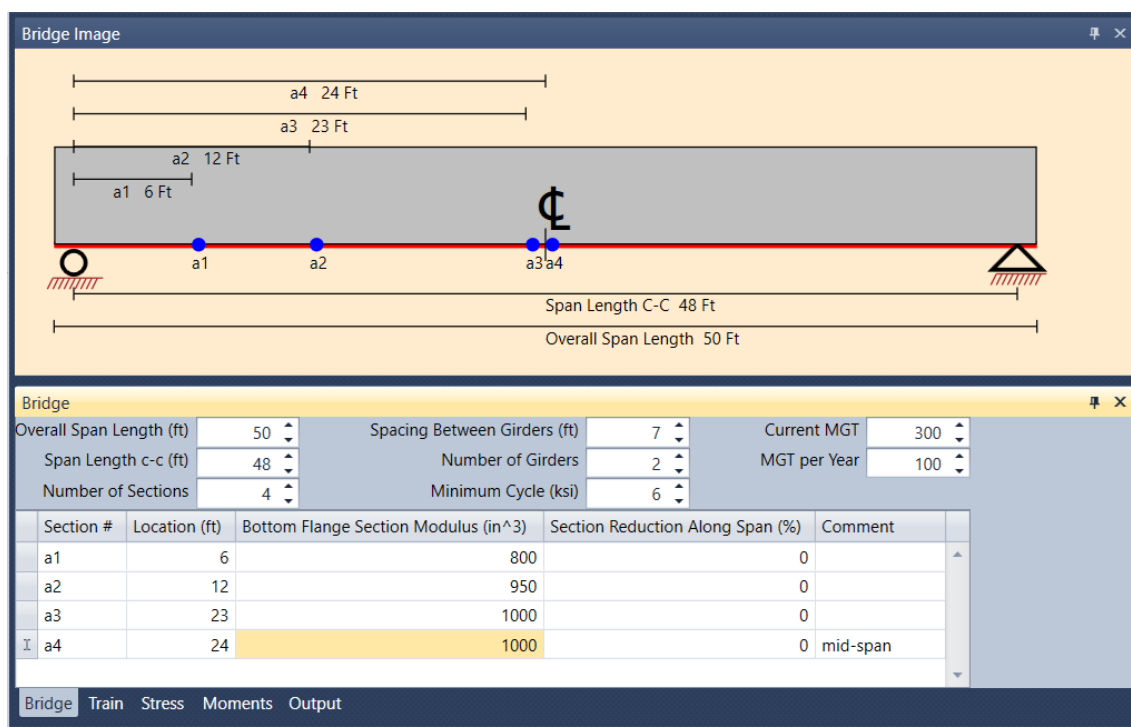
- Oceny nośności mostów i ograniczenia eksploatacji kolei powinna uwzględniać nie tylko ciężar wagonów i naciski na oś, ale również długość wagonów.
- Krótsze wagony mogą ograniczyć nośność mostu ze względu na zwiększone natężenie obciążenia na przęsło (nawet o 20%).

- Dłuższe wagony mogą skrócić trwałość zmęczeniową mostu ze względu na większe amplitudy naprężeń spowodowany dłuższą odległością między osiami a tym samym odciążeniem elementów.
- Kluczowym parametrem jest stosunek długości wagonu do rozpiętości przęsła i długości elementu konstrukcji.

Amplitudy naprężeń obliczone na podstawie zmierzonych odkształceń dla głównych elementów przęsła kratowego były znacznie poniżej granicy zmęczenia wynoszącej 41 MPa (6 ksi) według zaleceń AREMA. Podobnie w przypadku głównych elementów przęsła typu DPG amplitudy naprężeń pod obciążeniem cyklicznym są znikome i nie powodują kumulacji zmęczenia. Najwyższe amplitudy naprężeń zostały obliczone dla podłużnicach w przęsłach kratowych. Elementy te są najkrótszymi elementami konstrukcji i podczas przejazdu pociągu ulegały maksymalnemu obciążeniu a następnie odciążeniu, w związku z tym element ten akumulował największe amplitudy naprężeń (od maksimum naprężeń do zera). Ponieważ zmęczenie jest funkcją amplitudy naprężeń i ilości cykli, te krótkie elementy konstrukcji mostu mogą być bardziej podatne na zmęczenie w porównaniu z dłuższymi elementami, które nie są całkowicie odciążone podczas przejazdu pociągu.

4.3.9. Wdrożenie metody probabilistycznej do oceny zmęczenia istniejących mostów

W 2020 roku TTCI udostępnił, opracowany na podstawie algorytmu mojego autorstwa, program komputerowy do obliczania oceny zmęczenia przęseł blachownicowych wszystkim właścicielom kolei w Ameryce Północnej zrzeszonych w AAR. Kod źródłowy oprogramowania opracowałam w programie MatLab na podstawie wyników dotychczasowych badań nad oceną przydatności do użytkowania istniejących konstrukcji mostowych. Program o nazwie „AAR DPG Bridge Fatigue Simulator Software” ma zastosowanie do przęseł typu DPG o długości do 122 metrów (400 stóp), z dwoma lub więcej dźwigarami blachownicowymi, i przenoszące typowe obciążenia kolejowe określone przez Użytkownika. Użytkownicy mogą zdefiniować skład pociągu z maksymalnie 100 wagonami (400 nacisków osi), o różnych długościach wagonów zdefiniowanych w zakładce Train (Pociąg). Z danych wejściowych program wygeneruje historie momentów, historie naprężeń oraz tabelaryczne podsumowanie cykli naprężeń, momentu zginającego, naprężenia na dolnej półce, ocenę zmęczenia przy zastosowaniu wymagań AREMA i oceny zmęczenia autorską metodą probabilistyczną. Rys. 10 przedstawia zrzut ekranu interfejsu użytkownika z opracowanego programu komputerowego.



Rys. 10. Przykładowy ekran interfejsu

Historia momentów zginających jest obliczana w miejscach wskazanych przez Użytkownika. Lokalizacje definiuje się jako odległość od podpory. Stosując założenie belki swobodnie podpartej, historia momentu zginającego jest obliczana na podstawie grupy ruchomych sił skupionych. Siły skupione reprezentujące nacisk osi pociągu są przesuwane z krokiem 0.6 cm (0,25 cala) aż pociąg opuści przęsło. Dla każdego kroku obliczany jest moment zginający. Następnie, historie naprężeń zginających są obliczane w miejscach określonych przez Użytkownika na podstawie historii momentów zginających i właściwości przekroju.

Dane wyjściowe składają się z trzech zakładek oznaczonych „Dane Wyjściowe” (Output), „Momenty” (Moments) i „Naprężenie” (Stress). Karta Dane Wyjściowe (Output) podsumowuje dane, karta „Momenty” wyświetla historię momentu zginającego, a karta „Naprężenie” wyświetla historię naprężeń zginających. Po zapisaniu plik „Podsumowanie” .csv zawiera informacje podobne do zakładki „Dane Wyjściowe”.

Zakładka „Dane Wyjściowe” (Output) zawiera następujące sekcje i informacje:

- Cykle naprężeń (Rys. 11) w zdefiniowanych lokalizacjach (a1, a2, a3, a4).** Obejmuje to amplitudy naprężeń i liczbę cykli każdego zakresu naprężeń wykorzystywanych w obliczeniach. Uwzględnione są tylko te amplitudy naprężeń, które przekraczają „Cykl minimalny” zdefiniowany w zakładce „Most” (Bridge). Na przykład, jeśli wartość wprowadzona przez Użytkownika wynosi 6 ksi (41 MPa), to cykle naprężeń mniejsze niż 6 ksi (41 MPa) nie będą uwzględniane w obliczeniach ani pokazywane w tabelach.

Stress cycles at each location: 31' Span, Current MGT 0 150 per year

a1		7.5 ft		a2		7.5 ft		a3		15.5 ft		a4		15.5 ft	
Stress range	Number of cycles			Stress range	Number of cycles			Stress range	Number of cycles			Stress range	Number of cycles		
8.58	2			9.53	2			7.93	2			9.92	2		
11.95	99			13.27	99			11.66	99			14.58	99		

Bending Moment:

Bending Moment				Number of...	Bending Stresses				Millions of cycles	AREMA	
Loc	Maximum	Range	Equivalent	per train	Loc	Maximum	Range	Equivalent	accumulated	Fatigue ratio (ni/Ni)	MGT
a1	625.8	625.8	623.2	101	a1	11.9	11.9	11.9	0.0	0.000	184.2
a2	625.8	625.8	623.2	101	a2	13.3	13.3	13.2	0.0	0.000	133.8
a3	834.6	834.6	830.8	101	a3	11.7	11.7	11.6	0.0	0.000	198.1
a4	834.6	834.6	830.8	101	a4	14.6	14.6	14.5	0.0	0.000	101.1

Probabilistic Method:

Loc	Probability % of cr... initiation with curr...	Equivalent Stress	Millions of cycles with probability of crack initiation:				MGT With probability of crack initiation			
			5%	16%	33%	50%	5%	16%	33%	50%
a1	0.00	11.9	1.3	2.0	2.8	3.6	190.6	284.7	394.0	502.7
a2	0.00	13.2	1.0	1.5	2.0	2.6	139.0	207.6	287.2	366.5
a3	0.00	11.6	1.4	2.2	3.0	3.8	205.0	306.3	423.8	540.7
a4	0.00	14.5	0.7	1.1	1.5	2.0	105.0	156.8	217.0	276.9

Rysunek 11: Zakładka „Dane Wyjściowe” (Output): Cykle naprężeń

- b) **Moment zginający w zdefiniowanych lokalizacjach (a1, a2, a3, a4).** Ta sekcja pokazuje maksymalny moment, zakres momentów i moment ekwiwalentny z liczbą cykli wywołaną przez pociąg jednostkowy. Te tabelaryczne wartości można zweryfikować, przeglądając historię momentów zginających na karcie „Momenty”. W przypadku krótkich przęseł maksymalny moment i zakres momentów są takie same, ponieważ przęsło podlega pełnemu odciążeniu pod każdym wagonem podczas przejazdu pociągu. W przypadku dłuższych rozpiętości te dwie wartości mogą się różnić.
- c) **Naprężenia rozciągające od zginania w zdefiniowanych lokalizacjach (a1, a2, a3, a4).** Naprężenia rozciągające od zginania obejmują maksymalne naprężenie, amplitudę naprężeń i naprężenie ekwiwalentne. Ponadto skumulowane miliony cykli, współczynnik zmęczenia AREMA (jako n_i/N_i , gdzie n_i to skumulowane miliony cykli na bieżący MGT, a N_i jest liczbą dozwolonych cykli obliczonych z wykorzystaniem wytycznych AREMA) oraz MGT obliczoną na podstawie N_i .

$$\text{Dla } S_r < 6 \text{ ksi (41 MPa)} \rightarrow N = \infty$$

$$\text{Dla } 7,65 \text{ ksi (53 MPa)} \geq S_r > 6 \text{ ksi (41 MPa)} \rightarrow N = 2,465 \cdot 10^{15} \cdot S_r^{-9,5}$$

$$\text{Dla } 9 \text{ ksi (62 MPa)} \geq S_r > 7,65 \text{ ksi (53 MPa)} \rightarrow N = 4,446 \cdot 10^9 \cdot S_r^{-3}$$

$$\text{Dla } S_r > 9 \text{ ksi (62 MPa)} \rightarrow N = 2,183 \cdot 10^9 \cdot S_r^{-3}$$

Tabelaryczne wartości naprężeń można zweryfikować, przeglądając historię naprężeń zginających w zakładce „Naprężenia”. Należy zauważyć, że współczynnik zmęczenia AREMA i skumulowane miliony cykli na bieżący MGT wyniesie zero, jeśli rozpatrujemy nowy obiekt i bieżące MGT jest zdefiniowane, jako zero.

