

Jan BURCAN, Anna SŁAWIŃSKA, Radosław BEDNAREK  
Katedra Konstrukcji Precyzyjnych  
Politechnika Łódzka

**ZMIANA WEKTORA INDUKCJI MAGNETYCZNEJ  
DLA RÓŻNYCH KSZTAŁTÓW POWIERZCHNI ROBOCZEJ  
CZOŁ MAGNESÓW**

**WPROWADZENIE**

W ciągu kilku ostatnich lat powstało wiele materiałów magnetycznie twardych stosowanych do wytwarzania magnesów trwałych. Wśród nich można wyróżnić: stopy i spieki Al-Ni oraz Al-Ni-Co, stopy SmCoB, oraz stopy NdFeB [1]. Najnowsze z tych ostatnich charakteryzują się bardzo wysoką energią  $(BH)_{\max}$  przekraczającą wartość  $600 \text{ kJ/m}^3$ . Cecha ta w połączeniu z dobrą wytrzymałością mechaniczną sprawia, iż możliwa jest budowa łożysk i przewodnic, których obciążenia są równoważone, częściowo lub całkowicie, polem magnetycznym. W pracy [2] wykazano, iż siła przenoszona przez dwa odpychające się magnesy trwałe zależy przede wszystkim od cech konstrukcyjnych (gabarytów magnesów oraz wartości szczeliny pomiędzy nimi) i materiałowych. Ogólnie siła ta jest wprost proporcjonalna do iloczynu indukcji i pól powierzchni roboczych magnesów i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi.

Indukcja magnetyczna  $\vec{B}$   $\text{Wb/m}^2$  jest wielkością wektorową równą iloczynowi przenikalności magnetycznej bezwzględnej  $\mu$   $\text{Wb/Am}$  oraz natężenia pola magnetycznego  $\vec{H}$   $\text{A/m}$ . Wektor indukcji nie musi i z reguły nie jest prostopadły do czoła magnesu. Powoduje to powstanie poprzecznych składowych. W wielu układach jest to niekorzystne. Istnieje przekonanie, iż przez odpowiednie ukształtowanie powierzchni roboczej magnesu możliwe jest wykorzystanie składowych poprzecznych.

W opracowaniu podjęto próbę wyznaczenia rozkładu wektora indukcji magnetycznej w zależności od kształtu czoła magnesu.

