

Warszawa, 24.08.2023 r.

dr hab. inż. Piotr Żach, prof. uczelni
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechniki Warszawskiej
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa

RECENZJA
rozprawy doktorskiej

Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych
autorstwa mgr inż. Radosława Ciepielewskiego

dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji była uchwała Rady Dyscypliny Inżyniera Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 17.05.2023 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżyniera Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej Pana prof. dr. hab. inż. Jerzego Małachowskiego w sprawie z dnia 07.06.2023 r. Do pisma dołączono wydrukowany egzemplarz rozprawy mgr inż. Radosława Ciepielewskiego pt. *Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych*. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Danuta Miedzińska, prof. uczelni, prof. dr hab. inż. Wiesław Barnat, a promotorem pomocniczym: dr inż. Paweł Dybcio.

2. Ogólna charakterystyka, zakres, cel i teza rozprawy

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr inż. Radosława Ciepielewskiego obejmuje zagadnienia projektowania i eksploatacji cienkościennych struktur o strukturze komórkowej, popularnie zwanych *strukturami ulowymi*. Autor skoncentrował wybranych aspektach użytkowych struktur obejmujących pochłanianie energii kinetycznej w zespołach ochrony biernej maszyn i urządzeń produkowanych na potrzeby branż: motoryzacyjnej, lotniczej, kosmicznej, kolejowej, morskiej oraz w zastosowaniach wojskowych do ochrony załóg pojazdów specjalnych.

Autor uzasadnił podjęcie tematu aktualnością problemu, którym jest niestabilna sytuacja geopolityczna w różnych rejonach świata i coraz częstsze rozwiązywanie konfliktów w oparciu o ataki terrorystyczne, działania zbrojne, wojny. Aktualnie stosowane metody działań koncentrują się na wykorzystywaniu kumulacyjnych ładunków wybuchowych w wyniku detonacji, których dochodzi do największej liczby trwałych urazów i śmiertelności żołnierzy i osób cywilnych.

Zwraca uwagę na fakt, że podjęte w rozprawie zagadnienia wynikają z potrzeby nowych, do tej pory nie zweryfikowanych badawczo we wskazanym zakresie zjawisk i oddziaływań dla ludzi (obsługi) i osób postronnych oraz skutkujących niekontrolowanymi następstwami w postaci uszkodzeń pojazdów taktycznych i transportowych.

W oparciu o badania literaturowe i oględziny uszkodzonych osłon zabezpieczających, weryfikację stanu wiedzy w zakresie materiałów i konstrukcji stosowanych jako elementy pochłaniające energię kinetyczną, zwłaszcza pochodzącą od fali uderzeniowej wybuchu Doktorant zaproponował alternatywę dla obecnie stosowanych rozwiązań w postaci zastosowania metalowych rdzeni energochłonnych w postaci 'plastrów miodu'. Sformułował cel dysertacji jako: zbadanie odpowiedzi struktury plastra miodu wykonanej ze stopu aluminium na statyczne i dynamiczne obciążenie ściskające, opracowanie metody postępowania, która pozwoli na szybkie wyznaczenie parametrów oraz podstawowych charakterystyk wytrzymałościowych struktur o budowie komórkowej heksagonalnej, sformułowanie zaleceń pozwalających na modelowanie struktur ulowych w sposób pomijający ich złożoną geometrię, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości wyników obliczeń, w szerokim spektrum prędkości odkształcenia.

Doktorant zaplanował przeprowadzenie weryfikacji słuszności sformułowania w oparciu o realizację prac celowych (wymienione na stronie 21), a obejmujących:

1. przeprowadzenie eksperymentalnych badań wytrzymałościowych jednoosiowego ściskania w kilku różnych wariantach prędkości odkształcenia;
2. wytworzenie uproszczonego modelu do wyznaczania właściwości mechanicznych różnych wariantów struktury przy jego użyciu;
3. przeprowadzenie analiz MES z zastosowaniem konstytutywnego modelu materiałowego przeznaczonego do uproszczonych jednorodnych ciągłych modeli geometrycznych z użyciem otrzymanych stałych;
4. walidacja modeli numerycznych i weryfikacja otrzymanych wyników.

3. Zawartość merytoryczna rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, łącznie na 172 stronach maszynopisu A4 drukowanych dwustronnie. Składa się z wprowadzenia, sześciu rozdziałów, analizy wyników badań i wniosków. Rozprawa kończy się obszernym spisem literatury zawierającym 118 pozycji bibliograficznych.

