

Wojskowa Akademia Techniczna  
Dr inż. Wiesław KRASOŃ

### **3. Załącznik do Wniosku**

Autoreferat-  
przedstawia opis dorobku i osiągnięcia naukowe,  
w języku polskim i angielskim.

Osiągnięcie naukowe pt.  
**"Numeryczno-eksperymentalne badania wytrzymałości  
konstrukcji wieloczłonowych z luzami"**  
stanowi monografia i cykl artykułów.

Warszawa 2019

### **Spis treści:**

1	Imię i nazwisko.	3
2	Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.	3
3	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.	3
4	Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym.	4
	4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego.	4
	4.2 Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z opisem ich ewentualnego wykorzystania.	5
	4.3 Osiągnięcia i oryginalne aspekty pracy.	16
	4.4 Kierunki dalszych badań i wykorzystanie wyników badań.	17
	4.5 Literatura do punktu 4 załącznika (pozycje 5.1.1-5.2.4 omówione w punkcie 5).	18
5	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.	20
	5.1 Wybrane publikacje w periodykach z listy JCR.	21
	5.2 Inne wybrane publikacje.	22
	5.3 Podsumowanie wybranych osiągnięć naukowo-badawczych i dydaktycznych po uzyskaniu stopnia doktora.	24

Warszawa 2019

### **1. Imię i nazwisko**

Wiesław Krasoń

### **2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

---

Magister inżynier	Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Techniki Lotniczej, studia magisterskie na kierunku Mechanika i budowa maszyn, specjalność: samoloty i śmigłowce, czerwiec 1990 r.
Doktor nauk technicznych	Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, temat rozprawy: Numeryczna analiza wytrzymałości mostów pływających, styczeń 2000 dyscyplina: Mechanika, specjalność: Wytrzymałość materiałów. Promotor: prof. dr hab. inż. Mieczysław Wieczorek. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Eugeniusz Rusiński, prof. dr hab. inż. Marian Dacko.

---

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

---

09.1990 - 10.1991	Wykładowca, Centralny Ośrodek Szkolenia Specjalistów Wojsk Lotniczych (COSSTWL) w Oleśnicy
11.1991 - 01.1992	Asystent, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.
02.1992 - 02. 2001	Asystent, Katedra Wytrzymałości Materiałów, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.
03.2001 - 09.2005	Adiunkt, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.
10.2005 - 11.2006	Adiunkt, Zastępca dyrektora Instytutu Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.
12.2006 - do chwili obecnej	Adiunkt, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna.

---

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

**4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego:**

---

**Numeryczno - eksperymentalne badania wytrzymałości konstrukcji wieloczłonowych z luzami**

---

**4.1.1 Monografia:**

**Krasoń W.**, *Analiza wytrzymałości prototypowego wieloczłonowego systemu pływającego z luzami konstrukcyjnymi*, 2019, Wydawnictwo WAT, str. 280, ISBN 978-83-7938-237-8  
Recenzenci wydawniczy:

1. Dr hab. inż. Hubert Dębski, prof. Politechniki Lubelskiej,
  2. Dr hab. inż. Przemysław Simiński, prof. Wojskowego Instytutu Techniki Pancерnej i Samochodowej
- 

**4.1.2 Publikacja w periodyku z listy JCR:**

**Krasoń W.**, Wysocki J., *Investigation of friction in dual leaf spring*, Friction and Wear, 2017, Vol. 38, No. 3, pp. 214 - 220, (Wydawnictwo Springer DOI: 10.3103/S1068366617030096), IF=0,574 (2017), 15 pkt. Lista A MNiSW, baza WoS.

---

**4.1.3 Publikacja w periodyku z listy JCR:**

**Krasoń W.**, Małachowski J., *Multibody rigid models and 3D FE models in numerical analysis of transport aircraft main landing gear*, October 2015, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol 63, No.3, pp. 745-757, IF=1.087 (2017), 25 pkt. Lista A MNiSW, baza WoS.

---

**4.1.4 Rozdział w monografii:**

**W. Krasoń**, *Numeryczno-eksperymentalne badania mostów specjalnych*, Inżynieria Wojskowa, problemy i perspektywy, 2014, Wojskowy Instytut Techniki Inżynierskiej, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, str. 109 - 122, ISBN978-83-911434-8-3.

---

**4.1.5 Publikacja w czasopiśmie z listy B MNiSW:**

**Krasoń W.**, Wieczorek M., *Metodyka MES z więzami jednostronnymi w analizie wytrzymałości mostów składanych*, Przegląd Mechaniczny Nr 7-8, 2003, str. 11-16, 10 pkt.

---

## **4.2 Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z opisem ich ewentualnego wykorzystania**

Podstawową metodą oceny obiektów technicznych jest analiza ich wytrzymałości. Do obiektów takich zaliczane są konstrukcje wieloczłonowe, o budowie modułowej i szeroka gama podzespołów maszyn i kompletnych urządzeń o różnym przeznaczeniu, w funkcjonowaniu których znaczącą rolę odgrywa właściwa współpraca poszczególnych komponentów. Typowym podejściem w przypadku konstrukcji złożonych (t. j. układów mechanicznych) jest analiza wybranych fragmentów konstrukcji. Poprawna ocena stanu wyężenia całej konstrukcji wymaga zastosowania właściwej metodyki badań, w tym poprawnego określenia warunków brzegowych.

Poprawna współpraca elementów złożonych układów konstrukcyjnych wymaga dobrania pasowania współdziałających części i uwzględnienia luzów o odpowiedniej wartości. Określenie pożądanego luzu może stanowić duże wyzwanie związane z badaniami optymalizacyjnymi, z analizami wielokryterialnymi oraz koniecznością zastosowania żmudnych wielowariantowych badań. Wiąże się to z długim czasem badań, dużymi kosztami oraz koniecznością stosowania do takich prac zaawansowanych metod i wyspecjalizowanych narzędzi, np. programistycznych.

W definicjach luzu rozróżnia się przypadki kiedy luz jest pożądaný lub niepożądaný. W większości przypadków luz jest wynikiem zużycia materiału lub niedokładności wykonania i obniża efektywność urządzenia. W konsekwencji może to doprowadzić do jego awarii lub nawet zniszczenia. Przypadki występowania luzów 'pożyczanych' dotyczą najczęściej konstrukcji, w których przewiduje się ich występowanie poprzez przyjęcie odpowiedniego pasowania części współpracujących. Do takich konstrukcji należą modułowe systemy pływające, których działanie w dużym stopniu zależy od wielkości luzów w złączach pomiędzy modułami.

Występowanie luzów i efektów ich oddziaływań w mechanizmach nawet bardzo dokładnie projektowanych i wytwarzanych jest w rzeczywistości trudne do uniknięcia. Należy zatem pracować nad tym, aby zlikwidować lub możliwie maksymalnie ograniczyć niepożądane aspekty ich występowania. W tym celu niezbędne jest poznawanie zjawisk związanych z oddziaływaniem luzów. Badania doświadczalne konstrukcji złożonych z luzami, są niestety trudne i kosztowne. Metody teoretyczne mają poważne ograniczenia z uwagi na nieliniowości geometryczne determinowane uwzględnieniem luzów. Dlatego doskonałe są sukcesywnie metody symulacyjne badań z wykorzystaniem analiz numerycznych układów wieloczłonowych z luzami.

Pomijanie występowania zjawisk kontaktowych i luzów (montażowych lub wynikających ze zużycia współpracujących elementów maszyn i urządzeń) ułatwia opis współpracy elementów konstrukcji złożonych i usprawnia wykonanie analiz. Z drugiej strony zastosowanie modeli zbyt wyidealizowanych w tym zakresie może jednocześnie prowadzić do znaczącego zmniejszenia dokładności wyników.

Wielowariantowe badania wytrzymałości, które miałyby wykazać wpływ obecności i wielkości luzów na wyężenie konstrukcji, są często niedostępne i trudne do wykonania (szczególnie badania eksperymentalne), ze względu na wysokie koszty lub zapewnienie bezpieczeństwa samego urządzenia, jego wyposażenia, jak też ekipy obsługującej.

Wszystkie powyższe uwagi nabierają szczególnego znaczenia w przypadku konstrukcji wielkogabarytowych. Do takich obiektów niewątpliwie należą mosty (pływające, składane i inne) o przeznaczeniu zarówno wojskowym jak i cywilnym, ale również konstrukcje specjalnego przeznaczenia, drogie w projektowaniu i budowie, od których często zależy bezpieczeństwo i życie ludzi. Dotyczy to m. in. podwozi lotniczych, zawieszenia pojazdów specjalnych, czy też innych oryginalnych rozwiązań w zakresie transportu.

Analiza wpływu luzów na wytrzymałość konstrukcji inżynierskich jest celem niniejszego opracowania. Zasadniczy element prezentowanego osiągnięcia naukowego stanowi monografia [4.1.1] dotycząca wieloczłonowego systemu pływającego. Na przykładzie tego prototypowego rozwiązania [4.1.1, 4.5.21, 4.5.38] omówiono szczegółowo metodykę modelowania i analizy obiektów z luzami konstrukcyjnymi. Istotny wkład do dyscypliny inżynieria mechaniczna ma cały cykl publikacji [4.1.1–4.1.5], ponieważ pokazuje znaczenie luzów i sposobu ich modelowania w analizach różnorodnych obiektów mechanicznych.

Przedmiotem badań w pracy [4.1.1] jest wieloczłonowy prototypowy system pływający składany z kaset o regulowanej wyporności. W pracy przez wieloczłonowy system pływający rozumie się zestaw identycznych modułów pływających z układem złączy i dodatkowe wyposażenie umożliwiające budowę obiektów pływających w różnych konfiguracjach konstrukcyjnych. Układ złączy burtowych i dziobowo-rufowych pojedynczego modułu umożliwia zestawianie mostów pływających w różnych konfiguracjach: wstęgi pojedynczej, mieszanej i podwójnej, a także budowanie promów, platform pływających, brzegowych pomostów najazdowych, czy nabrzeży pływających o różnej długości i szerokości.

