

doi:10.15199/48.2016.12.24

Wybrane zagadnienia pomiaru pól wysokich częstotliwości w środowisku

Streszczenie. W zakresie wysokich częstotliwości widmo elektromagnetyczne jest zdominowane przez intencjonalne źródła jakimi są systemy telefonii komórkowej i komunikacji bezprzewodowej. W artykule zaprezentowano wartości pomiarowe uzyskane zarówno w środowisku zurbanizowanym jak i terenach wiejskich przy użyciu dozymetru ESM140.

Abstract. Intentional sources of electromagnetic fields are mobile and wireless communications systems. They dominate in the high frequency range of the electromagnetic spectrum. The article presents the measurement values obtained in the urban environment and rural areas using a dosimeter ESM140. (Selected issues of identifying high frequency electromagnetic fields in the environment).

Słowa kluczowe: emisja elektromagnetyczna, GSM, ekspozycja na pola elektromagnetyczne.

Keywords: electromagnetic emission, GSM, exposure to electromagnetic fields.

Wstęp

Współczesne zurbanizowane społeczeństwo jest pod ciągłą ekspozycją pola elektromagnetycznego (czynnika fizycznego w środowisku, w postaci pola lub promieniowania elektromagnetycznego [1]).

W dzisiejszej dobie rozwoju telefonii komórkowej (GSM) oraz komunikacji bezprzewodowej (Bluetooth, WiFi, protokoły IEEE 802) pola elektromagnetyczne wysokich częstotliwości wytwarzane przez powiązane z nimi urządzenia i instalacje są wyraźnie dominujące w widmie [2,3,4,5,6,7,8,9]. Głównym systemem telefonii komórkowej jest cyfrowy system telefonii ruchomej GSM (Global System of Mobile Communications). Rozwój sieci pociąga za sobą budowę coraz większej ilości stacji bazowych, pozwalających na połączenie użytkownika z daną siecią. Każda stacja bazowa emituje pole elektromagnetyczne (PEM) za pośrednictwem systemu anten (najczęściej sektorowych). Pole magnetyczne występujące w systemie cyfrowym charakteryzuje się tym, że co pewien czas jest przesyłany sygnał impulsowy o większej amplitudzie niż w systemie analogowym. Zatem środowisko i ludzie są wystawiani na skokowe zmiany sygnałów elektromagnetycznych. W zależności od wymagań projektantów struktury sieci oraz warunków terenowych dobiera się odpowiednio ilość stacji, anten i ich charakterystyk aby pokryć obszar i utrzymać parametry telekomunikacyjne pozwalające nawiązywać i utrzymywać transmisje.

Istotne zatem dla społeczeństwa stają się działania monitorujące intensywność promieniowania elektromagnetycznego wytwarzanego przez urządzenia działające na częstotliwościach komunikacyjnych. A ze wzrostem użytkowania przez społeczeństwo technologii przetwarzających pola w.c.z. rośnie zaniepokojenie możliwymi skutkami zdrowotnymi wywołanymi sieciami telefonii komórkowej czy telekomunikacyjnymi.

Działanie pola elektromagnetycznego (jak i jego składowych – pola elektrycznego i magnetycznego) na organizmy żywe jest już od dawna przedmiotem zainteresowania nauki. Badania prowadzone są przez różne instytucje rządowe, ale także przez ośrodki naukowe [10,11,12,13]. Niektóre wynikały wręcz z zapotrzebowania ze strony medycyny, m.in. w diagnostyce klinicznej zaczęto stosować tomografię magnetyczno-rezonansową (NMR), która w sposób nieinwazyjny pozwala otrzymać obrazy wnętrza ciała. W trakcie badania pacjent leży w środku dużego elektromagnesu, o polu najczęściej 1.5 – 2.0 T ale są plany użytkowania nawet 7 T. Wnioski z badań

oddziaływania promieniowania nie są do tej pory jednoznaczne, niemniej większość wskazuje na wspólny obszar - jest nim wykazywanie potrzeby realizowania dalszych badań w celu zidentyfikowania źródeł pól i oceny poziomu narażenia ludzi i środowiska naturalnego.

