

Metody kontroli poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku

Streszczenie. W pracy przedstawiono metody kontroli poziomów pól elektromagnetycznych (PEM) w środowisku, opisano ich wady i zalety oraz omówiono bieżący stan systemu kontroli PEM w Polsce: pomiary kontrolne oraz monitoring pól elektromagnetycznych. Przedstawiono inne metody kontroli, w tym mobilny monitoring przestrzenny oraz przykładowe wyniki pomiarów terenowych takiego monitoringu.

Abstract. The paper presents methods for controlling the levels of electromagnetic fields in the environment, describes their pros and cons and presents the current state of the control system in Poland. Other monitoring methods were presented, including mobile spatial monitoring with exemplary measurement results (**Methods for controlling the levels of electromagnetic fields in the environment**).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, monitoring, PEM, metody

Keywords: electromagnetic field, monitoring, EMF, methods

Wstęp

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych (PEM) na biosferę, mimo badań prowadzonych od lat, wciąż nie jest zjawiskiem w pełni poznany, a potencjalne efekty takich oddziaływań zależą zarówno od częstotliwości jak i natężenia PEM. Wyniki badań nad interakcją między organizmami a PEM są publikowane i analizowane, efektem czego jest szereg zaleceń wydanych m.in. przez takie organizacje jak Światowa Organizacja Zdrowia (WHO - World Health Organisation) [1], ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [2][3][4], BEMS (Bioelectromagnetics Society) czy IEEE (Institute of Electrical & Electronics Engineers) [5][6].

W Polsce także powstały obszerne opracowania traktujące o polach elektromagnetycznych i ich potencjalnych wpływach na zdrowie oraz środowisko, oparte zarówno na badaniach własnych, jak i przeglądzie literatury, z których najnowsze to opracowania Ministerstwa Cyfryzacji [7], Instytutu Łączności – Państwowego Instytutu Badawczego[8], Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego[9-11] oraz Instytutu Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera w Łodzi[12], uwzględniające obecny stan wiedzy oraz technologii, szczególnie w kontekście nadchodzącego systemu 5 generacji. Tematyka poziomu pola elektromagnetycznego w środowisku stała się informacją „pożądaną społecznie” i jest przywoływana za każdym razem, gdy na rynek wkracza nowa technologia telekomunikacyjna - obecnie 5G, wcześniej 4G/LTE, 3G czy powoli tracący na znaczeniu GSM. W ramach niniejszej pracy przedstawiono metody kontroli poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku - zarówno funkcjonujące w Polsce w ramach uregulowań prawnych, jak i metody uzupełniające - np. mobilny monitoring przestrzenny.

Kontrola poziomów PEM w środowisku w Polsce

W Polsce kontrola poziomów PEM w środowisku prowadzona jest różnymi metodami od lat 80-tych ubiegłego wieku, a od prawie 20 lat funkcjonuje system uwarunkowań prawnych dotyczących ochrony środowiska przed polami elektromagnetycznymi, które zawarto w ustawie Prawo ochrony środowiska z 2001r [13] i konsekwentnie rozbudowywano kolejnymi rozporządzeniami [14-18], ustawą[19] oraz obwieszczeniem [20], o których szczegółowo napisano w poradniku [21]. Tym sposobem stworzono wytyczne do kontroli poziomów pól elektromagnetycznych w kraju celem utrzymania ich co najwyżej na poziomach dopuszczalnych. W kolejnych latach powstał system Państwowego Monitoringu

Środowiska (PMŚ), w ramach którego funkcjonuje monitoring pól elektromagnetycznych oraz ukazały się różne inne zalecenia związane z ochroną środowiska w kontekście pól elektromagnetycznych oraz dokumenty uzupełniające wydawane przy współpracy Ministerstwa Środowiska i Polskiego Centrum Akredytacji (np. dotyczące laboratoriów akredytowanych wykonujących pomiary kontrolne, jak DAB-18[22]).