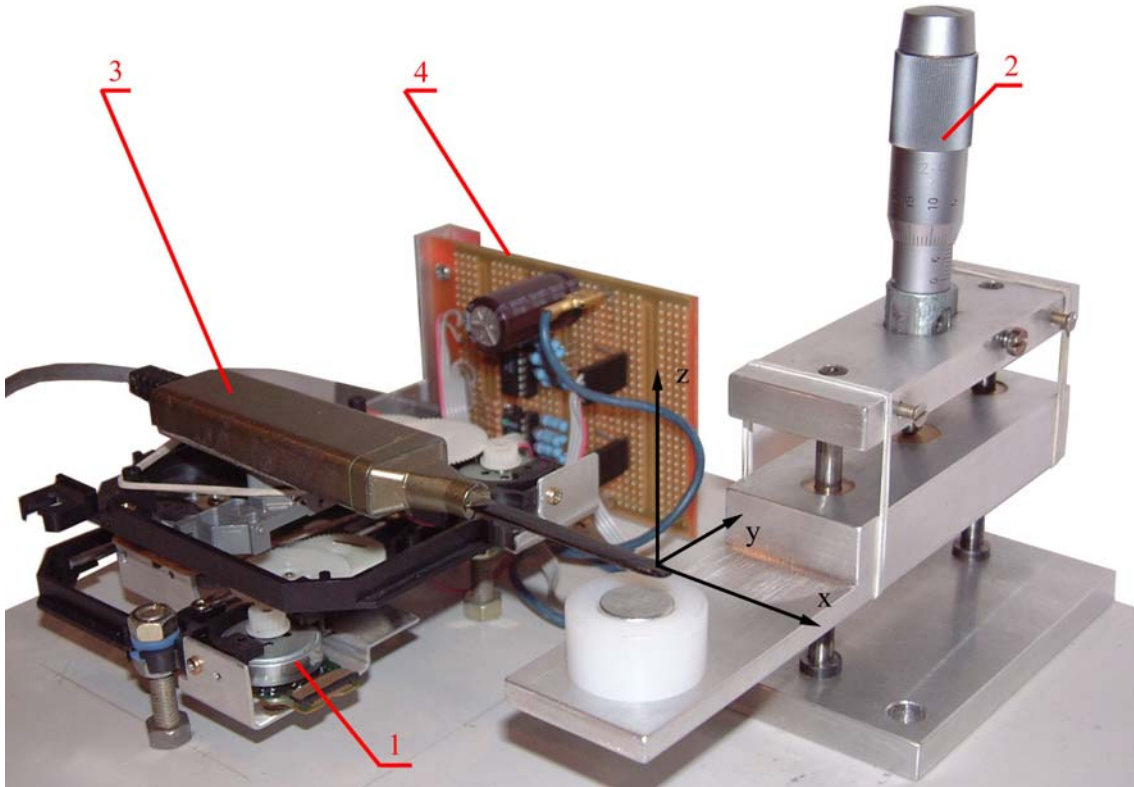
**Próbki**

Do wstępnych badań wykorzystano magnesy walcowe o średnicach 15 i 22 mm oraz wysokości 10 mm wykonane ze stopu NdFeB, o energii magnetycznej  $(BH)_{\max} \approx 600 \text{ kJ/m}^3$ . Zmianę kształtu czoła magnesu uzyskano dzięki nakładkom, tzw. magnetowodom, wykonanym z żelaza Armco (żelazo zawierało mniej niż 0,1% zanieczyszczeń) oraz stali „45”. Zastosowano nakładki walcowe o różnych wysokościach oraz nakładki stożkowe (ze stożkiem wewnętrznym i zewnętrznym).

**Skaner indukcji magnetycznej**

W celu wyznaczenia rozkładu indukcji magnetycznej wykonano stanowisko badawcze, przedstawione na fotografii (rys. 1).

Stanowisko składa się z układu pozycjonowania głowicy pomiarowej (płaszczyzna  $x$ - $y$ ) (1), układu pozycjonowania magnesu (oś pionowa  $z$ ) (2), głowicy pomiarowej (czujnik do pomiaru natężenia pola magnetycznego wykorzystujący efekt Hall'a; w wersji wykonania przedstawionej na fotografii dokonywano pomiaru tylko w jednej osi – pionowej  $z$ ) (3) oraz układu sterowania (4). Sterowanie, odczyt danych z czujnika oraz rejestrację wyników pomiaru umożliwia specjalny program oraz karta analogowo-cyfrowa.

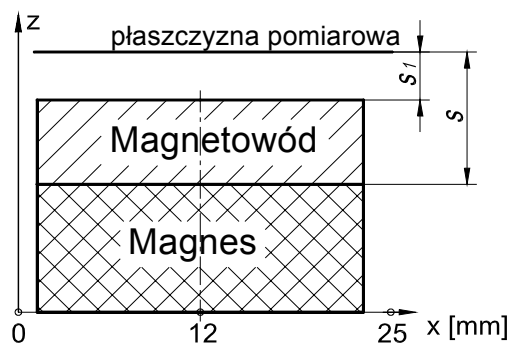


Rys. 1. Widok stanowiska do pomiaru indukcji magnetycznej

Stanowisko zapewnia pomiar natężenia pola magnetycznego do 2000 z dokładnością do  $\pm 1$  A/cm, w przestrzeni X, Y, Z (35x35x25 mm) z dokładnością pozycjonowania we wszystkich osiach równą  $\pm 0.02$  mm.

## WYNIKI BADAŃ

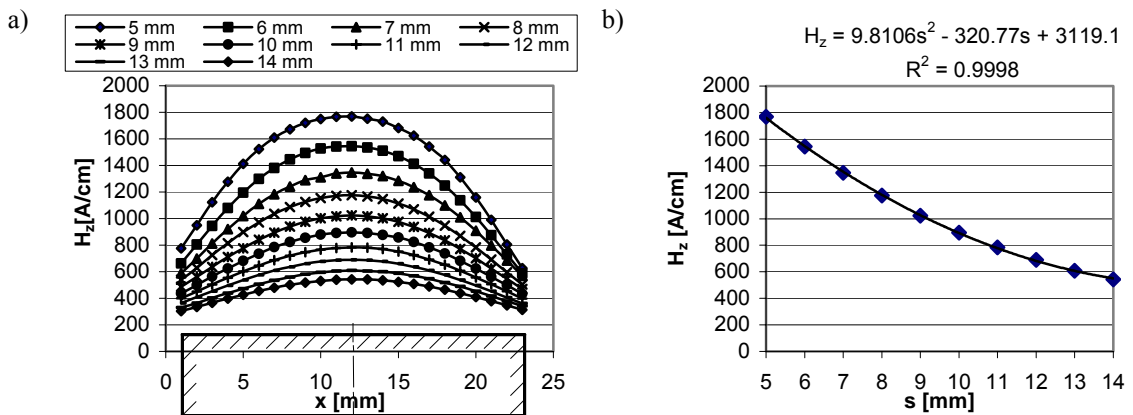
Wstępne badania przeprowadzono dla próbek opisanych w punkcie 1.1 (rys. 2).



