

Wojciech KRAJEWSKI
Michał FOTYMA

POMIAROWA WERYFIKACJA NUMERYCZNEJ ANALIZY WYBRANEGO ZAGADNIENIA EMC NISKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki eksperymentalnej weryfikacji własnych procedur obliczeniowych do analizy trójwymiarowych pól elektrycznych niskiej częstotliwości generowanych w środowisku człowieka przez obiekty elektroenergetyczne. Powyższe procedury wykorzystują technikę hybrydową łączącą metodę elementów brzegowych z wariantem metody ładunków symulowanych zwanym tutaj metodą elementów liniowych. Uzyskano zadowalającą zgodność obliczeń z pomiarami.

1. UWAGI WSTĘPNE

Obiekty elektroenergetyczne takie jak napowietrzne linie przesyłowe, rozdzielnie WN, elektrownie czy elektrociepłownie, generują w środowisku człowieka pola elektryczne i magnetyczne niskiej częstotliwości. Umiejętność możliwie precyzyjnego numerycznego modelowania powyższych pól ma istotne

dr inż. Wojciech KRAJEWSKI, mgr inż. Michał FOTYMA

Zakład Badań Podstawowych
Instytut Elektrotechniki

znaczenie w kontekście obowiązujących w Polsce i na świecie przepisów z zakresu ochrony środowiska [1] oraz konieczności spełnienia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej. Analiza komputerowa omawianych pól ma duże znaczenie zarówno przy lokalizacji nowych obiektów elektroenergetycznych jak i w procesie planowania zabudowy na obszarach sąsiadujących z obiektami już istniejącymi. Doskonalenie metod i programów do analizy pól ma w tym przypadku istotne znaczenie ekonomiczne, gdyż na etapie projektowania pozwala na dokładniejsze (bez zbędnego zapasu) wyznaczenie zasięgu stref ograniczonego użytkowania [1], umożliwia przyjęcie optymalnej wysokości słupów linii WN, pozwala na bezpieczną dla ludzi i sprzętu elektronicznego lokalizację pomieszczeń biurowych w bliskości urządzeń elektroenergetycznych itp. Przy tej okazji warto stwierdzić, że strefy ograniczonego użytkowania w sąsiedztwie linii WN pokrywają około 1285 km² co stanowi 0.4% terytorium Polski [2].

W chwili obecnej odczuwa się pewien brak nowoczesnego oprogramowania do wyznaczania pól elektrycznych i magnetycznych w środowisku człowieka, które z jednej strony byłoby łatwe w obsłudze, z drugiej zaś gwarantowałoby wysoką dokładność obliczeń. Używane w Polsce pakiety oprogramowania takie jak POLEM czy LINIA wykorzystują dwuwymiarowe uproszczone modele pól i dlatego w wielu przypadkach są nieskuteczne. Zagraniczne programy specjalistyczne do analizy pól elektromagnetycznych takie jak PC OPERA3D czy FLUX3D są zbyt ogólne, trudne w obsłudze i nie nadają się do użytkowania przez osoby słabo zorientowane w teorii pola elektromagnetycznego. Stąd też narodził się pomysł opracowania programu wykorzystującego nowoczesne procedury całkowo-brzegowe, który wymagałby wprowadzania jedynie niezbędnych podstawowych danych konstrukcyjnych i geometrycznych, a reszta procesu odbywałaby się automatycznie. Program taki mógłby być użytkowany przez energetykę, służby ochrony środowiska, ochronę zdrowia, nadzór budowlany itp. W niniejszym artykule przedstawiono pomiarową weryfikację procedur obliczeniowych [6-9] wykorzystujących metodę elementów brzegowych (MEB) [3] w połączeniu z wariantem metody ładunków symulowanych (MSŁ) [4, 5] zwanej tutaj metodą elementów liniowych (MEL) do analizy trójwymiarowych pól elektrycznych niskiej częstotliwości. Eksperymentalną weryfikację procedur do symulacji trójwymiarowego pola magnetycznego przedstawiono w pracy [10].

2. MODEL MATEMATYCZNY POLA ZASTOSOWANY W PROCEDURACH OBLICZENIOWYCH

Model matematyczny pola zastosowany w testowanych procedurach obliczeniowych wykorzystuje teorię potencjału warstwy pojedynczej i został

szczegółowo przedstawiony w pracach [6-9]. Poniżej podano tylko jego podstawowe założenia.

