

dr hab. inż. Krzysztof Jamroziak, prof. uczelni
Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej
Politechnika Wroclawska
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 02.06.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Dominika Gałdyńskiego

pod tytułem

**„Wpływ technologii naprawy podłużnicy samochodowej, wykonanej ze stali DP
na przebieg aktywacji poduszki gazowej”**

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo Prorektora ds. Nauki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie nr L. dz. WIMiM/177/2022 z dnia 05.04.2022 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej i formularz dotyczący danych osobowych. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Maciej Lisowski, prof. ZUT

2. Ocena podjętej tematyki, tezy i założonego celu rozprawy

Rozprawa doktorska odnosi się do oszacowania wpływu technologii naprawy podłużnicy samochodowej, wykonanej ze stali DP na przebieg aktywacji poduszki gazowej i jej interakcję z przemieszczającą się głową fantomu, podczas zderzenia czołowego. Jak pokazano w pracy dość istotnymi problemami współczesnej motoryzacji są wszelkiego rodzaju naprawy pojazdów osobowych powstałych w wyniku kolizji drogowej. Stan tych napraw jest realizowany w dowolny sposób a jedynym kryterium jest tylko badanie techniczne na stacji diagnostycznej stwierdzającej dopuszczenie pojazdu do ruchu drogowego. Jak zauważa Doktorant na przełomie ostatnich lat można wykazać mankamenty z utrzymaniem pierwotnej sztywności nadwozia po przeprowadzonej naprawie pokolizyjnej. Wynika to z wielu kwestii, a jedną z takich są nowoczesne materiały i technologia spawania, która mimo swych zalet wpływa ujemnie na wytrzymałość połączenia spawanego. Na podstawie raportów Urzędu Statystycznego Oceny Wypadków Samochodowych ok. 80% kolizji spowodowane jest przy niskich prędkościach, których skutki są kwalifikowane do

wymiany częściowej przedniego fragmentu podłużnicy samochodu. Ingerencja w tego typu ustrój powoduje osłabienie tego elementu, a to pociąga za sobą obniżenie poziomu bezpieczeństwa biernego np. funkcjonowania takiego systemu jak Supplemental Restraint System (SRS). System ten jest odpowiedzialny za aktywację poduszki gazowej podczas zderzenia pojazdu. Pomimo, że pojazd został doprowadzony do stanu przed kolizją to jego systemy funkcjonalne sprawujące nadzór nad bezpieczeństwem biernym kierowcy/pasażera mogą funkcjonować w sposób odbiegający od wyskalowanych pierwotnie. W takim razie można założyć, że jeżeli zmieni się sztywność karoserii pojazdu w jej przedniej części, to zmianie ulegnie podczas zderzenia czołowego przebieg opóźnienia, a wraz z nim i przewidziany czas kontaktu poduszki gazowej z przemieszczającą się głową kierowcy/pasażera.

Doktorant słusznie zauważa, że należy to zagadnienie szczegółowo przeanalizować i dokonać właściwych badań pozwalających oszacować określone wartości, których charakterystyki posłużą do korelacji czasu aktywacji poduszki gazowej i jej interakcję z przemieszczającym się ciałem pasażera podczas zderzenia czołowego. Autor stawia hipotezę, że wykorzystywanie metod spawalniczych Gas Metal Arc Welding (GMAW) w procesach post-produkcyjnych, napraw blacharskich podłużnicy samochodowej, wykonanej ze stali Dual Phase (DP) zaburza pierwotne właściwości wytrzymałościowe jej konstrukcji powodując pogorszenie poziomu, jakości bezpieczeństwa biernego pojazdu.

Mając na uwadze dowiedzenia słuszności przyjętej tezy Doktorant przyjmuje czteroetapowy proces badawczy. Dowodzenie opiera na przyjętych metodach w postaci rozumowania, wnioskowania i sprawdzania oraz dokonuje rozumowania statystycznego. Zaprezentowana innowacyjność badań wpływa pozytywnie na końcowy rezultat pracy.

W tym kontekście dobór tematu pracy uważam za prawidłowy i aktualny, wpisujący się we współczesne trendy związane z badaniami nad poprawą bezpieczeństwa biernego pojazdu osobowego po zmianie sztywności jego elementów energochłonnych, jakim jest podłużnica przednia. Opiniowana praca doktorska jest opracowaniem naukowym, mieszczącym się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Cel pracy został sformułowany poprawnie i ma charakter twórczy, a postawiona teza uatrakcyjniła charakter opracowania. Dysertacja cechuje się dużymi walorami użytkowo-praktycznymi i pokazuje wagę problemu wykonywanych napraw pokolizyjnych na charakterystyki działania pasywnych systemów bezpieczeństwa.

3. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Dominika Gałdyńskiego została zawarta na 161 stronach, wliczając w to spis bibliografii, w którym zamieszczono 109 pozycji, w tym

strony internetowe (19 pozycji) oraz spisy rysunków i tabel, a także załącznik i streszczenie w j. polskim i angielskim. Redakcja jest w języku polskim i ujęta została w dwudziestu rozdziałach. Dwa pierwsze rozdziały odnoszą się do wprowadzenia w tematykę rozprawy doktorskiej i zdefiniowania problemu, który jest przedmiotem rozprawy.