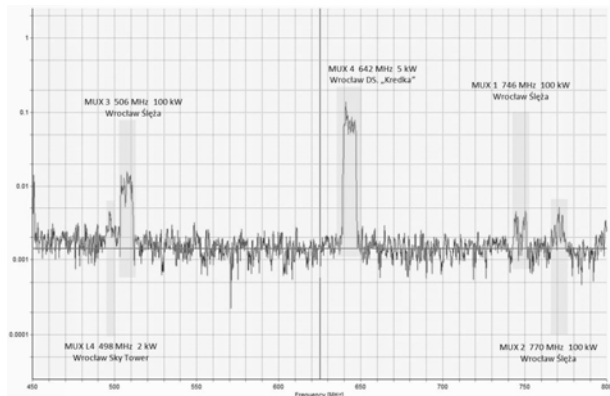
Pomiary kontrolne PEM

Zasady pomiarów kontrolnych PEM w otoczeniu instalacji wytwarzających pola elektromagnetyczne w miejscach dostępnych dla ludności zawarto w rozporządzeniu w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku z 2003r [12]. Pomiary wykonuje się bezpośrednio po uruchomieniu instalacji oraz każdorazowo w razie zmiany warunków pracy instalacji (o ile zmiany te mogą mieć wpływ na zmianę poziomów pól elektromagnetycznych, których źródłem jest ta instalacja). Celem pomiarów jest określenie miejsc występowania pól elektromagnetycznych o poziomach dopuszczalnych. Z punktu widzenia ochrony środowiska istotne jest wypadkowe natężenie pola w danym pionie pomiarowym od wszystkich źródeł PEM w otoczeniu tego pionu. Rozporządzenie dla instalacji, które mogą pracować w różnych trybach (np. z różnymi mocami) narzuca warunki pomiaru w warunkach normalnej eksploatacji, ale dla trybu o największym poziomie wytwarzanego PEM. W rozporządzeniu nie zdefiniowano sposobu pomiaru, a istnieją jedynie zalecenia, przywoływane we wspomnianym dokumencie DAB-18.

Pomiary selektywne

Pomiary selektywne wymagają specjalistycznego sprzętu pomiarowego w postaci analizatora widma z anteną odbiorczą, co wiąże się z większym nakładem finansowym na wyposażenie oraz z bardziej pracochłonną procedurą pomiarową. Jego zaletą jest możliwość prowadzenia pomiaru w zadanym paśmie częstotliwości, ograniczając w ten sposób wpływ tła elektromagnetycznego i innych źródeł PEM na wynik pomiaru (co nie jest możliwe w przypadku pomiarów szerokopasmowych), a także analiza widma elektromagnetycznego. Ponieważ rozporządzenie [13] nie narzuca sposobu pomiaru (może być to zarówno pomiar szerokopasmowy, jak i pasmowy), większość pomiarów kontrolnych realizowana jest miernikami szerokopasmowymi. Najczęściej pomiary z analizą widma traktuje się jako dodatkowe narzędzie, stosowane w

przypadkach, gdy poziom mierzonego natężenia PEM wykroczy poza poziom dopuszczalny, a na jego emisję może składać się więcej niż jedno źródło PEM. W takiej sytuacji, gdy nie ma możliwości wyłączenia poszczególnych źródeł, nie da się jednoznacznie określić, które z nich jest odpowiedzialne za nadmierną emisję bez wykonania pomiarów pasmowych. Rys 1 przedstawia zrzut z analizatora widma podczas wykonywania pomiarów pasmowych w paśmie DVBT we Wrocławiu. Na podstawie takiego pomiaru można rozróżnić (i zidentyfikować) źródła PEM w otoczeniu punktu pomiarowego oraz dokonać pomiaru natężenia PEM od konkretnego źródła znając jego pasmo pracy. Takiej możliwości nie daje pomiar szerokopasmowy, którego wynikiem jest wartość wypadkowa PEM z całego pasma pomiarowego przyrządu.

