

Grzegorz MALINOWSKI\*  
Krzysztof SIODŁA\*

## **PORÓWNANIE PROGRAMÓW MAXWELL ORAZ FEMM DO SYMULACJI ROZKŁADU NATĘŻENIA POLA ELEKTRYCZNEGO**

W artykule przedstawiono ogólne różnice między dwoma programami służącymi do wykreślenia rozkładu natężenia pola elektrycznego. Omówiono interfejs użytkownika, jego wady i zalety oraz przedstawiono motywację podjęcia tego typu badań. Przedstawiono założenia projektowe przyświecające wykreśleniu danych układów. Pokazano rozkład natężenia pola elektrycznego oraz wykresy funkcji tej wielkości w zależności od odległości między elementami. Artykuł kończy podsumowanie z wadami i zaletami każdego programu.

SŁOWA KLUCZOWE: Maxwell, FEMM, FEM, pole elektryczne, symulacja, rozkład pola elektrycznego, porównanie

### **1. WPROWADZENIE ORAZ MOTYWACJA**

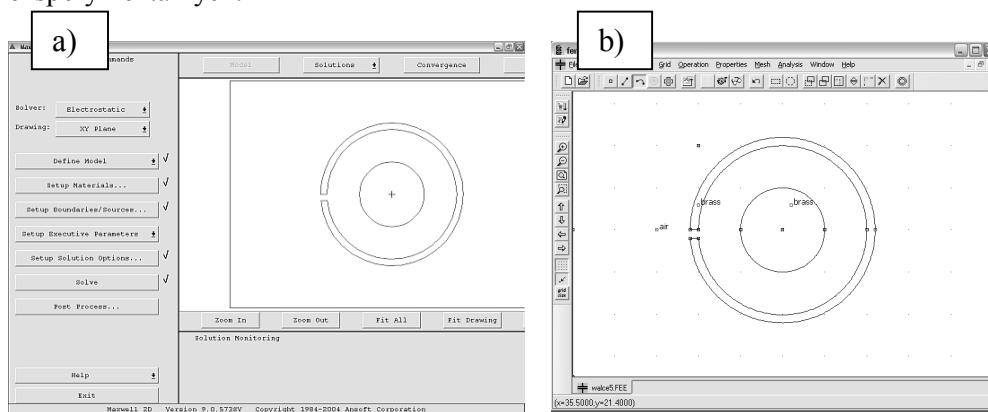
Graficzny interfejs użytkownika Program Ansoft Maxwell jest zaprojektowany dla środowiska Unixowego (rys. 1.1), przez co dla osoby przyzwyczajonej do środowiska Windows może sprawiać wrażenie skomplikowanego. Jest płatnym programem komercyjnym, z darmową wersją studencką 9.0 (SV), z 2006 roku, która była testowana w wykonywanych badaniach. Program Finite Element Method Magnetics (FEMM) (rys. 1.1) jest programem wydanym w 2013 roku i udostępniany jest na licencji publicznej, a autorem jest David C. Meecker (członek IEEE) [4]. Program pracuje w środowisku Windows i jego wygląd nie odbiega od innych programów działających w tym środowisku, co powoduje, że jest bardziej przyjazny dla użytkownika. Testowano wersję 4.2 programu.

Zdecydowano się na symulację rozkładu natężenia pola ze względu na jej potrzebę przy projektowaniu urządzeń elektrycznych poddawanych obciążeniu elektrycznemu [2] (np. izolatory, układy badawcze) w celach informacyjnych (np. czy w projektowanym urządzeniu przy danym napięciu, na detalu wystąpi ulot) oraz obliczeniowych, np. współczynnik niejednorodności pola. Porównano

---

\* Politechnika Poznańska.

działanie obu programów w celu sprawdzenia ich przydatności do wykonywanych analiz, niezbędnych na etapie projektowania rzeczywistych obiektów badań eksperymentalnych.

