



Prof. dr hab. inż. Katarzyna Rzeszut
Zakład Konstrukcji Budowlanych
Instytut Budownictwa
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Politechnika Poznańska
Tel: 61 6652097
E-mail: katarzyna.rzeszut@put.poznan.pl

Poznań 29.12.2025 r.

Wpłynęło
do Biura Wydziału WILiS
dnia 07.01.2026
L.dz. 10 podpis Lubusko

Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i zawodowego będącego podstawą do wszczęcia postępowania habilitacyjnego dra inż. Karola Marka Winkelmann

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo I.dz. 799/WILiS/2025 z dnia 20.10.2025 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechniki Gdańskiej Pana dr hab. inż. Michał Nitka, prof. PG z informacją o powołaniu mnie na recenzentkę w postępowaniu dra inż. Karola Marka Winkelmann w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport nr 83/2025 z dnia 8 października 2025 r. w sprawie: powołania komisji w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Karola Marka Winkelmann.

Merytoryczną podstawą opracowania recenzji był załączony do zlecenia kompletny zestaw dokumentów wspierających wnioszek o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Recenzja została opracowana na podstawie wytycznych zawartych w ¹ i ².

2. Sylwetka habilitanta

Dr inż. Karol Marek Winkelmann jest absolwentem Politechniki Gdańskiej, gdzie w 2008 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera na kierunku Budownictwo, przedstawiając pracę dyplomową pt.: „Studium statyczno-dynamiczne oraz projekt wstępny żelbetowej kładki podwieszanej, inspirowanej kładką Esplanade Riel” (opiekunowie: dr inż. Marian Cichocki, prof. dr hab. inż. Jarosław Górski) uzyskując wyróżnienie Ministra Infrastruktury RP. W latach 2008 – 2013 Habilitant podjął pracę na stanowisku asystenta na Politechnice Gdańskiej, na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska, w Katedrze Mechaniki Budowli i Mostów. W 2023 roku Habilitant uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Budownictwo. Rozprawa doktorska pt.: „Obliczanie niezawodności konstrukcji inżynierskich metodami symulacyjnymi i metodą powierzchni odpowiedzi” została przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jarosława Górskiego z Politechniki Gdańskiej. Po uzyskaniu stopnia doktora, Karol Marek Winkelmann, kontynuował pracę na Politechnice Gdańskiej, na Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska, w Katedrze Mechaniki Budowli, kolejno jako adiunkt (2013 – 2018), następnie jako starszy

¹ Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571 z późn. zm.)

² Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego. Poradnik Rady Doskonałości Naukowej z dn. 9 sierpnia 2023 r.

wykładowca (2019), a od 2019 roku jako adiunkt badawczo-dydaktyczny. Działalność dra inż. Karola Marka Winkelmanna obejmuje przede wszystkim zagadnienia związane z analizą wrażliwości i niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej, a także z technikami symulacyjnymi mającymi na celu uproszczenie procesów stochastycznych w projektowaniu konstrukcji inżynierskich.

Równolegle z działalnością naukową dr inż. Karol Winkelmann systematycznie poszerzał swoje kompetencje dydaktyczne. Jest współautorem dwóch podręczników akademickich, laureatem czterech nagród Rektora Politechniki Gdańskiej za wyróżniającą działalność dydaktyczną (2014, 2016, 2017, 2023) oraz laureatem II edycji konkursu „eduSHARE” (2024) organizowanego przez Centrum Nowoczesnej Edukacji na Politechnice Gdańskiej wyłaniającego najlepszych wykładowców akademickich na Politechnice Gdańskiej w opinii Studentów.

3. Ocena osiągnięć naukowych wskazanych przez Habilitanta

We wniosku przedłożonym do oceny w postępowaniu habilitacyjnym przez dra inż. Karola Marka Winkelmann wskazuje dwa osiągnięcia naukowe. Jako pierwsze osiągnięcie naukowe Habilitant wskazał cykl dziewięciu artykułów naukowych powiązanych ze sobą tematycznie pt.: „Innowacyjne procedury szacowania wrażliwości i niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej o przestrzennie zmiennych parametrach geometrycznych i materiałowych”. Natomiast jako drugie osiągnięcie naukowe przedstawił on monografię naukową pt.: „Efektywne algorytmy do analizy symulacyjnej zmienności wybranych parametrów materiałowych i obciążeń w czasie, wspomagające szacowanie zmian wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierskich”.

3.1. Pierwsze osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Pierwsze osiągnięcie naukowe wskazane przez Habilitanta, jako podstawa ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, ma formę cyklu powiązanych tematycznie prac naukowych pod wspólnym tytułem: „Innowacyjne procedury szacowania wrażliwości i niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej o przestrzennie zmiennych parametrach geometrycznych i materiałowych”. W skład tego osiągnięcia wchodzi dziewięć wieloautorskich artykułów naukowych, z czego w pięciu pracach Habilitant został wymieniony na pierwszym miejscu. Wszystkie artykuły zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach takich jak: Journal of Theoretical and Applied Mechanics (IF: 0.6, MNiSW: 70 pkt.), Structure and Infrastructure Engineering (IF: 2.6, MNiSW: 100 pkt.), Geotechnical and Geological Engineering (IF: 1.7, MNiSW: 70 pkt.), Soils and Foundations (IF: 3.3, MNiSW: 140 pkt.), Stahlbau (IF: 0.3, MNiSW: 20 pkt.), Applied Sciences (IF: 2.5, MNiSW: 100 pkt.). Omawiane osiągnięcie naukowe obejmuje badania naukowe publikowane w latach 2014 – 2025, w których przedstawiono autorskie rozwiązania z zakresu analiz probabilistycznych, ze szczególnym uwzględnieniem analizy wrażliwości i niezawodności oraz sformułowano wynikające z nich wnioski i wytyczne o charakterze projektowym, odnoszące się do konstrukcji inżynierskich. Przedstawione wyniki badań wnoszą istotny wkład w rozwój stanu wiedzy w obszarze szacowania bezpieczeństwa konstrukcji inżynierskich, w szczególności w zakresie metod probabilistycznej oceny ich niezawodności. W ramach osiągnięcia można wyodrębnić dwa zasadnicze nurty badawcze. Pierwszy z nich, obejmujący pierwsze cztery publikacje, dotyczy kompilacji metod probabilistycznych z uproszczonymi procedurami numerycznymi oraz weryfikacji efektywnej autorskiej procedury symulacyjnej analizy niezawodności konstrukcji. Drugi nurt, reprezentowany przez kolejne pięć publikacji, koncentruje się na zagadnieniach racjonalizacji probabilistycznego opisu imperfekcji geometrycznych oraz zmienności właściwości materiałowych z wykorzystaniem aparatu matematycznego pól losowych. Oba nurty badawcze łączy wspólna problematyka związana z oceną zasadności oraz przydatności stosowania i interpretacji procedur probabilistycznych jako narzędzi wspomagających i doskonalących proces zapewniania wymaganej niezawodności obiektów inżynierii lądowej i geotechniki w całym okresie ich użytkowania.

Punktem wyjścia dla pierwszej części cyklu badawczego jest artykuł³ z 2014 roku, w którym zaprezentowano możliwość wykorzystania metody powierzchni odpowiedzi RSM do oceny niezawodności kompozytowych konstrukcji inżynierskich, na przykładzie modelu numerycznego cylindrycznej kompozytowej powłoki warstwowej, poddanej obciążeniu ściskającemu wzdłuż jej tworzącej. Wybór tego typu powłoki, wynikał z potrzeby znalezienia konstrukcji o dużej wrażliwości na imperfekcje geometryczne i materiałowe, a co za tym idzie charakteryzującej zróżnicowaną odpowiedzią mechaniczną. Obliczenia numeryczne przeprowadzono etapowo, tak aby w kolejnych krokach dobierać próbki losowe charakterystyczne dla różnych symulacji numerycznych z różnymi polami losowymi imperfekcji o zmiennym zasięgu i stopniu korelacji. Takie podejście pozwoliło na optymalizację efektywności działania metody powierzchni odpowiedzi w obliczeniach niezawodności obciążeniowej z wykorzystaniem autorskiego programu. Opisany w pracy aparat probabilistyczny umożliwił analizę przemieszczenia wzdłuż tworzącej dla obciążenia referencyjnego oraz wartości obciążenia krytycznego w zależności od amplitudy i zasięgu korelacji pól. Wykazano, że zarówno w podejściu symulacyjnym wg metody Monte Carlo, jak i aproksymacyjnym wg techniki Hasofer-Linda, oszacowania były w pełni zbieżne. Dodatkowo wykazano, że odpowiednia kombinacja danych wejściowych pozwala ograniczyć wrażliwość numeryczną przy wyznaczaniu równania powierzchni odpowiedzi oraz wskaźników niezawodności.

Przy powstawaniu omawianej publikacji Habilitant brał udział w tworzeniu głównej hipotezy badawczej. Opracował on modele numeryczne powłok kompozytowych i przeprowadził analizy probabilistyczne dla modeli powłoki z imperfekcjami geometrycznymi w postaci pól losowych w autorskim programie. Ponadto przeprowadził analizę wrażliwości odpowiedzi konstrukcji i oszacował prawdopodobieństwo awarii oraz wskaźnik niezawodności powłoki wraz z interpretacją wyników i sformułowaniem wniosków końcowych z pracy.

Należy podkreślić, że omawiana publikacja ma charakter wprowadzający i stanowi początkowy etap badań prowadzonych przez Habilitanta. Pewnym mankamentem, który uwidacznia się w artykule, jest brak krytycznej oceny przeprowadzonych analiz. Między innymi, nie wskazano ograniczeń wynikających z zastosowania metody powierzchni odpowiedzi (RSM), takich jak zależność dokładności aproksymacji od jakości i rozmieszczenia punktów próbki. W pracy brak jest dyskusji dotyczącej konsekwencji przyjęcia zbyt małej liczby punktów, co w przypadku silnie nieliniowych ścieżek równowagi może prowadzić do istotnych błędów. W prawdzie poszerzona analiza tych zagadnień została przeprowadzona w Autoreferacie (str. 9), gdzie Habilitant omawia celowość i zasadność zastosowania podejścia typu Combined/Constrained RSM (CRSM). Nie zmienia to faktu, że korzyści wynikające z potencjalnej implementacji metody CRSM, tj. kompilacji podejścia symulacyjnego i aproksymacyjnego, nie zostały wystarczająco wyartykułowane w omawianym artykule. Ponadto, w artykule tylko częściowo wyjaśniono, jakie kryteria doboru zmiennych losowych zostały zaimplementowane w badanym problemie probabilistycznym. Doprecyzowania wymaga także opis autorskiego oprogramowania, za pomocą którego przeprowadzono symulacje numeryczne.

W pracy⁴ z roku 2020, kompilację podejścia symulacyjnego i aproksymacyjnego zastosowano do oceny odpowiedzi przemieszczeniowej rzeczywistego mostu łukowego o rozpiętości około 110 m. Na podstawie analizy źródeł niepewności sformułowano problem losowy obejmujący cztery nieskorelowane zmienne losowe związane z obciążeniem, właściwościami materiałowymi oraz parametrami geometrycznymi konstrukcji. Zmienne te zostały dokładnie zinterpretowane, skalibrowane, a ich wkład w odpowiedź konstrukcji został ilościowo określony i zweryfikowany bazując na pomiarach in situ. Następnie przeprowadzono kompleksową analizę probabilistyczną przemieszczeń pionowych obiektu, wykorzystując dane z podejścia symulacyjnego (metody Monte Carlo) i próbki losowe ukierunkowane (z metody PEM) do aproksymacji powierzchni odpowiedzi (RSM) w wariantach liniowym i nieliniowym. Uzyskane wyniki pozwoliły sformułować

³ Winkelmann K., Górski J.: The use of Response Surface Methodology for reliability estimation of composite engineering structures. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 52(4), 2014, pp. 1019–1032, <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.52.4.1019>.

⁴ Owerko P., Winkelmann K., Górski J.: Application of probabilistic tools to extend load test design of bridges prior to opening. *Structure and Infrastructure Engineering* 16 (7), 2020, s. 931–948 <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1676790>

stwierdzenie, że nawet dla złożonych konstrukcji rzeczywistych celowy dobór próbek w ramach procedury RSM, pozwala na precyzyjne oszacowanie rozkładu odpowiedzi losowego problemu.

W ramach powstawania niniejszej publikacji wkład deklarowany przez Habilitanta polegał przede wszystkim na przeprowadzeniu analizy i weryfikacji wyników numerycznych odpowiedzi mechanicznej obiektu, uzyskanych przez innego współautora w środowisku programu numerycznego MES. Habilitant w autorskim programie, wykonał deterministyczną analizę wrażliwości funkcji odpowiedzi przemieszczeniowej modelu MES mostu na zmiany wartości wejściowych zmiennych losowych, stosując metodę powierzchni odpowiedzi (RSM). Ponadto przeprowadził wyznaczenie przedziałów możliwego ekstremalnego przemieszczenia pionowego obiektu, przy wykorzystaniu zarówno metody estymacji punktowej (PEM), jak i metody powierzchni odpowiedzi (RSM) dla kombinacji próbek bezpośrednich i ukierunkowanych, zgodnie z metodą CRSM. Habilitant uczestniczył również w interpretacji kluczowych wyników zarówno w ujęciu numerycznym, jak i inżynierskim, współpracując przy formułowaniu wniosków końcowych pracy, w tym zaleceń technicznych uzupełniających obecnie obowiązujące przepisy i wytyczne normowe. Współtworzył on także schemat graficzny ilustrujący propozycję probabilistycznego wspomaganie testów próbnego obciążenia mostów, stanowiący wizualne podsumowanie zaproponowanej metodyki.

Za główną zaletę publikacji należy uznać innowacyjność, polegającą na wprowadzeniu metod probabilistycznych do przeprowadzania testów obciążeń mostów. Podejście to jest zgodne z literaturą fachową oraz normami projektowymi, a jednocześnie stanowi istotną wartość dodaną w kontekście praktycznym. W pracy połączono metody probabilistyczne z uproszczonymi procedurami numerycznymi poprzez zastosowanie metod Monte Carlo (MC), Point Estimation Method (PEM) oraz Response Surface Method (RSM), co świadczy o znajomości nowoczesnych narzędzi analizy niepewności i ich adaptacji do praktyki inżynierskiej.

