

## Optymalizacja konstrukcji cewki przepływomierza elektromagnetycznego

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problematykę projektowania cewki wzbudzającej przepływomierza elektromagnetycznego dla kanałów otwartych i zamkniętych o przekroju prostokątnym. Porównano pod względem jakości generowanego pola magnetycznego cewkę typu double deck oraz cewkę Helmholtza. Zbadano wpływ długości cewki Helmholtza na rozkład pola magnetycznego w strefie pomiarowej kanału przepływowego.

**Abstract.** Paper presents some problems of excitation coil design for electromagnetic flow meter dedicated for open and close channels with rectangular cross section. Two types of coil were compared, double deck type and Helmholtz coil. The influence of the type and length of the Helmholtz coil on magnetic field distribution in measurement zone are discussed. **Optimisation of the coil of electromagnetic flowmeter**

**Słowa kluczowe:** pole magnetyczne, przepływomierz elektromagnetyczny, cewka wzbudzająca

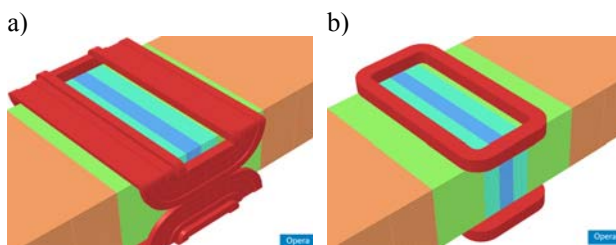
**Keywords:** magnetic field, electromagnetic flow meter excitation coil

doi:10.12915/pe.2014.08.55

### Wprowadzenie

Głównym problemem projektowym w przepływomierzu elektromagnetycznym (PEM) dla kanału otwartego jest zapewnienie równomiernego rozkładu pola magnetycznego w strefie pomiarowej przez specjalnie zaprojektowaną w tym celu cewkę wzbudzającą. Konstrukcja cewki powinna również ograniczać efekty brzegowe zakłócające pole elektryczne, które w konsekwencji zmniejszają sygnał pomiarowy. Można to najprościej osiągnąć przez zwiększenie długości cewki w kierunku przepływu, ale to z kolei zwiększa koszt wykonania cewki. Istotnym jest również, aby konstrukcja cewki była łatwa w realizacji z technologicznego punktu widzenia [1].

W artykule rozpatrzono dwie odmienne konstrukcje cewki wzbudzającej: cewkę typu double deck (rys.1a) i cewkę Helmholtza (rys.1b).



Rys. 1. Model symulacyjny układu wzbudzenia z cewką double deck a) i Helmholtza b)

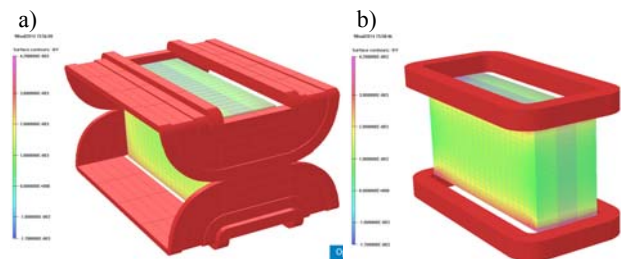
Konstrukcja cewki double deck jest wynikiem procedury projektowej przeprowadzonej w specjalnym programie projektowym opracowanym w ramach projektu badawczo-rozwojowego [2]. Konstrukcja ta została zrealizowana w praktyce i spełnia kryteria projektowe odnośnie rozkładu pola magnetycznego i efektów brzegowych. Jediną jej wadą jest dość skomplikowana technologia wykonania. Autorzy zaczęli poszukiwać prostszego pod względem technicznym rozwiązania, ale spełniającego wymagania związane z rozkładem pola magnetycznego w przestrzeni pomiarowej.

W artykule przedstawiono wyniki badań symulacyjnych weryfikujących wpływ wybranych konstrukcji cewki wzbudzającej na rozkład pola magnetycznego w strefie pomiarowej PEM.

