

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Badania symulacyjne kolumny hydropneumatycznej

Zdzisław Hryciów, Piotr Rybak

Zakład Inżynierii Pojazdów i Transportu, Instytut Pojazdów i Transportu
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: zdzislaw.hryciow@wat.edu.pl, piotr.rybak@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: W niniejszej pracy przedstawiono zagadnienia związane z modelowaniem działania zawieszenia hydropneumatycznego. Zawieszenia hydropneumatyczne w stosunku do zawiesznień z metalowymi elementami sprężystymi posiadają kilka zalet, które są szczególnie przydatne w pojazdach wojskowych. Należy do nich zaliczyć możliwość regulacji prześwitu, możliwość regulacji sztywności czy blokowania zawieszenia. Model kolumny hydropneumatycznej opracowany został w oparciu o równanie stanu gazu. Założono adiabatyczną jego przemianę. W modelu uwzględniono wpływ ciśnienia i temperatury gazu na wykładnik adiabaty. Na podstawie modelu przeprowadzono badania wpływu wartości początkowego ciśnienia w komorze gazowej a także początkowej temperatury gazu na uzyskiwane charakterystyki sprężystości, wartość ugięcia statycznego i sztywność zawieszenia w tym położeniu. Opracowany model w kompleksowy sposób odwzorowuje pracę kolumny hydropneumatycznej stosowanej w transporterze opancerzonym. Uwzględnia on zarówno zmiany siły sprężystości gazu, siłę tłumienia a także siły oporu wynikające z tarcia w uszczelnieniach. Może on zatem stanowić podsystem kompletnego modelu transportera, zastępując użycie uproszczonych charakterystyk.

SŁOWA KLUCZOWE: zawieszenie hydropneumatyczne, przemiana adiabatyczna, charakterystyka sprężystości, ugięcie statyczne

1. Wstęp

Do najczęściej stosowanych elementów sprężystych stosowanych w zawieszniach pojazdów możemy zaliczyć elementy metalowe, pneumatyczne i hydropneumatyczne [1]. Zawieszenia hydropneumatyczne mają ważną zaletę. W jednym układzie integrują elementy sprężyste i tłumiące. Podstawową ich wadą jest natomiast wysoka cena. Dodatkowo cechują się bardziej złożoną budową w stosunku do metalowych elementów sprężystych, a także bardziej skomplikowaną i czasochłonną obsługą [2]. Podstawowymi elementami układu są cylinder hydrauliczny i akumulator hydropneumatyczny, wypełnione płynami roboczymi.

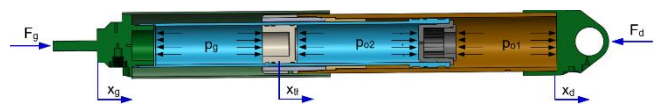
Zawieszenia hydropneumatyczne stosowane są głównie tam gdzie wymagana jest regulacja wysokości pojazdu, istnieje niewielka przestrzeń do zabudowy elementów układu, istnieje konieczność blokowania zawieszenia, a także jeżeli wymagana jest zmiana sztywności zawieszenia. Z tego też względu, ten typ zawiesznień jest często stosowany w nowoczesnych konstrukcjach pojazdów wojskowych [2-4].

Modele symulujące pracę kolumny hydropneumatycznej stanowią istotną pomoc we właściwym ich doborze do rozpatrywanego pojazdu. W literaturze, prace związane z modelowaniem zawiesznień hydropneumatycznych [3, 5-6] dotyczą badań pojedynczych ich elementów jak i ujmują zagadnienia związane z modelowaniem dynamiki pojazdów. Jednakże, ze względu na mnogość konstrukcji, nie zawsze mogą być one uogólnione na inne rozwiązania.

Głównym celem pracy było opracowanie modelu kolumny hydropneumatycznej stosowanej w kołowym transporterze opancerzonym, a następnie na jej podstawie przeprowadzenie badań wpływu początkowego ciśnienia oraz temperatury na jej charakterystykę sprężystości.

