

Mirosław WOŁOSZYN\*  
Kazimierz JAKUBIUK\*  
Mateusz FLIS\*

## **ANALIZA ROZKŁADU POLA MAGNETYCZNEGO W KADŁUBIE OKRĘTU Z CEWKAMI UKŁADU DEMAGNETYZACYJNEGO**

Okręty wyposażone są w system automatycznej demagnetyzacji. W zależności od kursu okrętu prądy płynące w cewkach umieszczonych wewnątrz okrętu minimalizują pole własne okrętu. Uzwojenia demagnetyzacyjne powinny być tak rozmieszczone, aby zapewniały w przybliżeniu równomierny rozkład pola magnetycznego w kadłubie okrętu. Z tego względu konieczne jest określenie odpowiedniego rozkładu przestrzennego uzwojeń demagnetyzacyjnych okrętu. W pracy przedstawiono wyniki analizy rozkładu pola magnetycznego w stalowej płycie z uwzględnieniem odległości między przewodami i odległością przewodów od płyty. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w pakiecie ANSYS.

KEYWORDS: pole magnetyczne, demagnetyzacja

### **1. SYSTEM AUTOMATYCZNEJ DEMAGNETYZACJI OKRĘTU**

Okręty ze względu na ochronę przeciwminową wyposażone są w system automatycznej demagnetyzacji [1, 2, 3]. Sterowane prądy płynące w cewkach umieszczonych wewnątrz okrętu pozwalają zminimalizować pole własne okrętu. Stosowane są trzy zasadnicze zestawy cewek demagnetyzacyjnych do kompensacji namagnesowania indukowanego pionowego, poprzecznego i wzdłużnego okrętu. W zależności od kursu okrętu, który mierzony jest za pomocą trójosiowego magnetometru transduktorowego, sterowane są odpowiednio prądy w cewkach demagnetyzacyjnych. Cewki demagnetyzacyjne powinny zapewnić w przybliżeniu równomierny rozkład pola magnetycznego w kadłubie okrętu. Z tego względu celowa jest analiza rozkładu pola magnetycznego w układzie przewody – płyta ferromagnetyczna, aby zapewnić właściwe rozmiary cewek oraz odległości przewodów od kadłuba okrętu. Zastosowanie dużej liczby cewek demagnetyzacyjnych o małej odległości między nimi zapewnia dużą równomierność pola magnetycznego, ale wiąże się z dużymi kosztami budowy i eksploatacji systemu demagnetyzacji.

---

\* Politechnika Gdańska.

## 2. MODEL NUMERYCZNY UKŁADU PRZEWODY-PŁYTA

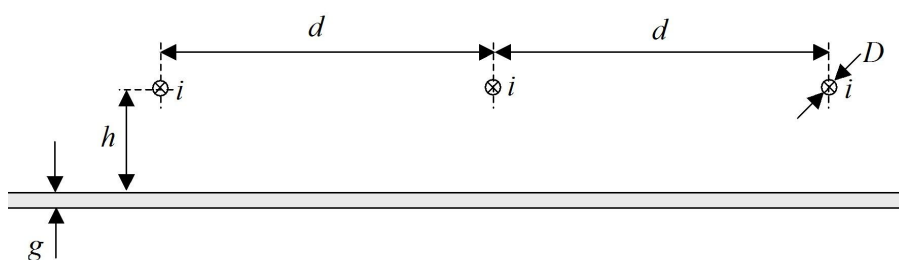
Analizę rozkładu statycznego pola magnetycznego w stalowej płycie przeprowadzono w układzie jak na rys. 1. Symulacje komputerowe rozkładu pola magnetycznego przeprowadzono w pakiecie ANSYS. W modelu obliczeniowym założono, że przewody znajdują się w tej samej odległości  $h$  od płyty. Odległości między przewodami wynoszą  $d$ . W analizie przyjęto bezwymiarową odległość między przewodami a płytą:

$$h_b = \frac{h}{h_{\min}} \quad (1)$$

oraz bezwymiarową odległość między przewodami:

$$d_b = \frac{d}{d_{\min}} \quad (2)$$

Grubość  $g$  płyty wynosi  $0,04h_{\min}$ , a minimalna odległość przewodu od płyty  $h_{\min}$  wynosi  $0,1d_{\min}$ . Średnice przewodów przyjęto  $D = 0,4h_{\min}$ . Względna przenikalność magnetyczna płyty wynosi  $\mu_r = 100$ .

