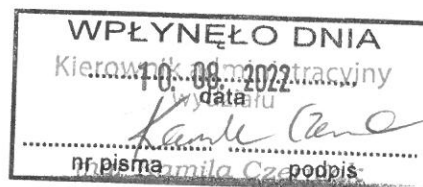


Prof. dr hab. inż. Bogdan Bochenek
Katedra Mechaniki Stosowanej i Biomechaniki
Wydział Mechaniczny
Politechnika Krakowska



Kraków, 2 sierpnia 2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
magistra inżyniera **Krzysztofa Sowińskiego**
**Analysis and optimization of stress distribution
in complex shell structures**

Tematyka i zakres rozprawy

Pan magister Krzysztof Sowiński prowadzi aktywną działalność badawczą w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Przedstawiona rozprawa doktorska jest podsumowaniem jego badań z ostatnich kilku lat. Tematyka pracy obejmuje szeroko rozumiane zagadnienia analizy wytrzymałościowej i optymalizacji cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych. Na plan pierwszy wysuwają się dwa problemy badawcze, mianowicie, zastosowanie metody Ritz'a do rozwiązania zadania analizy powłoki obrotowo symetrycznej oraz sformułowanie i rozwiązanie zadania optymalnego projektowania dennicy cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego. Rozwiązując pierwszy problem Autor zaproponował pół-analityczne ujęcie zadania analizy uwzględniające wpływ zginania powłoki, pozwalające na uzyskanie dokładniejszego rozwiązania w porównaniu do ujęcia analitycznego uwzględniającego tylko stan błonowy. Drugie zadanie dotyczy poszukiwania takiego kształtu dennicy powłoki, który pozwoli na obniżenie wartości maksymalnego naprężenia przy zachowaniu znormalizowanych wymiarów zewnętrznego zbiornika.

Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów, spisu literatury obejmującego 95 pozycji oraz trzech dodatków będących integralną częścią pracy. Dodatkami są publikacje Autora, przedstawiające wyniki badań stanowiących merytoryczną podstawę rozprawy. Układ pracy jest następujący. Początkowe rozdziały stanowią wprowadzenie do tematyki rozprawy. Autor przedstawia przegląd literatury z zakresu tematyki rozprawy, następnie omawia podstawy liniowej teorii powłok i obszernie przedstawia analizę wybranych powłok w stanie błonowym w ujęciu analitycznym. Autor rozważa powłoki toroidalne, sferyczne, elipsoidalne i cylindryczne. W kolejnych rozdziałach omawiana jest teoria zaburzeń brzegowych pozwalająca na uwzględnienie zginania powłoki oraz przedstawiona

jest analiza wytrzymałościowa wybranych zbiorników ciśnieniowych. Jako przykładowe Autor wybrał zbiorniki z zamknięciami elipsoidalnymi i toroidalnymi a rozwiązania analityczne porównał z otrzymanymi na podstawie obliczeń metodą elementów skończonych. Poczynając od rozdziału 4 Autor przedstawia wyniki własnych badań odwołując się przy tym do publikacji włączonych do pracy w formie dodatków. I tak, rozdział 4 odwołuje się do artykułu omawiającego zastosowanie metody Ritza do rozwiązania zadania analizy powłoki obrotowo symetrycznej, rozdział 5 odsyła do publikacji poświęconej problemowi redukcji wpływu zginania w zadaniu analizy zbiorników ciśnieniowych o niestandardowych kształtach dennicy, wreszcie rozdział 6 odwołuje się do artykułu, który przedstawia zadanie poszukiwania takiego kształtu zamknięcia zbiornika, który zapewni możliwie najmniejszą wartość maksymalnego naprężenia a równocześnie pozwoli na zachowanie znormalizowanych wymiarów zbiornika. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych Autor zweryfikował doświadczalnie co przedstawił w rozdziale 7. Całość pracy podsumowuje rozdział końcowy przedstawiający analizę wyników i wyciągnięte na jej podstawie wnioski.

Wartość merytoryczna rozprawy

Przedstawiona powyżej problematyka, którą Autor podjął w rozprawie, jest aktualna, nowoczesna i ma wyraźny aspekt badawczy. W obszarze obejmującym, szeroko rozumiane analizę i projektowanie zbiorników ciśnieniowych, praca zawiera dwa elementy istotne z merytorycznego punktu widzenia.