Mosty pływające są jednym z głównych środków pokonywania przeszkód wodnych wykorzystywanych przez wojsko. Ogólne cechy konstrukcyjne tych mostów (takie jak: modułowość budowy, ruchome połączenia pontonów z luzami montażowymi, możliwość zestawiania różnych wariantów wstęg) są podobne, jak dla obiektów pływających budowanych z modułów parku PP-64, produkowanych na licencji i użytkowanych w naszym kraju od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku [4.5.1–4.5.4]. Do analizy wytrzymałości mostów pływających stosowano głównie metody analityczne (w kraju: [4.5.5, 4.5.6, 4.5.11]) lub uproszczone modele i specjalizowane oprogramowanie, z uwzględnieniem zastępczych charakterystyk geometryczno-fizycznych takich obiektów pływających.

Numeryczna ocena wytrzymałości mostu, nawet w modelach uproszczonych stwarza podstawy taniego i stosunkowo szybkiego diagnozowania parametrów działania takiego układu wieloczłonowego lub wnioskowania o jego bezpieczeństwie, na podstawie symulacji komputerowych i szczegółowej analizy parametrów opisujących wytrzymałość.

Metodyka zastosowania opisu ciągłego w obliczeniach statycznych i dynamicznych mostów pływających była rozwijana przez autorów publikacji [4.5.7–4.5.12] jeszcze w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Wyniki analiz teoretycznych prowadzonych z jej pomocą znalazły zastosowanie przemysłowe. Podejście to nie jest pozbawione jednak pewnych mankamentów. Jest nim niewątpliwie trudność precyzyjnego opisu zjawisk na styku strefy zwarcia i rozwarcia mostu. Metodykę tę można zastosować z powodzeniem do analizy obiektów zestawionych z jednakowych pontonów. Bezpośrednie jej wykorzystanie w przypadku mostów o skokowo zmiennej sztywności wzdłuż osi podłużnej konstrukcji jest

niemożliwe. Dotyczy to wstęg mieszanych powszechnie wykorzystywanych w wojsku [4.5.3, 4.5.4], wygodnych w zastosowaniu w zmiennych warunkach taktycznych i ekonomicznych (elastyczne i tanie w dopasowaniu do rodzaju przeprowadzanego sprzętu). Do badania mostów w konfiguracjach mieszanych, z odwzorowaniem różnych luzów w poszczególnych złączach takich układów wieloczłonowych nadają się metody z podejściem dyskretnym. Są one podatne na algorytmizację i łatwe do implementacji komputerowej.

Metody takie również wdrażano w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwsze modele dyskretne mostów pływających i ich zastosowania do analizy zginania konstrukcji pływających z luzami montażowymi opisano w naszym kraju na Politechnice Gdańskiej [4.5.13–4.5.18]. Wykorzystano elementy sztywne do modelowania pontonów mostu. Oszacowanie układu odkształcalnego uzyskano na drodze rozwiązania iteracyjnego w postaci ciągu poprawek do rozwiązania układu sztywnego. Wprowadzono w tym celu dodatkowe więzy sprężyste w połączeniach, opisane równaniami algebraicznymi, które rozwiązywano iteracyjnie wraz z układem podstawowym równań modelu sztywnego [4.5.17].

Zastosowanie metod numerycznych opartych na metodzie elementów skończonych i prostych modelach dwuwymiarowych mostów pływających zainicjowano w Wydziale Mechanicznym Wojskowej Akademii Technicznej [4.5.19, 4.5.20]. Zaowocowało to rozprawą doktorską oraz zwróciło uwagę autora na znaczenie luzów w konstrukcjach inżynierskich i potrzebę rozwijania metod analizy konstrukcji wieloczłonowych z luzami. Niniejsza praca stanowi kontynuację badań nad rozwijaniem, doskonaleniem i wdrażaniem oryginalnych i nowoczesnych konstrukcji mostów pływających [4.5.21, 4.5.22] w naszym kraju.

Doświadczalna analiza wytrzymałości mostu pływającego jest możliwa, ale wykorzystuje się ją tylko w ograniczonym zakresie ze względu na czasochłonność i duże koszty. Teoretyczna analiza wytrzymałości mostu z zastosowaniem metod numerycznych jest zatem potrzebna, jako istotny etap oceny stanu bezpieczeństwa przeprawy zarówno w typowych warunkach eksploatacyjnych, jak też w warunkach nietypowych, szczególnie do zapewnienia ciągłej pracy tych konstrukcji w warunkach bojowych, przy częstych uszkodzeniach.

Brak szerszej popularyzacji tematyki analizy systemów pływających (zwłaszcza w wersjach projektowanych i wdrażanych) w opracowaniach naukowych, materiałach konferencyjnych wynika ze specyfiki i wąskiego obszaru zastosowań tego typu konstrukcji. W ograniczonym zakresie mogą one służyć w gospodarce narodowej do organizacji komunikacji pomiędzy nabrzeżem, a okrętami kotwiczonymi na morzu lub podczas operacji kryzysowych (np. do usuwania skutków powodzi i innych katastrof). Zasadniczo jednak ich wykorzystanie ogranicza się do celów wojskowych, jako wysoko mobilnego sprzętu przeprowadowego, pozostającego na wyposażeniu jednostek inżynierskich. Fakt ten decyduje o ograniczonej dostępności informacji projektowej, konstruktorskiej, a nawet braku parametrów i szczegółów eksploatacyjnych takich konstrukcji w publikacjach naukowych i popularnonaukowych.

Z tego punktu widzenia, zaprezentowana w pracy metodyka badań wytrzymałości nowatorskiego mostu pływającego o regulowanej wyporności, w ujęciu numeryczno-eksperymentalnym oraz prototypowy obiekt badań z opatentowanym systemem złączy burtowych stanowi oryginalne wyzwanie naukowe i inżynierskie,

a ocena nośności takich obiektów pływających w różnych konfiguracjach jest także niezbędnym etapem prac wdrożeniowych rozwijanego w WAT systemu pływającego.

Praca [4.1.1] stanowi więc próbę usystematyzowania wiedzy na temat badań wytrzymałości mostów, platform, promów i innych obiektów pływających budowanych w postaci układów wieloczłonowych, łączonych z powtarzalnych metalowych modułów za pomocą złączy, umożliwiających względne przemieszczenia członów pływających ograniczone luzem montażowym. Opracowana została metodyka badań wytrzymałości nie tylko mostów specjalnych, ale także innych szerzej pojętych układów wieloczłonowych, połączonych z uwzględnieniem oddziaływania luzów w złączach. Umożliwia ona numeryczno-eksperymentalne badania wytrzymałości takich układów nowoprojektowanych, na etapie ich badań wstępnych i prac wdrożeniowych. Metodyka obejmuje także badania wytrzymałości układów wieloczłonowych eksploatowanych, konstrukcji modernizowanych lub wykazujących oznaki zużycia (na przykład w związku z powiększeniem luzów w złączach pomiędzy członami), a także obiektów kwalifikowanych do remontów. Zaproponowaną metodykę zastosowano i testowano w pracy [4.1.1] na przykładzie badania wytrzymałości i określenia nośności prototypowej konstrukcji kasetowego mostu pływającego o regulowanej wyporności [4.5.22].

Proponowana metodyka została wykorzystana także do badań wytrzymałości innych układów wieloczłonowych z luzami [4.1.2–4.1.5]. Rozważania takie prezentowano w pracach autora na przykładach:

- zmodernizowanej konstrukcji mostu towarzyszącego BLG [4.1.4, 5.1.1, 4.5.23],
- mostów składanych zestawianych na bazie parku DMS [4.1.5, 5.2.2, 5.2.3, 4.5.24],
- podwozia głównego samolotu transportowego [4.1.3, 4.5.25],
- wielopiórowego resoru podwójnego [4.1.2, 5.1.2, 5.2.1, 4.5.36].

**Głównym celem pracy [4.1.1] jest analiza prototypowego systemu pływającego w aspekcie oceny jego nośności oraz badania wpływu luzów i obciążeń zmiennych w czasie na wytężenie wybranych konfiguracji konstrukcyjnych mostów pływających połączonych za pomocą złączy.**

Cel ten został osiągnięty poprzez realizację następujących zadań szczegółowych w obszarze doskonalenia metod modelowania i analizy numerycznej układów wieloczłonowych z luzami:

1. Opracowanie metodyki numeryczno-eksperymentalnych badań wytrzymałości i określania nośności prototypowej konstrukcji mostu pływającego;
2. Opracowanie danych ze wstępnych badań numerycznych, eksperymentalnych, zbudowanie modeli i wykonanie wielowariantowych analiz numerycznych wytrzymałości prototypowego mostu pływającego;
3. Opracowanie i zastosowanie oryginalnych procedur kinematycznych do wstępnej oceny wpływu luzów na deformacje i przemieszczenia wstęp zestawianych z różnego typu modułów pływających (tradycyjne metalowe pontony PP-64 łączone przegubowo, prototypowe kasety z systemem oryginalnych złączy burtowych z luzami);
4. Wdrożenie zaproponowanej metodyki badawczej i numeryczne określenie nośności prototypowych wstęp mostu w różnych konfiguracjach konstrukcyjnych;



5. Ocena poprawności rozwiązania konstrukcyjnego i działania głównego złącza trzpieniowego systemu pływającego z zastosowaniem i bez śruby blokującej wysunięcie trzpienia z tulei złącza;

6. Ocena wpływu tarcia i wielkości luzów montażowych na wyężenie i nośność wydzielonych połączeń trzpieniowych kaset prototypowych.

W ramach pracy zastosowano następujące metody badawcze:

1. Analizy teoretyczne i numeryczne oryginalnych modeli prototypowego systemu pływającego.
2. Badania eksperymentalne w warunkach laboratoryjnych i poligonowych.

**Zadania szczegółowe związane z różnymi aplikacjami zaproponowanej metodyki badawczej to:**

1. Analiza wpływu luzów i identyfikacja obszarów koncentracji naprężeń w złączach głównych mostu składanego typu DMS [4.1.5, 5.2.2, 5.2.3, 4.5.24].

2. Badania wyężenia pojedynczego przęśła i eksploatacyjnego zestawienia dwóch przęśła zmodernizowanego mostu towarzyszącego BLG oraz numeryczna metoda oceny wielkości rzeczywistych luzów w złączach mostu BLG po remoncie głównym na podstawie badania wytrzymałości kompletnego przęśła [4.1.4, 5.1.1, 4.5.23].

3. Numeryczno-eksperymentalna analiza wpływu tarcia i obciążeń udarowych na wytrzymałość wielopiórowego resoru podwójnego [4.1.2, 5.1.2, 5.2.1, 4.5.36].

