

## Poziomy emisji elektromagnetycznej wysokich częstotliwości w środowisku zurbanizowanym

**Streszczenie.** W artykule zamieszczono wyniki pomiarów natężenia pola elektromagnetycznego zmierzonego w zakresie częstotliwości 30MHz-3GHz. Pomiary przeprowadzono jednocześnie w dwóch miastach (Lublinie oraz Gliwicach), na terenie kampusów Politechniki Lubelskiej i Politechniki Śląskiej. W ramach analizy porównano uzyskane wyniki z wartościami dopuszczalnymi oraz mierzonymi we wcześniejszych okresach.

**Abstract.** The article presents the results of measurements of the intensity of the electromagnetic field in the frequency range of 30MHz-3GHz. The measurements were made simultaneously in two cities (Lublin and Gliwice), in the campuses of the Silesian Technical University and Lublin University of Technology. In its analysis, the results were compared with the limit values and previous measurements. (The levels of high-frequency electromagnetic emissions in the urban environment).

**Słowa kluczowe:** emisja elektromagnetyczna, kompatybilność elektromagnetyczna, ekspozycja na pola elektromagnetyczne.

**Keywords:** electromagnetic emission, electromagnetic compatibility, exposure to electromagnetic fields.

### Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym systematycznie wzrasta znaczenie technologii wykorzystujących zjawiska elektromagnetyczne. Oznacza to, że w sposób intencjonalny lub nieintencjonalny w środowisku pojawiają się pola elektromagnetyczne o natężeniach i częstotliwościach nie występujących wcześniej w sposób naturalny. Biorąc pod uwagę tylko zakres działalności branż elektroenergetycznej i telekomunikacyjnej, które obejmują wytwarzanie, rozdział, przekształcanie i użytkowanie energii elektrycznej oraz przesyłanie informacji z wykorzystaniem ogromnej liczby współcześnie istniejących systemów transmisji bezprzewodowej, to łatwo zauważyć, że do środowiska wprowadzane są pola elektromagnetyczne z bardzo szerokiego zakresu częstotliwości. Do tego należy uwzględnić układy i systemy pracujące na potrzeby innych dziedzin nauki i przemysłu takich jak transport [1], medycyna [2] czy technika wojskowa [3]. Sytuacja wymusza więc wprowadzenie odpowiedniej ochrony prawnej [4-7], tj. monitoringu natężenia pola elektro-magnetycznego w celu oceny ekspozycji ludzi na pola EM w środowisku i na stanowiskach pracy, jak również przygotowanie obszarów pomiarowych do oceny emisji elektromagnetycznej w odniesieniu do kompatybilnej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

### Środowisko zurbanizowane

Obszary zurbanizowane stają się coraz bardziej „naturalnym” środowiskiem życia człowieka. Już dziś ponad 3 miliardy ludzi żyje w przestrzeniach miejskich, a w 2050 roku, według szacunków ONZ, liczba ta wzrośnie do około 70% populacji światowej [8].

Zagadnienia życia w środowisku zurbanizowanym są powiązane z aspektami funkcjonalnymi, estetycznymi, ekologicznymi, ekonomicznymi i środowiskowymi. O jakości środowiska municypalnego ocenianego z punktu widzenia warunków życia i zamieszkania, decydują w znacznym stopniu stan zabudowy oraz infrastruktura techniczna – w szczególności transport i telekomunikacja.

Analizując badania można stwierdzić, bardzo ogólnie, że dobre środowisko mieszkalne powinno być bogate w funkcje i usługi, powinno być bezpieczne, szczególnie w rozumieniu niskiej przestępczości, oraz powinno się w nim znajdować dużo zieleni i innych elementów kojarzących się z krajobrazem naturalnym. Rozbudowana infrastruktura transportowa, energetyczna czy telekomunikacyjna podnosi standard życia i poprawia

szeroko rozumiane bezpieczeństwo, może jednak mieć wtórne efekty oddziaływania np. w postaci superpozycji emisji elektromagnetycznej od wielu systemów radiowych zlokalizowanych na małej przestrzeni.