Po pierwsze Autor wskazuje, że ujęcie analityczne stosowane do analizy powłok oparte na teorii bezmomentowej oraz teorii zaburzeń brzegowych, z uwagi na przyjęte uproszczenia, prowadzi do rozwiązań, które obarczone są niedokładnościami. Jako alternatywę Autor proponuje ujęcie wykorzystujące metodę Ritza. Na podstawie przeprowadzonych badań, uwzględniając różne funkcje opisujące przemieszczenia powłoki, stwierdza, że przy zaproponowanym ujęciu uzyskane rozwiązania wykazują dużą zgodność z rozwiązaniami otrzymanymi przy zastosowaniu metody elementów skończonych.

Drugim obszarem badań, na którym skupił się Autor, jest projektowanie zbiorników ciśnieniowych. Rozważaną strukturą jest cylindryczny zbiornik pod działaniem równomiernie rozłożonego ciśnienia wewnętrznego. Projektowanie zbiornika może wiązać się z modyfikacją właściwości mechanicznych, czyli zmianą grubości ścianki czy doбором odpowiedniego materiału, albo obejmuje modyfikację kształtu powłoki zbiornika. W pracy rozważany jest ostatni z wymienionych problemów czyli modyfikacja kształtu standardowego zbiornika ciśnieniowego. W przypadku znormalizowanych geometrii zamknięcia zbiornika wartości naprężenia w dennicy przekraczają te występujące w części walcowej. Jednym z możliwych rozwiązań, które może poprawić sytuację jest zmiana kształtu zamknięcia zbiornika. Autor proponuje dwa spojrzenia na ten problem. Z jednej strony możliwe jest zastosowanie jako zamknięć zbiornika powłok o niestandardowych kształtach, z drugiej natomiast, możliwe jest zaprojektowanie odpowiedniego kształtu dennicy. Zastosowanie zamknięcia zbiornika powłoką,

której południk opisują owal Cassiniego, leminiskata Bootha czy uogólniona klotoida istotnie poprawiło rozkład naprężenia w dennicy, zredukowało wpływ zginania, szczególnie dla większych wartości względnej wysokości dennicy, ale niekorzystnie wpłynęło na wartość naprężenia w części walcowej zbiornika. Dopiero zastosowanie oryginalnej numerycznej procedury wyznaczania kształtu dennicy pozwoliło na istotną poprawę rozkładu naprężenia przy zachowaniu znormalizowanych wymiarów zbiornika. Ważnym elementem badań przedstawionych w rozprawie jest weryfikacja doświadczalna otrzymanych wyników obliczeń. Badania eksperymentalne przeprowadzono dla powłoki ze zoptymalizowaną dennicą, wykonaną przy zastosowaniu technologii wytwarzania przyrostowego. Badania potwierdziły korzystne charakterystyki zaproponowanych kształtów dennic.

Realizując pracę Autor połączył ujęcie analityczne i dostępne nowoczesne narzędzia obliczeniowe i w odniesieniu do przyjętej koncepcji badań opracował narzędzia analizy i projektowania cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych. Przedstawione w pracy zagadnienia nie należą do łatwych, zarówno z punktu widzenia prowadzenia obliczeń analitycznych, numerycznych symulacji, sformułowania i rozwiązania problemu optymalizacji badanych struktur, a także doświadczalnej weryfikacji otrzymanych rozwiązań. Należy zatem podkreślić duży wysiłek Autora włożony w połączenie wszystkich aspektów badań. Całość rozprawy oceniam pozytywnie. Nieliczne uwagi, głównie o charakterze dyskusyjnym, przedstawiam poniżej.

Uwagi i komentarze

Rozdziały 2 i 3 stanowią interesujące, potrzebne, chociaż może nieco zbyt obszerne, wprowadzenie do tematyki pracy. Niezależnie od tego, jako bardzo wartościowe należy uznać przedstawione przez Autora objaśnienia i dyskusje dotyczące omawianych ujęć i prezentowanych wyników przykładowych obliczeń.

Realizując pracę Autor publikował oryginalne koncepcje i wyniki kolejnych etapów badań. Rozprawa jest ich podsumowaniem, a włączone do niej publikacje stanowią jej integralną część. Można zatem przyjąć, że zaproponowane przez Autora zagadnienia zostały już na etapie recenzji wydawniczych ocenione pozytywnie.

Artykuł A1 przedstawia zastosowanie metody Ritza do analizy stanu naprężenia i odkształcenia w zbiornikach ciśnieniowych przy uwzględnieniu efektu brzegowego. Praca jest odpowiedzią na brak w literaturze analitycznego ujęcia tego problemu.