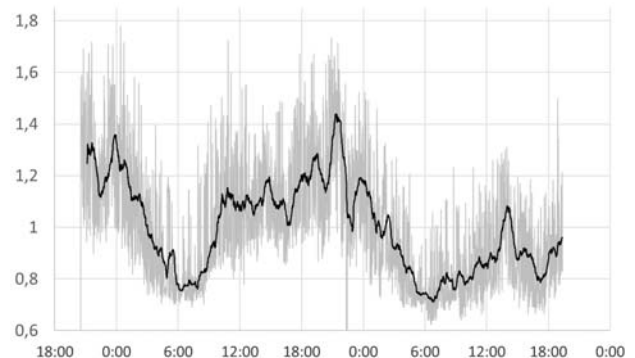


Rys.1. Widmo pola elektromagnetycznego z pasma DVBT http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/pms/monitoring_pol_elek_tormagnetycznych/stan_srodowiska/Dolnoslaskie_Roczna_ocena_PEM_2018.pdf

Monitoring pola elektromagnetycznego w ramach PMS

Państwowy Monitoring Środowiska stworzono do gromadzenia informacji o stanie środowiska. Jednym z jego elementów jest prowadzony od 2009 roku przez wojewódzkie oddziały Centralnych Laboratoriów Badawczych GIOŚ, monitoring pól elektromagnetycznych, powołany w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007r [15]. W rozporządzeniu tym sprecyzowano minimalny zakres mierzonych częstotliwości – od 3 MHz do 3000 MHz, sposób i czas wykonywania pomiaru – pomiar przez 2 godziny z próbkowaniem co 10 sekund w dniu roboczym pomiędzy godzinami 10⁰⁰ a 16⁰⁰, oraz zasady doboru lokalizacji punktów pomiarowych – w odległości nie mniejszej niż 100 m od potencjalnych źródeł pola elektromagnetycznego. Jako wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną zmierzonych wartości skutecznych natężenia pól elektrycznych z całego czasu trwania pomiaru – czyli średnią arytmetyczną z 720 jednostkowych pomiarów. Zgodnie z rozporządzeniem, na terenie każdego województwa rocznie prowadzi się pomiary w 45 punktach – po 15 w centralnych dzielnicach lub osiedlach miast o

liczbie mieszkańców przekraczającej 50 tys., pozostałych miastach i na terenach wiejskich, przy czym pomiary w tych samych punktach powtarza się co 3 lata (co daje w sumie 135 punktów pomiarowych w każdym województwie). Główny Inspektorat Ochrony Środowiska wykonuje roczne i trzyletnie oceny poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku dla obszaru całej Polski i dla poszczególnych województw, które pokazują trendy długotrwałe w zmianach tła elektromagnetycznego w poszczególnych regionach kraju. Informacje gromadzone przez GIOŚ są dostępne w postaci raportów podzielonych na poszczególne województwa oraz raportów zbiorczych z wynikami ogólnopolskimi, gdzie przedstawione są dokładne informacje w postaci rozmieszczonych punktów pomiarowych oraz uzyskanych wyników pomiarów[23].



Rys.2. Unormowane do wartości średniej 48-godzinne pomiary PEM w otoczeniu stacji bazowej telefonii komórkowej