W rozdziale trzecim Autor dokonuje oceny stanu wiedzy na podstawie przeglądu literatury. Zaznacza, że wysoki postęp techniczny i technologiczny w budowie karoserii pojazdów samochodowych oraz powiązany z tym system bezpieczeństwa pasażerów stanowi przesłankę do ograniczenia przeglądu literatury z ostatniej dekady. Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych Doktorant oparł o takie zagadnienia, jak budowę współczesnej podłuznicy samochodowej, system ochrony pasażera, modele matematyczne opisujące zagadnienia stateczności sprężystej i plastycznej ustrojów nośnych. Uwypuklił także zagadnienia związane z procedurą technologii naprawy karoserii dla wymiany częściowej podłuznicy przedniej. W podsumowaniu tego rozdziału dokonał określonej syntezy akcentując parametry wytrzymałościowe naprawianych fragmentów podłuznicy nadwozia pojazdu samochodowego celem uzyskania zbliżonych wartości energochłonności do parametrów z przed naprawy. Związek ten ma ściśle powiązanie sztywności elementów energochłonnych karoserii pojazdu z czasem aktywacji poduszki gazowej, a to stanowi "Clou" tej dysertacji. Doktorant zauważył, że ten związek nie jest przedmiotem analiz po dokonanych naprawach.

Rozdział czwarty odnosi się do celu, zakresu i tezy pracy. Doktorant w swych rozważaniach naukowych za cel w pracy przyjął ocenę wpływu technologii naprawy podłuznicy samochodowej wykonanej ze stali dwufazowej DP na przebieg aktywacji poduszki gazowej i jej interakcję z przemieszczającą się głową fantomu podczas zderzenia czołowego. Tak „ambitnie” postawiony cel wymagał od Autora dysertacji przyjęcia określonej metodyki postępowania, której realizację przedstawił w czterech zasadniczych punktach. Zaczynając od zasadniczych badań materiałowych próbek, niezbędnych danych do kolejnego kroku, jakim były analizy z wykorzystaniem metody elementów skończonych typu MES. Następnie modele te poddawał walidacji w badaniach eksperymentalnych na opracowanych modelach fizycznych. Ostatecznym i zasadniczym etapem było dokonanie oceny ilościowej czasoprzestrzennej aktywacji poduszki gazowej i poruszającej się głowy fantomu podczas zderzenia czołowego z elementami karoserii po określonych naprawach do wartości referencyjnych (wartości z przed naprawy). Wnioski z przeglądu literatury i przyjęta metodyka stanowiły podstawę do postawienia tezy pracy, a mianowicie:

„Wykorzystywanie metod spawalniczych GMAW w procesach post-produkcyjnych, napraw blacharskich podłuznicy samochodowej, wykonanej ze stali DP, zaburza

pierwotne właściwości wytrzymałościowe jej konstrukcji, powodując pogorszenie poziomu jakości bezpieczeństwa biernego pojazdu”.

Kolejne rozdziały pracy zostały podporządkowane w taki sposób, aby w przyjętej tezie wykazać związki i wpływy prowadzonych napraw blacharskich podłużnicy samochodowej na przebieg aktywacji poduszki gazowej kierowcy na przykładzie literatury przedmiotu i przeprowadzonych eksperymentów przez Doktoranta.

Rozdział piąty dotyczy wstępu do empirycznej części pracy. Doktorant w tym rozdziale akcentuje wagę analiz numerycznych MES i wszystkich narzędzi oraz czynności badawczych, jakie należy przeprowadzić, aby uzyskane modele MES były wiarygodne.

W rozdziale szóstym Autor skoncentrował uwagę na badaniach materiałowych. Prace te przeprowadził na próbkach z zaawansowanych stali wysokowytrzymałych AHSS (Advanced High Strength Steel) typu DP. Zakres tych badań obejmował analizę składu chemicznego na podstawie danych innych badaczy, badania wytrzymałościowe w testach quasi-statycznego rozciągania próbek oraz pomiary twardości. Testy zostały wykonane na próbkach referencyjnych i próbkach z połączeniami spawanymi. W podsumowaniu rozdziału Doktorant dokonał omówienia wyników i ich konfrontacji z wynikami innych badaczy.

Rozdział siódmy związany jest z modelowaniem MES wybranych struktur podłużnicy przedniej pojazdu osobowego. Doktorant wykorzystując oprogramowanie Midas NFX wykonał szereg modeli numerycznych dla określonych ustrojów podłużnicy przedniej nadwozia karoserii celem określenia parametru energochłonnego tego ustroju. W ten sposób poszukiwał optymalnych rozwiązań odwzorowanego detalu złącza spawanego, jak ma to miejsce podczas napraw pokolizyjnych. Symulacje były realizowane dla dwóch przypadków: prostego stanu naprężeń oraz złożonego stanu naprężeń. W ten sposób prowadził analizę wartości poszczególnych parametrów energochłonnych dla tych przypadków, a w konsekwencji poszukiwania odpowiedzi: na ile złącza spawane obniżają wartości współczynników energochłonności elementu cienkościennego.

