

Analiza wpływu zbrojenia wewnątrz betonowego słupa oraz lokalizacji nadajnika systemu komunikacji bezprzewodowej na rozkład pola elektromagnetycznego wewnątrz budynku

Agnieszka Choroszucho, Bogusław Butryło

Wstęp

Analiza zjawisk fizycznych związanych z propagacją fali elektromagnetycznej, występujących w systemach komunikacji bezprzewodowej, wymaga uwzględnienia efektów związanych m.in. z wielokrotnymi odbiciami czy tłumieniem fali. Jednocześnie nie należy zapominać o wpływie geometrii i konstrukcji budowlanych złożonych z niedoskonałych dielektryków (tj. beton, cegła, gazobeton) oraz przewodników (np. zbrojenie). Powyższe czynniki są tematem wielu badań naukowych [2, 3, 5, 6, 7, 8]. Omówione zjawiska widoczne są zwłaszcza w przypadku sieci bezprzewodowych o małym zasięgu *Wireless Fidelity Communication Systems* (Wi-Fi). Już na etapie projektowania sieci bezprzewodowej należy uwzględnić odporność bezprzewodowego kanału transmisyjnego na zakłócenia czy czasowe zmiany w tłumieniu.

Zasadniczym celem przeprowadzonych badań było dokonanie szczegółowej analizy wpływu zbrojenia w słupie oraz lokalizacji nadajnika (*access point* – AP) na rozkład pola elektromagnetycznego. Rozpatrzono typowy szkieletowy model części budynku, w którym elementami przenoszącymi obciążenia są układy prętowe (zbrojenie), zastosowane m.in. w słupach czy ramach. Ściany działowe stanowią natomiast konstrukcje drugoplanowe. Ocena otrzymanych wyników pozwoli na dokładniejsze zrozumienie zjawisk falowych i eliminację niepożądanych zaników sygnału.

Opis analizowanego modelu

Analizowany obszar dotyczył części budynku o wymiarach $2,9 \times 2,0$ m (odpowiednio wzdłuż osi X , Y). Wewnątrz numerycznego obszaru analizy modelowano trzy ściany działowe wykonane z betonu komórkowego o grubości $0,12$ m, które były obustronnie pokryte warstwą tynku ($0,01$ m) (rys. 1). Rozpatrywano dwie konstrukcje słupa o wymiarach $0,25 \times 0,25$ m:

- słup wykonany z betonu i pokryty $0,01$ m warstwą tynku (v1);
- modyfikacja modelu v1, polegająca na dodaniu zbrojenia w słupie:
 - w częściach narożnych słupa wprowadzono cztery pionowe pręty o średnicy $\varnothing = 10$ mm, oddalone względem siebie o $L = 0,18$ m (rys. 2b);
 - oraz trzy strzemiona wzdłużne stosowane do wiązania zbrojenia pionowego ($\varnothing = 6$ mm) z rozstawem co $0,2$ m (v2) (rys. 2a);

W związku z celem badań skoncentrowanym na dokładnym odwzorowaniu konstrukcji słupa, jak i ograniczeniami mocy obliczeniowej dostępnego komputera przyjęto wymiar $0,5$ m wzdłuż osi Z .

Streszczenie: W artykule został przedstawiony wpływ lokalizacji nadajnika (*access point*) oraz konstrukcji zbrojenia wewnątrz słupa na rozkład pola elektromagnetycznego w wybranej części budynku. Artykuł zawiera dyskusję dotyczącą zjawisk fizycznych związanych z propagacją fali elektromagnetycznej w typowych pomieszczeniach budowlanych. Do analizy zastosowano metodę różnic skończonych z bezpośrednim całkowaniem równań Maxwella w dziedzinie czasu (FDTD). Szczegółowa ocena wpływu materiałów budowlanych takich, jak żelbet i beton komórkowy (gazobeton), może stanowić źródło do oceny problemów związanych z zanikami sygnału w celu zapewnienia niezakłóconej transmisji danych.