4. Analiza numeryczna wpływu luzów na wytrzymałość wybranego połączenia ruchomego układu podwozia i wariantów obciążeń impulsowych odwzorowujących różne przypadki lądowania [4.1.3, 4.5.25].

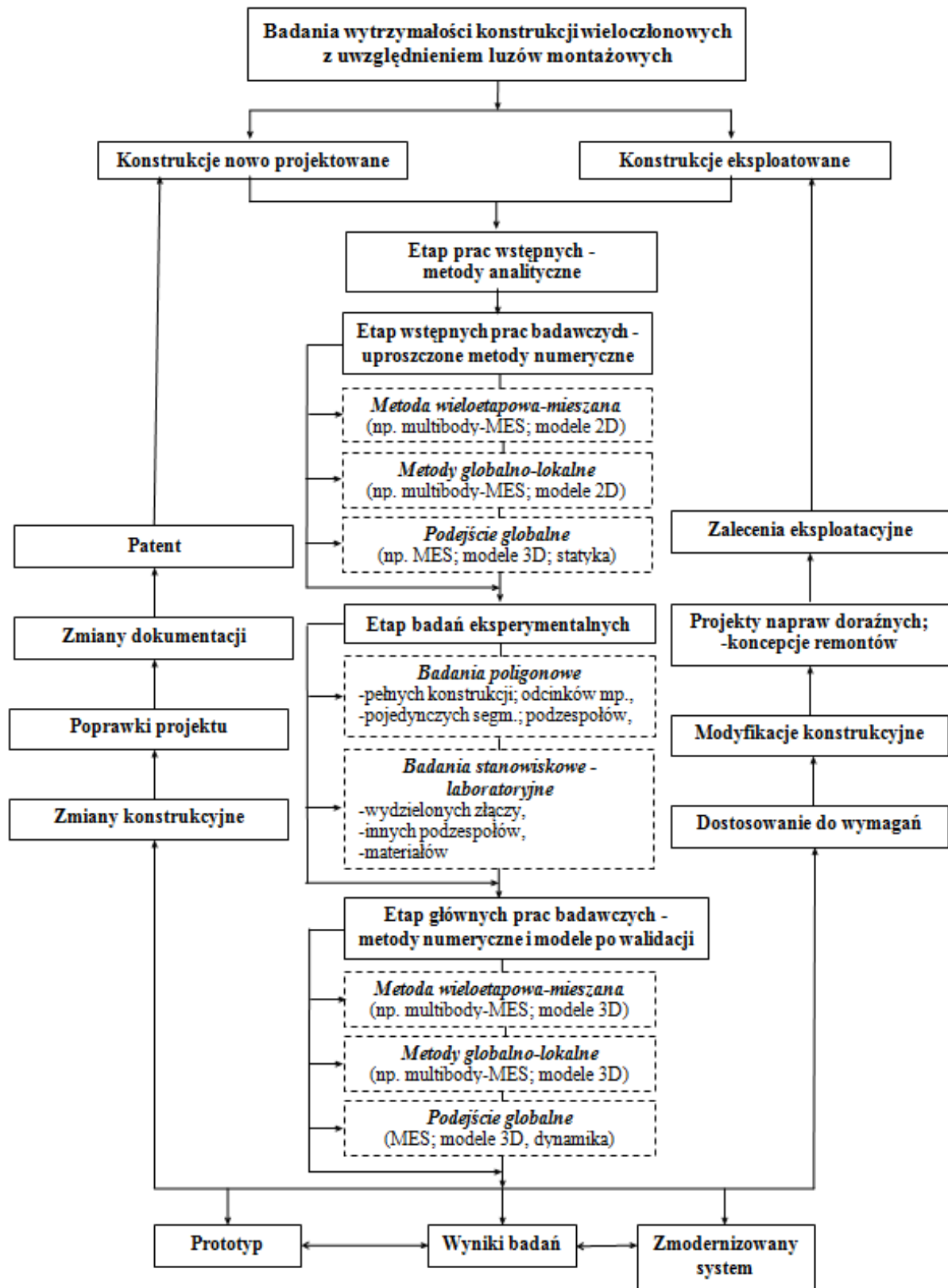
Zaproponowana w pracy [4.1.1] metodyka badań układów wieloczłonowych z luzami umożliwia analizę wytrzymałości złożonych konstrukcji i mechanizmów z uwzględnieniem wielokrotnych połączeń ruchomych i zjawisk kontaktowych.

W wielowariantowych analizach numerycznych rozważano różne modele obciążeń, w tym również zmiennych w czasie [4.1.2, 4.1.3], odwzorowanie obciążeń inercyjnych ruchomych pojazdów [4.1.1, 4.1.2] i wymuszeń o charakterze impulsowym [4.1.3]. Określono także wpływ wielkości luzów i różnych warunków tarcia w złączach trzpieniowych na wytrzymałość prototypowych kaset i budowanych z nich systemów pływających [4.1.1].

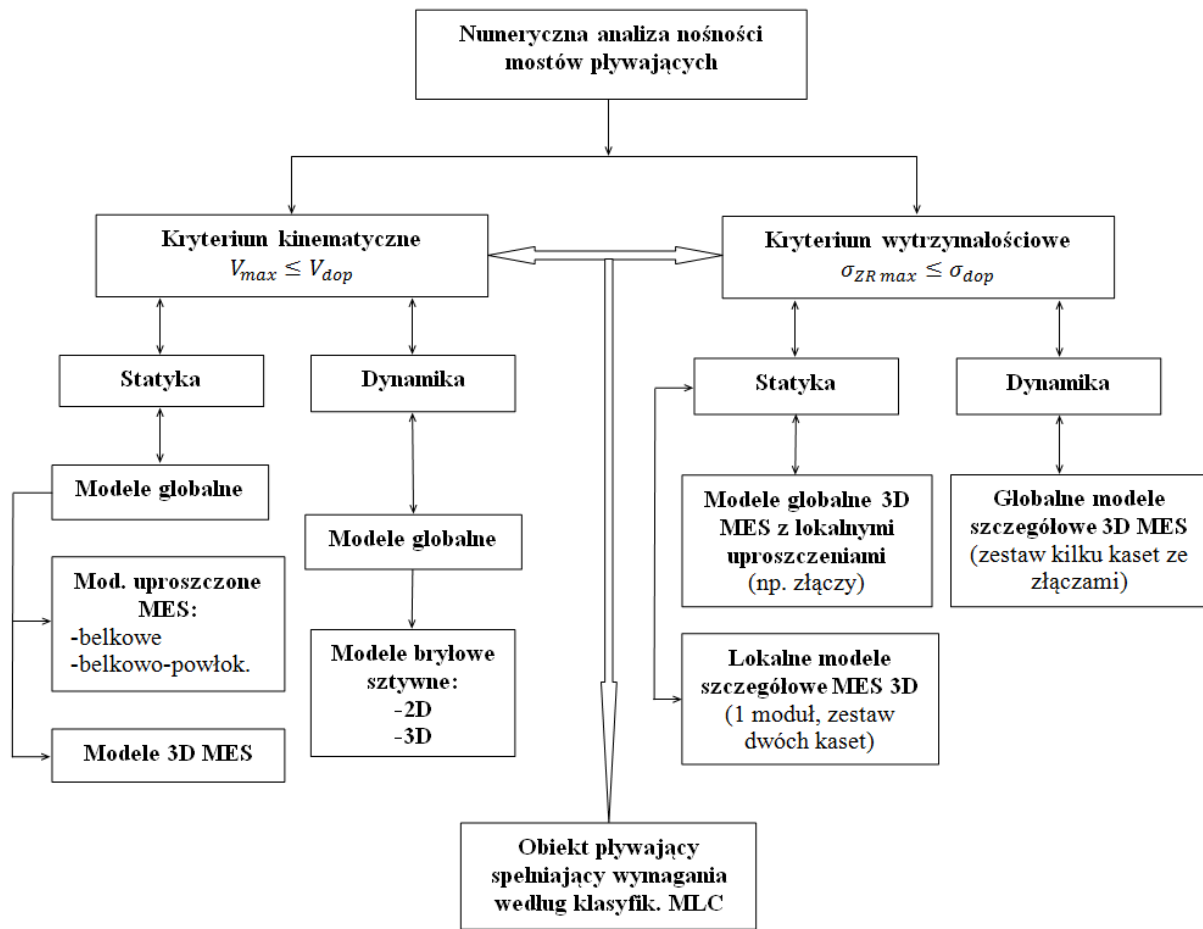
Zaproponowaną w pracy metodykę analizy wytrzymałości układów wieloczłonowych przedstawiono w formie schematu blokowego na rys. 1. Uzupełnieniem tej metodyki jest formuła badania nośności mostu pływającego typu pojedyncza wstęga, zestawianego z prototypowych kaset o zmiennej wyporności, omówiona w postaci diagramu na rys. 2.

Metodyka uwzględnia różne podejścia w badaniach mostów pływających: eksperymentalne i z zastosowaniem metod numerycznych. Wykorzystanie metod eksperymentalnych w badaniu systemów pływających jest bardzo drogie. Często mogą być użyte tylko w ograniczonym zakresie ze względów bezpieczeństwa. Badania eksperymentalne mogą dotyczyć kompletnych systemów pływających, w tym na przykład wstęgi mostu pływającego, promu itp. Badania w takiej skali są kosztowne, wymagają odpowiedniej infrastruktury (np. poligonu ze zbiornikiem wodnym o odpowiednich rozmiarach) i bogatego zaplecza badawczego. Najczęściej tego typu testy poligonowe [4.1.1, 4.1.4, 5.1.1, 4.5.22,

4.5.23, 4.5.37] są organizowane w postaci badań kwalifikacyjnych lub odbiorczych gotowej wstęgi mostu pływającego.



Rys. 1 Schemat blokowy ilustrujący metodykę badań wytrzymałości wieloczłonowych konstrukcji z uwzględnieniem luzów montażowych i eksploatacyjnych [4.1.1]



Rys. 2 Schemat metodyki badań numerycznych do określania nośności mostów pływających [4.1.1]

Dostępne są opisy badań wytrzymałości fragmentów konstrukcji (np. pojedynczego pontonu [4.5.28], zestawu dwóch kaset prototypowych [4.5.23] lub badania stanowiskowe podzespołów, wydzielonych z całości konstrukcji części [4.1.1, 4.5.29] oraz laboratoryjne badania materiałów [4.1.1, 4.5.29].