Przyjmuje się, że potencjał na powierzchni przewodu jest równy napięciu fazowemu (przewody robocze) lub równy zero (przewody odgromowe). Przewody zastępuje się ładunkami liniowymi umieszczonymi w ich wnętrzu. Powyższe założenie jest akceptowalne, gdy analizowane jest pole w dostatecznej odległości od przewodu, na przykład - w przypadku linii WN - przy powierzchni ziemi. Dla wiązek wieloprzewodowych uwzględnia się rzeczywistą liczbę przewodów w wiązce. Elementy kratownic słupów podobnie jak przewody z prądem zastępuje się ładunkami liniowymi, a potencjał na powierzchniach tych elementów przyjmuje się równy zero. Powierzchnia ziemi lub podłogi jest płaszczyzną o potencjale zerowym. Na zewnętrznych powierzchniach budynków lub wewnętrznych ścianach pomieszczeń rozłożone są ładunki powierzchniowe. Potencjał ścian i dachu (sufitu) jest równy zero. Jak wynika z analizy przeprowadzonej w [11] powyższe założenie jest dopuszczalne dla budynków murowanych. Podobne założenia przyjmuje się dla metalowych ogrodzeń, balustrad itp. Korony drzew odwzorowywane są elipsoidami obrotowymi o potencjale zerowym. Rozłożone są na nich ładunki powierzchniowe. Ponadto zakłada się przenikalność elektryczną izolatorów równą przenikalności elektrycznej powietrza, pomija się zjawisko ulotu oraz spadki napięć wzdłuż linii.

Dla tak przyjętego modelu fizycznego pola potencjał elektryczny w przestrzeni powietrznej otaczającej przewody pod napięciem spełnia równanie Laplace'a i jest superpozycją potencjałów wytwarzanych przez poszczególne ładunki powierzchniowe bądź liniowe. Rozkłady powyższych ładunków są funkcjami niewiadomymi spełniającymi następujące równanie całkowe Fredholma I-go rodzaju:

$$\sum_{k=1}^{nb} \int_{S_k} G(P, P_i) \sigma(P) dP + \sum_{l=1}^{np} \int_{L_l} G(P, P_i) \tau(P) dP + \sum_{m=1}^{nk} \int G(P, P_i) \tau(P) dP = \varphi(P_i) \quad (1)$$

gdzie:

- nb - łączna liczba budynków i innych obiektów o potencjale zerowym (poza kratownicami słupów),
- np - łączna liczba przewodów (roboczych i odgromowych),
- nk - liczba prętów kratownic wszystkich rozważanych słupów,
- S_k - powierzchnia zewnętrzna k -tego budynku lub innego obiektu o potencjale zerowym,
- L_l - krzywa, na której rozmieszczone są ładunki reprezentujące l -ty przewód,

- K_m - odcinek reprezentujący m -ty element kratownicy,
 $\underline{\sigma}(P)$ - gęstość powierzchniowa ładunku,
 $\underline{\tau}(P)$ - gęstość liniowa ładunku,
 $\underline{\varphi}(P_i)$ - potencjał elektryczny w punkcie P_i położonym na powierzchni przewodu lub obiektu zniekształcającego pole.

W pracy rozważane są instalacje prądu przemiennego, dlatego przyjmuje się, że potencjały i gęstości ładunków są funkcjami zespolonymi zmiennej rzeczywistej.

Antysymetryczna względem płaszczyzny xy funkcja Greena dla równania Laplace'a dana jest wzorem:

$$G(P, P_i) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) \quad (2)$$

gdzie:

$$r = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (3)$$

$$r' = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z + z_i)^2} \quad (4)$$

ϵ - przenikalność elektryczna środowiska.

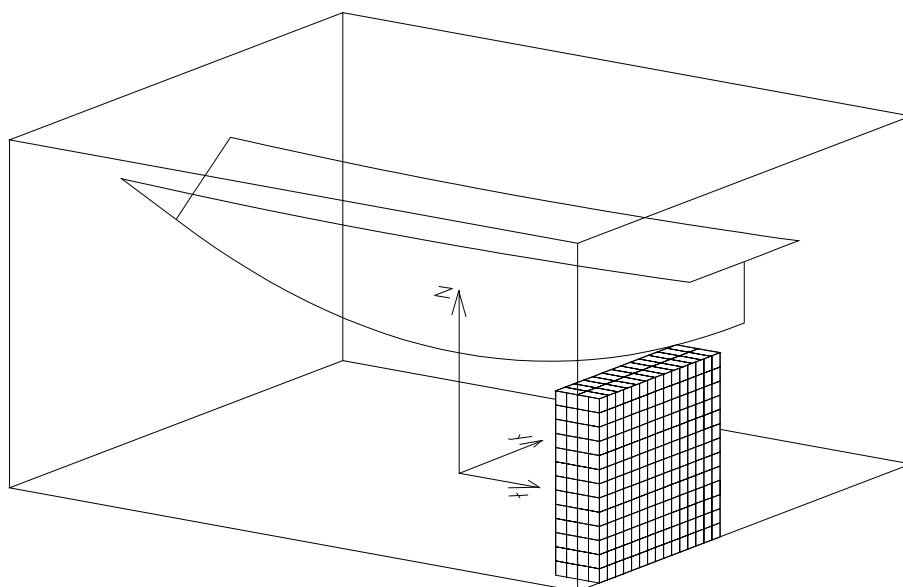
W prezentowanej tutaj metodzie numerycznej równanie całkowe (1) sprowadzane jest do układu liniowych równań algebraicznych. Dokonuje się tego poprzez dyskretyzację krzywych reprezentujących przewody linii, odcinków odpowiadających elementom kratownic słupów oraz powierzchni reprezentujących obiekty przestrzenne o zerowym potencjale z jednoczesną aproksymacją gęstości ładunków na powstałych w wyniku dyskretyzacji elementach liniowych i brzegowych. Powstały w ten sposób układ równań algebraicznych rozwiązywany jest numerycznie, w wyniku czego wyznacza się nieznane rozkłady ładunków powierzchniowych i liniowych, których znajomość pozwala na obliczenia potencjału, a następnie natężenia pola elektrycznego w dowolnym punkcie przestrzeni. W programie komputerowym zastosowano aproksymację zerowego rzędu rozkładu ładunków na elementach liniowych i brzegowych. Maksymalna łączna liczba elementów liniowych i brzegowych w testowanym tutaj programie BEM-solver 3D v.6.2 wynosi 2800.