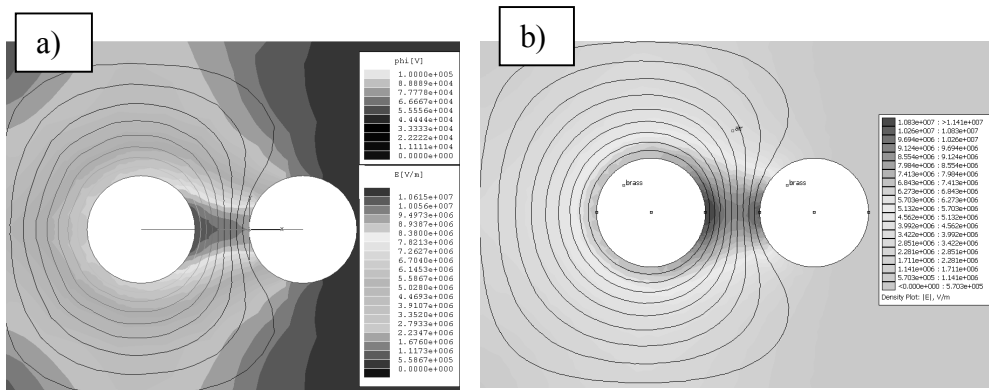


Rys. 1.1. Graficzny interfejs użytkownika programów a) Maxwell, b) FEMM

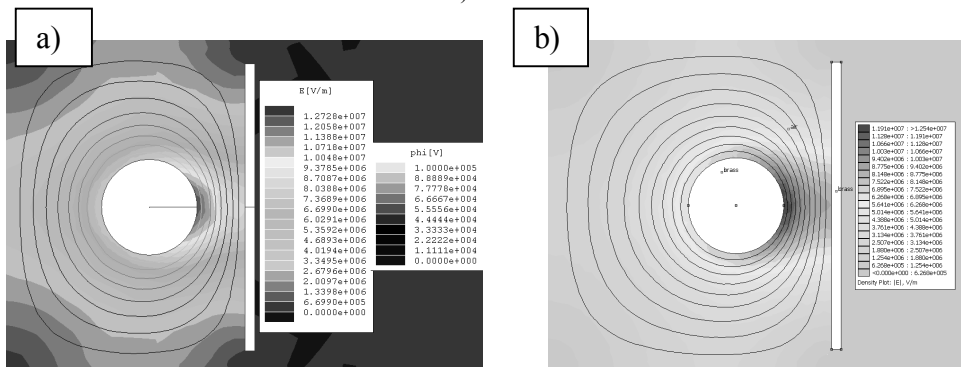
## 2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Jako stałe przyjęto średnice kul  $2R = 20$  mm, odległość elementów (kula, płyta, walec) od kuli  $d = 10$  mm, oraz siatkę dyskretyzującą na poziomie 4100 trójkątów. Wynikało to z faktu, że jest to ilość zadana domyślnie w projektowanym układzie w programie FEMM, co w zupełności wystarcza, żeby dobrze odwzorować rozkład natężenia pola. W programie Maxwell siatka została zwiększona do 4100 trójkątów. Dokładniej to omówiono w rozdziale trzecim. Ponieważ program Maxwell ma domyślnie ograniczoną wielkość przestrzeni do szkicowania, sztucznie ograniczono przestrzeń programu FEMM. Odległości kul i ich promień dobrano tak, żeby tworzyły układ jednorodny (współczynnik niejednorodności równy wartości 1).

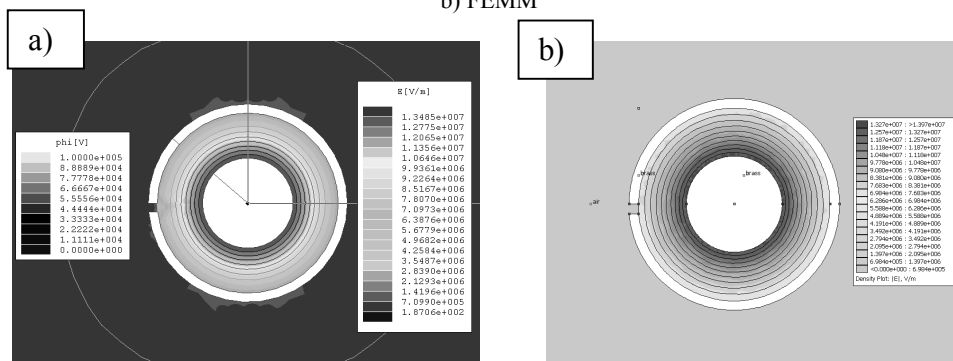
Zasymulowano trzy układy o zasilaniu niesymetrycznym (tj. jedna elektroda pod wysokim napięciem równym 100 kV, druga uziemiona): układ kula-kula, kula-płyta oraz układ dwóch walców współosiowych. W niesymetrycznym układzie największe natężenie pola elektrycznego jest przy elektrodzie znajdującej się pod wysokim napięciem oraz gęstość linii ekwipotencjalnych jest największa [1]. Na rysunkach 2.1-2.3 przedstawiono w formie graficznej rozkład natężenia pola elektrycznego oraz linie ekwipotencjalne dla w/w układów. Na rysunkach 2.4-2.6 przedstawiono ten sam rozkład w funkcji odległości między elementami.



