

Uproszczony model ciała człowieka do analizy systemów bezprzewodowych działających w pobliżu osób w różnych pozycjach

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań możliwości wykorzystania uproszczonego numerycznego modelu ciała człowieka do analizy systemów radiowych funkcjonujących w pobliżu osób przyjmujących różne pozycje ciała. Model uproszczony ciała zaproponowany przez Autora składa się z rur PCV wypełnionych płynem imitującym tkanki wewnętrzne. Ze względu na dużą prostotę konstrukcji, model ten można łatwo zmodyfikować w taki sposób, aby odwzorowywał ciało w innych pozycjach. Badania porównawcze przeprowadzono z wykorzystaniem modelu referencyjnego jakim był heterogeniczny model numeryczny NMR Hershey dostępny w programie XFDTD firmy Remcom. Model referencyjny został zmodyfikowany za pomocą programu Varipose w taki sposób, aby odwzorowywał osobę siedzącą. Uproszczony model cylindryczny porównano z modelem odniesienia dla scenariuszy typowych dla sieci bezprzewodowych.

Abstract. In the paper the research on simplified numerical human body model for analysis of wireless systems operating in the proximity of posed human body is presented. The proposed simplified human body model is built with PVC pipes filled with tissue stimulant liquid. Due to its simplicity, it can be easily modified to model a sitting person. Comparable studies were made with NMR Hershey numerical heterogeneous body model that is available in Remcom XFDTD computer program. This was modified with Varipose program to model sitting person. Simplified model was compared with reference model for simulation scenarios typical for wireless body area networks. (*Simplified human body model for analysis of wireless systems operating in the proximity of posed human body*).

Słowa kluczowe: modele ciała człowieka, FDTD, systemy bezprzewodowe, sieci BAN

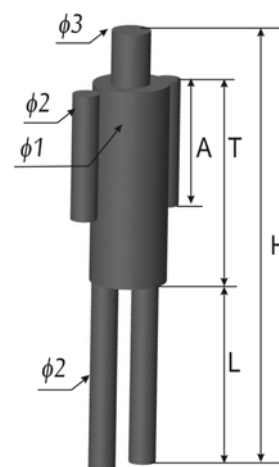
Keywords: human body models, FDTD, wireless systems, BAN

Wstęp

Projektowanie bezprzewodowych sieci działających w pobliżu ciała człowieka wymaga uwzględnienia złożonych zjawisk związanych z oddziaływaniem promieniowania elektromagnetycznego i tkanek ludzkiego ciała. Jest to zadanie bardzo złożone i wymaga wykorzystania modelu ciała człowieka (fantomu) zarówno na etapie symulacji jak i na etapie weryfikacji pomiarowej. Dotychczasowe prace badawcze zaowocowały opracowaniem licznych fantomów imitujących ciało człowieka, które różnią się stopniem uproszczenia ciała i tym samym zakresem zastosowania [1-2]. Fantomy opisują ludzkie ciało z różną dokładnością odwzorowania geometrii oraz modelują różną liczbę tkanek. Modele ciała można podzielić na takie, które są wykorzystywane do symulacji komputerowych (modele numeryczne) oraz fantomy wykorzystywane do badań empirycznych (pomiarów). Modele pomiarowe (ang. SAM: Specific Anthropomorphic Mannequin) mają postać cienkościennych manekinów odwzorowujących kształt ludzkiego ciała, które napełniane są płynem imitującym właściwości elektryczne tkanek wewnętrznych [3 - 5].

Zarówno modele numeryczne, jak i modele fizyczne przedstawiają typowo ciało człowieka w pozycji wyprostowanej. Modele numeryczne można modyfikować za pomocą specjalistycznego oprogramowania w taki sposób, aby przedstawiały ciało również w innych pozycjach. Przykładem takiego oprogramowania jest program Varipose firmy Remcom, wykorzystywany przez Autora, który pozwala zmieniać ułożenie kończyn modelu numerycznego w zakresie naturalnych zakresów ruchu człowieka. Tak zmodyfikowany model nie ma jednak odpowiednika fizycznego, co uniemożliwia przeprowadzenie pomiarów weryfikujących. Istniejące modele fizyczne, które umożliwiają zmianę pozycji ciała wykorzystują korpus typowego modelu jednorodnego napełnianego płynem, do którego dołączane są kończyny wykonane z tworzywa imitującego właściwości elektryczne ciała [6]. Takie modele są jednak bardzo kosztowne (cena przekracza 150 000 zł), co czyni je trudnymi do zastosowania, a wyniki symulacji uzyskane z ich wykorzystaniem nie są powszechnie dostępne.