W rozdziale ósmym Doktorant przechodzi do badań eksperymentalnych na modelach fizycznych ze stali DP800. W rozdziale tym opisuje założenia przyjęte w przygotowaniu modeli do badań. Rozszerza liczbę próbek o dodatkowy gatunek stali (DP1000), chcąc w ten sposób dokonać oceny plastycznego fałdowania i kontrolę nad miejscem, w którym rozpocznie się deformacja oraz progresywny charakter procesu zgniotu. Określa warunki testu i sposób jego przeprowadzenia.

W rozdziale dziewiątym Autor pracy opisuje pierwszy etap badań eksperymentalnych. Zakres tych prac koncentruje na próbkach jednorodnych

tj. próbkach wykonanych z jednolitego materiału i z określonymi parametrami geometrycznymi oraz odpowiednią technologią łączenia elementu cienkościennego. Na podstawie przyjętych warunków początkowych dokonuje testów quasi-statycznego zgniatania struktur cienkościennych, w których rejestrowane są odpowiednie parametry. W dalszej części tych prac po zarejestrowanych charakterystykach siły ściskania w funkcji przemieszczenia przechodzi do przeprowadzenia analizy otrzymanych wyników i określa odpowiednie parametry energochłonności badanych próbek. Obok określenia parametrów fizycznych dokonuje także analiz statystycznych, na podstawie których otrzymuje określone współczynniki standaryzacji wartości cech U. Całość zagadnienia podsumowuje wnioskami końcowymi, które wykazują słuszność przyjętych założeń. Dodatkowo uzyskane wyniki są punktem odniesienia do rezultatów w kolejnych etapach badań eksperymentalnych.

W rozdziale dziesiątym Doktorant wykonuje identyczne badania, jak w powyższym punkcie. Różnica prowadzenia tych badań polega na tym, że tutaj są badane próbki ze złączem spawanym i na materiale z blachy DP1000. Autor chcąc uzyskać obiektywne wyniki zakres tych badań prowadzi na próbkach ze złączem spawanym i bez tego złącza (próbki referencyjne). Otrzymane wyniki określonych parametrów energochłonności zestawia tabelarycznie i określa dla nich współczynniki standaryzacji wartości cech U. W ten sposób otrzymany materiał badawczy porównuje z wynikami dla próbek referencyjnych. Na podstawie tych wyników Doktorant stosując odpowiednią metodę statystyczną jest w stanie ocenić wpływ procesu wykonania złącza spawanego próbki na poziom otrzymanych wartości cechy. Metodę tą opiera na hipotezie zerowej i alternatywnej. Dokonując za ich pomocą weryfikacji analizowanych parametrów energochłonności badanych modeli fizycznych. W rezultacie Autor otrzymuje odpowiedź spójności tych wyników na podstawie cechy U dla kolejnych odchyżeń standardowych. Prowadzona polemika uzyskanych wyników w świetle wyników innych badaczy prowadzi Autora do konkretnych wniosków na podstawie, których stwierdza, że mechanizm niszczenia ustroju podczas ściskania jest inicjowany wyboczeniem lokalnym w ściance ustroju, co uwypukla na przykładzie przeprowadzonego testu eksperymentalnego. Dowodzi to także w badaniach numerycznych, w których zjawisko propagacji fali powoduje pojawienie się półfal, odpowiedzialnych za zmianę postaciową ustroju cienkościennego. Podaje także zależności wpływające na kształt zmiany postaciowej analizowanej próbki. Przytaczając wyniki innych badaczy dowodzi, że przyjęte jego założenia współczynników określających stosunki grubości ścianki do szerokości ścianki analizowanego profilu będą przybierały określoną formę geometryczną. Wobec badanych próbek ze złączem spawanym, dla którego powstające fałdy podczas ściskania tego elementu mogą przybierać formy nieosiowosymetrycznego wyboczenia

lokalnego (niekorzystne z punktu energochłonności konstrukcji i jej przemieszczenia) Doktorant postanawia zweryfikować to na przykładzie próbek, w których lico spoiny spawu zostaje zbazowane do grubości profilu próbki przy odpowiednim rodzaju obróbki skrawaniem.

