

EDWARD LISOWSKI, DOMINIK KWIATKOWSKI*

BADANIE PODUSZKI PNEUMATYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU ABAQUS

RESEARCH OF AIR CUSHION USING ABAQUS APPLICATION

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową poduszki pneumatycznej umożliwiającej podnoszenie i przesuwanie ciężkich ładunków. Torus poduszki został wykonany z gumy o małym wydłużeniu względnym. Szczególną uwagę zwrócono na kontaktową współpracę z podłożem oraz określono zmiany wysokości wraz ze zmianą ciśnienia zasilania. Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem programu ABAQUS.

Słowa kluczowe: poduszki pneumatyczne, modelowanie w programie ABAQUS

Abstract

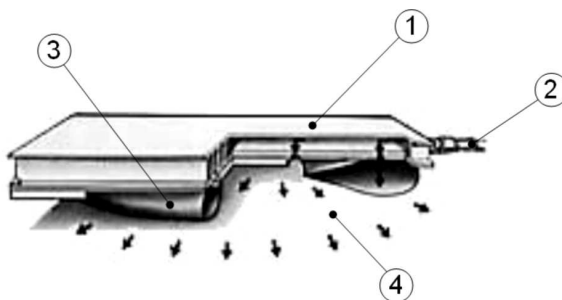
The paper presented strength analysis of air cushion to enable lifting and moving for heavy cargo. The cushions torus is made of rubber with low unit elongation. Particular attention was paid to collaboration for contact with the ground and determine changes in height with the change of supply pressure. The analysis was performed using the ABAQUS application.

Keywords: air cushion, modelling in ABAQUS application

* Prof. dr hab. inż. Edward Lisowski, mgr inż. Dominik Kwiatkowski, Instytut Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W zakładach przemysłowych istnieje potrzeba ustawiania ciężkich maszyn, jak i transport ładunków. Zwykle do tego celu stosuje się zaawansowane technicznie i kosztowne urządzenia dźwigowe. Współczesne hale produkcyjne budowane z wykorzystaniem nowych technologii, które umożliwiają uzyskanie wysokiej jakości podłoża z wylewkami samopoziomującymi i gładkimi powierzchniami. Stwarza to możliwość przenoszenia ciężkich ładunków z zastosowaniem poduszek pneumatycznych. Są to urządzenia względnie proste i tanie oraz bezpieczne w użytkowaniu. Systemy przenoszenia ładunków na poduszkach pneumatycznych charakteryzują się małą wysokością, dzięki czemu łatwo je wsunąć pod urządzenie czy obrabiarkę. Powstały przy przepływie film powietrza pod poduszką redukuje tarcie do bardzo małej wartości, bliskiej zero, stąd nawet duże ładunki można przesuwac siłą ludzkich mięśni. Kolejną zaletą są małe naciski jednostkowe i przegubowe podparcie ładunku, co jest bardzo trudne do uzyskania innymi metodami. Przykładami firm oferujących takie rozwiązania są niemiecka firma Delu [6] oraz Solving z USA [7]. Na rysunku 1 pokazano przykładowe rozwiązanie poduszki firmy Solving. Przez uźebrowaną płytę stalową 1 sprężone powietrze jest dostarczane przewodem 2 do elastycznego torusa 3 i wypływa do atmosfery przez szczelinę 4 pomiędzy podłożem a poduszką.



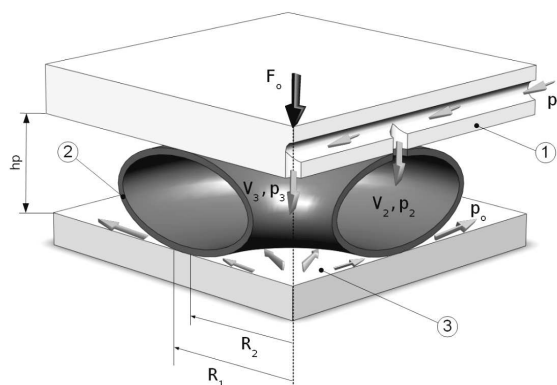
Rys. 1. Poduszka pneumatyczna firmy Solving
Fig. 1. Air pads produced by Solving Company

Poduszka według tego rozwiązania tworzy typową kaskadę pneumatyczną z dwoma szczelinami, w której jedną ze szczelin dławiących jest szczelina pierścieniowa powstała pomiędzy podłożem a torusem, a drugą – zwykła dysza na wejściu do poduszki. Torus poduszki wykonuje się z materiałów elastycznych wzmocnianych kompozytowo, płótnem lub włóknami, po to, by torus poduszki tworzył materiał nierozciągliwy zbliżony do membrany. W artykule zbadano możliwość zastosowania prostego rozwiązania, jakim jest guma o małym wydłużeniu względnym.