Zasadniczą rozprawę poprzedza wprowadzenie, w którym Autor nawiązał do problematyki budowy, eksploatacji i zabezpieczenia pojazdów opancerzonych oraz następstw oddziaływań min przeciwpancernych, przeciwdenych, a zwłaszcza improwizowanych urządzeń wybuchowych na konstrukcję maszyn i żołnierzy. Zwrócił uwagę, że problematyka projektowania pojazdów specjalnych, pomimo rozbudowanego zasobu wiedzy i informacji w tym zakresie, wymaga dostosowania/aktualizacji do nowych warunków i zmieniających się metod prowadzenia działań operacyjnych. Wskazane zagadnienia są nie zostały zidentyfikowane i szczegółowo opisane, a aktualne kierunki prac obejmują rozwiązania mające na celu m. in. minimalizowanie skutków oddziaływania fali uderzeniowej. Doktorant scharakteryzował wykorzystywane metody. Wskazał kierunek rozwojowy, którym jest stosowanie dodatkowych zabezpieczeń w postaci: warstwowych paneli ochronnych wytwarzanych na bazie pian metalowych lub polimerowych, konstrukcji o specjalnej budowie w postaci odpowiednio ukształtowanej blachy metalowej lub kompozytów włóknistych ułożonych w bloki.

Rozdział drugi stanowi uporządkowanie stanu wiedzy o metalowych strukturach 'plastra miodu'. Zamieszczono informacje o metodach wytwarzania metalowych rdzeni i sposobach wytwarzania struktur o budowie komórkowej heksagonalnej. Kolejno opisano podstawy normatywne oraz scharakteryzowano sposoby realizacji badań eksperymentalnych rdzeni ulowych podając podstawy fizyko – mechaniczne procesów. Rozwinięciem opisu są wyniki i szczegółowe komentarze Doktoranta do zrealizowanych testów doświadczalnych: ściskania prostopadłego do płaszczyzny struktury, rozciągania prostopadłego do płaszczyzny struktury, ścinania w płaszczyźnie struktury, ściskania w płaszczyźnie struktury oraz zginania. W rozdziale zawarto również opis analitycznych i numerycznych MES metod oceny zjawisk w

komórkowych strukturach ulowych. Zamieszczono wyniki statycznego ściskania rdzeni ulowych, modelowanych na dwa sposoby poprzez: dokładne oraz uproszczone – ograniczone do pojedynczego sektora jednostkowego odwzorowanie geometrii kształtu analizowanego rdzenia heksagonalnego, w postaci map naprężeń i wykresów. Każdy z etapów prac został precyzyjnie opisany i opatrzony spostrzeżeniami autora w zakresie m. in. metodyki odwzorowania kształtu, warunków brzegowych, stosowania modeli konstytutywnych, typów i rodzajów elementów skończonych z wykonywania symulacji numerycznych, itd.

Rozdział trzeci poświęcony został opracowaniu metodologii badań doświadczalnych i realizacji symulacji numerycznych pozwalających na wyznaczenie parametrów charakterystycznych rdzenia komórkowego o budowie heksagonalnej w zakresie prędkości odkształcenia od quasistatycznych do dynamicznych średnich prędkości tj. $10^{-2} < \dot{\epsilon}_p < 10^3$ i oznaczeniu ograniczeń stosowanych metod. Efektem prac było oznaczenie parametrów i wykreślenie charakterystyk sztywnościowo - wytrzymałościowych struktury aluminiowego plastra miodu ALUCORE® uzyskanych z testów eksperymentalnych oraz przeprowadzonych analiz numerycznych wykonanych przy zastawianiu modeli: pełnej geometrii struktury o wymiarze ograniczonym wielkością próbki do wykonanych badań eksperymentalnych oraz w oparciu o uproszczony model Y. Wyniki porównano i odniesiono do danych literaturowych.

W rozdziale czwartym omówiono przebieg oraz wyniki badań eksperymentalnych ściskania detali o budowie heksagonalnej, wykonanych z blachy aluminiowej wykonanych na podstawie, wytycznych sformułowanych w rozdziale trzecim: o odmiennej budowie, wielkościach i cechach struktury, przy różnych prędkościach odkształcenia.

Rozdział piąty poświęcono problematyce odwzorowania numerycznego zjawisk zachodzących podczas ściskania aluminiowych rdzeni o budowie plastra miodu i oznaczaniu czynników wpływających na rozbieżności w uzyskiwanych wynikach symulacji i testów doświadczalnych. Symulacje numeryczne wykonano stosując opracowaną metodykę modelowania bazującą na uproszczonym modelu Y.

W rozdziale szóstym opisano opracowany przez autora sposób numerycznego oznaczania parametrów i charakterystyk cechujących metalowe materiały komórkowe, w szczególności o architekturze plastra miodu i metodę modelowania uwzględniającą umocnienie materiału rdzenia występujące w przypadku obciążeń dynamicznych, uderzeniowych – związane ze zmianami ciśnienia gazu występującego w komórkach. Opracowaną metodykę modelowania struktur o budowie plastra miodu, wykorzystywanych jako zespół wzmacniający lub energochłonny wypełniacz dużego układu mechanicznego, poddano ocenie efektywności wykorzystania i implementacji z uwagi na kryteria: złożoności modelu podrzędnego i integracji z układami nadrzędnymi, dokładności odwzorowania zjawisk, czasochłonności przygotowania modeli i wykonania obliczeń, możliwych do wprowadzenia w konstrukcji modyfikacji.

