

ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ INDUKCYJNYCH POŁA MAGNETYCZNEGO NA EKRANY TORÓW WIELKOPRĄDOWYCH W UKŁADZIE PŁASKIM

Piotr LEŚNIAK

Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki
tel.: 58 347 25 08 e-mail: piotr.lesniak@pg.edu.pl

Streszczenie: W artykule dokonano graficznej interpretacji pola magnetycznego w żyłach powrotnych wybranego kablowego toru prądowego, przy wykorzystaniu oprogramowania komercyjnego *Ansoft Maxwell*. W aspekcie omawianej problematyki, wyznaczenie rozkładu pola magnetycznego w modelu odwzorowującym przekrój *prostokątny toru prądowego - w skrócie „PTP”*, warunkuje prawidłowy opis skorelowanych z nim zjawisk wtórnych. Zaliczamy do nich m.in. naprężenia cieplne lub mechaniczne, przyspieszające proces starzenia, powodujący powstawanie strat w przesyłce energii elektrycznej lub uszkodzenia kabli elektroenergetycznych. W artykule odzwierciedlono ważne aspekty poruszanej problematyki w sposób poglądowy, tzn. na przykładzie obliczeniowym. Z uwagi na obszerność poruszanego zagadnienia, na tym etapie pominięto jego analityczny aspekt.

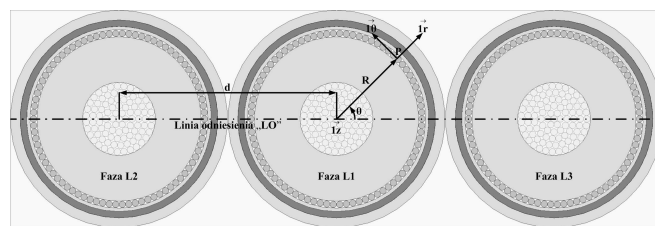
Słowa kluczowe: model, pole, tor prądowy.

1. WSTĘP

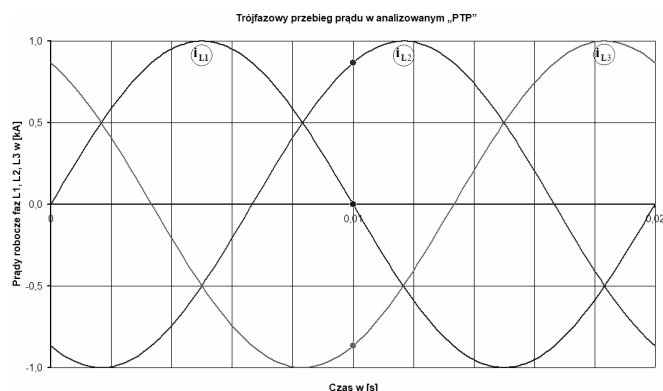
W ostatnich latach z uwagi na rozwój techniki obliczeniowej obserwuje się intensyfikację badań związanych z projektowaniem „toru prądowego” o dużej przepustowości [8], [9]. Jest to również podyktowane względami ekonomicznymi, w dobie wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną, a także zawiązanymi się możliwościami budowy infrastruktury do jej przesyłu. W zasadzie, zamierzeniem konstruktorów jest ograniczenie „tłumienności” torów wieloprądowych przez zmniejszenie strat spowodowanych wydzielaniem się ciepła w ich elementach przewodzących (szczególnie strat powstających w ekranach powrotnych kabli). Projektowanie i konstruowanie torów wieloprądowych o dużej przepustowości pociąga za sobą konieczność dokonywania dużo bardziej precyzyjnego opisu m.in. zjawisk elektromagnetycznych (EM) w nich zachodzących. Jest to również niezbędne z punktu widzenia optymalizacji ich parametrów konstrukcyjnych do zmiennych warunków pracy. Należy więc w pierwszym rzędzie zbadać na drodze analizy pole EM, oddziaływujące na ekran lub żyłę powrotną rozpatrywanego kabla. W celu określenia parametrów elektromagnetycznych takich układów, autorzy zajmujący się tą tematyką przyjmują szereg założeń upraszczających np. [5] - [7]. W wielu opracowaniach np. [1] - [4] zwrócono również uwagę na procesy towarzyszące przepływowi prądu w żyłach roboczych kabli, mające duży wpływ na powstawanie strat w przesyłce energii elektrycznej. Są to m.in.: efekt zbliżenia, zjawisko naskórkowości oraz powstawanie naprężeń mechanicznych i wzrostu temperatury, związanych z obecnością zmiennego pola EM.