Dużą wartość stanowi również fakt, że zaproponowana metoda może być stosowana nie tylko przez naukowców, ale również przez praktyków inżynierskich, co zwiększa jej użyteczność w codziennej pracy projektowej. Na uwagę zasługuje także wysoka przejrzystość procedury, która jest osiągnięta przez obecność schematów oraz instrukcji krok po kroku, co znacząco ułatwia zrozumienie i implementację opracowanej metodyki.

W ocenie recenzentki pewnym mankamentem pracy jest brak krytycznej analizy metod, w szczególności potencjalnych ograniczeń stosowania PEM, RSM czy MC w praktyce (np. efekt „klątwy wymiarowości” przy dużej liczbie zmiennych losowych czy ograniczenia przy analizie skokowych reakcji konstrukcji). Ponadto uważam, że stwierdzenie, iż metoda znajduje zastosowanie dla „dowolnej struktury mostowej i dowolnego parametru reakcji”, jest zbyt ogólne i wymaga bardziej precyzyjnego określenia zakresu jej stosowalności. Wskazane byłoby określenie sytuacji, w których poszczególne procedury probabilistyczne mogą dawać niedokładne wyniki oraz uwzględnienie specyfiki konstrukcji (np. mosty łukowe vs. belkowe). Warto również doprecyzować kwestię uniwersalności procedury, wskazując typowe ograniczenia konstrukcyjne lub przypadki, w których metoda wymagałaby modyfikacji. Można by również rozważyć przedstawienie przykładów innych typów mostów lub parametrów odpowiedzi, które mogą stanowić większe wyzwanie analityczne. Takie uzupełnienia pozwoliłyby zwiększyć praktyczną użyteczność i wiarygodność zaproponowanej metodyki.

Pomimo kilku uwag krytycznych, należy jednak podkreślić, że zaproponowana metoda stanowi praktyczną i efektywną strategię włączania analiz probabilistycznych do standardowych procedur oceny konstrukcji. Umożliwia inżynierom uzyskanie wiarygodnych i odpornych na niepewności prognoz zachowania konstrukcji, skutecznie łącząc rygor naukowy z zastosowaniem praktycznym.

Powyższe wnioski stały się motywacją do implementacji i weryfikacji efektywności metody kombinacyjnej CRSM w analizie niezawodności rzeczywistych konstrukcji o wyższym poziomie złożoności. Wyniki tej części badań omówiono w kolejnym artykule⁵, w którym przeprowadzono probabilistyczną ocenę stateczności klifu morskiego w Jastrzębiej Górze. Głównym problemem była tu postępująca erozja klifu, która stanowiła stałe zagrożenie dla bezpieczeństwa budynków

⁵ Winkelmann K., Zabuski L., Przewłócki J., Górski J.: Reliability-Based Stability Analysis of a Baltic Cliff by the Combined Response Surface Method. *Geotechnical and Geological Engineering* 38 (5), 2020, s. 5549-5563. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01384-5>

znajdujących się w pobliżu jego korony. Analizowane zbocze charakteryzowało się złożonym, wielowarstwowym profilem geologicznym, co wymagało właściwego doboru techniki obliczeniowej przy ocenie niezawodności tego wielowymiarowego problemu. W omawianym artykule zaproponowano procedurę obliczeniową, obejmującą metodę powierzchni odpowiedzi (RSM) połączoną ze standardową metodą symulacji Monte Carlo (MC) i metodą estymacji punktowej (PEM). W zaproponowanej procedurze wykorzystano sumę określonych próbek PEM i losowych próbek MC, które z powodzeniem mogły być stosowane w przypadkach umiarkowanego lub wysokiego prawdopodobieństwa awarii, tj. $P_f [0:05]$, reprezentującego różne zadania geotechniczne. Najważniejszą cechą zaproponowanej metody CRSM była możliwość wielokrotnego wykorzystania tych samych próbek. Należy podkreślić, że zaproponowana metoda CRSM łączy analizę wrażliwości z podejściem probabilistycznym. Zastosowanie procedur próbkowania podobnych do PEM umożliwiło przeprowadzenie podstawowej analizy wrażliwości w trakcie identyfikacji liniowej lub nieliniowej krzywizny powierzchni odpowiedzi konstrukcji, co jest niezbędne do przyjęcia właściwego rzędu modelu aproksymacji RS. Proponowane metody zostały przetestowane w dwóch przypadkach: z wysokim prawdopodobieństwem awarii (stan bez odwodnienia) i umiarkowanym prawdopodobieństwem awarii (stan z odwodnieniem). W zaproponowanym podejściu jako miarę odpowiedzi zbocza przyjęto wartość znormalizowanego współczynnika bezpieczeństwa F , obliczanego w modelu numerycznym przy użyciu oprogramowania Itasca FLAC. Założono, że jeśli $F \geq 1$, to zbocze jest bezpieczne. Problem losowy opisano za pomocą 14 zmiennych losowych, zakładając kohezję i kąty tarcia wewnętrznego każdej z warstw zbocza jako odrębne zmienne losowe. Na podstawie analizy wstępnej stwierdzono, że zbocze wykazuje wysokie ryzyko utraty stateczności. W docelowej analizie niezawodności klifu dla obu stanów osobno rozważono zastosowanie metody MC z użyciem 100 próbek, wykorzystanie PEM z użyciem domyślnej dla metody liczby 28 próbek (14 zmiennych, 2 realizacje każdej) oraz przeprowadzenie analizy CRSM z dynamicznie zmienną liczbą próbek, zależną od wymaganej zbieżności rozwiązania. W pierwszym analizowanym wariancie, obejmującym zbocze w stanie bez drenażu, autorska procedura CRSM pozwala na uzyskanie zbieżności rozwiązania przy wykorzystaniu 76 próbek, prowadząc do wyznaczenia miar bezpieczeństwa zgodnych z wynikami uzyskanymi metodą Monte Carlo opartą na 100 próbkach (wskaźnik niezawodności $\beta_{undr} = 0,15$). Zastosowanie metody estymacji punktowej (PEM) w tym przypadku okazało się nieadekwatne, skutkując zawyżonym oszacowaniem wskaźnika niezawodności ($\beta_{undr, PEM} = 0,25$). W drugim wariancie obliczeniowym, dotyczącym zbocza z uwzględnieniem drenażu, metoda CRSM osiągnęła zbieżność jeszcze szybciej, już przy 51 próbkach, umożliwiając wyznaczenie wskaźnika niezawodności na poziomie $\beta_{dr, CRSM} = 1,567$. W przeciwieństwie do tego, metody MC oraz PEM nie zapewniły wiarygodnych oszacowań miar bezpieczeństwa: metoda PEM prowadziła do wyników obarczonych znacznym błędem, natomiast metoda Monte Carlo, przy liczbie 100 próbek, nie osiągnęła wymaganej zbieżności, skutkując przeszacowaniem wskaźnika niezawodności do wartości $\beta_{dr} = 1,645$.

Zatem zaproponowana metoda CRSM może być z powodzeniem stosowana w obliczeniach geotechnicznych, charakteryzujących się rozproszeniem i niepewnością danych dotyczących gleby, a także stosunkowo wysokim prawdopodobieństwem uszkodzenia. Podczas gdy, zastosowanie w tym przypadku klasycznego, probabilistycznego ujęcia metody elementów skończonych (RFEM), bazującego na realizacji obliczeń MES sterowanych bezpośrednimi symulacjami zmienności wg metody Monte Carlo wymagałoby ogromnej liczby symulacji modelu numerycznego, co z inżynierskiego punktu widzenia byłoby nieakceptowalne.

Przy powstawaniu omawianej publikacji wkład własny deklarowany przez Habilitanta polegał na współtworzeniu głównej hipotezy badawczej, przygotowaniu opisu zmiennych losowych badanego problemu losowego i zebraniu bazy danych o ich zmienności. Ponadto Habilitant opracował od podstaw autorską propozycję procedury probabilistycznej kombinowanej metody powierzchni odpowiedzi (CRSM), stanowiącej połączenie metody powierzchni odpowiedzi (RSM), klasycznej symulacji Monte Carlo (MC) oraz metody estymacji punktowej (PEM). Przeprowadził probabilistyczne analizy dotyczące stateczności klifu, w tym analizę wrażliwości stateczności na zmianę jego parametrów losowych, analizę statystyczną i jakościową odpowiedzi klifu metodą symulacyjną, aproksymacyjną, metodą estymacji punktowej i metodą CRSM. Dokonał zbiorczego przedstawienia wyników analizy probabilistycznej wraz z ich interpretacją.

Podsumowując w omawianej publikacji Habilitant wykazał skuteczność i efektywność szacowania niezawodności przy wykorzystaniu własnego, oryginalnego podejścia CRSM, a także jego konkurencyjność względem metod probabilistycznych o większej złożoności obliczeniowej, standardowo rozważanych w przypadku podobnych problemów badawczych. Zalety proponowanej metody przejawiają się głównie w znacząco krótszym czasie obliczeniowym skutkującym obniżeniem nakładu obliczeniowego w stosunku do metody Monte Carlo z jednoczesnym uzyskaniem lepszej jakości oszacowania.

Obok niewątpliwych zalet, publikacja wykazuje również pewne ograniczenia, które należy odnotować w krytycznej ocenie. Przede wszystkim zaproponowana metoda CRSM została zweryfikowana wyłącznie dla zakresu stosunkowo wysokich wartości prawdopodobieństwa awarii ($P_f \leq 0,5$), co ogranicza możliwość bezpośredniej ekstrapolacji wniosków na problemy charakteryzujące się bardzo niskim poziomem ryzyka, typowe np. dla konstrukcji o wysokim znaczeniu niezawodnościowym. Dodatkowo należy zauważyć, że przyjęcie pełnego drenażu jako scenariusza referencyjnego ma charakter idealizacyjny i w praktyce inżynierskiej może być trudne do realizacji. Zaletą pracy jest jednak fakt, że przeprowadzona analiza wrażliwości wskazuje możliwość projektowania rozwiązań alternatywnych, takich jak częściowy drenaż warstw kluczowych, co otwiera pole do dalszych, bardziej szczegółowych analiz. Brakuje również szerszej dyskusji dotyczącej wpływu przyjętego rzędu aproksymacji powierzchni odpowiedzi na stabilność i dokładność rozwiązania, zwłaszcza w kontekście silnie nieliniowej odpowiedzi układu grunt-konstrukcja. Pewnym mankamentem jest także uproszczone przyjęcie kryterium bezpieczeństwa w postaci znormalizowanego współczynnika stateczności $F \geq 1$ jako jedynej miary odpowiedzi losowej. Choć podejście to jest powszechnie stosowane w praktyce inżynierskiej, ogranicza ono możliwość pełniejszej analizy mechanizmów zniszczenia oraz nie uwzględnia bezpośrednio procesów degradacyjnych o charakterze czasowym. Autorzy sygnalizują wprowadzenie potencjalne rozszerzenie metody CRSM na zagadnienia zależne od czasu, jednak w omawianej publikacji zagadnienie to nie zostało rozwinięte.

Odpowiedzią na to wyzwanie były dalsze prace badawcze polegające na modyfikacji metody CRSM w taki sposób, by mogła ona być używana także do analiz, w których niezawodność ściśle zależy od funkcji czasu (procesów stochastycznych). Realizację tego zamierzenia badawczego przedstawiono w publikacji⁶ z 2021 roku. Artykuł ten dotyczy oceny zmiennego w czasie wskaźnika niezawodności opartego na RSM, dla fundamentu palowego mostu drogowego. Badany fundament palowy jest częścią drugiego co do wielkości mostu wantowego w Polsce, Mostu Rędziańskiego we Wrocławiu. Konstrukcja nośna mostu składa się z dwóch oddzielnych, sprężonych, betonowych dźwigarów skrzynkowych, podwieszonych do hybrydowego pylonu w kształcie litery H (częściowo betonowego, częściowo stalowo-betonowego). Fundament pylonu stanowi masywna płyta betonowa o wymiarach podstawy 67:4 28:0 m i zmiennej grubości (od 2,5 do 6,5 m), wsparta na 160 żelbetowych palach (8 rzędów po 20 pali, w siatce prostokątnej 3:4 3:6 m), każdy o długości 18,0 m i średnicy 1,5 m. Model podłoża wygenerowano w oprogramowaniu ZSoil metodą elementów skończonych (MES). Aby uprościć podejście probabilistyczne, przyjęto zastępcze parametry sztywności warstw gruntu. Śledzenie ich dekrementacji w czasie pozwoliło na kompleksowe zdefiniowanie całkowitego osiadania fundamentu, wywołanego wieloma czynnikami. Wstępna analiza wrażliwości osiadań na zmienność sztywności właściwie uprościła model losowy. Stan Graniczny Użytkowalności (SGN) posłużył do oceny wskaźnika niezawodności fundamentu, porównując go z warunkami określonymi w normie EN 1990:2002/A1:2005. Ponadto, do kalibracji oceny wskaźnika niezawodności użyto rzeczywiste osiadania pomierzone w pierwszym roku eksploatacji mostu. W pracy zaproponowano innowacyjne podejście w postaci wprowadzenia pomocniczej funkcji fluktuacyjnej, która wywołuje zależną od czasu zmianę wszystkich reprezentatywnych parametrów sztywności każdej odrębnej, kluczowej warstwy gruntu. Stąd odpowiednie, zależne od czasu funkcje wartości średnich i odchyłeń standardowych określone są zgodnie z rozkładem funkcji fluktuacyjnej. Implementacja funkcji fluktuacyjnej do RSM pozwala także na aktualizację osiadań fundamentów w czasie, a tym samym na oszacowanie zmiennej w czasie niezawodności konstrukcji.