Jakie są praktyczne możliwości wykorzystania zaproponowanego ujęcia? W jakim zakresie może być ono alternatywą dla ujęcia numerycznego i obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem metody elementów skończonych?

Czy można zaproponowane ujęcie powiązać z zadaniem optymalizacji zbiornika?

Artykuł A2 podejmuje tematykę poszukiwania kształtu dennicy zbiornika ciśnieniowego, który pozwoli na zredukowanie efektu brzegowego, związanego ze zginaniem wywołanym w miejscu łączenia dennicy z częścią walcową zbiornika. Analizie poddane są powłoki o określonej geometrii.

Jakie względy zdecydowały o takim a nie innym wyborze krzywych opisujących kształt zamknięcia zbiornika?

Interesujące byłoby porównanie otrzymanych rozwiązań z wynikami podobnej analizy dla typowych kształtów dennic.

Jakie wnioski istotne z punktu widzenia praktyki inżynierskiej można sformułować na podstawie wyników przeprowadzonych badań?

Artykuł A3 poświęcony jest optymalizacji kształtu zamknięcia cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego a celem pracy jest minimalizacja maksymalnej wartości naprężenia. Autor proponuje dwa ujęcia problemu. Jedno oparte jest na teorii bezmomentowej, wartości funkcji celu obliczane są analitycznie a minimalizacja przeprowadzana jest z wykorzystaniem deterministycznego algorytmu sekwencyjnego kwadratowego programowania. Drugie ujęcie uwzględnia efekt zginania, wartości funkcji celu są wyznaczone numerycznie na podstawie analizy metodą elementów skończonych a za minimalizację odpowiedzialny jest algorytm genetyczny.

Jakie względy zdecydowały o wyborze algorytmu genetycznego? Moje doświadczenie z pracy z algorytmami bezgradientowymi podpowiada mi raczej algorytm optymalizacji rojem cząstek (PSO – Particle Swarm Optimization), algorytm zderzanych ciał (CBO - Colliding Bodies Optimization) czy algorytm szarego wilka (GWO - Grey Wolf Optimizer).

Dlaczego do rozwiązania problemu sformułowanego w pracy nie rozważano zastosowania algorytmu gradientowego, na przykład bardzo popularnego – MMA, opartego na metodzie ruchomych asymptot (MMA - Method of Moving Asymptotes)?

W rozdziale 5 artykułu przydałoby się nieco szerzej omówić sformułowanie problemu optymalizacji.

Jak skomentować fakt, że przedstawione w publikacji A3 na Rys.26 kształty praktycznie nie różnią się między sobą? Jak przełoży się to na ewentualne zastosowanie optymalnych rozwiązań w praktyce inżynierskiej?

Problem optymalizacji jest przedstawiany w pracy jako minimalizacja maksymalnej wartości naprężenia. Wydaje się, że wygodnym ujęciem takiego zadania jest sformułowanie z ograniczeniem (bound formulation) rozważane na przykład w pracach: *Olhoff, N., Solution of max-min problems via bound formulation and mathematical programming. in: Rozvany, G.I.N., Karihaloo, B.L. (eds) Structural Optimization. Springer, Dordrecht, 1988; Olhoff, N., Multicriterion structural optimization via bound formulation and mathematical programming,*

Structural Optimization, 1, 1989, 11–17; Bendsoe, M., Olhoff, N., Rasmussen, J., *On CAD-integrated structural topology and design optimization*, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 89, 1991, 2359-279. Warto byłoby się zastanowić nad możliwością zastosowanie tego ujęcia do rozwiązania problemu rozważanego w pracy.

Rozdział 7 przedstawiający eksperymentalną weryfikację wyników otrzymanych w procesie optymalizacji stanowi bardzo cenne uzupełnienie pracy i materiał na kolejną publikację.

Poprawność redakcyjna rozprawy

Redagując pracę Autor zdecydował się na przygotowanie obszernego wprowadzenia do tematyki pracy, natomiast oryginalny materiał będący podsumowaniem wyników badań został przedstawiony jedynie w formie publikacji włączonych do tekstu pracy. Nie do końca przekonuje mnie włączenie publikacji do tekstu pracy jako jej integralnej części. W efekcie w tekście pracy i w artykułach powtarzane są dość podobne wprowadzenia, pojawiają się te same rysunki, może zdarzyć się, że zastosowane będą różne oznaczenia tych samych wielkości lub te same oznaczenia różnych wielkości.