Monitoring długoterminowy

Monitoring długoterminowy stosuje się w celu poznania zmienności długoterminowej (dobowej, tygodniowej lub dłuższej) pracy jakiegoś źródła pola elektromagnetycznego. Takie podejście wykorzystywane jest m.in. w monitoringu prowadzonym w Hiszpanii, która posiada sieć monitoringową pracującą w trybie całodobowym [24] oraz we Francji, gdzie prowadzi się tzw. monitoring operacyjny, który polega na tym, że na monitorowanym obszarze rozmieszcza się sieć czujników, które prowadzą pomiary długoterminowe (do kilku miesięcy) [25]. Jednym z najbardziej popularnych źródeł PEM charakteryzujących się wyraźną zmiennością długoterminową, (dobową i tygodniową) są stacje bazowe telefonii komórkowej, których charakter pracy zależy bezpośrednio od obciążenia stacji i bywa różny w zależności od takich czynników, jak umiejscowienie stacji bazowej czy rodzaj zamontowanych na niej systemów radiowych. Np. stacja bazowa w pobliżu osiedli mieszkalnych będzie bardziej obciążona w godzinach popołudniowych i wieczornych, gdy ludzie wracają do domów po pracy, a stacja w centrum miasta w dzielnicach biurowców będzie bardziej obciążona w godzinach porannych i okołopołudniowych, bo wtedy najaktywniej korzysta się z telefonów w biurach. Rys 3 przedstawia przykładowy przebieg 48-godzinnygo monitoringu z unormowanymi natężeniami PEM zarejestrowanymi od stacji bazowej we Wrocławiu.

Monitoring przestrzenny (mobilny)

Monitoring przestrzenny polega na monitorowaniu danej przestrzeni lub obszaru. Najczęściej wykonuje się go symultanicznie, za pomocą sieci rozproszonych czujników lub mobilnie, przy użyciu przemieszczającego się urządzenia pomiarowego. Uzyskane wyniki najczęściej nanoszone są na mapę danego obszaru za pomocą

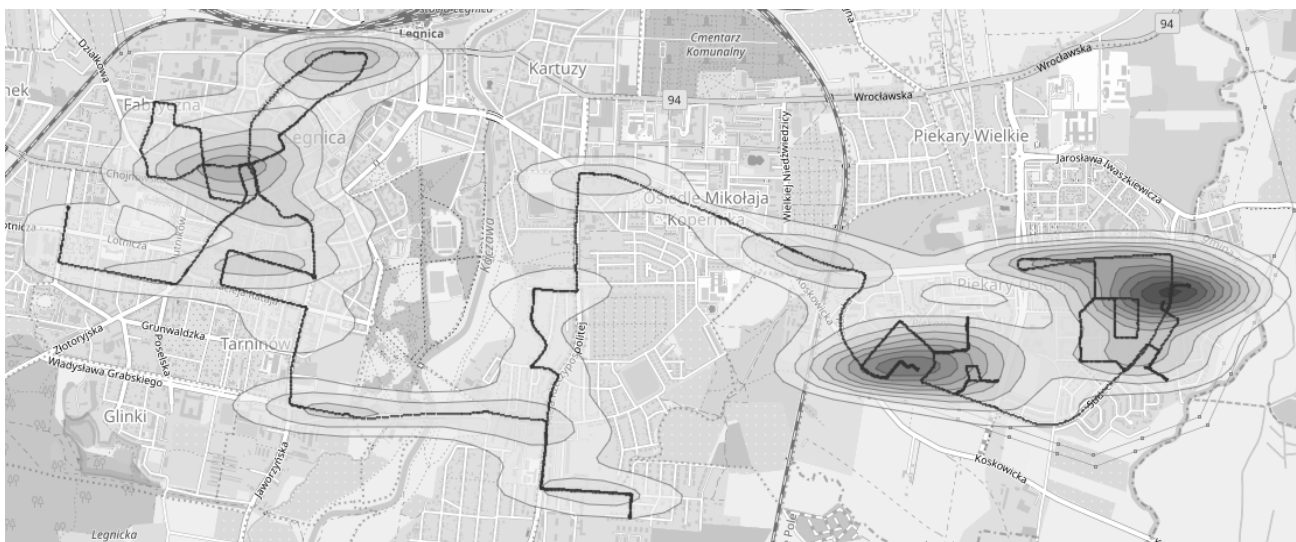
systemu typu GIS (Graphic Information System). We Włoszech stosuje się z powodzeniem tego typu monitoring, w którym stacje pomiarowe przemieszczają się na pojazdach [26-30]. W Szwajcarii wykorzystano do tego celu pojazdy komunikacji miejskiej [31]. Koncepcja monitoringu przestrzennego w oparciu o sieć sensoryczną została już opisana przez autorów [32], a propozycja monitoringu mobilnego w [33] - w niniejszej pracy przytoczone zostaną jego założenia oraz przedstawione wyniki uzyskane w ramach pomiarów testowych.

