

Lublin, 16 sierpnia 2023r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Ciepiewskiego

pt. "Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych."

promotor rozprawy: dr hab. inż. Danuta Miedzińska, prof. uczelni
promotor pomocniczy: dr inż. Paweł Dybcio

*Ocenę opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria
Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej
prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 07.06.2023r.*

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY, METODYKA BADAŃ I ZAKRES PRACY

Przedstawiona do mojej oceny rozprawa doktorska pt. "Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych" dotyczy zagadnień modelowania i oceny parametrów wytrzymałościowych regularnych przestrzennych struktur cienkościennych, określanych jako struktury ulowe. Struktury tego typu są powszechnie stosowane m.in. w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym czy zbrojeniowym, ze względu przede wszystkim na korzystny stosunek masy własnej do sztywności i wytrzymałości struktury, jak również właściwości związane z możliwością pochłaniania energii kinetycznej. Analiza podjętego w pracy zagadnienia badawczego obejmuje część teoretyczną, badania doświadczalne oraz obliczenia numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Doktorant szczegółowo uzasadnił motywację podjęcia prezentowanego w pracy zagadnienia badawczego, popartą aktualną analizą tematyki związanej z koniecznością i metodami zabezpieczania pojazdów wojskowych

przed skutkami oddziaływania fali uderzeniowej, powstałej na skutek wybuchu. Przeprowadzony przez Autora przegląd literatury przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczącej problematyki projektowania, budowy oraz wyznaczania właściwości mechanicznych struktur ulowych, wykonanych w formie plastra miodu. W szczególności zwrócono uwagę na wyznaczanie charakterystyk wytrzymałościowych struktur ulowych z wykorzystaniem testów i metod eksperymentalnych. Analiza literatury obejmowała również opis analitycznych metod wyznaczania wytrzymałości komórkowych struktur ulowych, a także szeroki opis metod modelowania numerycznego tych zagadnień. Przedstawione w pracy rozważania stanowią zatem kompleksowy opis zagadnień dotyczących statycznej i dynamicznej analizy ściskanych struktur ulowych, umożliwiającą wyznaczenie charakterystyki pracy tych struktur w pełnym zakresie obciążenia, tj. do całkowitego zniszczenia struktury. Szczegółowa analiza poszczególnych etapów pracy ściskanych konstrukcji stwarza podstawę do optymalizacji jej parametrów konstrukcyjnych (materiałowych, geometrycznych), mogących w istotnym stopniu wpłynąć na kształtowanie sztywności i wytrzymałości całego układu.

Celem pracy było zbadanie odpowiedzi struktury plastra miodu wykonanej ze stopu aluminium na statyczne i dynamiczne obciążenie ściskające z równoczesnym uwzględnieniem wysokich prędkości odkształcenia. Badania obejmowały identyfikację zjawisk wpływających na uzyskiwane charakterystyki analizowanych konstrukcji przekładkowych, pozwalającą na opracowanie metodyki wyznaczania parametrów wytrzymałościowych tego rodzaju struktur. Cel pracy obejmował również określenie zasad uproszczonego modelowania struktur ulowych w sposób pomijający ich złożoną geometrię, przy jednoczesnym zachowaniu adekwatności opracowanych modeli numerycznych. Autor nie sformułował tezy pracy, przedstawił natomiast zakres prac obejmujący cztery zadania badawcze, których realizacja umożliwi osiągnięcie założonych celów pracy.

Ocenę pracy struktur ulowych poddanych działaniu statycznego i dynamicznego obciążenia ściskającego Doktorant przeprowadził na podstawie odpowiednich charakterystyk naprężeniowo-odkształceniowych, opisujących zachowanie konstrukcji w pełnym zakresie obciążenia. Prawidłowa ocena odpowiedzi układu na zadane obciążenie ściskające wymagała szczegółowej analizy pracy struktury, dla której wyodrębnione zostały następujące jej zakresy: zakres sprężysty, obszar utraty stateczności rdzenia ulowego i formowanie pierwszej fałdy zniszczenia, obszar progresywnego niszczenia, obszar zagęszczania oraz zakres sprężysty struktury zagęszczonej. Dla każdego zakresu pracy określone zostały podstawowe parametry mechaniczne struktury, jak również wartości naprężenia krytycznego oraz średniego naprężenia niszczącego (plateau) rdzenia. W pracy wykorzystano do tego celu analizę

