

Wykorzystanie danych geoprzestrzennych w komputerowej analizie narażenia pracowników na pole elektromagnetyczne

Streszczenie. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania danych geoprzestrzennych do oceny ekspozycji pracowników na pole elektromagnetyczne. Informacja o terenie pochodziła z dostępnych w Internecie źródeł. Do przygotowania modeli terenu wykorzystano oprogramowanie GIS, zaś obliczenia narażenia pracowników na pole elektromagnetyczne wykonano w oparciu o algorytm FDTD.

Abstract. The paper presents the possibility of using geospatial data to assess the exposure of workers to electromagnetic fields. The geospatial information came from online sources. Terrain models have been prepared in GIS software. The exposure of workers to electromagnetic fields have been calculated in FDTD software. (*The use of geospatial data in computer analysis of employees exposure to electromagnetic field*).

Słowa kluczowe: ocena ekspozycji na pole elektromagnetyczne, numeryczny model terenu.

Keywords: assessment of exposure to electromagnetic fields, digital terrain model.

doi:10.12915/pe.2014.12.71

Wstęp

Pole i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz jest czynnikiem szkodliwym dla zdrowia w środowisku pracy. W polskich przepisach najwyższe dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego oraz natężenia pola magnetycznego określa Rozporządzenie [1].



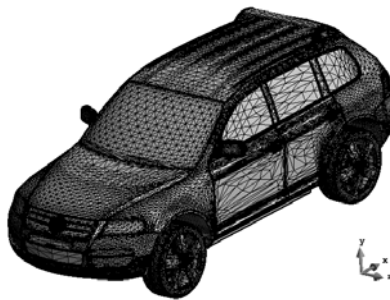
Rys.1. Pomiar natężenia pola magnetycznego dla potrzeb oceny ekspozycji zawodowej

W otoczeniu źródeł pól elektromagnetycznych, pole elektromagnetyczne może przyjmować wartości ustanowione dla trzech stref ochronnych: niebezpiecznej, rozumianej jako obszar, w którym przebywanie pracowników jest zabronione, zagrożenia, w której dopuszczone jest przebywanie pracowników przez czas ograniczony oraz pośredniej, w której dopuszczone jest przebywanie pracowników w ciągu całej zmiany roboczej.

Przez ocenę pola na stanowisku pracy rozumie się wyznaczenie zasięgu stref ochronnych oraz wskazanie stanowisk pracowników podlegających ekspozycji niebezpiecznej, nadmiernej, dopuszczalnej i pomijalnej. Wskazanie to dokonywane jest na podstawie porównania zmierzanej na stanowisku pracownika wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego z wartościami E_0 , H_0 , E_1 , H_1 , E_2 , H_2 definiującymi granice między strefami ochronnymi oraz na podstawie czasu przebywania pracownika w zasięgu stref ochronnych [1, 2, 3]. Pomiar pola magnetycznego w środowisku pracy personelu obsługującego tomograf NMR ilustruje rysunek 1.

Szybki wzrost mocy obliczeniowej komputerów umożliwił wykorzystanie metod numerycznych do obliczania wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego dla potrzeb oceny ekspozycji zawodowej. W świetle przepisów

krajowych są one jedynie narzędziem pomocniczym w stosunku do pomiarów. Niemniej, pozwalają wstępnie ocenić rozkład pola elektromagnetycznego w środowisku pracy. Inaczej, gdy przedmiotem analizy jest na przykład zgodność z wymogami Dyrektywy 2013/35/UE [4]. Tu do oceny poziomu pól elektromagnetycznych, na jakie narażeni są pracownicy, dopuszcza się obliczenia. Ponadto, gdy w wyniku pomiarów lub obliczeń stwierdzono przekroczenie określonych w Dyrektywie interwencyjnych poziomów narażenia (IPN) pracodawca podejmuje niezbędne działania zapewniające eliminację lub ograniczenie do minimum zagrożeń z powodu pól elektromagnetycznych, chyba że wykaże, że nie zostały przekroczone odpowiednie graniczne poziomy oddziaływania (GPO). GPO, takie jak pola elektryczne indukowane w organizmie, energia (SA) i moc pochłonięta (SAR) przez tkanki ciała, nie są mierzalne bezpośrednio, a do ich oceny niezbędne jest zastosowanie metod fantomowych lub numerycznych.



