

ALGORYTM DOBORU ELEKTROMAGNETYCZNYCH MODUŁÓW NAPĘDOWYCH PŁASKIEJ AEROSTATYCZNEJ PODPORY WSPÓLRZĘDNOŚCIOWEJ

Tomasz HUŚCIO*, Franciszek SIEMIENIAKO*

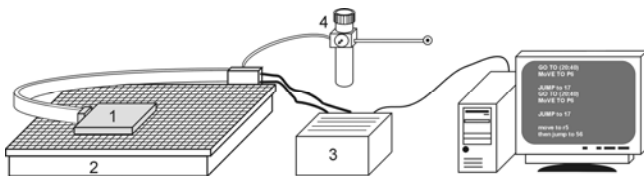
* Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

tomekh@pb.edu.pl, frank@pb.edu.pl

Streszczenie: W referacie omówiono budowę i zasadę działania płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej z napędem elektromagnetycznym. Przedstawiono zakres badań płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej z napędem elektromagnetycznym. Opisano algorytm do przeprowadzenia obliczeń umożliwiających dobór elementarnych elektromagnetycznych modułów napędowych rozmieszczonych na powierzchni nośnej płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej.

1. WPROWADZENIE

Płaska aerostaticzna podpora współrzędnościowa z napędem elektromagnetycznym (planarny silnik krokowy) jest podstawowym elementem precyzyjnych współrzędnościowych układów pozycjonujących wyspecjalizowanych urządzeń (obrabiarek, maszyn pomiarowych, stołów montażowych stosowanych w mikroelektronice). Współrzędnościowy układ pozycjonujący, przedstawiony na rysunku 1, składa się z: płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej - twornik (ruchomy biegunnik) ze smarowaniem aerostaticznym (1), podstawy - nieruchomy stojan (induktor) (2); karty sterującej (3); zespołu przygotowania sprężonego powietrza (filtr, zawór redukcyjny) (4).



Rys. 1. Podstawowe elementy współrzędnościowego układu pozycjonującego z napędem elektromagnetycznym

Usprawnienie procesu projektowania konstrukcji płaskich aerostaticznych podpór współrzędnościowych z napędem elektromagnetycznym wymaga rozpracowania zjawisk fizycznych występujących w układzie, opracowania modelu matematycznego oraz przeprowadzenia symulacji komputerowej. Opis warunków pracy, założenia aerostaticznej teorii smarowania współpracujących powierzchni płaskich oraz model cieplny układu podpora-szczelina powietrzna – podstawa przedstawiono w artykule (Huścio T. Siemieniako F., 2003). Dyskretny model matematyczny przepływu powietrza przez układ podpora-szczelina powietrzna – podstawa przedstawiono w artykule (Huścio T, Karpovich S., 2005).

Wyniki obliczeń uzyskane podczas symulacji komputerowej umożliwią wybór pożądanego, w określonym urządzeniu, wariantu konstrukcji podpory aerostaticznej z elektromagnetycznym napędem.

Symulacja komputerowa płaskich pneumatycznych podpór współrzędnościowych z napędem elektromagnetycznym winna zapewniać rozwiązanie dwóch podstawowych zagadnień.

1. Zagadnienia przepływu powietrza przez układ podpora – szczelina powietrzna – podstawa.
2. Wyznaczenia, w oparciu o warunek równowagi sił występujących w układzie, liczby n_e elementarnych elektromagnetycznych modułów wchodzących w skład modułów napędowych zainstalowanych w podporze oraz ich rozmieszczenie na powierzchni nośnej podpory aerostaticznej.

W referacie przedstawiono algorytm doboru elektromagnetycznych modułów napędowych. Algorytm opracowano do przeprowadzenia obliczeń umożliwiających wyznaczenie liczby elementarnych elektromagnetycznych modułów oraz ich rozmieszczenia na powierzchni nośnej podpory aerostaticznej.