Rozdział jedenasty poświęcony jest badaniom i uzyskanym wynikom dla próbek ze złączem spawanym, którego spoina odpowiada grubości ścianki modelu referencyjnego. Doktorant zakres tych prac realizował na 8 próbkach wykonanych ze stali DP1000. Przyjął identyczne warunki realizacji badań jak w poprzednim eksperymencie. Także dokonał identycznej analizy parametrów energochłonności i analizy statystycznej współczynników standaryzacji wartości cechy U oraz tymi samymi narzędziami badawczymi dokonał oceny złącza spawanego zeszlifowanego. Ocenę tą zawarł w postaci tabelarycznej dla określonych wartości energochłonności badanych modeli ze złączem spawanym i przeszlifowanym licem spoiny. Analizy tych wartości odniósł do symulacji MES akcentując, że uzyskał dobrą zgodność wyników. Na podstawie wyników eksperymentalnych dla próbek referencyjnych (jednorodnych) i próbek ze złączem spawanym przeszlifowanym licem spoiny Doktorant następnie przystąpił do wyboru reprezentatywnego ustroju. Po analizach przy odpowiedniej technice oceny wartości cechy U zaprezentował modele próbek, dla których wyniki korespondują z matematycznym opisem powstawania wielkości fałdy w procesie ściskania badanego modelu fizycznego, a zależne są one od geometrii oraz takich parametrów jak technologia wykonania profilu cienkościennego.

W rozdziale dwunastym Doktorant dokonuje oceny możliwości wykorzystania modeli badawczych podłużnic do oceny absorpcji energii uderzenia w zamian prowadzenia takich badań na obiekcie fizycznym, jakim jest pojazd w teście zderzeniowym. W tym celu dokonuje obszernej analizy morfologicznej badanych ustrojów z ustrojami obiektu rzeczywistego opartego na budowie współczesnego samochodu osobowego z nadwoziem samonośnym. Zaznacza, że w początkowej fazie zderzenia czołowego, głównym elementem uczestniczącym w procesie absorpcji energii uderzenia jest podłużnica przednia. Więc koncentruje uwagę na zachowaniu się zmiany sztywności podłużnicy, czyli w odniesieniu do wcześniejszych badań Autora do powiązania energochłonności modelu wykonanego ze złączem spawanym z oszlifowanym licem spoiny, ponieważ przedmiotem dysertacji jest ocenić wpływ technologii napraw podłużnicy przedniej i jej energochłonności oraz skrócenia w funkcji czasu, co jest ściśle powiązane z reakcją aktywacji poduszki gazowej. Z uzyskanych wyników w warunkach quasi-statycznego ściskania próbek modeli podłużnicy przedniej samochodu przy różnych prędkościach odkształcenia próbuje znaleźć korelację z wynikami uzyskanymi z „crash testów”. Doktorant przytacza przy tym wiele różnic, które istotnie wpływają na sygnał opóźnienia podczas deformowanych

elementów konstrukcji nadwozia, a który stanowi podstawę dla modułu sterującego poduszką gazową.

Trzynasty rozdział pracy zostaje poświęcony wyznaczeniu wartości współczynników, które zostaną wykorzystane do weryfikacji czasów aktywacji poduszki gazowej. Autor dysertacji przybliży zasadę działania systemu SRS (Supplementary Restraint System). Na bazie innych prac dokonuje obszernej analizy danych niezbędnych do konwersji sygnału dla określenia czasu aktywacji poduszki gazowej. Jednym z tych danych jest określenie obszaru krytycznego dla modułu sterującego aktywacją poduszki gazowej, w ścisłej korelacji z parametrem obciążenia, przy którym następuje zmiana sztywności podłużnicy przedniej. Następnie prezentuje metodykę wyznaczenia współczynnika parametru obciążenia dla obszaru krytycznego. Zakres tych prac koncentruje na analizie MES, własnych badań eksperymentalnych oraz danych z jednego z renomowanych europejskich ośrodków badawczych.

W rozdział czternastym Doktorant przedstawia zasadę wyznaczenia czasu stanu referencyjnego poduszki gazowej według kryterium „13-30”. Obszerna analiza tego kryterium jest prezentowana między innymi w postaci wykresów fazowych drogi w funkcji czasu dla parametrów określonych tym kryterium. Doktorant na bazie swych wyników oraz wyników z „crash testów” przy założonych prędkościach kolizji szacuje czasy aktywacji poduszki gazowej. W ten sposób stara się uwypuklić problematykę wyznaczenia czasu stanu referencyjnego poduszki gazowej dla przykładowych prędkości kolizji w układzie z fantomem zapiętym pasami bezpieczeństwa jak i bez.

Rozdział piętnasty Doktorant poświęcił na walidację wyników poprzez układy pomiarowe montowane na fantomach podczas testów zderzeniowych, adoptowanych do pracy z wynikami opracowanymi przez odpowiednie ośrodki badawcze. W ten sposób Autor dysertacji starał się oszacować czas kontaktu głowy manekina z poduszką gazową. Uzyskane wyniki posłużyły mu na możliwość dokonania oceny czasu stanu referencyjnego poduszki gazowej przy różnych prędkościach kolizji według przyjętego kryterium „13-30”.