W mojej ocenie praca mogłaby być zredagowana nieco inaczej. Wprowadzenie do tematyki pracy mogłoby być znacznie skrócone, przy rezygnacji z części obszernych opisów zawartych w rozdziale 3, natomiast przedstawienie wyników badań stanowiących istotę pracy, opracowane na podstawie publikacji, pozwoliłoby skupić uwagę na oryginalnych rozwiązaniach Autora. Ta bardziej tradycyjna forma rozprawy, z jednej strony ułatwiłaby jej lekturę, z drugiej natomiast, pozwoliłaby Autorowi na szersze przedstawienie i umiejscowienie swoich dokonań na tle aktualnego stanu wiedzy. Równocześnie podkreśliłoby to wagę niewątpliwego osiągnięcia Autora jakim jest opublikowanie już na etapie realizacji pracy, wyników badań stanowiących jej merytoryczną podstawę.

Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska magistra Krzysztofa Sowińskiego stanowi interesujące studium poświęcone analizie i projektowaniu cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych o różnych kształtach dennic. Jest dobrze umotywowanym oryginalnym opracowaniem naukowym. Autor wykazał się wiedzą z zakresu szeroko rozumianej inżynierii mechanicznej oraz sporą biegłością jeżeli chodzi o posługiwanie się narzędziami teoretycznej, numerycznej i doświadczalnej analizy konstrukcji powłokowych. Doktorant umiejętnie połączył zadanie analizy złożonych struktur powłokowych z problemem optymalizacji ich kształtu otrzymując na tej podstawie szereg nowych i oryginalnych rozwiązań.

Praca ma przede wszystkim walor badawczy, stanowi istotny wkład w rozwój podjętej tematyki badań, pokazując możliwości zastosowania efektywnych narzędzi analizy i optymalizacji. W mojej ocenie Autor zaznaczył swój wkład

w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna a przedstawione ujęcia oraz ich potencjał badawczy poszerzają wiedzę współczesnego inżyniera.

Warte podkreślenia jest również to, że przygotowując rozprawę doktorską magister Krzysztof Sowiński zgromadził już zauważalny dorobek naukowy. Trzy prace Autora: *Sowiński K., Magnucki K., Shaping of dished heads of the cylindrical pressure vessel for diminishing of the edge effect, Thin-Walled Structures, 2018, 131, 746-754*, *Sowiński K., The Ritz method application for stress and deformation analyses of standard orthotropic pressure vessels, Thin-Walled Structures 2021, 162, 107585*, *Sowiński K., Stress distribution optimization in dished ends of cylindrical pressure vessels, Thin-Walled Structures, 2022, 171, 108808* są podstawą rozprawy doktorskiej. Wymienione prace oraz dwie kolejne: *Sowiński K., Jasion P., Strength and stability of shells based on Booth lemniscate loaded with external pressure, Thin-Walled Structures, 2019, 144, 106284*, *Sowiński K., Buckling of shells with special shapes with corrugated middle surfaces – FEM study, Engineering Structures, 2019, 179, 310-320* są obecne w bazie Scopus co potwierdza rozpoznawalność dorobku Autora. Indeks Hirscha na poziomie 4 jest również godny odnotowania. Zgromadzony dorobek bardzo dobrze świadczy o Doktorancie i potwierdza jego aktywność naukową. Raczej rzadko się zdarza, aby na tym etapie kariery taki dorobek publikacyjny towarzyszył realizacji pracy doktorskiej.

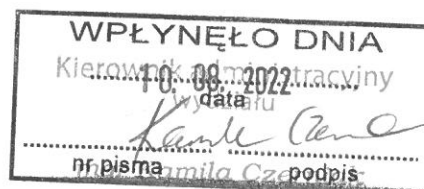
Podsumowując, uwzględniając wszystkie aspekty oceny recenzowanej rozprawy, stwierdzam, że spełnia ona warunki stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie magistra Krzysztofa Sowińskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Równocześnie, biorąc pod uwagę znaczący dorobek naukowy Doktoranta, będący podstawą opracowania rozprawy, uważam za zasadne rozważenie możliwości jej wyróżnienia. Praca zawiera wartościowe i oryginalne rozwiązania złożonych zadań analizy i projektowania. Ma przede wszystkim walor poznawczy ale uzyskane przez Autora wyniki mogą znaleźć zastosowanie również w praktyce inżynierskiej. Najważniejsze jednak jest to, że wyniki badań Autora zostały przedstawione w trzech artykułach, w tym dwóch samodzielnych, opublikowanych w wysoko punktowanym, renomowanym czasopiśmie.