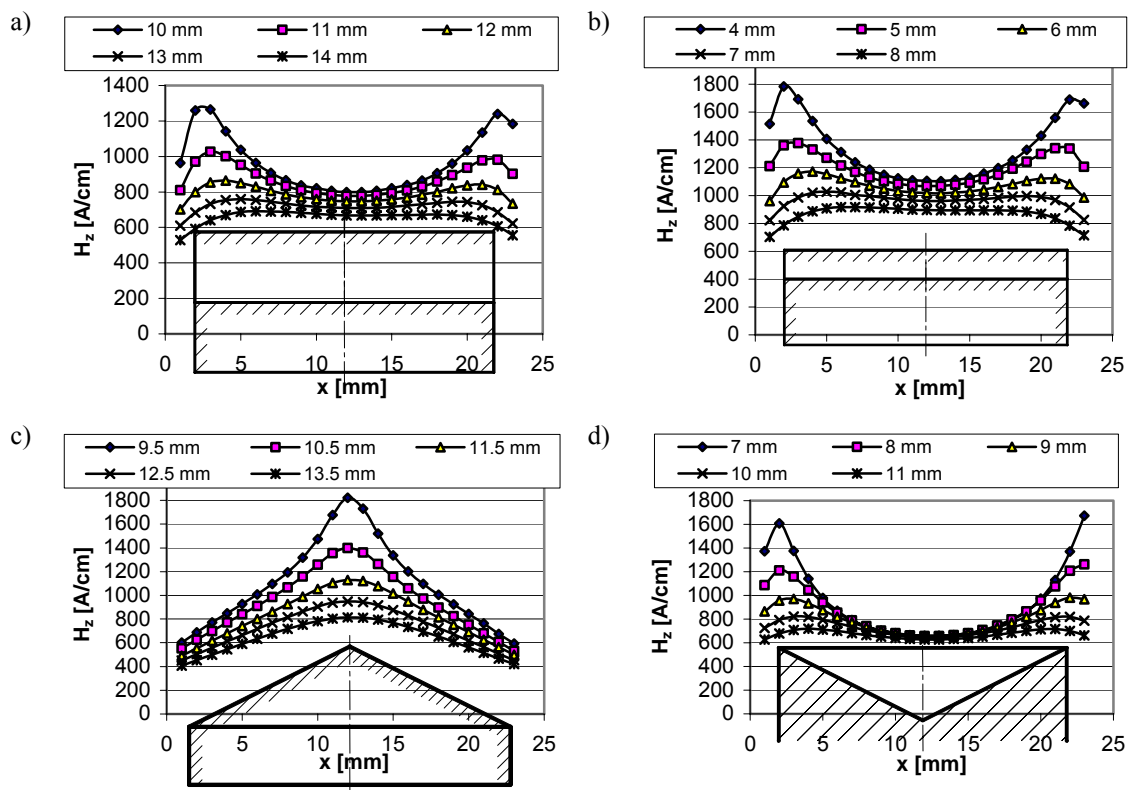
Rys. 2. Przekrój poprzeczny (w płaszczyźnie  $x$ - $z$ ) próbki (magnes o średnicy 22 mm + magnetowód) wraz z wymiarami charakterystycznymi:  $s$  – odległość płaszczyzny pomiarowej od czoła magnesu,  $s_1$  – odległość płaszczyzny pomiarowej od czoła magnetowodu

Pomiary miały na celu określenie zależności natężenia pola magnetycznego od grubości magnetowodu, jego kształtu oraz materiału, z którego został wykonany. Sprawdzone także wpływ odległości od czoła magnesu i czoła magnetowodu na rozkład natężenia pola magnetycznego (rys. 3 – 5).