Współistnienie dużej liczby urządzeń elektrycznych i instalacji powoduje, że w wyniku „nakładania się” emisji pochodzących od wielu urządzeń (nawet tych o stosunkowo niewielkich mocach) otrzymujemy pola elektromagnetyczne o pewnej mierzalnej wartości na znacznym obszarze przestrzeni i w szerokim zakresie częstotliwości [9-12]. Pole to może oddziaływać zarówno na obiekty biologiczne jak również na inne znajdujące się w tym obszarze urządzenia i systemy elektryczne. Oczywiście jest, że ryzyko wynikające z narażenia na działanie pola elektromagnetycznego zależy od jego natężenia. Ocenę potencjalnych zagrożeń, w celu określenia rzeczywistego oddziaływania zakładów przemysłowych ze specjalnymi liniami technologicznymi, systemu energetycznego, systemów telekomunikacyjnych (np. GSM, hot-spoty), trakcji elektrycznej komunikacji miejskiej (trolejbusowej), nadajników radiowych i telewizyjnych oraz milionów urządzeń powszechnego użytku na środowisko, przeprowadzono na podstawie pomiarów w dwóch miastach – Lublinie i Gliwicach. Pomiary wykonano jednocześnie, w południe 23 lipca 2014 roku.

Lublin to największe miasto wschodniej Polski, ważny ośrodek przemysłowy, naukowy i kulturalny. Jest dziewiątym miastem w kraju pod względem liczby ludności oraz piętnastym pod względem powierzchni. W jego centrum znajdują się najstarsze dzielnice – Stare Miasto, Śródmieście, które pełnią głównie funkcje turystyczne, handlowe i usługowe. Dookoła rozciągają się nowsze osiedla i dzielnice budowane głównie w celach mieszkaniowych. Na południu miasta skupiają się tereny rekreacyjne. Lublin jest znaczącym ośrodkiem akademickim. W zlokalizowanych na terenie miasta szkołach wyższych kształcą się około 90 tysięcy studentów z kraju i z zagranicy. Zwarty obszar w centrum miasta stanowi teren miasteczka akademickiego UMCS, UP, KUL oraz campus Politechniki. Przemiany gospodarcze początku lat 90. XX wieku sprawiły, że lubelskie przedsiębiorstwa państwowe zaczęły borykać się z problemami finansowymi, wiele z nich upadło. Obecnie przemysł skupia się głównie w północno-wschodniej oraz południowo-wschodniej części miasta. Część firm zlokalizowano na terenach Podstrefy Ekonomicznej w Lublinie, której celem jest przyspieszenie rozwoju

gospodarczego miasta i zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw otwartych na innowacje. Głównymi źródłami sztucznych pól elektromagnetycznych w mieście są przesyłowe linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia, trakcja kolejowa i trolejbusowa, a także instalacje radiokomunikacyjne służące do przekazu informacji - nadajniki radiowo-telewizyjne, stacje bazowe telefonii komórkowej oraz anteny hot-spotów.



Rys.1. Zdjęcie z miejsca pomiarów na terenie kampusu Politechniki Lubelskiej



Rys.2. Zdjęcie z miejsca pomiarów na terenie kampusu Politechniki Śląskiej

Jak wspomniano wyżej, drugim miastem w którym wykonywano badania były Gliwice. Miasto położone jest na Wyżynie Śląskiej. Gliwice zajmują siedemnaste miejsce na liście największych miast Polski uwzględniając powierzchnię i osiemnaste miejsce na liście największych miast sklasyfikowanych według ludności. Biorąc pod uwagę liczbę mieszkańców, Gliwice są czwartym największym miastem województwa śląskiego, zamieszkuje je (stan na I kwartał 2014r.) ponad 185 tys. osób. Dodatkowo, Gliwice stanowią duży ośrodek akademicki, w którym studiuje ponad 30 tys. studentów uczelni publicznych i prywatnych.

Z punktu widzenia uprzemysłowienia, bardzo ważne jest to, że Gliwice stanowią część Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (GOP) i należą do Katowickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej. Dzięki temu, w mieście znajdują się siedziby wielu firm z dziedziny IT jak również wiele innych średnich i dużych zakładów produkcyjnych oraz przemysłowych. W 2012 roku tereny zielone stanowiły tylko 3,7% powierzchni miasta, co sprawia że Gliwice należą obecnie do miast regionu o najmniejszym udziale terenów zielonych w całkowitej powierzchni.

Głównymi źródłami sztucznych pól elektromagnetycznych w mieście są przesyłowe linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia, trakcja kolejowa,

systemy WiMAX (wykorzystywane między innymi do sterowania sygnalizacją świetlną), a także instalacje radiokomunikacyjne służące do przekazu informacji - nadajniki radiowo-telewizyjne, stacje bazowe telefonii komórkowej oraz anteny hot-spotów i inne.