- d) Ostatnia zakładka wyników to **Probabilistyczna Metoda Oceny Zmęczenia obliczona w zdefiniowanych lokalizacjach (a1, a2, a3, a4)**. Miliony cykli i MGT do prawdopodobieństwa inicjacji pęknięcia oblicza się dla czterech poziomów prawdopodobieństwa granicy zmęczenia zgodnie z NCHRP 721:
- 5% prawdopodobieństwo inicjacji pęknięcia
 - 15,9% prawdopodobieństwa inicjacji pęknięć
 - 32,9% prawdopodobieństwo inicjacji pęknięcia
 - Średnia trwałość zmęczeniowa – 50% prawdopodobieństwa zainicjowania pęknięcia

Podczas gdy rozpatrywane przeszło będzie wykazywało wzrost szacowanego czasu do inicjacji pęknięcia zmęczeniowego, stosowanie wyższych prawdopodobieństw powstania pęknięć zmęczeniowych niesie ze sobą większe ryzyko i powinno im towarzyszyć częstsze inspekcje.

4.3.10. Podsumowanie

Podsumowując, moje główne osiągnięcia naukowe dotyczące zastosowania metody probabilistycznej wspomaganą pomiarami in-situ i analizą MES do określenia poziomu niezawodności eksploatowanych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów są następujące:

- Opracowanie własnego autorskiego modelu zastosowania metody probabilistycznej do określenia poziomu niezawodności stanu granicznego nośności kolejowych, stalowych konstrukcji mostów typu TPG.
- Na podstawie badań laboratoryjnych z dostępnej literatury, określenie nowych parametrów wytrzymałości zmęczeniowej dźwigarów nitowanych a następnie opracowanie modelu niezawodnościowego dla stanu granicznego zmęczenia dla stalowych konstrukcji mostów typu TPG and DPG.
- Przeprowadzenie badań in-situ na istniejących obiektach, a przy użyciu wyników tych badań potwierdzenie tezy, że metoda probabilistyczna daje lepsze oszacowanie przydatności do użytkowania mostów niż inne metody analityczne.
- W dalszym etapie moich prac badawczych opracowanie oprogramowania do obliczania skumulowanych cykli zmęczeniowych w konstrukcji mostów (DPG Fatigue software) oraz określenia prawdopodobieństwa powstawania rysy zmęczeniowej.
- Przeprowadzenie badań dotyczących nośności resztkowej uszkodzonej stalowej blachownicy w moście typu DPG i potwierdzenie, że obecność wielu elementów w blachownicowym dźwigarze stalowym zapewnia redundancję na poziomie elementu konstrukcji (in-membr redundancy).

4.4. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników osiągnięcia naukowego, pt.: „Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.”

4.4.1. Wstęp

Podczas mojej pracy w TTCI zdobyłam doświadczenie w zakresie dynamiki pojazdów przy użyciu oprogramowania NUCARS. Wraz z zespołem badawczym w TTCI opracowaliśmy badania polegające na określeniu interakcji między pojazdem a konstrukcją mostu oraz ocenę stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.

4.4.2. Motywacja i cel naukowy

Motywacją do prowadzenia tych badań była możliwość wykorzystania systemów instalowanych na pojazdach kolejowych do wykrywania uszkodzeń mostów kolejowych w celu uzupełnienia regularnych inspekcji mostów. Wyniki testów pokazują, że pokładowy system pomiaru ugięcia toru i dwa różne systemy geometrii toru są w stanie wykrywać zmiany w poziomie podpór, a niektóre systemy mogą wykrywać zmiany ugięcia przęsła mostu belkowego z otwartym pomostem. Argumentacje do opracowania takiej technologii pochodziły z dwóch źródeł: po pierwsze, mosty kolejowe wykazują zachowanie pod dynamicznym obciążeniem pociągu, które w innym przypadku jest trudne do zaobserwowania, a po drugie, system pokładowy może zapewnić obserwacje dla setek lub tysięcy mostów, w przeciwieństwie do systemu monitorowania stanu konstrukcji, który jest stały i może monitorować tylko jeden most.

Zastosowanie systemu pokładowego ma na celu uzupełnienie inspekcji i pomiarów mostów, jeśli to konieczne. Jest on przeznaczony jako system wczesnego ostrzegania – aby inspektor sprawdził most pod obciążeniem ruchomym – a być może nawet wykonał dodatkowe pomiary SHM, które zapewniają bardziej szczegółowe informacje o nośności eksploatacyjnej konstrukcji mostu.

Koncept i analiza interakcji między pojazdem a konstrukcją mostu zostały przeanalizowane przy użyciu programu NUCARS a następnie potwierdzone badaniami in-situ. Celem naukowym opracowania tej metodyki było udowodnienie, że przeprowadzone analizy i wyniki badań in-situ są uzasadnione i zgodne z teorią dynamiki pojazdu oraz odpowiedzią konstrukcji mostu.

4.4.3. Testy in-situ

Seria testów została przeprowadzona na obiekcie Bridge Deflection Test Facility (BDTF), Rys. 12. W autorskim artykule (Rakoczy, Otter, Malone, Farritor, 2016, [A8]) przedstawiono wyniki z trzech systemów opartych na pojazdach w różnych konfiguracjach testowych: (1) testowano system pomiaru ugięcia toru i system pomiaru geometrii toru na pojeździe do pomiaru toru Federal Railroad Administration (FRA), (2) testowano inny system geometrii toru na lekkim wagonie pasażerskim oraz (3) system pomiaru ugięcia toru został przetestowany na konwencjonalnym wagonie towarowym, samowładoczym. System pomiaru ugięcia toru obejmuje dwie sztywne belki przymocowane do ramy wózka wagonu,

dwie głowice czujników z kamerami i laserami na końcach sztywnych belek, tablicę paneli słonecznych, antenę globalnego systemu pozycyjnego (GPS) na górze wagonu, odbiornik GPS i skrzynię zawierającą dyski akwizycji danych i dwa komputery do przetwarzania obrazu i obliczania danych na pokładzie.



Rys. 12: Pojazd do pomiaru toru na BDTF (Bridge Deflection Test Facility)

W ostatnich latach kilku ekspertów z branży kolejowej zajmujących się mostami zauważyło, że lokalizację mostów i/lub przejście między otwartym torem a mostem można zaobserwować w danych pojazdu inspekcyjnego, takich jak dane pomiarowe geometrii toru. Większość dowodów jest niepotwierdzona, ale przynajmniej jeden przypadek został udokumentowany w literaturze. W 2012 roku badanie przeprowadzone przez Federalną Administrację Kolejową (FRA) przy użyciu pojazdu do inspekcji toru DOTX 216 wykazał sygnał dynamiczny z zastrzeżeniem na 32-metrowym (105-stopowym) moście pokładowym na łuku poziomym o promieniu 437 metrów (143 stóp) (4 stopnie) z przechyłką 114 milimetrów (4,5 cala) na torze klasy 4. Uszkodzenie nie było widoczne podczas oględzin statycznych. Jednak inspektorzy zauważyli, że most kołysał się podczas przejeżdżania pociągu.

W autorskim artykule (Rakoczy, Otter, Malone, Farritor, 2016, [A8]) przedstawiono różne metody pomiaru odpowiedzi mostu z wykorzystaniem systemów instalowanych na pojazdach kolejowych. Korzystając z kontrolowanych warunków i możliwości modyfikowania mostu belkowego o krótkiej rozpiętości znajdującego się w BDTF, TTCI zbadało potencjalne zastosowanie istniejących systemów pokładowych do wykrywania słabych elementów mostu i zmian w poziomie podpór. Chociaż odpowiedź mostu była łatwa do zidentyfikowania, badanie nie wykazało, że odpowiedź jest powtarzalna (typowa) dla wszystkich mostów z otwartym pomostem. Mosty o małej rozpiętości zbudowane z pręseł stalowych, betonowych lub drewnianych są powszechnymi mostami kolejowymi w Ameryce Północnej zwłaszcza na liniach kolejowych klasy 4.

Zebrane wyniki badań wykazały, że odpowiedź mostów kolejowych o małej rozpiętości są widoczne w danych geometrii toru oraz w systemach pomiaru ugięć toru. Zarekomendowano kontynuację badań, najlepiej w warunkach eksploatacyjnych. Przyszłe badania powinny ocenić, jak bardzo odpowiedzi konstrukcji różnią się z powodu błęd

systematycznego, niepewności lub zmienności jakości danych w systemie pomiarowym i sezonowej zmienności toru. Warto również kontynuować ocenę i dalszy rozwój systemów pomiarowych opartych na akcelerometrach w typowych lokomotywach i wagonach towarowych, szczególnie ze względu na potencjał wysokiej dostępności i niezawodności w obsłudze.