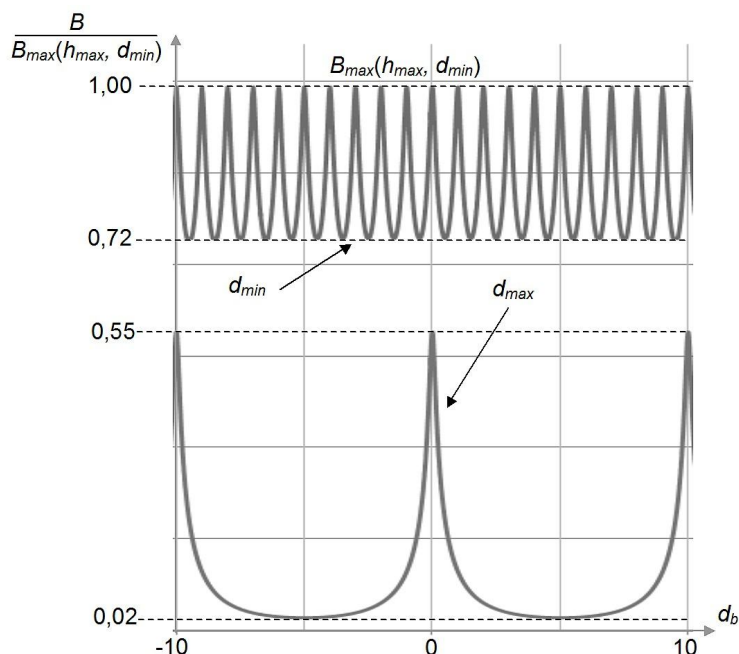


Rys. 1. Model układu przewody z prądem - płyta ferromagnetyczna  
 $d$  - odległość między przewodami,  $h$  - odległość przewodów od płyty,  $g$  - grubość płyty,  
 $D$  - średnica przewodu,  $i$  - prąd elektryczny

## 3. ANALIZA NUMERYCZNA ROZKŁADU POLA MAGNETYCZNEGO

Analizę rozkładu statycznego pola magnetycznego w stalowej płycie przeprowadzono dla różnych odległości między przewodami  $\langle d_{\min}, 10d_{\min} \rangle$  i odległości przewodów od płyty  $\langle h_{\min}, h_{\max} = 5h_{\min} \rangle$ . Na rys. 2 przedstawiono rozkłady bezwymiarowej indukcji magnetycznej w płycie dla  $h_{\max}$ ,  $d_{\min}$  i  $d_{\max}$  (odniesionej do maksymalnej wartości indukcji dla  $d_{\min}$  i  $h_{\max}$ ).





Rys. 2. Rozkłady bezwymiarowej indukcji magnetycznej w płycie dla  $h_{max}$ ,  $d_{min}$  i  $d_{max}$  (rys. 1)

Na rys. 3 pokazano zależności bezwymiarowej wielkości:

$$\beta = \frac{B_{min}}{B_{max}} 100\% \quad (3)$$

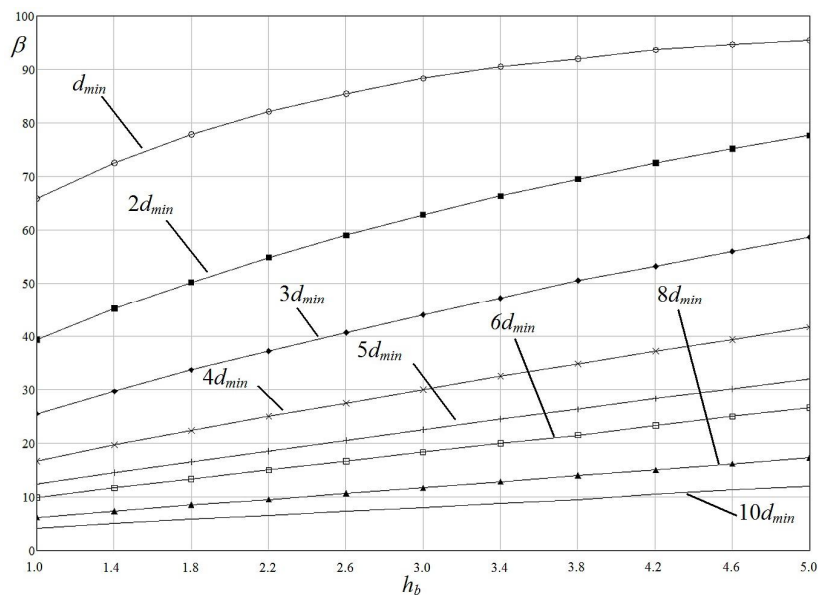
w funkcji bezwymiarowej odległości przewodu od płyty  $h_b$ . Najbardziej równomierny rozkład indukcji magnetycznej występuje dla najmniejszej odległości  $d_{min}$ . Wraz ze wzrostem odległości przewodu od płyty równomierność ta zwiększa się z około 65% do 95% dla  $h_b = 5$ . Zwiększenie odległości między przewodami powoduje znaczny wzrost nierównomierności pola magnetycznego wynoszący w przyjętym zakresie parametrów układu  $20B_{min} = B_{max}$  ( $\beta = 5\%$ ). Zwiększenie odległości przewodu od płyty w tym przypadku nie wpływa znacząco na równomierność pola magnetycznego.