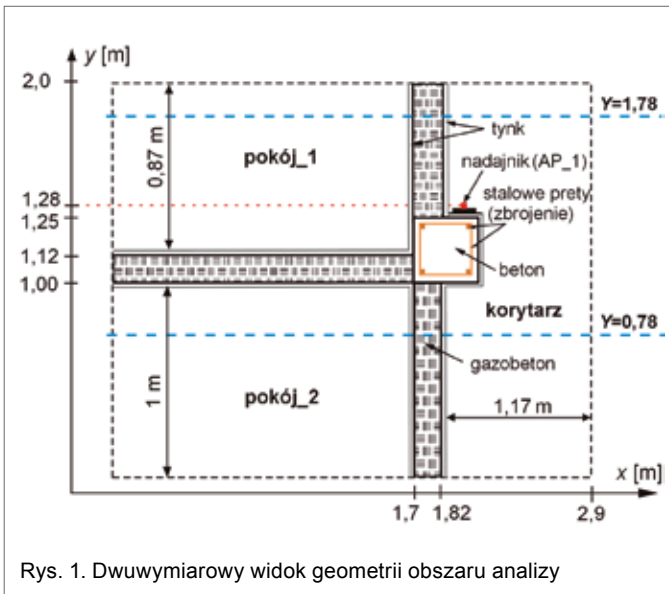
THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE REINFORCED INSIDE THE CONCRETE COLUMN AND THE LOCALIZATION OF TRANSMITTER WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM ON THE DISTRIBUTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD INSIDE BUILDING

Abstract: The paper presents the influence of location the transmitter (*access-point*) and reinforcement construction inside the column on distribution of the electromagnetic field within the part of the building. Some phenomena connected with propagation of a high frequency electromagnetic wave inside the typical building constructions. In this paper was used the finite-difference time-domain method (FDTD). Detailed analysis of influence of the material buildings (e.g. reinforced concrete and aerated concrete) will make it possible to solve the problem connected with fading.

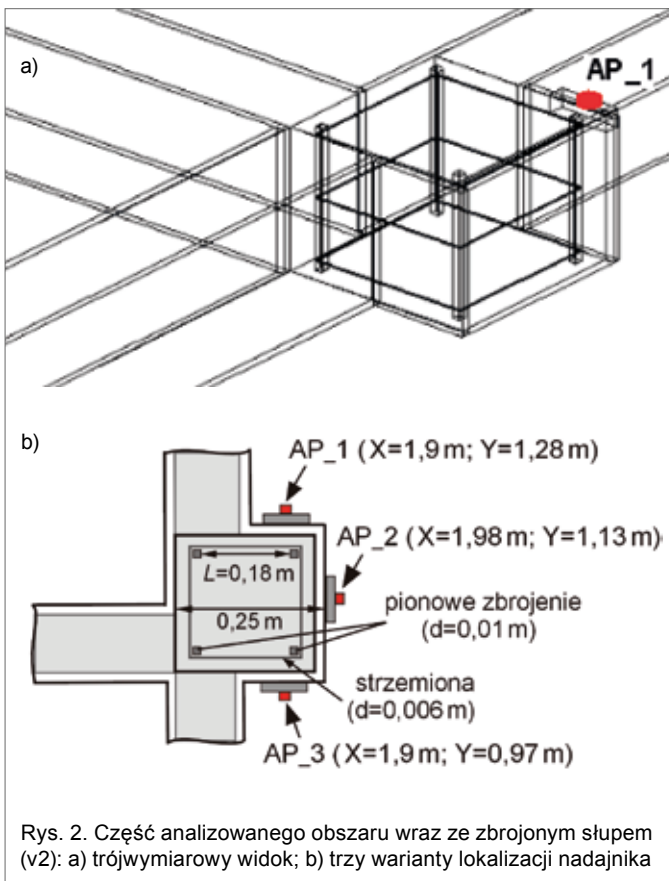
Pole elektromagnetyczne w postaci fali harmoniczej o częstotliwości $f = 2,4$ GHz było generowane przez nadajnik (*access point* – AP) stosowany w systemach komunikacji bezprzewodowej (Wi-Fi). Analiza dotyczyła powszechnie praktykowanych trzech wariantów lokalizacji punktowego źródła pola (AP_1, AP_2 i AP_3) (rys. 2b). W celu porównania wartości pola elektromagnetycznego przeprowadzono analizę wzdłuż dwóch prostych równoległych do osi X : $Y = 0,78$ m i $Y = 1,78$ m (na rys. 1 zaznaczono liniami przerywanymi).