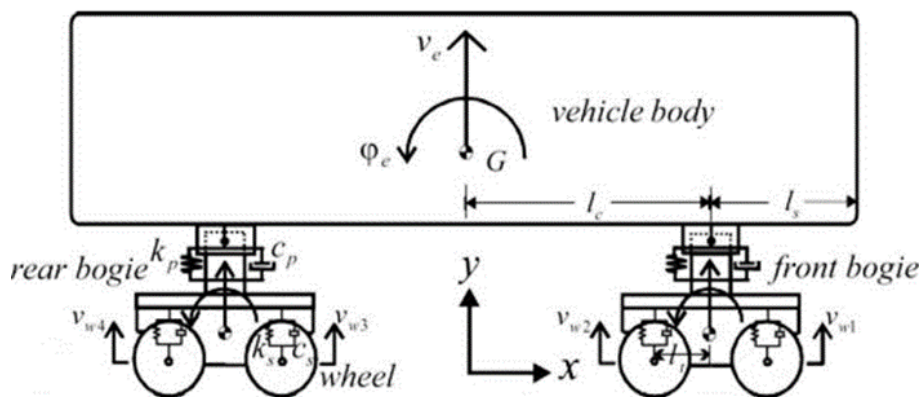
4.4.4 Analiza dynamiczna

W kolejnym autorskim artykule (Rakoczy, Shu, Otter 2017, [A7]) przedstawiono wyniki symulacji i przeprowadzonych badań in-situ wagonu towarowego oraz lokomotywy poruszających się po moście kolejowym zlokalizowanym na terenie BDTF. Wyniki symulacji i testów systemu pokładowego zainstalowanego w oprzyrządowanym wagonie towarowym (IFC) wskazały, że IFC jest praktycznym narzędziem do identyfikacji problemów związanych z pogarszającym się stanem technicznym mostu. W BDTF można regulować/zmieniać nośność/sztywność mostu i jego geometrię. Przeprowadzono różne testy na BDTF w celu zbadania możliwości zastosowania technologii pokładowej do wykrywania uszkodzeń mostu lub zmian w zachowaniu mostu. Wyniki testów wykorzystano do walidacji trójwarstwowego modelu konstrukcji BDTF szyna-trakcja-most zamodelowanego przy użyciu NUCARS®. Przeprowadzono eksperymentalne i analityczne oceny przypadków w celu opracowania systemów pomiarowych montowanych na pojeździe do dynamicznej inspekcji mostów pod obciążeniem ruchomym.

NUCARS®, oprogramowanie TTCI, to program do dynamicznej symulacji pojazdu wielokadłubowego, toru, oraz konstrukcji mostu. Model toru NUCARS® umożliwia symulację elastycznych konstrukcji toru i konstrukcji mostu pod poruszającymi się pojazdami. Tor z podsypką i podbudową jest zwykle modelowany jako jednowarstwowy (szyny elastyczne) lub dwuwarstwowy (szyny elastyczne i podkłady elastyczne) model toru elastycznego. NUCARS® umożliwia uwzględnienie większej liczby warstw i bardziej złożonych symulacji konstrukcji toru, takich jak konstrukcje mostów i płyty torowe. Aby określić dynamikę konstrukcji mostów pod obciążeniem ruchomym, do modelu toru dodano elastyczne przęsła mostu co pozwoliło na określeniu dynamicznych reakcji pojazdu i konstrukcji mostu, w tym interakcji koło/szyna. Wielowarstwowy model toru NUCARS® zapewnia niezbędne narzędzia do oceny dynamicznych odpowiedzi konstrukcji mostów pod wieloma pojazdami szynowymi.

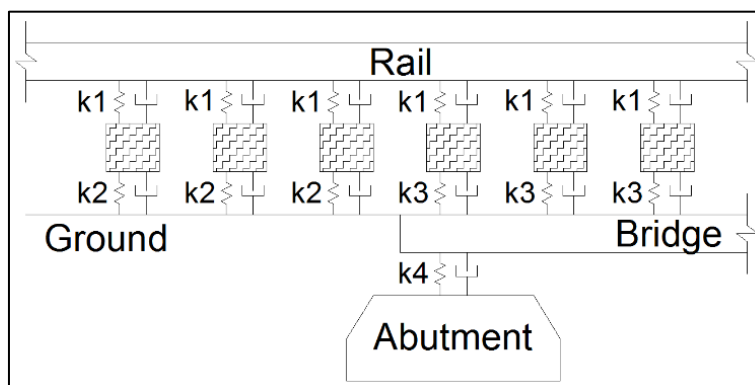
Model testowych pojazdów pociągu został stworzony na podstawie charakterystyk i właściwości IFC (załadowany 110-tonowy wagon samowyładowczy) oraz oprzyrządowanej lokomotywy (VTI na Electro-Motive Diesel® EMD-SD70M) używanej przez TTCI. Model wagonu przedstawiono na Rys. 13.

Model układu torowego obejmował lewą szynę, prawą szynę i podkłady kolejowe. Każde przęsło BDTF zostało zamodelowane w NUCARS® jako para belek (lewa i prawa). Każda z belek została zamodelowana jako dwuwymiarowa belka o parametrach przekroju reprezentujących rzeczywisty most. Parametry przęsła środkowego zostały zmodyfikowane tak, aby odpowiadały dwóm przypadkom osłabionego mostu: 1) przypadku, w którym lewa belka przęsła środkowego miała zredukowaną sztywność oraz 2) przypadku, w którym obie belki przęsła środkowego miały zredukowaną sztywność.



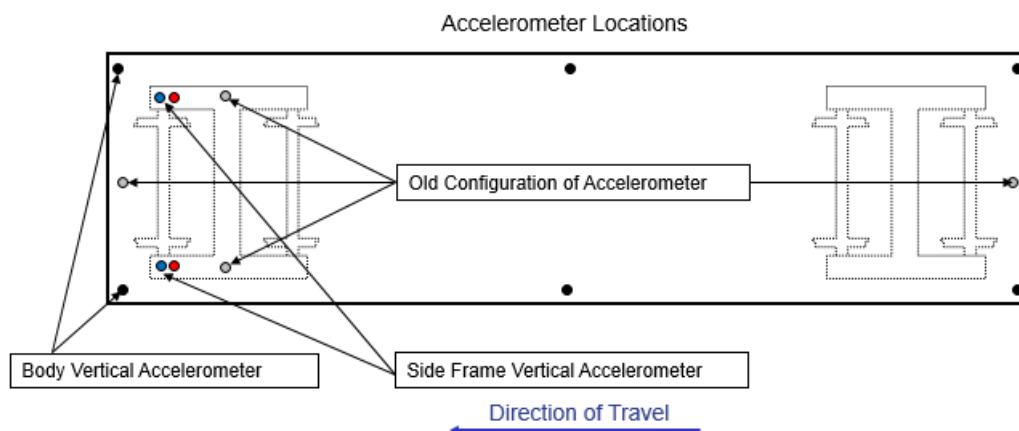
Rys. 13. Model dynamiczny wagonu

Model toru NUCARS® umożliwia symulację elastycznej konstrukcji toru i mostu pod poruszającymi się pojazdami. Reprezentuje rzeczywiste parametry torów jako systemu wielobryłowego. W badaniu wykorzystano trójwarstwowy model toru opracowany do analizy interakcji pojazdu z mostem. Rys. 14 przedstawia połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami belkowymi.



Rys. 14 Trójwarstwowy model BDTF zamodelowany w NUCARS®

Rys. 15 przedstawia lokalizację nowych akcelerometrów. Na ramach bocznych zainstalowano dwa akcelerometry z izolatorami wysokich częstotliwości, a pozostałe dwa są zainstalowane bez izolatorów.



Rys. 15 Lokalizacja akcelerometrów na IFC

Testy przeprowadzone w sierpniu 2014 r. wykazały, że zaproponowana konfiguracja akcelerometrów w ramach bocznych ma największy potencjał do zbierania przydatnych danych. Wraz z dalszym udoskonaleniem algorytmów przetwarzania, przemieszczenie ramy bocznej z IFC może być wykorzystane do identyfikacji zmian sztywności konstrukcji mostu.

4.4.5 Podsumowanie

Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych została przedstawiona w dwóch artykułach naukowych [A7, A8]. Koncept i analiza interakcji między pojazdem a konstrukcją mostu zostały przeprowadzone w programie komputerowym NUCARS a następnie potwierdzone badaniami in-situ. Autorski artykuł [A8], który przedstawiał metodykę i wyniki badań in-situ został wyróżniony w 2018 nagrodą Arthur M. Wellington, American Society of Civil Engineering (ASCE) za międzydiscyplinarne i innowacyjne osiągnięcie w dziedzinie transportu lądowego co potwierdza, że to osiągnięcie naukowe stanowi ważny krok milowy w rozwoju dyscypliny.

4.5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

Pozostałe osiągnięcia naukowe, nie wchodzących w skład głównych osiągnięć naukowych opisanych w pkt. 4.2., są wymienione w załączniku 4 do wniosku habilitacyjnego, w tym:

- Osiem artykułów w czasopismach naukowych nie wchodzących w skład głównych osiągnięć naukowych opisanych w pkt. 4.2.
- 19 wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych nie wchodzących w skład głównych osiągnięć naukowych opisanych w pkt. 4.2.
- 39 raportów badawczych nie wchodzących w skład głównych osiągnięć naukowych opisanych w pkt. 4.2.
- Udział w 10 zespołach badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych. W sześciu projektach byłam liderem projektu lub liderem głównego zadania.

Projekty badawcze, realizowane po otrzymaniu tytułu doktora były ściśle związane z kolejnictwem, ale nie ograniczały się wyłącznie do mostów i wiaduktów kolejowych, jak na przykład:

1. Specyfikacje i wytyczne dotyczące inspekcji, konserwacji, napraw i remontów tuneli kolejowych (Specifications and Guidelines for Rail Tunnel Inspection, Maintenance, Repair, Rehabilitation) sponsorowany przez FTA/CUTR. Głównym celem tego projektu było stworzenie kompleksowego dokumentu przeglądów, konserwacji i napraw infrastruktury tunelowej. Produktem końcowym będzie natomiast norma regulacyjna wydana przez APTA. W trakcie realizacji projektu byłam odpowiedzialny za następujące zadania:
 - Przegląd dostępnych dokumentów, które można wykorzystać do inspekcji tunelu.

- Zidentyfikowanie nowych technologii w celu inspekcji poszczególnych komponentów konstrukcji, które są obecnie dostępne i które warto przetestować w przyszłości.
 - Zdefiniowanie modeli używanych do oceny stanu technicznego tuneli transportu kolejowego jako narzędzia do zaopiniowania o dalszej eksploatacji lub rehabilitacji.
 - Opracowanie wytycznych do stworzenia bazy inwentaryzacji tunelów tranzytowych, w celu śledzenia stanu technicznego konstrukcji i określaniu potrzeby ich remontu.
2. Wpływ długości pojazdów kolejowych na kolejowe obiekty inżynierskie (Effects of Short Cars on Track and Bridges) sponsorowany przez AAR (SRI 3A). Głównym celem tego projektu było zbadanie wpływu krótkich wagonów na infrastrukturę kolejową i obiekty inżynierskie. Zakres projektu obejmował: opracowanie statystyczne ilości wagonów o minimalnej długości i praktyki kolejowej, modelowanie analityczne w celu zidentyfikowania obszarów o największym znaczeniu i przypadków krytycznych, wykonanie testu in-situ na FAST w celu określenia różnic w naciskach osi i obciążeniach pionowym i poprzecznym w porównaniu z naciskami osi wywołanymi przejazdem wagonów o długości standardowej; zestawienie wyników w raportach. Ostatecznym rezultatem było stworzenie zalecanych wytycznych w celu złagodzenia niekorzystnego wpływu krótkich wagonów na degradację infrastruktury kolejowej i obiektów inżynierskich.
3. Wpływ nadwyżki przechyłki na przejazd pociągów towarowych na torach przeznaczonych dla ruchu mieszanego: pasażerskiego i towarowego (Cant Excess for Freight Train Operation on Shared Track) sponsorowany przez FRA (TO 368). Celem tego badania było opracowanie raportu podsumowującego problemy i obecne praktyki związane z przekroczeniem przechyłki kolejowej na łukach poziomych na liniach kolejowych eksploatowanych przez pociągi towarowe oraz pasażerskie. Zakres projektu obejmował: przegląd i podsumowanie dotychczasowych badań związanych z przekroczeniem przechyłki dla przewozów towarowych; przegląd dokumentów dotyczących interakcji pojazdu z torami oraz zmęczenia kontaktu toczonego (rolling contact fatigue RCF) związanego z łukami poziomymi i przewyższeniem, przegląd i dyskusje z kolejami i innymi zainteresowanymi stronami w odniesieniu do bieżących praktyk planowania, projektowania i konserwacji oraz określonych luk i potrzeb w zakresie ulepszeń.