numeryczną z wykorzystaniem metody elementów skończonych oraz eksperymentalne badania laboratoryjne, umożliwiające walidację opracowanych modeli numerycznych oraz ocenę stopnia wyężenia poszczególnych elementów konstrukcyjnych struktury ulowej. Na ich podstawie określano również wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych i geometrycznych struktury, jak m.in. wielkość celi rdzenia, grubość ścianki czy wysokość rdzenia na charakterystyki pracy oraz wytrzymałość konstrukcji. Analizie poddano również wpływ prędkości odkształcenia na uzyskiwane charakterystyki pracy układu. Efekty przeprowadzonych badań mogą posłużyć do modelowania złożonych konstrukcji, które wyposażone są w elementy z ulowym rdzeniem, absorbujące energię kinetyczną.

Współczesnym narzędziem wspomagającym proces konstruowania są symulacje numeryczne, prowadzone na dyskretnych modelach konstrukcji. Zastosowanie analizy numerycznej w znacznym stopniu przyspiesza i upraszcza zagadnienie projektowe, umożliwiając jednocześnie prowadzenie bieżącej optymalizacji parametrów konstrukcyjnych układu. Istotne znaczenie mają również badania eksperymentalne, prowadzone na rzeczywistych obiektach lub ich podzespołach, pozwalające na dokonywanie bieżącej weryfikacji otrzymywanych wyników obliczeń numerycznych. Dlatego też temat i cel rozprawy postawiony przez Autora uważam za uzasadniony i interesujący z punktu widzenia naukowego oraz aplikacyjnego, ze względu na szerokie możliwości praktycznego wykorzystania otrzymanych wyników badań w projektowaniu współczesnych konstrukcji lotniczych czy motoryzacyjnych.

Praca zawiera łącznie 172 strony i została podzielona na 8 rozdziałów. Treść pracy rozpoczyna się od spisu treści oraz wykazu ważniejszych symboli i oznaczeń. W rozdziale pierwszym przedstawiono motywację podjęcia tematu pracy, zakres i główne cele pracy oraz zdefiniowano zadania, których realizacja będzie niezbędna do osiągnięcia założonych celów. Rozdział drugi zawiera opis aktualnego stanu wiedzy, dotyczący badań cienkościennych konstrukcji przekładowych z rdzeniem o strukturze ulowej, poddanych obciążeniu ściskającemu. Treść rozdziału obejmuje szczegółowy opis metod badań i testów eksperymentalnych oraz metodyki modelowania numerycznego struktur ulowych, z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Rozdział trzeci dotyczy badań eksperymentalnych oraz obliczeń numerycznych struktur ulowych, prowadzonych z wykorzystaniem komercyjnego produktu ALUCORE®, stanowiącego klasyczną strukturę przekładową wykonaną z aluminiowych okładzin, pomiędzy którymi znajduje się aluminiowy rdzeń w formie plastra miodu. Prezentowane badania eksperymentalne pozwoliły na wyodrębnienie charakterystycznych faz pracy ściskanej struktury cienkościennej, tj.: obszaru