Opis numerycznego modelu

Do wyznaczenia rozkładu pola EM zastosowano metodę różnic skończonych z bezpośrednim całkowaniem równań



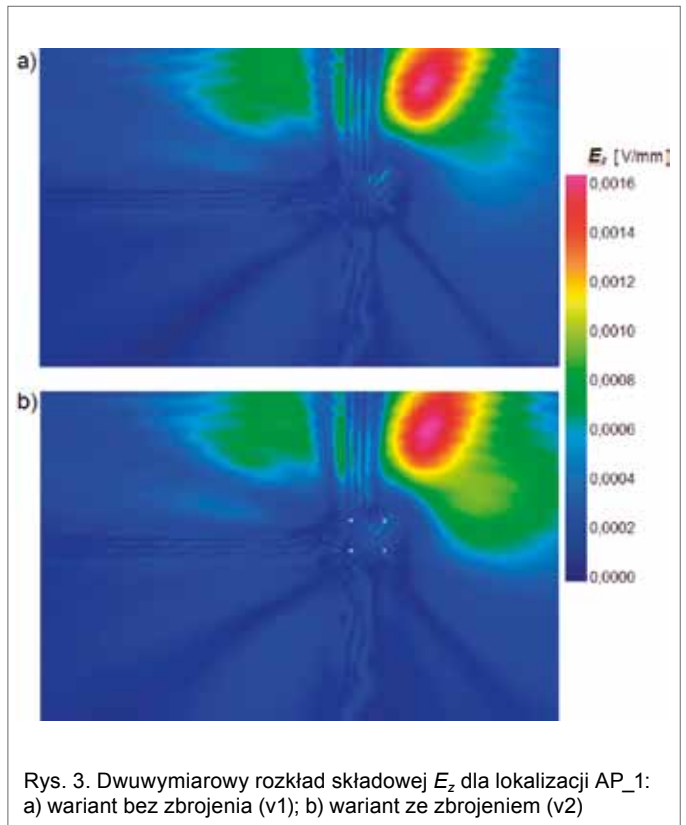
Rys. 1. Dwuwymiarowy widok geometrii obszaru analizy



Rys. 2. Część analizowanego obszaru wraz ze zbrojonym słupem (v2): a) trójwymiarowy widok; b) trzy warianty lokalizacji nadajnika

Maxwella w dziedzinie czasu (ang. *Finite Difference Time Domain* – FDTD) [1–2]. Umożliwia ona analizę procesów falowych występujących w stanach zarówno ustalonych, jak i niestabilnych przy propagacji fal elektromagnetycznych o złożonych przebiegach.

Po zastosowaniu dekompozycji w układzie współrzędnych kartezjańskich równania Maxwella są przedstawione w postaci sześciu wzajemnie zależnych skalarnych równań różniczkowych. Opisują one poszczególne składowe pola elektrycznego i magnetycznego (np. E_z , H_x , H_y). W dalszej kolejności, po zastosowaniu aproksymacji metodą różnic centralnych pochodnych

Rys. 3. Dwuwymiarowy rozkład składowej E_z dla lokalizacji AP_1: a) wariant bez zbrojenia (v1); b) wariant ze zbrojeniem (v2)