Oddziaływania na organizmy żywe

W trakcie wielu badań nad wpływem pola elektromagnetycznego zaobserwowano różne zjawiska mogące mieć wpływ na zdrowie ludzi i innych organizmów żywych, w tym przepływ prądów indukcyjnych przez organizm, efekty termiczne czy biologiczne efekty nietermiczne. Przepływ indukowanego prądu przez organizm może powodować pobudzenie tkanek nerwowych i mięśniowych, w tym wpływać na zaburzenie rytmu serca. Przepływ ten ma jednak zasadnicze znaczenie w przypadku częstotliwości poniżej 100 MHz. W pasmach wyższych częstotliwości zasadnicze znaczenie mogą mieć efekty termiczne związane z nagrzewaniem się poszczególnych tkanek i płynów ustrojowych organizmów żywych pod wpływem absorbowanej energii pola elektromagnetycznego oraz efekty nietermiczne, występujące przy intensywności pola znacznie mniejszej niż efekty termiczne, bez zauważalnego wzrostu temperatury poszczególnych tkanek [5,8,13]. Przykładowo, prowadzone są analizy wpływu na procesy rozrodcze oddziaływania składowej magnetycznej i elektrycznej pola elektromagnetycznego rozpatrywane zarówno w aspekcie wpływu na mężczyzny jak i kobiety układ rozrodczy oraz na rozwijający się zarodek a następnie płód [10,14,15,16]. Wiedza na ten temat wciąż się rozwija i nadal nie są znane wszystkie uwarunkowania rozrodu człowieka. Niektóre publikacje naukowe wykazują korzystny wpływ na parametry ruchu plemnika, a inne efekt odwrotny. Można się spodziewać, że zależy to od ilości oraz jakości przekazanej energii, ale także od równowagi w układzie oksydoredukcyjnym nasienia.

Analiza warunków środowiskowych w odniesieniu do natężeń pól i promieniowania elektromagnetycznego uwarunkowana jest prawnie na poziomie europejskim jak i krajowym. Warty odnotowania jest fakt, że krajowe przepisy w bieżącym roku ulegają zmianie – szczególnie w aspekcie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne [1].

W celu określenia właściwego wpływu pola elektromagnetycznego, wprowadzone są różne parametry opisujące zarówno właściwości samego pola, jego składowych, jak i właściwości tkanek absorbujących energię. Wśród nich można wyróżnić swoistą absorpcję,

absorpcyjność (przyrost energii absorbowanej), gęstość prądu indukowanego i prąd dotyku.

Swoista absorpcja (ang. Specific Absorption) wykorzystywana jest do określenia wielkości energii, pochłanianej przez daną tkankę lub cały organizm o danej masie, określonej gęstości i objętości. W celu dokładnego wyznaczenia wielkości energii absorbowanej przez daną masę, wykorzystywane są informacje charakteryzujące właściwości elektryczne danej tkanki organizmu żywego. Za pomocą konduktywności tkanki, czyli miary zdolności materiału do przewodzenia prądu elektrycznego – σ [S/m], skutecznej wartości natężenia pola elektrycznego w tkance – E [V/m] oraz gęstości właściwej tkanki – ρ [kg/m³], parametr SAR wyznaczany jest ze wzoru [6,7,17,21]:

$$(1) \quad SAR = \frac{\sigma \cdot E^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}]$$

SAR mniejszy od 4 W/kg, nie może wywołać wzrostu temperatury tkanek organizmu o więcej niż 1°C. Na tej podstawie przyjmuje się, że warunki ekspozycji zawodowej nie powinny powodować przekroczenia SAR >0,4 W/kg. Dla ekspozycji środowiskowej stosuje się współczynnik bezpieczeństwa i SAR określa się do 0,08 W/kg.

Fale elektromagnetyczne emitowane przez telefony komórkowe należą do mikrofal, gdyż ich częstotliwość mieści się w przedziale 300 MHz - 300 GHz (sieć GSM 800, 900, 1800, 1900 MHz). W raportach z badań i publikacjach naukowych dotyczących oddziaływania silnych pól elektromagnetycznych na organizmy żywe rozróżnia się ogólnie efekt termiczny. W zakresie częstotliwości radiowych wartości progowe mogą powodować zauważalne efekty w tkankach pobudliwych - wzrasta intensywność absorpcji energii elektromagnetycznej przez ciało człowieka i pojawia się efekt termiczny. Skutkiem wnikania pola w ciało człowieka jest wzrost temperatury tkanek. Przyrost temperatury zależy o wielu czynników m.in. od częstotliwości, parametrów elektrycznych tkanek, intensywności pola a także od indywidualnych cech osoby podlegającej ekspozycji. Zaburzenia te mają głównie charakter krótkotrwały, jednak część z nich może prowadzić do dolegliwości i chorób.