4.6. Kontynuacja rozwoju naukowego

W najbliższym czasie planuję złożyć wniosek o projekt badawczy, który będzie koncentrował się na stworzeniu ulepszonych systemu zarządzania obiektami kolejowymi opartym na opracowaniu procedur innowacyjnej oceny istniejących mostów kolejowych.

Proponowana nowatorska metoda zarządzania mostami BMS (Bridge Management System) bazuje na wykorzystaniu analiz stochastycznych i przyporządkowaniu klasyfikacji liczbowej konstrukcjom w celu uzasadnienia potrzeby przeprowadzenia napraw lub

odbudowy konstrukcji na danej linii kolejowej. Proponowana metoda BMS obejmie przegląd i analizę głównych czynników wpływających na bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji, np. stopień korozji, ubytek materiału (utrata przekroju), problemy zmęczeniowe i luźne połączenia. Proponowana kompleksowa metoda priorytetyzacji będzie uwzględniać następujące elementy: bezpieczeństwo (prawdopodobieństwo awarii), ryzyko (prawdopodobieństwo i konsekwencje awarii), efektywność oraz analizę opartą na ryzyku. Zaproponowana metodyka mogłaby zostać zademonstrowana na wybranej linii kolejowej należącej do Polskich Linii Kolejowych (PKP PLK). Problem starzenia się mostów i wiaduktów kolejowych oraz ich degradacja stanowi ważne zagadnienie nie tylko w Ameryce Północnej ale również w Europie a tym samym w Polsce. PKP Polskie Linie Kolejowe na eksploatowanych liniach kolejowych utrzymują 25 493 kolejowe obiekty inżynierskich, o długości eksploatacyjnej 734 058,63 m (wg stanu na koniec 2014 roku) w tym:

- 3395 mostów – o długości eksploatacyjnej 132 568 m,
- 3052 wiadukty – o długości eksploatacyjnej 85 767 m,
- 434 przejścia pod torami – o długości eksploatacyjnej 14 098 m,
- 17 649 przepustów – o długości eksploatacyjnej 349 496 m,
- 24 tunele liniowe – o długości eksploatacyjnej 20 442 m,
- 166 kładek dla pieszych – o długości eksploatacyjnej 16 037 m,
- 773 ściany oporowe – o długości eksploatacyjnej 115 647 m.

Okolo 65% tych obiektów jest starsza niż 90 lat, a mniej niż 5% jest w eksploatacji 15 lat lub krócej.

Obecny System Zarządzania Mostami stosowany przez PKP PLK nie zawiera atrybutów wymienionych w proponowanej metodzie. Proponowany, nowatorski BMS mógłby ulepszyć i rozwinąć System Zarządzania Mostami w Polsce a następnie w Europie poprzez opracowanie kompleksowej metodologii, w której określa się poziom prawdopodobieństwa awarii mostów kolejowych w oparciu o stopień ich degradacji. To innowacyjne podejście łączy analizę niezawodności z zaawansowanymi modelami MES zweryfikowanymi z pomiarami w terenie, dzięki czemu zapewnia kompleksowe podejście do określenia bezpiecznej dalszej eksploatacji obiektów mostowych.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1. Doświadczenie naukowe i pełnione funkcje

Po uzyskaniu tytułu doktora.

06.2013 – 07.2020		TRANSPORTATION TECHNOLOGY CENTER, Inc., Pueblo, CO, USA Kierownik Projektów Badawczych (Principal Investigator I)
1.	04.2017 – 07.2020	<i>Specyfikacje i wytyczne dotyczące inspekcji, konserwacji, napraw i remontów tuneli kolejowych (Specifications and Guidelines for Rail Tunnel Inspection, Maintenance, Repair, Rehabilitation)</i> , FTA/CUTR Kierownik projektu - Principal Investigator
2.	06.2013 – 07.2020	<i>Prognozowanie przydatności do użytkowania mostów kolejowych pod dużymi obciążeniami (Bridge Life Extension under Heavy Axle Load)</i> , AAR (SRI 10A) Zastępca kierownika projektu (Principal Investigator: Dr. Duane Otter)
3.	01.2018 – 07.2020	<i>Wpływ dużych sił wewnętrznych pociągu na stabilność toru (Effect of High in-Train Forces on Track Stability)</i> , AAR (SRI 12C), Kierownik projektu - Principal Investigator
4.	01.2015 – 12.2016	<i>Wpływ długości pojazdów kolejowych na kolejowe obiekty inżynierskie (Effects of Short Cars on Track and Bridges)</i> , AAR (SRI 3A), Kierownik projektu - Principal Investigator
5.	03.2015 – 12.2015	<i>Cant Excess for Freight Train Operation on Shared Track</i> , FRA (TO 368) Kierownik projektu - Principal Investigator
6.	09.2013 – 08.2014	<i>Heavy Point Frog Performance</i> , FRA (TO 347), Kierownik projektu - Principal Investigator
08.2012 – 05.2013		UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN, Lincoln, NE, USA Pracownik Naukowo-Dydaktyczny (Post-Doctoral Research Associate and Lecturer),
1.	08.2012 - 05.2013	<i>Opracowanie przewodnika dotyczącego priorytetyzacji mostów kolejowych do naprawy i wymiany (The Development of a Guide for Prioritization of Railway Bridges for Repair and Replacement)</i> , Kierownik Projektu - Principal Investigator (Co-principal investigator, with Prof. dr inż. Andrzej S. Nowak)
2.	08.2012 - 05.2013	<i>Review of the FHWA Guidelines for Load and Resistance Factor Design and Rating of Riveted, Bolted, and Welded Gusset-Plate Connections for Steel Bridges</i> , NCHRP 12-84

		Zastępca Kierownika Projektu - Research Associate (Principal Investigator: Prof. dr inż. Andrzej S. Nowak)
3.	08.2012 - 05.2013	<i>New Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals</i> , NCHRP 10-80 Zastępca Kierownika Projektu - Research Associate (Principal Investigator: Prof. dr inż. Andrzej S. Nowak)
4.	08.2012 - 05.2013	<i>Review the Safety Concept and the Operational Risk Assessment of the Puente Nigale – Lake Maracaibo – Venezuela prepared by COWI</i> Zastępca Kierownika Projektu - Research Associate (Principal Investigator: Prof. dr inż. Andrzej S. Nowak)

5.2. Przynależność do organizacji naukowych

Od 2015 Członek Komisji Naukowej nr 15 Konstrukcje Stalowe, Memembr of Committee 15 Steel Structure, American Railroad Engineering and Maintenance-of-Way Association, AREMA, USA

Od 2014 Standing Committee on Steel Bridges AFF20, Transportation Research Board, USA

Od 2011 Associate Member, American Society of Civil Engineering, USA

5.3. Recenzowanie czasopism naukowych:

Przeprowadziłam recenzję ponad 50 artykułów konferencyjnych i z czasopism naukowych

- Open Access Journal from MDPI: Guest Editor in Applied Sciences, Materials, Infrastructures
- Structure and Infrastructure Engineering. Taylor and Francis
- American Society of Civil Engineering, ASCE Journal of Bridge Engineering
- Transportation Research Record, Journal of the TRB
- American Concrete Institute, ACI Structural Journal
- MDPI: Sensors, Applied Sciences, Materials
- MDPI: Applied Mechanics (ISSN 2673-3161)
- MDPI: Infrastructures (ISSN 2412-3811)
- Materiały Budowlane - Polish Journal of Structural Materials
- Problemy Kolejnictwa – Polish Journal of Railroad Research

Według informacji zawartych na Web of Science, wykonałam 29 zweryfikowanych recenzji.

	Anna Maria Rakoczy <small>"Anna M Rakoczy"</small> Show more		Web of Science ResearcherID ® <small>AAF-8965-2021</small>	
	<small>Assistant Professor - Civil Engineering, Warsaw University of Technology</small>			
PUBLICATIONS 17	TOTAL TIMES CITED 45	H-INDEX 4 ®	VERIFIED REVIEWS 29	

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

W październiku 2021 objęłam stanowisko Adiunkta w Zakładzie Geotechniki, Mostów i Budowli Podziemnych na Politechnice Warszawskiej. W pierwszym semestrze roku akademickiego 2021/2022 prowadzę zajęcia z Konstrukcji Mostowych dla dwóch grup studentów studiów magisterskich: dziennych i zaocznych. Zajęcia obejmują wykład oraz projekt. Jestem odpowiedzialna za przygotowanie zajęć, ocenę projektów oraz przeprowadzenie egzaminu na koniec semestru. W następnym semestrze planuję prowadzić zajęcia z „Mostów Metalowych” i „Podstaw Mostownictwa”.

W 2011, na UNL ukończyłam „Institute for International Teaching Assistants”, gdzie nauczyłam się skutecznych technik nauczania, organizacji wykładów i strategii interaktywnych. Był to intensywny dwutygodniowy kurs z codziennymi seminariami rozwojowymi, wykładami i sesjami językowymi.