### Metodyka i wyniki badań

Badania prowadzono na modelu symulacyjnym PEM wykonanym w programie PC Opera 3D. Obserwacje

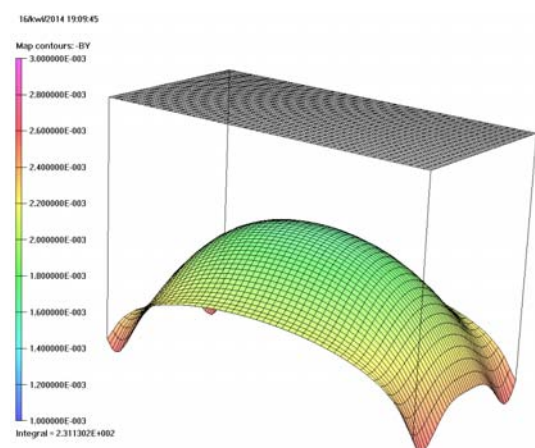
prowadzono głównie w strefie pomiarowej PEM wyodrębnionej z modelu symulacyjnego jak na rysunku 2.



Rys. 2. Widok strefy pomiarowej w modelu PEM z cewką double deck a) i Helmholtza b)

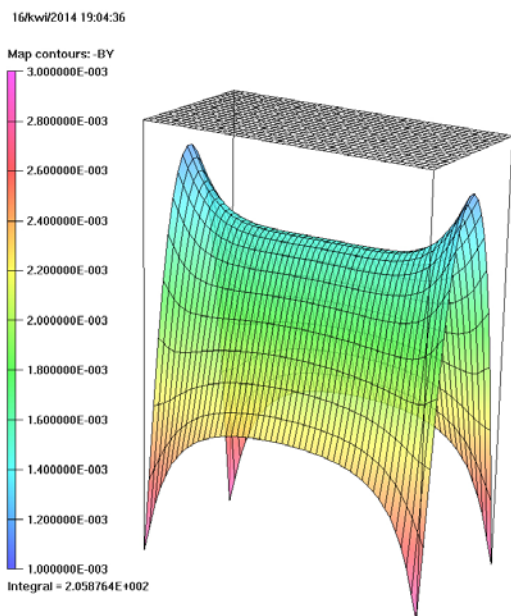
W wyniku przeprowadzonych symulacji wygenerowano rozkłady indukcji magnetycznej w zaznaczonej strefie pomiarowej obydwu cewek i obliczono na ich podstawie wartości średnie oraz odchylenia standardowe.

Na rysunku 3 i 4 przedstawiono rozkłady składowej By indukcji dla obydwu cewek w płaszczyźnie elektrod, prostopadłej do wektora prędkości.



Rys. 3. Rozkład składowej By indukcji pola magnetycznego w płaszczyźnie elektrod dla cewki double deck

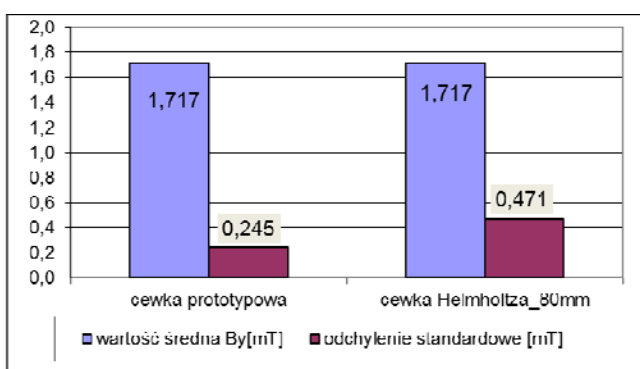
Jest to obraz pola w środku cewki (kanału), w płaszczyźnie elektrod pomiarowych wyznaczonej przez prostokąt o wierzchołkach znajdujących się na początkach i końcach elektrod pomiarowych.



Rys. 4. Rozkład indukcji pola magnetycznego w płaszczyźnie elektrod dla cewki Helmholtza

Składowa  $B_y$  wektora indukcji magnetycznej zmienia się w zakresie od około 2,6mT przy bocznej strefie kanału, blisko elektrod pomiarowych do 1,6mT w środku prostokąta dla cewki double deck i odpowiednio od 2,9mT do 1,1mT dla cewki Helmholtza. Z przedstawionych rozkładów widać, że zakres zmienności indukcji dla cewki Helmholtza jest 1,8 razy większy niż dla cewki double deck. To oznacza, że cewka double deck znacznie lepiej realizuje zadanie utrzymania równomiernego rozkładu pola w płaszczyźnie elektrod pomiarowych.