Bogdan Bochenek

Prof. dr hab. inż. Bogdan Bochenek
Katedra Mechaniki Stosowanej i Biomechaniki
Wydział Mechaniczny
Politechnika Krakowska



Kraków, 2 sierpnia 2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
magistra inżyniera **Krzysztofa Sowińskiego**
**Analysis and optimization of stress distribution
in complex shell structures**

Tematyka i zakres rozprawy

Pan magister Krzysztof Sowiński prowadzi aktywną działalność badawczą w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Przedstawiona rozprawa doktorska jest podsumowaniem jego badań z ostatnich kilku lat. Tematyka pracy obejmuje szeroko rozumiane zagadnienia analizy wytrzymałościowej i optymalizacji cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych. Na plan pierwszy wysuwają się dwa problemy badawcze, mianowicie, zastosowanie metody Ritza do rozwiązania zadania analizy powłoki obrotowo symetrycznej oraz sformułowanie i rozwiązanie zadania optymalnego projektowania dennicy cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego. Rozwiązując pierwszy problem Autor zaproponował pół-analityczne ujęcie zadania analizy uwzględniające wpływ zginania powłoki, pozwalające na uzyskanie dokładniejszego rozwiązania w porównaniu do ujęcia analitycznego uwzględniającego tylko stan błonowy. Drugie zadanie dotyczy poszukiwania takiego kształtu dennicy powłoki, który pozwoli na obniżenie wartości maksymalnego naprężenia przy zachowaniu znormalizowanych wymiarów zewnętrznych zbiornika.

Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów, spisu literatury obejmującego 95 pozycji oraz trzech dodatków będących integralną częścią pracy. Dodatkami są publikacje Autora, przedstawiające wyniki badań stanowiących merytoryczną podstawę rozprawy. Układ pracy jest następujący. Początkowe rozdziały stanowią wprowadzenie do tematyki rozprawy. Autor przedstawia przegląd literatury z zakresu tematyki rozprawy, następnie omawia podstawy liniowej teorii powłok i obszernie przedstawia analizę wybranych powłok w stanie błonowym w ujęciu analitycznym. Autor rozważa powłoki toroidalne, sferyczne, elipsoidalne i cylindryczne. W kolejnych rozdziałach omawiana jest teoria zaburzeń brzegowych pozwalająca na uwzględnienie zginania powłoki oraz przedstawiona

jest analiza wytrzymałościowa wybranych zbiorników ciśnieniowych. Jako przykładowe Autor wybrał zbiorniki z zamknięciami elipsoidalnymi i toroidalnymi a rozwiązania analityczne porównał z otrzymanymi na podstawie obliczeń metodą elementów skończonych. Poczynając od rozdziału 4 Autor przedstawia wyniki własnych badań odwołując się przy tym do publikacji włączonych do pracy w formie dodatków. I tak, rozdział 4 odwołuje się do artykułu omawiającego zastosowanie metody Ritza do rozwiązania zadania analizy powłoki obrotowo symetrycznej, rozdział 5 odsyła do publikacji poświęconej problemowi redukcji wpływu zginania w zadaniu analizy zbiorników ciśnieniowych o niestandardowych kształtach dennicy, wreszcie rozdział 6 odwołuje się do artykułu, który przedstawia zadanie poszukiwania takiego kształtu zamknięcia zbiornika, który zapewni możliwie najmniejszą wartość maksymalnego naprężenia a równocześnie pozwoli na zachowanie znormalizowanych wymiarów zbiornika. Otrzymane wyniki obliczeń numerycznych Autor zweryfikował doświadczalnie co przedstawił w rozdziale 7. Całość pracy podsumowuje rozdział końcowy przedstawiający analizę wyników i wyciągnięte na jej podstawie wnioski.

Wartość merytoryczna rozprawy

Przedstawiona powyżej problematyka, którą Autor podjął w rozprawie, jest aktualna, nowoczesna i ma wyraźny aspekt badawczy. W obszarze obejmującym, szeroko rozumiane analizę i projektowanie zbiorników ciśnieniowych, praca zawiera dwa elementy istotne z merytorycznego punktu widzenia.