W latach 2012/2013 na University of Nebraska Lincoln (UNL), prowadziłam wykłady w języku angielskim: „Introduction to Structural Engineering” (zakres tematyczny obejmował analizę statyczną i wytrzymałościową, oraz wytrzymałość materiałów), w których uczestniczyło 61 studentów oraz „Steel Design” (Projektowanie konstrukcji stalowych), w których uczestniczyło 35 studentów. Mam również doświadczenie, jako asystent na innych zajęciach prowadzonych w UNL, w tym na kursie „Reliability of Structures” (Niezawodność konstrukcji) i „Bridge Design” (Podstawy Projektowania Mostów). Prowadziłam również zajęcia zdalnie z „Niezawodności konstrukcji” na studiach inżynierskich i magisterskich, jako wykładowca gościnny na Uniwersytecie Technologiczno-Przyrodniczym w Bydgoszczy. Opracowałam wykłady i przygotowałam prezentacje na temat obliczeń statycznych i symulacji przy pomocy programów komputerowych takich jak MATHCAD, MATLAB i ROBOT Structural Analysis Professional. Prowadziłam zajęcia za pomocą programu do „distance learning”, który był dostępny w UNL, obecnie do konsultacji i spotkań online używam MS Teams, GoToMeeting i Zoom.

7. Stypendia, wyróżnienia i nagrody po uzyskaniu doktoratu

- 2019 - Nagroda za Najlepszy Artykuł w tematyce „Mosty i Tunele”, Konferencja International Heavy Haul Association (IHHA) 2019, pierwszy autor
- 2019 - Tygodniowe Stypendium dla Młodych Naukowców, INFRASTAR training school, Horizon 2020, Nantes, France
- 2018 - Nagroda ASCE 2018 Arthur M. Wellington za Najlepszy Artykuł Interdyscyplinarny, pierwszy autor
- 2017 - Nagroda dla Wybitnego Młodego Inżyniera, Konferencja IHHA 2017
- 2017 - Nagroda za Najlepszy Artykuł w tematyce „Mosty i Tunele”, Konferencja IHHA

.....
Anna Rakoczy
.....
(podpis wnioskodawcy)



2022-02-04

Załącznik 4

Wykaz osiągnięć naukowych
stanowiących znaczny wkład w
rozwój określonej dyscypliny



Anna M. Rakoczy
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

1. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH, O KTÓRYCH MOWA W ART. 219 UST. 1. PKT 2 USTAWY.

1.1. Tytuł głównych osiągnięć naukowych

4.1.1 Cykl powiązanych tematycznie 6 artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy pod tytułem:

Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in-situ i analizą MES w ocenie poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.

Temat został przedstawiony w sześciu artykułach naukowych oraz zaprezentowany na siedmiu konferencjach międzynarodowych.

4.1.2 Oryginalne osiągnięcie badawcze pod tytułem:

Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.

Temat został przedstawiony w dwóch artykułach naukowych oraz zaprezentowany na dwóch konferencjach międzynarodowych. W 2018 roku, artykuł opublikowany w ASCE został wyróżniony nagrodą Arthur M. Wellington, American Society of Civil Engineering (ASCE) za międzydyscyplinarne i innowacyjne osiągnięcie w dziedzinie transportu lądowego.

1.2. Publikacje wchodzące w skład głównych osiągnięć naukowych

4.2.1 Metoda probabilistyczna wspomagana pomiarami in-situ i analizą MES w ocenie poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów.

A1.	<p>Rakoczy, A.M., (2021), „Fatigue Safety Verification of Riveted Built-up Girder in bending using AREMA, Eurocode, and Probabilistic Method”, Archives of Civil Engineering, Vol. 67, No 4, 2021. pp. 625 – 642; ISSN 1230-2945 Dostępny na stronie: https://ace.il.pw.edu.pl/wp-content/uploads/2021/12/art40_corr.pdf</p> <p>IF_{5lat} = 0,766 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 100%.</p> <p>Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., metodologia – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R.).</p>
A2.	<p>Rakoczy, A.M., Jivan-Coteti, A., (2021), „Estimation of the current structural reliability level of existing railway bridges and viaducts.” Roads and Bridges - Drogi i Mosty, [S.l.], Vol. 20, No. 3, pp. 289-309, Sep. 2021. ISSN 2449-769X. Dostępny na stronie: https://www.rabdim.pl/index.php/rb/article/view/v20n3p289/615</p> <p>Punktacja MNiSW: 70. Mój udział wynosi 80%.</p> <p>Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.JC., metodologia – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R. i A.JC.).</p>

A3.	<p>Rakoczy, A.M.; Otter, D.E.; Dick, S.M. (2021), “Analytical and Measured Effects of Short and Heavy Rail Cars on Railway Bridges in the USA.”, MDPI, Applied Sciences Vol. 11, No. 7: 3126I, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.3390/app11073126</p> <p>IF_{5lat} = 2,736 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 60%.</p> <p>Wkład Autorski (oficjalny, dostępny na stronie https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3126/htm) koncepcja projektu badania – A.M.R. i D.E.O.; zbieranie danych – A.M.R.; analiza formalna – A.M.R.; dochodzenie – A.M.R., D.E.O. i S.M.D.; metodologia – A.M.R., i S.M.D.; walidacja - A.M.R.; wizualizacja – A.M.R.; przygotowanie draftu – A.M.R.; recenzja i edycja – D.E.O. and S.M.D.)</p>
A4.	<p>Rakoczy, A. M., Otter, D. E., and Dick, S., (2020), “Railroad Bridge Fatigue Life Estimation Using the Probabilistic Method and New Fatigue Resistance for Riveted Details.” Structure and Infrastructure Engineering Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 16, 2020 – Issue 3, pp. 381-393, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1663220</p> <p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 70%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R. i D.O., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R., D.O. i S.D., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R. i S.D., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – D.O. i S.D.).</p>
A5.	<p>Rakoczy, A. M., Nowak, A. S., and Dick, S., (2016) “Fatigue Reliability Model for Steel Railway Bridges,” Structure and Infrastructure Engineering, Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 12, 2016 - Issue 12, pp. 1602-1613, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1153664</p> <p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 70%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.S.N., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R. i S.D., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.S.N. i S.D.).</p>
A6.	<p>Rakoczy, A. M., and Nowak, A. S., (2014) “Reliability-Based Strength Limit State for Steel Railway Bridge,” Structure and Infrastructure Engineering, Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, Vol. 10, 2014 - Issue 9, pp. 1–14, Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1080/15732479.2013.807291</p> <p>IF_{5lat} = 3,533 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 80%.</p> <p>Wkład Autorski (koncepcja projektu badania – A.M.R., zbieranie danych – A.M.R., analiza formalna – A.M.R., dochodzenie – A.M.R. i A.S.N., metodologia – A.M.R., walidacja – A.M.R., wizualizacja – A.M.R., przygotowanie draftu – A.M.R., recenzja i edycja – A.M.R. i A.S.N.).</p>

Ponadto, tematykę „*metody probabilistycznej wspomagannej pomiarami in-situ i analizą MES do określenia poziomu niezawodności eksploatowanych, kolejowych, stalowych konstrukcji mostów i wiaduktów*” prezentowałam na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych:

B1.	<p>Rakoczy, A. M., Otter, D. E., “Improved Fatigue Evaluation of Riveted DPG Railroad Bridges Using Reliability Analysis”, AREMA Conference 2020, online, September 2020.</p>
B2.	<p>Rakoczy, A. M., Otter, D. E., “Can 100-year-old steel railroad bridges continue to be used in service?” 2019 IABSE Congress, New York City, NY, September 2019.</p>

B3.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., Dick S. M., “Steel bridge fatigue life estimation using the probabilistic method”, The International Heavy Haul Association (IHHA) Conference 2019, Narvik, Norway, June 2019.
B4.	Rakoczy, A.M. and Otter D., “Member-level Redundancy for Steel Railway Bridge Girders.” Transportation Research Record 2019.
B5.	Rakoczy, A. M. , Nowak, A. S., and Dick, S. M., “Fatigue Reliability Indices for Steel Railway Bridge,” Proceedings of Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington D.C., January 2014.
B6.	Rakoczy, A.M. and Nowak, A.S., “Evaluation of Safety Level for Railway Bridges”, Proceedings of the 11th International Conference on Structural Safety & Reliability – ICOSSAR, June 2013.
B7.	Rakoczy, A.M. and Nowak, A.S., “Fatigue Reliability Assessment of 100-year Old Steel Railway Bridge”, Proceedings of the International Conference of Structural Failures, (Awarie Budowlane), Poland, May 2013.

4.2.2 Nowatorska metoda oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych.

A7.	Rakoczy, A. M. , X. Shu, and D. Otter. (2017), “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation for short Railway Bridges.” Transportation Research Record, No. 2642: Structures, Print ISSN: 0361-1981, pp. 127-138, Washington D.C., Dostępny na stronie: https://doi.org/10.3141/2642-14
	IF _{5lat} = 1,686 Punktacja MNiSW: 40. Mój udział wynosi 60%. Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R. i X.S., zbieranie danych – A.M.R. i D.O., analiza formalna – A.M.R. i X.S., dochodzenie – A.M.R. i D.O., metodologia – A.M.R. , X.S. i D.O., walidacja – A.M.R. , wizualizacja – A.M.R. , przygotowanie draftu – A.M.R. i X.S., recenzja i edycja – D.O.).
A8.	Rakoczy, A. M. , Otter, D. E., Malone, J. J., and Farritor, S., (2016), “Railroad Bridge Condition Evaluation Using Onboard Systems,” ASCE Journal of Bridge Engineering, ISSN (print): 1084-0702, ISSN (online): 1943-5592, Vol. 21, Issue 9 - September 2016. ASCE 2018 Arthur M. Wellington Prize. Dostępny na stronie: https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000881
	IF _{5lat} = 3,167 Punktacja MNiSW: 100. Mój udział wynosi 60%. Wkład Autorski (konceptcja projektu badania – A.M.R. i D.O., zbieranie danych – A.M.R. , analiza formalna – A.M.R. i D.O., dochodzenie – A.M.R. , D.O., J.J.M. i S.F., metodologia – A.M.R. , D.O., J.J.M. i S.F., walidacja – A.M.R. , wizualizacja – A.M.R. , przygotowanie draftu – A.M.R. i D.O., recenzja i edycja – J.J.M. i S.F.).

Ponadto, tematykę „*nowatorskiej metody oceny stanu konstrukcji nośnej mostu z zastosowaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych*” prezentowałam na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych:

B9.	Rakoczy, A. M. , and Otter, D. E., “Vehicle-Based Detection of Changes in Bridge Condition”, AREMA Conference 2015, Minneapolis, October 2015.
B10.	Rakoczy, A. M. , X. Shu, and D. Otter. “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation for short Railway Bridges.” Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington D.C., January 2017.

2. INFORMACJA O AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

2.1. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych nie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (z wykluczeniem pozycji wymienionych w pkt 1.2).

