

Oddziaływanie pola elektromagnetycznego na proces hiperaktywacji nasienia - badanie pilotażowe

Streszczenie. Ostatnie dziesięciolecia przyniosły dynamiczny rozwój technologii, które wykorzystują promieniowanie elektromagnetyczne. W przeprowadzonym badaniu odtworzono pole elektromagnetyczne o częstotliwości 14,5 kHz, które generowały wykrywacze metalu i podjęto próbę oceny jego wpływu na proces hiperaktywacji nasienia. W badaniu udział wzięło 103 mężczyzn o potwierdzonej płodności, których parametry nasienia spełniały normy WHO 2010. Ekspozycja nasienia na wytworzoną falę wpływa na ruchliwość plemników, zwiększając ich ilość w ruchu postępowym oraz w stanie hiperaktywnym.

Abstract. In recent years, technologies that use electromagnetic radiation develop dynamically. The study reproduced the electromagnetic field with a frequency of 14.5 kHz, which is generated by metal detectors. Attempt was made to assess the impact of the EM field on the process of sperm hyperactivation. The study involved 103 men with confirmed fertility (sperm parameters meet the standards WHO 2010). Exposure of sperm to the electromagnetic field effect on sperm motility, increasing their number in progressive movement and in a hyperactivated state. (**The impact of electromagnetic fields on the process of sperm hyperactivation - pilot study**).

Słowa kluczowe: promieniowanie elektromagnetyczne, ruchliwość nasienia, hiperaktywacja nasienia

Keywords: electromagnetic radiation, semen motility, sperm hyperactivation

Wstęp

Na ludzki organizm oddziałują nieustannie pola elektromagnetyczne (PEM) zarówno te naturalne jak i te wywołane przez urządzenia przemysłowe, telekomunikacyjne czy też codziennego użytku. Układ rozrodczy człowieka stanowi bardzo wrażliwy na czynniki zewnętrzne zespół tkanek, a doniesienia literaturowe na temat wpływu fal elektromagnetycznych na jego funkcjonowanie są niejednoznaczne. Oddziaływanie pola elektromagnetycznego (PEM) na męski układ rozrodczy może dotyczyć efektu termicznego, generowania stresu oksydacyjnego, zmiany struktury białek i wywoływania zmian w transporcie jonów przez błony komórkowe. Efekt tego działania zależy od rodzaju przekazywanej energii [1,2,3].

Równowaga w układzie oksydoredukcyjnym, a także prawidłowa praca kanałów jonowych odpowiadają wspólnie za proces hiperaktywacji nasienia. Niektóre kanały jonowe odpowiedzialne za ruchliwość plemników są podatne na działanie pola elektromagnetycznego. Plemniki ludzkie w celu uzyskania zdolności do zapłodnienia komórki jajowej przechodzą szereg zmian metabolicznych dotyczących głównie błony komórkowej. Proces ten określany mianem kapacytacji zachodzi w drogach rodnych kobiety. W wyniku kapacytacji plemniki osiągają zdolność interakcji ze strukturami wierzcha promienistego i później z osłonką przejrzystą owulującego oocytu. W wyniku kapacytacji następuje modyfikacja toru i ruchu gamet, polegająca na zwiększeniu amplitudy i krzywizny uderzenia wtki oraz indukcji wzmożonej siły pchania, określanej jako stan hiperaktywnej ruchliwości. Przedwczesna hiperaktywacja zachodząca jeszcze w plazmie nasienia wywołuje wyczerpanie energetyczne plemnika i zmniejsza szansę zapłodnienia [4,5].

Ostatnie dziesięciolecia przyniosły dynamiczny rozwój technologii, które wykorzystują promieniowanie elektromagnetyczne w detekcji metali czy też innych przedmiotów znajdujących się głęboko w ziemi. Wykrywacze metali hobbystyczne i przemysłowe, czy też georadary stały się przedmiotami codziennego użytku dla wybranych grup zawodowych oraz zwykłych ludzi [6]. Bramki wykrywające metale na lotniskach i innych miejscach publicznych stały się codziennością. Zrodziło to potrzebę przeprowadzenia badań naukowych dotyczących

oddziaływania fal emitowanych przez tego typu urządzenia na ludzkie organizmy.