Jak nadmieniono, celem niniejszego artykułu jest analiza rozkładu pola magnetycznego w modelu toru prądowego, stanowiącego „płaską konfigurację” trzech kabli przylegających do siebie.

2. MODELOWANIE POŁA MAGNETYCZNEGO W ŻYŁACH POWROTNYCH KABLI UŁOŻONYCH PŁASKIEJ KONFIGURACJI



Rys. 1. Przekrój poprzeczny PTP, d - odległość między żyłami roboczymi kabli, θ , r , z - współrzędne punktu P, leżącego w obszarze żyły powrotnej - rysunek poglądowy.

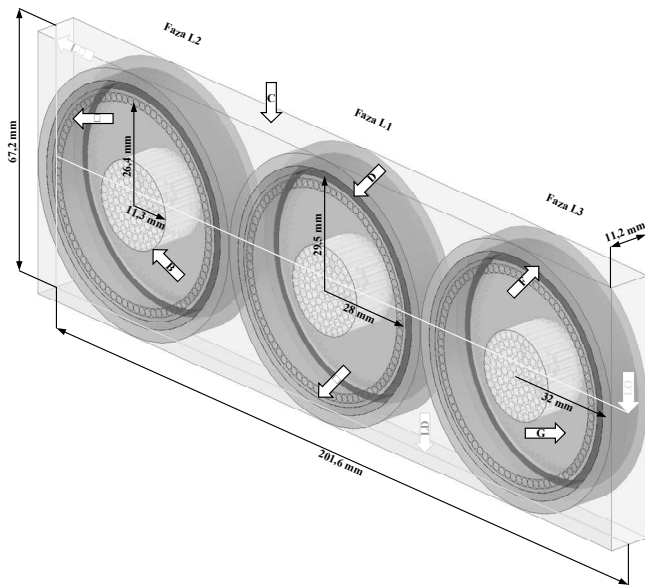


Rys. 2. Analizowany w obliczeniach, przebieg prądu płynącego w żyłach roboczych rozpatrywanego PTP (uwidoczniono punkty analizy dla $t = 0,01$ s)

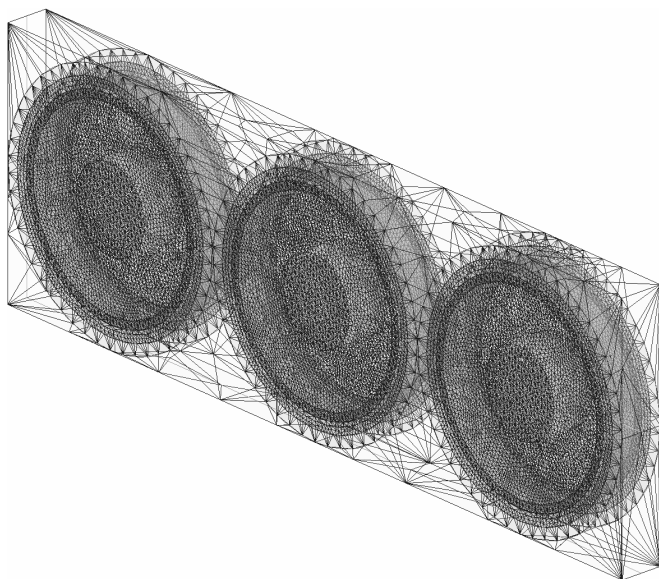
Średnia długość elementu siatki MES dla wszystkich jej części zagnieżdżonych w poszczególnych warstwach kabli, wynosi 0,95 mm.