⁶ Winkelmann K., Żyliński K., Górski J.: Probabilistic analysis of settlements under a pile foundation of a road bridge pylon. *Soils and Foundations* 61 (1), 2021, s. 80-94. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.11.001>

Proponowany algorytm obliczeniowy jest uzupełniany o określenie parametrów funkcji RSM na podstawie ciągłych pomiarów geodezyjnych osiadań rzeczywistych, wykonywanych w trakcie budowy i eksploatacji mostu. Działa on dobrze nawet w przypadku ograniczonej bazy danych in-situ z systemu monitorowania konstrukcji. Dzięki temu możliwe jest dokładne oszacowanie czasu, w którym określone działania naprawcze (krótkoterminowe lub długoterminowe) są niezbędne do utrzymania zadowalającego poziomu niezawodności konstrukcji. Złożone obliczenia autorów określiły okresy, w których wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda, oparty na SLS fundamentu mostu Rędzińskiego, może spaść poniżej dopuszczalnej granicy określonej w wybranych normach projektowych. Dzięki proponowanemu podejściu możliwe jest skrócenie czasu działania systemu monitorowania konstrukcji. Na koniec opracowano schemat blokowy, aby pokazać, w jaki sposób propozycja autorów umożliwia zastąpienie standardowej procedury monitorowania, polegającej na natychmiastowym reagowaniu na przekroczenie granicznej niezawodności. Obecnie stosuje się ciągły, zapętlony proces przeprowadzania natychmiastowych i improwizowanych działań wyłącznie w reakcji na alarmy systemu monitorowania. Alternatywnie, zaproponowana metoda pozwala na jednorazowe opracowanie szczegółowego planu napraw konstrukcyjnych, aby zapewnić wystarczającą niezawodność przez cały okres eksploatacji konstrukcji. W ten sposób można ograniczyć obciążenie zespołów konserwacyjnych i obniżyć wszelkie związane z tym koszty. Należy podkreślić, że opracowany schemat blokowy odnosi się nie tylko do studium przypadku mostu Rędzińskiego, ale stanowi raczej ogólny obraz stosowalności proponowanego podejścia. W omawianym artykule stwierdzono, że stosowanie tej procedury można łatwo rozszerzyć na inne typy konstrukcji, które w perspektywie czasu mogą doznawać spadku niezawodności operacyjnej, a funkcje fluktuacji w czasie reprezentują oczekiwany wzrost osiadania i związany z nim spadek niezawodności. Te funkcje fluktuacji pomagają zaplanować przyszłe działania naprawcze w celu utrzymania początkowego poziomu bezpieczeństwa mostu oraz określić częstotliwość i zakres działań.

Przy powstawaniu omawianej publikacji Habilitant uczestniczył w doborze probabilistycznych metod badawczych, wskazał zmienne losowe badanego problemu losowego oraz zebrał bazę danych o tych zmiennych do procesu badawczego. Dokonał weryfikacji dopuszczalności zmienności analizowanego problemu w odniesieniu do norm inżynierskich i wykonał całość probabilistycznej analizy wrażliwości odpowiedzi przemieszczeniowej fundamentu na zmianę parametrów podłoża i przeprowadził probabilistyczną ocenę niezawodności fundamentu metodą RSM w programie autorskim. Zaproponował zastosowanie funkcji predykcji zmiany niezawodności w czasie opartą na procedurze CRSM. Opracował autorską procedurę wspomagania procesów decyzyjnych utrzymania niezawodności obiektu oraz schemat blokowy wspomagania monitoringu niezawodnościowego obiektów inżynierskich.

Należy podkreślić, że problematyka podjęta w omawianej publikacji jest aktualna i istotna zarówno z punktu widzenia inżynierii lądowej, jak i zarządzania bezpieczeństwem eksploatacyjnym obiektów mostowych. Wybór rzeczywistego, prestiżowego obiektu inżynierskiego, mostu Rędzińskiego we Wrocławiu, znacząco podnosi wartość aplikacyjną i wiarygodność przedstawionych badań.

Do najważniejszych zalet pracy należy zaliczyć oryginalne połączenie metody powierzchni odpowiedzi (RSM) z analizą niezawodności zależnej od czasu oraz wykorzystaniem danych pomiarowych in-situ. Ponadto wprowadzenie pomocniczej funkcji fluktuacyjnej, opisującej ewolucję parametrów sztywności podłoża w czasie, stanowi istotny wkład metodyczny i umożliwia realistyczne modelowanie procesów degradacyjnych prowadzących do narastania osiadań. Zaproponowane podejście pozwala na aktualizację wartości średnich i odchyłeń standardowych zmiennych losowych w funkcji czasu, co znacząco rozszerza klasyczne, stacjonarne ujęcie analiz niezawodności.

Na podkreślenie zasługuje również efektywne wykorzystanie rzeczywistych pomiarów geodezyjnych osiadań do kalibracji modelu probabilistycznego. Dzięki temu autorzy wykazali możliwość stosowania proponowanego algorytmu nawet w warunkach ograniczonej bazy danych monitoringowych, co ma duże znaczenie praktyczne. Istotnym atutem jest także odniesienie wyników do obowiązujących wymagań normowych (EN 1990) oraz zastosowanie stanu granicznego użyteczności jako kryterium oceny niezawodności, co czyni wyniki bezpośrednio użytecznymi w praktyce inżynierskiej.

Cennym elementem artykułu jest również przedstawienie koncepcji zastąpienia reaktywnego, alarmowego systemu monitorowania konstrukcji podejściem prognostycznym, umożliwiającym wcześniejsze planowanie działań naprawczych. Zaproponowany schemat blokowy, ilustrujący procedurę decyzyjną, ma charakter uniwersalny i może stanowić podstawę do wdrożeń w odniesieniu do innych obiektów infrastrukturalnych, których niezawodność ulega degradacji w czasie.

Jednocześnie artykuł wykazuje pewne ograniczenia, które należy uwzględnić w krytycznej ocenie. Przede wszystkim, w celu uproszczenia analizy probabilistycznej, przyjęto zastępcze parametry sztywności warstw gruntu, co może prowadzić do utraty części informacji o lokalnej zmienności właściwości podłoża. Choć takie podejście jest uzasadnione z punktu widzenia efektywności obliczeniowej, ogranicza ono możliwość pełnej identyfikacji mechanizmów odpowiedzialnych za obserwowane osiadania.

Pewnym mankamentem jest również brak szerszej analizy niepewności związanej z postacią i parametryzacją zaproponowanej funkcji fluktuacyjnej. W artykule nie przedstawiono jednoznacznych kryteriów doboru jej kształtu, ani nie przeanalizowano wpływu alternatywnych funkcji fluktuacji na wyniki niezawodnościowe, co mogłoby wzmocnić uniwersalność zaproponowanego rozwiązania. Ponadto rozważania ograniczono do stanu granicznego użyteczności, bez odniesienia do potencjalnych konsekwencji dla stanów granicznych nośności, które w dłuższej perspektywie czasu również mogą ulec degradacji.

Należy także zauważyć, że skuteczność zaproponowanego podejścia została wykazana na jednym, choć bardzo złożonym, studium przypadku. Pełna weryfikacja uniwersalności metody wymagałaby jej zastosowania do innych typów fundamentów oraz warunków gruntowych, w szczególności w przypadkach charakteryzujących się innym mechanizmem degradacji niż osiadania konsolidacyjne.

Podsumowując, omawiany artykuł stanowi wartościowy i oryginalny wkład w rozwój metod oceny niezawodności konstrukcji zależnej od czasu, łącząc zaawansowane narzędzia probabilistyczne z rzeczywistymi danymi monitoringowymi. Zaproponowane podejście ma wyraźny potencjał aplikacyjny i może istotnie wspierać procesy decyzyjne związane z eksploatacją i utrzymaniem obiektów mostowych. Wskazane ograniczenia nie podważają wartości pracy, lecz wyznaczają naturalne kierunki dalszych badań i rozwoju metody. Omawiany artykuł jest publikacją, zamykającą rozdział poświęcony rozwiązaniu problemu badawczego polegającego na stworzeniu autorskiej techniki kombinowanej metody powierzchni odpowiedzi (CRSM) i ocenie jej efektywności w rozwiązywaniu problemów inżynierii lądowej i geotechniki.

Natomiast kolejne pięć publikacji odnosi się do optymalizacji opisu przestrzennej zmienności parametrów geometrycznych i materiałowych zmiennymi indywidualnymi i polami losowymi do usprawnienia modelowania probabilistycznego i szacowania niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej i geotechniki.

Pierwszy artykuł⁷ tej serii poświęcony jest analizie geometrycznie i materiałowo nieliniowego modelu aluminiowego silosu o wysokości 25 m. Konstrukcja składa się z dziesięciu carg o zróżnicowanej grubości ścian, mieszczącej się w przedziale od 4,0 do 10,5 mm. Podstawowym celem przeprowadzonych analiz było ilościowe porównanie nośności silosu obciążonego wstępnymi imperfekcjami geometrycznymi z nośnością konstrukcji o geometrii idealnej, rozpatrywanej w odniesieniu do dwóch dominujących przypadków obciążenia, tj. podciśnienia oraz nierównomiernie rozłożonego obciążenia wiatrem. Model obciążenia wiatrem został dodatkowo skorelowany z danymi pomiarowymi zarejestrowanymi w okresie trzech lat w stacji meteorologicznej zlokalizowanej w Gdyni-Oksywiu, co umożliwiło uwzględnienie rzeczywistych warunków oddziaływania środowiskowego w analizach numerycznych. W opracowanym modelu obliczeniowym uwzględniono zarówno lokalne, jak i globalne formy odkształceń konstrukcji. W omawianej pracy rozpatrzono trzy zasadnicze klasy wstępnych imperfekcji geometrycznych, obejmujące lokalne wgniecenia płaszcza dla różnych lokalizacji wzdłuż wysokości oraz po obwodzie silosu; imperfekcje globalne odwzorowane zgodnie z kształtem postaci własnych wybożenia płaszcza oraz imperfekcje geometryczne opisane za pomocą losowych pól

⁷ Górski J., Mikulski T., Oziębło M., Winkelmann K.: Effect of geometric imperfections on aluminum silo capacities. Stahlbau 84 (1), 2015, s. 52-57. <https://doi.org/10.1002/stab.201510224>

geometrycznych, zarówno skorelowanych, jak i nieskorelowanych. Amplitudy postaci własnych wyboczenia oraz parametry statystyczne pól losowych zostały przyjęte zgodnie z zaleceniami normy EN 1993-4-1. Łącznie przeprowadzono analizę siedmiu wariantów obliczeniowych, obejmujących jeden przypadek konstrukcji o idealnej geometrii oraz sześć przypadków uwzględniających każdą z trzech postaci imperfekcji w kombinacji z jednym z dwóch rozpatrywanych rodzajów obciążenia. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że we wszystkich rozpatrywanych wariantach obecność imperfekcji geometrycznych prowadzi do istotnych zmian rozkładu naprężeń w poszczególnych cargach silosu. Stwierdzono, że najbardziej niekorzystne usytuowanie pojedynczego wgniecenia występuje w cienkościennych cargach zlokalizowanych poniżej górnej krawędzi pobocznicy, w strefie, w której zanika korzystny wpływ usztywniający dachu. Ponadto wykazano, że krytyczne położenie wgniecenia odpowiada lokalizacji pod kątem $\pm 20^\circ$ względem głównego kierunku oddziaływania wiatru, tj. w obszarze przejścia strefy parcia wiatru w strefę ssania. W przypadku imperfekcji globalnych zgodnych z kształtem postaci własnych wyboczenia zaobserwowano, że wraz ze wzrostem częstotliwości postaci własnej imperfekcji następuje systematyczne obniżenie wartości krytycznych obciążeń zarówno dla podciśnienia, jak i dla obciążenia wiatrem. Dodatkowo potwierdzono, że wzrost amplitudy imperfekcji prowadzi do dalszego zmniejszenia wartości obciążeń krytycznych. Najistotniejszym wnioskiem płynącym z badań przedstawionych w omawianej publikacji jest jednak stwierdzenie, że w przypadku imperfekcji geometrycznych opisanych jednorodnymi, skorelowanymi polami losowymi wartości krytycznych obciążeń są niższe niż dla konstrukcji o geometrii idealnej. Odmienną tendencję zaobserwowano dla imperfekcji modelowanych za pomocą skorelowanych pól losowych niejednorodnych oraz pól nieskorelowanych, dla których wartości krytyczne obciążeń okazały się istotnie wyższe. Oznacza to, że losowo i nieregularnie rozłożone imperfekcje geometryczne nie prowadzą do osłabienia powłoki silosu, lecz mogą skutkować istotnym wzrostem jej nośności. Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdzają zasadność probabilistycznego opisu imperfekcji geometrycznych, zarówno w odniesieniu do ich lokalizacji, jak i postaci przestrzennej.

Wkład własny Habilitanta w powstanie omawianej publikacji obejmował dobór oraz szczegółowy opis zastosowanych metod badawczych, w tym metodyki probabilistycznego opisu imperfekcji geometrycznych z wykorzystaniem pól losowych. Habilitant był odpowiedzialny za opracowanie, kompilację oraz analizę numerycznych modeli MES aluminiowego silosu, zrealizowanych w środowisku obliczeniowym SOFiSTiK FEA, uwzględniających obciążenie podciśnieniem oraz nierównomiernie rozłożone obciążenie wiatrem, a także obecność pojedynczej imperfekcji geometrycznej o losowym położeniu na powierzchni pobocznicy silosu. Ponadto Habilitant przeprowadził szczegółowe analizy numeryczne wpływu przyjętych imperfekcji na nośność i stateczność konstrukcji, a następnie dokonał interpretacji uzyskanych wyników oraz sformułował końcowe wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

Do głównych zalet omawianej publikacji należy zaliczyć zastosowanie zaawansowanych modeli numerycznych umożliwiających jednoczesną analizę lokalnych i globalnych form utraty nośności, konsekwentne odniesienie przyjętych modeli imperfekcji do obowiązujących zaleceń normowych (EN 1993-4-1), co zwiększa wiarygodność oraz potencjał aplikacyjny uzyskanych wyników. Bardzo ciekawym zabiegiem było uwzględnienie rzeczywistych danych pomiarowych w opisie obciążenia wiatrem, co pozwala na realistyczne odwzorowanie warunków eksploatacyjnych konstrukcji. Na uwagę zasługuje również oryginalne i rzadko spotykane w literaturze przedmiotu porównanie deterministycznych i probabilistycznych opisów imperfekcji geometrycznych, a także sformułowanie istotnego poznawczo wniosku, iż losowo rozłożone, nieskorelowane imperfekcje geometryczne mogą prowadzić do wzrostu nośności powłoki, co podważa intuicyjne i powszechnie przyjmowane założenia projektowe.