sprężystego, obszaru utraty stateczności i formowania pierwszej fałdy rdzenia struktury, obszaru progresywnego niszczenia rdzenia, obszaru zagęszczania oraz obszaru sprężystego struktury zagęszczonej. W dalszej części rozdziału szczegółowo opisano metodykę obliczeń numerycznych MES, charakterystykę opracowanych modeli obliczeniowych pełnej struktury przestrzennej rdzenia i modelu uproszczonego, określonego jako model „Y” oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń numerycznych z wykorzystaniem komercyjnego programu LS-DYNA®. Obliczenia numeryczne statycznego ściskania badanej struktury cienkościennej dotyczyły również analizy wpływu parametrów modelu, jak m.in.: grubość ścianki czy wielkość celi rdzenia ulowego na parametry mechaniczne i wytrzymałościowe struktury. Rozdział czwarty zawiera rozszerzenie badań eksperymentalnych ściskanych struktur ulowych, polegający na uwzględnieniu wpływu prędkości odkształcenia na uzyskiwane charakterystyki pracy struktury. Szczegółowo opisano metodykę badań eksperymentalnych z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej, bezwładnościowego młota opadowego oraz dzielonego pręta Hopkinsona. W rozdziale piątym przedstawiono metodykę obliczeń numerycznych z wykorzystaniem uproszczonego modelu struktury ulowej „Y”, na podstawie której możliwe jest wyznaczenie podstawowych parametrów wytrzymałościowych oraz charakterystyk pracy konstrukcji w formie naprężenie–odkształcenie objętościowe. Rozdział szósty prezentuje autorski model zhomogenizowanej struktury przekładkowej z rdzeniem ulowym, umożliwiający uproszczone modelowanie tego typu struktur, pozwalające w sposób adekwatny na uzyskanie globalnej odpowiedzi układu, bez konieczności szczegółowego modelowania elementów składowych struktury. W zakończeniu pracy, w rozdziale siódmym Autor przeprowadził analizę wyników badań oraz sformułował wnioski końcowe, zawierające podsumowanie przeprowadzonych prac oraz wytyczne do modelowania dyskretnego struktur o budowie ulowej. Przedstawione zostały również przyszłe kierunki badań dotyczące tematyki i zagadnień badawczych zawartych w dysertacji. Rozdział ósmy zawiera spis literatury, obejmujący 118 pozycji bibliograficznych.

Po lekturze przedstawionej do mojej oceny pracy, stwierdzam, że Pan mgr inż. Radosław Ciepielewski podjął się i rozwiązał trudne zadanie, polegające na przeprowadzeniu szczegółowej analizy pracy cienkościennych konstrukcji przekładkowych z rdzeniem o strukturze plastra miodu, stosowanych przede wszystkim w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym czy zbrojeniowym. Dodatkowo przeprowadzona została analiza parametrów geometrycznych badanych struktur pod kątem ich wpływu na podstawowe właściwości mechaniczne układu. Opisane i scharakteryzowane zostały poszczególne etapy pracy ściskanych struktur, a także opracowana została metodyka badań eksperymentalnych i obliczeń

numerycznych, umożliwiających wyznaczenie charakterystyki pracy układu w pełnym zakresie obciążenia. Zaproponowane zostały autorskie metody modelowania rdzeni ulowych z wykorzystaniem modelu uproszczonego „Y” oraz modelu zhomogenizowanego, uwzględniających różne prędkości odkształcenia struktury. Doktorant z dużą starannością i konsekwencją przygotował i zrealizował plan badań, umożliwiających dokonanie kompleksowej analizy pracy cienkościennych konstrukcji przekładkowych z rdzeniem w formie plastra miodu, poddanych działaniu statycznych oraz dynamicznych obciążeń ściskających. Równoległa realizacja obliczeń numerycznych i badań doświadczalnych umożliwiła dokonywanie właściwej oceny otrzymywanych wyników.

Opisana w rozdziale trzecim metodyka badań eksperymentalnych i numerycznych poddanych statycznemu ściskaniu struktur ulowych, przeprowadzonych z wykorzystaniem komercyjnego produktu ALUCORE®, umożliwiła określenie globalnych parametrów mechanicznych i wytrzymałościowych ściskanej struktury, które zostały określone na podstawie otrzymanych charakterystyk pracy konstrukcji przedstawiających zależność naprężenie-odkształcenie objętościowe. Doktorant z dużą starannością i świadomością dokonał analizy wyznaczonych charakterystyk, wyodrębnił poszczególne obszary pracy ściskanej konstrukcji, jak również dokonał właściwej oceny otrzymanych wyników. W dalszej kolejności przeprowadzona została analiza numeryczna zagadnienia z odwzorowaniem pełnej struktury rdzenia ulowego, jak również z wykorzystaniem uproszczonego modelu struktury „Y”. Analizie poddano również wpływ parametrów modelu numerycznego, jak. m.in.: wymiar elementu skończonego, sformułowanie elementu czy liczbę punktów całkowania po grubości elementu na otrzymywane właściwości wytrzymałościowe oraz charakterystyki pracy konstrukcji. Otrzymane wyniki umożliwiły porównanie zastosowanych metod badawczych, pozwalając na dokonanie ich oceny w poszczególnych obszarach pracy konstrukcji. Przeprowadzona analiza potwierdziła dużą zgodność wyników w zakresie progresywnego niszczenia struktury (zbliżone wartości naprężeń plateau w testach eksperymentalnych i obliczeniach numerycznych) oraz wykazała znaczną rozbieżność wyników badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych w sprężystym zakresie pracy struktury, tj. do momentu utraty stateczności. W mojej ocenie zaobserwowane istotne rozbieżności w wartościach zarówno modułu sztywności wzdłużnej, jak również wartości maksymalnych naprężeń przed utratą stateczności mogą być spowodowane przyjętą w obliczeniach techniką modelowania zagadnienia wyboczenia. Powszechną techniką modelowania zagadnienia utraty stateczności stosowaną w metodzie elementów skończonych są obliczenia prowadzone na modelach z imperfekcjami początkowymi, odpowiadającymi najniższej postaci utraty