Poniżej zamieszczono graficzne zestawienie obliczeń numerycznych wypadkowego pola magnetycznego w analizowanym układzie PTP - zrealizowanych z należytą dokładnością (uzyskano mały uchyb iteracji w MES). Umożliwiło to zlokalizować obecność występowania wymienionych wcześniej zjawisk współtowarzyszących przy założonym wymuszeniu prądowym (rys. 2) w żyłach

roboczych kabli. Zamieszczone rysunki przedstawiono w postaci rozkładów różnych wielkości fizycznych pola magnetycznego.



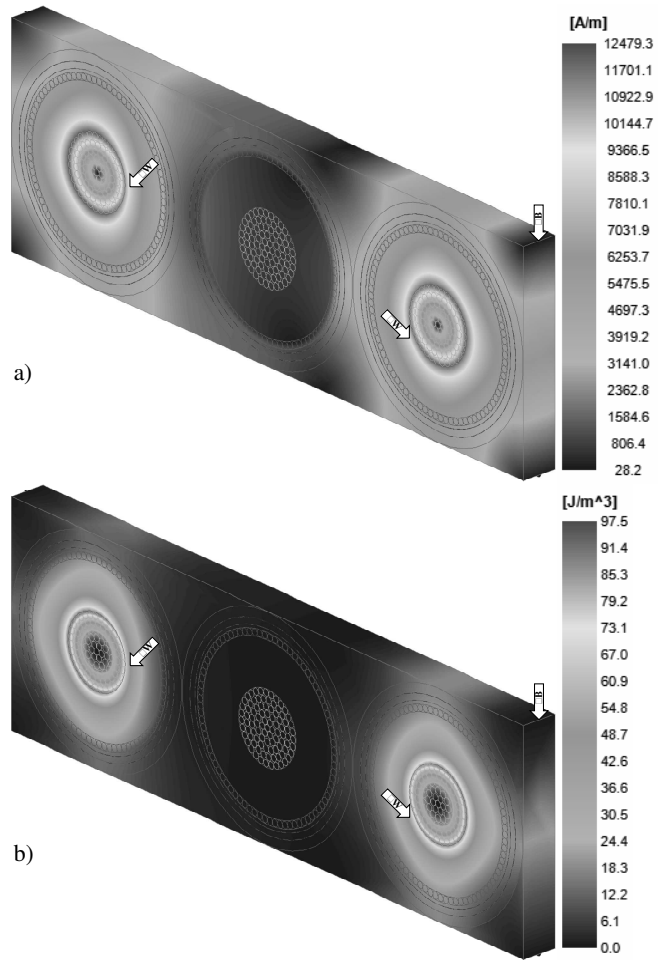
Rys. 3a. Wycinek toru płaskiego układu kabli (PTP): A - żyła powrotna kabla (ekran), B - żyła robocza, C - wycinek PTP, D - powłoka otwierająca (ekran), E - taśma izolacyjno-separacyjna, F - powłoka zewnętrzna, G - izolacja z polietylenu usieciowanego, LO - linia odniesienia biegnąca środkiem długości przekroju poprzecznego PTP, LD - linia poprowadzona środkiem dłuższej krawędzi PTP, LS - linia poprowadzona środkiem krótszej krawędzi PTP



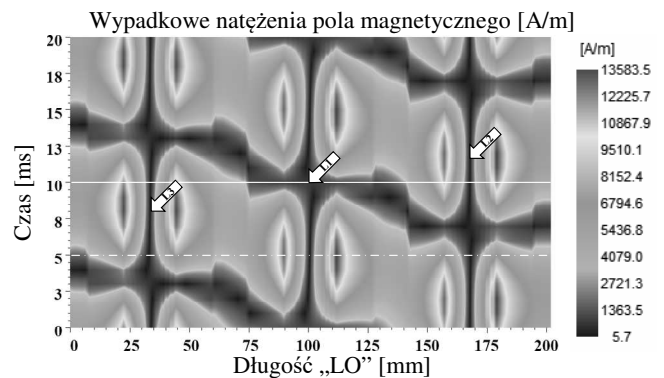
Rys. 3b. Siatka MES w obszarze PTP, zadana do obliczeń numerycznych dla $t = 0,01$ s