W artykule przedstawiono wyniki badań możliwości wykorzystania uproszczonego modelu ciała człowieka do badania systemów radiowych funkcjonujących w pobliżu osób przyjmujących różne pozycje ciała. Model uproszczony ciała składa się z rur PCV wypełnionych płynem imitującym tkanki wewnętrzne [7-8]. Dotychczasowe prace badawcze Autora wykazały dużą przydatność tego modelu do badania ciała w pozycji wyprostowanej. Ze względu na dużą prostotę konstrukcji, model ten można łatwo zmodyfikować w taki sposób, aby odwzorowywał ciało w innych pozycjach. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem modelu heterogenicznego NMR Hershey dostępnego w programie XFDTD firmy Remcom. Model został zmodyfikowany za pomocą programu Varipose w taki sposób, aby odwzorowywał osobę siedzącą (rysunek 1). Wyniki otrzymane dla modelu heterogenicznego porównano z wynikami opracowanymi dla uproszczonego modelu cylindrycznego. Model cylindryczny wykorzystany do badań posiadał kształt i proporcje które przybliżają proporcje modelu heterogenicznego.

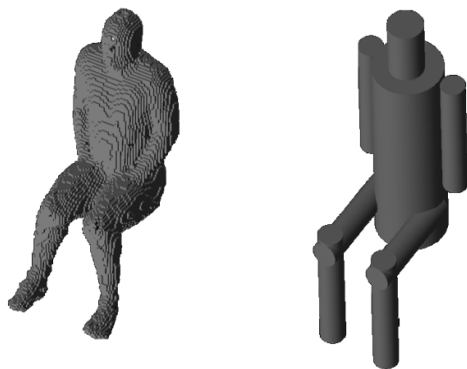


Rys.1. Uproszczony cylindryczny model ciała w pozycji wyprostowanej

Uproszczony model ludzkiego ciała

Na rysunku 1 przedstawiono uproszczony walcowy model ciała człowieka w pozycji wyprostowanej. Wysokość modelu $H=1810$ mm dobrano zgodnie z wysokością modelu referencyjnego. W modelu uproszczonym promień walca stanowiącego korpus dopasowano do kształtu przekroju poprzecznego modelu referencyjnego w taki sposób aby możliwe było wykonanie jego odpowiednika fizycznego za pomocą standardowych rur PCV. Średnice cylindrów wynosiły odpowiednio $\phi_1=315$ mm $\phi_2=110$ mm, $\phi_3=160$ mm. Długości rur wynoszą odpowiednio: $A=500$ mm, $L=790$ mm, $T=800$ mm. Głowę zamodelowano cylindrem o długości 220mm. Parametry materiałowe płynu imitującego tkanki wewnętrzne dobrano na podstawie danych literaturowych w sposób opisany w [9-10]. Stała dielektryczna wyniosła $\epsilon=52$, przewodność zaś $\sigma=1,8$ S/m.

Do dalszych badań model opracowany dla pozycji wyprostowanej zmodyfikowano tak aby odwzorowywał osobę siedzącą. W tym celu dokonano modyfikacji heterogenicznego modelu referencyjnego złożonego z wokseli o boku długości 10mm za pomocą programu Remcom Varipose. Program ten pozwala zmodyfikować numeryczny model ciała w sposób odwzorowujący różne ułożenie kończyn. Model opracowany w ten sposób dla osoby siedzącej pokazano na rysunku 2a. Na jego podstawie dobrano ułożenie walców imitujących kończyny w modelu uproszczonym. Model uproszczony osoby siedzącej przedstawia rysunek 2b.

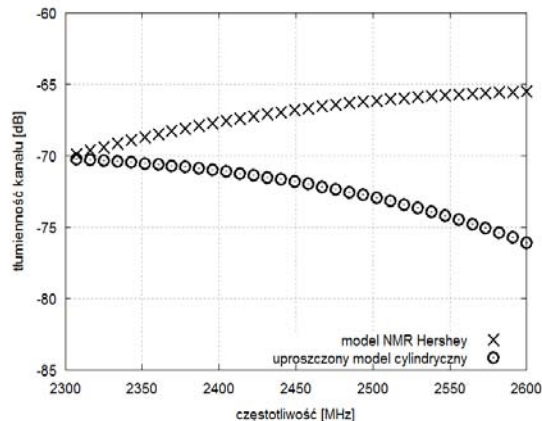


Rys.2. Modele ciała w pozycji siedzącej: a – model NMR Hershey zmodyfikowany w programie Varipose, b – uproszczony model walcowy