stateczności, wyznaczonej w wyniku rozwiązania liniowego zagadnienia własnego. Takie podejście umożliwia od samego początku analizy nieliniowej uzyskanie właściwej postaci deformacji konstrukcji, a przyjęta do obliczeń wartość początkowej amplitudy imperfekcji geometrycznych ma bezpośredni wpływ na wartość naprężenia krytycznego oraz kształt charakterystyki konstrukcji w jej zakresie początkowym. Uwzględniając deklarowany w pracy zamiar kontynuowania przez Doktoranta dalszych badań w tym zakresie, wskazane byłoby sprawdzenie powyższej techniki modelowania i jej wpływu na uzyskiwane wyniki, zwłaszcza w początkowym zakresie pracy badanych struktur.

Zdecydowanie najwyższy poziom merytoryczny badanego zagadnienia został zaprezentowany przez Doktoranta w rozdziale czwartym dysertacji. Rozdział ten zawiera kompleksowy i szczegółowy opis przeprowadzonych badań eksperymentalnych struktur ulowych poddanych ścisaniu przy różnych prędkościach odkształcenia. Pan mgr inż. Radosław Ciepielewski w sposób bardzo staranny i konsekwentny przeprowadził i opisał badania statyczne i dynamiczne ścisania struktur ulowych z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej, bezwładnościowego młota opadowego oraz dzielonego pręta Hopkinsona. W każdym z wymienionych przypadków szczegółowo opisana została metodyka prowadzonych badań oraz interpretacja otrzymywanych wyników. Na szczególną uwagę zasługuje kompleksowa analiza badanych struktur ulowych przy wykorzystaniu dzielonego pręta Hopkinsona. Autor bardzo szczegółowo przeanalizował otrzymywane tą metodą wyniki, poddając je wnikliwej interpretacji prowadzącej do zmiany zastosowanej metodyki badawczej. Dotyczyło to między innymi dużej różnicy sztywności badanych próbek i prętów aluminiowych, uniemożliwiającej ich dostateczne odkształcenie pod działaniem mechanicznej fali sprężystej, co utrudniało uzyskanie wiarygodnych wyników próby. Rezultatem przeprowadzonych analiz była zmiana metodyki pomiarowej, poparta przez Autora wnikliwą analizą zachodzących podczas pomiaru zjawisk fizycznych. Przeanalizowano również wpływ parametrów konstrukcyjnych i geometrycznych próbek badawczych na właściwości wytrzymałościowe struktury ulowej. Na szczególną uwagę zasługuje przeprowadzona przez Doktoranta analiza wpływu zamkniętej w strukturze ulowej objętości powietrza na globalną wytrzymałość struktury w trakcie badań dynamicznych z dużymi prędkościami odkształcenia. Do wyznaczenia objętości zamkniętego w strukturze powietrza Autor wykorzystał metodę komputerowej tomografii rentgenowskiej, dokonując przestrzennego skanowania próbek badawczych. Przeprowadzone badania pozwoliły udowodnić tezę, że na wartość średniego naprężenia niszczącego (plateau) ma wpływ objętość powietrza zamkniętego w strukturze ulowej. Pozwoliło to na opracowanie podejścia prowadzącego do uwzględnienia w analizie