Strzałkami wskazano obecność istniejących - wymienionych na wstępie zjawisk - związanych z przepływem ładunku elektrycznego w żyłach roboczych L_1, L_2, L_3 :

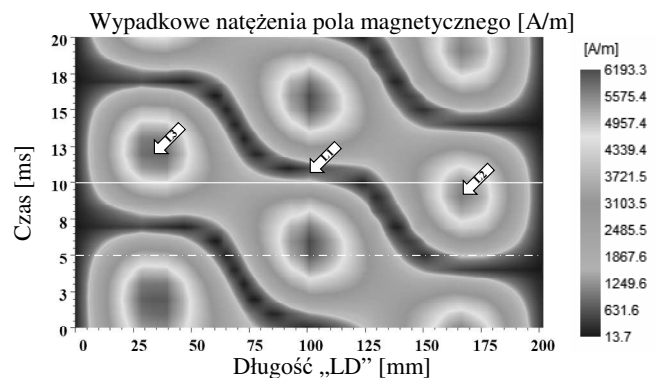
- wypierania „ZW” zaobserwowane podczas analizy pola magnetycznego i energii w obszarze PTP,
- efekt brzegowy „EB” widoczny na granicy zmiany rozpatrywanych środowisk.



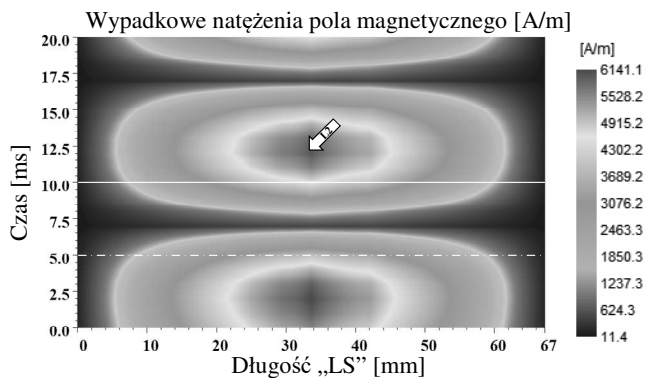
Rys. 4. Rozkład a) wypadkowego pola magnetycznego i b) całkowitej energii zgromadzonej w analizowanym obszarze (wycinek PTP) dla chwili czasu $t = 0,01$ s



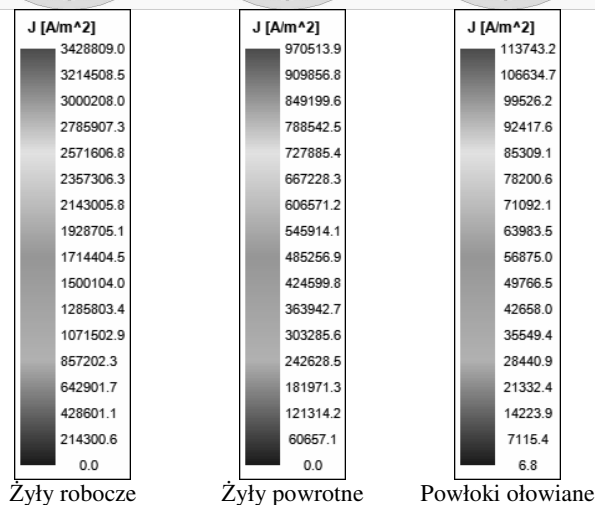
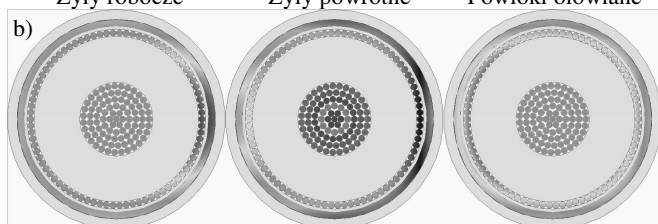
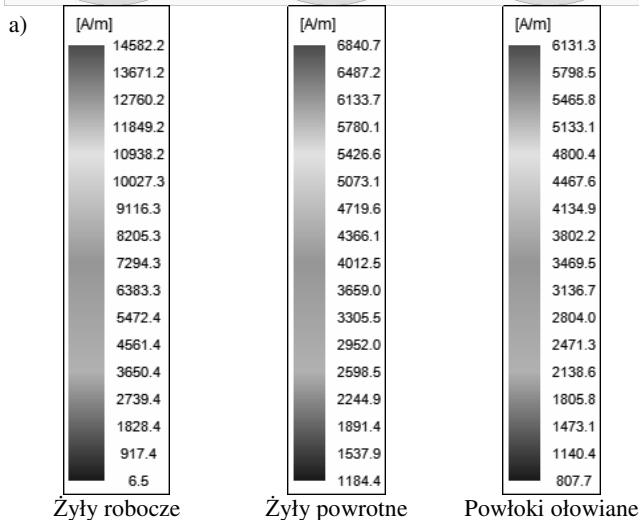
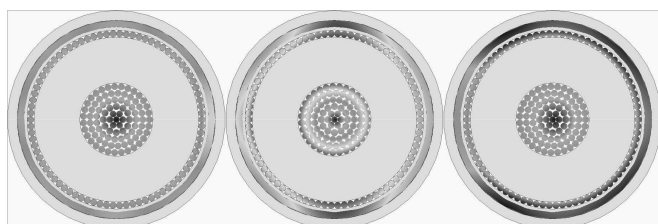
Rys. 5a. Rozkład pola magnetycznego wzdłuż „LO”