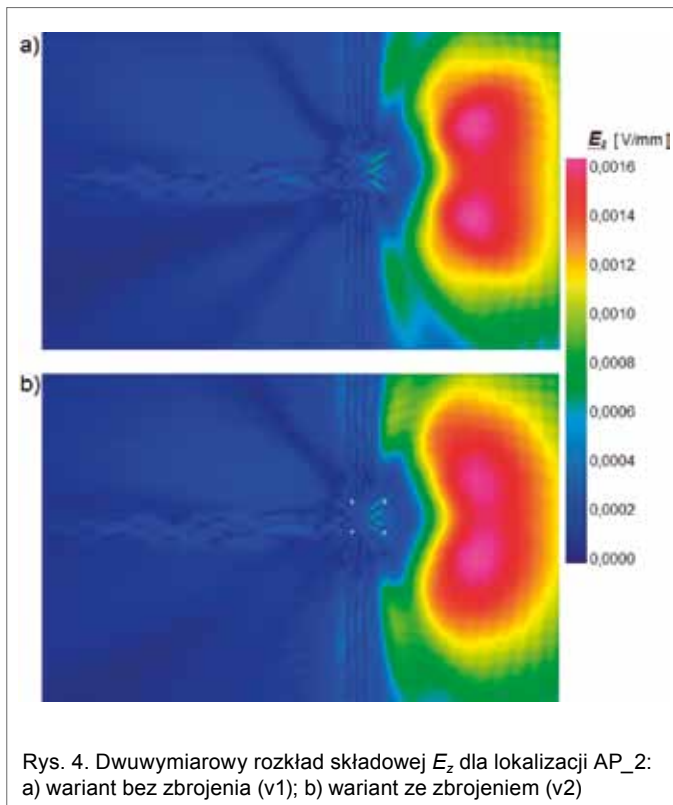
cząstkowych po czasie oraz po współrzędnych przestrzennych x , y , z , otrzymywane są równania Maxwella w postaci różnicowej. Analizowany obszar podzielony jest na prostokątne komórki Yee o wymiarach $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ [1–2]. Każda komórka opisana jest parametrami opisującymi właściwości elektryczne podobszaru (ϵ – przenikalność elektryczna; μ – przenikalność magnetyczna oraz σ – przewodność).

W analizowanym modelu przyjęto rozmiar poszczególnych komórek Yee $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 0,01 \times 0,01 \times 0,01$ m [1, 2, 7]. Obszar analizy złożony był z 3 058 776 komórek Yee. W celu otrzymania poprawnych wyników zastosowana metoda numeryczna musiała być stabilna. Decydował o tym warunek Courant-Friedrichs-Lewy, opisujący zależność pomiędzy najmniejszą wartością kroku czasowego Δt a największym rozmiarem komórki Yee [1]. W czasie przeprowadzanych obliczeń poprzez przyjęcie kroku $\Delta t = 0,105$ ns opisany warunek był spełniony. Dokładność odwzorowania rozkładu pola uzyskano przez przyjęcie wielkości komórek nie większej niż $(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \leq \lambda/10 = 0,0125$ m, gdzie λ oznacza długość fali.

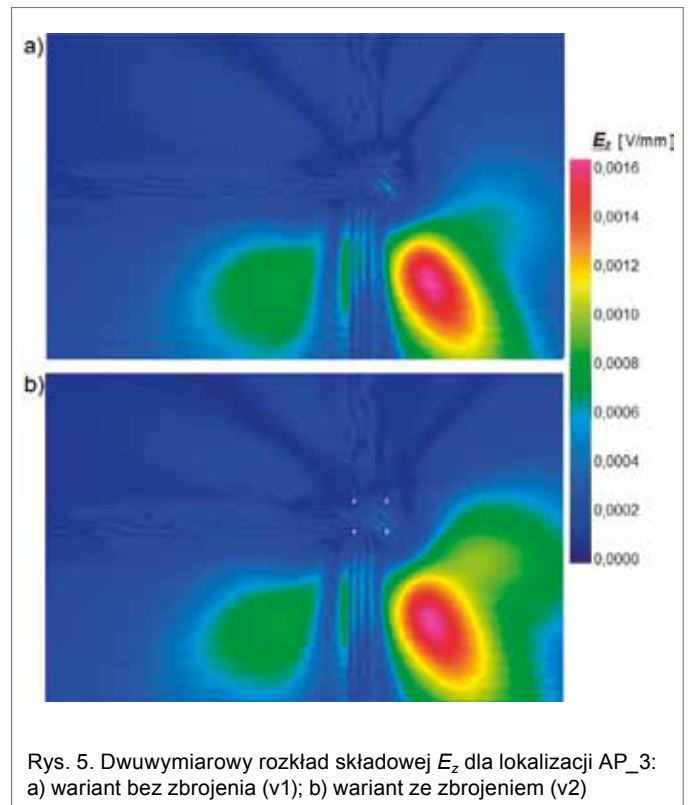
Analiza i dyskusja wyników

Rozkład pola dla wszystkich rozpatrywanych przypadków sporządzono w płaszczyźnie XY na poziomie 0,45 m poniżej zaczepienia punkowego źródła pola. Zaprezentowane poniżej wyniki uzyskano dla stanu ustalonego.