Jednocześnie należy wskazać pewne ograniczenia i słabsze strony opracowania, które mają charakter głównie metodyczny i interpretacyjny. Przede wszystkim, analiza została przeprowadzona dla jednego, ściśle określonego obiektu referencyjnego, co ogranicza możliwość bezpośredniej generalizacji uzyskanych wyników na inne typy silosów o odmiennych proporcjach geometrycznych, materiałach lub schematach obciążenia. W pracy zabrakło również szerszej dyskusji dotyczącej wrażliwości uzyskanych rezultatów na dobór parametrów statystycznych pól losowych, w szczególności długości korelacji oraz przyjętych modeli niejednorodności. Ponadto, choć wykazano korzystny wpływ pewnych klas imperfekcji losowych na nośność konstrukcji,

wnioski te nie zostały skonfrontowane z analizą mechanizmów fizycznych odpowiedzialnych za obserwowany efekt wzmocnienia powłoki, co mogłoby dodatkowo wzmocnić interpretację wyników. Pewnym ograniczeniem jest także brak odniesienia do wyników badań doświadczalnych lub danych eksploatacyjnych, które pozwoliłyby na bezpośrednią walidację uzyskanych prognoz numerycznych.

W kolejnym artykule ⁸ z 2021 roku, przedstawiono parametryczną analizę losowego bloku gruntu, przyjmując zmienność modułu Younga podłoża na poziomie poszczególnych elementów skończonych. Zmienność ta została opisana zarówno za pomocą trójwymiarowych pól losowych, jak i poprzez zestawy zmiennych losowych o zróżnicowanej liczebności. W obu przypadkach zastosowano ten sam skrócony model Gaussa. Estymację wartości średnich oraz odchyłeń standardowych osiadań losowego podłoża przeprowadzono z wykorzystaniem procedury symulacji Monte Carlo.

W odniesieniu do przyjętego trójwymiarowego modelu MES podłoża wykazano, że wartości średnie osiadań, uzyskane dla różnych sposobów opisu losowości, pozostają na porównywalnym poziomie, natomiast istotne różnice ujawniają się w wartościach odchyłeń standardowych. Analogiczne podobieństwa i różnice zaobserwowano na wykresach zależności odchylenia standardowego osiadania od długości korelacji pola losowego oraz od całkowitej liczby zmiennych losowych przyjętych w modelu. Uzyskane wyniki wskazują, że odpowiednio skonstruowane modele oparte na pojedynczej zmiennej losowej mogą w sposób satysfakcjonujący aproksymować podejście z wykorzystaniem pól losowych w kontekście estymacji parametrów osiadania. Na podstawie przeprowadzonej analizy probabilistycznej stwierdzono, że zaproponowany sposób definiowania zmienności materiałowej w modelach MES, oparty na symulacji Monte Carlo, stanowi efektywną alternatywę dla bezpośredniego stosowania trójwymiarowych pól losowych. Wykazano także, że możliwe jest konstruowanie dedykowanych modeli MES o relatywnie regularnej siatce, umożliwiających bezpośrednią implementację danych losowych generowanych przez proste, zewnętrzne procedury probabilistyczne, co wspiera prezentowane podejście. Optymalnym rozwiązaniem jest podział obszaru podłoża na mniejsze podobieństwa i sekwencyjne reprezentowanie ich za pomocą unikalnych, niezależnie generowanych parametrów geotechnicznych. Należy podkreślić, że mimo przyjęcia identycznych parametrów statystycznych (wartości średnich i odchyłeń standardowych) dla zmiennych losowych, globalny opis zmienności modelu MES istotnie wpływa na rozrzut odchylenia standardowego osiadania fundamentu, przy jednoczesnym zachowaniu niezmiennych wartości średnich. Z inżynierskiego punktu widzenia nadmierny rozrzut wyników probabilistycznych odpowiedzi konstrukcji w postaci osiadań jest niepożądany. Spostrzeżenie to prowadzi do wniosku, iż modelowanie całego losowego podłoża za pomocą jednej zmiennej losowej, nawet o parametrach opartych na rzeczywistych badaniach terenowych, jest niewłaściwe. Choć możliwe jest ograniczenie rozrzutu wyników poprzez stosowanie obciętych rozkładów zmiennych wejściowych, podejście to pozostaje w sprzeczności z naturalnie wysoką zmiennością parametrów gruntowych obserwowaną w badaniach in situ.

Deklarowany przez Habilitanta wkład własny w powstanie omawianej publikacji obejmował dobór odpowiednich metod probabilistycznych oraz określenie zestawu zmiennych losowych istotnych dla badanego problemu losowego, a także weryfikację wyników obliczeń numerycznych MES wykonanych przez innego współautora dla modeli testowego i docelowego ławy fundamentowej. Ponadto, Habilitant przeprowadził probabilistyczną analizę odpowiedzi przemieszczeniowej obu modeli na zmienność parametrów podłoża oraz sformułował wnioski końcowe pracy.

Należy podkreślić, że w omawianej pracy na szczególną uwagę zasługuje nowatorskie podejście umożliwiające uproszczenie złożonych modeli losowych przy jednoczesnym zachowaniu wiarygodności estymacji średnich osiadań, co ma istotne znaczenie w praktyce inżynierskiej. Natomiast redukcja liczby unikalnych zmiennych losowych do około 12,5% elementów MES pozwala na znaczną oszczędność czasu obliczeniowego, przy jednoczesnym zachowaniu stabilności numerycznej i akceptowalnej dokładności wyników.

⁸ Żyliński K., Winkelmann K., Górski J.: The effect of the selection of three-dimensional random numerical soil models on strip foundation settlements. *Applied Sciences* (Switzerland) 11 (16), 2021, s. 7293-7310.
<https://doi.org/10.3390/app11167293>

Pewne wady dotyczące zaproponowanej aproksymacji losowości związane są ze stosowaniem pojedynczej zmiennej losowej do całego podłoża. Podejście to, choć obliczeniowo wygodne, prowadzi do nadmiernego rozrzutu odchylenia standardowego osiadań, co jest niepożądane z punktu widzenia praktyki inżynierskiej. Pewne wątpliwości budzi także stosowanie ograniczonej charakterystyki korelacji przestrzennej. W omawianym artykule przyjęto skrócony model Gaussa, co nie w pełni odwzorowuje złożone zależności przestrzenne parametrów podłoża, istotne np. w analizach dużych fundamentów i złożonych obiektów infrastrukturalnych.

Podsumowując, w artykule wykazano, że uproszczone, zorientowane inżyniersko modelowanie losowego podłoża, oparte na regularnych modelach MES i zestawach losowo generowanych parametrów przypisywanych grupom sąsiednich elementów, prowadzi do rozwiązań obliczeniowo efektywnych i jednocześnie inżyniersko poprawnych.

Wyniki kolejnych, rozszerzonych badań dotyczących reprezentacji przestrzennej zmienności materiałowej podłoża gruntowego za pomocą odpowiednio dobranych pól losowych przedstawiono w artykule⁹. Szczególną uwagę zwrócono tu na probabilistyczną analizę wpływu zmienności parametru opisującego odkształcalność gruntu na osiadanie fundamentu posadowionego na podłożu gruntowym. Badania przeprowadzono bazując na losowym modelu fundamentu, którego celem było wiarygodne oszacowanie prawdopodobieństwa przekroczenia dopuszczalnego ugięcia, rozpatrywanego w kontekście stanu granicznego użytkowości. Zmienność parametrów konstytutywnych gruntu modelowano alternatywnie przy użyciu pojedynczej zmiennej losowej oraz przestrzennego pola losowego. Obliczenia probabilistyczne wykonano z zastosowaniem bezpośredniego próbkowania metodą Monte Carlo, uzupełnionego o techniki redukcji wariancji, takie jak próbkowanie warstwowe oraz metoda hipersześcianu łacińskiego. Analizy realizowano z wykorzystaniem autorskich procedur numerycznych zintegrowanych z oprogramowaniem komercyjnym (m.in. ZSoil) oraz środowiskiem Python. Opracowane algorytmy umożliwiły automatyczną generację i analizę tysięcy realizacji numerycznych, co pozwoliło na estymację wartości średnich osiadań, ich odchyłeń standardowych oraz wskaźników niezawodności w funkcji przyjętego progu osiadania granicznego. W pierwszym etapie badań moduł Younga podłoża opisywano jako pojedynczą zmienną losową o rozkładzie normalnym oraz logarytmiczno-normalnym, analizując wpływ przyjętej postaci rozkładu na odpowiedź przemieszczeniową fundamentu. Wykazano, że zastosowanie ograniczonego (obciętego) rozkładu Gaussa umożliwia eliminację nierealistycznie niskich i wysokich wartości modułu Younga, co prowadzi do stabilniejszych i inżyniersko bardziej uzasadnionych wyników. Głównym celem pracy było porównanie opisu podłoża gruntowego za pomocą pojedynczej zmiennej losowej oraz pola losowego. Jednorodne pole losowe pozwala na uwzględnienie przestrzennej zmienności parametrów gruntu, natomiast pole niejednorodne umożliwia dodatkowo modelowanie rozwarstwienia podłoża. Odpowiednia parametryzacja funkcji korelacji umożliwia uchwycenie grubości warstw oraz ich orientacji przestrzennej. Wskazano przy tym, że pola losowe stanowią narzędzie bardziej adekwatne do opisu rzeczywistego zachowania gruntu niż pojedyncze zmienne losowe, choć ich zastosowanie wiąże się z koniecznością uśrednienia rozpoznanych parametrów geotechnicznych, a nie ich pełnego odwzorowania. Analiza probabilistyczna została ukierunkowana na wielokrotne obliczenia modeli z różnymi realizacjami pól losowych, co w praktyce prowadzi do efektywnej homogenizacji ośrodka. Przeprowadzone obliczenia potwierdziły, że modelowanie modułu Younga z wykorzystaniem rozkładu Gaussa oraz odpowiednio dobranych funkcji korelacji pozwala w sposób wiarygodny opisać zachowanie podłoża gruntowego w szerokim zakresie jego sztywności. Ma to szczególne znaczenie w przypadkach ograniczonej dostępności danych terenowych lub ich niepełnego rozpoznania.

W pracy zastosowano różne warianty metody Monte Carlo, wykazując, że w przypadku jednowymiarowego opisu losowości (dla zmienności modułu Younga) odpowiednia klasyfikacja generowanych realizacji umożliwia efektywne wykorzystanie metod próbkowania warstwowego oraz hipersześcianu łacińskiego. Pozwala to na istotne ograniczenie nakładu obliczeniowego

⁹ Winkelmann K., Żyliński K., Korzec A., Górski J.: Effectiveness of Random Field Approach in Serviceability Limit State Analysis of Strip Foundation. *Geotechnical and Geological Engineering* 40 (9), 2022, s. 4705-4720.
<https://doi.org/10.1007/s10706-022-02179-6>

poprzez redukcję liczby wymaganych próbek do niewielkiej populacji, przy zachowaniu akceptowalnej dokładności estymacji.

Wkład merytoryczny deklarowany przez Habilitanta przy przygotowaniu omawianego artykułu obejmował dobór probabilistycznych metod badawczych, w tym metodologii pól losowych, oraz w opracowanie matematycznego opisu zmiennych losowych badanego problemu. Ponadto Habilitant wykonał analizę probabilistyczną odpowiedzi przemieszczeniowej modelu ławy fundamentowej na podłożu losowym, wykorzystując techniki redukcji wariancji oraz brał udział interpretacji wyników i formułowaniu wniosków końcowych pracy.

Praca wyróżnia się kompleksowym i spójnym podejściem do probabilistycznej analizy osiadań fundamentów z uwzględnieniem losowości parametrów gruntu. Zaletą jest konsekwentne porównanie pojedynczej zmiennej losowej i przestrzennych pól losowych, poprawne zastosowanie metod Monte Carlo, technik redukcji wariancji (SS, LHS) oraz opracowanie zautomatyzowanych procedur numerycznych zintegrowanych z oprogramowaniem MES, co zwiększa praktyczną użyteczność badań. W pracy trafnie wskazano ograniczenia stosowania uproszczeń w postaci jednej zmiennej losowej oraz zaproponowano kompromis między złożonością modelu a stabilnością obliczeń. Za istotny walor pracy należy uznać również krytyczne podejście do stosowania pojedynczej zmiennej losowej w opisie całego podłoża gruntowego. Autorzy trafnie wykazali, że takie uproszczenie może prowadzić do nieuzasadnionego rozrzutu wyników probabilistycznych, a w konsekwencji do błędnej oceny stanu granicznego użytkowności. Jednocześnie zaprezentowano racjonalny kompromis pomiędzy złożonością modelu a stabilnością obliczeń, wskazując na możliwość ograniczenia liczby zmiennych losowych przy zachowaniu poprawności inżynierskiej rozwiązania. W ocenie recenzentki praca ta jest pewnego rodzaju podsumowaniem dotychczasowych badań prowadzonych przez Habilitanta i równocześnie stanowi ich istotne rozszerzenie i uzupełnienie.