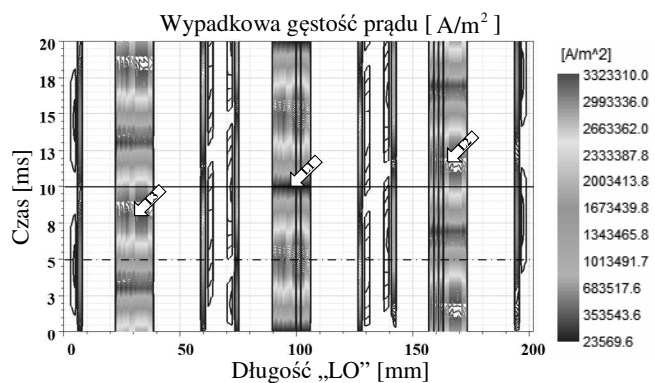
Rys. 5b. Rozkład pola magnetycznego wzdłuż „LD”



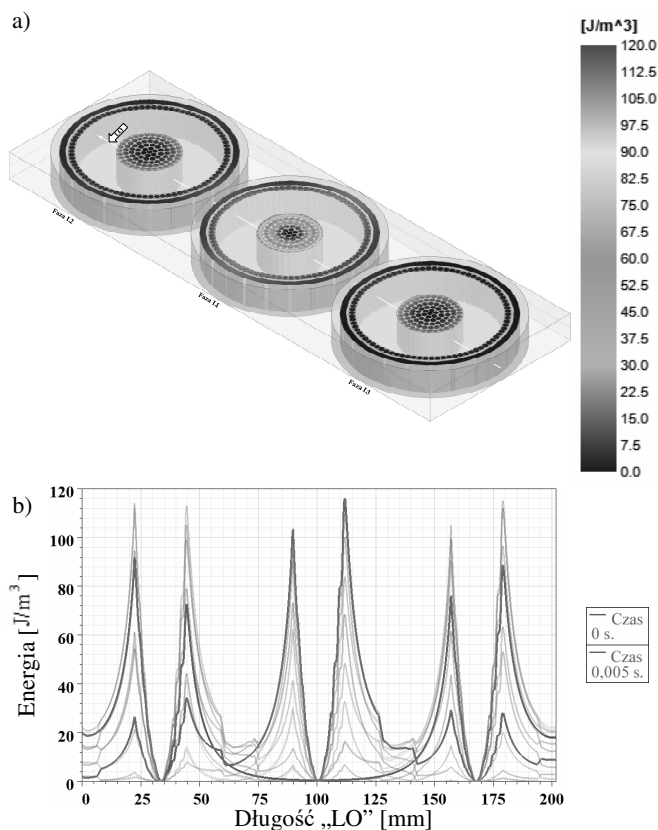
Rys. 5c. Rozkład pola magnetycznego wzdłuż „LS”