3. POMIARY I OBLICZENIA POLA ELEKTRYCZNEGO

W niniejszym punkcie przedstawiono wyniki obliczeń i pomiarów pola elektrycznego, zarówno w warunkach laboratoryjnych – w sąsiedztwie modelu linii przesyłowej, jak i w terenie – pod rzeczywistą linią WN. Pomiary wykonano miernikiem pola elektrycznego TRACER EF90SE. Miernik wyskalowano na własnym stanowisku kalibracyjnym. W celu uniknięcia efektu zniekształcania pola przez obecność człowieka pomiary wykonywano miernikiem umieszczonym na drewnianym statywie, a wskazania odczytywano z odległości ok. 2.5 m.

3.1. Pomiary i obliczenia pola elektrycznego w warunkach laboratoryjnych

Pomiary laboratoryjne przeprowadzono w sąsiedztwie modelu odcinka linii przesyłowej pokazanego schematycznie na rysunku 1. Wspomniane laboratorium mieści się w pomieszczeniu o powierzchni $6.4 \text{ m} \times 5.6 \text{ m}$ i średniej wysokości (pochylony sufit) 3.3 m. Model odcinka linii składa się z trzech przewodów rozpiętych wzdłuż laboratorium. Przewody są z pojedynczych linek Cu w izolacji PCW. Przekrój linki $1 \times 4 \text{ mm}^2$, średnica zewnętrzna (tj. mierzona na izolacji) ok. 4 mm. Zamocowania przewodów umożliwiają skokowe rozsuwanie ich do maksymalnej odległości pomiędzy skrajnymi 1,8 m przy zawieszeniu w konfiguracji poziomej; długość skoku 0.15 m. Można także opuszczać je z płynną regulacją zwisu, a także rozmieścić wszystkie w płaszczyźnie pionowej. W celu wzbudzenia pola elektrycznego do jednego końca przewodów przykładano się napięcie przy pozostawieniu drugiego ich końca w stanie rozwartym (bez przepływu prądu). Przy pomiarach pola elektrycznego stosuje się napięcie 220/380 V, bezpośrednio z sieci. Zasilane są wszystkie bądź wybrane przewody (jeden lub dwa), zależnie od prowadzonego pomiaru. Pomiary pola wykonano wzdłuż linii poziomej $x = 0$ dla czterech różnych konfiguracji i sposobów zasilania przewodów wzbudzających pole. We wszystkich przypadkach odległość między rzutami kolejnych przewodów na płaszczyznę poziomą wynosiła 0.9 m. W obliczeniach każdy z przewodów podzielono na 30 elementów prostoliniowych. Ponadto uwzględniono wpływ ścian i sufitu, które podzielono na 500 elementów brzegowych. Wyniki pomiarów i obliczeń pokazano na rys.2 – 5.



Rys.1. Widok ogólny pomieszczenia laboratoryjnego. Siatką elementów brzegowych pokryto dwie zestawione razem stalowe szafy.

Konfiguracja 1

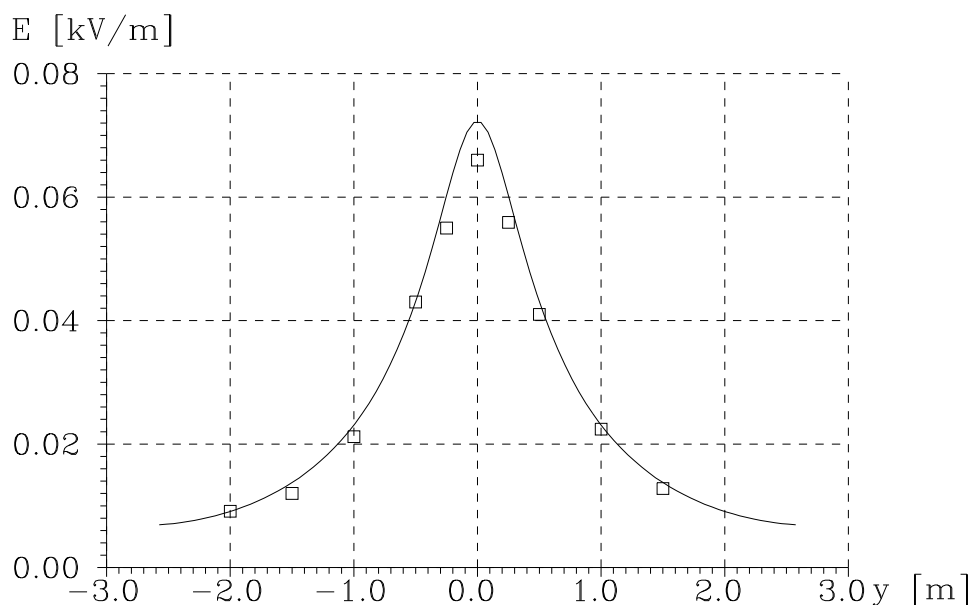
Do źródła napięcia 220 V podłączono jedynie przewód środkowy, który zawieszony był na wysokości 2 m. Jego odległość od podłogi wynosiła 1.82 m. Pole mierzono na wysokości 1.42 m. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Wyniki obliczeń numerycznych wraz z wynikami pomiarów pokazano na rys. 2.