Do ograniczeń pracy należy zaliczyć fakt, że zasadnicza część analiz została przeprowadzona na przykładach teoretycznych, co mimo dużej wartości poznawczej, ogranicza bezpośrednią weryfikację zaproponowanego podejścia na rzeczywistych obiektach inżynierskich. Brakuje również pogłębionej analizy wpływu jednoczesnej losowości kilku kluczowych parametrów gruntowych (np. spójności, kąta tarcia wewnętrznego), co mogłoby znacząco rozszerzyć zakres wniosków oraz zwiększyć uniwersalność metody. Pewnym mankamentem jest także ograniczona dyskusja dotycząca doboru funkcji korelacji pól losowych w kontekście rzeczywistych danych geotechnicznych. Choć autorzy wskazują na możliwość modelowania rozwarstwienia gruntu, brak jest jednoznacznych kryteriów kalibracji parametrów korelacyjnych na podstawie pomiarów terenowych. Może to prowadzić do subiektywności przy definiowaniu modelu losowego, zwłaszcza w zastosowaniach projektowych.

Natomiast w pracy¹⁰ z 2025 roku, zastosowano, zaproponowaną przez Habilitanta, uproszczoną metodę probabilistycznego modelowania niedoskonałości strukturalnych w warstwie kleju. Połączenia klejowe są szczególnie wrażliwe na lokalne niejednorodności materiałowe, wynikające z techniki aplikacji oraz charakterystyki samego kleju. Te defekty wpływają bezpośrednio na parametry wytrzymałościowe i właściwości mechaniczne całego połączenia. W modelu numerycznym klej reprezentowany jest jako nieskorelowane pole losowe, w którym losowo rozmieszczone elementy osłabione odzwierciedlają niedoskonałości strukturalne. Procentowy udział tych defektów względem całkowitej objętości kleju przyjmowany jest jako zmienna losowa. Przeprowadzenie testów eksperymentalnych na próbkach w kształcie „wiosełek” umożliwiło kalibrację modelu numerycznego poprzez dopasowanie objętości niedoskonałości do rzeczywistych właściwości kleju. Na tej podstawie określono funkcję gęstości prawdopodobieństwa objętości niedoskonałości, co pozwoliło wprowadzić probabilistyczny opis materiału w modelu MES. Analizy wykazały, że zastosowanie losowego modelu kleju w połączeniach zakładkowych jest wykonalne i pozwala na realistyczne odwzorowanie odpowiedzi mechanicznej połączenia. Obliczenia MES, uwzględniające losowe niedoskonałości, umożliwiły oszacowanie sił normalnych przy wydłużeniu krytycznym oraz ocenę niezawodności połączenia.

¹⁰ Winkelmann K., Jan F., Smakosz Ł., Konopińska-Zmysłowska V., Eremeyev V., Kujawa M.: A random field-based simulational identification of possible levels of material imperfections of adhesive-bonded joints. Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences 73 (1), 2025, pp. 151678 (1–13). <https://doi.org/10.24425/bpasts.2024.151678>

Ustalono dobrą zgodność wyników eksperymentalnych z symulacjami numerycznymi, co potwierdziło prawidłowość przyjętej metodyki. Najważniejsze ustalenia pracy obejmują zastosowanie nieskorelowanych pól losowych do reprezentacji niedoskonałości kleju oraz ich konwersję w dwupunktowe pola skalarne, umożliwiającą implementację modelu w MES oraz identyfikację odpowiedzi mechanicznej kleju i oszacowanie rzeczywistej objętości niedoskonałego materiału w próbce. Ponadto, opracowanie modelu losowego obejmującego całą objętość kleju, kalibrowanego na podstawie testów eksperymentalnych, pozwalającego realistycznie odzwierciedlić stopień osłabienia warstwy kleju w rzeczywistych połączeniach. Przyjęte podejście umożliwia ilościową analizę zmienności odpowiedzi mechanicznej całego połączenia klejonego, co jest kluczowe dla przewidywania jego niezawodności mimo występowania niedoskonałości. Proponowany model MES oparty na polu losowym zwiększa bezpieczeństwo i niezawodność konstrukcji klejonych, ograniczając ryzyko związane z defektami materiałowymi i niejednorodnością kleju.

Oryginalny wkład Habilitanta obejmował opracowanie koncepcji badań probabilistycznych oraz identyfikację problemu. Habilitant opracował algorytm do generacji i symulacji imperfekcji warstwy kleju z wykorzystaniem pól losowych, umożliwiając numeryczne modelowanie niedoskonałości materiałowych w złączu klejonym. Przeprowadził analizę statystyczną wyników testów laboratoryjnych, ocenił zmienność odpowiedzi mechanicznej próbek kleju i całego połączenia dla różnych poziomów objętości imperfekcji, a także dopasował parametry statystyczne do przedziałów ufności opartych na eksperymentach. Na podstawie opracowanego modelu pola losowego oszacował prawdopodobieństwa awarii i wskaźnik niezawodności przy użyciu metody RSM. Ponadto sporządził zbiorcze zestawienie kluczowych wyników, współuczestniczył w interpretacji i dyskusji rezultatów oraz współtworzył wnioski końcowe pracy.

Należy podkreślić, że omawiana praca wnosi istotny wkład w probabilistyczne modelowanie niedoskonałości w połączeniach klejowych, w szczególności poprzez zastosowanie losowego modelu MES uwzględniającego nieskorelowane pola losowe do reprezentacji defektów kleju. Wyraźną zaletą jest połączenie podejścia numerycznego z wynikami eksperymentalnymi, co pozwala na kalibrację modelu oraz realistyczne odwzorowanie odpowiedzi mechanicznej połączeń zakładkowych. Metodyka umożliwia ilościową analizę zmienności odpowiedzi całego połączenia, co zwiększa trafność oszacowania jego niezawodności i pozwala przewidzieć wpływ niedoskonałości materiałowych.

Jednocześnie praca ma pewne ograniczenia. Zastosowanie nieskorelowanych pól losowych może nie w pełni oddawać faktyczne, przestrzenne zależności między defektami kleju, a przyjęta dwupunktowa konwersja pól może upraszczać rzeczywiste rozkłady niedoskonałości. Brakuje także analizy wpływu dynamicznych obciążeń czy degradacji kleju w czasie, które w praktyce mają istotny wpływ na niezawodność połączeń.

Podsumowując, praca prezentuje solidną i metodycznie spójną koncepcję probabilistycznego modelowania niedoskonałości kleju, która zwiększa realizm analiz MES i pozwala na bardziej wiarygodną ocenę niezawodności połączeń. Jej głównym ograniczeniem jest jednak uproszczony charakter modelu losowego, który nie uwzględnia wszystkich złożonych zależności przestrzennych i czasowych charakterystyki materiału.

W ostatniej publikacji¹¹ wchodzącej w skład pierwszego osiągnięcia naukowego kontynuowano analizy wpływu niepewności materiałowych (modelowanych polami losowymi) na połączenia klejone w odniesieniu do zagadnienia pełzania oraz losowego charakteru niedoskonałości materiałowych warstwy kleju. Połączenia klejowe, chociaż korzystne ze względu na równomierny rozkład naprężeń, są podatne na odkształcenia postępujące z pełzaniem pod wpływem długotrwałego obciążenia. W badaniu modelowano zachowanie się pełzania kleju, wykorzystując zaawansowane nieliniowe techniki MES i podejście probabilistyczne, aby uchwycić złożoność materiałową połączenia. Modele stref kohezyjnych i prawa trakcji-separacji są wykorzystywane do symulacji inicjacji i propagacji pęknięć w warstwie kleju. Do przedstawienia rozkładu niedoskonałości materiałowych wykorzystano podejście probabilistyczne oparte na polach

¹¹ Kujawa M., Eremeyev V.A., Smakosz Ł., Winkelmann K., Paczos P., Piasecki A., Kreja I.: Creep failure mechanism in single-lap joints. *International Journal of Engineering Science* 215, 2025, pp. 104315 (1–19).
<https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2025.104315>

losowych. Parametry materiałowe do analizy numerycznej określono na podstawie badań eksperymentalnych, a wyniki MES zweryfikowano bazując na danych eksperymentalnych, aby zapewnić dokładność i niezawodność. Przeprowadzone badania wykazały, że pełzanie kleju znacząco wpływa na sztywność, wytrzymałość i progresję uszkodzeń w czasie, co ma kluczowe znaczenie dla długoterminowej trwałości konstrukcji klejonych. Natomiast zastosowanie zaawansowanego nieliniowego modelowania MES, uwzględniającego modele stref kohezyjnych i prawa trakcji-separcji, umożliwiło realistyczne odwzorowanie inicjacji i propagacji pęknięć w warstwie kleju, z uwzględnieniem losowego rozkładu niedoskonałości materiału. Wyniki analiz numerycznych, potwierdzone danymi eksperymentalnymi, potwierdziły, że nośność połączenia zakładkowego jest wysoce wrażliwa na niedoskonałości materiału. Ich wpływ zależy zarówno od ich procentowej zawartości, jak i rozmieszczenia przestrzennego w warstwie kleju. Choć w omawianej pracy nie analizowano bezpośrednio wpływu grubości warstwy kleju, własne wyniki eksperymentalne zdecydowanie sugerują, że jest to kluczowy czynnik w określaniu nośności połączeń zakładkowych, która rośnie wraz ze zmniejszaniem grubości kleju, najprawdopodobniej ze względu na zmniejszony wpływ pełzania na integralność strukturalną połączenia. Ponadto uzyskane wyniki podkreślają wpływ pełzania na sztywność połączenia, wytrzymałość graniczną i progresję uszkodzeń w czasie, oferując wgląd w krytyczne parametry wpływające na niezawodność połączenia i stanowiąc podstawę do optymalizacji materiałów klejowych w zastosowaniach konstrukcyjnych.

Oryginalny wkład, deklarowany przez Habilitanta, przy powstawaniu niniejszej publikacji polegał na doborze probabilistycznych metod badawczych, przeprowadzeniu obliczeń pełzania złącza klejonego w ujęciu probabilistycznym z wykorzystaniem autorskiego algorytmu do generacji i symulacji imperfekcji warstwy kohezyjnej kleju z zastosowaniem pól losowych, dokonaniu zbiorczego przedstawienia wyników badań oraz analizy statystycznej i jakościowej rezultatów numerycznych, a także interpretacji i dyskusji przedstawionych wyników.

W ocenie recenzentki, za istotny walor omawianej pracy należy uznać oryginalne zastosowanie uproszczonego algorytmu generacji nieskorelowanych pól losowych w ujęciu dwupunktowym do opisu losowej warstwy kohezyjnej. Rozwiązanie to, nieobecne dotychczas w literaturze, umożliwia efektywne obliczeniowo modelowanie niedoskonałości materiałowych przy zachowaniu poprawności inżynierskiej. Wysoką wartość pracy podnosi również oparcie identyfikacji parametrów materiałowych na wynikach badań eksperymentalnych oraz weryfikacja wyników numerycznych z danymi doświadczalnymi. Do mocnych stron pracy należy także jednoznaczne wykazanie istotnego wpływu zarówno poziomu, jak i rozmieszczenia przestrzennego niedoskonałości materiałowych na nośność oraz degradację połączeń zakładkowych w czasie. Uzyskane wyniki stanowią solidną podstawę do dalszego rozwoju probabilistycznych metod oceny niezawodności połączeń klejowych.

Do ograniczeń pracy należy zaliczyć pominięcie bezpośredniej analizy wpływu grubości warstwy kleju, która jak wskazują zarówno wyniki literaturowe, jak i sygnalizowane obserwacje własne Habilitanta, ma istotne znaczenie dla nośności i trwałości połączeń klejowych. Pewnym uproszczeniem pozostaje również przyjęcie nieskorelowanego charakteru pól losowych, co choć uzasadnione z punktu widzenia redukcji złożoności obliczeniowej, ogranicza możliwość pełnego odwzorowania rzeczywistych, przestrzennie skorelowanych niejednorodności struktury kleju.

Podsumowując, omawiana praca stanowi wartościowy, metodycznie dojrzały i oryginalny wkład w rozwój probabilistycznych analiz połączeń klejowych uwzględniających zjawiska pełzania i degradacji materiału. Wskazane ograniczenia nie podważają ogólnej wartości osiągnięcia, lecz wyznaczają naturalne kierunki dalszych badań, w szczególności w zakresie rozszerzenia modeli o dodatkowe parametry geometryczne i bardziej złożone struktury losowe.

Reasumując pierwsze osiągnięcie Habilitanta obejmuje cykl powiązanych tematycznie prac poświęconych probabilistycznej analizie wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierii lądowej oraz geotechniki. Prace obejmują zarówno opracowanie i implementację nowych metod probabilistycznych (RSM, PEM, MC, CRSM), jak i ich praktyczne zastosowanie do analiz rzeczywistych obiektów (most Rędziański, klif w Jastrzębiej Górze). W badaniach zastosowano innowacyjne podejście do opisu imperfekcji geometrycznych i zmienności materiałowej przy wykorzystaniu pól losowych, umożliwiając realistyczne szacowanie niezawodności konstrukcji w

funkcji czasu i w warunkach ograniczonej dostępności danych terenowych. Osiągnięcie obejmuje również praktyczne narzędzia wspomagające decyzje inżynierskie oraz procedury prognostycznego monitorowania stanu konstrukcji. Przedstawiony cykl publikacji jest **logiczną i spójną całością**, w której kolejne prace naukowe w sposób systematyczny rozwijają i uzupełniają wcześniejsze badania. Każdy etap cyklu odpowiada kolejnym zagadnieniom problemów badawczych, począwszy od opracowania metod probabilistycznych i analizy wrażliwości konstrukcji, poprzez modelowanie losowych imperfekcji geometrycznych i zmienności właściwości materiałowych, aż po zastosowanie opracowanych metod do realnych obiektów inżynierskich, takich jak mosty, fundamenty palowe, silosy czy zbocza klifowe. Cykl ten **stanowi pełne rozwiązanie wyznaczonych problemów badawczych**, obejmując zarówno teoretyczne opracowanie metod probabilistycznych, jak i ich weryfikację na przykładach rzeczywistych obiektów, interpretację wyników oraz sformułowanie praktycznych wniosków projektowych. W konsekwencji publikacje tworzą spójny i kompletny dorobek naukowy, który łączy rygor metodologiczny z zastosowaniem praktycznym w inżynierii lądowej i geotechnice. Pomimo tego, że wszystkie publikacje w cyklu są wieloautorskie, to **deklarowany wkład własny Habilitanta umożliwia przypisanie mu charakteru twórczego i oryginalnego osiągnięcia naukowego**. Najistotniejsze i innowacyjne elementy badań, w tym autorskie procedury probabilistyczne, metody oceny niezawodności konstrukcji oraz ich implementacja w analizach rzeczywistych obiektów inżynierskich, w ocenie recenzentki, stanowią **wyłączne osiągnięcie Habilitanta**, wnosząc istotny wkład w rozwój wiedzy i praktyki inżynierskiej.

