

## Streszczenie

Działalność człowieka w dziedzinie inżynierii sięga starożytności. Osiągnięcia w tym obszarze nauki bezpośrednio przyczyniły się do daleko idącego rozwoju cywilizacyjnego. Obecnie rozwój technologii koncentruje się na zaawansowanych rozwiązaniach w zakresie projektowania konstrukcji w celu poprawy ich szeroko rozumianych właściwości.

Podstawowym wyznacznikiem w projektowaniu konstrukcji jest bez wątpienia ich nośność, zapewniająca bezpieczną eksploatację i zapobiegająca nieoptymalnemu wykorzystaniu biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne. W celu odniesienia się do tego problemu konieczne jest zapewnienie specjalnych metod i narzędzi umożliwiających badania wytrzymałościowe. Prezentowane zagadnienia są poświęcone analizie i optymalizacji rozkładu naprężeń w złożonych konstrukcjach powłokowych. Struktury te służą jako elementy nośne wielu istotnych konstrukcji znajdujących zastosowanie w przemyśle. Przedstawione rozważania są zawężone do problemów walcowych zbiorników ciśnieniowych, jednakże podobna metodologia może być zaadaptowana do niemal każdego problemu liniowego z obszaru powłok.

Na podstawie analizy literatury sformułowano następujące tezy w rozprawie.

- (1) Rozwiązania analityczne oparte na teorii powłok problemów naprężeń i deformacji konstrukcji powłokowych mogą prowadzić do niedokładnych wyników.*
- (2) Rozkład naprężeń w znormalizowanych dennicach ciśnieniowych zbiorników walcowych jest niekorzystny.*

Celem odniesienia się do powyższych problemów z zakresu konstrukcji powłokowych, sformułowano następujące hipotezy.

- (1) Zastosowanie metody Ritz'a do rozwiązywania problemów naprężeń i deformacji powłok może prowadzić do otrzymywania wyników o większej dokładności niż w przypadku rozwiązań analitycznych.*
- (2) Optymalizacja kształtu dennicy walcowego zbiornika ciśnieniowego może doprowadzić do znaczącej poprawy rozkładu naprężeń przy zachowaniu znormalizowanych wymiarów.*

W pracy podejmowane są badania analityczne, semi-analityczne, numeryczne i eksperymentalne celem pogłębienia wiedzy i zaproponowania poprawy w świetle analizowanej problematyki naukowej.

Pierwsza część badań jest oparta na teoriach oraz metodach zawartych w literaturze. Naprężenia oraz deformacje ciśnieniowych zbiorników walcowych ze znormalizowanymi dennicami elipsoidalnymi i toroidalno-sferycznymi są analizowane z zastosowaniem teorii bezmomenowej oraz teorii zaburzeń brzegowych. Dwa sformułowania teorii zaburzeń brzegowych są rozważane, zastosowane i porównane. Wyprowadzenia są przedstawione dla liniowego, ortotropowego modelu materiałowego. Otrzymane wyniki pokazują, że superpozycja rozwiązania w ramach teorii bezmomentowej oraz zaburzeń brzegowych może prowadzić do otrzymania niezadowolających wyników w związku z uproszczeniami w teorii bezmomentowej oraz pominięciu wpływu obciążeń powierzchniowych w zjawiskach zgięciowych.

Te same konstrukcje są poddawane analizie semi-analitycznej z zastosowaniem metody Ritza. Funkcje opisujące przemieszczenia w metodzie Ritza przyjmują postać wielomianów, szeregów trygonometrycznych oraz funkcji przypominających rozwiązania otrzymywane w teorii zaburzeń brzegowych. Badany jest wpływ stopnia owych funkcji na uzyskiwane wyniki. Rezultaty badania pokazują, że zgodność wyników z metodą elementów skończonych jest otrzymywana dla relatywnie dużego zakresu grubości, co potwierdzają niemal identyczne wartości naprężeń, przemieszczeń oraz energii odkształcenia sprężystego.

W przeprowadzonych obliczeniach walcowych zbiorników ciśnieniowych, uwagę zwraca się na niekorzystny rozkład naprężeń. Maksymalne wartości naprężeń zredukowanych w dennicach znormalizowanych znacząco przekraczają te, które powstają w części walcowej. Taki stan rzeczy powodowany jest nadmiernymi obciążeniami brzegowymi w połączeniu powłok, doprowadzając do zjawisk zgięciowych. Kształty den zostały w dalszych rozważaniach opisane za pomocą trzech krzywych analitycznych tj. owalu Cassiniego i Bootha oraz uogólnionej postaci klotoidy. Zdefiniowane zostały pewne warunki geometryczne celem zmniejszenia intensywności efektu brzegowego. Doprowadziły do zamierzonej poprawy rozkładu naprężeń w obszarze połączenia powłok, jednakże sprawiły, że doszło do ich wzrostu poza tym miejscem. Zaproponowane powłoki nie stanowią znaczącej poprawy w odniesieniu do kształtów znormalizowanych, jednak ich badania przyczyniły się do sformułowania istotnych wniosków dla dalszych prac.

Zdolność do przenoszenia relatywnie wysokich obciążeń przez konstrukcje powłokowe wynika z ich postaci geometrycznej. Poszukiwanie bardziej korzystnych rozwiązań związane jest zatem z odwołaniem się do zagadnień optymalizacji ich kształtu. W ramach ogólnych rozważań na ten temat, dość można do wniosku, że

wybór arbitralnych rozwiązań z nieskończonego zbioru możliwości zazwyczaj prowadzi do niezadowolających wyników. W niniejszej pracy optymalizacja prowadzona jest w dwóch oddzielnych procesach. Opracowana została krzywa parametryczna opisująca geometrię dennicy. Początkowo funkcja celu jest wyznaczana przy odwołaniu do teorii bezmomentowej powłok, a optymalizacja prowadzona jest z zastosowaniem deterministycznego algorytmu. W związku z uproszczoną naturą rozwiązania analitycznego, procedura zostaje następnie zmodyfikowana. Wartość funkcji przystosowania obliczana jest za pomocą metody elementów skończonych, natomiast optymalizacja jest realizowana za pomocą algorytmu genetycznego. Otrzymana poprawa rozkładu naprężeń jest znacząca przy możliwości wytwarzania dennic metodami konwencjonalnymi i zachowaniu znormalizowanych wymiarów ogólnych.

Ostatecznie wyniki optymalizacji są weryfikowane w ramach badania eksperymentalnego. Zbiornik ciśnieniowy ze zoptymalizowaną dennicą jest otrzymany za pomocą technologii wytwarzania przyrostowego Multi Jet Fusion. Pomiary wymiarów modelu realizowane są przy użyciu skanera optycznego, celem weryfikacji imperfekcji geometrycznych oraz utworzenia modelu CAD rzeczywistej konstrukcji. Geometria ta jest poddana badaniom numerycznym metodą elementów skończonych. Wytworzony zbiornik zostaje zbadany na zaprojektowanym stanowisku laboratoryjnym pozwalającym na obciążenie go wewnętrznym ciśnieniem. Analiza polega na zastosowaniu tensometrów do wyznaczenia rzeczywistego rozkładu naprężeń. Wyniki zostają porównane dla geometrii zoptymalizowanej i rzeczywistej w ramach obliczeń metodą elementów skończonych, a następnie zestawione z rezultatem badań eksperymentalnych. Osiągnięta zostaje zadowolająca zgodność, potwierdzająca korzystną charakterystykę opracowanych kształtów dennic.