Badania eksperymentalne takich konstrukcji mogą być wykonane także w odpowiednich warunkach laboratoryjnych z zastosowaniem modeli zmniejszonych z zachowaniem odpowiedniej skali względem obiektów rzeczywistych [4.5.30]. Badania eksperymentalne tego typu niestety także obarczone są znacznymi ograniczeniami i mogą być traktowane wyłącznie jako dodatkowe badania wspomagające.

W związku z powszechnie znanymi utrudnieniami i ograniczeniami w zastosowaniu metod eksperymentalnych w testowaniu złożonych konstrukcji, o dużych gabarytach, w tym także obciążonych zmiennie w czasie [4.1.1, 4.1.3, 4.5.25, 4.5.31], wykorzystuje się metody numeryczne i technikę komputerową do badania wytrzymałości systemów pływających [4.5.32]. Metody numeryczne mogą być używane nawet na etapie badań wstępnych takich konstrukcji (rys. 1). Ze względu na specyfikę wstępnych prac często konieczne jest wielokrotne wykonywanie obliczeń sprawdzających. Przydatne są do tego metody analityczne, które po odpowiednim przystosowaniu (np. algorytmizowaniu) umożliwiają zastosowanie techniki komputerowej do szybkiego wykonania powtarzalnych sekwencji

obliczeniowych. Jako przykład może posłużyć metoda analityczna do oceny wpływu luzów i szacowania parametrów kinematycznych wstęp pływających o różnych konfiguracjach, zaproponowana w pracy [4.1.1].

Wśród metod numerycznych wykorzystywanych we wstępnych etapach pracy nad badaniem wytrzymałości systemów pływających z luzami można wskazać więc oryginalne metody własne (np. z wykorzystaniem modeli sztywnych [4.1.1, 4.5.6]), wykorzystujące względnie proste, szybkie w opracowaniu modele matematyczne oraz te, w których używa się popularnych metod (np. MES) i oprogramowania własnego lub komercyjnego, przystosowanego do symulacji działania konstrukcji wieloczłonowych z uwzględnieniem luzów w zakresie statyki i dynamiki [4.1.1, 4.5.22, 4.5.29] oraz uproszczone modele dyskretne [4.1.1, 4.5.6, 4.5.20]. Metody takie mogą bazować także na wieloczłonowych modelach sztywnych 2D [4.1.1] używanych w analizach multibody (rys. 1).

W części głównych prac badawczych dotyczących systemów pływających, jak wskazano w metodyce (rys. 1), uwzględnia się głównie symulacje numeryczne wykonywane za pomocą modeli 3D, w tym także komercyjnych kodów obliczeniowych bazujących na metodach: MES i multibody [4.5.32, 4.5.33]. Modele numeryczne używane na etapie analiz zwalidowano uprzednio na podstawie wyników badań eksperymentalnych [4.1.1, 4.5.29].

Wyniki realizowanych badań mogą być wykorzystane do budowy prototypu nowoprojektowanej konstrukcji i wdrożenia serii próbnej lub w procesie szeroko pojętego diagnozowania i modernizacji konstrukcji już eksploatowanej [4.1.1, 4.1.4, 5.1.1, 4.5.21–4.5.23, 4.5.29].

Metodyka badań umożliwia diagnozowanie konstrukcji już wdrożonych i sprawdzanie ich stanu technicznego, poprawności działania w różnych fazach eksploatacji, w tym także planowanie przeglądów, remontów, analizy wpływu doraźnych prac naprawczych na konstrukcję, czy także formułowanie zaleceń eksploatacyjnych lub sprawdzanie możliwości adaptacji i dopasowania istniejącej konstrukcji do realizacji nowych zadań i możliwości spełniania przeformułowanych wymagań technicznych (np. w przypadku eksploatacji wojskowego sprzętu przeprawowego) [4.1.1, 4.1.4, 5.1.1, 4.5.22, 4.5.23].

Wykonanie analiz numerycznych wpływu luzu i obciążeń odpowiadających rzeczywistym ciężarom przepływających pojazdów na nośność mostów pływających w różnych konfiguracjach eksploatacyjnych jest ważnym etapem badań konstrukcji prototypowej mostu [4.1.1]. W badaniach takich można wykorzystać różne metody, programy obliczeniowe oraz modele (rys. 2). W metodyce badań numerycznych nośności mostów pływających przewidziano zastosowanie różnych technik komputerowych, modeli o różnych stopniach zaawansowania wyrażającej się w precyzji odwzorowania detali konstrukcyjnych i uwzględnieniu możliwie szerokiego spektrum oddziaływań zewnętrznych. Na podstawie doświadczeń i wyników prac związanych z jej wdrożeniem stwierdzono, że dobór metodyki analiz i modeli numerycznych powinien być ściśle dopasowany do założeń i wymagań przyjętych w danym etapie badań mostu [4.1.1, 4.5.29]. Przyjęto, że w celu zrationalizowania proporcji nakładów pracy na opracowanie modeli, przygotowania wariantów odpowiednich warunków brzegowo-początkowych i czasu trwania analizy wraz z późniejszym procesem przetwarzania wyników można zastosować metodykę badań konstrukcji z luzami przedstawioną na rys. 1 i uszczegółowioną metodykę wyznaczania nośności granicznej takich konstrukcji, opisaną na rys. 2. Ważnym etapem wskazanej metodyki jest zastosowanie

w badaniach numerycznych globalnych modeli uproszczonych wstęg [4.1.1]. Bardzo efektywne w użyciu, szczególnie w badaniach wielowariantowych są modele MES łączące cechy najprostszych modeli belkowych i modeli 3D wstęg pływających z dużym poziomem precyzji odwzorowania cech mechanicznych takiej konstrukcji (dokładne odwzorowanie pojedynczych modułów, ich sztywności i warunków wzajemnego oddziaływania z uwzględnieniem modeli złączy wraz z luzami itp.). Należą do nich modele przestrzenne, w których pojedynczy moduł pływający zastępuje się uproszczoną strukturą powłokowo-belkową z możliwością odwzorowania złączy burtowych i modelowania nieliniowych zjawisk kontaktowych wynikających z występowania luzów w złączach. Modele tego typu umożliwiają analizy MES w zakresie statyki i dynamiki z uwzględnieniem przestrzennego stanu obciążenia wywołującego jednoczesne zginanie w dwóch płaszczyznach i skręcanie wstęgi pływającej [4.1.1]. Modele globalne (rys. 1 i 2) zastosowano w badaniach wpływu luzów na wytrzymałość wstęg budowanych na bazie kaset prototypowych. Globalne modele powłokowo-belkowe fragmentów wstęg strojono na podstawie danych z badań eksperymentalnych. Po ich dopasowaniu i sprawdzeniu poprawności działania w modelach o ograniczonej liczbie modułów (fragmenty wstęg połączonych z dwóch do dziesięciu pojedynczych kaset) zbudowano modele odwzorowujące typowe wstęgi, eksploatowane na przykład w warunkach bojowych, o długości około 100m, w różnych konfiguracjach konstrukcyjnych. W pracy [4.1.1] omówiono problematykę analizy takich mostów wstęgowych z zastosowaniem uproszczonych globalnych modeli przestrzennych, uwzględniających oddziaływanie luzów w dwóch płaszczyznach (podłużnej odpowiadającej zginaniu i poprzecznej odpowiadającej skręcaniu wstęgi), a także przedstawiono wyniki analiz statycznych i dynamicznych z określeniem wpływu różnych obciążeń (w tym normowych, definiowanych według STANAG [4.5.34]) i luzów na nośność i wytrzymałość prototypowych mostów opływających połączonych kaset w różne układy eksploatacyjne wstęg.

W przypadku wielowariantowych badań statycznych i dynamicznych, w wyniku których wyznacza się odpowiedzi układów złożonych z dużej liczby podzespołów (w tym z elementami ruchomymi, z luzami, obiektów wieloczłonowych zbudowanych z powtarzalnych modułów) na różnego typu wymuszenia można wykorzystać także mieszane metody numeryczne (MES i metoda brył sztywnych) oraz wieloetapową metodykę analiz (rys. 1 i 2) [4.1.1, 4.1.3, 4.1.5].

W metodyce numerycznej analizy nośności mostów pływających (rys. 1) sprawdzenia jednoczesnego spełnienia kryterium kinematycznego i wytrzymałościowego dokonuje się w zakresie statyki oraz dynamiki. Wykorzystuje się w tym celu metody mieszane analizy numerycznej. Parametry kinematyczne, w tym przypadku zanurzenia obiektów pływających, wyznacza się w badaniach statycznych i dynamicznych za pomocą globalnych modeli kompletnych wstęg mostów, opracowanych z różnym poziomem odwzorowania szczegółów konstrukcyjnych oraz mieszanych metod numerycznych. Do analizy wytężenia i sprawdzenia kryterium wytrzymałości stosuje się modele odkształcalne 3D MES pojedynczej kasety, zestawu dwóch kaset i wydzielonego zespołu trzpieniowego złącza burtowego (rys. 1 i 2). Modele takie traktowane są jako lokalne, wymagają one opracowania odpowiednich-zastępczych warunków brzegowo-początkowych, ale umożliwiają

szczegółowe odwzorowanie rozwiązań konstrukcyjnych analizowanych obiektów i precyzyjny opis warunków ich działania.

Zalety i oryginalność zaproponowanej w pracy [4.1.1] metodyki przejawiają się w tym, że za pomocą uproszczonych modeli globalnych systemu pływającego z luzami w połączeniach oraz lokalnych modeli wydzielonego złącza umożliwia ona analizę wytrzymałości modułów pływających wraz ze złączami z uwzględnieniem złożonych warunków oddziaływania różnych obciążeń, w tym także zmiennych w czasie, zjawisk kontaktowych i zmiennych warunków współpracy elementów złączy. Dzięki umiejętnemu połączeniu różnych metod badawczych (doświadczalnych i numerycznych), szczególnie na etapie strojenia wybranych charakterystyk i walidacji modeli, zaletom metod wieloetapowych oraz zastosowaniu odpowiednich modeli w kolejnych etapach analiz numerycznych, możliwe jest zwiększenie efektywności (głównie pod względem kosztów numerycznych) analizy wytrzymałości złożonych systemów pływających w porównaniu do badań numerycznych z zastosowaniem precyzyjniejszych modeli 3D do analiz jednoetapowych takich obiektów.