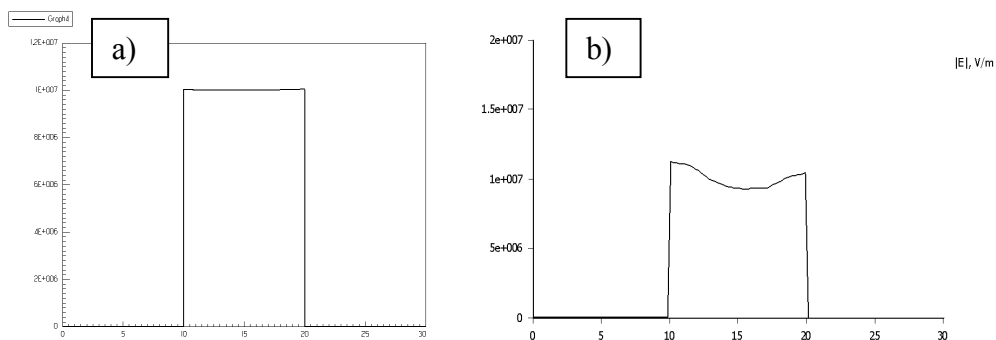
Rys. 2.1. Porównanie rozkładu natężenia pola w układzie kula-kula w programie a) Maxwell, b) FEMM



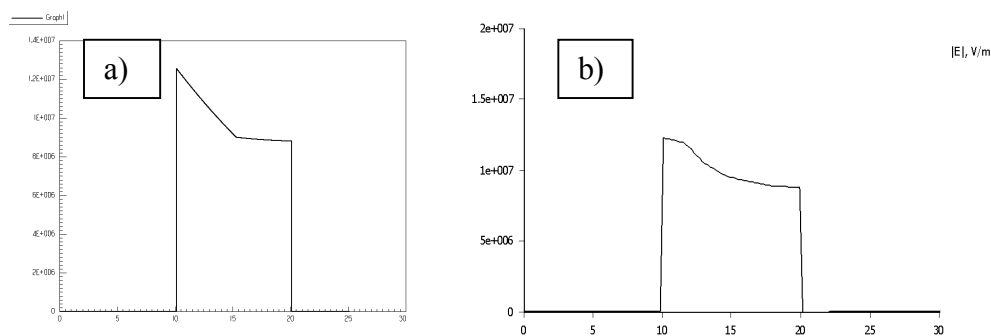
Rys. 2.2. Porównanie rozkładu natężenia pola w układzie kula-płyta w programie a) Maxwell, b) FEMM



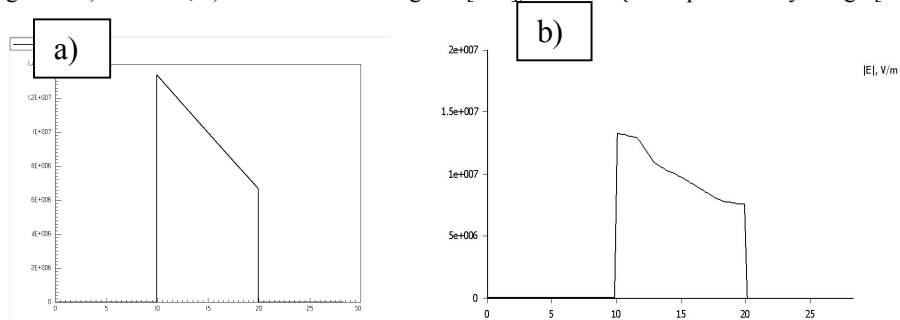
Rys. 2.3. Porównanie rozkładu natężenia pola w układzie dwóch walców współosiowych w programie a) Maxwell, b) FEMM



Rys. 2.4. Wykres rozkładu natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości dla układu kula-kula w programie a) Maxwell, b) FEMM. OX – odległość [mm], OY – natężenie pola elektrycznego [V/m]



Rys. 2.5. Wykres rozkładu natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości dla układu kula-płyta w programie a) Maxwell, b) FEMM. OX – odległość [mm], OY – natężenie pola elektrycznego [V/m]



Rys. 2.6. Wykres rozkładu natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości dla układu dwóch walców współosiowych w programie a) Maxwell, b) FEMM. OX – odległość [mm], OY – natężenie pola elektrycznego [V/m]

### 3. ANALIZA I WNIOSKI

Jak pokazano na rysunkach 2.1-2.3 przy zbliżonej zadanej ilości trójkątów, rozkład natężenia pola przyjmuje zbliżone wartości. Linie ekwipotencjalne pokrywają się w obu programach ze sobą. Sposób zadawania wartości mimo, że z innym interfejsem użytkownika, dla każdego programu jest podobny. W obu przypadkach należy najpierw zdefiniować model na siatce. O ile w programie FEMM nie ma ograniczeń względem wielkości rysowania (teoretycznie, bo problemy zaczynają się w momencie posiadania obiektów o różnicy wielkości  $10^6$  mm na jednej kartce), o tyle w programie Maxwell pole rysowania jest ograniczone. Sprowadza się to do tego, że projektant musi martwić się o skalę w przypadku rysowania w programie Maxwell. Program FEMM jest pod tym względem bardziej podobny do programów typu CAD.