Masowe współistnienie urządzeń elektrycznych, elektronicznych a także instalacji powoduje, że w efekcie superpozycji emisji wielu urządzeń, pola nakładają się wzajemnie tworząc pole o pewnej mierzalnej wartości na znacznych obszarach. A ryzyko wynikające z narażenia na działanie pola elektromagnetycznego zależy od natężenia generowanych pól, a także odporności elektromagnetycznej obiektów narażonych na te pola. Najczęściej wymieniane są następujące efekty obserwowane u użytkowników telefonów kom.: ból głowy, zawroty, bezsenność, wzrost ciśnienia krwi, zaburzenia pamięci (krótkotrwała utrata pamięci), zaburzenia wzroku i zaburzenia słuchu.

Badania

Profesjonalne badania identyfikujące pole elektromagnetyczne (w tym jego składowe) wymagają stosowania specjalistycznej aparatury metrologicznej, z zasady dosyć drogiej. Na rynku pojawiają się różne mierniki, wskaźniki czy dozymetry, jednym z nich jest dozymetr ESM 140 firmy Maschek. W prowadzonych badaniach wykorzystano dozymetr użyczony od firmy Astat sp. z o.o. [23].

Wykorzystany w badaniach dozymetr pola elektromagnetycznego jest urządzeniem metrycznym mierzącym pole elektromagnetyczne w czasie rzeczywistym. Jest urządzeniem, które rejestruje częstotliwość pola w bliskim otoczeniu człowieka,

wytwarzanym przez urządzenia komunikacji bezprzewodowej. Miernik ten mierzy wartość poziomów natężeń pola elektrycznego dla poszczególnych częstotliwości (GSM 900 oraz GSM 1800, a także dla częstotliwości DECT, UMTS, WLAN) [2]. ESM 140 posiada złącze USB dla transferu danych, a dużą zaletą urządzenia jest specjalnie dla niego napisane oprogramowanie GRAPH ESM 140, które współpracuje z komputerem PC. Dozymetr zaczyna pomiar automatycznie, moment zakończenia jest również zarejestrowany w dziedzinie czasu, a pomiaru czas jest określony co do sekundy. Na 8. kanałach sygnały są mierzone jednocześnie oraz rejestrowane w pamięci

Dla przypomnienia, transmisja w systemie GSM odbywa się w trybie duplexowym, a zatem konieczne jest wykorzystanie podwójnego kanału transmisyjnego. W systemie GSM 900 MHz wydziela się oddzielnie pasmo częstotliwości kanałów transmisji od stacji ruchomej (telefonu) do stacji bazowej tzw. kanał "w górę = uplink" (880 - 915 MHz) i oddzielnie pasmo do tworzenia kanałów "w dół = downlink" (935 - 960 MHz), tj. od stacji bazowych do stacji ruchomej (telefonu). Kanał transmisyjny jest tworzony nie tylko przez podział częstotliwości, ale także przydział szczelin czasowych. Transmisja w systemie GSM 900 odbywa się pulsacyjnie z wykorzystaniem jednego z 124 podwójnych kanałów częstotliwościowych. Natomiast w systemie GSM 1800 wydziela się 374 kanały częstotliwościowe (podwójne). Podczas inicjowania transmisji w systemie GSM następuje jednoczesne odbieranie i wysyłanie sygnału fali elektromagnetycznej zmodulowanej impulsowo i zakodowanej cyfrowo [2]. Znając podstawy takiej transmisji producenci ESM 140 uwzględnili system identyfikacji i rejestracji sygnałów w dozymetrze i użytkownicy tego urządzenia mogą w prosty sposób przeprowadzić filtrację interesujących pasm częstotliwości czy kierunków transmisji.