Monitoring realizowany w ramach PMS daje stosunkowo niewiele informacji, które można by poddać szerszym analizom, ponieważ otrzymuje się pojedynczą wartość będącą wartością średnią z 2-godzinnej sesji pomiarowej w jednym konkretnym punkcie. Nie ma informacji o zmienności natężenia PEM w tym okresie, a sam punkt pomiarowy dobierany jest z dala od instalacji radiokomunikacyjnych. W podobnym okresie czasu można zrealizować monitoring ruchomy, który może pokryć pomiarem powierzchnie średniego miasta i dać wgląd w rozkład natężenia PEM na dużej przestrzeni, stąd pomysł autorów na alternatywną metodę prowadzenia monitoringu PEM – za pomocą ruchomej stacji pomiarowej (np. umieszczonej na dachu pojazdu). Wyniki takiego monitoringu, przy odpowiednio dobranym algorytmie wyznaczania trasy przejazdu, pozwolą na przedstawienie znacznie szerszych informacji, niż system stosowany obecnie, nie angażując jednocześnie dodatkowego sprzętu i środków. Pewną niedogodnością systemu mobilnego jest pomiar wartości chwilowej (aktualnej) w danym punkcie pomiarowym, co może spowodować, że traci się informację o statystycznej zmienności mierzonego natężenia PEM w czasie. Takie rozwiązanie również jest podatne na błędy wynikające z zafalszowania wyniku np. na skutek odbić od mijających pojazdów lub instalacji radiokomunikacyjnych na pojazdach, jak np. popularne CB-radio. Sposobem eliminacji takich błędów może być np. dwukrotne pokonanie trasy przejazdu lub odpowiednie techniki obróbki rejestrowanych wyników.

Autorzy proponują wykonywanie pomiarów co 1s w czasie ruchu pojazdu z prędkością „miejską”, tj. nie

przekraczając 50 km/h. Pokonywana trasę należy dobrać tak, by przebiegała przez centra miast, osiedla mieszkaniowe i miejsca gromadzenia się skupisk ludzkich (markety, centra handlowe, biurowce itp.) oraz miejsca szczególnie wrażliwe (żłobki, przedszkola, szkoły, szpitale, itp.). Ponadto trasa powinna w miarę równomiernie pokryć cały monitorowany obszar i przebiegać także w otoczeniu potencjalnych źródeł PEM, jak np. instalacje radiokomunikacyjne. Wynikiem pomiarów jest seria punktów pomiarowych z danymi geodezyjnymi, które można zwiualizować w postaci interaktywnej mapy z punktami pomiarowymi lub tzw. wykresu mapy cieplnej.

W [33] autorzy przedstawili system pomiarowy, do budowy którego można wykorzystać sprzęt pomiarowy posiadany przez GIOŚ. Składa się z miernika PEM, dedykowanej dielektrycznej obudowy zabezpieczającej miernik „mechanicznie” przed pędem powietrza i przeciążeniami wynikającymi z przemieszczaniem się na dachu pojazdu oraz rejestratora pomiarów z układem GPS. Sprawdzono wpływ ruchu powietrza oraz wpływ obudowy na wskazania systemu – różnica wskazań nie przekraczała 3%. Do przeprowadzenia testów użyto podobnych kryteriów, jak w przypadku monitoringu prowadzonego przez WIOŚ – monitorowano natężenie PEM w mieście powyżej 50 tys. mieszkańców (Legnica). Sesja pomiarowa trwała 2 godziny – podobnie jak w przypadku monitoringu prowadzonego przez laboratorium GIOŚ. Wyniki przedstawiono na rysunku 3 w postaci tzw. mapy cieplnej. Ciemniejszy kolor wskazuje na wyższe poziomy PEM, a jaśniejszy na niższe. Należy nadmienić, że maksymalne zarejestrowane natężenie w tym mieście nie przekroczyło 4,5 V/m w trakcie prowadzenia pomiarów, a oprogramowanie rejestrujące pomijało wskazania przyrządu, gdy pojazd stał w miejscu (np. na czerwonym świetle) a także wartości będące nagłymi, nietypowymi skokami natężenia PEM (o kilkaset % względem punktów sąsiednich) traktując je jako błędy pomiarowe. Niektóre trasy pokonano dwukrotnie i wskazania nie różniły się więcej, niż o 10%.