TABELA 1

Wyniki pomiarów pola elektrycznego w konfiguracji 1.

Lp.	Wyszczególnienie				
1	y [m]	- 2.0	- 1.5	- 1.0	- 0.5
2	Natężenie pola el. [V/m]	9.1	12	21	43

Lp.	Wyszczególnienie					
1	-0.25	0	0.25	0.50	1.0	1.5
2	55	66	56	41	22	13



Rys.2. Rozkład pola elektrycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym na wysokości 1.42 m od powierzchni podłogi (konfiguracja 1). Linia ciągła – obliczenia numeryczne, kwadraciki – wyniki pomiarów.

Konfiguracja 2

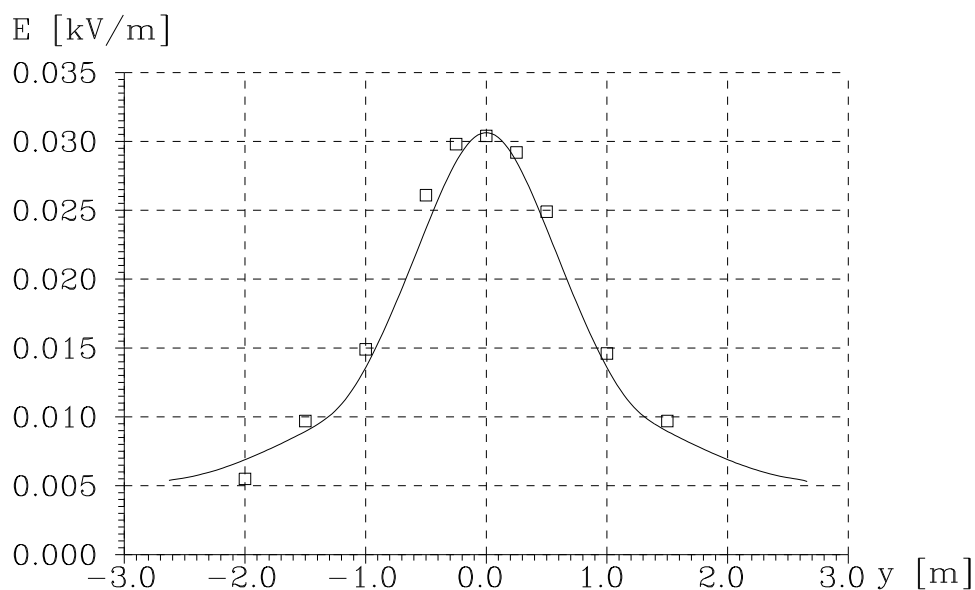
Trzy przewody zasilono ze źródła napięcia 3×380 V. Skrajne przewody zawieszone były na wysokości 2.6 m, a ich odległość od podłogi wynosiła 2.54 m. Środkowy przewód zawieszono na wysokości 2.0 m, a jego odległość od ziemi wynosiła 1.82 m. Pole mierzono na wysokości 1.05 m. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2. Wyniki obliczeń numerycznych i pomiarów przedstawiono na rys.3.

TABELA 2

Wyniki pomiarów pola elektrycznego w konfiguracji 2.

Lp.	Wyszczególnienie				
1	y [m]	- 2.0	- 1.5	- 1.0	- 0.5
2	Natężenie pola el. [V/m]	5.5	9.7	14.9	26.1

Lp.	Wyszczególnienie					
1	-0.25	0	0.25	0.50	1.0	1.5
2	29.8	30.4	29.2	24.9	14.6	9.7



Rys.3. Rozkład pola elektrycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym na wysokości 1.05 m od powierzchni podłogi (konfiguracja 2). Linia ciągła – obliczenia, kwadraciki – wyniki pomiarów.