Rys.1. Dozymetr ESM 140 oraz sposób jego umiejscowienia na czas badań

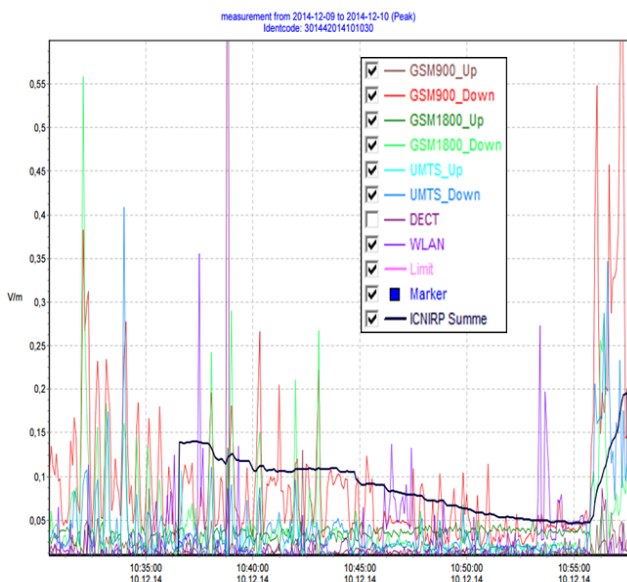
Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów charakteryzujących urządzenie ESM 140 []

zakres pomiarowy	0.010 V/m-70 V/m
zakres częstotliwości	GSM900 (900 MHz uplink, 935 MHz downlink) GSM1800 (1750MHz uplink 1850MHz downlink) DECT (1895MHz up and downlink) UMTS (1950MHz uplink 2140MHz downlink) WLAN (mid-range frequency 2440MHz up and downlink)
dokładność	±2dB w wolnym polu ±4dB z dozymetrem noszonym na ramieniu

Rzeczywisty poziom wartości emisji elektromagnetycznej jest uzależniony od nasycenia instalacjami i urządzeniami elektrycznymi danego regionu, obszary uprzemysłowione zazwyczaj posiadają wyższe poziomy niż tereny wiejskie i leśne. Przy użyciu dozymetru ESM-140 zostały przeprowadzone badania w dwóch miastach (Lublinie i Janowie Lubelskim) oraz w okolicy Janowa Lubelskiego (wieś Szklarnia i tereny lasów

janowskich). Pomiary zostały wykonane zarówno w budynkach jak i w terenie otwartym. Urządzenie zapięte na ramieniu osoby mierzącej było noszone przez ustalony czas, uzyskane wyniki zrzucano następnie do oprogramowania a uzyskane wartości stanowią podstawę do prowadzonej analizy.

Pomiar pierwszy został dokonany na terenie domu studenta nr 3 Politechniki Lubelskiej. Miejsce to zostało wybrane ponieważ jest tam duże skupisko urządzeń elektronicznych i instalacji komunikacyjnych, a dodatkowo na dachu akademika są zamontowane anteny stacji bazowej GSM. Pomiar został rozpoczęty na ostatnim piętrze domu studenta. Urządzenie zapięte na ramieniu osoby mierzącej było noszone po korytarzach domu studenta ok 3 min na każdym piętrze. Pod koniec pomiaru, osoba mierząca wyszła na zewnątrz i wykonała pomiary wokół akademika. Uzyskane wyniki zrzucano do oprogramowania i zaprezentowano jako wartości średnie w skali natężenia pola elektrycznego. Pomiar trwał ok. 30 min. Na wykresie (rys. 2) widać wyraźny wzrost zmierzonych wartości na zewnątrz budynku. Dodatkowo w tabeli 2 zestawiono podstawową statystykę uzyskanych wyników.



Rys.2. Wartości pola elektrycznego zmierzone na terenie domu studenta dozymetrem ESM-140 (ICNIRP - poziomy odniesienia International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)