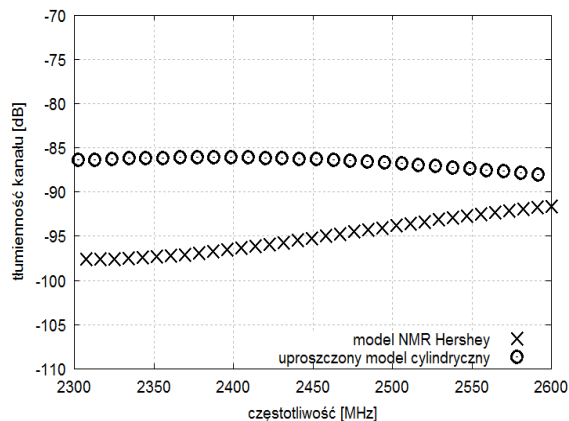
Porównanie modelu uproszczonego i modelu heterogenicznego

Przeprowadzone badania miały na celu zbadanie przydatności modelu uproszczonego do symulacji bezprzewodowych sieci radiowych działających w pobliżu ciała dla najbardziej popularnego obecnie pasma 2,4 GHz. Symulacje komputerowe obejmowały analizę parametrów systemów bezprzewodowych obejmujących tłumienność kanału obejmującego ciało człowieka oraz charakterystyki promieniowania anten umieszczonych na ciele. Do analizy parametrów kanału radiowego wykorzystano anteny umieszczone na ciele oraz charakterystyk promieniowania anten umieszczonych w pobliżu ciała. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki symulacji tłumienia fal radiowych pomiędzy dipolami usytuowanymi na ciele uzyskane dla modelu uproszczonego i dokładnego. Wyniki prezentowane na rysunku 3 uzyskano dla dipoli ustawionych pionowo i usytuowanych przy lewej łydce i na klatce piersiowej. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki symulacji tłumienności w łączu pomiędzy dipolami na lewej łydce i na prawym udzie, przy czym antena na prawym udzie ustawiona została w

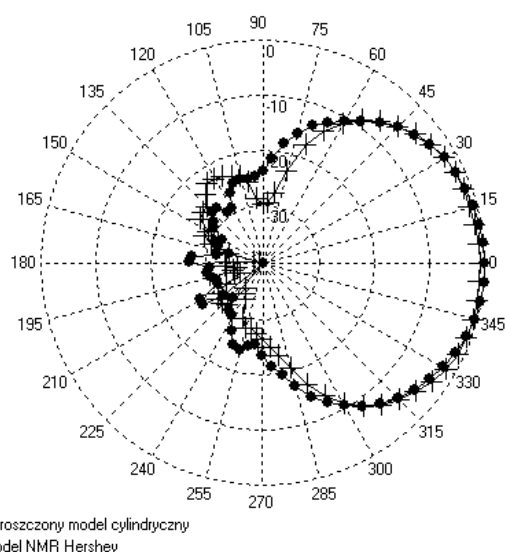
polaryzacji poziomej. Wyniki symulacji tłumienia fal radiowych pomiędzy dipolami usytuowanymi na modelu osoby siedzącej w paśmie 2,4 GHz uzyskane dla modelu heterogenicznego i modelu uproszczonego jednorodnego wykazują niewielkie różnice (około 5 dB) w środku pasma pracy anten,



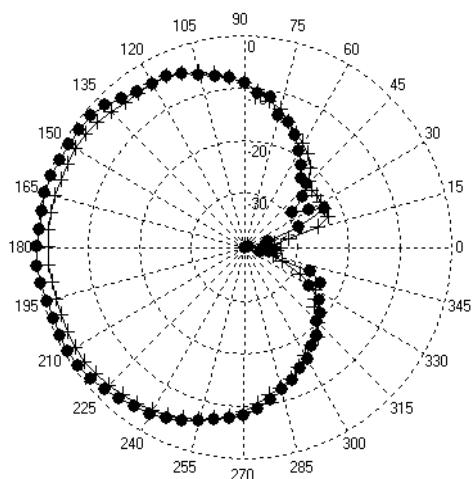
Rys. 3. Tłumienność łącza radiowego pomiędzy dipolami na łydce i na klatce piersiowej w paśmie 2,4 GHz: porównanie modelu heterogenicznego i modelu jednorodnego



Rys. 4. Tłumienność łącza radiowego pomiędzy dipolami na lewej łydce i na prawym udzie w paśmie 2,4 GHz: porównanie modelu heterogenicznego i modelu jednorodnego



Rys. 5. Znormalizowana charakterystyka promieniowania $G\theta(\varphi,90^\circ)$ anteny usytuowanej na lewej łydce osoby siedzącej: porównanie modelu heterogenicznego i modelu jednorodnego



+ model NMR Hershey
 • uproszczony model cylindryczny

Rys. 6. Znormalizowana charakterystyka promieniowania $G(\theta, 90^\circ)$ anteny usytuowanej na prawym udzie osoby siedzącej; porównanie modelu heterogenicznego i modelu jednorodnego