2. Obiekt badań

Schemat poduszki pneumatycznej przyjętej do badań przedstawiono na rysunku 2. Poduszka zbudowana jest z płyty stalowej 1 oraz torusa 2 i spoczywa na podłożu płaskim 3. Podstawowe parametry dotyczące poduszki pokazano na rysunku 2. Są to: p_1 – ciśnienie

zasilania, p_2 – ciśnienie wewnątrz objętości torusa V_2 , p_3 – ciśnienie w objętości V_3 , p_o – ciśnienie otoczenia, R_1 i R_2 – odpowiednio zewnętrzny i wewnętrzny promień torusa, h_p – wysokość poduszki, F_o – siła obciążenia poduszki. Korzystając z równania kaskady [1] oraz równań statyki, można wyznaczyć maksymalną siłę nośną poduszki F_o , co przedstawia równanie (1).



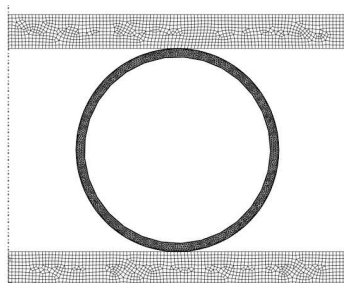
Rys. 2. Badana poduszka pneumatyczna
Fig. 2. The tested air pad

$$F_o = \frac{p_3 \cdot \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)}{2 \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}. \quad (1)$$

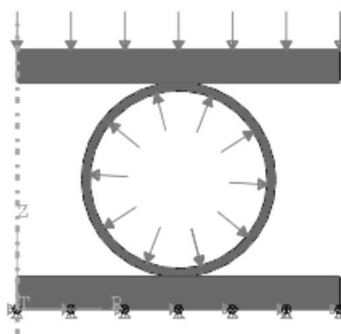
Jak wynika z równania (1), siła nośna poduszki zależy od wartości ciśnienia p_3 oraz promieni torusa R_1 i R_2 . Określenie wysokości podnoszenia h_p jest trudne do przeprowadzenia analitycznie, dlatego w artykule zaproponowano wykorzystanie systemu ABAQUS.

3. Budowa modelu w programie ABAQUS

Poduszkę pneumatyczną zbudowano jako zespół składający się z trzech elementów: torusa 1 wykonanego z gumy o małym wydłużeniu względnym, nośnej płyty stalowej 2 oraz płyty stanowiącej podłoże 3. W programie ABAQUS/CAE wykorzystano funkcję *Axisymmetric shells* dla zdefiniowania modelu geometrycznego z opcją *Deformable* dla każdego komponentu. Materiał torusa w programie ABAQUS zdefiniowano, wykorzystując funkcję *Hyperelastic Neo Hooker*, i zadano wartość współczynników $C_1 = 0,752$ oraz $D_1 = 0,026$ na podstawie danych katalogowych gumy [5]. Do wygenerowania siatki MES (rys. 3) zdefiniowano następujące typy elementów: dla torusa z gumy: CAX3-A3 – *node linear axisymmetric triangle*, a dla płyty górnej i dolnej: CAX4R – *axisymmetric continuum stress/displacement*. Zadano warunki brzegowe jak na rys. 4, to jest w postaci ciśnienia wewnątrz torusa, oraz równomiernie obciążono płytę nośną poduszki. Na płycie dolnej od strony podłoża odebrano wszystkie stopnie swobody.



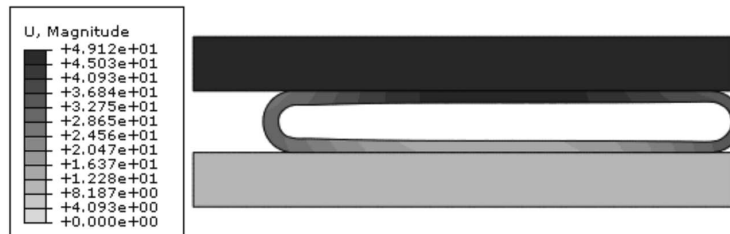
Rys. 3. Modele dyskretne elementów
Fig. 3. Mesh of the components



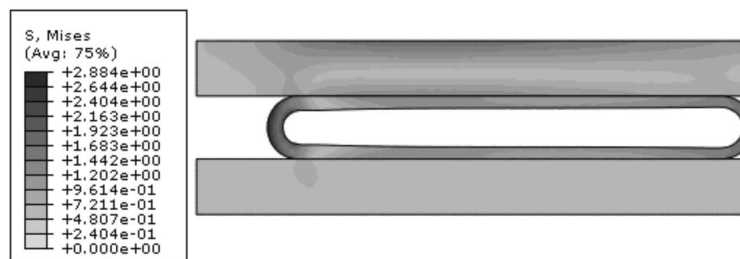
Rys. 4. Obciążenia i utwierdzenia
Fig. 4. Load and constraint