Rys.2. Model CAD popularnej marki samochodu [5] jako przykład pozyskiwania modeli urządzeń z ogólnie dostępnych źródeł

Zastosowanie metody numerycznej wymaga odwzorowania w środowisku obliczeniowym otoczenia pracownika, co odbywa się przez importowanie modeli CAD urządzeń, mebli, infrastruktury technicznej oraz zamodelowanie źródeł pola elektromagnetycznego. Wiele z tych modeli jest dostępnych nieodpłatnie w Internecie na zasadach określonych w licencji użytkownika. Przykład modelu samochodu udostępnianego w Internecie [5] zaadaptowany przez autorów do potrzeb modelowania matematycznego pola elektromagnetycznego w środowisku pracy ilustruje rysunek 2. Do modelowania źródeł pola można wykorzystać dedykowane oprogramowanie, jak [6, 7] wyposażone w biblioteki numerycznych modeli anten lub dowolne środowisko numeryczne do tego przeznaczone.

Jeżeli przedmiotem analizy są GPO w rozumieniu Dyrektywy 2013/35/UE niezbędnym elementem jest model człowieka, którego pozycja ciała odpowiada położeniu ciała pracownika przy wykonywaniu zadań [8]. Wierność odwzorowania budowy anatomicznej powinna być dostosowana do częstotliwości pola elektromagnetycznego oraz wymaganej dokładności obliczeń.

W przypadku, gdy pracownik porusza się w terenie otwartym, w modelu numerycznym należy uwzględnić ukształtowanie terenu, szatę roślinną oraz infrastrukturę budowlaną. Do tego celu wykorzystuje się dane geoprzestrzenne.

Dane geoprzestrzenne to dane dotyczące obiektów przestrzennych powiązanych z powierzchnią Ziemi. Warstwy tematyczne tych danych obejmują przykładowo: kataster (ewidencja gruntów i budynków), osnowę geodezyjną, nazwy geograficzne, ortoobrazy, rzeźbę terenu, informacje o infrastrukturze transportowej, dane hydrograficzne, podział terytorialny i wiele innych.

Dane geoprzestrzenne są przeważnie ogólnodostępne, a dostęp do nich jest bezpłatny przez funkcjonujące w Internecie narzędzia, na przykład [9, 10, 11, 12, 13].

W dalszej części zostanie przedstawione postępowanie prowadzące do zbudowania numerycznego modelu terenu w oparciu o ogólnodostępne dane geoprzestrzenne wraz z analizą możliwości wykorzystania takiego modelu dla potrzeb oceny ekspozycji zawodowej.

Materiał i metoda

Przedstawiona poniżej analiza ma charakter teoretyczny i została przeprowadzona wyłącznie w celu sprawdzenia możliwości wykorzystania danych geoprzestrzennych w komputerowej analizie narażenia pracowników na pole elektromagnetyczne.

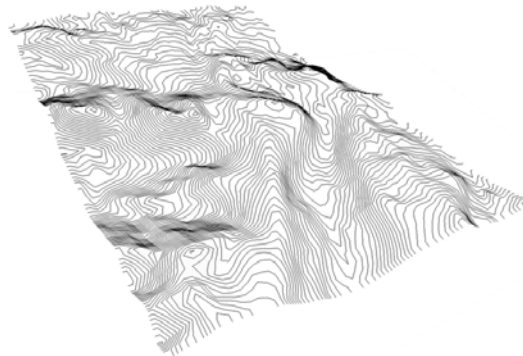
Do skonstruowania numerycznego modelu terenu wybrano obszar na terenie Polski na wschód od Zakopanego położony między 49°15'00" i 49°18'00"N oraz 20°00'00" i 20°03'00"E. Położenie tego obszaru ilustruje rysunek 3.



Rys.3. Położenie obszaru wykorzystywanego do analizy

Dla wskazanego obszaru pobrano plik w formacie GeoTIFF udostępniany w narzędziu USGS EarthExplorer [10]. GeoTIFF jest formatem danych, który umożliwia dodawanie informacji georeferencyjnych i geokodujących do plików w formacie TIFF. Dodawane dane mogą zawierać między innymi współrzędne geograficzne, parametry układu odniesienia i informacje o odwzorowaniu. W tym przypadku dodatkowe dane obejmują informacje zebrane w ramach misji Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) i obejmują informacje o wysokości terenu nad poziomem morza stanowiące bazę dla opracowywania numerycznych modeli terenu. Szczegółowy opis projektu, udostępnianych dzięki

niemu danych oraz informacje o ich dokładności można odnaleźć w [14, 15]. Wykorzystany GeoTIFF obejmuje powierzchnię o wymiarach 1°x1°, rozdzielczości terenowej 3" i szesnastobitowej głębi obrazu. Konstruowanie numerycznego modelu terenu polega na wyodrębnieniu z posiadanych danych, tej części, która dotyczy analizowanego obszaru, przeliczeniu układu współrzędnych na metryczny oraz wyodrębnieniu z pliku informacji o wysokości w terenie. Powyższe czynności wykonano w środowisku QGIS dostępnego nieodpłatnie ze strony Projektu QGIS [16]. Ukształtowanie powierzchni terenu opracowane na podstawie danych SRTM zawartych w pliku GeoTIFF ilustruje rysunek 4.