W rozdziale siódmym zestawiono i podsumowano doświadczenia badawcze i przeprowadzone symulacje numeryczne wykonane na obiektach, którymi były przestrzenne, metalowe, cienkościenne konstrukcje o regularnej, heksagonalnej budowie – rdzeniach 'ulowych'. Szczegółowo opisano cel wykonanych prac i uzyskane rezultaty, ze szczególnym zwróceniem uwagi na: wyznaczanie stałych i charakterystyk sztywnościowo – wytrzymałościowych oraz ocenę energochłonności zespołów mechanicznych o budowie tzw. plastra miodu. W rozdziale zamieszczono analizę i interpretację uzyskanych wyników, wskazówki i zalecenia praktyczne przygotowania i wykonywania badań numerycznych. Odniesiono się do wyników i uzyskanych efektów prac doświadczalnych i analiz numerycznych wskazując praktyczne wykorzystanie opracowanego modelu MES do innych zastosowań badawczych i naukowych.

4. Ocena rozprawy

4.1. Ocena merytoryczna rozprawy

Autor pracy dokonał przeglądu stanu wiedzy w przedmiocie problematyki rozprawy. Oceniał i wskazał niezbędne do przeprowadzenia testy poznawcze z uwagi na wymagane w MES, parametry i stałe materiałowe. Przeprowadził badania eksperymentalne ściskania w szerokim spektrum prędkości odkształcania, wykorzystując w tym celu nowoczesne, aktualnie stosowane układy badawcze w tym m. in. rentgenowską tomografię komputerową, młot opadowy oraz stanowiska dzielonego pręta Hopkinsona, maszyny wytrzymałościowe wraz z optycznymi rejestratorami obrazu.

Stwierdzam, że Doktorant zrealizował sformułowany cel rozprawy. Wykazał zależności pomiędzy rodzajami i zakresem uszkodzeń powstających w strukturze metalowego rdzenia o budowie heksagonalnej, a cechami fizycznymi i właściwościami zastosowanego materiału, wymiarami geometrycznymi struktury warstwowej, sposobem połączenia rdzenia i powłok ograniczających, prędkością odkształcania oraz wpływem powietrza zamkniętego w komórkach rdzenia.

Cele pracy, sformułowane na stronie 20, zostały zrealizowane. Podkreślam, że bardzo pozytywnie oceniam praktyczny charakter pracy i możliwość wykorzystania uzyskanych wyników. Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy konkretnego, złożonego problemu technicznego o znaczeniu praktycznym i potencjale aplikacyjnym.

W pracy zaproponowano sposób badania i oceny zjawisk zachodzących w złożonych strukturach o budowie komórkowej. Opracowano wytyczne do budowy modeli numerycznych struktur 'ulowych'. Opracowano metodę oznaczania parametrów sztywnościowo – wytrzymałościowych rdzeni o budowie heksagonalnej, przy zastosowaniu uproszczonego modelu wykorzystującego tzw. element Y. Sformułowano zalecenia praktyczne warunkujące poprawne wykonanie symulacji numerycznych przy zastosowaniu modeli homogenicznych struktur.

Opracowany model funkcjonalny rdzenia energochłonnego, zweryfikowany doświadczalnie, to profesjonalne narzędzie dedykowane pracy inżynierów – konstruktorów i technologów umożliwiające weryfikację zjawisk w strukturze układów zabezpieczających i buforujących energię. Z uwagi na możliwość m. in. dostosowania właściwości fizyko – mechanicznych materiałów, z których wytworzono struktury, szczególnych parametrów pracy zespołu i sposobów zamocowania, zarówno w oparciu o testy praktyczne jak i analizy numeryczne opracowany model może być użyty do przeprowadzenia oceny szczególnie w przypadkach, dla których przeprowadzenie testów stanowiskowych lub/i na obiekcie rzeczywistym jest niemożliwe lub nieopłacalne.

