

Leon KUKIELKA, Krzysztof KUKIELKA, Katarzyna GELETA, Łukasz CĄKAŁA

OPTYMALIZACJA ZBIORNIKA NA GAZ PŁYNNY LPG

Streszczenie

Praca dotyczy optymalizacji kształtu zbiornika toroidalnego na gaz LPG. Kryterium optymalizacji była minimalizacja naprężeń oraz masy całkowitej zbiornika przy zadanych ograniczeniach wymiarowych. Określono zbiór rozwiązań oraz wskazano najkorzystniejsze.

WSTĘP

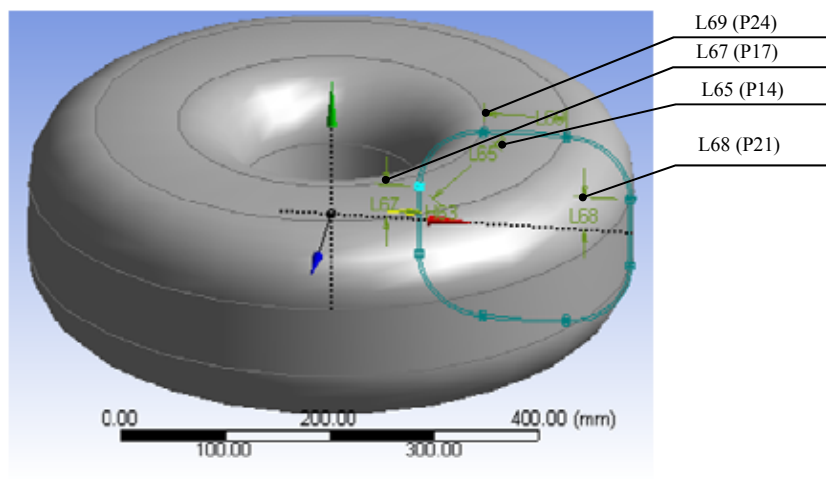
Zbiorniki na płynny gaz LPG są z powodzeniem stosowane już od wielu lat w samochodach wyposażonych w silnik z zapłonem iskrowym. Ich popularność w ostatnim okresie wzrosła szczególnie ze względu na ciągle rosnące ceny paliw na stacjach benzynowych. Na rynku jest dostępnych jest szereg konstrukcji, których przegląd dokonano w pracy [1]. Konstrukcje te muszą spełniać wiele norm. Jedną z nich mówi o wytrzymałości takich zbiorników na wysokie ciśnienia przechowywania gazu. W tym celu okazuje się przydatna analiza wytrzymałościowa z przy użyciu dostępnych technik komputerowych. Przykład analizy wytrzymałościowej z zastosowaniem metody elementów skończonych pokazano w pracy [2], której wyniki wykorzystano do optymalizacji kształtu zbiornika.

1. OPTYMALIZACJA

Zadanie optymalizacji wymaga wcześniejszego przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej, którą wykonano w programie ANYS/WORKBENCH [1, 3]. W celu zdefiniowania zadania optymalizacji geometrycznej, jego rozwiązania oraz analizy wyników wykorzystano moduł *Goal Driven Optimization*, w programie ANYS/WORKBENCH. Moduł ten ściśle współpracuje z modułem *Parameter Set*, w którym wcześniej definiujemy parametry geometryczne jako przyjęte zmienne decyzyjne. W skład tego modułu wchodzi trzy podmoduły:

- *Design of Experiments* (budowanie planu optymalizacji),
- *Response Surface* (generowanie obszaru wyników optymalnych),
- *Optimization* (ustawienia dotyczące metody optymalizacji).

Ze względu na symetryczność zbiornika toroidalnego, zdefiniowano cztery parametry geometryczne, które odpowiadają za kształt zbiornika: P14 (L65), P17 (L67), P21 (L68), P24 (L69) (rys. 1, tab. 1). Kryterium optymalizacji stanowi osiągnięcie minimalnej wartości naprężeń (jednak nieprzekraczających 375 MPa (P22)) oraz minimalnej masy obiektu (P23) przy zdefiniowanych ograniczeniach dla zmiennych decyzyjnych (rys. 1). Zakres zmienności parametrów geometrycznych oraz wartości początkowe podano w tabeli 1.



Rys. 1. Zmienne decyzyjne dotyczące wymiarów zbiornika toroidalnego LPG

Źródło: Opracowanie własne.

Tab. 1. Zmienne decyzyjne oraz zakresy i wartości początkowe w zadaniu optymalizacji

Lp.	Oznaczenie na rysunku	Oznaczenie w optymalizacji	Wartość startowa	Dolna granica	Górna granica
			[mm]		
1.	L65	P14	3	2	4
2.	L67	P17	84,85	76	94
3.	L68	P21	80	72	88
4.	L69	P24	35	31,5	38,5

Źródło: Opracowanie własne.