- C1. **Rakoczy, A.M.** Wilk S., and Jones MC., “Security and Safety of Rail Transit Tunnels.” Transportation Research Record, January 2019.
<https://doi.org/10.1177/0361198118822819>
- C2. **Rakoczy, A. M.** and Nowak, A. S., “Resistance Factors for Lightweight Concrete Members,” American Concrete Institute, ACI Structural Journal, Jan/Feb 2014, Vol. 110 Issue 1, pp. 103-112.
- C3. **Rakoczy, A. M.** and Nowak, A. S., “Reliability-Based Sensitivity Analysis for Prestressed Concrete Girder Bridges,” PCI Journal – Precast/Prestressed Concrete Institute, pp. 81-92, Fall 2013.
- C4. Nowak, A.S., **Rakoczy, A.M.**, “Uncertainties in the Building Process”, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Volume 61, Issue 1, pp. 129–135, May 2013.
- C5. **Rakoczy, A. M.** and Nowak, A. S., “Resistance Model of Lightweight Concrete Members,” American Concrete Institute, ACI Materials Journal, Vol. 110, No. 01, January 2013, pp. 99-108.
- C6. Nowak, A.S., **Rakoczy, A.M.** and Szeliga, E., “Revised Statistical Resistance Models for R/C Structural Components”, American Concrete Institute, ACI SP-284-6, Vol. 284, March 2012, pp. 1-16.
- C7. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A.M.**, “Statistical Model for Compressive Strength of Lightweight Concrete”, Architecture, Civil Eng., Environment ACEE Journal, Vol. 4, No. 4/2011, pp. 73-80.
- C8. Nowak, A.S and **Rakoczy, A.M.**, “American Codes, Standards and Specifications”, Scientific Publications No. 276, Rzeszow University of Technology, Vol. 58, No. 3, 2011, pp. 187-202.

2.2. Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych (z wykluczeniem pozycji wymienionych w pkt 1.2).

- D1. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Linkowski, D., Dick S. M., “Articulated Double Stack Car Effects on Bridges”, AREMA Conference 2019, Minneapolis, MN, September 2019.
- D2. **Rakoczy, A.M.** and Otter D., “Highlights of Railway Bridge Research and Testing by TTCI.” Proceedings of the 64th Scientific Conference, Kielce-Krynica, Poland September 2018, pp. 239-261.
- D3. **Rakoczy A.M.** and Nowak A. S., “Live Load Spectra for Railway Bridges in the USA.” Proceedings of the 64th Scientific Conference, Kielce-Krynica, Poland, 09.2018, pp. 197-217.
- D4. Otter, D. E., Dick S. M., **Rakoczy, A. M.**, “Fatigue Life Estimation for Deck Plate Girder Bridge Spans”, AREMA Conference 2018, Chicago, Illinois, September 2018.
- D5. Otter, D. E., Dick S. M., **Rakoczy, A. M.**, “Update on FAST Bridge Research and Testing”, AREMA Conference 2017, Indianapolis, Indiana, September 2017.
- D6. Otter, D. E., Dick S. M., **Rakoczy, A. M.**, “Evaluation of Hybrid Composite Beam Span Bridges under Heavy Haul Traffic”, Cape Town International Conference - Advancing Heavy Haul Technologies and Operations in a Changing World", September 2017. Best Paper Award provided by IHHA.
- D7. Paterson, D., **Rakoczy, A. M.**, and Dick, S. M., “Rail Through-Plate Girder 3-D Analysis for Fundamental Evaluation of Knee Brace Behavior”, 2016 World Steel Bridge Symposium, Orlando, Florida, April 2016.
- D8. **Rakoczy, A. M.**, Shu, X., Davis, D. D., Li, D., and Tajaddini, A., “Heavy Point Frog Performance under Passenger Vehicles”, IAVSD Conference, Graz, Austria, August 2015.
- D9. **Rakoczy, A.M.** and Nowak, A.S., “Statistical basis for LRFD design of lightweight concrete girders”, Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Chicago, Illinois, USA, May 12–15, 2013.
- D10. Nowak, A.S., **Rakoczy, A.M.**, “Reliability-Based Calibration of Design Code for Concrete Structures (ACI 318)”, Proceedings of the IBRACON, The 54th CBC (Brazilian Conference on Concrete), Maceió, Alagoas-Brazil, October 2012, pp. 1-12.
- D11. Nowak, A.S., **Rakoczy, A.M.**, “Resistance Factors for Shear Capacity of Ordinary and Lightweight R/C Beams”, Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR-3, Cape Town, South Africa, 09.2012.
- D12. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A. M.**, “Reliability of Prestressed Concrete Girders”, Proceedings of the 2012 PCI Convention and National Bridge Conference, Precast/Prestressed Concrete Institute, Nashville, TN, September 2012.
- D13. **Rakoczy, A.M.**, “Identification of Critical Parameters that Affect Safety of Railway Bridges”, Proceedings of the 3rd Ralph Modjeski Conference on Bridges, Bridges – Tradition and Future, Bydgoszcz, Poland, May 2012.

- D14. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A. M.**, “Live Load Model for Pedestrian Bridges”, Proceedings of the 4th International Footbridge Conference, Wroclaw, Poland, July 2011.
- D15. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A.M.**, “Reliability Model for Shear Strength of Lightweight Concrete Beams”, Proceedings of the 7th International Conference - Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry, AMCM, Krakow, Poland, June 2011.
- D16. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A. M.**, “Diagnostic Procedures for Assessment of Structures”, Proceedings of the Scientific Conference, Kielce-Krynica, September 2010, pp. 301-316.
- D17. Nowak, A. S. and **Rakoczy, A. M.**, “Resistance Model for Compressive Strength of Lightweight Concrete”, Proceedings of the 4th North American Conference on the Design and Use of SCC, Montreal, September 2010.
- D18. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A. M.**, “Statistical Parameters for Compressive Strength of Lightweight Concrete”, Proceedings of the 2010 PCI Concrete Bridge Conference, Phoenix, February 2010.
- D19. **Rakoczy, A.M.** and Nowak, A.S., “Analysis of Extreme Pedestrian Load”, Proceedings of the International Conference of Structural Failures, (Awarie Budowlane), Poland, May 2009.

2.3. Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.

<u>TRANSPORTATION TECHNOLOGY CENTER, Inc., Pueblo, CO</u>		
Kierownik Projektów Badawczych (Principal Investigator I)		
1.	04.2017 – 07.2020	<i>Specyfikacje i wytyczne dotyczące inspekcji, konserwacji, napraw i remontów tuneli kolejowych (Specifications and Guidelines for Rail Tunnel Inspection, Maintenance, Repair, Rehabilitation), FTA/CUTR</i> Kierownik projektu (Lead Researcher)
<p>Głównym celem tego projektu było stworzenie kompleksowego dokumentu przeglądów, konserwacji i napraw infrastruktury tunelowej. Produktem końcowym będzie natomiast norma regulacyjna wydana przez APTA. W trakcie realizacji projektu byłam odpowiedzialny za następujące zadania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Przegląd dostępnych dokumentów, które można wykorzystać do inspekcji tunelu. • Zidentyfikowanie nowych technologii w celu inspekcji poszczególnych komponentów konstrukcji, które są obecnie dostępne i które warto przetestować w przyszłości. • Zdefiniowanie modeli używanych do oceny stanu technicznego tuneli transportu kolejowego jako narzędzia do zaopiniowania o dalszej eksploatacji lub rehabilitacji. • Opracowanie wytycznych do stworzenia bazy inwentaryzacji tunelów tranzytowych, w celu śledzenia stanu technicznego konstrukcji i określaniu potrzeby ich remontu. <p>Budżet: \$212,250</p>		

2.	06.2013 – 07.2020	<p><i>Prognozowanie przydatności do użytkowania mostów kolejowych pod dużymi obciążeniami (Bridge Life Extension under Heavy Axle Load), AAR SRI 10A</i></p> <p>Kierownik projektu (Lead Researcher)</p>
<p>Głównym celem tego projektu badawczego jest opracowanie metody wydłużenia czasu eksploatacji istniejących mostów kolejowych. Kluczowym elementem docelowym jest aktualizacja i udoskonalenie metod oceny przydatności mostu do eksploatacji (FFS) i określenia bezpiecznego okresu eksploatacji. Celem jest zmaksymalizowanie okresu eksploatacji istniejących mostów dla aktualnego i przewidywanego ruchu pociągów, zachowując jednocześnie ich integralność strukturalną. Ulepszone technologie kontroli pozwolą na lepsze ustalenie priorytetów napraw i budżetu utrzymania mostów. W projekcie zademonstrowano techniki przedłużania okresu eksploatacji i inspekcji konstrukcji w trakcie jej eksploatacji. W trakcie realizacji projektu byłam odpowiedzialny za następujące zadania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocena stanu konstrukcji mostu z wykorzystaniem systemów pomiarowych montowanych na pojazdach kolejowych • Wpływ długości pojazdów oraz różnych warunków eksploatacji na wyężenie konstrukcji mostu • Probabilistyczna metoda oceny zmęczenia mostów kolejowych • Opracowanie oprogramowania do oceny zmęczenia przęseł DPG <p>Budżet: (\$450,000 w 2013, \$400,00 w 2014, \$650,000 w 2015, \$600,000 w 2016, \$600,000 w 2017, \$700,000 w 2018, \$600,000 w 2019)</p>		
3.	01.2018 – 07.2020	<p><i>Wpływ dużych sił wewnętrznych pociągu na stabilność toru (Effect of High in-Train Forces on Track Stability), AAR (SRI 12C)</i></p> <p>Kierownik projektu (Principal Investigator)</p>
<p>Głównym celem tego projektu było ilościowe określenie wpływu na infrastrukturę, w tym stateczność boczną toru oraz obrót szyny pod wpływem dużych sił wzdłużnych i poprzecznych powodowanych przez różne pociągi w warunkach eksploatacji. Szczególnie ważna jest ocena wpływu sił wewnątrz pociągu na stabilność boczną toru oraz zapobieganie przesuwanemu się paneli trakcji i obrotu szyny pod wpływem dużych sił wzdłużnych. Wyniki badań posłużą do poprawy bezpieczeństwa eksploatacji pociągów przy mniejszej liczbie wykolejeń wywołanych niestabilnością boczną toru. Zakres projektu obejmował testy in-situ w TTC w celu walidacji modeli opracowanych przy użyciu TOES i NUCARS. Ostatecznym rezultatem jest ocena dużych wzdłużnych i bocznych sił działających na koła wagonu; zrozumienie i opracowanie strategii zmniejszających ich negatywnego wpływu oraz zmniejszenie ilości wykolejeń i niepotrzebnych uszkodzeń infrastruktury toru.</p> <p>Budżet: \$600,000</p>		
4.	01.2015 – 12.2016	<p><i>Wpływ długości pojazdów kolejowych na kolejowe obiekty inżynierskie (Effects of Short Cars on Track and Bridges), AAR (SRI 3A)</i></p> <p>Kierownik projektu (Principal Investigator)</p>