Rys.3. Mapa cieplna obrazująca wyniki mobilnych pomiarów monitoringowych przeprowadzonych w Legnicy

Wnioski

Istnieje wiele metod pozwalających na kontrolę poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. W Polsce funkcjonują pomiary kontrolne PEM wspierane

monitoringiem PEM w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Należy wziąć pod uwagę, że w technika telekomunikacyjna jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi techniki i także narzędzia służące do sprawowania

nadzoru powinny nadać za postępem technologicznym. Autorzy przedstawili propozycje, które mogą stanowić doskonałe dopełnienie stosowanych już rozwiązań, jak pomiary długoterminowe czy mobilny monitoring przestrzenny, który bez większych kosztów dodatkowych z powodzeniem mógłby być realizowany przez laboratoria GIOŚ.

Praca zrealizowana w ramach prac badawczych finansowanych przez środki wewnętrzne Politechniki Wrocławskiej.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł Bieńkowski prof. uczelni, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl;
mgr inż. Bartłomiej Zubrzak, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: bartlomiej.zubrzak@pwr.edu.pl;

LITERATURA

- [1] IARCE press release N° 208, 31 May 2011, IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans, https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf
- [2] ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz–100kHz), HEALTH PHYSICS 99(6):818-836;2010
- [3] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Health Physics April 1998, Vol. 74, No 4, pp 494-52224.
- [4] Draft Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (100 kHz TO 300 GHz), 11.07.2018
- [5] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz. IEEE Std C95.6™-2002.
- [6] IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. IEEE Std C95.1™-2005 (Revision of IEEE Std C95.1-1991)
- [7] Biała księga. Pole elektromagnetyczne a człowiek O fizyce, biologii, medycynie, normach i sieci 5G, Ministerstwo Cyfryzacji, 2019
- [8] D. Więcek, D. Niewiadomski, M. Mora, K. Rzeźniczak, J. Wroński, Analiza wykonalności wdrożenia usług w technologii 5G przy obecnych oraz zwiększonych normach dopuszczalnych poziomów promieniowania elektromagnetycznego, Raport na zlecenie Polskiej Izby Informatyki i Telekomunikacji, IŁ-PIB, 2019r <https://www.il-pib.pl/images/stories/raporty/pdf/PIIT/Raport-IL.-Zadanie-B-Analiza-wykonalnosci-wdrozenia-uslug-w-technologii-5G.pdf>
- [9] E.Rokita, G. Tatoń, Aspekty medyczne i biofizyczne promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej, Raport Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2016r, https://pem.itl.waw.pl/documents/16/zal.3.-aspekty_medyczne_i_biofizyczne_promieniowania__c1gXbl6.pdf
- [10] E.Rokita, G. Tatoń, Aktualizacja raportu „Aspekty medyczne i biofizyczne promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej”, Raport Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2018r, https://pem.itl.waw.pl/documents/146/3-RAPORT_Aspkty_medyczne_aktualizacja.pdf
- [11] E.Rokita, G. Tatoń, sprawozdanie z badań klinicznych wykonanych w ramach Aktualizacji raportu "Aspekty medyczne i biofizyczne promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej", Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego 2018r https://pem.itl.waw.pl/documents/147/4-RAPORT_Badania_kliniczne.pdf