W rozprawie stwierdziłem uchybienia kluczowe z uwagi na aspekty poznawcze i naukowe pracy:

- a) wyniki analiz numerycznych MES zamieszczone w postaci kolorowych map (rysunków), stanowiące podstawę do wnioskowania o zjawiskach zachodzących w strukturze warstwowej, zamieszczono jako małe lub/i w zbyt niskiej rozdzielczości utrudniające analizę i interpretację ujawnianych osobliwości;
- b) struktura rozprawy powinna być przemyślana i zrozumiała/czytelna zwłaszcza dla odbiorcy. W rozdziałach od drugiego (2) do szóstego (6) opisane zostały kolejno podstawy badawcze, badania, założenia analiz numerycznych, testy symulacyjne. Zagadnienia prezentowane w poszczególnych rozdziałach dotyczą pokrewnych aspektów, a opis powtórzony/dostosowany został podporządkowany weryfikacji zidentyfikowanego problemu. Prawdopodobną przyczyną przyjętej przez autora kompozycji pracy było zachowanie chronologii działań na polu badawczym i numerycznym. W opinii recenzenta właściwszym było podporządkowanie pracy

problematyce zjawisk i zastosowanych narzędzi badawczych, a nie chronologii wykonanych czynności, co zdecydowanie przełożyło by się na czytelność prezentowanych treści;

- c) zgodnie ze wskazaniem autora, kluczowym kierunkiem praktycznego wykorzystania zespołów z rdzeniami metalowymi o budowie heksagonalnej, będzie wykorzystanie elementów do zabezpieczenia np. podwozia/korpusu pojazdu przed skutkami fali ładunków kumulacyjnych i improwizowanych urządzeń wybuchowych. Pomimo ważkiego dla rozprawy charakteru zjawisk istotnych m.in. z uwagi na aplikacyjne zastosowanie wyników prac, problematyka nie znalazła poza *Wprowadzeniem (Motywacja)*, odzwierciedlenia w dysertacji;
 - d) zakres badawczy oddziaływań dynamicznych, zarówno doświadczalny jak i symulacyjny, którym poddano struktury o budowie tzw. plastra miodu obejmował testy w przedziale prędkości odkształcania od quasistatycznych do średnich. Niezaprzeczalnym jest że, w następstwie zostały ujawnione i szczegółowo opisane podstawy fizykomechaniczne zachodzących w strukturze zjawisk oraz powstała nowa wiedza w zakresie użytkowania metalowych, cienkościennych układów płyt o budowie heksagonalnej. Nie mniej zrealizowany zakres badań nie pozwolił na jednoznaczne udzielenie odpowiedzi co do zastosowania rdzeni metalowych o strukturze plastra miodu na elementy absorbujące energię kinetyczną;
 - e) jak wskazano w dysertacji, struktury 'o budowie plastra miodu' projektowane z przeznaczeniem do pochłaniania energii kinetycznej, stanowią niewielki udział złożonego układu mechanicznego. W związku z powyższym, w oparciu o nabyte doświadczenia przygotowywania i wykonywania analiz numerycznych, właściwym było wykonanie zadania projektowego, w szczególności analitycznego, które pozwoliłoby na zweryfikowanie opracowanej metody modelowania struktur ulowych w sposób pomijający ich złożoną geometrię, a tym samym ograniczający czasochłonność prac przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości wyników obliczeń, zwłaszcza w analizach uwzględniających oddziaływanie z dużymi prędkościami odkształcenia;
 - f) złożone zagadnienie oceny zniszczenia anizotropowej budowy zespołu o budowie komórkowej, heksagonalnej zostało jedynie zasygnalizowane. Autor bez stosownej analizy zastosował do wykonania analiz MES modele izotropowe np. MAT_MODIFIED_HONEYCOMB, MAT_003_PLASTIC_KINEMATIC i anizotropowe MAT_HONEYCOMB. Nie przygotowano charakterystyki materiałów ortotropowych oraz nie dokonano pogłębionej analizy przesłanek zniszczenia materiałów rozpatrywanych jako konstrukcje złożone z komponentów o określonej strukturze. Nie sformułowano wymagań, których spełnienie warunkuje ocenę wytrzymałości ośrodków anizotropowych;
 - g) ocena zjawisk w strukturze o budowie plastra miodu została wykonana dla materiałów metalowych, a dokładnie stopów aluminium 3105-H25 i 5052-H39. Potrzeby w implementacji rozwiązań obejmujących tego rodzaju układy są bardzo szerokie i obejmują m. in. branże motoryzacyjną, lotniczą, kosmiczną, kolejową czy budowę łodzi i jachtów regatowych oraz zastosowania specjalne np. wojskowe. Istotnym dla rozwoju wiedzy byłoby zweryfikowanie numeryczne również i innych rodzajów materiałów w szczególności użycia stali, tworzyw sztucznych, kompozytów celem wskazania możliwości aplikacyjnych i potencjału projektowego dla różnych odbiorców, zastosowań;
1. Wyjaśnienia wymaga zamieszczony opis i wnioski: na stronie 48 przeczytamy [Z przedstawionego wykresu wywnioskować można, że wartość siły niszczącej wzrasta w chwilach, w których dochodzi do zamknięcia pojedynczej fałdy rdzenia i kolejnej, lokalnej utraty stateczności powodującej powstanie następnej fałdy. Wynik analizy, do której