	<p>Głównym celem tego projektu było zbadanie wpływu krótkich wagonów na infrastrukturę kolejową i obiekty inżynieryjne. Zakres projektu obejmował: opracowanie statystyczne ilości wagonów o minimalnej długości i praktyki kolejowej, modelowanie analityczne w celu zidentyfikowania obszarów o największym znaczeniu i przypadków krytycznych, wykonanie testu in-situ na FAST w celu określenia różnic w naciskach osi i obciążeniach pionowym i poprzecznym w porównaniu z naciskami osi wywołanymi przejazdem wagonów o długości standardowej; zestawienie wyników w raportach. Ostatecznym rezultatem było stworzenie zalecanych wytycznych w celu złagodzenia niekorzystnego wpływu krótkich wagonów na degradację infrastruktury kolejowej i obiektów inżynieryjnych.</p> <p>Budżet: \$500,000</p>	
5.	03.2015 – 12.2015	<p><i>Cant Excess for Freight Train Operation on Shared Track</i>, FRA (TO 368) Kierownik projektu (Principal Investigator)</p> <p>Celem tego badania było opracowanie raportu podsumowującego problemy i obecne praktyki związane z przekroczeniem przechyłki kolejowej na łukach poziomych na liniach kolejowych eksploatowanych przez pociągi towarowe oraz pasażerskie. Zakres projektu obejmował: przegląd i podsumowanie dotychczasowych badań związanych z przekroczeniem przechyłki dla przewozów towarowych; przegląd dokumentów dotyczących interakcji pojazdu z torami oraz zmęczenia kontaktu tocznego (rolling contact fatigue RCF) związanego z łukami poziomymi i przewyższeniem, przegląd i dyskusje z kolejami i innymi zainteresowanymi stronami w odniesieniu do bieżących praktyk planowania, projektowania i konserwacji oraz określonych luk i potrzeb w zakresie ulepszeń.</p> <p>Budżet: \$54,094</p>
6.	09.2013 – 08.2014	<p><i>Heavy Point Frog Performance</i>, FRA (TO 347) Kierownik projektu (Principal Investigator)</p> <p>Głównym celem tego projektu było zbadanie wydajności dziobownicy (heavy point frog HPF) w eksploatacji pojazdów osobowych przy prędkościach do 110 mil na godzinę. Badania symulacyjne przeprowadzono przy użyciu oprogramowania NUCARS® z różnymi stanami układu torowego i pojazdu. Do oceny wydajności pojazdów kolejowych zastosowano kryteria bezpieczeństwa FRA Vehicle Track Interaction (VTI). W raporcie dla FRA przedstawiono kompleksowe podsumowanie kluczowych ustaleń dotyczących HPF i ich związku z wydajnością pojazdów kolejowych. Byłam odpowiedzialna za terminowe zarządzanie budżetem i zakresem projektu, tworzeniem modeli analitycznych, prowadzeniem analiz i przygotowaniem raportu.</p> <p>Budżet: \$156,954</p>
<p><u>UNIVERSITY OF NEBRASKA – LINCOLN, Lincoln, NE</u> Pracownik Naukowo-Dydaktyczny (Post-Doctoral Research Associate and Lecturer)</p>		
1.	08.2012 - 05.2013	<p><i>Opracowanie przewodnika dotyczącego priorytetyzacji mostów kolejowych do naprawy i wymiany (The Development of a Guide for Prioritization of Railway Bridges for Repair and Replacement)</i>, Principal Investigator (Co-principal investigator, with Dr. Andrzej S. Nowak)</p>

	<p>Projekt obejmował opracowanie systemu oceny stanu mostu w zależności od poziomu degradacji, okresu eksploatacji, warunków środowiskowych oraz przeszłych, obecnych i przyszłych obciążeń pociągów towarowych. Byłam odpowiedzialna za opracowanie modelu analitycznego, obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, analizy niezawodności oraz opracowanie wyników i napisanie raportu.</p> <p>Budżet: \$60,404</p>	
2.	08.2012 - 05.2013	<p><i>Review of the FHWA Guidelines for Load and Resistance Factor Design and Rating of Riveted, Bolted, and Welded Gusset-Plate Connections for Steel Bridges</i>, NCHRP 12-84 Research Associate (Principal Investigator: Dr. Andrzej S. Nowak)</p>
	<p>Głównym celem tego projektu było zapoznanie się z raportem FHWA i zweryfikowanie adekwatności procedury kalibracji, która obejmuje wyznaczenie parametrów statystycznych obciążenia i wytrzymałości, procedurę analizy niezawodności oraz interpretację wyników. Projekt obejmował analizę elementów skończonych różnych typów połączeń węzłowych mostów, konfiguracji, obciążeń i modeli zniszczenia. Byłam odpowiedzialna za przegląd raportu końcowego, a także pomagałam w sformułowaniu odpowiedzi do recenzji.</p> <p>Sponsor: The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)</p> <p>Budżet: \$ 7,600</p>	
3.	08.2012 - 05.2013	<p><i>New Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaires, and Traffic Signals</i>, NCHRP 10-80 Research Associate (Principal Investigator: Dr. Andrzej S. Nowak)</p>
	<p>Celem tego projektu badawczego było opracowanie nowych wymagań dla konstrukcji wsporczych znaków drogowych, opraw oświetleniowych i sygnalizacji drogowej. Wyniki tych badań zostały dostarczone do AASHTO do wykorzystania w tworzeniu nowej edycji Standardowych Specyfikacji AASHTO dla konstrukcji wsporczych dla znaków drogowych, opraw oświetleniowych i sygnalizacji drogowej. W trakcie realizacji projektu pomagałam w opracowaniu procedury kalibracji dla stanu granicznego zmęczenia dla nowych, ulepszonych procedur projektowych.</p> <p>Sponsor: The National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)</p> <p>Budżet: \$400,000</p>	
4.	08.2012 - 05.2013	<p><i>Review the Safety Concept and the Operational Risk Assessment of the Puente Nigale – Lake Maracaibo – Venezuela prepared by COWI</i> Research Associate (Principal Investigator: Dr. Andrzej S. Nowak)</p>
	<p>Celem projektu była recenzja przygotowanego przez COWI raportu dotyczącego mostu Segundo Cruce del Lago de Maracaibo (Puente Nigale). Byłam odpowiedzialna za przegląd Koncepcji Bezpieczeństwa i Ryzyka Operacyjnego. Pomogłam w przygotowaniu raportu dokumentującego adekwatność koncepcji bezpieczeństwa oraz oceny ryzyka operacyjnego przygotowanej przez COWI.</p> <p>Sponsor: T.Y. LI International</p> <p>Budżet: \$16,000</p>	

2.4. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach.

Od 2015 Member of Committee 15 Steel Structure, American Railroad Engineering and Maintenance-of-Way Association, AREMA, USA

Od 2014 Standing Committee on Steel Bridges AFF20, Transportation Research Board, USA

Od 2011 Associate Member, American Society of Civil Engineering, USA

2.5. Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.

04.2019 - Tygodniowe Stypendium dla Młodych Naukowców, INFRASTAR training school, Horizon 2020, Nantes, France

2.6. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).

Zastępca Redaktora Naczelnego Kwartalnika Roads and Bridges – Drogi i Mosty

Członek Rady Naukowej czasopisma Problemy Kolejnictwa

2.7. Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.

- Open Access Journal from MDPI: Guest Editor in Applied Sciences, Materials, Infrastructures
- Structure and Infrastructure Engineering. Taylor and Francis
- American Society of Civil Engineering, ASCE Journal of Bridge Engineering
- Transportation Research Record, Journal of the TRB
- American Concrete Institute, ACI Structural Journal
- Materiały Budowlane - Polish Journal of Structural Materials
<http://www.materiaלבudowlane.info.pl/dla-recenzentow.html>
- Problemy Kolejnictwa – Polish Journal of Railroad Research
<http://www.problemykolejnictwa.pl/index.php/en/>

Według informacji zawartych na Web of Science, wykonałam 29 zweryfikowanych recenzji.



The image shows a Web of Science ResearcherID profile for Anna Maria Rakoczy. It includes a circular profile picture with the initials 'AR', her name, a quote from her, her title as Assistant Professor at Warsaw University of Technology, and a table of her research metrics.

PUBLICATIONS	TOTAL TIMES CITED	H-INDEX	VERIFIED REVIEWS
17	45	4 [®]	29

2.8. Stypendia, wyróżnienia i nagrody

- 2019 - Nagroda za Najlepszy Artykuł w tematyce „Mosty i Tunele”, Konferencja International Heavy Haul Association (IHHA) 2019, pierwszy autor
- 2019 - Tygodniowe Stypendium dla Młodych Naukowców, INFRASTAR training school, Horizon 2020, Nantes, France
- 2018 - Nagroda ASCE 2018 Arthur M. Wellington za Najlepszy Artykuł Interdyscyplinarny, pierwszy autor
- 2017 - Nagroda dla Wybitnego Młodego Inżyniera, Konferencja IHHA 2017
- 2017 - Nagroda za Najlepszy Artykuł w tematyce „Mosty i Tunele”, Konferencja IHHA

3. INFORMACJA O WSPÓŁPRACY Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

3.1. Wykaz dorobku technologicznego - raporty badawcze:

- E1. **Rakoczy A.M.**, Gao, Y., Morrison, K., Preliminary stochastic models to investigate train-track interaction” (under review).
- E2. **Rakoczy, A.M.**, Linkowski D., “Fundamental behavior of riveted built-up section girder under a constant bending moment.” (under review).
- E3. Johnson, C., **Rakoczy, A.M.**, Otter, D., Dick, S., „Comparison of Continuous Spans versus Simply Supported Spans”, TD 20-024, September 2020, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E4. **Rakoczy, A.M.**, Gao, Y., Lee, M., „Influence of Tie, Fastener, and Ballast Parameters on Track Lateral Stability”, TD 20-018, August 2020, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E5. Shultz, J., Klopp A., **Rakoczy, A.M.**, „Simulation of Buff Force on Cars in a Curve”, TD 20-017, July 2020, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E6. **Rakoczy, A. M.**, Wilson N., Ding, L., “Cant Excess for Freight Train Operations on Shared Track”, DOT/FRA/ORD-20/05, February 2020
- E7. **Rakoczy, A. M.**, Linkowski, D., Otter, D. E., and Dick, S. M., “Measured Effects of Articulated Double-Stack Cars on Bridges”, TD 19-009, July 2019, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E8. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., and Linkowski, D., “Calculated versus Measured Strain/Stresses for Typical Steel Girder Railway Bridges”, TD 19-001, May 2019, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E9. Otter, D. E., Dick, S. M., and **Rakoczy, A. M.**, and Linkowski, D., “Fitness for Service Analysis for 65-foot Steel Girder Bridge Span at FAST, Technology Digest TD-18-024, AAR/TTCI, Pueblo, CO.