W kolejnym szesnastym rozdziale Doktorant zajął się symulacjami zachodzącymi podczas „crash testu” diachronii wdrażania protokołu ochrony pasażera. Na podstawie zaproponowanych modeli matematycznych, wykorzystując parametry oparte na pomiarze energii odkształceń i odpowiednich korelacji linii trendu z wygenerowanymi wielomianami dokonał oszacowania wartości czasu stanu referencyjnego poduszki gazowej dla konkretnej prędkości poprzez interpolację z wykorzystaniem tych równań. Uzyskane wyniki posłużyły do dalszych analiz diachronii wdrażania protokołu ochrony pasażera. W ten sposób Doktorant przeszedł płynnie do szacowania nowych czasów,

w których poduszka gazowa osiągnie stan referencyjny dla parametru obciążenia PO 0.7, który został przyjęty na podstawie analiz statystycznych. Doktorant także podkreśla, że parametr PO 0.7, dla którego wygenerowano nowe czasy stanu referencyjnego poduszki gazowej wymaga synchronizacji z uwzględnieniem zmiany sztywności pojazdu tj. elementu który wymagał naprawy w wyniku jego uszkodzenia podczas kolizji.

Rozdział siedemnasty Doktorant poświęca na analizy szacowania skorygowanego czasu kontaktu fantomu z poduszką gazową, na skutek zmiany sztywności podłużnicy przedniej nadwozia pojazdu. Mając do dyspozycji wyniki odpowiednich ośrodków badawczych Autor dysertacji wykorzystując zagadnienia dynamicznych równań ruchu stara się oszacować podczas zderzenia czołowego pojazdu progresywne skrócenie tego czoła. Według literatury przedmiotu, na którą się powołuje podczas prowadzonych niniejszych analiz i przyjętych założeń ustala parametry geometryczne podłużnicy testowego pojazdu, w wyniku których szacuje jej długość, na której dojdzie do spadku absorpcji energii odkształceń spowodowanej wpływem procesu spawania na badany materiał. Następnie na podstawie przyjętego „crash testu” wyznacza przebieg opóźnienia pojazdu, głowy fantomu i ciśnienia w poduszce gazowej. Uzyskany materiał jest dalej poddawany analizom w kontekście kryterium „13-30” oraz szeregu zmiennym wpływającym na cały proces kontaktu poduszki gazowej z głową fantomu. W rozdziale tym Doktorant dokonał szacowania niezbędnych parametrów ilościowych, dla określonych scenariuszy manekina w pojeździe celem ustalenia optymalnych warunków bezpieczeństwa biernego pasażera.

W rozdziale osiemnastym Doktorant dokonuje syntezy wyników oszacowanych czasów stanu referencyjnego poduszki gazowej obciążonej odpowiednim parametrem i skorygowanego czasu kontaktu z głową fantomu na podstawie przyjętego parametru. Wyniki te posłużą do rozwikłania problemu naukowego zaprezentowanego przez Autora dysertacji w następującej formie: czy zmiana sztywności pojazdu w *obszarze aplikacji* wpłynęła na prawidłową synchronizację analizowanych członów? Zaprezentowana odpowiedź jest pewnym zaskoczeniem, a mianowicie w wyniku przeprowadzonych różnego rodzaju analiz i testów eksperymentalnych w ujęciu kryterium „13-30” dla określonego stanu manekina w pojeździe synchronizacja ta przybrała pozytywny rezultat a w przypadku drugim kiedy manekin w pojeździe był zapięty pasami bezpieczeństwa odnotowano negatywny wynik.

Rozdział dziewiętnasty i dwudziesty odnosi się do zaprezentowanych wniosków wynikających z pracy i podsumowania. W podsumowaniu Doktorant koncentruje uwagę na osiągniętym celu pracy. Dokonuje polemiki wyników, z których wynika zła synchronizacja czasów stanu referencyjnego poduszki gazowej i czasów kontaktu

głowy fantomu z poduszką gazową w funkcji prędkości kolizji. Prawdopodobność swych wyników w kontekście złej synchronizacji odnosi do prac innych badaczy potwierdzając tym samym ich słuszność i wskazuje potrzebę kontynuacji prac nad optymalizacją tej synchronizacji. Doktorant także akcentuje potwierdzenie przyjętej tezy w pracy i zaznacza, że temat pracy został wyczerpany we właściwym stopniu.

4. Ocena merytoryczna wyników pracy

Przedstawiona do oceny praca jest napisana poprawnym i zrozumiałym językiem dla czytelnika. Zaprezentowany poziom rozprawy obejmuje bardzo „bogaty” zakres badań eksperymentalnych. W części teoretycznej opracowania Doktorant merytorycznie i rzeczowo dokonał przeglądu stanu wiedzy. W ten sposób na podstawie szczegółowej analizy takich zagadnień jak: budowa współczesnej podłuznicy samochodowej, bierny system bezpieczeństwa SRS, opis matematyczny energochłonności cienkościennych profili stosowanych do budowy podłuznic oraz procedury technologii naprawy wyselekcjonowanego elementu części konstrukcji nadwozia pojazdu, jakim jest podłuznica przednia zauważył, że wykonywane prace napraw blacharskich powypadkowych związanych z „rekonstrukcją” przedniej podłuznicy nie są weryfikowane w zakresie czasu aktywacji poduszki gazowej. System SRS po takiej naprawie może być obciążony błędem sygnału podawanego do elementu wykonawczego. Doktorant zaproponował odpowiednie podejście do weryfikacji tych zagadnień. Przyjmując określone metody i techniki oraz narzędzia badawcze przedstawił metodykę weryfikacji stanu czasoprzestrzennego czasu aktywacji poduszki gazowej w wyniku zmian sztywności naprawianego elementu podłuznicy.