W ramach wdrażania opisanej metodyki badań, wykonano analizy numeryczne i eksperymentalne mostów pływających o długościach odpowiadających rzeczywistym przeprawom, z uwzględnieniem luzów i różnych wariantów obciążeń (w tym definiowanych według norm wojskowych STANAG) i wyznaczono nośność prototypowych wstęp w różnych układach konstrukcyjnych. Stwierdzono, że mosty pływające budowane na bazie prototypowych kaset z maksymalną wypornością (po całkowitym napełnieniu zbiorników elastycznych powietrzem), w układach wstęp mieszanych oraz podwójnych mogą pracować bezpiecznie w przeprawach pojazdów o ciężarze 1000kN (100MLC wg klasyfikacji NATO) poruszających się z prędkością około 5m/s. Dopuszczalna nośność wstęgi pojedynczej wynosi 700kN (70MLC).

Luzy montażowe w obiektach pływających, a szczególnie te pomiędzy pontonem brzegowym, a skrajnym pontonem rzeczny wstęgi, wpływają bardzo istotnie na zasięg strefy zwartej pontonów tj. długość roboczą mostu oraz na wartości zanurzenia, sił wewnętrznych i wyężenie w całym moście. Odpowiedni dobór tego luzu pozwala na pożądane ukształtowanie głębokości zanurzenia w części brzegowej mostu, istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa jego eksploatacji, szczególnie w fazie wjazdu i zjazdu pojazdów ze wstęgi. Możliwość kształtowania zasięgu stref zwartych mostu jest szczególnie istotna przy wykorzystaniu wstęgi do przeprawy ciągłej kolumn pojazdów. W takim przypadku znajomość długości roboczych mostu wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo przeprawy. Instrukcja eksploatacji systemów pływających [4.5.3, 4.5.4], pozostających na wyposażeniu wojska nie dopuszcza sytuacji, w której strefy zwarte mostu, tworzące się wskutek wybrania luzów wstępnych pod poszczególnymi pojazdami znajdującymi się jednocześnie na moście, mogą nakładać się wzajemnie. Sytuacja taka może mieć miejsce, gdy nie zostanie zachowany należyty odstęp pomiędzy pojazdami podczas przepraw. Prowadzi to do znacznego wzrostu zanurzeń mostu i powstania bezpośrednich zagrożeń dla bezpieczeństwa. Jednocześnie nadmierne zwiększanie odstępów pomiędzy pojazdami w kolumnie wydłuży czas trwania przeprawy. Ma to szczególne znaczenie dla organizowania przepraw w warunkach bojowych, a także przy wykorzystaniu doraźnym takich mostów do przepraw o charakterze ciągłym w gospodarce narodowej (przeprawy zastępcze podczas budowy, czy też remontów mostów stałych). Badanie i określanie optymalnych warunków przepraw umożliwia proponowana

w pracy metodyka. Z przedstawionych rozważań wynika, że proponowana w pracy metoda analizy mostów pływających pozwala również na:

- dokładne śledzenie mechanizmu tworzenia się strefy zwarcia mostu,
- dobór wartości wstępnych luzów montażowych pomiędzy segmentami pływającymi, zapewniających pożądane rozkłady pól przemieszczeń i sił wewnętrznych,
- analizę statyczną i dynamiczną mostów pływających z uwzględnieniem ich specyfiki konstrukcyjnej, a także wpływu czynników eksploatacyjnych.

Trudność doboru luzów montażowych we wstępie polega jednak na ustaleniu jednolitego kryterium dotyczącego zanurzenia i wyężenia. Wynika to z faktu, że zmiana wartości luzów wpływa jednocześnie na zmianę zanurzenia i sił wewnętrznych w moście obciążonym, a charakter zmian tych parametrów jest niejednorodny. Generalnie, zmniejszenie luzów powoduje bowiem ograniczenie zanurzenia wstęgi obciążonej i jednocześnie wzrost wartości sił wewnętrznych. Na podstawie przedstawionych wyników można jednak stwierdzić, że proponowana w pracy metodyka analizy, pomimo opisanych utrudnień, umożliwia spełnienie założeń taktyczno-technicznych w projektowaniu i określaniu nośności prototypowych mostów pływających.

Opisana metodyka może być zastosowana z powodzeniem do badania wytrzymałości innych typów mostów specjalnych (mosty składane [5.2.2, 5.2.3, 4.5.24] lub towarzyszących [4.1.4, 5.1.1, 4.5.23] oraz innych konstrukcji wieloczłonowych z luzami [4.1.2, 4.1.3, 4.1.5, 5.2.4, 4.5.27].

Zaprezentowana metodyka umożliwia badania wytrzymałości dużych i złożonych obiektów wieloczłonowych z luzami w systemie połączeń. Mogą to być obiekty złożone z identycznych modułów połączonych złączami zapewniającymi ograniczoną ruchomość, jak w przypadku np. systemów pływających lub mostów i wiaduktów składanych (na bazie rozwiązania DMS [5.2.2, 5.2.3, 4.5.24]). Mogą być rozważane z jej pomocą także całkowicie odmienne, oryginalne obiekty wieloczłonowe (omawiane w publikacjach autora resory wielopiórowe [4.1.2, 5.1.2, 4.5.36], podwozie lotnicze [4.1.3, 5.1.1, 4.5.25], czy towarzyszący most czołgowy BLG [4.1.4, 5.1.1, 4.5.23] i inne mosty specjalne [4.1.5, 5.2.3,]) połączone różnego typu złączami, w tym także takimi, w których uwzględniono luzy. Elastyczność i pewna uniwersalność zaproponowanej metodyki wynika z połączenia stanowiskowych i poligonowych metod eksperymentalnych oraz różnych technik numerycznych [4.1.1, 4.1.5]. Zarówno w etapie wstępnych prac konstrukcyjnych oraz badań głównych, w tym także obiektów eksploatowanych i remontowanych, wyniki testów eksperymentalnych wykorzystuje się głównie do walidacji zastosowanych modeli i oceny poprawności wyników analiz numerycznych. Spośród różnych metod numerycznych głównie wykorzystuje się, zgodnie z zaproponowaną metodyką (rys. 1 i 2), metody bazujące na modelach sztywnych i odkształcalnych MES. Podobnie w etapach prac wstępnych nad konstrukcją, jak i badań głównych można wykorzystywać zarówno metody mieszane, globalno-lokalne jak też globalne w rozwiązaniach numerycznych dowolnych układów wieloczłonowych z luzami. Zastosowanie takich różnych podejść numerycznych może wynikać ze stopnia złożoności rozpatrywanego układu wieloczłonowego oraz dostępności danych niezbędnych do opracowania modeli.

Układy wieloczłonowe ze względu na ich złożoność, zmienność warunków pracy, różnorodność zjawisk towarzyszących ich eksploatacji i jednocześnie występowanie

ekstremalnych obciążeń badane są najczęściej w modelach uproszczonych lub z zastosowaniem podejścia analizy wieloetapowej i modeli częściowych odwzorowujących wybrane położenia konstrukcji, przy zastosowaniu testowych lub eksploatacyjnych obciążeń. W pracy [4.1.1] wykorzystuje się również metodę wieloetapową z zastosowaniem modeli globalno – lokalnych do gromadzenia wyników porównawczych, które pozwolą ocenić poprawność modeli częściowych, lokalnych, ale także przestrzennych modeli odkształcalnych kompletnych konstrukcji zastosowanych na przykład w analizie statycznej i dynamicznej wytrzymałości resoru [4.1.2, 5.1.2, 4.5.36], czy też podwozia lotniczego [4.1.3, 5.1.1, 4.5.25].

### **4.3 Osiągnięcia i oryginalne aspekty pracy**

Według autora, do oryginalnych aspektów pracy i osiągnięć należą:

1. Koncepcja systemu złączy burtowych do łączenia prototypowych kaset oraz metodyka badań wytrzymałości, w tym oceny stanu wyężenia kaset prototypowych wraz z systemem złączy burtowych [4.1.1].
2. Zastosowanie różnych metod eksperymentalnych podczas badań poligonowych i stanowiskowych w celu kompleksowej walidacji modeli numerycznych. Użyto metod fotogrametrycznych do rejestracji i przetwarzania danych z pomiarów pływających obiektów prototypowych w warunkach poligonowych i innych rozważanych w pracy układów wieloczłonowych z luzami (np. podzespoły zawieszenia pojazdów, złącza platformy obrotowej wagonu intermodalnego) w warunkach badań stanowiskowych. Zastosowano między innymi badania optyczne w pozyskaniu danych do walidacji wydzielonych fragmentów konstrukcji. Z zastosowaniem takiej metodyki badano między innymi wydzielone trzpieniowe (poziome i pionowe) złącza burtowe do łączenia kaset prototypowych w obiekty pływające o różnej konfiguracji eksploatacyjnej. Oryginalność w podejściu do takich badań układów wieloczłonowych przejawia się również w zastosowaniu znanych, tradycyjnych metod diagnozowania stanu wytrzymałościowego maszyn i urządzeń. Do oceny poprawności i możliwości zastosowania nowoczesnych metod wykorzystano również metody tradycyjne, powszechnie używane i wszechstronnie sprawdzone w badaniach wytrzymałości, jak na przykład metoda tensometrii elektro-rezystancyjnej [4.1.1].
3. Metodyka uwzględnia opracowanie stanowisk badawczych oraz modeli analitycznych i numerycznych wielkogabarytowych konstrukcji wieloczłonowych z luzami, a w tym prototypowych mostów pływających o regulowanej wyporności [4.1.1], mostów składanych [4.1.5] oraz modernizowanego przęsła mostu towarzyszącego [4.1.4].
4. Opracowanie modeli numerycznych 3D wstęp pływających w różnych konfiguracjach konstrukcyjnych do badań nośności, w tym modeli podatnych i budowanych z brył sztywnych, modeli do analiz statycznych i dynamicznych z odwzorowaniem ruchomego pojazdu wieloosiowego wraz z zawieszeniem, modeli do wielowariantowych analiz wpływu wartości luzów, różnych prędkości przeprawiania, normowych obciążeń (według STANAG), sił naporu od nurtu wody oraz obciążeń zewnętrznych działających mimośrodowo względem osi podłużnej mostu do analiz wytrzymałości wielomodułowych obiektów pływających [4.1.1].