Konfiguracja 3

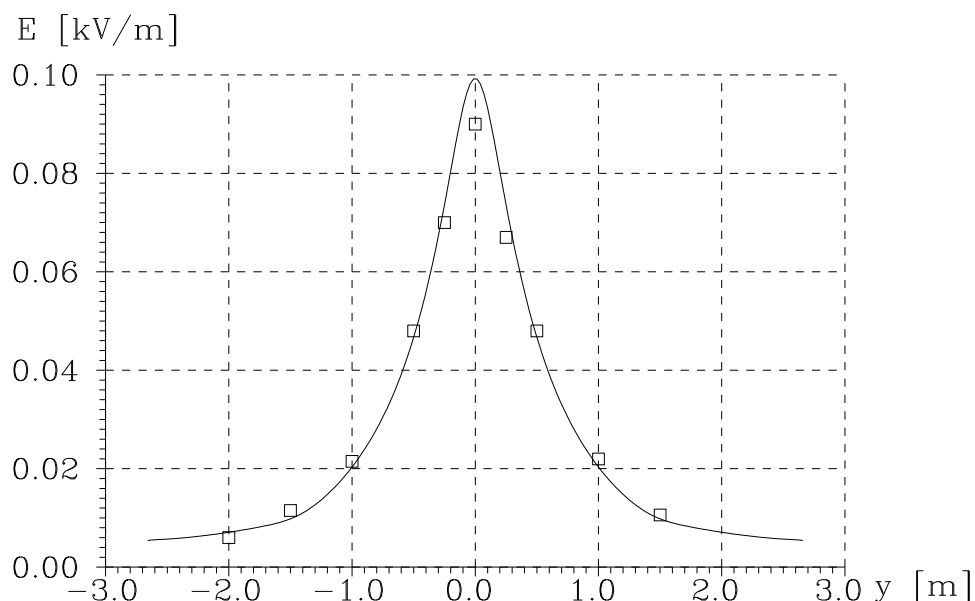
Podobnie jak w konfiguracji 2 trzy przewody zasilono z trójfazowego źródła napięcia 3×380 V. Skrajne przewody zawieszono na wysokości 2.6 m, a ich odległość od podłogi wynosiła 2.54 m. Środkowy przewód zawieszono na wysokości 2.0 m, a jego odległość od podłogi wynosiła 1.35 m. Pomiary wykonano na wysokości 1.05 m ponad powierzchnią podłogi. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3. Wyniki obliczeń numerycznych i wyniki pomiarów pokazano na rys.4.

TABELA 3

Wyniki pomiarów pola elektrycznego w konfiguracji 3.

Lp.	Wyszczególnienie				
1	y [m]	- 2.0	- 1.5	- 1.0	- 0.5
2	Natężenie pola el. [V/m]	6	11.5	21.5	48

Lp.	Wyszczególnienie					
1	-0.25	0	0.25	0.50	1.0	1.5
2	70	90	67	48	22	10.6



Rys.4. Rozkład pola elektrycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym na wysokości 1.05 m od powierzchni podłogi (konfiguracja 3). Linia ciągła – obliczenia, kwadraciki – wyniki pomiarów.

Konfiguracja 4

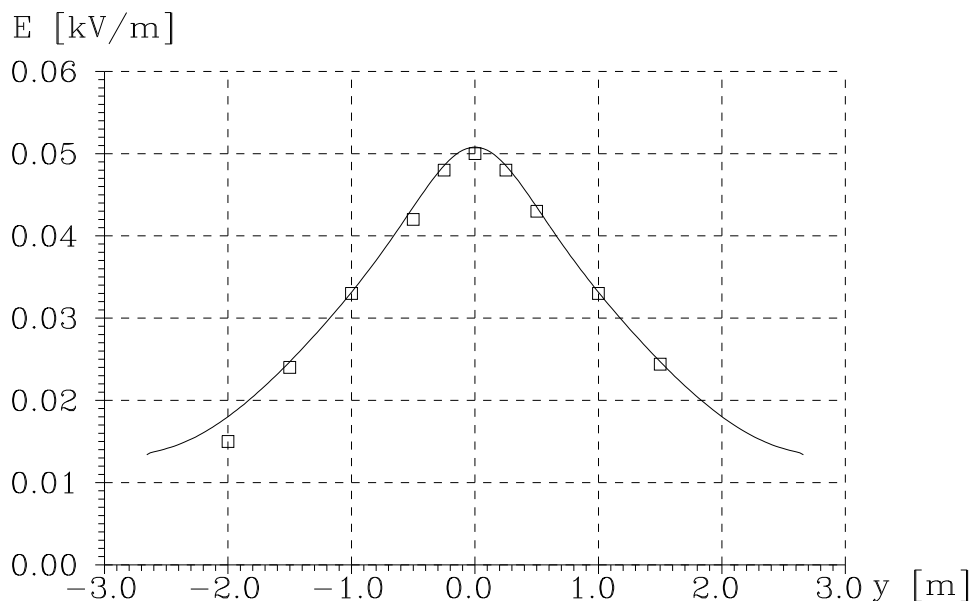
W tym przypadku wszystkie trzy przewody zasilono jednofazowo ze źródła napięcia 220 V. Skrajne przewody zawieszono na wysokości 2.6 m, a ich odległość od podłogi wynosiła 2.54 m. Środkowy przewód zawieszony był na wysokości 2.0 m, a jego odległość od podłogi wynosiła 1.82 m. Pomiary wykonano na wysokości 1.05 m od powierzchni podłogi. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4. Wyniki obliczeń numerycznych i wyniki pomiarów przedstawiono na rys.5.

TABELA 4

Wyniki pomiarów pola elektrycznego w konfiguracji 4.