Wyniki symulacji charakterystyk promieniowania anten przedstawiono na rysunku 5 i 6. Na rysunku 5 porównano znormalizowaną charakterystykę promieniowania anteny usytuowanej na lewej łydce osoby siedzącej obliczoną dla modelu heterogenicznego i modelu jednorodnego. Wyniki przedstawiono w postaci znormalizowanej charakterystyki zysku energetycznego $G(\varphi, 90^\circ)$ w płaszczyźnie poziomej. Na rysunku 6 przedstawiono analogiczną charakterystykę promieniowania anteny umieszczonej na prawym udzie. Wyniki symulacji charakterystyk promieniowania anten usytuowanych na nogach bardzo dobrą zbieżność pomiędzy modelem uproszczonym i heterogenicznym.

Wnioski

W artykule opisano wyniki badań dotyczących analizy przydatności modelu uproszczonego do symulacji bezprzewodowych sieci radiowych działających w pobliżu ciała człowieka przyjmującego pozycje inną niż wyprostowana. Badania zrealizowano dla pasma 2,4 GHz oraz dla bardzo często przyjmowanej przez ludzi pozycji siedzącej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że uproszczony model ciała człowieka może być łatwo zmodyfikowany w sposób umożliwiający odwzorowanie sylwetki osoby siedzącej. Prostota modelu umożliwia jego odtworzenie w dowolnym programie do symulacji elektromagnetycznych.

Analiza wyników symulacji parametrów łącza radiowego przeprowadzona dla modelu uproszczonego i dla modelu dokładnego pozwala na sformułowanie poniższych wniosków:

- Cylindryczny model uproszczony może być wykorzystany do symulacji tłumienności łącza radiowego w sieciach działających w paśmie 2,4 GHz w pobliżu ciała człowieka znajdującego się w pozycji siedzącej. Uzyskane wyniki dla modelu uproszczonego są zbliżone do wyników

symulacji otrzymanych za pomocą modelu dokładnego dla przypadków, dla których antena jest usytuowana na nogach i na korpusie.

- Model uproszczony umożliwia symulacje charakterystyk promieniowania anten usytuowanych na ciele osoby siedzącej. Uzyskane wyniki nie odbiegają w sposób znaczący od wyników które można otrzymać wykorzystując model heterogeniczny.

- Model uproszczony może być łatwo zmodyfikowany w sposób, który pozwoli na odwzorowanie sylwetki osób przyjmujących również inne pozy. Konieczna jest w tym celu jedynie zmiana ułożenia i długości walców odwzorowujących kończyny.

Ze względu na to że uzyskano dobrą zbieżność wyników uzyskanych dla modelu uproszczonego i modelu dokładnego planowane jest prowadzenie dalszych prac w tym zakresie obejmujących weryfikację eksperymentalną modelu.

LITERATURA

- [1] Xu, X.G.; Eckerman, K.F. Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry. Taylor & Francis, 2010
- [2] A. Robin, "Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the BAN context", Université Paris-Est, PhD thesis 2009
- [3] Panagamuwa, C.J.; Whittow, W.G.; Edwards, R.M.; Vardaxoglou, J.C., "Experimental Verification of a Modified Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) Head used for SAR Measurements," Antennas and Propagation Conference, 2007. LAPC 2007. Loughborough, vol., no., pp.261,264, 2-3 April 2007
- [4] Arkko, A., "Properties of numerical SAM phantom used in mobile phone antenna simulations," Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE, vol.2A, no., pp.450,453 vol. 2A, 3-8 July 2005
- [5] Uno, Y., Saito, K., Takahashi, M., Ito, K., "Structure of cylindrical tissue-equivalent phantom for medical applications", Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2010, pp.06,409, 20-24 Sept. 2010
- [6] "EM-Phantom User Manual V4.1", Schmid & Partner Engineering AG, December 2013
- [7] Łukasz Januszkiewicz, Sławomir Hausman, Simplified Human Body Models for Body Area Network Simulation And Measurement, ISEF 2013 - XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering,
- [8] Łukasz Januszkiewicz, Sławomir Hausman, Human Body Models for Body-Worn Antenna Simulation And Measurement, ISEF 2013 - XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering,
- [9] Australian Communications Authority ~ Radiocommunications, "Electromagnetic Radiation – Human Exposure", 2003.
- [10] L. Januszkiewicz, S. Hausman, T. Kacprzak, M. Michalak, J. Biłska, I. Krucinska, "Textile body-worn exponentially tapered Vee antenna", Microwaves, Radar and Wireless Communications, 2008. MIKON 2008. 17th International Conference on, vol., no., pp.1,4, 19-21 May 2008.

Autorzy: dr inż. Łukasz Januszkiewicz, Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki, ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź, E-mail: lukasz.januszkiewicz@p.lodz.pl