- E10. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Steel Bridge Fatigue Life Estimation Using the Probabilistic Method and New Fatigue Resistance for Riveted Details”, Report R-1027, July 2018, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E11. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Steel Bridge Fatigue Life Estimate Using Probabilistic Method – Part 2”, Technology Digest TD-18-018, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E12. **Rakoczy, A. M.**, Shushu L., Otter, D. E., Dick, S. M., “Current Loading Spectra for Evaluation of Railway Bridges”, Report R-1028, July 2018, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E13. **Rakoczy, A. M.**, Wilk S., Jones MC., “Review of Specifications and Guidelines for Rail Tunnel Design, Construction, Maintenance, and Rehabilitation”, Report Prepared for FTA and CUTR, P-18-008, November 2017.
- E14. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Testing of 115-foot Girder Span for Fatigue Loading and Railcar Length Effects”, Technology Digest TD-17-029, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E15. Otter, D. E., Dick, S. M., and **Rakoczy, A. M.**, “Fatigue Life Analysis for 55.5-foot Steel Girder Bridge Span at FAST, Technology Digest TD-17-025, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E16. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Effects of Articulated Double-Stack Cars on Bridges”, Technology Digest TD-17-020, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E17. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., “Steel Bridge Fatigue Life Estimate Using Probabilistic Method”, Technology Digest TD-16-057, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E18. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., “Member-Level Redundancy for Steel Bridge Girders”, Technology Digest TD-16-056, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E19. **Rakoczy, A. M.**, Prough, B., Otter, D. E., Dick, S. M., “Short Heavy Axle Load Cars: Testing of Longer Bridge Spans”, Technology Digest TD-16-048, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E20. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Short Heavy Axle Load Cars: Analysis of Longer Bridge Spans”, Technology Digest TD-16-047, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E21. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., “Hybrid Composite Beam Spans: Revenue Service Implementation”, Technology Digest TD-16-044, AAR/TTCI, Pueblo, Colorado.
- E22. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., “Bridge Condition Evaluation Using Vehicle-Based Detection Systems”, Technology Digest TD-16-038, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E23. Linkowski, D., **Rakoczy, A. M.**, Basye, C., and Dingqing, L., “Effects of Short HAL Cars on Subgrade – Part 2”, Technology Digest TD-16-037, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E24. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., “Bridge Condition Evaluation using Three Track Geometry Cars”, Technology Digest TD-16-027, AAR/TTCI, Pueblo, CO.

- E25. Otter, D. E., **Rakoczy, A. M.**, Dick, S. M., “Fatigue Life and Fitness-for-Service Analysis: 32-foot Steel Deck Plate Girder Bridge Span at FAST”, Technology Digest TD-16-025, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E26. Otter, D. E., **Rakoczy, A. M.**, Dick, S. M., “Fatigue Life and Fitness-for-Service Analysis: 24-foot Steel Deck Plate Girder Bridge Span at FAST”, Technology Digest TD-16-024, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E27. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Short Heavy Axle Load Cars: Bridge test at FAST”, Technology Digest TD-16-014, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E28. **Rakoczy, A. M.**, Otter, D. E., Dick, S. M., “Short Heavy Axle Load Cars: Analysis”, Technology Digest TD-16-013, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E29. **Rakoczy, A. M.**, Basye, C., Linkowski, D., Otter, D. E., “Effects of Short HAL Cars on Subgrade”, Technology Digest TD-16-002, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E30. **Rakoczy, A.M.**, Shu, X., Davis, D., Li, D., “Heavy Point Frog Performance”, DOT/FRA/ORD-16/19, June 2016, (112 p.)
<https://www.fra.dot.gov/eLib/details/L17838>
- E31. Keylin, A., Urban, C., **Rakoczy, A. M.**, and Otter, D., December 2015. “Vehicle Performance of Short Heavy Axle Load Cars.” Technology Digest TD-15-044, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E32. **Rakoczy, A. M.**, X. Shu, and D. Davis. November 2015. “Evaluation of Heavy Point Frog Performance and Potential Design Changes for High-Speed Service and Heavy Axle Load Service” Technology Digest TD-15-039, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E33. Otter, D., **Rakoczy, A. M.**, and Dick, S. M., August 2015. “Steel Bridge Life Extension for Riveted Steel Girder Spans at FAST.” Technology Digest TD-15-024, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E34. **Rakoczy, A. M.**, X. Shu, and D. Otter. February 2015. “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation – Part 1.” Technology Digest TD-15-004, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E35. **Rakoczy, A. M.**, X. Shu, and D. Otter. February 2015. “Vehicle/Bridge Interaction Modeling and Validation – Part 2.” Technology Digest TD-15-005, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E36. **Rakoczy, A. M.** and D. Otter. February 2015. “Bridge Condition Evaluation Using Track Modulus Measuring Systems.” Technology Digest TD-15-006, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E37. **Rakoczy, A. M.** and D. Otter. February 2015. “Bridge Condition Evaluation Using Track Geometry Systems.” Technology Digest TD-15-007, AAR/TTCI, Pueblo, CO.
- E38. **Rakoczy, A. M.** and Nowak, A.S., “Development of a Guide for Prioritization of Railway Bridges for Repair and Replacement”, Mid-America Transportation Center, Report #MATC-UNL: #052.,
- E39. Nowak, A.S. and **Rakoczy, A. M.**, “Development of System Reliability Models for Railway Bridges”, Mid-America Transportation Center, Report # MATC-UNL: 426.

3.2. Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym.

Współpraca między Instytutem Badawczym TTCI a właścicielami kolei w Ameryce Północnej zrzeszonych w AAR. Wiele badań i pomiarów diagnostycznych wykonanych podczas mojej pracy w TTCI było przeprowadzonych na istniejących obiektach kolejowych, które obecnie były eksploatowane. Wszystkie ekspertyzy i zebrane dane z badań in-situ były publikowane w sprawozdaniach zwanych TDs (Technology Digest), które są wymienione w tym załączniku w pkt. 3.1.

3.3. Informacja o wdrożonych technologiach.

W 2020 Instytut Badawczy TTCI udostępnił, opracowany na podstawie algorytmu mojego autorstwa, program komputerowy do obliczania oceny zmęczenia przęseł blachownicowych wszystkim właścicielom kolei w Ameryce Północnej zrzeszonych w AAR. Kod źródłowy oprogramowania opracowałam w programie MatLab na podstawie wyników dotychczasowych badań nad oceną przydatności do użytkowania istniejących konstrukcji mostowych. Program o nazwie „AAR DPG Bridge Fatigue Simulator Software” ma zastosowanie do przęseł typu DPG o długości do 122 metrów (400 stóp), z dwoma lub więcej dźwigarami blachownicowymi, i przenoszące typowe obciążenia kolejowe określone przez Użytkownika. Użytkownicy mogą zdefiniować skład pociągu z maksymalnie 100 wagonami (400 nacisków osi), o różnych długościach wagonów zdefiniowanych w zakładce Train (pociąg). Z danych wejściowych program wygeneruje historie momentów, historie naprężeń oraz tabelaryczne podsumowanie cykli naprężeń, momentu zginającego, naprężenia zginającego, ocenę zmęczenia przy użyciu American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA) i oceny zmęczenia autorską metodą probabilistyczną. Więcej informacji na temat oprogramowania zawarte jest w Załączniku 3 (Autoreferat przedstawiający opis działalności naukowo-badawczej).

4. INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE

4.1. Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.

ORCID id: 0000-0003-1208-5729

- Web of Science: 45;
- Scopus: 73, bez autocytowań 60;
- Google Scholar: 204

Tablica 1. Cytowania publikacji wchodzące w skład głównych osiągnięć naukowych

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Cytowania Web of Science	Cytowania Scopus	Cytowania Google Scholar
A1	2021	Archives of Civil Engineering			
A2	2021	Roads and Bridges - Drogi i Mosty			
A3	2021	MDPI, Applied Sciences – Basel			
A4	2020	Structure and Infrastructure Engineering	4	4	5
A5	2016	Structure and Infrastructure Engineering	8	10	12
A6	2014	Structure and Infrastructure Engineering	4	5	7
A7	2017	Transportation Research Record	1	1	3
A8	2016	ASCE Journal of Bridge Engineering	0	1	4
Suma:			17	21	31

Tablica 2. Cytowania publikacji nie wchodzące w skład głównych osiągnięć naukowych

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Cytowania Web of Science	Cytowania Scopus	Cytowania Google Scholar
C1	2019	Transportation Research Record	1	1	3
C2	2014	ACI Structural Journal	5	4	14
C3	2013	PCI Journal	5	8	16
C4	2013	Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences	4	4	8
C5	2013	ACI Materials Journal	12	15	22
C6	2012	ACI SP		14	50
C7	2011	Architecture, Civil Eng., Environment ACEE Journal			7
C8	2011	Rzeszow University of Technology			
Suma:			27	46	121

4.2. Informacja o posiadanym indeksie Hirscha.

- Web of Science: 4 (bez autocytowań)
- Scopus: 5 (bez autocytowań)
- Google Scholar: 8

4.3. Informacja o liczbie punktów MNiSW i o punktacji Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).

Tablica 3. Impact Factor publikacji wchodzące w skład głównych osiągnięć naukowych

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Punkty MNiSW	IF (w roku publikacji)	IF 5 lat
A1	2021	Archives of Civil Engineering	100	0,8	0,766
A2	2021	Roads and Bridges - Drogi i Mosty	70		
A3	2021	MDPI, Applied Sciences – Basel	100	2,679	2,736
A4	2020	Structure and Infrastructure Engineering	100	3,087	3,533
A5	2016	Structure and Infrastructure Engineering	100	1,565	3,533
A6	2014	Structure and Infrastructure Engineering	100	1,454	3,533
A7	2017	Transportation Research Record	40	0,912	1,686
A8	2016	ASCE Journal of Bridge Engineering	100	2,121	3,167
Suma:			710	12,618	18,954

Tablica 4. Impact Factor publikacji nie wchodzące w skład głównych osiągnięć naukowych

Pozycja	Data publikacji	Czasopismo	Punkty MNiSW	IF (w roku publikacji)	IF 5 lat
C1	2019	Transportation Research Record	40	1,189	1,686
C2	2014	ACI Structural Journal	100	1,602	2,239
C3	2013	PCI Journal	40	0,714	1,197
C4	2013	Bulletin of the Polish Academy of Sciences- Technical Sciences	100	1,465	1,669
C5	2013	ACI Materials Journal	70	1,636	2,177
C6	2012	ACI SP			
C7	2011	Architecture, Civil Eng., Environment ACEE Journal			
C8	2011	Rzeszow University of Technology			
Suma:			350	6,606	8,968

.....
Anna Rakocy
 (podpis wnioskodawcy)