Po pierwsze Autor wskazuje, że ujęcie analityczne stosowane do analizy powłok oparte na teorii bezmomentowej oraz teorii zaburzeń brzegowych, z uwagi na przyjęte uproszczenia, prowadzi do rozwiązań, które obarczone są niedokładnościami. Jako alternatywę Autor proponuje ujęcie wykorzystujące metodę Ritza. Na podstawie przeprowadzonych badań, uwzględniając różne funkcje opisujące przemieszczenia powłoki, stwierdza, że przy zaproponowanym ujęciu uzyskane rozwiązania wykazują dużą zgodność z rozwiązaniami otrzymanymi przy zastosowaniu metody elementów skończonych.

Drugim obszarem badań, na którym skupił się Autor, jest projektowanie zbiorników ciśnieniowych. Rozważaną strukturą jest cylindryczny zbiornik pod działaniem równomiernie rozłożonego ciśnienia wewnętrznego. Projektowanie zbiornika może wiązać się z modyfikacją właściwości mechanicznych, czyli zmianą grubości ścianki czy doбором odpowiedniego materiału, albo obejmuje modyfikację kształtu powłoki zbiornika. W pracy rozważany jest ostatni z wymienionych problemów czyli modyfikacja kształtu standardowego zbiornika ciśnieniowego. W przypadku znormalizowanych geometrii zamknięcia zbiornika wartości naprężenia w dennicy przekraczają te występujące w części walcowej. Jednym z możliwych rozwiązań, które może poprawić sytuację jest zmiana kształtu zamknięcia zbiornika. Autor proponuje dwa spojrzenia na ten problem. Z jednej strony możliwe jest zastosowanie jako zamknięć zbiornika powłok o niestandardowych kształtach, z drugiej natomiast, możliwe jest zaprojektowanie odpowiedniego kształtu dennicy. Zastosowanie zamknięcia zbiornika powłoką,

której południk opisują owal Cassiniego, lemniskata Bootha czy uogólniona klotoida istotnie poprawiło rozkład naprężenia w dennicy, zredukowało wpływ zginania, szczególnie dla większych wartości względnej wysokości dennicy, ale niekorzystnie wpłynęło na wartość naprężenia w części walcowej zbiornika. Dopiero zastosowanie oryginalnej numerycznej procedury wyznaczania kształtu dennicy pozwoliło na istotną poprawę rozkładu naprężenia przy zachowaniu znormalizowanych wymiarów zbiornika. Ważnym elementem badań przedstawionych w rozprawie jest weryfikacja doświadczalna otrzymanych wyników obliczeń. Badania eksperymentalne przeprowadzono dla powłoki ze zoptymalizowaną dennicą, wykonaną przy zastosowaniu technologii wytwarzania przyrostowego. Badania potwierdziły korzystne charakterystyki zaproponowanych kształtów dennic.

Realizując pracę Autor połączył ujęcie analityczne i dostępne nowoczesne narzędzia obliczeniowe i w odniesieniu do przyjętej koncepcji badań opracował narzędzia analizy i projektowania cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych. Przedstawione w pracy zagadnienia nie należą do łatwych, zarówno z punktu widzenia prowadzenia obliczeń analitycznych, numerycznych symulacji, sformułowania i rozwiązania problemu optymalizacji badanych struktur, a także doświadczalnej weryfikacji otrzymanych rozwiązań. Należy zatem podkreślić duży wysiłek Autora włożony w połączenie wszystkich aspektów badań. Całość rozprawy oceniam pozytywnie. Nieliczne uwagi, głównie o charakterze dyskusyjnym, przedstawiam poniżej.

Uwagi i komentarze

Rozdziały 2 i 3 stanowią interesujące, potrzebne, chociaż może nieco zbyt obszerne, wprowadzenie do tematyki pracy. Niezależnie od tego, jako bardzo wartościowe należy uznać przedstawione przez Autora objaśnienia i dyskusje dotyczące omawianych ujęć i prezentowanych wyników przykładowych obliczeń.

Realizując pracę Autor publikował oryginalne koncepcje i wyniki kolejnych etapów badań. Rozprawa jest ich podsumowaniem, a włączone do niej publikacje stanowią jej integralną część. Można zatem przyjąć, że zaproponowane przez Autora zagadnienia zostały już na etapie recenzji wydawniczych ocenione pozytywnie.

Artykuł A1 przedstawia zastosowanie metody Ritza do analizy stanu naprężenia i odkształcenia w zbiornikach ciśnieniowych przy uwzględnieniu efektu brzegowego. Praca jest odpowiedzią na brak w literaturze analitycznego ujęcia tego problemu.