wykorzystano pełną geometrię rdzenia nie wykazuje podobnych tendencji, ponieważ do lokalnych wyboczeń dochodzi w całej objętości rdzenia w różnych momentach ...]. Na stronie 60 Autor stwierdził: [Analizując ilustracje, zaobserwować można, że w momencie utraty stateczności wiotkich ścianek, na całej ich powierzchni tworzą się lokalne wybożenia, widoczne najbardziej w okolicy krawędzi pionowej każdej ze ścianek ...]. Czy opisywane zjawiska dotyczą różnych procesów? Które z przytoczonych stwierdzeń precyzyjnie charakteryzuje proces niszczenia rdzenia komórkowego?

2. Proszę omówić proces utraty stateczności i niszczenia rdzenia metalowego o budowie plastra miodu. Proszę omówić wyniki wykonanych przez Autora analiz struktury rdzenia o budowie plastra miodu: pełnej i Y. Skomentować rozbieżności w uzyskanych wartościach np. tabela 3.6.
3. Na jakiej podstawie przyjęto, że żywica epoksydowa tworząca pachwinową spoinę pomiędzy ścianą rdzenia i okładką jest materiałem sztywnym, w szczególności do materiału rdzenia ze stopu aluminium stopu 3105-H25?
4. Proszę wyjaśnić czym kierowano się dobierając geometryczne parametry struktur ulowych do badań – tabela 3.5.
5. Czym kierowano się dostosowując metody badawcze do oceny wpływu prędkości odkształcania na proces niszczenia struktury o budowie plastra miodu. Dlaczego rodzaju metod badawczych nie skorelowano z założeniami pracy tj. projektowania struktur energochłonnych do zabezpieczenia pojazdów specjalnych minimalizowania przed skutkami oddziaływania fali uderzeniowej.
6. Jaki wpływ na proces propagacji zniszczenia struktury o budowie plastra miodu ma geometria rdzenia ulowego, kształt próbek np. kołowe, kwadratowe, dokładność wykonania zewnętrznych powierzchni ograniczających próbki?
7. Z czym związane było zaobserwowane w trakcie badań doświadczalnych przesuwanie się strefy deformacji w kierunku obciążenia wraz ze wzrostem prędkości odkształcania?
8. Czy z uwagi na losowy charakter umocnienia rdzenia ulowego fazą gazową tego rodzaju struktury mogą, powinny być rozważane na odpowiedzialne elementy zabezpieczające konstrukcje np. pojazdu wojskowego, samochodu?
9. Omówić proces niszczenia struktury o budowie plastra miodu z fazą gazową. Czy proces niszczenia zawsze zachodzi w ten sam sposób? Czy procesie niszczenia ścian nie dochodzi do perforacji ścian komórek rdzenia ulowego, w następstwie czego następuje uwolnienie powietrza z przestrzeni komórek? Omówić zmiany zachodzące w objętości komórek podczas procesu ściskania rdzenia ulowego.

Rozprawa nie zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, nie podano również słów kluczowych stanowiących wyróżniki dysertacji. W pracy nie zamieszczono spisu tabel oraz rysunków co zdecydowanie podniosłoby wartość opracowania.

Istotnym ograniczeniem rozprawy jest brak szczegółowego opisu próbek badawczych, opracowanych modeli numerycznych, załączonych wyników badań doświadczalnych oraz symulacyjnych dołączonych do pracy np. w formie załączników. Bezcenny zasób wiedzy oraz doświadczeń poznawczych powinien zostać opublikowany jako znaczący wkład Autora w rozwój wiedzy w przedmiocie ujętym w rozprawie. Dodatkowo niemożliwym jest rzetelne, precyzyjne dokonanie oceny przedłożonych osiągnięć Autora rozprawy jedynie w oparciu o lakoniczne opisane rezultaty. Mam nadzieję, że Doktorant szczegółowo omówi wyniki prac podczas publicznej obrony.

Stwierdzam, że w wykazie literatury opisy bibliograficzne pozycji np. 71 są niekompletne lub nie odnoszą się do zagadnień opisywanych w tekście (strona 26).

Pomimo wyżej wymienionych uwag i wątpliwości pracę oceniam pozytywnie. Stwierdzam, że zaprezentowana metodologia badawcza i osiągnięte w następstwie zastosowania procedur wyniki wnoszą, co podkreślam, nową jakość w badaniach, ocenie, projektowaniu i analizie

metalowych zespołów warstwowych o budowie komórkowej, jednorodnej. Sformułowane w recenzji uwagi nie umniejszają wartości przedłożonej rozprawy, a jedynie mają na celu wytyczenie kolejnych kroków badawczych Panu mgr inż. Radosławowi Ciepielewski.