### Metodyka pomiarów

Metrologia pól elektromagnetycznych w środowisku naturalnym i w obszarze stanowiska pracy jest zagadnieniem złożonym. Prawidłowe przeprowadzenie pomiarów pola elektromagnetycznego wymaga wiedzy specjalistycznej nie tylko w zakresie samej metrologii, ale również znajomości problemów wynikających z narażenia tym czynnikiem oraz zasad ochrony przed nim. Oprócz wyboru metody pomiarowej, czasu, warunków wykonania pomiarów, w badaniach pola elektromagnetycznego w warunkach terenowych, ważne jest również sporządzenie właściwej dokumentacji i interpretacja wyników pomiarów w ujęciu wymaganym odpowiednimi przepisami z ustawy o ochronie środowiska [9-11].

Pole elektromagnetyczne charakteryzują parametry, które można poddać ocenie i odpowiednio umownie sklasyfikować w trzech grupach — widmo, amplituda i polaryzacja. Do parametrów związanych z widmem zalicza się: częstotliwość, szerokość pasma zajmowanego przez sygnał i rodzaj modulacji. Z amplitudą związane są: natężenie pola (jego składowej elektrycznej  $E$ , składowej magnetycznej  $H$  i ewentualnie gęstość strumienia mocy  $S$ ) oraz modulacja (zależnie od rodzaju, modulacja wpływa zarówno na widmo, jak i amplitudę). Polaryzacja pola niesie informację o położeniu wektora  $E$  i  $H$  w przestrzeni i zmianach tego położenia [9,12].

Badania dotyczące określania propagacji obejmują wyznaczenie zasięgów i pokrycia terenu, określanie poziomu sygnałów zaburzeniowych czy kompatybilność między różnymi instalacjami. Pomiaru ochronne odnoszą się natomiast do oceny ekspozycji pola na ludzi i środowisko, w tym dotrzymania dopuszczalnych poziomów PEM. W obu przypadkach stosuje się różne metody, np. pomiary selektywne czy szerokopasmowe.

Klasycznie, badanie w zakresie wyższych częstotliwości (od 3 do 300 MHz) realizuje się poprzez pomiar składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego. Wyższe zakresy częstotliwości (do setek gigaherców) bada się mierząc składową elektryczną lub pomiar gęstości mocy. Pomiary selektywne realizuje się z wykorzystaniem anteny dołączonej do selektywnego odbiornika pomiarowego. Mierniki tego rodzaju charakteryzują się możliwością pomiarów pól elektrycznych o bardzo małych natężeniach — nawet rzędu  $\mu\text{V/m}$ , często więc wykorzystuje się do tego celu analizatory widma. Wynik pomiaru jest zależnością łączącą napięcie wskazywane przez odbiornik pomiarowy oraz współczynnik antenowy (w skali decybelowej są one sumowane). W pomiarach pól magnetycznych anteny i czujniki też wymagają określonych parametrów [13].

Pomiary realizowane są z równoczesną archiwizacją danych natężenia pola elektrycznego z wykorzystaniem oprogramowania zintegrowanego z odbiornikiem pomiarowym. Analiza natężenia pola najczęściej obejmuje pasma pracy typowych systemów radiokomunikacyjnych [9,12]. Przykładowy podział pasm obejmujący radiofonii, telewizję i radiokomunikację to:

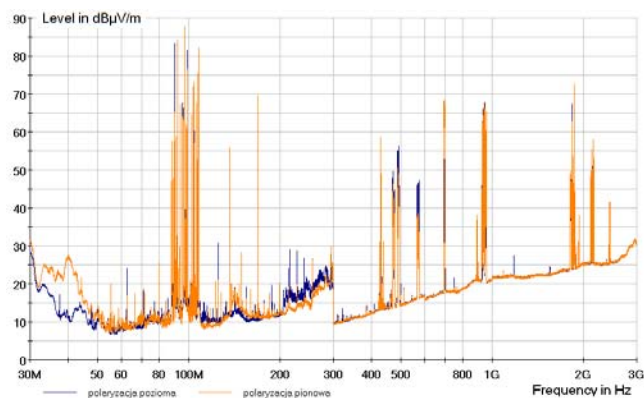
- pasmo UKF (80–170 MHz),
- pasmo TV-VHF (170–250 MHz),
- pasmo UHF (250–470 MHz),
- pasmo TV-UHF (470–860 MHz),
- pasma GSM (900 i 1800 MHz)
- pasmo UMTS (2100 MHz)
- pasma dostępowe WiFi (2400-2485, 4915-5825 MHz).