2. Model matematyczny kolumny hydropneumatycznej

Schemat kolumny hydropneumatycznej przedstawiono na rys. 1. Zaznaczono na nim siły i ciśnienia działające na wybrane elementy oraz ich przemieszczenia. W kolumnie występują trzy komory: gazowa, w której panuje ciśnienie p_g , oraz dwie olejowe (odpowiednio z ciśnieniami p_{o1} i p_{o2}). Pomiedzy komorami olejowymi znajduje się element tłumiący przepływ.



Rys. 1. Schemat kolumny hydropneumatycznej

Zakładając niewielkie wartości sił bezwładności (w stosunku do siły sprężystości gazu) można założyć, że wartości sił na obu końcach są sobie równe. Ugięcie kolumny x jest różnicą przemieszczeń obu jej końców. Zmiany ciśnienia w części gazowej opisuje równanie (1):

$$p_g \cdot V_g^n = p_{g0} \cdot V_{g0}^n \quad (1)$$

Indeksem 0 oznaczono wielkości w stanie początkowym (dla kolumny maksymalnie rozciągniętej). Bieżącą wartość objętości komory gazowej można obliczyć za pomocą (2):

$$V_g = V_{g0} - x \cdot A_{o1} \quad (2)$$

Ostatecznie siłę sprężystości można obliczyć na podstawie równania (3):

$$F_g = p_g \cdot A_g = p_{g0} \cdot V_{g0} \cdot \left(\frac{V_{g0}}{V_{g0} - x \cdot A_{o1}} \right)^n \quad (3)$$

Siła tłumienia wynika z dławienia przepływu oleju pomiędzy dwoma komorami (różnicy ciśnień panujących po obu stronach). Obliczana jest z zależności (4)

$$F_{t1} = p_{o1} \cdot A_{o1} - p_{o2} \cdot A_{o2} \quad (4)$$

W trakcie ściskania kolumny ciśnienie i temperatura gazu mocno się zwiększa. Dla pełnego skoku ciśnienie osiąga wartość około 50 MPa, a temperatura może wzrosnąć do 600°C. Należy pamiętać, że wykładnik adiabaty nie jest wielkością stałą. Zależy ona zarówno od temperatury i ciśnienia. W obliczeniach, jego zmiany przyjęto na podstawie [2]. Nie uwzględnianie jego zmian powoduje zaniżenie wartości siły o około 7%.

3. Zakres badań

Na podstawie modelu matematycznego opracowano w środowisku Matlab program symulujący działanie kolumny hydropneumatycznej. Umożliwia on określenie wartości siły sprężystości gazu oraz sił oporu (tłumienia i tarcia) w funkcji ugięcia kolumny dla różnych wartości ciśnienia początkowego w komorze gazowej i temperatury początkowej gazu.

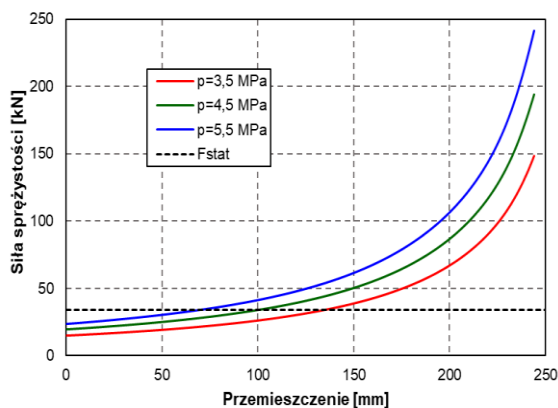
Zakres badań obejmował:

- określenie wpływu początkowego ciśnienia w komorze gazowej na charakterystykę sprężystości; wartości ciśnień zmieniano w zakresie 3,5 ÷ 5,5 MPa, co 0,2 MPa,
- określenie wpływu początkowej temperatury gazu na charakterystykę sprężystości; wartość temperatury zmieniano w zakresie -20 ÷ 40°C, co 10°C.

Dla każdego wariantu obliczano ponadto wartość ugięcia statycznego (przy sile 34 kN), a także współczynnik sprężystości w tym punkcie.