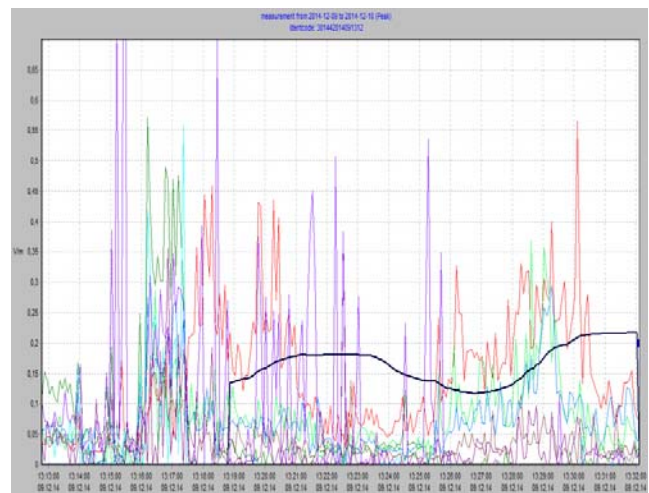
Tabela 2. Statystyka wartości pomiarowych zmierzonych na terenie domu studenta dozymetrem ESM-140 (559 rekordów)

	E ICNIRP mV/m	Percentile 25% mV/m	Percentile 50% mV/m	Percentile 75% mV/m	Percentile 95% mV/m
GSM900 Uplink	31,8	3,4	8,4	17,7	36,8
GSM900 Downlink	170,0	41,2	64,2	120,0	230,0
GSM1800 Uplink	12,6	0,2	0,2	0,2	3,8
GSM1800 Downlink	93,4	15,1	31,2	60,2	120,0
UMTS Uplink	13,7	0,0	0,0	0,2	8,0
UMTS Downlink	97,7	10,2	24,6	61,3	120,0
DECT	43,0	0,2	2,5	7,6	23,9
WLAN	62,1	0,0	0,3	14,0	61,4

Zestawioną w tabeli 2 statystykę, realizuje oprogramowanie zarządzające dozymetrem. Zastosowany jest tu system centylowy, mierzący skupienie jednostek w

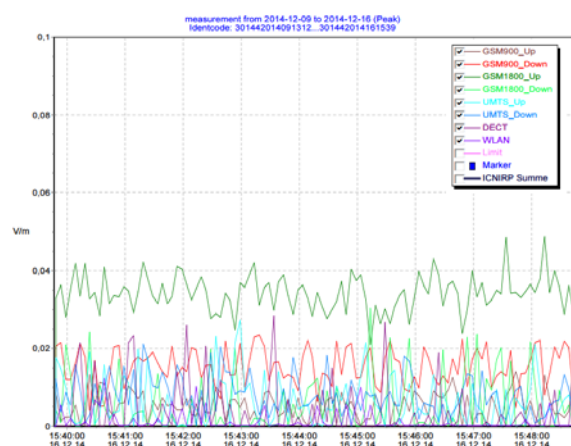
znaczeniu procentowym, dzieląc zbiorowość na 100 równych części (stosowanie dla prób o dużej liczebności). Dzięki tej mierze można dla każdego numeru obserwacji uporządkowanej zbiorowości określić procent grupy wyników znajdujących się powyżej lub poniżej tej obserwacji [21]. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, największe narażenia zaobserwowano w pasmach „downlink”, a 5% uzyskanych wyników przekracza wartości 120 mV/m a dla GSM900 230 mV/m.

Pomiaru drugiego dokonano podczas spaceru pomiędzy Wydziałem Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej przez ulicę Narutowicza, a budynkiem Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie przy ulicy Głębokiej. Uzyskane wyniki analogicznie zrzucano do oprogramowania i zaprezentowano jako wartości średnie. Pomiar trwał ok. 20 min. Na wykresach widać wyraźne zmiany natężeń wynikające z lokalnych oddziaływań źródeł mijanych w czasie całej trasy.



Rys.3. Wartości pola elektrycznego zmierzone na trasie Narutowicza-Głębocka przy użyciu dozymetru ESM-140

Kolejne etapy badań były prowadzone w obszarach o mniejszym zurbanizowaniu, i nasyceniu środowiska potencjalnymi źródłami pól elektromagnetycznych. Badania w małym mieście Janowie Lubelskim nie wykazały dużych wartości, pomimo lokalizacji trzech masztów telefonii bazowej. Jeszcze mniejszą ekspozycję zarejestrowano w obszarach wiejskich i leśnych (rys. 4). W odniesieniu do zaobserwowanej ekspozycji w zurbanizowanym obszarze, uzyskane wartości składowej elektrycznej pola są dziesięciokrotnie mniejsze.