W przeprowadzonym badaniu odtworzono rodzaj fali, który najczęściej emitowały wykrywacze metalu i podjęto próbę oceny jej wpływu na proces hiperaktywacji nasienia.

Materiał i metody

W badaniu udział wzięło 103 mężczyzn (w wieku 25-35 lat) o potwierdzonej płodności, których parametry nasienia spełniały normy WHO 2010. Prezentowane badanie przeprowadzono w Specjalistycznym Centrum Medycznym Ovum w 2016 roku. Pacjenci nie byli obciążeni innymi chorobami, które mogłyby zaburzać płodność i parametry nasienia. Przed badaniem, utrzymywali 4-dniową abstynencję od seksu i alkoholu. Pacjenci podpisali pisemne zgody pozwalające na wykorzystanie zgromadzonych danych medycznych do celów badawczych. Koncepcja badania została zatwierdzona przez Komisją Bioetyczną przy Instytucie Medycyny Wsi w Lublinie. Nasienie uzyskiwano drogą masturbacji i zaraz po upłynięciu badano według standardów WHO 2010 przy udziale automatycznego systemu komputerowego (Computer Assisted Semen Analysis – CASA) analizując obraz w celu monitorowania zmian w ruchliwości plemników [7,8].

Po pierwszym badaniu, próbki nasienia podzielono na dwie grupy: grupę kontrolną i eksperymentalną, a następnie umieszczono je w oddzielnych automatycznych inkubatorach z 5% CO₂ w temperaturze 37°C. Grupę eksperymentalną poddano ekspozycji.

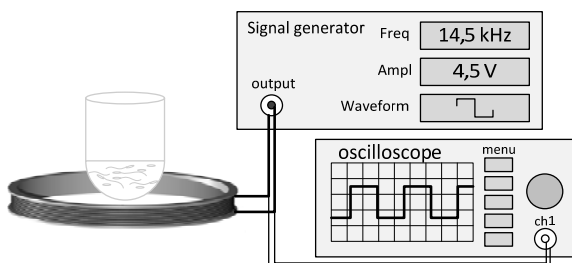
Ruchliwość plemników w próbkach oznaczano bezpośrednio po upłynięciu nasienia (0 h), a następnie po 4, 12 oraz 24 godz. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej.

Układ ekspozycji

Obserwowane skutki biologiczne wywoływane w organizmach żywych przez zewnętrzne pola elektromagnetyczne są silnie uzależnione od częstotliwości i natężenia pola oddziałującego, właściwości elektrycznych ekspozowanego obiektu, a także od przestrzennego rozkładu napromienienia (zależnie od tego czy ekspozycja dotyczy całego ciała czy jedynie jego części) i od rozłożenia ekspozycji w czasie.

W aktualnym prawodawstwie zdefiniowano wielkości, które charakteryzują pola i promieniowanie elektromagnetyczne, stosowane do prowadzenia ocen ekspozycji: natężenie pola magnetycznego H , indukcję magnetyczną B , natężenie pola elektrycznego E , gęstość mocy S oraz zasady ich wyboru. W analizowanej w artykule częstotliwości ocena ekspozycji powinna być wykonana w oparciu o wielkość natężenia pola elektrycznego jak również natężenia pola magnetycznego [19,20]. W zależności od wymaganej składowej pola i zakresu częstotliwości, w jakim przeprowadzane są badania, wykorzystywane są różne sposoby, a więc również różne układy ekspozycyjne do wytwarzania wzorcowego PEM. Ważne są czynniki ograniczające dokładność oszacowania ekspozycji na działanie PEM [21,22,23] oraz parametry pracy wybranych czujników pola magnetycznego [24].