Na rys. 2 i 3 pokazano zdjęcia z miejsca pomiarów na terenie kampusu Politechniki Lubelskiej i Śląskiej.

### Wyniki pomiarów

Do realizacji pomiarów w Lublinie wykorzystany został zestaw składający się z odbiornika pomiarowego ESCI3 firmy Rodhe&Schwarz oraz trzech anten pasmowych (HK116 Bikonishe Antenne25-300MHz, HL223 Log-Periodic Antenna 0,3–1GHz, HF906 double-ridged Waveguid 1-18GHz). Ustawienia pomiarowe obejmowały *IF Bandwidth* =120kHz, *step size* = 40kHz, oraz czas próbkowania 20ms. Całością zarządzano z poziomu programu EMC32 poprzez interfejs GPIB. Warunki środowiskowe były zgodne z zaleceniami norm technicznych (brak opadów, temp. 25,7°C, wilgotność 47,3%).

Pomiary wykonano dla dwóch polaryzacji anten – pionowej i poziomej. Poniższy wykres obejmuje zmierzone wartości.



Rys.3. Zmierzone poziomy emisji elektromagnetycznej na terenie Lublina

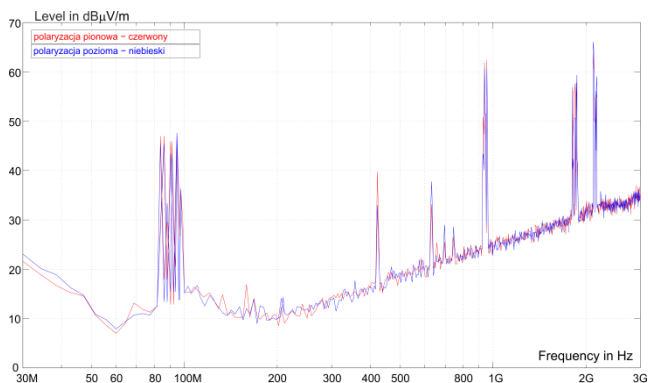
Do realizacji pomiarów w Gliwicach wykorzystano zestaw składający się z odbiornika pomiarowego (analizatora widma) FSV30 firmy Rodhe&Schwarz oraz anteny Ultralog HL562 firmy Rohde&Schwarz obejmującej pasmo od 30MHz do 3GHz. Zastosowano identyczne ustawienia pomiarowe jak w przypadku pomiarów w Lublinie. Całością zarządzano bezpośrednio za pomocą interfejsu analizatora widma. Warunki środowiskowe były zgodne z zaleceniami norm technicznych, tj. brak opadów, temp. 24,3°C, wilgotność 55%. Na podstawie otrzymanych wyników możliwe jest oszacowanie amplitudy analizowanego pola elektrycznego zgodnie z zależnością:

$$E_{(dB\mu V/m)} = U_{zm(dB\mu V)} + AF_{(dB)} + T_{(dB)}$$

gdzie  $E_{(dB\mu V/m)}$  to poziom emisji pola elektrycznego,  $U_{zm(dB\mu V)}$  poziom napięcia wskazywany przez analizator widma,  $AF_{(dB)}$  współczynnik antenowy, natomiast  $T_{(dB)}$  to tłumienie kabli pomiarowych. Pomiary wykonano dla dwóch polaryzacji anten – pionowej i poziomej. Wyniki pomiarów zaprezentowano na rys. 4.