Zatem, najważniejsze oryginalne **osiągnięcia Habilitanta** to przede wszystkim:

- Opracowanie i implementacja autorskiej kombinowanej metody powierzchni odpowiedzi (CRSM)
 - Połączenie metod: Response Surface Method (RSM), Monte Carlo (MC) oraz Point Estimation Method (PEM).
 - Umożliwienie efektywnej oceny niezawodności konstrukcji przy ograniczonym nakładzie obliczeniowym.
 - Weryfikacja skuteczności CRSM w rzeczywistych obiektach inżynierskich, takich jak mosty i klify morskie.
- Rozwinięcie probabilistycznego opisu imperfekcji geometrycznych i zmienności materiałowej konstrukcji
 - Zastosowanie pól losowych do modelowania rozkładu imperfekcji geometrycznych i właściwości materiałowych.
 - Wskazanie istotnego wpływu losowego rozmieszczenia imperfekcji na nośność i niezawodność konstrukcji.
 - Opracowanie procedur pozwalających na ilościową analizę wpływu niepewności parametrów wejściowych.
- Probabilistyczna analiza wrażliwości konstrukcji inżynierskich i fundamentów:
 - Identyfikacja kluczowych zmiennych losowych wpływających na odpowiedź konstrukcji.
 - Oszacowanie wskaźników niezawodności oraz przedziałów ekstremalnych odpowiedzi losowych.
- Wprowadzenie funkcji fluktuacyjnej zależnej od czasu do modelowania degradacji podłoża i fundamentów
 - Dynamiczne uwzględnienie zmiany parametrów sztywności podłoża w czasie.
 - Probabilistyczna ocena niezawodności fundamentów mostów z uwzględnieniem efektów czasowych.
 - Integracja z rzeczywistymi danymi pomiarowymi (in-situ) w procesie kalibracji modelu.

- Zastosowanie autorskich procedur probabilistycznych i metod oceny niezawodności konstrukcji do rzeczywistych obiektów inżynierskich
 - Analiza mostów łukowych, wariantowych oraz silosów przemysłowych z uwzględnieniem rzeczywistych obciążeń i imperfekcji.
 - Możliwość prognozowania zachowania konstrukcji przy ograniczonych danych terenowych.
 - Praktyczne wykorzystanie wyników badań w procesach projektowych i eksploatacyjnych.
- Integracja nowoczesnych metod probabilistycznych z inżynierską praktyką projektową
 - Połączenie teorii niezawodności z MES i rzeczywistymi danymi pomiarowymi.
 - Umożliwienie przewidywania ryzyka uszkodzeń i planowania działań prewencyjnych.
 - Opracowanie schematów blokowych wspomagających decyzje eksploatacyjne.
- Wkład poznawczy i praktyczny w rozwój metod probabilistycznej oceny niezawodności
 - Uogólnienie podejścia do różnorodnych konstrukcji i problemów inżynierskich.
 - Przełamanie stereotypowych założeń dotyczących wpływu losowych imperfekcji na nośność.
 - Wskazanie kierunków dalszych badań nad analizą probabilistyczną z uwzględnieniem czasu i złożonych mechanizmów degradacji.

Pomimo bardzo dobrego poziomu naukowego omawianego osiągnięcia naukowego pewne elementy wzbudziły wątpliwości lub niedosyt. Uwagi krytyczne przede wszystkim dotyczą następujących kwestii:

- W zakresie publikacji pt. The use of Response Surface Methodology for reliability estimation of composite engineering structures:
 - Brak krytycznej oceny przeprowadzonych analiz. W artykule nie dokonano wystarczającej dyskusji nad ograniczeniami zastosowanej metody powierzchni odpowiedzi (RSM). Nie omówiono wpływu jakości i rozmieszczenia punktów próbki na dokładność aproksymacji.
 - Brak dyskusji dotyczącej konsekwencji przyjęcia zbyt małej liczby punktów. W przypadku silnie nieliniowych ścieżek równowagi może to prowadzić do istotnych błędów.
 - Niepełna prezentacja kryteriów doboru zmiennych losowych. W publikacji jedynie częściowo wskazano, jakie kryteria wyboru zmiennych losowych zostały zastosowane w analizie probabilistycznej.
 - Niedostateczne omówienie autorskiego oprogramowania. Opis narzędzi numerycznych wykorzystanych do symulacji wymagałby doprecyzowania, zarówno pod względem funkcjonalności, jak i ograniczeń stosowanej implementacji.
- W zakresie autorskiej publikacji pt. Application of probabilistic tools to extend load test design of bridges prior to opening
 - Brak krytycznej analizy stosowanych metod probabilistycznych. Nie omówiono potencjalnych ograniczeń metod takich jak PEM, RSM czy MC w praktyce inżynierskiej. Nie uwzględniono problemów związanych z „klątwą wymiarowości” przy dużej liczbie zmiennych losowych.
 - Brak analizy ograniczeń w przypadku skokowych reakcji konstrukcji.
 - Zbyt ogólne stwierdzenia dotyczące zakresu stosowalności metody.
- W zakresie publikacji pt. Reliability-Based Stability Analysis of a Baltic Cliff by the Combined Response Surface Method
 - Ograniczony zakres weryfikacji metody CRSM. Metoda została zweryfikowana tylko dla stosunkowo wysokich wartości prawdopodobieństwa awarii ($P_f \leq 0,5$).
 - Brak możliwości bezpośredniej ekstrapolacji wyników na problemy o bardzo niskim poziomie ryzyka, typowe dla konstrukcji o wysokim znaczeniu niezawodnościowym.

- Idealizacyjne założenia scenariusza referencyjnego. Przyjęcie pełnego drenażu jako scenariusza referencyjnego ma charakter idealizacyjny i w praktyce inżynierskiej może być trudne do realizacji. Analiza wskazuje możliwość rozważenia scenariuszy alternatywnych, np. częściowego drenażu warstw kluczowych, ale brakuje ich szerszej dyskusji.
 - Brak oceny wpływu rzędu aproksymacji RSM. Nie omówiono wpływu rzędu aproksymacji powierzchni odpowiedzi na stabilność i dokładność rozwiązań, szczególnie w kontekście silnie nieliniowej odpowiedzi układu grunt–konstrukcja.
 - Uprozczone kryterium bezpieczeństwa. Stosowanie wyłącznie znormalizowanego współczynnika stateczności $F \geq 1$ ogranicza możliwość pełnej analizy mechanizmów zniszczenia. Kryterium nie uwzględnia bezpośrednio procesów degradacyjnych o charakterze czasowym.
- W zakresie publikacji pt. Probabilistic analysis of settlements under a pile foundation of a road bridge pylon
- Uproszczenie parametrów sztywności gruntu. Przyjęto zastępcze parametry sztywności warstw gruntu w celu uproszczenia analizy probabilistycznej. Może to prowadzić do utraty części informacji o lokalnej zmienności właściwości podłoża. Ogranicza to możliwość pełnej identyfikacji mechanizmów odpowiedzialnych za obserwowane osiadania.
 - Brak pełnej analizy niepewności funkcji fluktuacyjnej. Nie przedstawiono jednoznacznych kryteriów doboru kształtu funkcji fluktuacyjnej. Nie przeanalizowano wpływu alternatywnych funkcji fluktuacji na wyniki niezawodnościowe. W efekcie ogranicza to uniwersalność zaproponowanego rozwiązania.
 - Ograniczenie rozważań do stanu granicznego użytkowalności. Brak odniesienia do stanów granicznych nośności, które w dłuższej perspektywie mogą ulec degradacji.
 - Brak analizy przypadków z innym mechanizmem degradacji niż osiadania konsolidacyjne.
- W zakresie publikacji pt. Effect of geometric imperfections on aluminum silo capacities
- Ograniczona liczba obiektów badawczych. Analiza została przeprowadzona tylko dla jednego, ściśle określonego obiektu referencyjnego (silos).
 - Brak szerszej analizy wrażliwości parametrów statystycznych. Nie przeanalizowano wpływu doboru parametrów pól losowych.
 - Brak konfrontacji efektów losowych z mechanizmami fizycznymi. Choć wykazano korzystny wpływ pewnych klas imperfekcji losowych na nośność konstrukcji, brak jest dyskusji mechanizmów fizycznych odpowiedzialnych za obserwowany efekt wzmocnienia powłoki. To ogranicza pełną interpretację wyników.
 - Brak walidacji eksperymentalnej lub eksploatacyjnej. Nie odniesiono wyników do badań doświadczalnych ani danych eksploatacyjnych. Utrudnia to bezpośrednią weryfikację i potwierdzenie prognoz numerycznych.
- W zakresie publikacji pt. The effect of the selection of three-dimensional random numerical soil models on strip foundation settlements
- Uproszczenie losowości podłoża. Zastosowanie pojedynczej zmiennej losowej dla całego podłoża jest obliczeniowo wygodne, ale prowadzi do nadmiernego rozrzutu odchylenia standardowego osiadań. Taka aproksymacja jest niepożądana z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, ograniczając realistyczność wyników.
 - Ograniczona charakterystyka korelacji przestrzennej. W pracy zastosowano skrócony model Gaussa do opisu korelacji przestrzennej. Nie odwzorowuje on w pełni złożonych zależności przestrzennych parametrów podłoża, co może mieć znaczenie w analizach dużych fundamentów i złożonych obiektów infrastrukturalnych.

- W zakresie publikacji pt. Effectiveness of Random Field Approach in Serviceability Limit State Analysis of Strip Foundation
 - Oparcie analiz na przykładach teoretycznych. Większość analiz została przeprowadzona na przykładach teoretycznych, co ogranicza możliwość bezpośredniej weryfikacji metody na rzeczywistych obiektach inżynierskich.
 - Brak analizy jednoczesnej losowości kilku parametrów gruntowych. Nie przeanalizowano wpływu jednoczesnej losowości kluczowych parametrów gruntowych, takich jak spójność czy kąt tarcia wewnętrznego. Rozszerzona analiza mogłaby zwiększyć uniwersalność i praktyczne zastosowanie metody.
 - Ograniczona dyskusja doboru funkcji korelacji pól losowych.
 - Brak jednoznacznych kryteriów kalibracji parametrów korelacyjnych na podstawie danych terenowych. Może prowadzić do subiektywności w definiowaniu modelu losowego, zwłaszcza w zastosowaniach projektowych.
- W zakresie publikacji pt. A random field-based simulational identification of possible levels of material imperfections of adhesive-bonded joints
 - Zastosowanie nieskorelowanych pól losowych stanowi pewne uproszczenie, które może nie w pełni oddawać rzeczywiste, przestrzennie złożone zależności występujące pomiędzy defektami w warstwie kleju.
 - Uproszczona konwersja pól losowych. Dwupunktowa konwersja pól może nadmiernie upraszczać rzeczywiste rozkłady niedoskonałości.
 - Brak analizy wpływu dynamicznych obciążeń. Nie uwzględniono wpływu obciążeń zmiennych w czasie, które w praktyce mogą znacząco oddziaływać na niezawodność połączeń.
 - Brak analizy degradacji kleju w czasie. Pominięto procesy starzenia i degradacji materiału klejowego, istotne dla długoterminowej trwałości połączeń.
- W zakresie publikacji pt. Creep failure mechanism in single-lap joints
 - Brak analizy wpływu grubości warstwy kleju. Pominięto bezpośrednie badanie wpływu grubości kleju, która ma istotne znaczenie dla nośności i trwałości połączeń klejowych.
 - Zastosowanie nieskorelowanych pól losowych. Choć ułatwia obliczenia, ogranicza możliwość pełnego odwzorowania rzeczywistych, przestrzennie skorelowanych niejednorodności struktury kleju.

Należy podkreślić, że powyższe uwagi dotyczą poszczególnych publikacji, a nie cyklu publikacji jako całości. Wiele z braków wyartykułowanych pod adresem pojedynczego artykułu było niwelowanych w kolejnych publikacjach stanowiących sukcesywne poszerzenie zakresu analiz, a co za tym idzie bardziej kompleksowe rozwiązanie formułowanych problemów badawczych. Biorąc pod uwagę powyższe, pomimo kilku krytycznych uwag, uważam, że omawiany cykl wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy oraz w praktyczne zastosowania w zakresie probabilistycznej oceny bezpieczeństwa konstrukcji, a także w zakresie kreowania technik symulacyjnych mających na celu uproszczenie procesów stochastycznych w projektowaniu konstrukcji inżynierskich. Ponadto, charakteryzuje go oryginalność i dobry poziom naukowy, a co za tym idzie stanowi on ważne poszerzenie stanu wiedzy w tym zakresie. Wszystkie zaproponowane, oryginalne rozwiązania badawcze obejmujące analizy teoretyczne i numeryczne świadczą o dużej dojrzałości naukowej Habilitanta i dobrej orientacji w zakresie fundamentalnych problemów budownictwa, zarówno w sensie naukowym jak i inżynierskim. Habilitant wykazuje zdolność kreatywnego generowania problematyki badawczej, świetnie wpisującej się w aktualne zagadnienia wrażliwości i niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej.

Podsumowując stwierdzam, że omawiany cykl dziewięciu artykułów naukowych powiązanych ze sobą tematycznie, stanowiący pierwsze osiągnięcie naukowe, spełnia wymagania ustawy¹ i wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport.