5. Procedura określania wielkości luzów w konstrukcji po modernizacji złączy głównych mostu towarzyszącego BLG, opracowana z wykorzystaniem przestrzennych modeli numerycznych przęsła i wielowariantowych analiz wpływu luzów w złączach głównych na wyężenie przęsła mostu [4.1.4].
6. Zaprojektowanie stanowiska do badania wpływu obciążeń uderowych na wytrzymałość biliniowego resoru wielopiórowego. Dane z badań stanowiskowych tego typu układu wieloczłonowego zastosowano do walidacji szczegółowych modeli 3D MES układu zawieszenia przeznaczonych do jednoetapowych analiz dynamicznych. Modele takie zastosowano do opracowania zmian konstrukcyjnych resorów, w tym do oceny wpływu wieszaków na wytrzymałość i eksploatacyjne parametry kinematyczno-dynamiczne [4.1.2].
7. Metodyka, uwzględniająca opracowanie stanowiska eksperymentalnego i modeli numerycznych do badania tarcia w resorach wielopiórowych [4.1.2]. Wykorzystano w nich metody optyczne oraz zjawisko termowizji. Opracowanie autorskiego stanowiska zbudowanego na bazie maszyny wytrzymałościowej do badań resoru w zakresie wymuszeń cyklicznych oraz zastosowanie analitycznej metody oceny udziału sił tarcia w dyssypacji energii resoru poddanego oddziaływaniom cyklicznym o różnej częstości i amplitudach wymuszeń [4.1.2].
8. Z punktu widzenia oceny wytrzymałości badanych układów wieloczłonowych z luzami (mostów pływających [4.1.1], podwozia lotniczego [4.1.3] i podzespołów zawieszenia pojazdów ciężkich [4.1.2]) istotne i oryginalne jest uwzględnienie wpływu efektów dynamicznych (związanych z powtarzającymi się zderzeniami kaset systemu pływającego lub oddziaływań impulsowych w przypadku podwozia lotniczego, zawieszenia pojazdów). Dzięki zastosowaniu autorskiej metodyki badań zjawiska te zostały uwzględnione w omawianych w pracy rozwiązaniach. Ważna jest rola metodyki multibody i zastosowania modeli uproszczonych budowanych na bazie członów sztywnych. Ich wykorzystanie wraz z odpowiednio zestrojonymi, na bazie wyników badań poligonowych i stanowiskowych, globalnymi i lokalnymi modelami numerycznymi o różnym poziomie szczegółowości odwzorowania budowy i zjawisk towarzyszących ich działaniu w rzeczywistości, stanowi według autora jedno z ważniejszych i oryginalnych osiągnięć pracy.

#### **4.4 Kierunki dalszych badań i wykorzystanie wyników badań**

Opisane w pracy modyfikacje konstrukcyjne pojedynczej kasety, a szczególnie nakładki dziobowo-rufowe zwiększają wyporność zestawianych obiektów pływających. W związku z tym, konieczne jest określenie nośności podstawowych konfiguracji prototypowych wstęp (głównie pojedynczej i podwójnej), w których je uwzględniono. W kontynuacji badań przedwdrożeńowych, tak zmodyfikowanych obiektów pływających o zwiększonej nośności, będzie zastosowana omówiona w pracy metodyka i zwalidowane modele numeryczne.

Ze szczegółowej analizy rozkładów naprężeń w kasetach pływających i mostu towarzyszącego BLG wynika, że istnieją obszary spiętrzeń naprężeń w pobliżu niektórych połączeń szkieletu siłowego badanych konstrukcji. Efekty zlokalizowanych spiętrzeń naprężeń może potęgować technologia spawania używana do wykonywania większości

stałych elementów połączeń w tego typu metalowych konstrukcjach cienkościennych. W miejscach takich połączeń powstają pospawalnicze naprężenia własne, które mogą potęgować efekty koncentracji naprężeń. Ze względu na duże rozmiary takich konstrukcji nie można wykonać praktycznie żadnych tradycyjnych zabiegów (na przykład odpuszczania cieplnego), które prowadzą do uwolnienia naprężeń resztkowych w rzeczywistych obiektach. Dodatkowo, z uwagi na specyfikę konstrukcyjną (luzy w połączeniach) i eksploatacyjną rozważanego mostu: drgania generowane podczas przeprawy pojazdów, cykliczność z dużymi amplitudami obciążeń zewnętrznych i lokalne stany spiętrzenia naprężeń, mogą prowadzić w procesie długotrwałej eksploatacji takich obiektów do wystąpienia efektów zmęczeniowych. Badane mosty specjalne mogą być narażone równocześnie na oddziaływanie falowe wody, zmienny napór nurtu wody oraz na zmieniające się losowo obciążenia wiatrem. Nasilają one efekty zmęczeniowe we wskazanych powyżej, najbardziej wyężonych obszarach konstrukcji, podczas długotrwałych przepraw o dużym natężeniu ruchu pojazdów. Wnioski te potwierdzają analizy najczęściej powstających uszkodzeń w pontonach. Oprócz typowych deformacji i uszkodzeń, spowodowanych zderzeniem z dnem przeszkody wodnej lub kontaktem z innymi obiektami w czasie eksploatacji wstęgi, często wykrywane są pęknięcia spoin w rejonach mocowania złączy oraz pęknięcia spoin łączących poszycie konstrukcji z elementami usztywnień, a więc w obszarach maksymalnie wyężonych [4.5.2]. Uszkodzenia te mają charakter zmęczeniowy. Spostrzeżenia te wskazują potrzebę przeprowadzenia badań zmęczeniowych takiej konstrukcji. Ze względu na wysokie koszty badań doświadczalnych na rzeczywistym obiekcie [4.5.37], pomocna może być numeryczna analiza wytrzymałości zmęczeniowej mostu pływającego. Zastosowanie metody wieloetapowej, zaproponowanej w pracy do szczegółowej analizy wyężenia takich konstrukcji, daje możliwość bezpośredniego wykorzystania wyników do numerycznych badań zmęczeniowych z zastosowaniem np. pakietu programów MSC.Software [4.5.35]. Badania wpływu naprężeń własnych na wyężenie tego typu konstrukcji oraz badania zmęczeniowe są planowane do wykonania w ramach kolejnych etapów modyfikacji i optymalizacji konstrukcji.

#### **4.5 Literatura**

- 4.5.1 Bursztynowski Z., *Mosty pływające typu wstęgi*, WAT, Warszawa 1986.
- 4.5.2 Krasoń W., Wieczorek M., *Analiza wytrzymałości pojedynczego pontonu mostu pływającego*, SYSTEMS-Journal of Transdisciplinary Systems Science, Volume 7, Special Issue Number1, 2002, str. 314-321.
- 4.5.3 Instrukcja Szefostwa Wojsk Inżynieryjnych, *Park Pontonowy PP-64. Opis i użytkowanie*, Wydawnictwo MON, 1986.
- 4.5.4 *Mosty wojskowe*, Szefostwo Wojsk Inżynieryjnych MON, Warszawa, 1994.
- 4.5.5 Bursztynowski Z., Wieczorek M., Krasoń W., *Porównanie wyników analizy statycznej mostów pływających otrzymanych w modelu ciągłym i dyskretnym*, Biuletyn WAT, XLVII, 9, Warszawa, 1998, str. 5-23.
- 4.5.6 Krasoń W., Wieczorek M., *Analiza numeryczna mostu pływającego modelowanego elementami sztywnymi w systemie WSTĘGA i MSC/NASTRAN*, Przegląd Mechaniczny, Nr 9 / 2001.
- 4.5.7 Langer J., *Analiza dynamiczna przęsła mostowego obciążonego ruchomym pojazdem*, Arch. Inż. Łąd., 20, 4, 1974.

- 4.5.8 Lisowski A., *Obliczanie konstrukcji na ciągłym podłożu sprężystym*, PWN Warszawa 1974.
- 4.5.9 Lewandowski R., Świtka R., *Zginanie belek na sprężysto-plastycznym podłożu Winklera z więzami jednostronnymi*, Archiw. Inż. Łąd., XXXIV, Z1, 1988, 35-52.
- 4.5.10 Piskorski R., *Ocena przydatności modelu ciągłego w statyce mostu pontonowego*, Prace Badawcze I.O.P.G. nr 1783/MR-774/83, Gdańsk, 1983.
- 4.5.11 *krzywizny*, Biuletyn WAT, 39, 1990, 38-45.
- 4.5.12 Beaufait F. W., Hoadley P.W., *Analysis of elastic beams on nonlinear foundations*, Comp. Struct., 12, 1980, 669-676.
- 4.5.13 Więckowski J., *Wstęp do teorii zginania belek o zmiennej strukturze*, Prace Instytutu Maszyn Przepływowych, Zeszyt 65, Gdańsk, 1974, 151-176.
- 4.5.14 Więckowski J., *Elementy dynamiki mostu promowego z luzami obrotowymi w opisie dyskretnym*, Prace Instytutu Maszyn Przepływowych, Zeszyt 77, Gdańsk, 1980, 135-156,
- 4.5.15 Piskorski R., *Metoda superelementu w statyce układu z więzami jednostronnymi*, Mechanika Teoretyczna i Stosowana, 26, 1, 1988, 191-198.
- 4.5.16 Piskorski R., *Zagadnienie zginania belki o zmiennej sztywności na zmiennym podłożu sprężystym jako układ łańcuchowy z więzami dwustronnymi*, Prace Badawcze I.O.P.G. nr 2188/MR-1087/85, Gdańsk, 1985.
- 4.5.17 Piskorski R., *Wpływ odkształcalności pontonów na rozwiązania statyki mostów pływających*, Rozprawy Inżynierskie, 36, 1, 1988, 149-156.
- 4.5.18 Piskorski R., *Statyka mostu pontonowego w opisie dyskretnym*, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, 441, Gdańsk, 1989.
- 4.5.19 Dacko M., Borkowski W., Dobrociński S., Niezgoda T., Wieczorek M., *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Arkady, Warszawa, 1994.
- 4.5.20 Wieczorek M., Krasoń W., *Numeryczna analiza mostów typu wstęgi z uwzględnieniem segmentu brzegowego*, Biuletyn WAT, XLV, nr 7(527), str. 107-121, lipiec 1996.
- 4.5.21 Patent RP, PAT.223689, pt. Kasety mostu pływającego, Autorzy: Niezgoda T., Krasoń W., Derewońko A., Chłus K., Popławski A., 2016-02-05.
- 4.5.22 Krasoń W., *Koncepcja, rozwiązania konstrukcyjne i badania systemu pływającego o regulowanej wyporności*, Inżynieria wojskowa - problemy i perspektywy, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej, ISBN 978-83-948983-0-4, Wrocław 2018, str. 123-145.
- 4.5.23 Krasoń W., *Strength analysis of the scissors-AVLB type bridge*, Shell Structures: Theory and Applications, Vol. 2, Taylor&Francis Group, London, UK, 2010, pp. 307-310.
- 4.5.24 Chłus K., Krasoń W., *Analiza wytrzymałości mostu składanego z uwzględnieniem luzów montażowych*, Modelowanie Inżynierskie, Tom 10, nr 41, 2011, str. 19-26.14.
- 4.5.25 Krasoń W., Małachowski J., *Dynamics analysis of the main landing gear in 3D model*, Journal of KONES2006 Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 3, 2007, str. 305-310.
- 4.5.26 Krasoń W., Niezgoda T., Stankiewicz M., *Numerical and experimental tests of the side lock of railway wagon loading platform for intermodal transport*, Shell structures, theory and application, Volume 3, CRC Press Taylor&Francis Group, Balkema Book, 2013, pp.531-534.
- 4.5.27 Abratowski P., Krasoń W., Barnat W., Gnarowski W., *The overview of construction and selected aspects of testing mounting frames of aircraft machine guns*,

Journal of Science of the Military Academy of Land Forces, Volume 49, Number 1 (183), 2017, DOI:10.5604/17318157.1234854, Open Access, pp. 155-172.