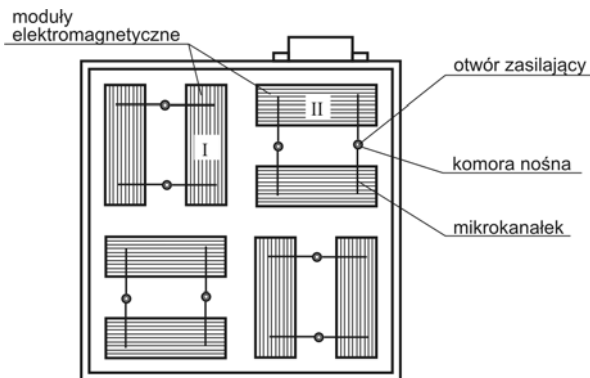
2. BUDOWA I DZIAŁANIE PŁASKIEJ AEROSTATYCZNEJ PODPORY WSPÓLRZĘDNOŚCIOWEJ

Płaska aerostaticzna podpora współrzędnościowa składa się z następujących elementów: aluminiowa rama; moduły elektromagnetyczne: I, II; instalacja pneumatyczna: zespół przygotowania sprężonego powietrza (reduktor, filtr), przewód zasilający, kapilary; komory nośne; rowki rozpraszające powietrze (mikrokanaliki).

Głównym elementem instalacji aerostaticznej podpory jest system kapilarnych otworów zasilający komory nośne. Poduszka powietrzna jako warstwa powietrza o ciśnieniu większym od atmosferycznego

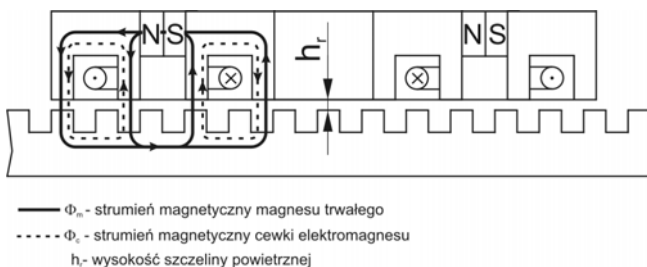
powoduje powstanie siły nośnej F_n , za pomocą której podpora jest bezстыkowo zawieszona nad podstawą w odległości h . Zastosowanie szczeliny powietrznej powoduje całkowite wyeliminowanie bezpośredniego styku powierzchni roboczych podpory i podstawy. Dzięki zastosowaniu smarowania gazowego (aerostaticznego) wyeliminowane są opory ruchu i zużycie powierzchni trących podpory i podstawy.

Powierzchnia robocza płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej, przedstawiona na rysunku 2, zawiera dwie grupy ortogonalnych elektromagnetycznych modułów. Moduł elektromagnetyczny I odpowiada za przesunięcie podpory wzdłuż osi X, II zaś za przesunięcie podpory wzdłuż osi Y.



Rys. 2. Powierzchnia robocza płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej (<http://www.ruchservomotor.com>)

Na rysunku 3 przedstawiono elementarny elektromagnetyczny moduł płaskiej aerostaticznej podpory.

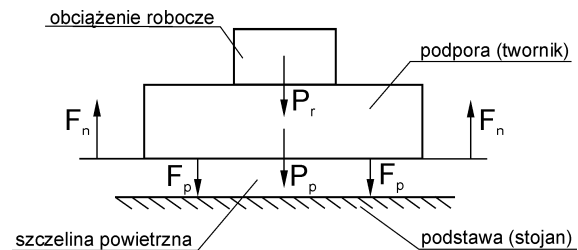


Rys. 3. Moduł elektromagnetyczny

Moduł elektromagnetyczny składa się z rdzeni magnetycznych, pomiędzy którymi znajdują się magnesy trwałe. Na każdym rdzeniu znajduje się uzwojenie. Rdzenie mają nacięte zęby, które znajdują się od siebie w odległości odpowiadającej podziałce zębowej stojana. W elektromagnetycznym module wyróżniamy dwa obwody magnetyczne. Pierwszy obwód, w którym występuje strumień magnetyczny Φ_m generowany przez magnes trwały oraz drugi obwód, w którym strumień Φ_c generowany jest przez cewkę o n zwojach. Strumień generowany przez cewkę wytwarza siłę F_c powodującą ruch modułu napędowego. Strumień generowany przez magnes trwały generuje siłę przyciągania magnetycznego podpory do podstawy F_p .

Na rysunku 4 przedstawiono siły występujące w podporze. Siła nośna podpory F_n (siła reakcji warstwy powietrznej) równoważy obciążenia wynikające z sił ciężkości (ciężar podpory P_p plus ciężar przedmiotów

zamocowanych na podporze - obciążenie robocze P_r) i sił magnetycznego przyciągania F_p . Siła przyciągania podpory do ferromagnetycznej podstawy F_p powstaje w skutek przyciągania magnesów trwałych, wchodzących w skład modułów elektromagnetycznych.