4.2. Poprawność językowa rozprawy

Praca napisana jest poprawnym językiem polskim. Zauważyłem kilka oczywistych literówek.

W wielu miejscach niepoprawnie zdefiniowano wielkości charakterystyczne materiałów np. ν - stała Poissona (powinno być: współczynnik Poissona). Wymienione błędy są konsekwentnie powtarzane pracy, co na poziomie rozprawy doktorskiej nie powinno mieć miejsca.

W całej pracy występują liczne błędy stylistyczne, interpunkcyjne, frazeologiczne, spolszczenia i zwroty stosowane w żargonie i mowie potocznej, a nie przystające do poziomu rozprawy doktorskiej. Wnioskuje, że są one następstwem niedokładnej korekty. Autor stosuje słownictwo i zwroty, branżowe, potoczne co prowadzi do braku czytelności rozprawy i nieścisłości w interpretacji sformułowań. Na przykład zdanie „*Na rysunku tym porównano wielkości składowych wektora ciśnienia w przypadku oddziaływania fali uderzeniowej na powierzchnię płaską oraz dna uformowanego w kształcie litery „V”.*” jest niespójne stylistycznie niepoprawne i niezrozumiałe. W zdaniu „*Jest to klasyczna maszyna o kolumnowej budowie, której serwomechaniczne sterowanie układem hydraulicznym pozwala na precyzyjne dozowanie wymuszenia ...*” nieprawidłowo użyto czasownika dozować do opisu cech urządzenia. Zdanie „*Omawiana instrukcja [72] nie odnosi się do pełnego procesu ściskania struktury i przewiduje wyłącznie rejestrację wartości siły podczas testu.*” zostało niepoprawnie sformułowane i jest niezrozumiałe dla odbiorcy. Zdanie „*Na rys. 2.19 przedstawiono wybrane karty obrazujące przebieg próby ...*” jest nie zrozumiałe.

4.3. Redakcja rozprawy doktorskiej

Praca zredagowana została poprawnie. Formatowanie tekstu jest prawidłowe i precyzyjnie stosowane. Wzory, tabele są czytelne i zrozumiałe. Zostały wkomponowane w tekst pracy i stanowią uzupełnienie opisu i czytelne przedstawienie uzyskanych rezultatów. Praca została uzupełniona o bogaty materiał graficzny tj. zdjęcia, rysunki i wykresy stanowiące ilustrację omawianych zagadnień i prezentację wyników. Autor nie dołożył starań aby w dostatecznym zakresie zadbać o stronę edycyjną prezentowanych materiałów co utrudnia analizę treści. Szczegółowe zestawienie stwierdzonych uchybień zamieszczono poniżej:

- kilkukrotne odwołanie w opisie zagadnień do rozdziału 0 np. strona 85, który nie występuje w pracy,
- brak stosownych odnośników do zapożyczonych materiałów, np. na rysunku: 1.5, 1.6,
- nieprawidłowe odniesienie w opisie zagadnień do rysunku na, którym przedstawiono wyniki – np. rysunek 5.6 strona 131 (prawidłowe odniesienie 5.5),
- rysunki są niskiej jakości lub zbyt małe np. rysunki 1.8, 2.5, 2.6, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.16, 2.17, 2.19, 2.22, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.33, 2.36, 4.13, 5.6,
- na rysunkach np. niewłaściwie dobrano wielkość opisu, skalę lub kolor wyróżnień omawianych szczegółów – np. rysunek 3.6, 3.7, 3.29, 3.30, 4.16, 4.18, 5.8-5.13, 6.6-6.12,
- na rysunkach nie zamieszczono oznaczeń stosowanie do opisu w tekście – np. rysunek 3.13, 4.8, 4.9 lub/i legendy do wyników analiz numerycznych – np. rysunek 2.12., 2.16, 3.16, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 4.12,
- sformułowano nieadekwatny podpis pod rysunkami np. 2.5, 2.20, 7.2-7.8,
- podpis pod rysunkiem 2.16 jest nieczytelny,
- na rysunkach np. 2.7 nie zamieszczono opisu/oznaczeń stanowiących uporządkowanie prezentowanych zjawisk, wymaganych z uwagi na poznawczy/interdyscyplinarny charakter pracy jaką jest rozprawa doktorska

- odwołanie do rysunku 3.18, strona 72 w tekście jest nieprawidłowe: [...*Podobnie jak w przypadku krzywej uzyskanej w badaniach eksperymentalnych, powyższa – zawiera elementy charakterystyczne.*]. Rysunek znajduje się poniżej.

Autor nie precyzyjnie posługuje się ogólnie przyjętą terminologią i pojęciami np. strona 28: [...] *Parametry badanej wg instrukcji [72] struktury wyznacza się, wykorzystując ...*).