numerycznej efektów sprężanego w strukturze ulowej powietrza, przy prędkościach odkształcenia większych niż quasistatyczne. Przeprowadzone w niniejszym rozdziale rozważania potwierdzają bardzo dobre przygotowanie Doktoranta do prowadzenia badań naukowych. Zaprezentowana w pracy analiza otrzymywanych wyników i ich właściwa interpretacja świadczą o wysokiej świadomości Autora dotyczącej prowadzonych zagadnień badawczych oraz umiejętności modyfikacji zastosowanej metodyki badawczej, prowadzącej do uzyskiwania wiarygodnych i dokładnych wyników badań. Autor wykazał się umiejętnością diagnozowania problemów i ich właściwego rozwiązywania. Jest to umiejętność bardzo pożądana przy prowadzeniu badań naukowych. Na uwagę zasługuje także trafny dobór przez Doktoranta interdyscyplinarnej metodyki badawczej, wymagającej znacznej wiedzy i umiejętności w tym zakresie. Potwierdza to również przedstawiona w rozdziale piątym wnikliwa analiza parametrów geometrycznych uproszczonego modelu struktury ulowej „Y”, pozwalająca na właściwą walidację opracowanego modelu dyskretnego wynikami badań eksperymentalnych.

Zwieńczeniem przeprowadzonych w poprzednich rozdziałach badań eksperymentalno-numerycznych jest przedstawiony w rozdziale szóstym zhomogenizowany model analizowanej struktury przekładkowej z rdzeniem ulowym. Doktorant zaproponował autorskie podejście do modelowania tego typu struktur, odwzorowujące opisane w poprzednich rozdziałach zagadnienia występujące w procesie ściskania konstrukcji, jak m.in. uwzględnienie różnych wartości prędkości odkształcenia czy wpływu objętości zamkniętego powietrza w strukturze rdzenia ulowego. Autor potwierdził zgodność charakterystyk otrzymywanych z wykorzystaniem zaproponowanego modelu zhomogenizowanego z charakterystykami otrzymywanymi na drodze eksperymentalnej. Zaproponowany model struktury ulowej dedykowany jest przede wszystkim do wykorzystania z użyciem wskazanego komercyjnego programu LS-DYNA[®], co ogranicza w pewnym stopniu jego uniwersalność. Jednakże przedstawiona w pracy wnikliwa analiza wpływu poszczególnych parametrów modelu na uzyskiwane wyniki dostarcza czytelnikowi wskazówek dotyczących modelowania tego typu konstrukcji z użyciem innego oprogramowania MES.

Wszystkie opisane powyżej atrybuty dysertacji pozwoliły na precyzyjne wykonanie zaplanowanych badań, umożliwiających kompleksową ocenę pracy konstrukcji przekładkowych z rdzeniem ulowym, poddanych statycznym i dynamicznym przypadkom obciążenia ściskającego. Autor opracował wyniki badań eksperymentalnych w formie adekwatnej do przeprowadzonych obliczeń numerycznych, co umożliwiło precyzyjne dokonanie ich porównania. Zaprezentowane rozważania stanowią istotne źródło informacji

dotyczące metodyki modelowania numerycznego konstrukcji przekładkowych z wypełniaczem ulowym. Dotyczy to przede wszystkim projektowania struktur o własnościach energochłonnych, których znaczenie zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym czy zbrojeniowym jest niezwykle istotne.

W mojej ocenie prezentowane w rozprawie doktorskiej badania oraz interpretacja ich wyników stanowią oryginalny wkład Pana mgr inż. Radosława Ciepielewskiego oraz jego osiągnięcie w zagadnieniach dotyczących modelowania numerycznego i badań eksperymentalnych cienkościennych struktur przekładkowych z rdzeniem ulowym. Prezentowane prace mają również wysoką wartość naukową oraz aplikacyjną. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że Autor dysertacji posiada umiejętność prowadzenia badań naukowych oraz dokonywania ich właściwej oceny.