Rys.4. Ukształtowanie powierzchni analizowanego terenu opracowane na podstawie danych SRTM

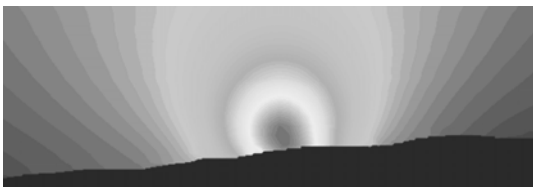
Najtrudniejszym elementem przy konstruowaniu numerycznego modelu terenu jest pozyskanie informacji o szacie roślinnej pokrywającej analizowany obszar, zebranie informacji o jej parametrach elektrycznych oraz parametrach elektrycznych tamtejszych gleb. Dodatkową trudność stanowi wpływ warunków atmosferycznych na przenikalność i przewodność elektryczną roślin i gleby, w szczególności opadów i wilgotności powietrza, występujących zarówno w czasie, którego dotyczy analiza, jak również warunków atmosferycznych panujących w okresie poprzedzającym.

Zebranie informacji o szacie roślinnej ułatwiają szeroko dostępne ortoobrazy np. [9, 10]. Częściową informację dostarczają również mapy, jednak wymaga to podparcia wizją lokalną. Wciąż otwartą sprawą pozostaje sposób, w jaki szata roślinna będzie odwzorowana w środowisku obliczeniowym. Pozyskiwanie informacji o parametrach elektrycznych pokrywy roślinnej wymaga pobrania próbek w terenie oraz badań laboratoryjnych, natomiast pomiar parametrów elektrycznych gleby jest możliwy w terenie przy pomocy mierników reflektometrycznych przeznaczonych do wyznaczenia wilgotności i zasolenia gleby [17]. W celu uzyskania danych o warunkach atmosferycznych, w szczególności o opadach, jakie występowały w analizowanym terenie, można podeprzeć się zbieranymi od wielu lat danymi hydrologicznymi pozyskiwanymi ze stacji i posterunków meteorologicznych oraz posterunków opadowych udostępnianych odpłatnie przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

W chwili obecnej, zbieranie tak szczegółowych danych jest podejściem mało efektywnym z punktu widzenia pożądanego efektu, jakim jest szacowanie narażenia na pole elektromagnetyczne pracowników zatrudnionych w terenie otwartym, nawet jeżeli wynikiem tej analizy ma być odniesienie się do granicznych poziomów oddziaływania w rozumieniu Dyrektywy [4]. Ponadto dane te będą wykorzystywane wraz z numerycznym modelem terenu, w którym dokładność odwzorowania terenu jest gorsza niż kilka (czasem kilkanaście) metrów.

Zasadne jest zatem przyjęcie pewnych uproszczeń, to jest określenie na podstawie danych literaturowych np. [18, 19, 20, 21, 22, 23] skrajnych wartości parametrów elektrycznych roślinności i gleb występujących w danym obszarze oraz zamodelowanie roślinności w postaci brył i warstw odpowiadających jej położeniu w terenie. Ocena narażenia na pole elektromagnetyczne jest wtedy przeprowadzania dla przypadku, w którym wyznaczone pole elektromagnetyczne przyjmuje największe wartości.

Takie podejście przyjęliśmy w naszej pracy. Po opracowaniu numerycznego modelu terenu, przypisywaliśmy mu parametry elektryczne odpowiadające przenikalności i przewodności gleby o różnym stopniu wilgotności i zasolenia, jakie znaleźliśmy w literaturze, przy czym nie braliśmy pod uwagę zmian tych parametrów związanych na przykład z ukorzeniem roślin oraz obecnością traw. Na tak przygotowany teren nanieśliśmy bryły reprezentujące duże skupiska roślinności. Kształt tych brył odnieśliśmy do dostępnych w Internecie ortoobrazów oraz przewidywanej wysokości drzew dla dominującego w drzewostanie gatunku. Z uwagi na ograniczoną rozdzielczość modelu analizowaliśmy rozkład pola elektrycznego w otoczeniu nadajnika radiowego pracującego w zakresie fal średnich. Dodatkowo analizowaliśmy rozkłady pola elektrycznego w otoczeniu nadajnika pracującego nad idealnie przewodzącą ziemią pozbawioną szaty roślinnej. Przykład takiej analizy ilustruje rysunek 5.