W części badań i analiz otrzymanych wyników eksperymentalnych Doktorant konsekwentnie realizował czynności związane z przyjętym w pracy schematem. Po wyselekcjonowaniu i wyskalowaniu próbek modeli fizycznych fragmentu podłuznicy samochodowej dla różnych konfiguracji geometrycznych i wprowadzonych napraw (złącze spawane) dokonał optymalizacji tych modeli, które następnie weryfikował metodami numerycznymi z wykorzystaniem MES, co pozwoliło na szczegółową analizę występujących zjawisk fizycznych w zakresie osiowego ściskania elementu cienkościennego. Pozwoliło mu to uzyskać odpowiedź, że technologia naprawy elementu cienkościennego wykonanego z określonego gatunku stali wpływa na sztywność układu. W dalszej już części czynności badawczych Doktorant skoncentrował uwagę na ich podporządkowaniu w realizacji założonego celu pracy.

Zaprezentowana strategia jest logicznym zbiorem tworzącym całość pracy. Treść pracy jest przyporządkowana przyjętej tezie i wynikowemu jej uzasadnieniu.

Do głównych zalet i osiągnięć opiniowanej rozprawy należy zaliczyć:

- Istotny dobór tematu i kierunek badań, którego potrzeba została wygenerowana w wyniku oceny stanu wiedzy;
- Przyjęcie stosownej metodyki realizacji celu pracy i słuszności przyjętej tezy;
- Zaplanowanie i przeprowadzenie podstawowych badań materiałowych na próbkach w różnej konfiguracji mających na celu wyznaczyć wielkości fizyczne wybranych własności mechanicznych niezbędnych do symulacji numerycznych;
- Opracowanie grupy modeli numerycznych niezbędnych do prowadzenia analiz w zakresie ich osiowego ściskania dla prostych i złożonych stanów naprężenia;
- Zaplanowanie i przeprowadzenie wstępnych badań eksperymentalnych, w celu wyskalowania stanowiska na opracowanych modelach fizycznych cienkościennych struktur elementu podłużnicy przedniej pojazdu osobowego;
- Cykl badań z wynikami otrzymanymi z osiowego ściskania próbek w konfiguracji jednorodnej i ze złączem spawanym;
- Zastosowanie odpowiedniego aparatu statystycznego do wyselekcjonowania optymalnego rozwiązania badanego ustroju cienkościennego, cechującego się właściwymi parametrami energochłonnymi, które zostały zdefiniowane w pracy;
- Walidacja uzyskanych wyników z analiz numerycznych z wynikami uzyskanymi eksperymentalnie w szczególności, w interpretacji lokalnego wyboczenia ścianek profilu cienkościennego i powstawania fałd, w strefie uplastyczniania się materiału oraz ich osiowosymetryczne narastanie;
- Umiejętne podejście i analiza danych pomiarowych z „crash testu” adoptowanych z bazy danych określonego ośrodka badawczego na potrzeby pracy, czyli analiza oraz funkcjonowanie systemu SRS i powiązanie jego na potrzeby pracy;
- Wyznaczenie i zweryfikowanie dla różnych scenariuszy w układzie pojazd-manekin współczynników parametru obciążenia dla obszaru krytycznego;
- Wyznaczenie dla różnych scenariuszy w układzie pojazd-manekin czasów referencyjnych poduszki gazowej według kryterium „13-30”;
- Zweryfikowanie oszacowanych współczynników parametru obciążenia dla obszaru krytycznego oraz czasów referencyjnych poduszki gazowej według kryterium „13-30” z raportami danych określonego ośrodka badawczego, realizującego certyfikację bezpieczeństwa biernego pojazdów;
- Określenie istotnych parametrów wynikających z dynamicznych równań ruchu w ujęciu zmiany sztywności konstrukcji pojazdu i jego absorpcji energii odniesionej do kontaktu głowy manekina z poduszką gazową;

- Ilościowe ujęcie czasów stanu referencyjnego poduszki gazowej określonego parametru obciążenia i skorygowanego czasu jej kontaktu z głową manekina odpowiednim parametrem dla różnych prędkości kolizji;
- Interdyscyplinarne podejście do rozpatrywanego problemu;
- Umiejętne posługiwanie się przez Doktoranta nowoczesnymi narzędziami do prowadzenia symulacji numerycznych zjawisk dynamicznych i metodami statystycznymi wykorzystywanymi przy ustalaniu cech;
- Bogaty dobór rysunków i zestawień uzyskanych wyników w postaci odpowiednich wykresów i tabel;
- Właściwe zestawienie wniosków i ich interpretacja zarówno z badań doświadczalnych, raportów testu zderzeniowego adoptowanych z baz danych na potrzeby pracy i modeli numerycznych.