Po określeniu zakresu parametrów program tworzy plan optymalizacji. W planie tym program generuje 25 kroków obliczeniowych, w których to poszukuje optymalnych rozwiązań ze względu na kryterium optymalizacji i ograniczenia.

2. ANALIZA WYNIKÓW OPTYMALIZACJI

Po rozwiązaniu zadania optymalizacji, można przejść do analizy otrzymanych wyników. W module *Design of Experiments* program wygenerował wykres (rys. 2), który przedstawia masę zbiornika w poszczególnych krokach optymalizacji. Na tym wykresie można zauważyć, iż największą masę (ok. 22 kg) zbiornik posiada w 12 i 20 kroku optymalizacji. Dla kroku optymalizacji 3, 17, 25 wartość masy jest najmniejsza ok. 17,5 kg.

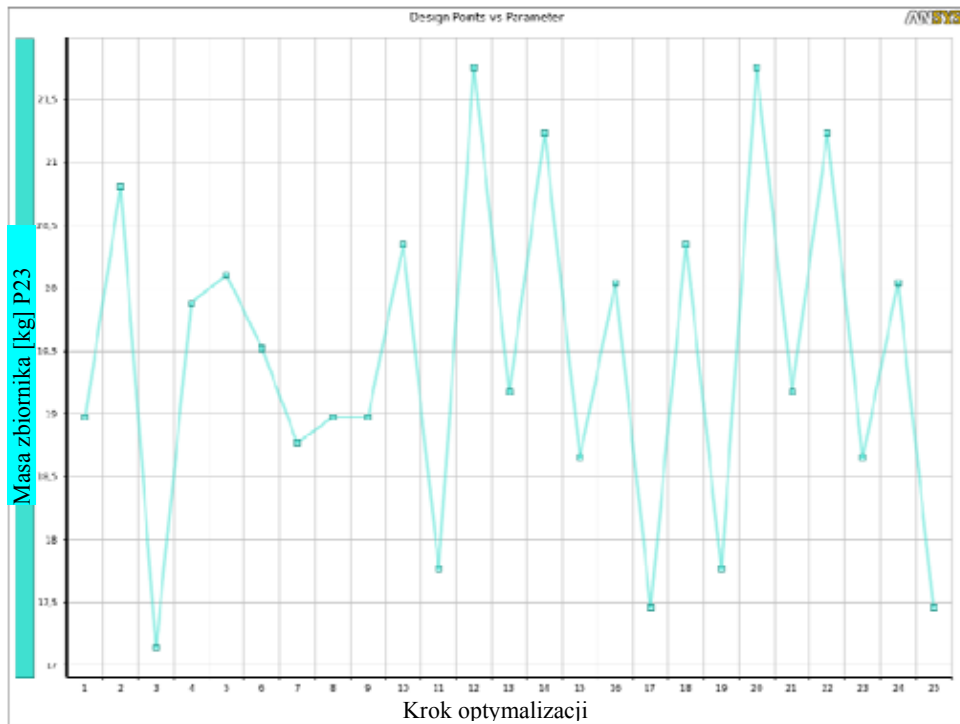
W module *Optimization* program wygenerował wyniki optymalizacji, wyznaczył trzech kandydatów optymalnych A, B, C, dla których zadanie optymalizacji zostało spełnione (tab. 2). Z danych przedstawionych w tabeli wynika, iż najlepsze rozwiązanie przypada na kandydata A. Zbiornik toroidalny o wartościach zaproponowanych przez kandydata A posiada najmniejszą wartość naprężeń 314 MPa oraz najmniejszą masę 17,152 kg. Zbiór wszystkich rozwiązań wraz z rozwiązaniem dla kandydatów A, B i C, prezentuje rysunek 3. Widać na nim drogę jaką pokonał program w poszukiwaniu optymalnego rozwiązania.

Tab. 2. Wyniki zadania optymalizacji dla poszczególnych kandydatów

Kandydat	Zmienne decyzyjne				Kryterium optymalizacji	
	P14	P17	P21	P24	P22 (naprężenia)	P23 (masa)
	[mm]				[MPa]	[kg]
A	3,95	85,512	81,627	35,623	314,11	17,152
B	3,79	86,918	86,368	37,863	314,88	17,170
C	3,91	93,668	85,183	32,823	314,29	17,326