Na rys. 3–5 pokazano rozkłady pola EM dla składowej E_z , które zostały wykonane dla dwóch konstrukcji słupa (v1 i v2) oraz obejmują trzy warianty zaczepienia nadajnika (AP_1, AP_2 i AP_3). Różnice pomiędzy maksymalnymi wartościami są nieznaczne, natomiast obszar z wyższymi wartościami natężenia pola EM jest bardziej rozległy we wszystkich trzech przypadkach zawierających zbrojenie (rys. 3 b, 4 b, 5 b) niż w modelu



Rys. 4. Dwuwymiarowy rozkład składowej E_z dla lokalizacji AP_2: a) wariant bez zbrojenia (v1); b) wariant ze zbrojeniem (v2)



Rys. 5. Dwuwymiarowy rozkład składowej E_z dla lokalizacji AP_3: a) wariant bez zbrojenia (v1); b) wariant ze zbrojeniem (v2)

z betonowym słupem (rys. 3 a, 4 a, 5 a). Wartość przewodności elektrycznej betonu wpływa na zmniejszenie wartości natężenia pola. Natomiast zbrojenie w konstrukcji słupa powoduje miejscowy wzrost wartości pola, zwłaszcza w korytarzu. Wynika to z licznych odbić fali EM na granicy dwóch ośrodków (beton i metal). Dodatkowym czynnikiem powodującym wzrost wartości pola są liczne interferencje powstałe na skutek odbić.

Najbardziej pożądanym rozkładem pola EM, z perspektywy użytkowników sieci bezprzewodowej, jest w przypadku lokalizacji nadajnika oznaczonego jako AP_2. Wskazane umiejscowienie zapewnia dobrą jakość sygnału w korytarzu, czyli w części budynku, gdzie taki efekt jest najbardziej oczekiwany.

Na rys. 6–7 przedstawiono w skali logarytmicznej charakterystyki maksymalnych wartości analizowanej składowej pola elektromagnetycznego dla trzech lokalizacji nadajnika. Wykresy zostały sporządzone wzdłuż dwóch prostych ($Y = 0,78$ m i $Y = 1,78$ m). Położenie słupa zaznaczone jest na osi poziomej X w przedziale $1,69 \text{ m} \leq X \leq 1,96$ m. Natomiast ściany działowe stanowiące odgródzenie pomiędzy pokojami (pokój_1 i pokój_2) a korytarzem znajdują się w zakresie $1,69 \text{ m} \leq X \leq 1,83$ m.

Na rys. 6 pokazano wartości natężenia pola wzdłuż prostej $Y = 0,78$ m. W celu zapewnienia wyższych wartości pola na korytarzu najlepszym rozwiązaniem jest wariant z AP_2. Natomiast przypadek z AP_3 jest odpowiedni z punktu widzenia użytkownika korzystającego z pomieszczenia pokój_2, ponieważ wartości są miejscami czterokrotnie wyższe niż w modelu z AP_1, a aż dziewięciokrotnie wyższe niż dla AP_2.

Analiza maksymalnych wartości natężenia pola, obejmująca pokój_1 i korytarz, tzn. wzdłuż prostej $Y = 1,78$ m, została zaprezentowana na rys. 7. Najwyższe wartości pola EM widoczne są przy lokalizacji AP_1, zarówno w części całego obszaru pokój_1, jak i w korytarzu, ale tylko w bliskiej strefie, tzn. do 0,6 m od ściany. W większej odległości od ściany jednak skuteczniejsza jest lokalizacja nadajnika oznaczonego jako AP_2.