Próbki nasienia poddano oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 14,5 kHz i sygnale prostokątnym. Generatorem pola było urządzenie Minelab Explorer SE z oryginalną cewką o średnicy 130mm, 200Ω. Amplituda sygnału zasilającego cewkę wynosiła 4,5V. Do celu monitoringu parametrów sygnału zasilającego cewkę nadawczą wykorzystano cyfrowy oscyloskop RIGOL DS 1102E. Ideę układu prezentuje poniższy schemat.



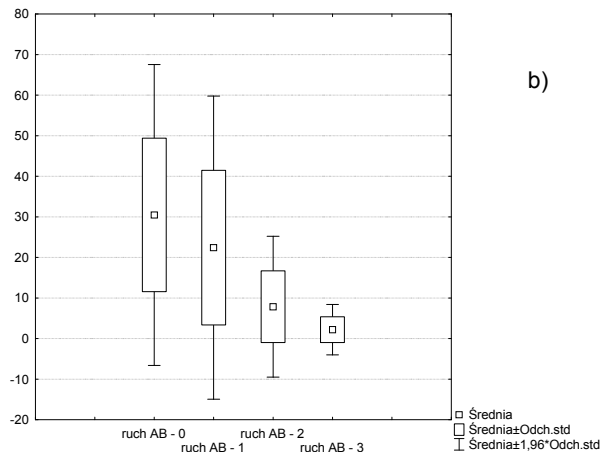
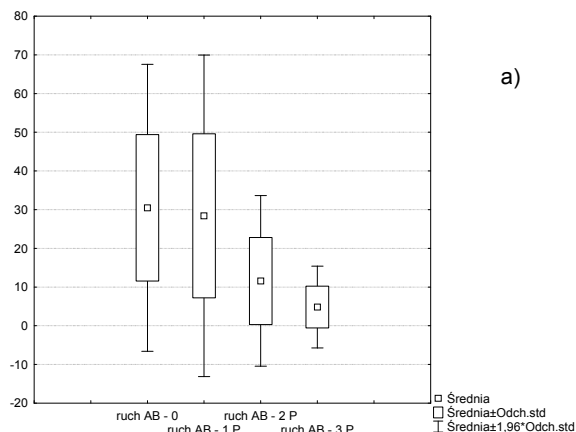
Rys.1. Schemat poglądowy układu ekspozycji

Wartości składowych pola elektrycznej i magnetycznej zmierzono miernikiem Maschek ESM100. W odległości 2 cm od środka cewki (czyli odległości w jakiej umieszczano próbkę z nasieniem od cewki emitującej pole elektromagnetyczne) wyniosły one: natężenie pola elektrycznego 7 V/m, a indukcja magnetyczna 20 μT.