Lp.	Wyszczególnienie				
1	y [m]	- 2.0	- 1.5	- 1.0	- 0.5
2	Natężenie pola el. [V/m]	15	24	33	42

Lp.	Wyszczególnienie					
1	-0.25	0	0.25	0.50	1.0	1.5
2	48	50	48	43	33	24.4

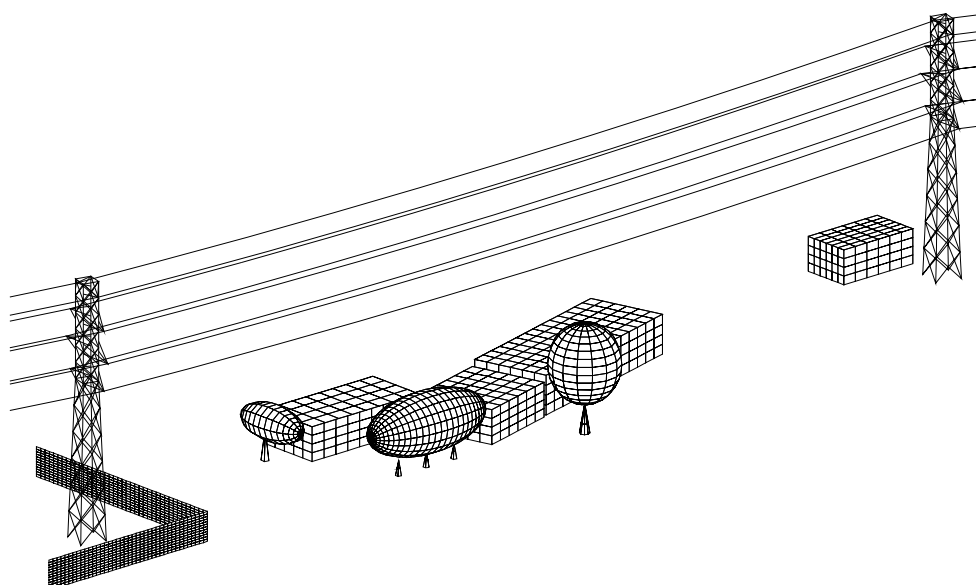


Rys.5. Rozkład pola elektrycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym na wysokości 1.05 m od powierzchni podłogi (konfiguracja 4). Linia ciągła – obliczenia, kwadraciki – wyniki pomiarów.

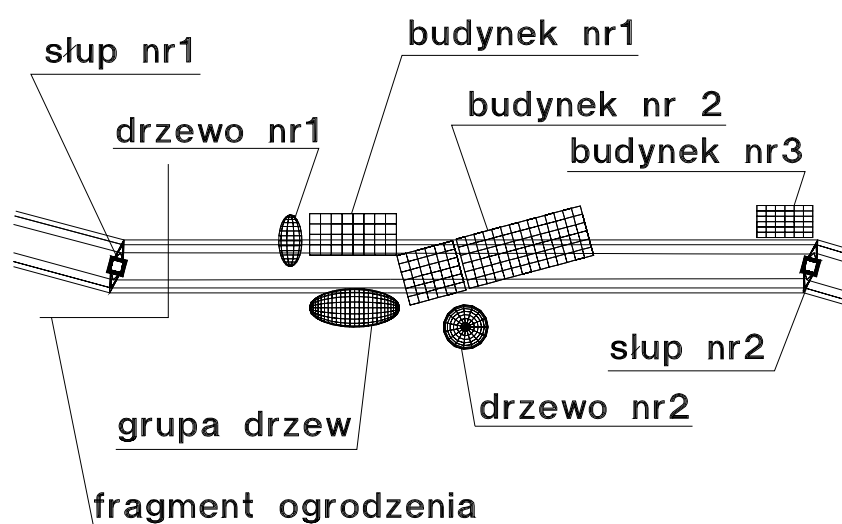
3.2. Pomiary i obliczenia pola w terenie

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń pola elektrycznego w sąsiedztwie jednego z prześēt linii 110 kV położonego przy ulicy Fieldorfa u zbiegu z ulicą Ostrobramską w Warszawie. Jest to prześēt dwutorowej linii zbudowane na słupach serii OS24 typu ON150. W sąsiedztwie rozważanego prześēta usytuowane są budynki i drzewa (rys.6). Słup nr 1 znajduje się za ogrodzeniem o wysokości 3 m wykonanym z metalowej siatki. Powyższe ogrodzenie uwzględniono w obliczeniach. Rozpiętość prześēta wynosi 108 m, wysokość zawieszenia najniższych przewodów jest 16 m, a ich najmniejsza odległość od ziemi wynosi 15.2 m. Pomiary wykonano wzdłuż osi linii na odcinku między pierwszym słupem a budynkiem nr 1 oraz wzdłuż lewego skrajnego przewodu na odcinku między pierwszym słupem i drzewem nr 1. W obu przypadkach pomiary przeprowadzono na wysokości 1.8 m ponad powierzchnię ziemi. Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawiono na rys.7 i 8.