Rys.5. Przykład modelowania pola elektrycznego wytwarzanego przez nadajnik radiowy pracujący w zakresie fal średnich nad numerycznym modelem terenu

Wnioski

Dostępne w chwili obecnej dane geoprzestrzenne umożliwiają budowanie numerycznych modeli terenu. Jednak rozdzielczość tych danych nie pozwala na pożądaną wierność odwzorowania terenu z punktu widzenia oceny narażenia na pole elektromagnetyczne szczególnie w zakresie fal ultrakrótkich i w zakresie mikrofal, czyli w zakresach w których pracują urządzenia radiolokacyjne i stacje naprowadzania rakiet (urządzenia te wytwarzają pole elektromagnetyczne o poziomach odpowiadających ekspozycji zawodowej w odległościach nawet kilkuset metrów od anteny). Mogą być natomiast przydatne w zakresie fal krótkich i dłuższych, szczególnie w otoczeniu anten o dużych rozmiarach, takich jak radiolatarni bezkierunkowych (NDB).

Duże ograniczenia w stosowaniu numerycznych modeli terenu nakłada również pozyskiwanie danych o szacie roślinnej, jej parametrach elektrycznych oraz parametrach elektrycznych gleby i warunkach atmosferycznych. Ograniczenia te można do pewnego stopnia pokonać stosując opisane w artykule uproszczenia.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2014, poz. 817
- [2] PN-T-06580-1:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz -

- Część 1: Terminologia, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002
- [3] PN-T-06580-3:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz - Część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002
 - [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi), Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2013; (56):L 179/1-21
 - [5] The Free 3D Models, dostępny <http://thefree3dmodels.com>
 - [6] EMCoS Antenna VirtualLab, dostępny <http://www.emcos.com>
 - [7] Antenna Magus, dostępny <http://www.antennamagus.com>
 - [8] SPEAG SEMCAD X, Pposable Human Phantoms, dostępny <http://www.speag.com/>
 - [9] Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Projekt Geoportal 2, dostępny <http://geoportal.gov.pl>
 - [10] The United States Geological Survey, EarthExplorer, dostępny <http://earthexplorer.usgs.gov>
 - [11] NASA's Jet Propulsion Laboratory, dostępny <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html> oraz <http://asterweb.jpl.nasa.gov>
 - [12] Centrum Obserwacji Ziemi, EOC (Das Earth Observation Center) przy Niemieckiej Agencji Kosmicznej, DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), dostępny http://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-5515/9214_read-17716
 - [13] The European Environment Agency, The digital elevation model over Europe, dostępny <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>
 - [14] Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D., The Shuttle Radar Topography Mission, Reviews of Geophysics, 45 (2007), Issue 2, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183
 - [15] Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W., Hensley S., An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, USA, 2005, dostępny http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf
 - [16] QGIS, Wolny i otwarty system informacji geograficznej, dostępny <http://www.qgis.org/pl/site/>
 - [17] Informacja o produkcie FOM/mts, EasyTest, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk, dostępna <http://easytest.ipan.lublin.pl/products/fom/index.html>
 - [18] Balanis C. A., Antenna theory analysis and design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2005
 - [19] Behari J., Microwave dielectric behavior of wet soils, Springer, New York, USA, 2006
 - [20] Gadani D.H., Vyas A.D., Rana V.A., Dielectric properties of wet and fertilized soils at radio frequencies, Indian Journal of Pure & Applied Physics 52 (2014), Issue 6, 399-410
 - [21] Scott W.R., Smith G.S., Measured electrical constitutive parameters of soil as functions of frequency and moisture content, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30 (1992), Issue 3, 621-623
 - [22] Tabbagh A., Simultaneous measurement of electrical conductivity and dielectric permittivity of soils using a slingram electromagnetic device in medium frequency range, Archaeometry, 36 (1994), Issue 1, 159-170
 - [23] Tomasanis D., Effective dielectric constants of foliage media, RAD-TR-90-157 Interim Report, ARCON Corporation, Waltham MA, USA, 1990, dostępny <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a226296.pdf>

Autorzy: dr inż. Jaromir Sobiech, jaromirsobiech@gmail.com; dr inż. Jarosław Kieliszek, jarekkiel@wp.pl; mgr inż. Robert Puta, putarobert@poczta.onet.pl; mgr Dagmara Bartczak, dagmara.bartczak@gmail.com; dr hab. n. med. Wanda Stankiewicz, wanda.stankiewicz@gmail.com, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, ul. Kozielska 4, 01-163 Warszawa