3.2. Drugie osiągnięcie naukowe

Drugie osiągnięcie naukowe stanowi monografia naukowa pt.: „Efektywne algorytmy do analizy symulacyjnej zmienności wybranych parametrów materiałowych i obciążeń w czasie, wspomagające szacowanie zmian wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierskich”¹². Monografia jest samodzielną, autorską pracą Habilitanta. Napisana jest ona w języku polskim, liczy 330 stron i składa się z 10 rozdziałów, które można podzielić na trzy części. Część pierwsza (rozdziały 1–6) obejmuje podstawy teoretyczne deterministycznej i probabilistycznej analizy wrażliwości oraz niezawodności konstrukcji, ze szczególnym uwzględnieniem technik symulacyjnych, wraz z krytyczną oceną stosowanych metod. Część druga (rozdziały 7–8) dotyczy adaptacji metod symulacyjnych, w tym autorskiego podejścia CRSM, do analizy niezawodności konstrukcji inżynierii lądowej z uwzględnieniem zmienności w czasie. W części tej przedstawiono dwa reprezentatywne przykłady: degradację parametrów materiałów (na przykładzie elektrochemicznej korozji stali) oraz zmienność obciążeń (wiatrem i oblodzeniem), w tym ich wzajemne oddziaływanie. W rozdziale 7 zaproponowano innowacyjne ujęcie degradacji materiałów poprzez funkcje Weibulla zależne od czasu, umożliwiające sterowanie symulacyjną zmianą parametrów losowych elementów korodujących. Model ten pozwala uprościć skomplikowany proces stochastyczny, zachowując zgodność z obowiązującymi normami i specyfiką środowiska lądowego. W rozdziale 8 omówiono probabilistyczne modelowanie obciążeń atmosferycznych, ze szczególnym uwzględnieniem współdziałania wiatru i oblodzenia. Zaproponowano efektywne podejście symulacyjne, które interpoluje pojedyncze, losowo wygenerowane scenariusze obciążeń w nieliniowy sposób, tworząc ekwiwalent procesu ciągłego przy znacznie mniejszym nakładzie obliczeniowym niż pełna analiza stochastyczna. Część trzecia monografii (rozdziały 9–10) przedstawia trzy przykłady numeryczne, mające na celu demonstrację wcześniej opisanych rozwiązań problemów badawczych dotyczących analizy wrażliwości i niezawodności konstrukcji w czasie, z wykorzystaniem technik symulacyjnych oraz autorskiego podejścia CRSM do uproszczenia procesów stochastycznych. Rozważono trzy konstrukcje: teoretyczną wieżę testową oraz dwie rzeczywiste konstrukcje z Gdańska: kratownicową wieżę widokową i wieżę podporową pod napowietrzną linię elektroenergetyczną. Przykład wieży teoretycznej posłużył do wykazania przewagi symulacji ukierunkowanych nad losowymi oraz skuteczności procedury CRSM, w tym zastosowania autorskiej funkcji gęstości prawdopodobieństwa do modelowania ubytków korozyjnych w czasie. Analizy obejmowały stany graniczne nośności i użytkowania, a wyniki wykazały zbieżność rezultatów przy znacznie niższym koszcie obliczeniowym w porównaniu do symulacji bezpośrednich. Drugi przykład odnoszący się do kratowej wieży widokowej, ilustruje zastosowanie autorskiej funkcji modelującej degradację materiału w czasie w rzeczywistym modelu MES. W ramach tego przykładu przygotowano procedury kalibracji funkcji na potrzeby obliczeń numerycznych oraz przeprowadzono analizy wrażliwości i niezawodności, potwierdzające efektywność CRSM w praktycznych zastosowaniach inżynierskich. Trzeci przykład to wieża podporowa pod linię elektroenergetyczną, na przykładzie której zademonstrowano ocenę zmiany niezawodności konstrukcji w funkcji czasu pod obciążeniami zmiennymi (wiatr i oblodzenie). W analizach zastosowano różne metody symulacyjne oraz techniki aproksymacyjne (RSM i CRSM). Wyniki wykazały, że CRSM pozwala na przewidywanie zmian niezawodności w całym okresie eksploatacji przy znacznie niższym nakładzie obliczeniowym i z minimalnym błędem w stosunku do wartości referencyjnych. Na zakończenie przykłady numeryczne podsumowano oceną skuteczności i efektywności zastosowanych metod oraz przedstawiono zalecenia praktyczne dla projektantów w zakresie implementacji wyników analiz do rzeczywistych procesów inżynierskich.

Monografia stanowi spójne i logicznie ustrukturyzowane opracowanie, w którym Habilitant w sposób systematyczny zebrał podstawy teoretyczne kluczowych pojęć, definicji i metod dotyczących probabilistycznej analizy wrażliwości i niezawodności konstrukcji. Szczególny nacisk

¹² Winkelmann K.: Efektywność symulacji numerycznych w analizie wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierskich o parametrach materiałowych i obciążeniach zmiennych w czasie. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2024, s. 330. ISBN: 978-83-7348-918-9. <https://press.pg.edu.pl/book/854>

położono na prezentację metod symulacyjnych, aproksymacyjnych oraz kombinowanych. W pracy zaprezentował on autorską technikę CRSM, umożliwiającą zastąpienie w czasie stochastycznej analizy zmienności parametrów materiałów i obciążeń równoważną, etapową analizą symulacyjną, o porównywalnej jakości oszacowania. Wykazał przy tym efektywność numeryczną zaproponowanego podejścia. Istotnym osiągnięciem jest probabilistyczny opis degradacji parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych stali poddanej korozji elektrochemicznej w postaci skalibrowanej, zmiennej w czasie funkcji rozkładu Weibulla, umożliwiającej zbiorcze sterowanie zmiennymi losowymi odpowiadającymi ubytkom korozyjnym. Dodatkowo, Habilitant rozwinął efektywny, uproszczony sposób uwzględniania synergicznego współdziałania obciążeń atmosferycznych (wiatr i oblodzenie) w analizach zmian niezawodności konstrukcji w czasie eksploatacji, co zwiększa praktyczną przydatność przedstawionej metodyki. Monografia zawiera przyczynowo-skutkową serię analiz wrażliwości i niezawodności trzech modeli numerycznych lekkich konstrukcji kratowych, które dowodzą słuszności i efektywności wprowadzonych przez Autora koncepcji. W pracy zastosowano CRSM do prognozowania tempa spadku poziomu niezawodności, co umożliwia wyprzedzające reagowanie na zmiany stanu technicznego konstrukcji oraz przewidywanie okresu osiągnięcia krytycznego poziomu niezawodności. Monografia ta przedstawia zarówno wysoki poziom merytoryczny, jak i potencjał aplikacyjny opracowanych metod, przy czym można wskazać szereg zalet oraz pewne ograniczenia, które mogą mieć znaczenie w kontekście praktycznego zastosowania.

Do niewątpliwych zalet omawianej monografii można zaliczyć:

- Opracowanie innowacyjnej metody CRSM
 - Zastosowanie autorskiej kombinowanej metody powierzchni odpowiedzi (CRSM) pozwala zastąpić czasochłonną stochastyczną analizę zmienności parametrów materiałowych i obciążeń etapową analizą symulacyjną, redukując znacząco koszty obliczeniowe przy zachowaniu wysokiej jakości oszacowań.
 - Metoda umożliwia efektywne śledzenie zmian niezawodności konstrukcji w czasie, co jest istotne z perspektywy inżynierskiej praktyki eksploatacyjnej.
- Probabilistyczny opis degradacji materiału
 - Propozycja zmiennej w czasie funkcji rozkładu Weibulla do modelowania postępu korozji stali pozwala na indywidualne i globalne sterowanie zmianami parametrów elementów w modelu MES.
 - Umożliwia to realistyczne odwzorowanie degradacji materiałowej w czasie, co stanowi istotny wkład w rozwój narzędzi wspomagających ocenę trwałości i niezawodności konstrukcji.
- Predykcję spadku niezawodności
 - Wykorzystanie CRSM do prognozowania tempa możliwych spadków poziomu niezawodności rozszerza stosowalność klasycznych metod symulacyjnych, umożliwia wczesne reagowanie na niekorzystne zmiany oraz przewidywanie okresu wyczerpania projektowego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji.
- Uwzględnienie synergicznego działania obciążeń atmosferycznych
 - Rozwinięty model wiatru i oblodzenia, uwzględniający ich współoddziaływanie, pozwala na realistyczne modelowanie czasowej zmienności obciążeń w konstrukcjach narażonych na warunki atmosferyczne.
 - Jest to podejście możliwe do zastosowania w praktyce projektowej i potencjalnie adaptowalne do normowych wytycznych.
- Bogaty przegląd metod i krytyczną ich analizę
 - Monografia systematyzuje wiedzę na temat metod probabilistycznych i symulacyjnych, analizuje ich efektywność numeryczną oraz porównuje podejścia konwencjonalne z autorską techniką, co nie było dotąd w tak szerokim zakresie prezentowane w literaturze.

Pomimo tego, że przedstawione w monografii badania mają bardzo duże znaczenie, tak w ujęciu naukowym, jak i praktycznym, wzbudziły one pewne uwagi krytyczne. Zatem do pewnych wad i ograniczeń prowadzonych prac należy zaliczyć:

- Złożoność implementacyjną CRSM
 - Pomimo efektywności obliczeniowej, wdrożenie metody wymaga dobrej znajomości procedur symulacyjnych i parametrów probabilistycznych, co może ograniczać jej szybkie zastosowanie w praktyce inżynierskiej bez odpowiedniego wsparcia programowego lub wiedzy specjalistycznej.
- Ograniczoną weryfikację eksperymentalną
 - Choć metody zostały przetestowane na modelach teoretycznych i dwóch rzeczywistych konstrukcjach, brakuje szerokiego zestawu danych empirycznych z różnych typów obiektów inżynierskich i różnych warunków środowiskowych, co mogłoby dodatkowo potwierdzić uniwersalność proponowanych algorytmów.
- Uproszczenia w modelowaniu procesów losowych
 - Zastosowanie etapowej analizy symulacyjnej i redukcja złożoności procesów stochastycznych do postaci ekwiwalentnej wiąże się z pewnymi uproszczeniami, które mogą w specyficznych przypadkach prowadzić do niedoszacowania ekstremalnych scenariuszy.
- Zależność od jakości danych wejściowych
 - Efektywność probabilistycznej predykcji i modelowania degradacji zależy w dużym stopniu od poprawności i jakości danych statystycznych dotyczących materiałów, środowiska czy obciążeń, co w praktyce inżynierskiej może być ograniczone.

Reasumując, Osiągnięcie 2 prezentuje oryginalne, innowacyjne podejście do problematyki probabilistycznej analizy wrażliwości i niezawodności konstrukcji. Proponowane metody, w szczególności CRSM, umożliwiają efektywne i stosunkowo uniwersalne modelowanie zmienności parametrów materiałowych i obciążeń w czasie, co wspiera realistyczną ocenę niezawodności konstrukcji. Jednocześnie ograniczenia dotyczące wdrożenia, weryfikacji eksperymentalnej i uproszczeń modelowych wskazują kierunki dalszych badań, które mogą wzmocnić praktyczną przydatność opracowanych rozwiązań. **Należy jednak zaznaczyć, że opracowanie autorskiej kombinowanej metody powierzchni odpowiedzi (CRSM), stanowiło również oryginalny wkład Habilitanta w Osiągnięciu 1. Może to w pewnym stopniu wskazywać na powielenie i częściowe osłabienie odrębności tego osiągnięcia. Jednakże, z uwagi na fakt, że metoda ta w omawianej monografii została zaadoptowana a do innej klasy zadań, w ocenie recenzentki, może być ona również zaliczona w ramach Osiągnięcia 2 jako oryginalny wkład w rozwój dyscypliny ILGiT.**

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że monografia stanowi ważne poszerzenie stanu wiedzy w zakresie probabilistycznej analizy wrażliwości i niezawodności konstrukcji, a co za tym idzie **wnosi istotny i oryginalny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport, zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i aplikacyjnym.**

4. Ocena aktywności naukowej albo artystycznej realizowanej w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Główna aktywność naukowa Habilitanta, prowadzona na więcej niż jednej uczelni, dotyczy współpracy z wieloma ośrodkami krajowymi i zagranicznymi, w tym z Uniwersytetem w Cagliari (Włochy), Politechniką Poznańską, Gdańskim Uniwersytetem Medycznym, Uniwersytetem Bielsko-Bialskim oraz Instytutem Budownictwa Wodnego PAN. Współpraca ta ma charakter długofalowy, interdyscyplinarny i obejmuje zarówno badania teoretyczne, numeryczne, jak i eksperymentalne. W ramach współpracy z Uniwersytetem w Cagliari Habilitant uczestniczył w międzynarodowym zespole badawczym zajmującym się analizą cienkościennych elementów stalowych łączonych klejami technicznymi. Jego wkład dotyczył probabilistycznej analizy wrażliwości i niezawodności złączy klejonych oraz rozwoju algorytmów generacji imperfekcji materiałowych warstwy kleju. Ponadto w ramach tej współpracy Habilitant odbył zagraniczny pobyt naukowy finansowany z programu IDUB, podczas którego prowadził prace programistyczne i wygłosił referat naukowy. Rezultaty tej współpracy zaowocowały publikacjami naukowymi w postaci **rozdziału w monografii zagranicznej**¹³ oraz **publikacji**¹⁰ zgłoszonej jako składowa Osiągnięcia 1. Natomiast współpraca z Politechniką Poznańską rozszerzyła badania o aspekty eksperymentalne, w szczególności dotyczące zachowania złączy klejonych w podwyższonej temperaturze i procesów pełzania. Habilitant był odpowiedzialny za aktualizację modeli numerycznych, analizę statystyczną wyników badań laboratoryjnych oraz korelację wyników eksperymentalnych i obliczeniowych. W następstwie analiz pełzania złączy klejonych powstała **publikacja**¹¹, zgłoszona jako składowa Osiągnięcia 1 oraz **publikacja**¹⁴ dotycząca pracy złączy w podwyższonej temperaturze. W ramach współpracy z Gdańskim Uniwersytetem Medycznym Habilitant uczestniczył w interdyscyplinarnym projekcie dotyczącym modelowania zespolenia złamań kości udowej. Habilitant odpowiadał za probabilistyczną analizę wrażliwości i niezawodności modeli biomechanicznych. Prace te realizowane były i nadal trwają w ramach grantu NCN SONATA, w którym Habilitant pełni funkcję wykonawcy. Współpraca z Uniwersytetem Bielsko-Bialskim dotyczyła zastosowania metod probabilistycznych w badaniach próbnym obciążeniach obiektów mostowych. W ramach tej współpracy Habilitant opracował innowacyjne podejście probabilistyczne do oceny dopuszczenia obiektów do użytkowania oraz procedury upraszczające projektowanie próbnym obciążeniach obiektów mostowych. Efektem tych działań było powstanie **publikacji**¹⁵ oraz **publikacji**⁴, zgłoszonej jako składowa Osiągnięcia 1. We współpracy z Instytutem Budownictwa Wodnego PAN Habilitant prowadził badania nad niezawodnością konstrukcji geotechnicznych, w tym statecznością zboczy i fundamentów ciągłych. Habilitant wykazał efektywność autorskiej metody CRSM w redukcji kosztu obliczeniowego analiz probabilistycznych przy zachowaniu wymaganej dokładności. W badaniach tych wykazał, że w przypadku rozważanego klifu, przy dużej liczbie zmiennych losowych, stosowanie techniki własnej CRSM było efektywne, gdyż wskaźniki niezawodności oszacowane przy zastosowaniu CRSM charakteryzowały się identyczną dokładnością jak te oszacowane w standardowo wykorzystywanej w podobnych analizach geotechnicznych metodzie Monte Carlo