Na rys. 4 pokazano rozkład bezwymiarowej indukcji:

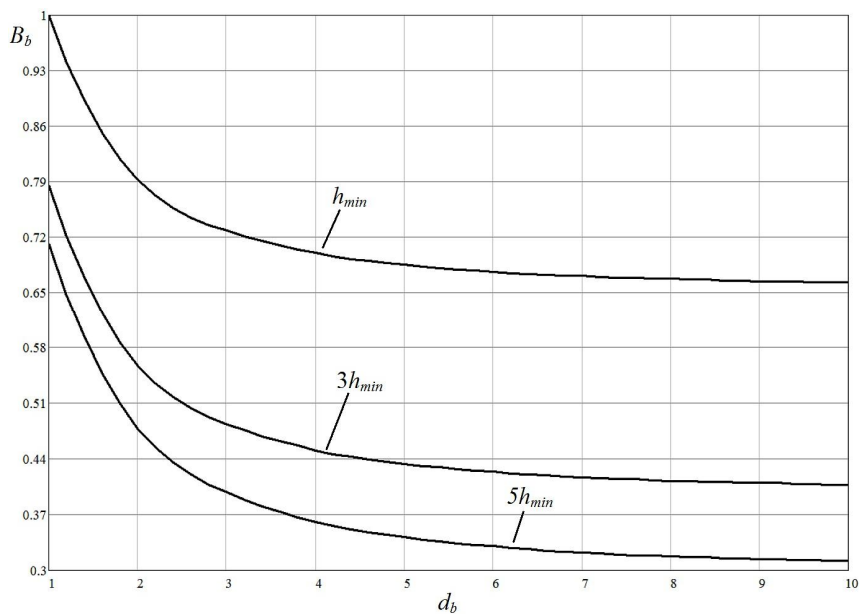
$$B_b = \frac{B_{max}|_{d_{min}, h_{min}}}{B_{max}|_{d, h}} \quad (4)$$

dla trzech wysokości nad płytą w funkcji bezwymiarowej odległości między przewodami  $d_b$ . Dla najmniejszej przyjętej odległości przewodów od płyty 10-krotny wzrost odległości między przewodami powoduje spadek maksymalnej indukcji magnetycznej o blisko 35%.





Rys. 3. Zależności bezwymiarowej wielkości  $\beta$  w funkcji bezwymiarowej odległości przewodu od płyty  $h_b$  dla różnych odległości pomiędzy przewodami  $d = k d_{min}$



Rys. 4. Rozkład bezwymiarowej indukcji w funkcji bezwymiarowej odległości między przewodami  $d_b$  dla różnych odległości płyty od przewodu  $h = m h_{min}$



Dla największych rozpatrywanych wartości odległości przewodu od płyty i odległości pomiędzy przewodami indukcja magnetyczna jest około 3 razy mniejsza od indukcji dla  $h_{\min}$  i  $d_{\min}$ . Osiągnięcie tej samej wartości indukcji magnetycznej wymagałoby w tym przypadku 3-krotnie większej wartości prądu w przewodach. Zakładając równomierność pola magnetycznego w płycie na poziomie 90 %, odległość między przewodami wyniosłaby  $d_{\min}$ , a odległość przewodów od płyty  $2h_{\min}$  (rys. 3).

#### 4. PODSUMOWANIE

System automatycznej demagnetyzacji okrętu wymaga odpowiedniego doboru liczby cewek i prądów w nich płynących. Duża liczba cewek pozwala zwiększyć równomierność ( $\beta$ ) pola magnetycznego w stali oraz zmniejszyć wartość prądu płynącego w cewkach, ale jednocześnie powoduje to wzrost kosztu budowy systemu i wzrost mocy elektrycznej, ze względu na większą wartość rezystancji cewek. Zbyt bliskie ułożenie przewodów od stali kadłuba okrętu powoduje wzrost nierównomierności pola magnetycznego. Projektowanie systemu automatycznej demagnetyzacji okrętu wymaga osiągnięcia kompromisu między poziomem równomierności pola magnetycznego w kadłubie okrętu a mocą elektryczną systemu, która związana jest z liczbą cewek i odległością przewodów od stali.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Jakubiuk K., Zimny P., Wołoszyn M.: Analysis of degaussing process of ferromagnetic objects. Przegląd Elektrotechniczny, No 1, 2010.
- [2] Holmes J.: Reduction of a ship's magnetic field signatures. Synthesis Lectures on Computational Electromagnetics, 2008, Vol. 3, No 1.
- [3] XIAO Chang-han, LU Qing-fang, WANG Zhi-yong, WANG Qian.: Equations of the ship degaussing system current in general situation. Journal of Naval University of Engineering, 2002, No 1.

#### ANALYSIS OF MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION IN SHIP HULL WITH DEGAUSSING COILS

The ships are equipped with an automatic degaussing system. Depending on the course of ship, currents flowing in the coils located inside the hull minimize magnetic field of the ship. The degaussing windings shall be so arranged to provide approximately uniform magnetic field distribution in the hull of the ship. For this reason, it is necessary to determine the appropriate spatial distribution of the degaussing coil. Taking into account the distance between wires and the distance between wires and a plate, the results of the analysis of the magnetic field distribution in the steel plate are presented in this paper. Numerical calculations were carried out in a package ANSYS.