O ile wartości natężenia pola elektrycznego oraz linie ekwipotencjalne są zbliżone (rys. 2.1-2.3), o tyle wykresy rozkładu pola w funkcji odległości różnią się i to znacząco: wykresy rysowane w programie Maxwell są uproszczone (mają mniej punktów pomiarowych). W programie FEMM jest możliwość zadeklarowania ilości punktów pomiarowych (domyślnie 150). Najlepiej widać to na rysunku 2.5, gdzie w programie Maxwell widać tylko trzy punkty pomiarowe. Po wygenerowaniu wykresów XY w programie Maxwell, można opisać osie. Tej możliwości nie ma w programie FEMM, aczkolwiek dane wyjściowe z tego programu można zapisać do pliku tekstowego i później je edytować (dzięki czemu można określić np. współczynnik niejednorodności pola), czego nie można zrobić w programie Maxwell.

W programie Maxwell wykres rozkładu natężenia pola lub każdej innej funkcji jest warstwowy, tj. rysowane funkcje nakładają się na siebie w formie stosu [3] i nie można wrócić do wcześniejszej funkcji bez usunięcia późniejszych. Żeby ją usunąć, trzeba wybrać opcję usuwania, a następnie dopiero usunąć daną funkcję lub nadpisać nową. W programie FEMM nie ma funkcji usuwania, bieżąco rysowana funkcja jest jedyną istniejącą. Nie ma odkładania funkcji na stos. Sprowadza się to do tego, że jeśli chce się usunąć z rysunku linie ekwipotencjalne, w programie Maxwell trzeba wejść w funkcję usuwania i wybrać dany element do usunięcia. W programie FEMM można wyłączyć funkcję linii ekwipotencjalnych.

Dodatkowo, programu Maxwell można używać tylko w minimalnej rozdzielczości w pionie równej 864 pikseli. Wyświetlanie obrazu poniżej tej wartości powoduje, że niektóre opcje programu są ucięte dołem ekranu (program nie zmienia położenia przy zmianie rozdzielczości), co powoduje, że program jest bezużyteczny dla monitorów 15,6" (16:9, stosowane w laptopach) i mniejszych. Program FEMM dostosowuje się do wielkości okna, lub rozdzielczości.

Ilość trójkątów w programie FEMM określa się podając minimalny kąt ostry jednego trójkąta w zakresie 8-30° lub zagęszczając trójkąty przystające do danego

elementu (co jest funkcją bardziej skomplikowaną, niż w programie Maxwell). Na potrzeby symulacji nałożono siatkę dyskretyzującą na układ w programie FEMM, odczytano wartość domyślną (ok 4100 trójkątów) i następnie ze względu na tą wartość zadano ją w programie Maxwell, gdzie zwiększenie ilości trójkątów następuje przez zaznaczenie danego obszaru i wpisaniu ilości trójkątów, które mają być wewnątrz tego obszaru.

Po opanowaniu programów, szybkość projektowania i analizy pola elektrycznego jest porównywalna. Z powodu na początkowe wrażenie skomplikowania programu Maxwell, może on wydawać się trudniejszy do opanowania. Czas spędzony na uczenie się obsługi programu Maxwell można przeznaczyć na projektowanie układów w programie FEMM.

Tabela 3.1. Porównanie wybranych funkcji programu Maxwell i FEMM

Ansoft Maxwell	FEMM
Prosta dyskretyzacja całości oraz wybranego obszaru	Prosta dyskretyzacja całości, skomplikowana dyskretyzacja obszaru
Ograniczony obszar rysowania,	Nieograniczony obszar rysowania
Ograniczenie funkcji programu poprzez rozdzielczość ekranu	Dowolna rozdzielczość pracy programu
Uproszczone wykresy XY	Dowolna dokładność wykresu XY
Warstwowe nakładanie funkcji, konieczność ręcznego usuwania każdej funkcji	Jedna funkcja w danym momencie

## LITERATURA

- [1] Mościcka-Grzesiak H. (pod redakcją), Inżynieria Wysokich Napięć w Elektroenergetyce, tom I i II, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999, 2000.
- [2] Gacek Z., Wysokonapięciowa technika izolacyjna, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=PwEe2OAFIFY> (Jak rysować w programie Maxwell), dostęp 30.01.2014.
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=aCGnwOkRF24> (Jak rysować w programie FEMM), dostęp 30.01.2014 .

### COMPARISON OF MAXWELL AND FEMM PROGRAMS FOR SIMULATION OF ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION

The paper shows the differences between two FEM based programs used to plot electric field distribution. In the first section, the GUI and motivation is presented. In the second section, project's variables are shown as well as the results. In the third section both programs pros and cons are presented.