4.5.28 Kamyk Z., Śliwiński C., *Etapy rozwoju konstrukcji modelu aluminiowo-kompozytowego bloku pontonowego*, Inżynieria wojskowa-problemy i perspektywy, monografia WITI Wrocław, str. 143-154, 2014.

4.5.29 Krason W., Popławski A., *Numerical research of the cassette bridge joint strength with mapping of stand for experimental tests*, Cite as: AIP Conference Proceedings 2078, 020050 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5092053>, Published Online: 04 March 2019, pp. 1-6.

4.5.30 Fu S., Cui W., *Dynamic responses of a ribbon floating bridge under moving loads*, Marine Structures 29, str. 246–256, 2012.

4.5.31 Kowalewski Z. L., *Kierunki i perspektywy rozwoju badań wytrzymałościowych*, Wydawnictwo Instytutu Transportu Samochodowego, str. 227, Warszawa, 2008.

4.5.32 Stankiewicz M., Krason W., Barnat W., *Badania numeryczne odcinka mostu pływającego typu wstęga w modelach 3D*, Miesięcznik Naukowo-Techniczny Mechanik Nr2, 2012.

4.5.33 Konopka S., Łopatka M. J., Spadło K., *Analiza mobilności kołowych platform przegubowych*, Logistyka-nauka, Nr 6, str. 5633-5641, 2014.

4.5.34 STANAG 2021, *Wojskowe obliczenia klasyfikacji mostów, promów, tratw i pojazdów*, Wydanie 6.

4.5.35 MSC.FATIGUE, *Reference Manual*, MSC.Software, 2005.

4.5.36 Krason W., Hryciow Z., Wysocki J., *Numerical studies on influence of friction coefficient in multi-leaf spring on suspension basic characteristics*, Cite as: AIP Conference Proceedings 2078, 020049 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5092052>, Published Online: 04 March 2019, pp. 1–6.

4.5.37 Bartnicki A., *Badania wytrzymałościowe i trwałościowe prototypu mostu samochodowego MS-20*, Biuletyn WAT, Vol. LIX, Nr 1, 2010.

4.5.38 Patent Europejski, EP2570551, *A cassette of a floating bridge*, Autorzy: Niezgoda T., Krason W., Derewońko A., Chłus K., Popławski A., 2018-11-28.

4.5.39 Żardecki D., *Modelowanie luzu i tarcia oparte na odwzorowaniach luz(...) i tar(...) – podstawy teoretyczne i zastosowanie w symulacji drgań nieliniowych w układach kierowniczych samochodów*, monografia, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2007.

4.5.40 Abratowski, W. Krason, W. Barnat, W. Gnarowski, *Dynamic analysis of column stand for aircraft multi-barrel machine gun with consideration of bearing clearance*, Proceedings of the 13th International Scientific Conference Computer Aided Engineering, Published by Springer Verlag, April 2017.

4.5.41 Krason W., Niezgoda T., *FE numerical tests of railway wagon for intermodal transport according to PN-EU standards*, October 2014, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 62, No. 4 , pp. 843 - 851.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

Poniżej przedstawiono krótkie charakterystyki wybranych prac dotyczących numeryczno-eksperymentalnych badań wytrzymałości konstrukcji wieloczłonowych z luzami, opublikowanych w różnych czasopismach naukowych. Stanowią one uszczegółowienie i uzupełnienie głównych osiągnięć naukowo-badawczych wskazanych w punkcie 4.1.

Zamieszczone publikacje odnoszą się do wybranych osiągnięć naukowo-badawczych w dziedzinie analizy wytrzymałości układów wielocłonowych z luzami. Omówiono je na przykładzie badań wytrzymałości mostów specjalnych, w rozwiązaniach innych niż omawiane w monografii obiekty pływające (most towarzyszący BLG oraz składany DMS) i zawieszenia pojazdów ciężkich z wielopiórowym resorem podwójnym.

### **5.1 Wybrane publikacje w periodykach z listy JCR:**

**5.1.1 Krason W.,** Malachowski J., Field test and numerical studies of the scissors-AVLB type bridge, March 2014, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, Vol 62, No.1, pp. 103-112.

Mosty nożycowe charakteryzują się wysoką mobilnością i modułową strukturą. Pojedyncze przęsło zawiera dwie połączone części mostu; dwa tory jezdne wraz z konstrukcją nośną. Złącza sworzniowe są używane między modułami tworzącymi tory jezdne pojedynczego przęsła mostu. W pracy przedstawiono wybrane aspekty testu eksperymentalnego i analizy numerycznej mostu towarzyszącego. Przedstawione analizy numeryczne przeprowadzono dla zmodernizowanego mostu nożycowego BLG z rozszerzonymi jezdniami w porównaniu do klasycznego mostu eksploatowanego do chwili obecnej w Siłach Zbrojnych RP. Tego rodzaju modyfikacja konstrukcji znacząco wpływa na wszelkie zmiany w wyężeniu struktury nośnej mostu przenoszącej siły pochodzące od obciążeń zewnętrznych generowanych podczas przeprawy. Zmiany te mogą okazać się niekorzystne dla całej konstrukcji z powodu momentów skręcających, które dodatkowo obciążają tory jezdne przęsła. Dokładne rozważenie takich przypadków eksploatacyjnych było konieczne z powodu możliwości wykorzystania tego rodzaju mostów podczas organizowania przejazdu pojazdów wojskowych NATO wyposażonych w różne rozstawy kół (inne niż te używane do tej pory w kraju). Pojedyncze przęsło mostu BLG poddano analizie numerycznej w celu oceny przemieszczeń i rozkładów naprężeń w strukturze mostu w różnych wariantach obciążenia. Ze względu na złożoność rozważanej konstrukcji i uproszczenia przyjęte na etapie konstruowania modeli geometrycznych i dyskretnych, odkształcalny model 3D mostu nożycowego wymagał weryfikacji. Poprawność modeli oceniono za pomocą porównania ugięć uzyskanych w różnych wariantach obciążenia. odpowiadały one testom przeprowadzonym na stanowisku poligonowym. Wykazano, że badane zmiany warunków obciążenia bieżni mostu mają największy wpływ na wyężenie obszaru złącza głównego, który mocowane do dna dźwigara. Spiętrzenia naprężeń określone w analizie nie stanowią zagrożenia bezpiecznej eksploatacji konstrukcji.

**5.1.2 Hryciow Z., Krason W.,** Wysocki J., The experimental tests on the friction coefficient between the leaves of the multi-leaf spring considering a condition of the friction surfaces, 2018, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 20, No. 4, pp. 682-689.

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych węzłów tarcia pomiędzy piórami resoru, z uwzględnieniem stanu powierzchni współpracujących oraz wpływu prędkości ich wzajemnego przemieszczania, na wartości współczynników tarcia. Zaproponowano metodykę

wyznaczania współczynników statycznych i kinetycznych tarcia. Do badań przygotowano dwa rodzaje próbek, które wycięto z pióra resoru prototypowego - tworzyły one modelowe pary cierne. Oceniono stan powierzchni próbek i wybrane właściwości mechaniczne. W planie eksperymentu uwzględniono: cztery prędkości poślizgu, cztery warianty stanu powierzchni oraz dwie wartości obciążenia normalnego. Badania par ciernych wykonano na stanowisku laboratoryjnym do pomiaru siły tarcia. Wyniki badań przedstawiono w postaci przebiegów czasowych siły tarcia, wykresów i zestawień tabelarycznych współczynników tarcia. Wykonano analizę porównawczą wyników w celu określenia wpływu warunków badań, na wartości wyznaczonych współczynników tarcia. Zaproponowane warunki badań są zbliżone do typowych warunków eksploatacyjnych pojazdów drogowych. Otrzymane wartości statycznych i kinetycznych współczynników tarcia dla próbek oczyszczonych są zbliżone do prezentowanych w literaturze. Analizując wyniki dla powierzchni oczyszczonych należy stwierdzić, że nie zauważa się istotnego wpływu prędkości poślizgu na otrzymane wartości statycznego i kinetycznego współczynnika tarcia. Różnice nie przekraczają kilku procent. Wprowadzenie smaru grafitowego spowodowało zmniejszenie wartości współczynników tarcia. Szczególnie widoczne jest to w przypadku większego obciążenia, dla którego stwierdzono zmiany o około 20%. Pomiar statycznych i kinetycznych współczynników wykazał 230-270% wzrost ich wartości w porównaniu do powierzchni czystych. W trakcie prób zaobserwowano wygładzanie powierzchni – szczególnie dla większego obciążenia. Zwilżenie wodą powierzchni ciernych spowodowało utworzenie swoistej warstwy smarnej zmniejszającej o około 15% współczynniki tarcia.

## **5.2 Inne wybrane publikacje:**

**5.2.1 Krason W.**, Numerical studies of the truck suspension, 2007, Journal of KONES Powertrain and Transport', Vol. 14, /No. 4, str. 217-224.