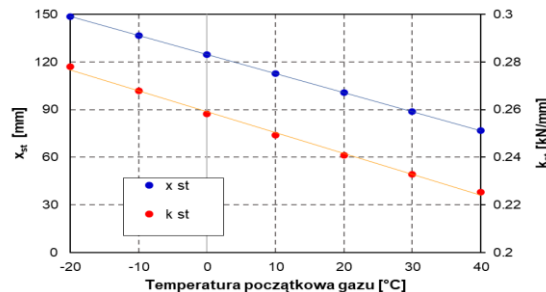
4. Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono zmiany siły sprężystości gazu w funkcji przemieszczenia tłoka dla trzech wartości ciśnienia początkowego. Na podstawie uzyskanych charakterystyk można stwierdzić, że zmiana ciśnienia o 1 MPa od wartości nominalnej (4,5 MPa) powoduje zmianę siły sprężystości o około 20%. Największe różnice występują przy maksymalnym ściśnięciu kolumny hydropneumatycznej (o około 45 kN przy zmianie ciśnienia o 1 MPa od wartości nominalnej). Wartość ugięcia statycznego dla rozpatrywanego zakresu zmian ciśnień w przybliżeniu, zmniejsza się w sposób liniowy o około 32,5 mm/MPa.



Rys. 2. Charakterystyka sprężystości

Na rysunku 3 przedstawiono wpływ zmiany temperatury początkowej na ugięcie statyczne oraz współczynnik sprężystości w otoczeniu punktu równowagi statycznej. Dla obu wielkości można przyjąć liniowy charakter zmian. Ugięcie statyczne zmniejsza się o około 1,2 mm/°C, natomiast wartość współczynnika sprężystości zmniejsza się o około 0,88 kN/m.



Rys. 2. Charakterystyka sprężystości

5. Podsumowanie

Zawieszenia hydropneumatyczne, ze względu na swoje zalety, znajdują coraz szersze zastosowanie w pojazdach wojskowych. Ich właściwy dobór mogą wspomagać programy symulujące ich pracę.

Duży wpływ na charakterystykę zawieszenia hydropneumatycznego ma wartość początkowego ciśnienia w komorze gazowej. Zwiększanie ciśnienia powoduje zmniejszanie wartości ugięcia statycznego (zwiększanie prześwitu pojazdu), przy jednoczesnym zmniejszaniu sztywności zawieszenia. Wzrost temperatury powoduje zwiększanie objętości oleju i gazu, a tym samym wzrost ciśnienia początkowego. W rzeczywistych warunkach eksploatacji, zmiany wartości ugięcia statycznego występują również na skutek dynamicznej jazdy skutkującej silnym nagrzewaniem się amortyzatora.

Opracowany model w kompleksowy sposób odwzorowuje pracę kolumny hydropneumatycznej stosowanej w transporterze opancerzonym. Uwzględnia on zarówno zmiany siły sprężystości gazu, siłę tłumienia a także siły oporu wynikające z tarcia w uszczelnieniach. Może on zatem stanowić podsystem modelu całego transportera, zastępując użycie uproszczonych charakterystyk.

Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB 762/2022.

Literatura

- Hryciów Z., Krasoń W., Wysocki J., *Evaluation of the influence of friction in a multi-leaf spring on the working conditions of a truck driver.*, Eksploatacja i Niezawodność 23(3), pp. 422-429, 2021.
- Bauer W., *Hydropneumatic Suspension Systems*, Springer, Berlin Heidelberg 2011.
- Oscarsson M., *A Hydropneumatic Suspension Parameter Study on Heavy Multi-axle Vehicle Handling*, Royal Institute of Technology, Sztokholm 2015.
- Siminski, P., "Aspect of Simulation and Experimental Research Studies on Wheeled Armored Fighting Vehicles with Hydropneumatic Suspension," SAE Technical Paper 2010-01-0651, 2010.
- Kinagi, G. V., Wadkar, S., Sonawane, D. *Mathematical Modeling of Hydropneumatic Suspension System*. SAE Technical Paper Series 2013.
- Congbin Y., Xiaodong G., Zhifeng L. Ligang C. Qiang C. Caixia Z. (2016). *Modeling and analysis of the vibration characteristics of a new type of in-arm hydropneumatic suspension of a tracked vehicle*. Journal of Vibroengineering, 18. pp.4627-4646, 2016.