2. OCENA ROZPRAWY, PYTANIA I UWAGI KRYTYCZNE

Przedstawiona praca stanowi autorskie opracowanie Doktoranta w zakresie oceny wpływu istotnych parametrów konstrukcyjnych i geometrycznych oraz warunków obciążenia struktur przekładkowych z wypełniaczem ulowym na otrzymywane właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe oraz charakterystyki pracy tych ustrojów. Praca napisana jest bardzo poprawnie od strony merytorycznej i jest wartościowa. O wartości i oryginalności pracy stanowi przede wszystkim zaproponowana autorska propozycja badań ścisłych struktur przekładkowych z rdzeniem ulowym z wykorzystaniem metod eksperymentalnych i numerycznych. Autor przeprowadził precyzyjnie przygotowane badania eksperymentalne oraz nieliniowe obliczenia numeryczne, dokonując prawidłowej oceny wpływu parametrów konstrukcyjnych i geometrycznych badanego układu na właściwości wytrzymałościowe i charakterystyki pracy analizowanych struktur cienkościennych. Na podkreślenie zasługują również starannie przeprowadzona analiza i właściwa interpretacja otrzymanych wyników badań. Pozwoliło to na opracowanie autorskiego podejścia do procesu modelowania struktur przekładkowych z rdzeniem ulowym z wykorzystaniem opracowanego zhomogenizowanego modelu struktury.

Edycja i układ pracy są bardzo staranne i nie budzą zastrzeżeń. Praca napisana jest w sposób zrozumiały i czytelny oraz posiada logiczny ciąg pomiędzy poszczególnymi rozdziałami. Rysunki i zdjęcia są dobrej jakości i dają się łatwo interpretować.

Mgr inż. Radosław Ciepielewski posiada ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie projektowania i analizy struktur przekładkowych, zaplanowania i realizacji badań eksperymentalnych i nieliniowych obliczeń numerycznych oraz poprawnej interpretacji otrzymywanych wyników. Potrafi prawidłowo ocenić dokładność prowadzonych badań i ma świadomość występujących w badaniach błędów i ograniczeń. Uzyskane i zaprezentowane w pracy wyniki są wartościowe zarówno pod względem poznawczym, jak i użytkowym.

Lektura recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej prowadzi jednakże do pewnych uwag przedstawionych poniżej:

- 1) Na rys. 2.12 str. 31 przedstawiono zależność siły ściskającej strukturę ulową od przemieszczenia, zamieszczając w tekście wnioski wynikające z analizy wykresu. Niestety, ani w tekście, ani na rysunku nie zamieszczono opisu dotyczącego poszczególnych charakterystyk oznaczonych jako LP1, LP2 i LP3, co utrudnia interpretację rysunku.
- 2) Na rys. 2.22 str. 39 oznaczono typ struktury jako 1, 2 i 3 nie zamieszczając żadnego wyjaśnienia, czym się one różnią.
- 3) Na str. 42 Autor napisał: „Dla przykładu, węzły jednowymiarowych elementów belkowych posiadają po 6 stopni swobody (4 translacyjne i 2 rotacyjne), jak przedstawiono na rys. 2.25”.
Przedstawiony na rys. 2.25 element belkowy w dwuwymiarowym układzie współrzędnych posiada po 3 stopnie swobody (a nie po 6) w węźle – 2 translacyjne i jeden rotacyjny, co zresztą jest zgodne z przedstawionym na rysunku schematem. Natomiast w przypadku przestrzennego układu współrzędnych węzły elementów belkowych posiadają po 6 stopni swobody w węźle, tj. 3 translacyjne i 3 rotacyjne.
- 4) Uwaga edycyjna - str. 43: błędnie napisano „Rozwiązanie nieliniowych problemów uzyskiwane jest zwykle rozwiązywane w kilku, kilkudziesięciu iteracjach”.
Zdanie jest źle napisane stylistycznie.
- 5) Na str. 65 rozpoczęto zdanie „Dyskretyzacja przestrzenna – Autor nie dokończył zdania.
- 6) Uwaga edycyjna – na str. 65: podpis pod rys.3.11 „Schemat zachowania modeli materiałowego” – powinno być: modelu materiałowego.
- 7) Na str. 68 rozdz. 3.3.3 Autor pisze: „Realizacja wymuszenia odbywała się przy użyciu płaszczyzny, którą wprowadzono do modelu na potrzeby wykonania testu. Do jej dyskretyzacji użyto powłokowych elementów czterowęzłowych. W celu odwzorowania jej

szywnego, nieodkształcalnego charakteru użyto materiału MAT_RIGID o gęstości i module sztywności wzdłużnej charakterystycznej dla stali (210 MPa).”

W powyższym tekście Autor sugeruje, że do odwzorowania sztywnej i nieodkształcalnej płyty przyjęto wartość modułu sztywności wzdłużnej charakterystycznej dla stali – w takim razie zastosowana płyta posiadała określoną sztywność i była odkształcalna, a nie jak zasugerowano całkowicie sztywna.