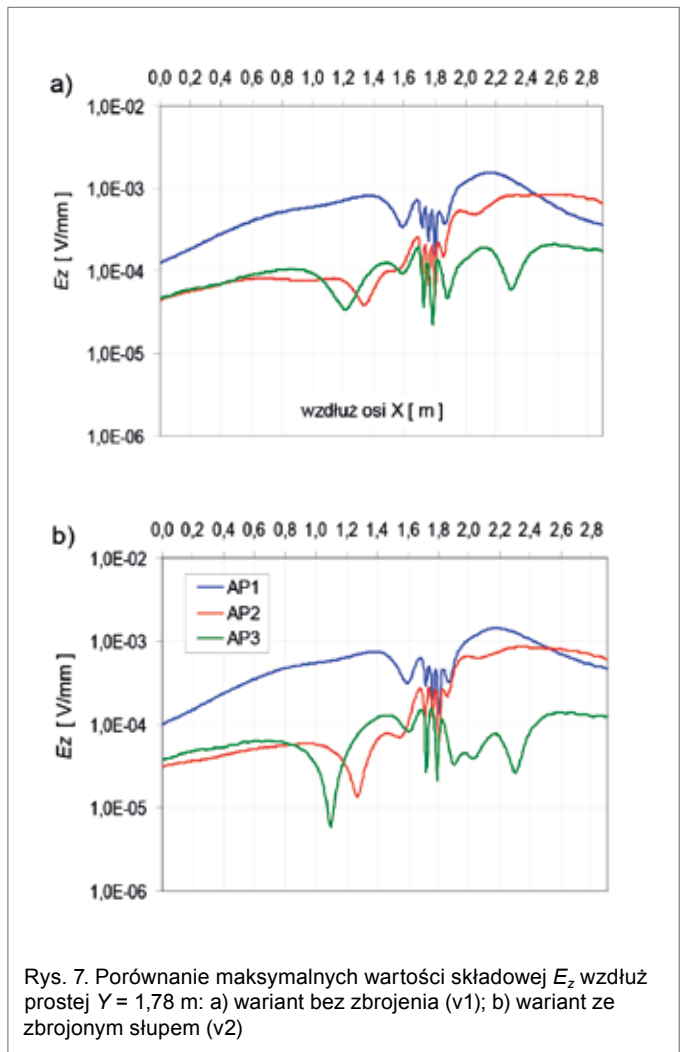
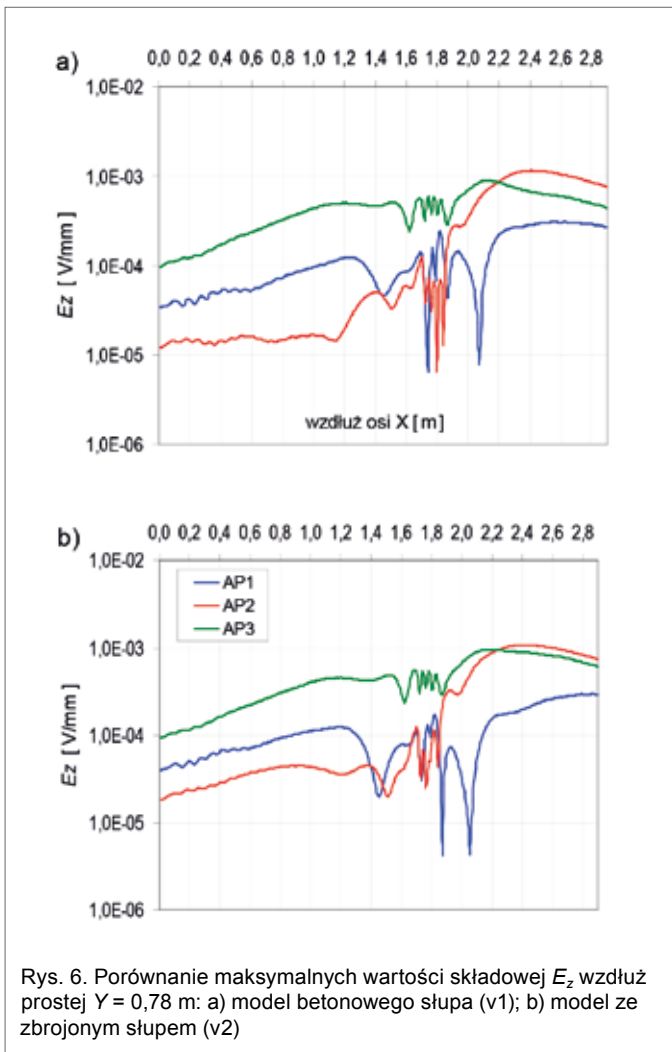
Analiza pomiędzy wariantami v1 i v2 wzdłuż prostej $Y = 1,78$ m pokazuje jedynie lokalne zmiany natężenia pola tylko w okolicy słupa.