Rys.3. Wartości pola elektrycznego zmierzone na trasie Narutowicza-Głębocka przy użyciu dozymetru ESM-140

Podsumowanie

Mechanizmy oddziaływania pól elektromagnetycznych na żywe organizmy nie mają prostych zależności typu: „im mniej tym lepiej” lub „im więcej tym gorzej” bo często efekty pól elektromagnetycznych są nieliniowe. Dlatego ważny jest monitoring parametrów pól elektromagnetycznych (szczególnie tam gdzie prawnie jest obowiązkowy). Badania wymagają stosowania specjalistycznej aparatury metrologicznej, a wstępne identyfikacje można realizować przy wykorzystaniu dostępnego na rynku ESM-140.

W zaprezentowanym materiale przedstawiono wyniki badań własnych. W prowadzonych analizach identyfikacji parametrów pola elektromagnetycznego należy zdać sobie sprawę z niedoskonałości tego typu urządzeń [22]. Pierwszym jest brak uwzględnienia kierunku fali elektromagnetycznej, którą rejestruje urządzenie. Kolejnym jest trochę mylnie wprowadzona nazwa „dozymetr”, bowiem użytkownik oczekuje tu podania dopuszczalnej dozy ekspozycji, a niestety otrzymuje tylko wartości składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego. Istnienie funkcji przeliczenia wskazań na skalę SAR do tej pory było atutem tego urządzenia, ale ostatnia nowelizacja krajowych przepisów zmienia tu wytyczne. Definiowana będzie teraz SAR_{cc} – szybkość pochłaniania właściwego energii dotycząca skutków termicznych narażenia w całym ciele, SAR_{gt} – szybkość pochłaniania dotycząca miejscowych skutków termicznych narażenia w głowie i tułowiu oraz SAR_k – szybkość pochłaniania dotycząca miejscowych skutków termicznych narażenia w kończynach [1]. Należy tu oczywiście liczyć na pozytywną reakcję (upgrade) producenta. Pomimo pewnych niedoskonałości, użyteczność i dokładność tego urządzenia pozwala go wykorzystać w wielu badaniach dotyczących pól elektromagnetycznych.

Analogiczne badania są prowadzone i w innych ośrodkach, często z dłuższym czasem ekspozycji. Między innymi również przy użyciu tego typu dozymetru prowadzono badania na dużej próbie losowej populacji wśród 329 dorosłych żyjących w czterech różnych miastach Bawarii [13]. Prowadzono badania związku pomiędzy ekspozycją na częstotliwości telefonii komórkowej a dobrym samopoczuciem u osób dorosłych..

Na zakończenie ważną informacją wynikającą z badań jest fakt, że zmierzone wartości nie przekroczyły dopuszczalnych limitów.

Autorzy: dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-416 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl; inż. Bartosz Boś, E-mail: bartoszboś@o2.pl, dr n. med. Artur Wdowiak, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Pracownia Technik Diagnostycznych, ul. S. Staszica 4-6, 20-081 Lublin, E-mail: artur.wdowiak@umlub.pl.

LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. W sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne, Dz. U. Poz.950
- [2] Mazurek P. A., Wac-Włodarczyk A., Przytuła K., Wójtowicz P., Staszek J., Ścirka T., Masłowski G., Wybrane zagadnienia analizy pola elektromagnetycznego miasta Lublin i środowiska Natężców, *Inżynieria Ekologiczna* 2012, nr 30, 194-205
- [3] Naumchuk O., Safonov R.V., Yarmolyuk T.I., Naumchuk O.M. 2011 - Vpliv elektromagnitnogo viprominyuvannya bazovikh stantsiy stilnikovoï telefonii GSM standartu. – *Bezpeka pratsi: Naukovo-virobnichiy zhurnal*. Vip. 1. - Rivne. s.17-19
- [4] Mazurek P.A., Bernacki K., Noga A., Poziomy emisji elektromagnetycznej wysokich częstotliwości w środowisku zurbanizowanym, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 1, vol. 92, 2016, s. 9-12