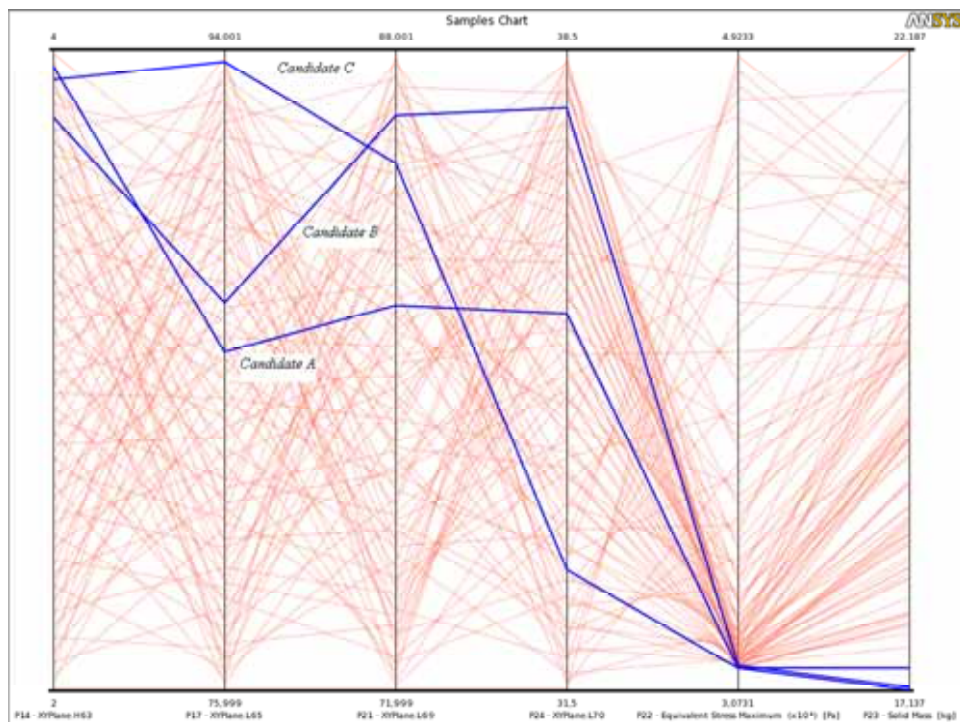
Źródło: Opracowanie własne.

Z analizy istotności poszczególnych parametrów wygenerowanych przez kandydata A wynika, iż na wynik optymalizacji największy wpływ ma P14, natomiast najmniejszy – P24. Jeśli rozpatrzemy kryteria optymalizacji osobno, to największy wpływ na naprężenia powstałe w zbiorniku ma parametr P14, zaś najmniejszy wpływ ma parametr P17. W przypadku masy obiektu, największy wpływ miał również parametr P14, a najmniejszy wpływ parametr P17. Zoptymalizowaną geometrią dla kandydata A przedstawia rysunek 4.



Rys. 2. Wykres masy zbiornika w poszczególnych krokach optymalizacji

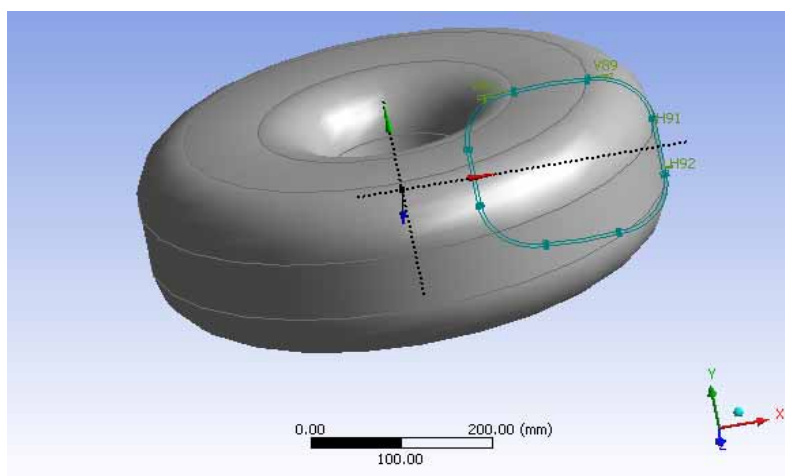
Źródło: Opracowanie własne.