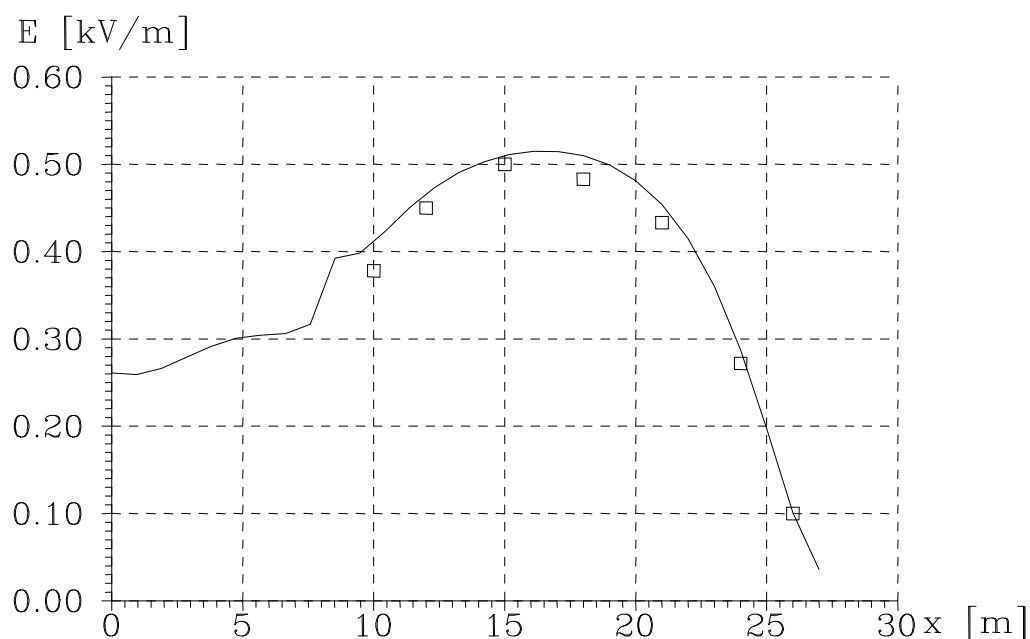
a)



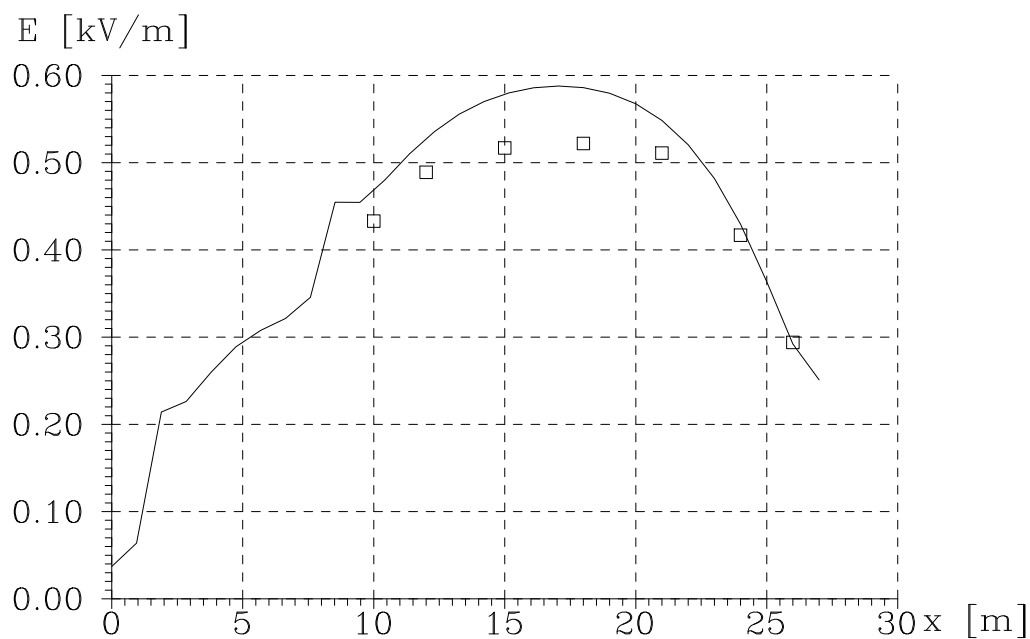
b)



Rys.6. Przesło linii 110 kV położone przy ulicy Fieldorfa w Warszawie.
a) widok ogólny, b) rzut poziomy.



Rys.7. Rozkład pola elektrycznego pod linią 110 kV wzdłuż osi linii na odcinku między pierwszym słupem a budynkiem nr 1 na wysokości 1.8 m ponad poziomem terenu. Kwadracikami oznaczono wyniki pomiarów.



Rys.8. Rozkład pola elektrycznego pod linią 110 kV wzdłuż lewego skrajnego przewodu linii na odcinku między pierwszym słupem a drzewem nr 1 na wysokości 1.8 m ponad poziomem terenu. Kwadracikami oznaczono wyniki pomiarów.