Rys. 6. Rozkład a) wypadkowego pola magnetycznego, b) gęstości prądu w elementach przewodzących kabli dla analizowanego obszaru (wycinek PTP - elementy przewodzące), w chwili czasu $t = 0,005$ s



Rys. 7. Gęstość prądu wzdłuż „LO” skojarzona z elementami przewodzącymi kabli dla jego pełnego okresu przebiegu



Rys. 8. Rozkład energii zgromadzonej wzdłuż linii „LO” skojarzony z wszystkimi elementami przewodzącymi kabli: a) dla chwili $t = 0,005$ s, b) dla pełnego okresu przebiegu, z wyróżnieniem dwóch chwil czasu

3. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono i zobrazowano istotne z punktu widzenia omawianego zagadnienia, cechy pola magnetycznego powstającego w układzie PTP (zjawisko naskórkowości i wypierania prądu oraz wyraźnie „efekty brzegowe”). Na przedstawionych rysunkach widać miejsca o podwyższonej gęstości prądu, co jednoznacznie determinuje występowanie w nich obecność ww. zjawisk, w tym najbardziej niepożądanego - wzrostu temperatury izolacji. Ogólnie rzecz biorąc, za pomocą przedstawionych symulacji zrealizowanych na modelu układu PTP, można precyzyjnie odnieść się do istniejących „subtelności” pola w ogólności EM, które następnie w oparciu o wybrany algorytm optymalizacyjny, mogą zostać wykorzystane zarówno na etapie projektu, jak również technologicznym w procesie produkcyjnym konkretnego toru prądowego. Zatem

praktyczne wykorzystanie rozszerzonej tematycznie i rozbudowanej analizy, wydaje się być w pełni uzasadnione od strony technicznej, szczególnie w przemyśle.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Kolbiński K.: Kable elektroenergetyczne, PWT 1957.
2. Kącki E.: Równania różniczkowe cząstkowe w zastosowaniach fizyki i techniki, WNT, Warszawa 1989.
3. Neher J. H., McGrath M. H.: The Calculation of the Temperature rise and Load Capability of Cable Systems, AIEE Trans., vol. 76, no. III, pp. 752 - 772, 1957.
4. Robinson D. M.: Dielectric phenomenon in high voltage cables. London: Chapman and Hall, 1936.
5. Niedbała R., Kucharski D., Wesołowski M.: Skutki energetyczne ekranowania pola magnetycznego, Przegląd Elektrotechniczny nr 7/2008. Sigma NOT. Warszawa 2008.
6. Bednarek K., Nawrowski R.: Zastosowanie metod przybliżonych do obliczania wybranych wielkości elektrodynamicznych torów wieloprądowych. Konferencja naukowo - techniczna. Zastosowanie komputerów w elektrotechnice, Poznań - Kiekrz, kwiecień 1996, 253 - 256.
7. Czapp, S., Dobrzyński, K., Klucznik, J., Lubośny, Z.: Analiza napięć indukowanych i strat mocy w kablach elektroenergetycznych wysokiego napięcia dla wybranych sposobów uziemienia żył powrotnych, XVIII Konferencja Naukowa 2017, Aktualne problemy w elektroenergetyce, 352 - 358.
8. Rakowska A.: Rozwój linii kablowych wysokich i najwyższych napięć, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 1/2014.
9. Grobicki J.: Polski przemysł kablowy, Stowarzyszenie Producentów Kabli i Osprzętu Elektrycznego, Bydgoszcz 2007 r.

ANALYSIS OF THE INDUCTION OF THE MAGNETIC FIELD ON THE SCREENS OF LARGE CURRENT TRACKS IN THE FLAT ARRANGEMENT

The paper deals with effects of three phase current flow in screened high-current tracks. The problems related to the analysis of separate phase magnetic field and its influence on the screening elements of the configuration have been considered. Special attention has been paid to the modeling of magnetic field in the screens of flat configuration. The results of quantitative field analysis have been presented and the graphical interpretation of these results has been performed. Some more significant observations have been specified.

Keywords: field, current path, model.