Rys. 4. Siły występujące w podporze

Warunek równowagi sił w układzie przedstawionym na rysunku 4 ma postać:

$$F_n = P_p + P_r + F_p \quad (1)$$

Jeżeli podpora pracuje w pozycji odwróconej (jest poniżej podstawy) warunek równowagi sił w układzie przyjmuje postać:

$$F_n = F_p - P_p - P_r \quad (2)$$

3. ZAKRES BADAŃ

Na rysunku 5 przedstawiono wymaganą kolejność badań płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej z napędem elektromagnetycznym, a także współzależność poszczególnych działań.



Rys. 5. Etapy badań płaskiej aerostaticznej podpory współrzędnościowej z napędem elektromagnetycznym

Do realizacji tak postawionego zadania konieczne jest projektowanie wspomaganie komputerowo. Jak to pokazano na rysunku 5 symulacje komputerową można przeprowadzić w dwóch następujących po sobie etapach:

- Rozwiązanie zagadnienia przepływu powietrza przez układ podpora – szczelina powietrzna – podstawa.
- Wyznaczenie, w oparciu o warunek równowagi sił występujących w układzie, liczby n_e elementarnych elektromagnetycznych modułów wchodzących w skład modułów napędowych zainstalowanych w podporze oraz ich rozmieszczenie na powierzchni nośnej podpory pneumatycznej.

Oczywiście, tak postawione zadanie wymaga opracowania specjalnych programów komputerowych,

oznaczonych (rys. 5) SPAP^{AERO} oraz SPAP^{MAG}. Wymienione programy winny zapewniać przeprowadzenie obliczeń i wyznaczenie żądanych parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych układu podpora – szczelina powietrzna – podstawa. Do parametrów konstrukcyjnych modelowanego układu zaliczamy: sztywność układu, wymiary powierzchni nośnej podpory aerostaticznej, wielkości charakterystycznych (wymiarów geometrycznych, rozmieszczenie) otworów zasilających oraz rowków rozpraszających powietrze (mikrokanalków), masa podpory i przewidywane obciążenia, wymiary magnesów trwałych (pole przekroju, długość), rozmieszczenie elementarnych modułów napędowych. Parametry eksploatacyjne to: siła nośna podpory, strumień masy zużywanego gazu.

Program SPAP^{AERO} do obliczeń związanych z przepływem powietrza w układzie podpora – szczelina powietrzna – podstawa został opracowany (Huścio T., 2005). Wyniki obliczeń przeprowadzonych w programie SPAP^{AERO} (wykresy rozkładu ciśnienia powietrza i obliczoną wartość siły nośnej F_n dla różnych parametrów konstrukcyjnych podpory aerostaticznej) przedstawiono w (Huścio T., 2007).

4. DOBÓR ELEMENTARNYCH ELEKTROMAGNETYCZNYCH MODUŁÓW NAPĘDOWYCH

Na rysunku 6 przedstawiono algorytm działania programu komputerowego SPAP^{MAG} umożliwiającego dobór liczby elementarnych elektromagnetycznych modułów oraz ich rozmieszczenie na powierzchni nośnej podpory.

Szczegółowy opis poszczególnych bloków algorytmu:

Blok 1. Dane wejściowe:

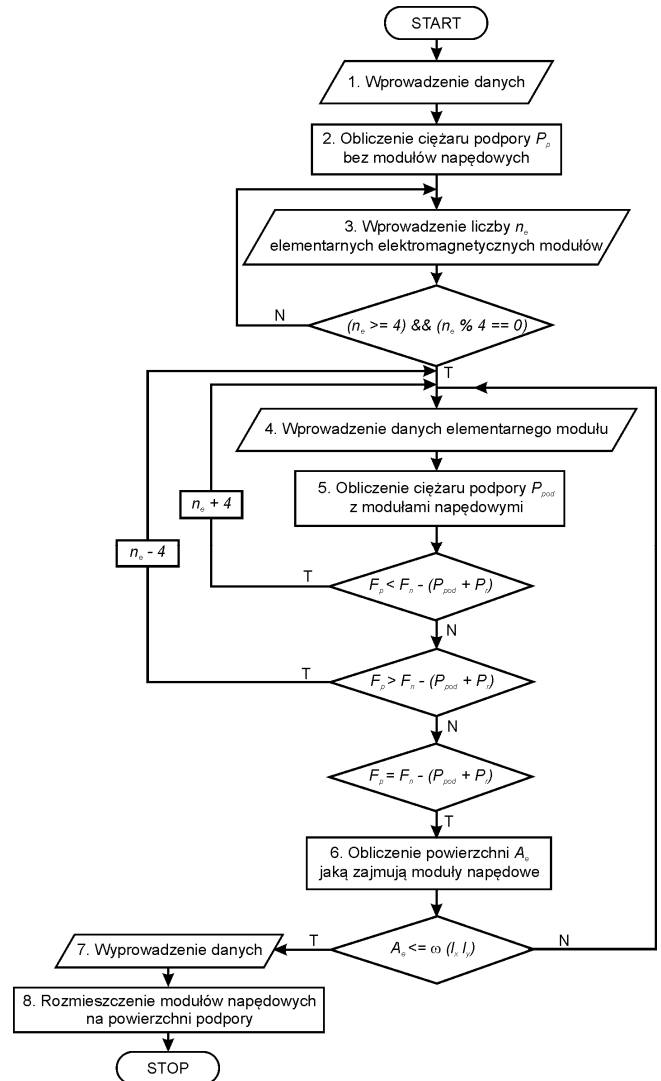
1. Parametry konstrukcyjne podpory aerostaticznej:
 - wymiary geometryczne podpory aerostaticznej: wymiary powierzchni nośnej: długość l_x , szerokość l_y , wysokość podpory (l_z),
 - gęstość materiału, z którego wykonana jest konstrukcja podpory ρ ,
 - liczba i rozmieszczenie otworów zasilających na powierzchni nośnej podpory,
 - przewidywane obciążenie robocze P_r ,
 - pozycja mocowania podpory - pozycja typowa lub pozycja odwrotna („do góry nogami”).
2. Wyniki rozwiązania zagadnienia przepływu powietrza przez układ podpora – szczelina powietrzna – podstawa (SPAP^{AERO}):
 - sztywność układu j ,
 - punktu pracy h_r ,
 - wartość siły nośnej F_n w punkcie pracy h_r .

Blok 2. Ciężar podpory P_p bez modułów napędowych obliczamy z zależności:

$$P_p = (l_x \cdot l_y \cdot l_z) \cdot \rho \cdot g \quad (3)$$

gdzie: $(l_x \cdot l_y \cdot l_z) \cdot \rho$ – masa podpory; ρ – gęstość materiału, z którego wykonano konstrukcję podpory; g – przyspieszenie ziemskie.

Blok 3. Wprowadzana liczba elementarnych elektromagnetycznych modułów musi być większa lub równa 4 oraz z powodu ortogonalnego ich rozmieszczenia na powierzchni nośnej podpory musi być podzielna przez 4.



Rys. 6. Schemat blokowy algorytmu doboru elementarnych elektromagnetycznych modułów napędowych

Blok 4. Biblioteka elementarnych elektromagnetycznych modułów. Dane wejściowe opisujące elementarny elektromagnetyczny moduł:

- wymiary geometryczne modułu: $a \times b \times c$ (długość \times szerokość \times wysokość),
- masa modułu m_e ,
- dane magnesu trwałego: wartość indukcji magnetycznej (remanencja) B , natężenie pola magnetycznego (koercja) H_c w punkcie pracy h_r , gęstość energii magnetycznej $(BH)_{max}$.

Blok 5. Ciężar podpory P_{pod} z modułami napędowymi (n_e elementarnych elektromagnetycznych modułów) obliczamy z zależności:

$$P_{pod} = P_p - P_{out} + P_e \quad (4)$$

$$P_{out} = n_e \cdot (V_{out} \cdot \rho \cdot g)$$

$$P_e = n_e \cdot (m_e \cdot g)$$

gdzie: P_{out} – ciężar materiału podpory, który zostanie wybrany na wstawienie modułów napędowych; V_{out} – objętość n_e elementarnych modułów, które zostaną zamocowane w podporze ($V_{out} = a \cdot b \cdot c$); a, b, c – wymiary geometryczne modułu; P_e – ciężar modułów napędowych; m_e – masa elementarnego modułu.