Opisane w rozprawie doktorskiej oryginalne badania naukowe, wskazują na właściwą znajomość przez Autora problematyki związanej z zagadnieniami wytrzymałości konstrukcji cienkościennych i ich obciążenia dynamicznego. W tym zakresie powiązanie zagadnień z otoczeniem biernego systemu ochrony stosowanej we współczesnych pojazdach samochodowych, których funkcjonowanie jest w coraz większym stopniu autonomiczne, a niezawodność związana jest z wysoką sprawnością całej konstrukcji pojazdu nawet po jej naprawie to wyzwanie, które nie było „straszne” dla Doktoranta.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na jego możliwości adaptacyjne do serwisowania systemu SRS po naprawach powypadkowych. Jak zauważył Doktorant naprawy powypadkowe podłuznicy samochodowej są wykonywane przez warsztaty blacharskie (w tym ASO) na różnym poziomie technologicznym. Dokonywana ingerencja w podłuznice w trakcie jej naprawy cechuje się odmienną charakterystyką wytrzymałościową, a to przekłada się na pogorszenie poziomu jakości bezpieczeństwa biernego pojazdu. Stwierdzenie to zostało dowiedzione na podstawie przyjętej tezy. Na korzyść Autora przemawia umiejętne omówienie i cytowanie bibliografii oraz polemika w zakresie otrzymanych wyników badań z innymi badaczami. Jej dobór przekonuje Recenzenta o dużej dojrzałości naukowej Autora, jego samodzielności i swobodzie poruszania się w prezentowanych, w rozprawie zagadnieniach. Nowatorskie elementy pracy świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu zawodowym i naukowym Doktoranta, znajomości problematyki rynku motoryzacyjnego, w szczególności optymalizacji szeroko rozumianego bezpieczeństwa kierowcy i pasażerów.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne oraz redakcyjne

Po zapoznaniu się z treścią dysertacji przedłożonej do recenzji, należy zwrócić uwagę na pewne kwestie dyskusyjne, do których Autor powinien się ustosunkować:

- Autor w rozdziale trzecim (s. 25) przyjął wstępną hipotezę: „wykres charakterystyki opóźnienia w tym obszarze może uchodzić za prostoliniowy”; Jest to trywialne, gdyż sztywność zazwyczaj odnosimy do modelu Hooke’a. Proszę o wyjaśnienie, chyba, że Doktorant uwzględniał zjawiska histerezowe badanych materiałów;
- Na stronie 55, linia 3. Autor pisze, że „Z tak wybranych dwóch modeli, uzyskano 8 próbek”, co to były za modele?, czy jest to tylko błąd drukarski?
- Rysunek 42 na osi poziomej jest błędny opis. Powinno być odkształcenie [-].
- Porównując wykres (Rys. 42) i tabelę 8, dla próbki nr 3 chyba jest niewłaściwa wartość R_m ;
- Na wykresie (Rys. 44) podana jest wartość R_m 560 MPa dla drutu spawalniczego G3Sil, AWS ER70S-6 a powyżej (linia 6) wartość R_m 570 MPa, która wartość jest właściwa?
- Rys. 46 powinno być moment gnący, a nie siła gnąca, zgodnie z nomenklaturą mechaniki ogólnej;
- Autor na s. 77 powyżej pkt. 9.3 odnosi się do wyników eksperymentalnych z zadanymi prędkościami ściskania. Są to tylko badania w zakresie quasi-statycznym. Według Autora ma to znaczenie, ponieważ problem, który jest analizowany w pracy dotyczy dynamicznego oddziaływania. Więc jaki wpływ ma prędkość odkształcenia na analizowane zjawisko podczas zderzenia pojazdu? Czy w tym przypadku obserwacja z uwzględnieniem wartości cechy U nie prowadzi do błędnych wniosków? Czy może należało przeanalizować wpływ prędkości odkształcenia przy mniejszych zakresach skali wykresu i starać się szczegółowiej to przeanalizować, jeśli Autor nie dysponował odpowiednim stanowiskiem do dynamicznych analiz?
- Na stronie 96 Doktorant przytacza takie zdanie: „(...) badania quasi-statyczne mogą zostać wykorzystane, poprzez analogię do badań dynamicznych z uwzględnieniem współczynników utwardzenia materiału (...)”. Co miał na myśli Doktorant. Proszę o rozwinięcie tego cytatu;
- W rozdziale 12. Doktorant odnosząc się do wyników modelu badawczego (s. 97, linia 6 nad rozdziałem 13) proponuje aproksymację ich do modelu rzeczywistego. Proszę o głębsze uzasadnienie, gdyż zabrakło mi opisu w pracy;
- Doktorant w rozdziale 17. (s.129) używa zwrotów związanych z metodami matematycznymi i metodami MES. Podkreśla, że jedne są „karkołomne” drugie „trudne”. Postanawia skoncentrować się na alternatywnej metodzie opartej

o prognozę na podstawie aproksymacji liniowej. Pytanie dotyczy: czym jest aproksymacja liniowa?