¹³ Kujawa M., Cazzani A., Smakosz Ł., Konopińska-Zmysłowska V., Winkelmann K., Jan F., Szymczak C.: The Idea of Using Adhesive Bonds in Shaping of Cold-formed Thin-walled Beam-columns. [w:] Altenbach, H., Berezovski, A., dell'Isola, F., Porubov, A. (Eds): Sixty Shades of Generalized Continua. Advanced Structured Materials 170. Springer, Cham, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26186-2_28

¹⁴ Kujawa M., Paczos P., Smakosz Ł., Piasecki A., Jan F., Winkelmann K., Konopińska-Zmysłowska V., Eremeyev V. Impact of thermal and humidity conditions on structural epoxy adhesives during medium-term exposure. International Journal of Adhesion and Adhesives, 139, 2025, pp. 103981. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2025.103981>

¹⁵ Owerko P., Winkelmann K.: Improving the procedure of probabilistic load testing design of typical bridges based on structural response similarities. Archives of Civil Engineering 66, 2020, pp. 325-342. <https://doi.org/10.24425/ace.2020.135224>

(MC) lub technice PEM. Badania te zakończyły się publikacjami naukowymi, m.in. **pracą⁵**, zgłoszoną jako składowa Osiągnięcia 1 oraz **rozdziałem w monografii pokonferencyjnej¹⁶**.

Całość przedstawionej aktywności Habilitanta jednoznacznie potwierdza zdolność do prowadzenia samodzielnych i zespołowych badań naukowych w środowisku międzyuczelnianym oraz międzynarodowym, skutecznego transferu zaawansowanych metod probabilistycznych pomiędzy różnymi obszarami inżynierii, a także wnosi wymierny i trwały wkład w rozwój dyscypliny ILGiT. Tym samym działalność ta **w pełni spełnia ustawowe wymogi dotyczące prowadzenia aktywności naukowej w więcej niż jednej uczelni** oraz dokumentuje rzeczywistą i wieloaspektową współpracę z ośrodkami naukowymi krajowymi i zagranicznymi.

W latach 2023–2024 Habilitant pełnił **funkcję kierownika** pilotażowego projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach konkursu **MINIATURA 7** (nr 2023/07/X/ST8/00250), poświęconego probabilistycznej analizie wpływu imperfekcji geometrycznych i obciążeń na odpowiedź mechaniczną, wrażliwość oraz niezawodność użytkową kopuły tensegralnej. Badania obejmowały połączone analizy eksperymentalne i numeryczne. W ramach projektu wykonano rzeczywisty model kopuły tensegralnej o średnicy 6,16 m, na którym przeprowadzono pomiary przemieszczeń wywołanych kontrolowanymi imperfekcjami geometrycznymi, zmianami naciągu cięgien oraz obciążeniami zaburzającymi symetrię konstrukcji. Równolegle opracowano model MES w środowisku SOFiSTiK FEA. Rezultaty projektu zostały ujęte w raporcie końcowym, obecnie znajdującym się w procesie oceny. Realizacja zadania naukowo-badawczego w ramach konkursu NCN MINIATURA 7 potwierdza zdolność do samodzielnego kierowania projektem badawczym oraz doboru adekwatnych metod badawczych dla złożonych problemów inżynierskich.

Ponadto w latach 2023–2026 Habilitant pełni **rolę wykonawcy** w grantie **SONATA 24** organizowanego przez Narodowe Centrum Nauki, w ramach działania naukowego nr UMO-2022/47/D/ST8/02713, pt.: „Mechanika zespołów złamań przekrętarszych kości udowej: połączona analiza in vivo, in vitro oraz in silico”.

Na podstawie przeanalizowanej dokumentacji należy stwierdzić, że Habilitant, prowadzi bogatą działalność naukową zarówno w kraju, jak i zagranicą, aktywnie współpracując z uczelniami i instytucjami naukowymi. Jego praca stanowi spójny i dobrze zaplanowany program, który skutkuje wymiernymi efektami naukowymi w postaci publikacji i współpracy z przemysłem. Pewien niedosyt budzi stosunkowo ograniczona działalność Habilitanta w zakresie staży naukowych i przemysłowych. Głównie mają one charakter wizyt studyjnych lub krótkoterminowych pobytów. Do zauważalnych ograniczeń jego dorobku należy również brak uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym patentów czy wzorów użytkowych. W dotychczasowej aktywności Habilitanta nie odnotowano również wdrożonych technologii. Pomimo pewnych niedostatków, bardzo dobry poziom naukowy i praktyczny charakter prowadzonych badań stanowiących znaczący wkład w rozwój dyscypliny wskazują na duży potencjał Habilitanta do dalszego rozszerzania tej działalności.

5. Ocena pozostałej części dorobku naukowego Habilitanta

Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant wykazał się znaczącą aktywnością naukową, dydaktyczną, organizacyjną i popularyzatorską, mającą wyraźny wpływ na rozwój dyscypliny ILGiT. Jest autorem lub współautorem 14 rozdziałów w monografiach naukowych o zasięgu międzynarodowym oraz 13 artykułów w czasopismach naukowych, w tym 11 w czasopismach zagranicznych z listy JCR, z czego 9 zostało zgłoszonych jako składowe Osiągnięcia 1, co świadczy o wysokim poziomie naukowym prowadzonych badań. Po doktoracie Habilitant wystąpił z prezentacjami na 20 konferencjach naukowych, w tym 12 o zasięgu międzynarodowym, między

¹⁶ Żyliński K., Korzec A., Winkelmann K., Górski J.: *Random field model of foundations at the example of continuous footing*. [w:] Cecot W. i in. (Eds.): 4th Polish Congress of Mechanics and the 23rd International Conference on Computer Methods in Mechanics. AIP Conference Proceedings 2239, 2020, pp. 1–10.

innymi jako prelegent plenarnej sesji Keynote Lecture na konferencji LSCE 2018. Ponadto, współorganizował i współprzewodniczył sesji naukowej „Safety and Reliability of Lightweight Structures” na LSCE 2023. Habilitant aktywnie uczestniczył również w redakcji materiałów pokonferencyjnych, m.in. monografii „Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues” wydanej w wyniku PCM-CMM 2015.

W zakresie promotorstwa pomocniczego Habilitant był zaangażowany w dwa przewody doktorskie. W latach 2014–2018 pełnił funkcję promotora pomocniczego w przewodzie dr inż. Magdaleny Oziębło, wspierając opracowanie programu komputerowego w MATLAB® do poszukiwania próbek losowych w analizach probabilistycznych oraz moderując strukturę badań, walidując wyniki i wspierając interpretację danych. W latach 2018–2022 pełnił analogiczną funkcję w przewodzie dr inż. Kamila Żylińskiego, w którym wspierał opracowanie opisów podłoża gruntowego w formie pól losowych, przeprowadzanie probabilistycznych analiz numerycznych modeli MES oraz interpretację wyników badań.

Działalność dydaktyczna Habilitanta obejmuje prowadzenie wykładów z trzech przedmiotów, ćwiczeń z 16 przedmiotów oraz zajęć laboratoryjnych i projektowych z sześciu przedmiotów na kierunkach Budownictwo, Energetyka, Inżynieria Środowiska i Inżynieria Biomedyczna. Od 2010 roku prowadzi zajęcia w ramach międzywydziałowych projektów dydaktycznych na kierunku Inżynierii Biomedycznej oraz od 2021 roku na kierunku Energetyka. Jest autorem materiałów dydaktycznych i instrukcji laboratoryjnych, prowadził prezentacje oprogramowania StruRel® oraz innych programów do analizy probabilistycznej i MES. Opiekował się 10 pracami inżynierskimi i 17 pracami magisterskimi, a także pełnił rolę recenzenta w wielu innych pracach. Prowadził praktyki studenckie w ramach programów IAESTE i Erasmus. Jego praca dydaktyczna była wielokrotnie nagradzana, w tym I miejscem w ocenie jakości zajęć (2009/2010, 2010/2011) oraz laurem konkursu *eduSHARE* 2024, a jego średnia ocen studenckich wynosi 4,91/5.

Habilitant wykazał się również znaczną aktywnością organizacyjną i popularyzatorską. Brał udział w organizacji czterech międzynarodowych konferencji naukowych, pełniąc funkcje członka Komitetów Organizacyjnych, sekretarza oraz przewodniczącego sesji naukowych. Od 2013 roku aktywnie uczestniczy w działalności PTMTS, w tym w Zarządzie Oddziału Gdańskiego. Od 2021 roku uczestniczy w pracach Grupy Programowej Sekretariatu ISO/TC 98, pełniąc funkcję Zastępcy Przewodniczącego oraz Przewodniczącego Delegacji Polski na spotkaniach plenarnych. Wnioskodawca jest również autorem i organizatorem Studenckiego Koła Naukowego „FOREVER YOUNG”, pierwszego w Polsce koła studenckiego objętego patronatem PTMTS, w ramach którego prowadził projekty praktyczne, pokazy naukowe, zajęcia z budowy modeli tensegralnych oraz inicjował konkursy naukowo-dydaktyczne (*MECHANI-CUP*, *OPTI-CON*, *SCREW IT!*). Dodatkowo organizował i prowadził fakultatywne zajęcia anglojęzyczne „Evening TEA – Technical Evening Academy” oraz warsztaty z obsługi oprogramowania CAD i MES dla studentów kierunku Budownictwo.

Habilitant pełnił także istotne funkcje w Politechnice Gdańskiej, zasiadając w Radzie Wydziału, Senacie, Wydziałowym i Uczelnianym Kolegium Elektorów, a także w Komisjach Programowych i Wyborczych. Posiada doświadczenie redakcyjne i recenzenckie, będąc członkiem redakcji materiałów konferencyjnych oraz wykonując 34 recenzje artykułów naukowych w czasopiśmie krajowych i międzynarodowych.

Podsumowując, dorobek Habilitant jest **kompleksowy i wielowymiarowy**, obejmuje wysokiej jakości publikacje naukowe i udział w międzynarodowych konferencjach, istotne funkcje promotorskie, szeroką działalność dydaktyczną i wychowawczą, znaczące zaangażowanie w organizację życia naukowego oraz aktywność popularyzatorską. Habilitant wniósł istotny wkład w rozwój dyscypliny ILGiT, kształcenie studentów i doktorantów oraz promocję nauki w środowisku akademickim i społecznym.

W podsumowaniu stwierdzam, że Habilitant dzięki połączeniu wysokiego poziomu merytorycznego, praktycznego i ogromnego zaangażowania w rozwój uczelni **jest przykładem wzorowego naukowca** wykazującego ponadprzeciętną aktywność w zakresie działalności naukowej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.

5. Informacje naukometryczne

Poniższe dane przedstawiono na podstawie informacji zawartych we wniosku, stan na dzień 9.06.2025 r. dla publikacji indeksowanych w JCR:

- sumaryczny IF: 23,9;
- Indeks Hirscha (całkowity): Scopus – 6;
- liczba cytowań (całkowita/bez autocytowań): Scopus – 105/72;
- sumaryczna liczba punktów wg listy ministerialnej: 1070.

6. Wnioski końcowe

Pan dr inż. Karol Marek Winkelmann przedstawił dwa osiągnięcia naukowe. Jako pierwsze osiągnięcie naukowe Habilitant wskazał cykl dziewięciu artykułów naukowych powiązanych ze sobą tematycznie pt.: „Innowacyjne procedury szacowania wrażliwości i niezawodności konstrukcji w problemach inżynierii lądowej o przestrzennie zmiennych parametrach geometrycznych i materiałowych”. Natomiast jako drugie osiągnięcie naukowe przedstawił on autorską monografię naukową pt.: „Efektywne algorytmy do analizy symulacyjnej zmienności wybranych parametrów materiałowych i obciążeń w czasie, wspomagające szacowanie zmian wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierskich” wsparte znaczącym, pozostałym dorobkiem naukowym. Habilitant zaproponował oryginalne rozwiązanie problemów naukowych w zakresie szacowania bezpieczeństwa konstrukcji inżynierskich, w szczególności w zakresie metod probabilistycznej oceny ich niezawodności realizując szereg badań teoretycznych i numerycznych i wnosząc w ten sposób znaczący wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Habilitant wykazał się także się niezwykle bogatymi osiągnięciami w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz w zakresie współpracy z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju i zagranicą.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że wymogi stawiane kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego zawarte w ustawie ¹ zostały w pełni spełnione.

W związku z tym stawiam wniosek o nadanie dr. inż. Karolowi Markowi Winkelmannowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Katarzyna Proszut