Dokonując analizy rozkładu pola magnetycznego w przestrzeni pomiarowej PEM określonej jak na rysunku 2 obliczono średnią wartość indukcji oraz odchylenie standardowe dla obydwu przypadków. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 5. Wynika z nich, że taką samą wartość średnią indukcji dla obydwu cewek uzyskano przy mniejszym odchyleniu standardowym dla cewki double deck (prototypowej).

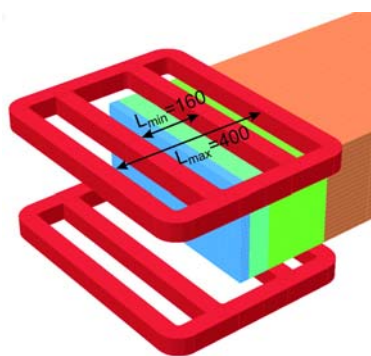


Rys. 5. Wartość średnia i unormowana wartość odchylenia standardowego dla cewki prototypowej i cewki Helmholtza.

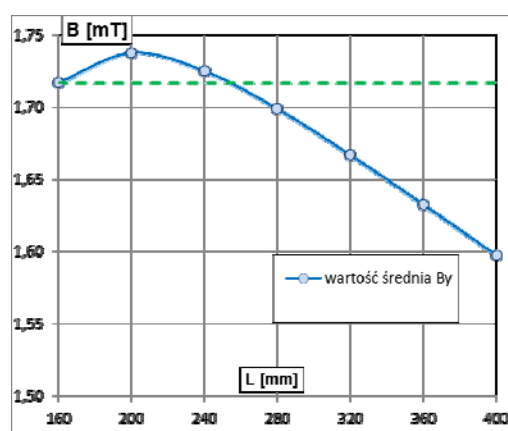
W kolejnych symulacjach sprawdzano wpływ zmiany długości części roboczej  $L$  cewki Helmholtza, pokazanej na rysunku 6, na rozkład pola magnetycznego w strefie pomiarowej PEM.

Wymiar  $L$  odpowiadający długości cewki wzdłuż kanału zmieniano od wartości minimalnej ( $L_{min}$ ) równej 160 mm wynikającej z projektu cewki prototypowej (double deck) aż do  $L_{max}$  równej 2,5 razy wartości minimalnej. Wyniki

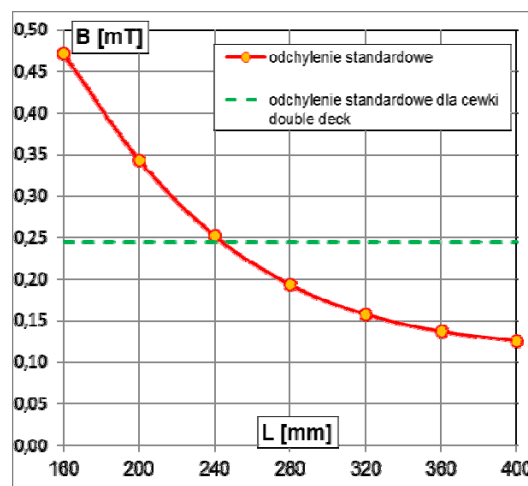
symulacji w postaci charakterystyki zależności średniej indukcji od długości cewki przedstawiono na rysunku 7 a odpowiadające im wartości odchylenia standardowego na rysunku 8.



Rys. 6. Widok cewki Helmholtza o dwóch skrajnych wartościach części roboczej  $L$



Rys. 7. Wartość średnia indukcji składowej  $B_y$  przy różnych długościach cewki Helmholtza



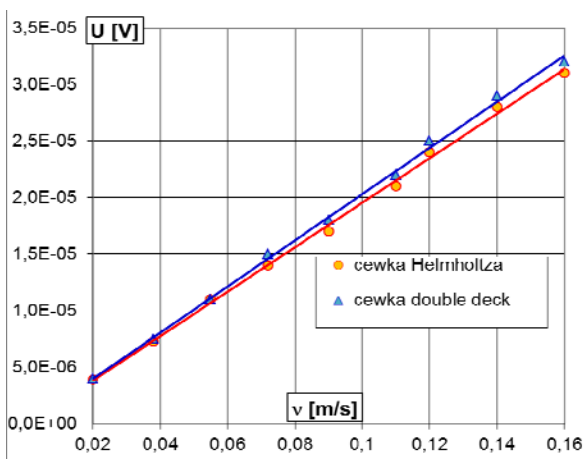
Rys. 8. Zależność odchylenia standardowego od długości cewki Helmholtza

Jak widać wartość średnia indukcji w rozpatrywanym obszarze pomiarowym maleje wraz ze wzrostem długości cewki w kierunku przepływu i podobnie dzieje się z odchyleniem standardowym.