Jakie są praktyczne możliwości wykorzystania zaproponowanego ujęcia? W jakim zakresie może być ono alternatywą dla ujęcia numerycznego i obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem metody elementów skończonych?

Czy można zaproponowane ujęcie powiązać z zadaniem optymalizacji zbiornika?

Artykuł A2 podejmuje tematykę poszukiwania kształtu dennicy zbiornika ciśnieniowego, który pozwoli na zredukowanie efektu brzegowego, związanego ze zginaniem wywołanym w miejscu łączenia dennicy z częścią walcową zbiornika. Analizie poddane są powłoki o określonej geometrii.

Jakie względy zdecydowały o takim a nie innym wyborze krzywych opisujących kształt zamknięcia zbiornika?

Interesujące byłoby porównanie otrzymanych rozwiązań z wynikami podobnej analizy dla typowych kształtów dennic.

Jakie wnioski istotne z punktu widzenia praktyki inżynierskiej można sformułować na podstawie wyników przeprowadzonych badań?

Artykuł A3 poświęcony jest optymalizacji kształtu zamknięcia cylindrycznego zbiornika ciśnieniowego a celem pracy jest minimalizacja maksymalnej wartości naprężenia. Autor proponuje dwa ujęcia problemu. Jedno oparte jest na teorii bezmomentowej, wartości funkcji celu obliczane są analitycznie a minimalizacja przeprowadzana jest z wykorzystaniem deterministycznego algorytmu sekwencyjnego kwadratowego programowania. Drugie ujęcie uwzględnia efekt zginania, wartości funkcji celu są wyznaczone numerycznie na podstawie analizy metodą elementów skończonych a za minimalizację odpowiedzialny jest algorytm genetyczny.

Jakie względy zdecydowały o wyborze algorytmu genetycznego? Moje doświadczenie z pracy z algorytmami bezgradientowymi podpowiada mi raczej algorytm optymalizacji rojem cząstek (PSO – Particle Swarm Optimization), algorytm zderzanych ciał (CBO - Colliding Bodies Optimization) czy algorytm szarego wilka (GWO - Grey Wolf Optimizer).

Dlaczego do rozwiązania problemu sformułowanego w pracy nie rozważano zastosowania algorytmu gradientowego, na przykład bardzo popularnego – MMA, opartego na metodzie ruchomych asymptot (MMA - Method of Moving Asymptotes)?

W rozdziale 5 artykułu przydałoby się nieco szerzej omówić sformułowanie problemu optymalizacji.

Jak skomentować fakt, że przedstawione w publikacji A3 na Rys.26 kształty praktycznie nie różnią się między sobą? Jak przełoży się to na ewentualne zastosowanie optymalnych rozwiązań w praktyce inżynierskiej?

Problem optymalizacji jest przedstawiany w pracy jako minimalizacja maksymalnej wartości naprężenia. Wydaje się, że wygodnym ujęciem takiego zadania jest sformułowanie z ograniczeniem (bound formulation) rozważane na przykład w pracach: *Olhoff, N., Solution of max-min problems via bound formulation and mathematical programming. in: Rozvany, G.I.N., Karihaloo, B.L. (eds) Structural Optimization. Springer, Dordrecht, 1988; Olhoff, N., Multicriterion structural optimization via bound formulation and mathematical programming,*

Structural Optimization, 1, 1989, 11–17; Bendsoe, M., Olhoff, N., Rasmussen, J., *On CAD-integrated structural topology and design optimization*, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 89, 1991, 2359-279. Warto byłoby się zastanowić nad możliwością zastosowanie tego ujęcia do rozwiązania problemu rozważanego w pracy.

Rozdział 7 przedstawiający eksperymentalną weryfikację wyników otrzymanych w procesie optymalizacji stanowi bardzo cenne uzupełnienie pracy i materiał na kolejną publikację.

Poprawność redakcyjna rozprawy

Redagując pracę Autor zdecydował się na przygotowanie obszernego wprowadzenia do tematyki pracy, natomiast oryginalny materiał będący podsumowaniem wyników badań został przedstawiony jedynie w formie publikacji włączonych do tekstu pracy. Nie do końca przekonuje mnie włączenie publikacji do tekstu pracy jako jej integralnej części. W efekcie w tekście pracy i w artykułach powtarzane są dość podobne wprowadzenia, pojawiają się te same rysunki, może zdarzyć się, że zastosowane będą różne oznaczenia tych samych wielkości lub te same oznaczenia różnych wielkości.