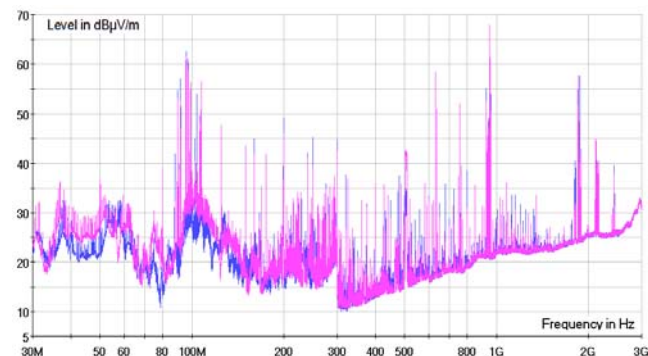
W zakresie porównania jakościowego poziomów emisji dla polaryzacji pionowej i poziomej nie wykazano znacznych różnic między nimi na obu poligonach pomiarowych. Przebiegi są bardzo podobne w całym zakresie częstotliwości, co jest potwierdzeniem dużej liczby urządzeń i instalacji z nakładającymi się polami elektromagnetycznymi. W środowisku zurbanizowanym poziom tła elektromagnetycznego jest więc efektem superpozycji wielu źródeł, przy czym wielodrogowa propagacja związana z licznymi odbiciami wpływa na polaryzację odbieranych sygnałów. Statystycznie okazuje się więc, że odbieramy podobne poziomy emisji dla polaryzacji pionowej i poziomej. Przeprowadzone badanie

potwierdza też wyraźne oddziaływanie poszczególnych instalacji radiowych, nadajników naziemnych telewizji cyfrowych, stacji bazowych telefonii komórkowej GSM/UMTS oraz instalacji bezprzewodowego Internetu WiFi obecnego na terenie kampusów. Z łatwością można tutaj zidentyfikować zwiększone poziomy emisji w pasmach UKF, TV-UHF, GSM czy WiFi.

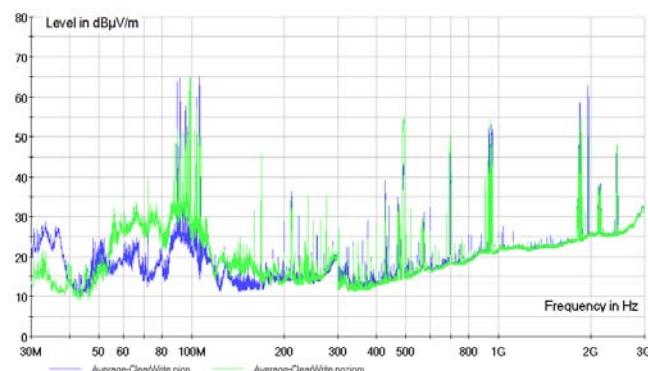


Rys.4. Zmierzone poziomy emisji elektromagnetycznej na terenie Gliwic

Zaprezentowane na wszystkich wykresach wyniki są przedstawione w skali decybelowej. Ułatwia to ocenę w kontekście analizy kompatybilności elektromagnetycznej, ponieważ może być wykorzystane do oceny środowiska pomiarowego, czy wyboru przestrzeni pod poligon pomiarowy.



Rys.5. Zmierzone poziomy emisji elektromagnetycznej na terenie kampusu Politechniki Lubelskiej w roku 2011



Rys.6. Zmierzone poziomy emisji elektromagnetycznej na terenie kampusu Politechniki Lubelskiej w roku 2015

W odniesieniu do analizy oddziaływania pola elektromagnetycznego na ludzi czy środowisko stosowana jest skala jednostek wyrażona w V/m. Największy zmierzony poziom emisji dla Lublina to

84,7dB $\mu$ V/m@89,88MHz, co po przeliczeniu na skalę liniową stanowi jedynie 17,18mV/m. Największy zmierzony poziom emisji dla Gliwic to 66,09dB $\mu$ V/m@2110MHz. Porównując to z obowiązującym w kraju prawodawstwem w zakresie ochrony środowiska i ludzi od pól elektromagnetycznych nie stanowi to żadnego przekroczenia czy niebezpieczeństwa [4-7]. Porównując mierzone widmo z wynikami uzyskanymi w okresie kilku ostatnich lat (przykładowe wyniki z Lublina z roku 2011 i 2015 na rysunkach 5 i 6) nie wykazano wielkich różnic jakościowych.

### Podsumowanie

Analiza widma wysokich częstotliwości w obydwu miastach wykazała wyraźną identyfikację emisji stacji radiowych (85-109MHz), sygnałów nadawczych naziemnej telewizji cyfrowej (470-850MHz) oraz stacji bazowe GSM (900, 1800 MHz), UMTS (2100MHz). Większa liczba stacji bazowych, masztów radio-telewizyjnych, osiedlowych sieci kablowych i bezprzewodowego Internetu w miastach przekłada się wyraźnie na większe wartości mierzonego tła elektromagnetycznego w porównaniu do mniejszych miast, np. Nałęczowa gdzie podczas badani uzyskano kilkunastoprocentową mniejsze poziomy emisji [11].