4. PODSUMOWANIE

Na zakończenie należy stwierdzić, że uzyskano zadowalającą zgodność wyników obliczeń wykonanych przy zastosowaniu programu BEM-solver 3D v.6.2 z wynikami pomiarów, zarówno w sąsiedztwie modelu linii przesyłowej jak i pod rzeczywistą linią 110 kV. Wyżej wspomniana procedura obliczeniowa wykorzystywana jest w opracowywanym w Instytucie Elektrotechniki programie użytkowym EMFA-2001. W niedalekiej przyszłości przewiduje się zakończenie prac nad komercyjną wersją powyższego pakietu oprogramowania

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 11 sierpnia 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony przed promieniowaniem szkodliwym dla ludzi i środowiska, dopuszczalnych poziomów promieniowania, jakie mogą występować w środowisku oraz wymagań obowiązujących przy wykonywaniu pomiarów kontrolnych promieniowania. Dziennik Ustaw Nr 107 poz. 676, Warszawa 20 sierpnia 1998.
2. Zeńczak M.: Analiza technicznych problemów związanych z dozymetrią pól elektromagnetycznych o częstotliwości przemysłowej. Prace Politechniki Szczecińskiej, Nr 543, Szczecin, 1998.
3. Brebbia C. A., Telles J. C. F., Wrobel L. C.: Boundary Element Techniques. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1984.
4. Singer H., Steinbigler H., Weiss P.: A charge simulation method for the calculation of high voltage fields. IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, 1973, s.1660-1668
5. Hameyer K., Belmans R., Hanitsch R.: Computation of the field quantities excited by high-voltage lines. Conf. on the Computation of Electromagnetic Fields, Compumag'95, Berlin, s. 460-461.
6. Krajewski W.: Trójwymiarowa analiza pola elektrycznego w sąsiedztwie linii wysokiego napięcia. Przegląd Elektrotechniczny, Nr 1, 1997 s. 1-6
7. Krajewski W.: 3-D model of the electric field excited by overhead HV lines. Archiv für Elektrotechnik, Nr 1, 1998, s. 55-63
8. Krajewski W., Weselucha Z.: Modelowanie pól: elektrycznego i magnetycznego w sąsiedztwie obiektów elektroenergetycznych. Prace IEL, z.199, 1998, s. 86-107
9. Krajewski W.: Modelling of electric field in the proximity of electric power objects. Prace IEL, z. 206, 2000, s. 40-55.
10. Krajewski W., Fotyma M.: Numeryczne modelowanie pola magnetycznego w sąsiedztwie obiektów elektroenergetycznych. II Krajowe Sympozjum - Kompatybilność Elektromagnetyczna w Elektrotechnice i Elektronice, EMC'01, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Nr 880, s. 231-240.
11. Krajewski W.: BEM analysis of electric field excited by overhead HV lines erected in built-up areas. IEE Proc. Sci. Meas. Technol. Vol. 144 Nr 2, 1997, s. 81-86

Rękopis dostarczono, dnia 20.02.2002 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Krystyn Pawluk

MEASUREMENT VALIDATION OF NUMERICAL ANALYSIS OF CHOSEN EMC PROBLEM OF LOW FREQUENCY

W. KRAJEWSKI, M. FOTYMA

ABSTRACT *In the paper, the experimental validation of own software package for the 3D analysis of low - frequency electric field that is generated in human environment by power engineering objects is presented. In the above program, the hybrid technique combining the boundary element method and a version of charge simulation method named here the linear element method has been employed. Good convergence of numerical and measurement results has been observed.*



Mgr inż. Michał Fotyma (ur. W 1937 r.), uzyskał dyplom magistra inżyniera elektryka w Politechnice Warszawskiej w 1960 r.

Rozpoczął pracę w 1959 r. w Zakładzie Wysokich Napięć Instytutu Elektrotechniki. W 1978 r. zostaje pracownikiem Zakładu Badań Podstawowych Elektrotechniki MPiH i PAN w Instytucie Elektrotechniki, w którym pracuje do chwili obecnej na stanowisku st. Specjalisty. Zajmuje się – techniką wysokich napięć, kriogeniką, dielektrykami.

Opublikował dwadzieścia prac, głównie w zeszytach „Prace Instytutu Elektrotechniki”. Jest członkiem SEP. Otrzymał liczne dyplomy uznania.

Dr inż. Wojciech Krajewski urodził się w 1953 r. w Warszawie. Studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej ukończył w 1977 r. w specjalności budowa maszyn i urządzeń. W roku 1984 na tym samym wydziale obronił z wyróżnieniem pracę doktorską pt.: „Analiza pola elektromagnetycznego i naprężeń w elementach metalowych kształtowanych impulsem magnetycznym”. Od 1981 r. pracuje w Instytucie Elektrotechniki (obecnie na stanowisku adiunkta) zajmując się zagadnieniami modelowania pól elektromagnetycznych w maszynach i urządzeniach elektrycznych, a także od pięciu lat problematyką pól w środowisku człowieka. W 1991 r. odbył dwumiesięczny staż naukowy w Rensselaer Polytechnic Institute w Troy (USA). W tym samym roku powierzono mu organizację i przewodnictwo sesji na temat obliczania pól w elektrotechnice na Światowym Kongresie IMACS'91 (International Association for Mathematics and Computers i Simulation), który odbył się w Dublinie. Jest autorem ponad trzydziestu publikacji w krajowych i zagranicznych czasopiśmie naukowych. Należy do Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