Przedmiotem rozważań jest podwójny resor samochodu ciężarowego. Konstrukcja taka składa się z sześciu piór. Połączone są one w dwa zespoły nazwane odpowiednio resorem głównym złożonym z czterech piór i resorem pomocniczym utworzonym przez dwa pozostałe pióra o innej krzywiznie. Konstrukcja taka charakteryzuje się biliniową charakterystyką sprężystą. W pracy omawiana jest analiza numeryczna takiej konstrukcji zrealizowana metodą elementów skończonych. Zaproponowano model płaski wielopiórowego resoru podwójnego, w którym zastosowano elementy belkowe i dwuwęzłowe elementy kontaktowe typu GAP. Przedstawiono także alternatywne modele powłokowe i bryłowe takiego samego resoru. Omówiono różne podejścia w modelowaniu kontaktu pomiędzy piórami zespołu głównego i pomocniczego. Wykonano nieliniową analizę numeryczną w zaproponowanych modelach dyskretnych resoru. Wyznaczono charakterystyki sprężyste resoru. Przedstawiono wybrane zastosowanie zastępczej sztywności na przykładzie modelu zawieszania użytego w symulacjach dynamiki ruchu pojazdu kołowego po moście pływającym.

**5.2.2 Krasoń W.**, Badanie wpływu nadmiernego luzu w złączach głównych na wytrzymałość mostu towarzyszącego, 2011, Modelowanie Inżynierskie, Tom 10, nr 41, str. 205-212.

Przedmiotem badań przedstawionych w pracy jest most nożycowy AVLB. Długość pojedynczego przęsła mostu nożycowego wynosi 20m, a nośność 500kN. Przedstawiono modele numeryczne 3D pojedynczego przęsła mostu jako modele bryłowo-powłokowe. Modele takie zastosowano w analizach numerycznych Metodą Elementów Skończonych. Analizę wytrzymałości przęsła wykonano przy założeniu różnych wariantów obciążeń zewnętrznych i konfiguracji eksploatacyjnych mostu BLG. Określono wpływ luzu w ruchomych złączach na przemieszczenia i wyężenie badanego mostu towarzyszącego. Występowanie nadmiernych luzów w złączach głównych dźwigarów mostu BLG jest niekorzystne. Powodują one zwiększenie ugięć przęsła oraz niekorzystnie wpływają na wyężenie konstrukcji. Niebezpieczne spiętrzenia naprężeń zaobserwowano w obszarze dna dźwigara, w którym mocowane są złącza oraz w elementach składowych samych połączeń sworzniowych. W związku z tym, w wersji modernizowanej mostu BLG, wykonano wzmocnienia powierzchni dennych obu dźwigarów poprzez dospawanie pasów blach o odpowiednich grubościach.

**5.2.3 Chłus K., Krasoń W.**, Analiza wytrzymałości mostu składanego z uwzględnieniem luzów montażowych. Modelowanie Inżynierskie, Tom 10, nr 41, 2011, str. 19-26.

W pracy omówiono analizę numeryczną mostu składanego dwuprzęsłowego z uwzględnieniem luzów montażowych w złączach. Mosty składane są budowane z gotowych, powtarzalnych segmentów. Wykorzystuje się je jako mosty tymczasowe. Do symulacji numerycznej metodą elementów skończonych wpływu warunków brzegowych użyto powłokowo-belkowego modelu trójwymiarowego przęsła DMS. Przedstawiono wyniki analizy mostu z uwzględnieniem różnych charakterystyk sztywności układu podpory pośredniej przęsła długiego, złożonego z dziesięciu segmentów. Wraz ze wzrostem wartości luzu w złączach zaobserwowano wzrost naprężeń maksymalnych. We wszystkich zaproponowanych modelach obliczeniowych najbardziej wyężonymi elementami w moście były podzespoły kratownicy przestrzennej, w przekrojach występowania złączy i mocowania belki poprzecznej. Zauważono, że istnienie sztywnej podpory pośredniej dla dziesięciosegmentowego mostu z małym luzem montażowym w połączeniach sworzniowych (do 1mm) jest najkorzystniejszym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Dla wartości luzu od 1mm do 8mm najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wariant z podatną podporą pośrednią. W przypadku, gdy luz eksploatacyjny przekroczy wartość 8mm-10mm najlepszym rozwiązaniem jest usunięcie podpory pośredniej w połowie długości przęsła. Opracowany model numeryczny uwzględnia oddziaływanie luzów we wszystkich złączach przęsła i daje szerokie możliwości do badania wpływu warunków brzegowych na wytrzymałość mostu składanego. Pozwala na przeprowadzanie wielu istotnych analiz z punktu widzenia zmian konstrukcyjnych i diagnostyki tego typu obiektów.

### **5.3 Podsumowanie wybranych osiągnięć naukowo-badawczych i dydaktycznych po uzyskaniu stopnia doktora**

W większości konstrukcji złożonych (nowoczesnych i budowanych tradycyjnie) występują luzy. Ich wielkość ma duże znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania maszyn i urządzeń. Na przykład, mogą wpływać na dokładność ich działania. Zaproponowana w pracy metodyka analizy wytrzymałości konstrukcji wieloczłonowych z luzami ma także inne użytkowe cechy, poza omówionymi wcześniej w głównej części dzieła naukowego. Umożliwia, między innymi, diagnozowanie stanu technicznego obiektów wieloczłonowych. W pracach [4.5.27 i 4.5.40] rozważano badania wpływu wielkości luzu w łożysku mobilnej podstawy karabinu maszynowego, montowanego na pokładzie śmigłowca, na celność strzału. Często zbyt duże luzy wpływają na brak komfortu, a także na bezpieczeństwo obsługujących maszyny i korzystających z nich ludzi. Dotyczy to szczególnie luzów w precyzyjnych mechanizmach sterowania pojazdów przemieszczających się z dużymi prędkościami [4.5.39] i podzespołów maszyn obciążonych udarowo. Oprócz omówionych wcześniej podzespołów zawieszenia i podwozia samolotu transportowego, obciążanych siłami zmiennymi w czasie, zajmowałem się także badaniami wytrzymałości wagonu kolejowego [4.5.41] do transportu intermodalnego], ze zwróceniem szczególnej uwagi na złącza burtowe platformy [4.5.26] ładunkowej wagonu. W złączach tych również przewidziano występowanie luzów umożliwiających obrót platformy ładunkowej podczas operacji załadowczo-wyładowczych wagonu. Złącza te wraz z obszarami ich zamocowania w burtach i części nadwózkowej wagonu są obciążone dynamicznie podczas jazdy i należą do najbardziej wytężonych podzespołów wagonu.

W dotychczasowej pracy naukowej zajmowałem się także badaniami wytrzymałości konstrukcji, w których znaczenie luzów nie było dominujące. Wśród nich można wymienić następujące prace:

- badania wytrzymałości i funkcjonalności zbiorników elastycznych, wykonanych z materiałów kompozytowych powlekanych gumą,
- badania identyfikacyjne i porównawcze materiałów rur żeliwnych używanych w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji M. St. Warszawa [II.6.5-4. Załącznik],
- eksperymentalno-numeryczne analizy prototypowego zestawu próbowko-strzykawki do zastosowań medycznych [II.5.44, II.5.51-4. Załącznik],
- analizy numeryczne wytrzymałości panewki stawu biodrowego [II.5.26-4. Załącznik].

W tabelach 5.3.1-5.3.3 zestawiono podsumowanie wybranych osiągnięć naukowo-badawczych.



### 5.3.1 Zestawienie publikacji

Lp.	Kategoria publikacji	Liczba
1	Publikacje z listy JCR (lista A MNiSW)	5
2	Publikacje indeksowane w bazach WoS i Scopus (Publish or Perish)	11 (149)
3	Monografia	2
4	Rozdziały w monografii	7
	Artykuły z listy B MNiSW	87
4	Referaty konferencji zagranicznych	21
5	Referaty konferencji międzynarodowych i krajowych	123

### 5.3.2 Udział i kierowanie pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i inne

Lp.	Funkcja	Liczba prac
1	Kierowanie pracami badawczymi	3 PBR, 2 PBW
2	Główny wykonawca	2 PBR
3	Autorstwo sprawozdań z realizowanych prac badawczych	6
4	Kierowanie ekspertyzami i pracami zleconymi - autorstwo sprawozdań	3

### 5.3.3 Zgłoszenia patentowe i przyznane patenty

Lp.	Zgłoszenie	Liczba prac
1	Zgłoszenia krajowe	6
2	Zgłoszenia zagraniczne	5
3	Patenty krajowe	4
4	Patenty zagraniczne	5

### 5.3.4 Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

1. Odznaka zasłużony Nauczyciel Wojskowej Akademii Technicznej,
2. Wyróżnienie Rektora WAT dla Wiesława Krasoń za 'Zaangażowanie w rozwój studenckiego ruchu naukowego w Wydziale Mechanicznym oraz merytoryczną opiekę

nad studentami z Koła Naukowego Mechaniki i Informatyki Stosowanej, WAT Warszawa listopad 2010r.,

3. Medal Komisji Edukacji Narodowej -2012r.
4. Prowadzenie zajęć dydaktycznych w języku angielski ze studentami z uczelni zagranicznych w ramach programu Erasmus wymiany studentów z krajów Unii Europejskiej.
5. Kierowanie Kołem Naukowym Studentów -od 1998r. do 2014r.
6. Kierowanie pracami dyplomowymi: inż. - 12.
7. Kierowanie pracami dyplomowymi: mgr -11.
8. Recenzowanie prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich - 9,
9. Opieka naukowa nad studentami przygotowującymi referaty i artykuły na Seminaria KNM WAT - 9, konferencje krajowe - 5 i zagraniczne -3,
10. Kierowanie studenckimi praktykami dyplomowymi w specjalności Metody Komputerowe w Inżynierii Mechanicznej w latach 2014 -2018r.

Przeprowadzenie ponad 8200 godzin zajęć dydaktycznych ze studentami.

Opracowanie sylabusów, materiałów pomocniczych (instrukcji do ćwiczeń i laboratorium) z przedmiotów autorskich na studiach I, II i III stopnia w Wydziale Mechanicznym WAT:

- Computer simulation of linear mechanics problem,
- Komputerowe symulacje liniowych zagadnień mechaniki,
- Zaawansowane modelowanie konstrukcji mechanicznych,
- Zaawansowane modelowanie i symulacje,