Ocena kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń to proces, który wymaga specjalistycznego zaplecza pomiarowego. Wszystkie laboratoria, które nie posiadają pomieszczeń czy komór ekranowanych zmuszone są realizować pomiary na poligonach pomiarowych. Podstawowym parametrem warunkującym dobór miejsca na taki poligon są niskie poziomy emisji elektromagnetycznej w zakresie częstotliwości, dla których realizowane są badania EMC. Pomijając oddziaływania środowiskowo-pogodowe, które niewątpliwie są wadą otwartych poligonów pomiarowych, nie jest zasadne lokowanie poligonu pomiarowego w środowisku zurbanizowanym - obserwację tą potwierdzają również wyniki zaprezentowane w tym artykule.

Ważnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych badań jest fakt, że w obydwu miastach, nie wykazano przekroczeń dopuszczalnej wartości poziomów pól elektromagnetycznych w miejscach dostępnych dla ludności. Mierzone natężenia pola elektromagnetycznego kształtowały się na podobnych poziomach, ilościowo nie odbiegając również od wartości zmierzonych w badaniach realizowanych na przestrzeni kilku ostatnich lat [10-12].

**Autorzy:** dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-418 Lublin, E-mail: [p.mazurek@pollub.pl](mailto:p.mazurek@pollub.pl); mgr inż. Krzysztof Bernacki, Politechnika Śląska, Instytut Elektroniki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, E-mail: [kbernacki@polsl.pl](mailto:kbernacki@polsl.pl); dr inż. Artur Noga, Politechnika Śląska, Instytut Elektroniki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, E-mail: [anoga@polsl.pl](mailto:anoga@polsl.pl)

### LITERATURA

- [1] Mazurek P. A., Wybrane zagadnienia prawno-techniczne z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej w motoryzacji, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, nr 12, R.89, str. 328-331
- [2] Mocha J., Woźnica T., Wójcik D., Noga A., Surma M., Badanie odporności aparatury medycznej na zaburzenia elektromagnetyczne pochodzące od współczesnych systemów radiokomunikacyjnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, nr 2, R.88, str. 42-44
- [3] Bernacki K., Wybrańczyk D., Popowicz A., Meiser D., Analiza porównawcza zaburzeń promieniowanych dla bezałogowych platform latających z uwzględnieniem elektrycznych układów silnikowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, nr 7, R. 90, str. 148-115
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów (Dz. U. Nr 192/03 z dnia 14 XI 2003 r., poz. 1883)
- [5] Ustawa „Prawo Ochrony Środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz. U. 2001.62.627 z dnia 20 czerwca 2001 r.) z późniejszymi zmianami
- [6] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięć do sporządzania raportu o oddziaływaniu na środowisko (Dz. U. Nr 257, poz. 2573)
- [7] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (Dz. U. 2002 nr 217 poz. 1833)
- [8] Urban Agglomerations 2014, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, ISBN 978-92-1-151525-1 Published by the United Nations, New York 14-57762 October 2014
- [9] Mazurek P. A., Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej, ISBN 978-83-62596-02-7, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010
- [10] Mazurek P. A., Masłowski G., Przytuła K., Badania emisji pól elektromagnetycznych, *I Sympozjum Naukowe Elektryków i Informatyków*, materiały pokonferencyjne, [Red:] Filipek P., Mazurek P.A., Lublin: Politechnika Lubelska, 2011, 89-94
- [11] Mazurek P. A., Wac-Włodarczyk A., Przytuła K., Wójtowicz P., Staszek J., Ścirka T., Masłowski G., Wybrane zagadnienia analizy pola elektromagnetycznego miasta Lublin i uzdrowiska Nałęczów, *Inżynieria Ekologiczna* 2012, nr 30, 194-205
- [12] Bieńkowski P., Pole elektromagnetyczne emitowane przez urządzenia w zakresie radio- i mikrofal — aparatura i metodyka pomiarów dla ochrony środowiska i bezpieczeństwa pracy, *Medycyna Pracy* 2008, 59(6), 513 – 519
- [13] Prauzner, T., Ptak, P., Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, nr. 12, R.90, str. 273-276