Stwierdziłem również następujące występujące niekonsekwencje w rozmieszczaniu rysunków w pracy. W większości autor rozmieszcza rysunki obok siebie bez wyraźnego zaznaczenia wielkości i położenia. W przypadku np. rysunków 3.22, 4.18, na których pokazano odmienne stany deformacji nie dokonano rozróżnienia przypadków w tekście i na rycinie, a na rysunkach 3.24, 3.25 pomimo alfanumerycznego oznaczenia etapów deformacji, nie wskazano stosownych podpisów pod rysunkiem.

W pracy nie zastosowano bezpośrednich odwołań, do opisywanych numerowanych, zależności analitycznych (wzorów 1÷88) w tekście co utrudnia analizę opisywanych zagadnień i w wielu wypadkach czyni rozumowanie niezrozumiałym.

5. Ocena dorobku publikacyjnego

Za Bazą Scopus i Google Scholar stwierdzam, że w dorobku Doktoranta znajduje się osiem współautorskich publikacji, bezpośrednio związanych z tematyką przedłożonej do recenzji rozprawy:

1. Ciepielewski Radosław, Miedzińska Danuta: A Study of Aluminum Honeycomb Structures under Dynamic Loading, with Consideration Given to the Effects of Air Leakage, Materials, MDPIAG, vol. 16, nr 6, 2023, numer artykułu: 2211, s. 1-19, DOI:10.3390/ma16062211, 140 punktów, IF(3,748).
2. Ciepielewski Radosław, Gieleta Roman, Miedzińska Danuta: Experimental Study on Static and Dynamic Response of Aluminum Honeycomb Sandwich Structures, Materials, MDPIAG, vol. 15, nr 5, 2022, numer artykułu: 1793, s. 1-18, DOI:10.3390/ma15051793, 140 punktów, IF(3,748).
3. Ciepielewski Radosław, Tomaszewski Michał, Kucewicz Michał, Kosiuczenko Krzysztof, Dybcio Paweł Michał: Modelowanie elementów nośnych zabudów specjalnych, W: Analiza wybranych elementów konstrukcji samochodów pożarniczych w aspekcie ich stateczności, nośności i bezpieczeństwa jazdy / Rybak Piotr Andrzej, Miedzińska Danuta (red.), 2022, Redakcja Wydawnictw WAT, ISBN 978-83-7938-380-1, s. 111-129, 20 punktów.
4. Ciepielewski Radosław, Kosiuczenko Krzysztof, Dybcio Paweł Michał: Modelowanie elementów zabezpieczających przed skutkami uderzenia w tył pojazdu ratowniczo-gaśniczego, Wybrane aspekty bezpieczeństwa i ergonomii użytkowania sprzętu na samochodach pożarniczych / Miedzińska Danuta, Rybak Piotr Andrzej (red.), 2022, Redakcja Wydawnictw WAT, ISBN 978-83-7938-363-4, s. 119-145, 20 punktów.
5. Kosiuczenko Krzysztof, Ciepielewski Radosław: Modelowanie elementów nośnych wyposażenia pojazdów specjalnych, W: Analiza wybranych elementów konstrukcji samochodów pożarniczych w aspekcie ich stateczności, nośności i bezpieczeństwa jazdy / Rybak Piotr Andrzej, Miedzińska Danuta (red.), 2022, Redakcja Wydawnictw WAT, ISBN 978-83-7938-380-1, s. 131-147, 20 punktów.
6. Kosiuczenko Krzysztof, Ciepielewski Radosław, Dybcio Paweł Michał: Numeryczne obliczenia dynamiki środka gaśniczego wewnątrz zbiornika podczas jazdy, W: Analiza wybranych elementów konstrukcji samochodów pożarniczych w aspekcie ich stateczności, nośności i bezpieczeństwa jazdy / Rybak Piotr Andrzej, Miedzińska Danuta (red.), 2022, Redakcja Wydawnictw WAT, ISBN 978-83-7938-380-1, s. 149-166, 20 punktów.
7. Miedzińska Danuta, Ciepielewski Radosław: Rozwój nowych technologii materiałowych – materiały porowate i cellulary w przemyśle XXI wieku, W: Technologie XXI wieku – aktualne problemy i nowe wyzwania. Tom 3 / Danielewska Alicja, Mołdoch-Mendoń

Izabela (red.), 2021, Wydawnictwo Naukowe TYGIEL Sp. z o. o., ISBN 978-83-67104-07-4, s. 86-104, 20 punktów.