Po bloku 5 następuje sprawdzenie warunku równowagi sił występujących w układzie. Jeżeli siła przyciągania

F_p podpory do podstawy generowana przez magnesy trwałe, wchodzące w skład elektromagnetycznych modułów napędowych, jest za mała program dodaje 4 elementarne moduły, jeżeli za duża program odejmuje 4 elementarne moduły. Jeżeli warunek jest spełniony program przechodzi do obliczenia powierzchni A_e jaką zajmują elektromagnetyczne moduły napędowe (**Blok 6**):

$$A_e = n_e \cdot (a \cdot b) \quad (5)$$

Następnie następuje sprawdzenie czy obliczona powierzchnia A_e mieści się na powierzchni roboczej podpory ($l_x \times l_y$). Współczynnik dopuszczalnej powierzchni, jaką zajmują moduły napędowe ω w zostanie wyznaczony

z analizy istniejących podpór pneumatycznych. Jeżeli warunek zostanie spełniony program wyprowadza dane podpory (**Blok 7**):

- wymiary geometryczne podpory ($l_x \times l_y \times l_z$) [mm],
- masa podpory [kg],
- dane techniczne wybranego modułu napędowego,
- wartość siły nośnej F_n w punkcie pracy h_r .

W **bloku 8** następuje rozmieszczenie wyliczonej liczby elementarnych elektromagnetycznych modułów na powierzchni roboczej podpory. Przy wykonaniu tej operacji należy uwzględnić rozmieszczenie otworów zasilających na powierzchni nośnej podpory. Moduły napędowe nie mogą być rozmieszczone na obszarze otworów zasilających.

Przedstawiony algorytm dotyczy układu podpora – szczelina powietrzna – podstawa przedstawionego na rysunku 4. W przypadku pracy układu w pozycji „do góry nogami” należy uwzględnić to podczas sprawdzania warunku równowagi sił w układzie wstawiając warunek odpowiedni dla tego typu pracy podpory.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiony algorytm zostanie zaimplementowany w programie komputerowym SPAP^{MAG}, który umożliwi dobór określonego typu modułów napędowych zainstalowanych w podporze oraz ich rozmieszczenie na powierzchni nośnej podpory aerostaticznej. Badania dotyczące przepływu powietrza przez układ podpora - szczelina powietrzna – podstawa są na etapie symulacji komputerowych. Program komputerowy SPAP z modułami SPAP^{AERO} i SPAP^{MAG} przyspieszy procesu projektowania konstrukcji płaskich aerostaticznych podpór

współrzędnościowych z napędem elektromagnetycznym. Wyniki obliczeń uzyskane podczas symulacji komputerowej umożliwią wybór pożądanego, w określonym urządzeniu, wariantu konstrukcji podpory aerostaticznej z elektromagnetycznym napędem.

LITERATURA

1. **Hućcio T. Siemieniako F.** (2003), Physical model of the planar two-coordinate base, 5. *Deutsch-Polnisches Seminar: Innovation und Fortschritt in der Fluidtechnik*, Technische Universität Warszawa, 263-271.
2. **Hućcio T., Karpovich S.** (2004), Mathematical model of the gas flow through the relative base – air gap – absolute base system, *Sovremennyye metody proektirovanija mašin: respublikanskij mežvedomsvennyj sbornik naučnych trudov.*, Technoprint Mińsk, Vyp.2, T.6. 107-111.
3. **Hućcio T.** (2005) Komputerowo wspomaganą symulacją płaskich aerostaticznych podpór współrzędnościowych Program SPAP^{AERO}, *International Scientific-Technical Conference. Hydraulic and Pneumatics '2005. Problems and development tendencies in the beginning decade of the 21st Century*, p. 145-150.
4. **Hućcio T.** (2007) Computer simulation of a planar aerostatic two-coordinate relative base with electromagnetic drive, *Mechanics*. Vol. 26 No. 3, 114-118.
5. **Boldea I., Nasar S. A.** (1997) Linear electric actuators and generators, *Cambridge University Press*
6. **Information on** <http://www.ruchservomotor.com>

ALGORITHM OF THE SELECTION OF ELECTROMAGNETIC DRIVING MODULES OF A PLANAR AEROSTATIC TWO-COORDINATE RELATIVE BASE

Abstract: The paper describes the construction and the principle of operation of a planar aerostatic two-coordinate relative base with electromagnetic drive. The scope of the research of the planar aerostatic two-coordinate base is presented. Algorithm of the calculations enable determination of the number of the elementary electromagnetic driving modules and optimal distribution of the electromagnetic modules on the working surface of the relative base is presented.