Pod względem redakcyjnym praca zredagowana jest z właściwą systematyką rozwiązywanych zagadnień. Język pracy jest nienaganny, prosty w swych sformułowaniach, czasami do tego stopnia, że niektóre określenia stanowią tzw. kolokwializmy, które w tym przypadku raczej wpływają na pozytywny przekaz zawartych informacji. Drobne uwagi i błędy redakcyjne zostały zaznaczone w tekście pracy i przekazane Autorowi, natomiast uwagi dyskusyjne zostały przytoczone poniżej:

- Zabrakło ważniejszych oznaczeń i skrótów, gdyż w pracy jest ich bardzo dużo, a to ułatwi czytelnikowi na niezakłóconą analizę zebranego materiału;
- Według mojej opinii niektóre rozdziały powinny być połączone, a to dawałoby prostszą strukturę pracy, np.: wprowadzenie z definiowaniem zagadnienia lub rozdział 5. z rozdziałem 6., czy rozdział 19. z 20.;
- Większość rysunków jest mało czytelnych, a legendy w rysunkach z symulacji MES są nieczytelne;
- W rozdziale czwartym wskazane byłoby poprzedzić tezę wcześniejszym komentarzem;
- Ułamki powinny być zapisane w postaci ułamków zwykłych.

6. Ocena końcowa

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne, w ocenie merytorycznej mają jedynie charakter dyskusyjny, a uwagi redakcyjne wyłącznie charakter korektorski. Uwagi te w żadnym stopniu nie pomniejszają osiągnięć Doktoranta, co do uzyskanych wartościowych wyników naukowych i poznawczych. Mają zwrócić uwagę na dalszą pracę i wnikliwą analizę oraz zgłębianie stawianych przez Autora problemów badawczych w stopniu wymagań współczesnej światowej nauki.

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę doktorską, należy podkreślić aktualność jej tematyki, zwłaszcza, że dotyczy ona obszaru sprawności systemów wspomagających szeroko rozumianego bezpieczeństwa pojazdu. Nie przywiązywanie uwagi do profesjonalnych napraw wybranych elementów karoserii samochodu prowadzić może do daleko idących skutków wynikających z obrażeń kierowcy/pasażera w wyniku nieprzewidywalnego zdarzenia drogowego, co Doktorant dowodząc poprzez liczne badania eksperymentalne uzasadnił przyjętą tezę. Praca jest wkładem w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna, gdyż łączy w sobie zagadnienia z mechaniki i budowy maszyn, konstrukcji i eksploatacji maszyn oraz metod numerycznego modelowania.

Opiniowana praca Pana mgr. inż. Dominika Gałdyńskiego zawiera oryginalne

elementy rozwiązań sformułowanego problemu naukowego. Jej kompozycja polega na dowodzeniu słuszności postawionej tezy. Szczególnie pragnę podkreślić, jakość i dobór zarówno standaryzowanych narzędzi badawczych, jak i adoptowanych na potrzeby pracy metod statystycznych niezbędnych przy szacowaniu określonych parametrów energochłonności i cechy U związanej z tymi parametrami. Doktorant w swej dysertacji pokazał możliwości umiejętnego wykorzystania wyników pomiarowych z „crash testu” na potrzeby prowadzonych analiz przy określaniu współczynników PO dla obszaru krytycznego przy różnych scenariuszach położenia poduszka gazowa-głowa manekina. Zademonstrował rozwiązanie, którego wyniki są możliwe do zarejestrowania jedynie w wyspecjalizowanych laboratoriach badawczych, często nieosiągalne dla większości badaczy ze zrozumiałych względów. Ponadto prowadzenie badań, ich oryginalność, otrzymane rezultaty stanowią diagnozę najważniejszych aspektów innowacyjnego podejścia do zrealizowania celu i potwierdzenia przyjętej tezy oraz wytyczenia nowych standardów w zakresie technologii naprawy podłóżnicy samochodowej, wykonanej ze stali DP na przebieg aktywacji poduszki gazowej.

Mając na uwadze walory niniejszej pracy wnioskuję do Rady Dyscypliny – Inżynieria Mechaniczna, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie o wyróżnienie rozprawy doktorskiej p. mgr. inż. Dominika Gałdyńskiego. Dodatkowym argumentem przemawiającym za wyróżnieniem tej rozprawy jest aktywność naukowa Doktoranta. Zaznaczam, że Doktorant jest autorem/współautorem 11 prac naukowych w tym 2. są indeksowane w bazie Scopus. Legitymuje się 5. cytowaniami i h-index 1. Wszystkie prace są z obszaru prezentowanej dysertacji naukowej. Dodatkowo jest współautorem jednego patentu i jednego zgłoszenia patentowego.

7. Konkluzja

Recenzowana dysertacja spełnia wymogi odnośnie do przewodu doktorskiego, określone w **Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm).**

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Dominika Gałdyńskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