- [12] P.Bieńkowski, A.Bortkiewicz, J. Karpowicz, J. Kieliszek, P. Politański, K. Staniec, M. Zmysłony, Oddziaływanie elektromagnetycznych fal milimetrowych na zdrowie pracowników projektowanych sieci 5g i populacji generalnej, Instytut Medycyny Pracy w Łodzi, 2019, http://www.imp.lodz.pl/upload/npz/raport_5g.pdf
- [13] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2008 r. Nr 25 z późn. zm.)
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. Nr 192 poz. 1883)
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (Dz. U. Nr 221 poz. 1645)
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie rodzajów instalacji, których eksploatacja wymaga zgłoszenia (Dz. U. Nr 130 poz. 880)
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie zgłoszenia instalacji wytwarzających pola elektromagnetyczne (Dz. U. Nr. 130 poz. 879)
- [18] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz. U. Nr 213 poz. 1397)
- [19] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. 199, poz. 1227 z późn. zm.)
- [20] Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dz.U. 2016 poz. 7
- [21] S. Różycki Ochrona środowiska przed polami elektromagnetycznymi. Informator dla administracji samorządowej, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, 2011r
- [22] Polskie Centrum Akredytacji - Dokumenty i formularze dotyczące laboratoriów badawczych https://www.pca.gov.pl/download/data/rep-files/userfiles/_public/dokumenty_pca/dokumenty_ogolne/dab-18_1.pdf
- [23] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: <http://www.gios.gov.pl/pl/stan-srodowiska/monitoring-pol-elektromagnetycznych>
- [24] Annual Report on Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Levels in Catalonia: <http://radioelectricgovernance.gencat.cat/documents/10180/5044679/2017%20Annual%20Report%20vfinal%20EN.PDF>
- [25] Wackernagel H., Ors F., Renard D.: Operational monitoring of radioelectric exposure in an urban environment. *Ninth Conference on Geostatistics for Environmental Applications (geoENV2012)* 2012: 327-334
- [26] A.M.Rinaldi A GIS-based system for electromagnetic risk management in urban areas. *Journal of Location Based Services* 2009;Vol.3, No.1:3–23
- [27] C. Giliberti., F. Boella, A. Bedini, R. Palomba, L. Giuliani Electromagnetic Mapping of Urban Areas: The Example of Monselice. *PIERS ONLINE*;Vol.5;No.1,56-60
- [28] C. De Capua, N. Pasquino, A.M. Rinaldi, A. Scala A distributed system of mobile sensors for electromagnetic field measurements in urban environments. *ISA/IEEE Sensors for Industry Conference 2004. Proceedings*, 60-65
- [29] A. Cannuli., E. Calabrò, M.T. Caccamo, S. Magazù A study of monitoring high-frequency electromagnetic field pollution in urban areas. *RAD Conference Proceedings* 2016;vol.1,;36-39
- [30] D. Hasenfrazt, S. Sturzenegger, O. Saukh, L. Thiele, Spatially Resolved Monitoring of Radio-Frequency Electromagnetic Fields. *SENSEMIN'13 Proceedings of First International Workshop on Sensing and Big Data Mining* 2013,11 – 15
- [31] F. Troisi, M. Boumis, P. Grazioso, P. "The Italian national electromagnetic field monitoring network, ' Ann. Telecomm. 63, 2008, 97–108
- [32] P. Bieńkowski Monitoring pola elektromagnetycznego w środowisku - koncepcja sieci sensorycznej, *Przegląd Elektrotechniczny* 2009;85(12):37-39
- [33] P. Bieńkowski, J. Podlaska, B. Zubrzak Pole elektromagnetyczne w środowisku – metody szacowania i monitoring, *Medycyna Pracy* 2019;70(5):567–585