Na obydwu rysunkach, dodatkowo w postaci asymptoty zaznaczono linią przerywaną odpowiednie wartości indukcji dla cewki double deck. Widać, że asymptota wyznaczająca odpowiednie wartości dla średniej indukcji i odchylenia

standardowego przecina charakterystyki dla cewki Helmholtza w punktach dla podobnej długości cewki. Chcąc utrzymać taką samą wartość średnią indukcji i zmniejszyć odchylenie standardowe do wartości jak dla cewki double deck należałoby wydłużyć cewkę Helmholtza o 50%. Pozytywnym aspektem tego typu działania byłoby jednak większe odsunięcie stref zaniku pola magnetycznego od elektrod pomiarowych.

Dla przepływomierza elektromagnetycznego z cewką double deck i cewką Helmholtza wydłużoną do  $L=260\text{cm}$  określono charakterystyki przetwarzania metodą symulacyjną w programie FMDT (Flow Meter Design Tool) [3]. Wyniki symulacji przedstawione na rysunku 9 pokazują zależność napięcia  $U$  na elektrodach od prędkości przepływu  $v$ . Dla obydwu cewek charakterystyki są liniowe a różnica między nimi wynosi poniżej 3% i wynika z rozbieżności między wartościami indukcji średniej w cewkach.



Rys. 9. Charakterystyka przetwarzania PEM z cewką Helmholtza i cewką double deck

### Wnioski i podsumowanie

Analiza porównawcza obydwu cewek prowadzona była głównie w kierunku uzyskania jak najlepszej jednorodności pola magnetycznego w strefie pomiarowej PEM.

Porównując dwie różne, ale równoważne pod względem amperozwojów, cewki nieco lepszą konstrukcją okazała się cewka double deck. Wynika to z porównania przedstawionego na rysunku 5. Jeżeli jednak w cewce Helmholtza zwiększy się długość cewki w kierunku przepływu o 50% to uzyskuje się równomierność rozkładu pola magnetycznego taką samą jak w cewce double deck. Istotnym jest również fakt, że charakterystyka przetwarzania PEM z cewką Helmholtza jest bardzo zbliżona do charakterystyki PEM z cewką double deck.

Optymalizacja cewki wzbudzającej pole magnetyczne w strefie pomiarowej PEM w kierunku uproszczenia jej konstrukcji przyniosła oczekiwane rezultaty przy zachowaniu wymaganego poziomu odchylenia standardowego. Cewka Helmholtza jest przy tym znacznie prostsza w nawijaniu niż cewka prototypowa i można ją z powodzeniem zastosować do kanałów o prostokątnym profilu przepływowym.

### LITERATURA

- [1] Michalski A., Kwiatos K., Sienkiewicz J., Watral Z.: *Analiza wpływu cewki wzbudzającej na rozkład pola magnetycznego w przepływomierzu elektromagnetycznym*. Przegląd Elektrotechniczny Vol. 85 nr 11/2009, s. 67-72.
- [2] Watral Z., Michalski A.: *Practical Validation of a Flow Meter Design Environment*, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. NY April 2011. Vol 14, No. 2. s. 42-47
- [3] Starzyński J., Szmurło R., Rowiński P., Michalski A., Watral Z., Wincenciak S.: *Searching for the best optimizer for an automated CAD system*, Przegląd Elektrotechniczny, nr 01, rok 2010, pp. 180 – 182.

**Autorzy:** dr inż. Zbigniew Watral, Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [zwatral@wat.edu.pl](mailto:zwatral@wat.edu.pl)

Prof. dr hab. inż. Andrzej Michalski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, E-mail: [andrzej.michalski@ee.pw.edu.pl](mailto:andrzej.michalski@ee.pw.edu.pl)

Dr hab. inż. Jacek Starzyński, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, E-mail: [jacek.starzynski@ee.pw.edu.pl](mailto:jacek.starzynski@ee.pw.edu.pl)