- 8) Na str. 68 opisano zasady modelowania interakcji kontaktowych podając, że do tego celu zastosowano jeden z dostępnych w oprogramowaniu algorytmów definiujących zagadnienie kontaktowe. Ze względu na charakter deformacji rdzenia ulowego (występujące kolejne fałdy podczas procesu ściskania) z punktu widzenia symulacji numerycznych w modelu będzie występował kontakt ciała samego z sobą (tzw. self-contact). Czy zastosowany w modelu algorytm uwzględniał to zjawisko?
- 9) Na str. 75 podano, że w celu odwzorowania warunków symetrii na ściankach modelu, zdefiniowano na ich krawędziach warunki brzegowe, polegające na odebraniu węzłom translacyjnego stopnia swobody względem osi X oraz rotacyjnych stopni swobody względem osi Y i Z. Przedstawiony na rys. 3.21 schemat powyższych warunków brzegowych nie koresponduje z opisem w tekście, ponieważ na rysunku zaznaczono zablokowanie translacyjnych stopni swobody względem osi X i Y oraz rotacyjnego stopnia swobody względem osi Z.
- 10) Str. 76: przedstawione na rys. 3.22 formy deformacji modelu „Y” różnią się od deformacji modelu całej struktury, przedstawionej na rys. 3.16 str. 71, w którym utrata stateczności rozpoczyna się w obszarze środka wysokości rdzenia, a w uproszczonym modelu struktury „Y” wyboczenie ścianek rozpoczyna się w okolicach górnych krawędzi ścian. Czy zdaniem Autora otrzymane jakościowe różnice pomiędzy modelami mają istotny wpływ na globalne wyniki prowadzonych analiz?
- 11) Str. 84: w ostatnim zdaniu podano niewłaściwe numery rysunków 3.30 i 3.31 – powinno być odpowiednio 3.33 oraz 3.34.
- 12) Str. 87: Autor napisał, że statyczne próby ściskania z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej INSTRON 8802 mogą być prowadzone z maksymalną prędkością przemieszczenia wynoszącą 1 - 5 m/s (?). Na str. 60 podano, że próby realizowano przy prędkościach przemieszczenia wynoszących 5 mm/min, natomiast na str. 100 podano, że prędkość przesuwu trawersy maszyny wynosiła 50 mm/min. Sugeruję sprawdzenie tych wartości i podanie właściwych odpowiedzi.

- 13) Na str. 86, 99 i 131 Autor używa sformułowania „w rozdziale 0” – w pracy nie ma takiego rozdziału.
- 14) Na rys. 4.12b str.98 nie zamieszczono opisu tensometrów.
- 15) Uwaga edycyjna – na str. 99: słowo „Przedstawia” w środku zdania powinno być napisane z małej litery.
- 16) Str. 144: na rys.6.5 nie zamieszczono układu współrzędnych, co utrudnia interpretację przedstawionych na rys, warunków brzegowych modelu.
- 17) Nie znaleziono w tekście dysertacji cytowań następujących pozycji literaturowych: [20], [56] oraz [113].

3. WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana praca zawiera wartościowe wyniki badań i stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe Autora. Zauważone i wymienione w poprzednim punkcie pewne niedociągnięcia w niczym nie umniejszają jej wartości. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie wniosków i uwag końcowych o charakterze zarówno poznawczym, jak i praktycznym. Ocenianą pracę postrzegam za wartościową pod względem naukowym oraz użytkowym.

Biorąc pod uwagę całość pracy tj. jej wartość poznawczą oraz wkład własny Autora stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Radosława Ciepielewskiego pt. "Modelowanie komputerowe struktur ulowych do zastosowań specjalnych z uwzględnieniem empirycznych charakterystyk wytrzymałościowych" spełnia wymagania stawiane w ustawie z dnia 14 marca 2003r., wraz z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003r. Nr 65, poz. 595) w odniesieniu do prac doktorskich. Wniosuję zatem o dopuszczenie dysertacji do publicznej obrony. Ponadto, ze względu na znaczący zakres przeprowadzonych badań oraz wysoki poziom naukowy i aplikacyjny prezentowanych wyników wniosuję o wyróżnienie recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej.

Hubert Debski