8. Ciepielewski Radosław, Dybcio Paweł Michał, Trzaska Malwina, Barnat Wiesław: Modelowanie dynamicznego oddziaływania płynu na ściany zbiornika wozu ratowniczo-gaśniczego, Modelowanie Inżynierskie, Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, vol. 68, 2019, s. 11-24, 5 punktów.
9. Barnat Wiesław, Ciepielewski Radosław, Nycz Daniel, Kosiuczenko Krzysztof : Modelowanie numeryczne i wstępne statyczne obliczenia wytrzymałościowe ramy pomocniczej pojazdu specjalnego Ergotruck, Modelowanie Inżynierskie, Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej, nr 67, 2018, s. 5-15, 8 punktów.

Artykułu zostały opublikowane znanych, branżowych czasopismach, reprezentatywnych dla dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Stwierdzam, że dorobek Doktoranta spełnia wymagania ustawy wymagane przy składaniu rozprawy doktorskiej.

6. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Scharakteryzowana w recenzowanej rozprawie doktorskiej, opracowana samodzielnie przez Doktoranta, metodyka oznaczania, w teście ściskania, danych wytrzymałościowych wymaganych do modelowania przestrzennych struktur cienkościennych o budowie plastra miodu w szerokim spektrum prędkości odkształcenia, może być z powodzeniem zastosowana do sformułowania wytycznych do projektowania i wytwarzania warstwowych elementów konstrukcyjnych lub/i osłon kompozytowych pojazdów specjalizowanych, w tym dedykowanych do zastosowań wojskowych.

Przygotowane modele numeryczne gwarantują przeprowadzenie oceny eksploatacji metalowych rdzeni, o budowie plastra miodu w zmiennych warunkach pracy, w relatywnie wymiernym czasie, dając tym samym inżynierom szerokie spektrum doświadczeń poznawczych, zarówno w zakresie jakościowym jak i ilościowym uszkodzeń, wielokrotnie niemożliwych do uzyskania innymi metodami.

Przedstawione wyniki badań doświadczalnych oraz obliczeń analitycznych pozwalają na wielokryterialną ocenę zjawisk i zachodzących podczas uszkodzeń procesów niż to opisywane było w literaturze. Należy podkreślić, że recenzowana rozprawa pogłębia i wielu aspektach rozwiązuje trudne, praktyczne inżynierskie problemy z zakresu mechaniki konstrukcji i technologii materiałowych warstwowych struktur o złożonej wewnętrznie budowie. Dlatego stwierdzam, że przedstawione wyniki są istotne dla dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna.

7. Do której z następujących kategorii recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c) spełniająca wymagania,
- d) **spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,**
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.

8. Podsumowanie

Pan mgr inż. Radosław Ciepielewski zrealizował sformułowane cele rozprawy. Wykazał się wiedzą i umiejętnością samodzielnego rozwiązywania nowych, trudnych problemów technicznych wnosząc tym samym istotny wkład w rozwój nauki i reprezentowanej dyscypliny.

Szczególnego uznania wymaga stwierdzony zakres przygotowanej rozprawy doktorskiej obejmujący: weryfikację i opracowanie autorskiej, praktycznej metody realizacji badań eksperymentalnych aluminiowych struktur komórkowych w szerokim spektrum prędkości odkształcenia oraz identyfikację zjawisk i efektów fizyko – mechanicznych mających wpływ

na właściwości sztywnościowo – wytrzymałościowe struktury o budowie plastra miodu poddanej statycznemu i dynamicznemu ścisnaniu.

W tym miejscu należy również podkreślić ujawniony wkład Doktoranta w realizację procesu badawczego, opracowanie metodologii symulacji numerycznych cienkościennych konstrukcji o budowie heksagonalnej i rozwój nauki w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, na którą składają się m. in. opracowanie rodziny modeli numerycznych pozwalających na uzyskanie danych identyfikacyjnych, w tym właściwości mechanicznych, wypracowanie sposobu wyznaczania stałych i charakterystyk materiałowych bez konieczności prowadzenia badań eksperymentalnych i opracowanie metody pozwalającej na uwzględnienie w modelu numerycznym efektów umocnienia na skutek umieszczonego w strukturze powietrza.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska pt. *Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych* spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, (Dz. U. 30.08.2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) oraz wnioskuję o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

9. Wniosek o wyróżnienie

Pomimo wypunktowanych w recenzji niedostatków merytorycznych oraz redakcyjnych, wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej. Na poparcie swojego wniosku podaję następujące argumenty:

- tematyka prowadzonych badań jest bardzo ważna z praktycznego punktu widzenia, poziom merytoryczny rozprawy jest bardzo wysoki, opracowane podejście do optymalizacji może być z powodzeniem wykorzystane w praktyce, do projektowania konstrukcji specjalnych o cechach energochłonnych,
- dorobek publikacyjny Doktoranta jest bardzo dobry, jest współautorem wysoko punktowanych publikacji czasopismach.

Uwzględniając powyższe argumenty, wnioskuję jak w sentencji.