Wnioski końcowe

Propagacja fal elektromagnetycznych wewnątrz budynków zawierających elementy zbrojone ma złożony charakter. Na skutek odbić fal na granicy metal – dielektryk występują wielokrotne odbicia i zmiany w rozkładzie pola elektromagnetycznego. Mimo że geometria rozpatrywanych układów jest względnie prosta, to ocena zjawisk zachodzących w analizowanych układach może być przeprowadzona jedynie przy użyciu metod numerycznych.

Wykonane testy miały na celu określenie wpływu konstrukcji słupa na wartość pola w okolicy nadajnika. Na podstawie dokonanej analizy można stwierdzić, że najbardziej optymalną lokalizacją punkтового źródła pola jest wariant z AP_2, który zapewnia w korytarzu wysokie wartości natężenia pola elektromagnetycznego, zwłaszcza w odległości 0,5 m od ściany. Natomiast w przypadku konieczności zapewnienia dobrej jakości komunikacji bezprzewodowej w pomieszczeniu pokój_1 najlepszym rozwiązaniem jest umieszczenie nadajnika blisko ściany dzielącej to pomieszczenie od korytarza (AP_1). Przy rozważaniu obszaru opisanego jako pokój_2 sytuacja jest analogiczna do powyższej analizy dotyczącej obszaru pokój_1. Najwyższe wartości obserwowanej składowej pola w pomieszczeniu pokój_2 będą, gdy nadajnik zostanie umieszczony w pozycji AP_3.

Porównanie obu konstrukcji słupa potwierdza, że każdy przewodzący element (np. zbrojenie) skutkuje powstaniem nierównomiernego rozkładu pola o obniżonej wartości natężenia pola w pomieszczeniach oddzielonych ścianami od nadajnika (pokój_1 i pokój_2). Dodatkowo na skutek odbić fali na granicy



ośrodków beton – metal oraz licznych interferencji zbrojenie w słupie powoduje selektywny wzrost wartości pola w niektórych obszarach, a zwłaszcza na korytarzu. Część energii jest odbijana na skutek właściwości ekranujących konstrukcji żelbetowej.

Literatura

- [1] CHOROSZUCHO A., BUTRYŁO B.: *Local attenuation of electromagnetic field generated by wireless communication system inside the building*. „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 7/2011, s. 123–126.
- [2] DALKE R.A., HOLLOWAY CH.L., MCKENNA P., JOHANSSON M., ALI A.S.: *Effects of reinforced concrete structures on RF communications*. IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 42/2000, nr 4, s. 486–496.
- [3] HARRIS L., HIKAGE T., NOJIMA T.: *Estimation of electric field distribution in wireless office LANs using the FDTD method*. Proc. of the EuCAP 2007, the Second European Conference on Antennas and Propagation, 2007.
- [4] RICHALOT E., BONILLA M., WONG M., FOUAD-HANNA V., BAUDRAND H., WIART J.: *Electromagnetic propagation into reinforced-concrete walls*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 48/2000, nr 5, s. 357–366.
- [5] TAFLOVE A., HAGNESS S.C.: *Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method*. Boston, Artech House, 2005.

- [6] TAN S.Y., TAN Y., TAN H.S.: *Multipath delay measurements and modeling for interfloor wireless communications*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 49/2000, nr 4, s. 1334–1341.
- [7] WEIPING Q., SHENGGAO D., YERONG Z.: *FDTD calculation of the effects of reinforced concrete wall on short path propagation of UWB pulse*. IEEE Microwave Conference Proceedings, 2005. APMC 2005. Asia-Pacific Conference Proceedings, 2005.
- [8] YEE K.S.: *Numerical solution of initial boundary value problems Maxwell's equations in isotropic media*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-14 (1966), nr 3, s. 302–307.

mgr inż. Agnieszka Choroszucho, dr inż. Bogusław Butryło –
Katedra Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii, Wydział
Elektryczny, Politechnika Białostocka, Białystok,
e-mail: a.choroszucho@pb.edu.pl, b.butrylo@pb.edu.pl

artykuł recenzowany

reklama