W mojej ocenie praca mogłaby być zredagowana nieco inaczej. Wprowadzenie do tematyki pracy mogłoby być znacznie skrócone, przy rezygnacji z części obszernych opisów zawartych w rozdziale 3, natomiast przedstawienie wyników badań stanowiących istotę pracy, opracowane na podstawie publikacji, pozwoliłoby skupić uwagę na oryginalnych rozwiązaniach Autora. Ta bardziej tradycyjna forma rozprawy, z jednej strony ułatwiłaby jej lekturę, z drugiej natomiast, pozwoliłaby Autorowi na szersze przedstawienie i umiejscowienie swoich dokonań na tle aktualnego stanu wiedzy. Równocześnie podkreśliłoby to wagę niewątpliwego osiągnięcia Autora jakim jest opublikowanie już na etapie realizacji pracy, wyników badań stanowiących jej merytoryczną podstawę.

Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska magistra Krzysztofa Sowińskiego stanowi interesujące studium poświęcone analizie i projektowaniu cylindrycznych zbiorników ciśnieniowych o różnych kształtach dennic. Jest dobrze umotywowanym oryginalnym opracowaniem naukowym. Autor wykazał się wiedzą z zakresu szeroko rozumianej inżynierii mechanicznej oraz sporą biegłością jeżeli chodzi o posługiwanie się narzędziami teoretycznej, numerycznej i doświadczalnej analizy konstrukcji powłokowych. Doktorant umiejętnie połączył zadanie analizy złożonych struktur powłokowych z problemem optymalizacji ich kształtu otrzymując na tej podstawie szereg nowych i oryginalnych rozwiązań.

Praca ma przede wszystkim walor badawczy, stanowi istotny wkład w rozwój podjętej tematyki badań, pokazując możliwości zastosowania efektywnych narzędzi analizy i optymalizacji. W mojej ocenie Autor zaznaczył swój wkład

w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna a przedstawione ujęcia oraz ich potencjał badawczy poszerzają wiedzę współczesnego inżyniera.

Warte podkreślenia jest również to, że przygotowując rozprawę doktorską magister Krzysztof Sowiński zgromadził już zauważalny dorobek naukowy. Trzy prace Autora: *Sowiński K., Magnucki K., Shaping of dished heads of the cylindrical pressure vessel for diminishing of the edge effect, Thin-Walled Structures, 2018, 131, 746-754*, *Sowiński K., The Ritz method application for stress and deformation analyses of standard orthotropic pressure vessels, Thin-Walled Structures 2021, 162, 107585*, *Sowiński K., Stress distribution optimization in dished ends of cylindrical pressure vessels, Thin-Walled Structures, 2022, 171, 108808* są podstawą rozprawy doktorskiej. Wymienione prace oraz dwie kolejne: *Sowiński K., Jasion P., Strength and stability of shells based on Booth lemniscate loaded with external pressure, Thin-Walled Structures, 2019, 144, 106284*, *Sowiński K., Buckling of shells with special shapes with corrugated middle surfaces – FEM study, Engineering Structures, 2019, 179, 310-320* są obecne w bazie Scopus co potwierdza rozpoznawalność dorobku Autora. Indeks Hirscha na poziomie 4 jest również godny odnotowania. Zgromadzony dorobek bardzo dobrze świadczy o Doktorancie i potwierdza jego aktywność naukową. Raczej rzadko się zdarza, aby na tym etapie kariery taki dorobek publikacyjny towarzyszył realizacji pracy doktorskiej.

Podsumowując, uwzględniając wszystkie aspekty oceny recenzowanej rozprawy, stwierdzam, że spełnia ona warunki stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie magistra Krzysztofa Sowińskiego do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Równocześnie, biorąc pod uwagę znaczący dorobek naukowy Doktoranta, będący podstawą opracowania rozprawy, uważam za zasadne rozważenie możliwości jej wyróżnienia. Praca zawiera wartościowe i oryginalne rozwiązania złożonych zadań analizy i projektowania. Ma przede wszystkim walor poznawczy ale uzyskane przez Autora wyniki mogą znaleźć zastosowanie również w praktyce inżynierskiej. Najważniejsze jednak jest to, że wyniki badań Autora zostały przedstawione w trzech artykułach, w tym dwóch samodzielnych, opublikowanych w wysoko punktowanym, renomowanym czasopiśmie.



Bogdan Bochenek