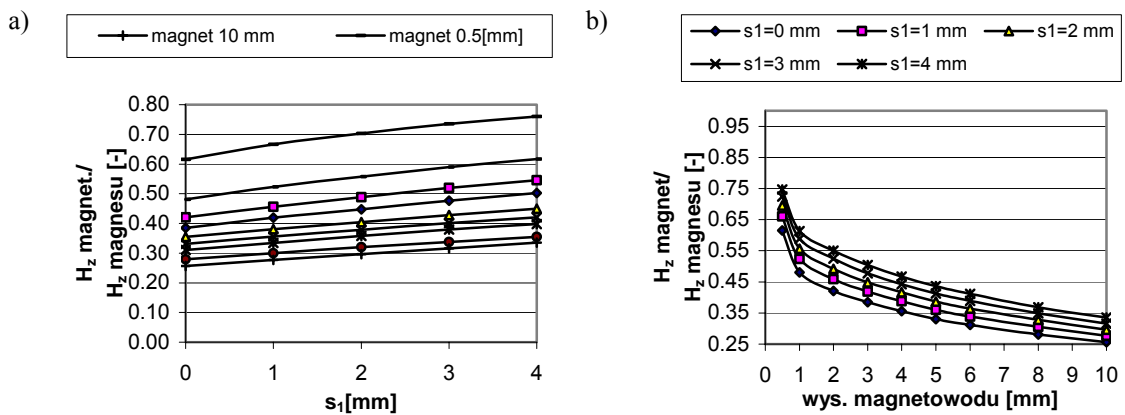
W celu oszacowania wpływu szczeliny powietrznej pomiędzy magnesem a magnetowodem przeprowadzono także serię pomiarów dla próbek, w których szczelina powietrzna między magnesem i magnetowodem została wypełniona cieczą magnetycznie aktywną. Wykorzystano roztwór, wykonany na bazie wody. Zaobserwowano zmniejszanie wpływu szczeliny powietrznej, polegające na zwiększeniu przenikalności magnetycznej.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi składowej pionowej natężenia pola magnetycznego dla magnesu o średnicy 22 mm dla różnych odległości od czoła ( $s$ ): a) w płaszczyźnie prostopadłej do czoła magnesu przechodzącej przez oś główną, b) na osi głównej, prostopadłej do czoła magnesu



Rys. 4. Przykładowe przebiegi składowej pionowej natężenia pola magnetycznego dla magnesu o średnicy 22 mm, dla różnych odległości od czoła magnesu ( $s$ ): a) walcowy magnetowód o wysokości 10 mm, b) walcowy magnetowód o wysokości 4 mm, c) magnetowód stożkowy zewnętrzny o wysokości 9.5 mm, d) magnetowód stożkowy wewnętrzny o wysokości 7 mm



Rys. 5. Przykładowe przebiegi składowej pionowej natężenia pola magnetycznego dla magnesu o średnicy 22 mm z walcowym magnetowodem, odniesione do składowej pionowej natężenia pola magnetycznego dla samego magnesu: a) w funkcji odległości od czoła magnetowodu ( $s_1$ ) dla różnych wysokości magnetowodu, b) w funkcji wysokości magnetowodu dla różnych odległości od czoła magnetowodu ( $s_1$ )

## WNIOSKI

Wstępne wyniki badań pokazują istotne zmiany wartości i rozkładu natężenia pola magnetycznego dla różnych kształtów czoł magnesów (rys. 3 i rys. 4). Kształt czoła magnesu ma, zatem istotny wpływ na wartość siły przenoszonej przez parę odpychających się magnesów.

Obserwowany wzrost natężenia pola magnetycznego (do 12%) dla próbek z cieczą magnetycznie aktywną wynika ze zwiększenia przenikalności magnetycznej między magnesem i magnetowodem.

Rodzaj materiału użytego do wykonania magnetowodu ma również wpływ na rozkład natężenia pola magnetycznego. Wskazuje na to porównanie przebiegów natężenia pola magnetycznego uzyskanych dla magnetowodów wykonanych z żelaza Armco i stali „45”. Podczas pomiarów zaobserwowano występowanie asymetrii rozkładów natężenia pola magnetycznego. Wśród różnych przyczyn tego stanu wydaje się logiczne stwierdzenie, że uzyskana asymetria przebiegu przy próbkach wykonanych ze stali oraz wzrost natężenia pola magnetycznego na krawędziach mogą być spowodowane pozostałością magnetyczną o wartości sięgającej 5% wartości natężenia pola magnetycznego.

Prowadzone badania rozszerzają zakres uzyskiwanych informacji, a uzyskane wyniki mogą być wykorzystane przy konstrukcji węzłów ciernych takich jak łożyska poprzeczno-wzdłużne lub prowadnice magnetyczne.

## LITERATURA

- [1] Burcan J., Łożyska wspomagane polem magnetycznym, WNT, Warszawa 1996
- [2] Sławińska A., Badania charakterystyk statycznych i dynamicznych wzdłużnych magnetycznych łożysk pasywnych w aspekcie cech konstrukcyjnych i materiałowych, Rozprawa Doktorska, Łódź 2005

## THE CHANGE IN MAGNETIC INDUCTION VECTOR FOR VARIOUS SHAPES OF THE WORKING SURFACE

**Summary:** For magnets NdFeB, of various shapes of working surfaces, the distribution of strength of magnetic field was measured. The changes in the shape of working surfaces were obtained owing to the use of cover plates made of Armco ferrum. The plates were joined by wetting the surface with a magnetically active liquid and also without lubrication. The experiments showed the quantitative and qualitative changes in the distributions measured, dependent on the shapes of working surfaces.