- [5] Balmori A., 2005 - Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagn. Biol. Med.*;24: 109–119
- [6] Bieńkowski P., Pole elektromagnetyczne emitowane przez urządzenie w zakresie radio- i mikrofal – aparatura i metodyka pomiarów dla ochrony środowiska i bezpieczeństwa pracy, *Medycyna Pracy* 2008, 59(6), 513 – 519
- [7] Bieńkowski P., Zubrzak B., Technical aspects of EMF monitoring in the environment., *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, 2011, R. 84, nr 2/3, s. 79-82.
- [8] Bieńkowski P., Zubrzak B., Surma R., Pole elektromagnetyczne stacji bazowej telefonii komórkowej-studium przypadku, *Medycyna pracy* 2011; 62(1): 37-45
- [9] Mazurek P.A., Naumczuk O., Badanie emisji elektromagnetycznej w zakresie GSM w Polsce i Ukrainie, [W:] *Aspekty środowiskowo-rekreacyjne i prawne zdrowia człowieka*; [Red:] Wdowiak A., Tucki A. - Włodawa 2015, s. 142-156
- [10] Aitken R, Bennetts L, Sawyer D, Wiklendt A, King B. Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline, *Int J Androl*. 2005 Jun; 28(3) 171-9
- [11] Bojar I, Witczak M, Wdowiak A. Biological and environmental conditionings for a sperm DNA fragmentation. *Ann Agric Environ Med*. 2013; 20(4): 865-8.
- [12] Izmetst'eva OS, Parshkov EM, Zhavoronkov LP, Izmetst'ev VI, Litovkina LV, Voron'ko IaV. Effects of electromagnetic field of thermal intensity on the hypophysis-thyroid unit of the neuroendocrine system. *Radiats Biol Radioecol*. 2003 Sep-Oct;43(5):597-600.
- [13] Thomas S, Kühnlein A, Heinrich S, Praml G, Nowak D, von Kries R, Radon K. Personal exposure to mobile phone frequencies and well-being in adults: a cross-sectional study based on dosimetry. *Bioelectromagnetics*. 2008 Sep; 29(6): 463-70. doi: 10.1002/bem.20414.
- [14] Chen SJ1, Allam JP, Duan YG, Haidl G. Influence of reactive oxygen species on human sperm functions and fertilizing capacity including therapeutical approaches. *Arch Gynecol Obstet*. 2013 Jul; 288(1):191-9.
- [15] Ding DC, Liou SM, Huang LY, Liu JY, Wu GJ. Effects of four methods of sperm preparation on motion characteristics and nitric oxide concentration in laboratory-prepared oligospermia. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*. 2000 Nov; 63(11): 822-7.
- [16] Falahati S.A., Anvari M., Khalili M.A. Effect of combined magnetic fields on human sperm parameters. *Iran.J. RAdiat. Res.*, 2011; 9(3):195-200.
- [17] Fejes I., Zavaczki Z., Szollosi J., et al. (2005), Is there a relationship between cell phone use and semen quality? *Arch Androl*; 51(5): 385-93
- [18] Lishko PV, Kirichok Y, Ren D, Navarro B, Chung JJ, Clapham DE. The control of male fertility by spermatozoan ion channels. *Annu Rev Physiol*. 2012
- [19] Łopucki M. Jakiel. G., Bakalczuk S., Pietruszewski M, Kankofer J. Influence of alternating magnetic field with magnetic induction 0.5mT and frequency 50Hz on human spermatozoa in-vitro. *Int. J. Androl*. 2005 vol. 28 suppl. 1 s. 106, Abstr. of the 8th International Congress of Andrology. Seoul, 12-16 June 2005
- [20] Miaskowski A., Olchowik G., Krawczyk A., Łada-Tondyra E., Bartosiński A., A Numerical Evaluation of Electric Field and SAR Distribution Around a Titanium Implant in the Trunk of a Child, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 12b/2012, s 77-79
- [21] Michałowska-Samonek J., Miaskowski A., Wac-Włodarczyk A., Numerical analysis of high frequency electromagnetic field distribution and specific absorption rate in realistic breast models, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 12b/2012, 97-99
- [22] Neubauer G., Cecil S., Giczi W., Petric B., Preiner P., Fröhlich J., Rösli M., Final Report on the project C2006-07: Evaluation of the correlation between RF dosimeter reading and real human exposure, April 2008, ARC-IT-0218
- [23] Astat sp. z o.o., materiały reklamowe, instrukcja obsługi dozymetru ESM-140, materiały firmy Maschek, <http://www.astat.com.pl>.