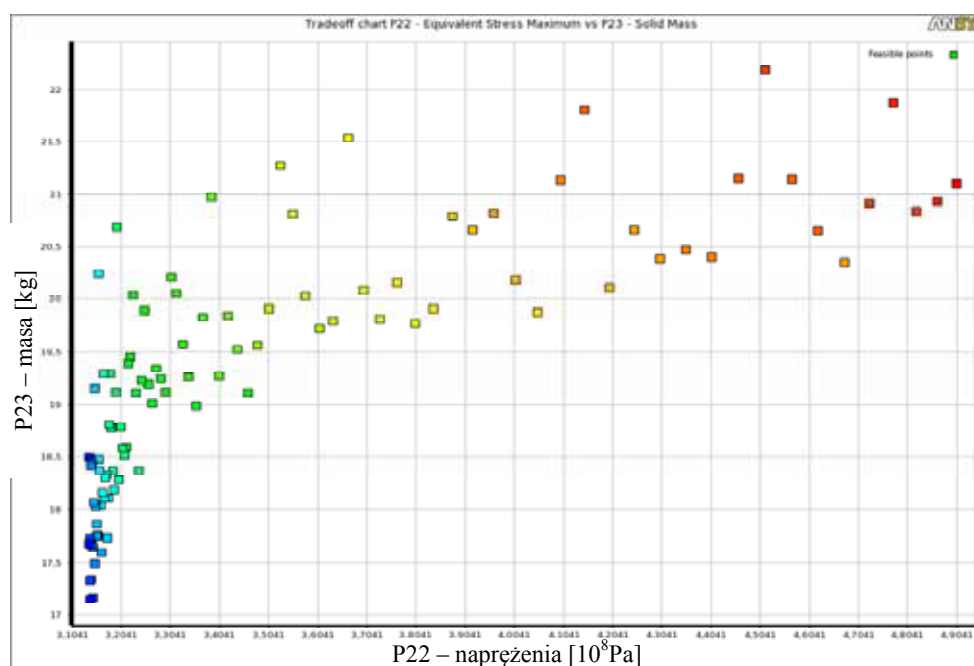
Rys. 3. Rozwiązanie zadania optymalizacji dla wszystkich zmiennych decyzyjnych i kryteriów

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 5 przedstawiono zbiór wszystkich rozwiązań w postaci chmury punktów dla wartości naprężeń oraz masy. Na tym wykresie widać, że największa liczba rozwiązań znajduje się w przedziale dla masy 17÷21 kg, zaś dla naprężeń: 310÷360 MPa.



Rys. 4. Model 3D zoptymalizowanego zbiornika w programie ANSYS Workbench (kandydat A).
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Zbiór wszystkich rozwiązań procesu optymalizacji
Źródło: Opracowanie własne.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono optymalizację zbiornika toroidalnego na gaz płynny LPG, która polegała na zbudowaniu planu optymalizacji na podstawie podanych dwóch kryteriów (naprężenie i masa) oraz przy ograniczeniach dotyczących wymiarów zbiornika. Program wygenerował trzech kandydatów A, B i C, z których kandydat A, posiadał najmniejszą wartość naprężeń $P22 = 314$ [MPa] i masę $P23 = 17,152$ [kg] oraz następujące wymiary: $P14 = 3,95$ [mm], $P17 = 85,512$ [mm], $P21 = 81,627$ [mm] i $P24 = 35,623$ [mm]. W efekcie, w wyniku optymalizacji zaprojektowano nowy, lepszy i bezpieczniejszy zbiornik.

Opracowana analiza wytrzymałościowa i optymalizacja w systemie ANSYS/WORKBENCH powodują, że proces projektowania zbiorników na gaz płynny LPG może być istotnie rozszerzony i ulepszony. Uzyskane wyniki symulacji komputerowych i optymalizacji mogą być podstawą do projektowania nowych zbiorników o korzystniejszych kształtach. System CAD/MES znacznie skraca czas projektowania nowego zbiornika, a co za tym idzie pozwala zmniejszyć również koszty projektu, bez potrzeby budowania prototypów.

LPG TANK OPTIMIZATION

Abstract

This work concern the shape optimization of toroidal tank for LPG. Optimization criterion was to minimize the stress and the total mass of the tank with given dimensional restrictions. Established a set of solutions and indicates for the best one.

BIBLIOGRAFIA

1. Kukielka L., Kukielka K., Geleta K., Cąkała Ł.: *Przegląd konstrukcji zbiorników na gaz płynny LPG*, Materiały konferencyjne XIV Forum Motoryzacji *Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska*, Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2011, nr 5, płyta CD.
2. Kukielka L., Kukielka K., Geleta K., Cąkała Ł.: *Komputerowe modelowanie i obliczenia wytrzymałościowe zbiorników na gaz płynny LPG*, Materiały konferencyjne XIV Forum Motoryzacji *Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska*, Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2011, nr 5, płyta CD.
3. Cąkała Ł.: *Modelowanie, analiza numeryczna i optymalizacja zbiornika toroidalnego na gaz płynny LPG*, Praca magisterska, Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Koszalin 2011.

LPG TANK OPTIMIZATION

Summary

This work concern the shape optimization of toroidal tank for LPG. Optimization criterion was to minimize the stress and the total mass of the tank with given dimensional restrictions. Established a set of solutions and indicates for the best one.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Leon Kukielka** – Politechnika Koszalińska

dr inż. **Krzysztof Kukielka** – Politechnika Koszalińska

mgr inż. **Katarzyna Geleta** – Politechnika Koszalińska

mgr inż. **Łukasz Cąkała** – Politechnika Koszalińska