4. Wyniki badań

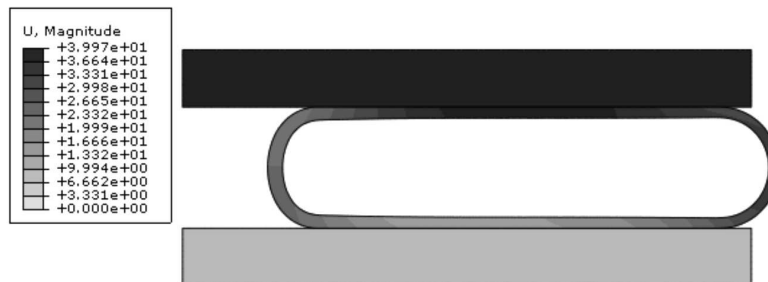
Badania przemieszczenia się płyty nośnej poduszki naciskającej na torus przeprowadzono, zadając obciążenie skokowe na płytę w kierunku pionowym. Podłoże jest utwierdzone, zatem nie może się przemieszczać, natomiast pod wpływem obciążenia płyta poduszki przemieszcza się w dół do stanu równowagi, ściskając torus poduszki. Uzyskane wyniki dla obciążenia poduszki siłą 7200 N dla średnicy poduszki $D = 200$ mm i ciśnienia zasilania 0,25 MPa pokazano na rys. 5 i 6, natomiast przy zasilaniu 0,27 MPa na rys. 6 i 7. Jak wynika z uzyskanych wyników, pod wpływem działania obciążenia torus poduszki dopasowuje się do podłoża. Dla ustalonej wartości ciśnienia zasilania 0,25 MPa uzyskano wynik 49,12 mm, natomiast przy zasilaniu 0,27 MPa przemieszczenie wyniosło 39,97 mm. Wyniki te pokazują, że sterując wartością ciśnienia zasilania, można uzyskać zmianę wysokości podnoszenia.



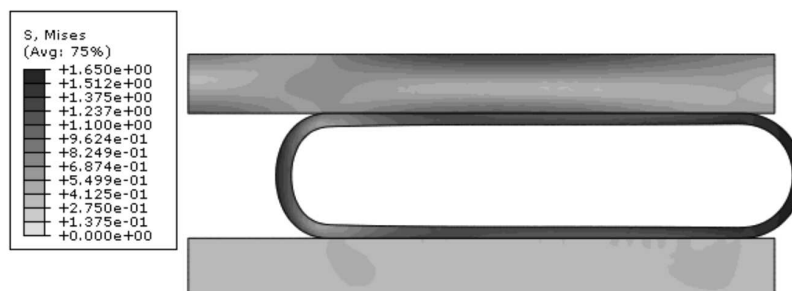
Rys. 5. Przemieszczenia zredukowane poduszki przy ciśnieniu 0,25 MPa i obciążeniu 7200 N
 Fig. 5. Total translation of the air pads at the pressure 0,25 MPa and load 7000 N



Rys. 6. Naprężenia HMM przy ciśnieniu 0,25 MPa i obciążeniu 7200 N
 Fig. 6. HMM stress at the pressure 0,25 MPa and load 7000 N



Rys. 7. Przemieszczenie zredukowane poduszki przy ciśnieniu 0,27 MPa i obciążeniu 7200 N
 Fig. 7. Total translation of the air pads at the pressure 0,27 MPa and load 7000 N



Rys. 8. Naprężenia HMM przy ciśnieniu 0,27 MPa i obciążeniu 7200 N
 Fig. 8. HMM stress at the pressure 0,27 MPa and load 7000 N

5. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że przez zmianę ciśnienia zasilania można regulować wysokość podnoszenia poduszki w zakresie wynikającym z możliwości geometrycznego ukształtowania poduszki. Ponadto przedstawiony model pozwolił na wyznaczenie promieni obszaru kontaktu poduszki z podłożem, co jest istotne dla określenia powierzchni współpracy poduszki z podłożem. Zastosowany system ABAQUS/CAE okazuje się być przydatnym narzędziem przy modelowaniu poduszek pneumatycznych, w szczególności dla określenia wysokości podnoszenia oraz powierzchni kontaktu z podłożem.

Literatura

- [1] Siemieniako F., Gawrysiak M., *Automatyka i robotyka*, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1996.
- [2] Hebda M., Wachal A., *Trybologia*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [3] Wołkow J., Dindorf R., *Teoria i Obliczenia układów pneumatycznych*, Wydawnictwo PK, Kraków 1995.
- [4] Yun L., Bliault A., *Theory and design of air cushion craft*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2000.
- [5] Palec J., *Modelowanie skończonych deformacji opon pneumatycznych*, Wydawnictwo UWM, Olsztyn 2007.
- [6] DELU Air Cushion Systems Gmb (www.delu-gmbh.de).
- [7] American Solving Inc. (www.solvinginc.com).