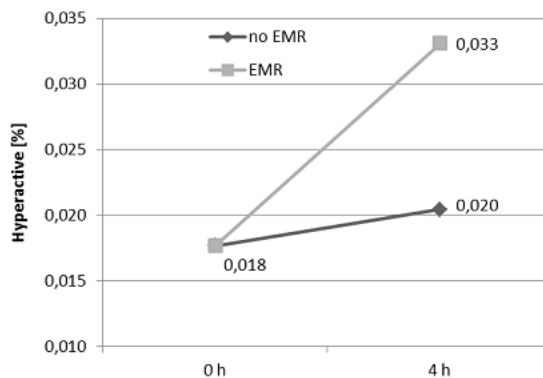
Wyniki

Zmiany ruchu postępowego podczas inkubacji grupy badanej i kontrolnej prezentuje rysunek drugi. Odsetek plemników w ruchu postępowym na początku pomiarów wyniósł 30,5 %, a podczas inkubacji plemników wartości te stopniowo spadały. Wolniejszy spadek ruchliwości plemników widoczny był w grupie eksponowanej na pole elektromagnetyczne. Po 4 h inkubacji w grupie poddanej działaniu pola elektromagnetycznego 28,41 % plemników wykazywało ruch postępowy, natomiast w kontrolnej 22,43%, a różnice te były istotne statystycznie ($t=-7,653$; $p=0,000$). Podobnie w 12 h inkubacji 7,87 % plemników w grupie kontrolnej zachowało ruch postępowy, podczas gdy w badanej 11,58 %, a różnice te były istotne statystycznie ($t=-6,156$, $p=0,000$). Po dobie 2,22 % plemników w grupie kontrolnej zachowało ruch postępowy, a w badanej 4,83%, a różnice te były istotne statystycznie ($t=-7,578$, $p=0,000$).

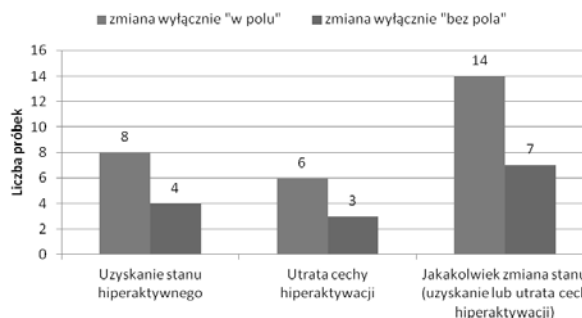
Na rysunkach 2. oraz 3. zaprezentowano zmiany hiperaktywacji podczas inkubacji grupy badanej i kontrolnej. W badanych ejakulatach zaraz po oddaniu nasienia średni całkowity odsetek plemników z cechami hiperaktywacji wynosił 0,018%. Po umieszczeniu plemników w polu w trakcie 4 h inkubacji odsetek ten wzrósł do 0,033% w porównaniu do grupy kontrolnej, gdzie wynosił 0,020%, a różnice były istotne statystycznie ($t=-3,373$; $p=0,001$).



Rys.2. Średni odsetek plemników w ruchu postępowym poddanych działaniu pola elektromagnetycznego (a) i nie poddanych jego działaniu (b) w kolejnych godzinach inkubacji



Rys.2. Odsetek plemników hiperaktywnych po 4 h inkubacji



Rys.3. Zmiany hiperaktywacji próbek nasienia inkubowanych w polu elektromagnetycznym i bez pola

Podczas pomiarów dokonanych w późniejszych godzinach odsetek plemników hiperaktywnych w nasieniu spadł do minimalnych wartości. Porównując liczbę ejakulatów, które utraciły w polu cechy hiperaktywacji $n=6$ (a nie straciły bez pola) z tymi, które straciły bez pola $n=3$ (a nie straciły w polu), nie odnotowano istotnej statystycznie zależności ($Chi2McNemara=0,444$, $df=1$, $p=0,505$).

W trakcie porównania 7 próbek, których stan w polu się nie zmienił (a poza polem uległ zmianie) z 14 których stan w polu się zmienił (poza polem bez zmiany nie znaleziono istotnej statystycznie zależności ($Chi2McNemara=1,714$, $df=1$, $p=0,190$).

Dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że ekspozycja nasienia męskiego na emitowane przez cewkę nadawczą pole elektromagnetyczne o częstotliwości 14,5 kHz powoduje wzrost odsetka plemników w ruchu postępowym. W literaturze nie ma doniesień na temat wpływu tej właśnie częstotliwości na ruchliwość plemników. Istniejące doniesienia dotyczą fal o częstotliwościach od 10 Hz, 40 Hz, 50 Hz oraz częstotliwości związanych z telefonią komórkowa i Wi-Fi.

Zbliżone do naszych obserwacje w kwestii zwiększania ruchliwości plemników pod wpływem fal elektromagnetycznych poczynili Falahati i wsp., Łopucki i wsp., Formicki i wsp. a także Roychoudhury i wsp. w swoich badaniach [9,10,11,12]. Falahati i wsp. wykazali, że częstotliwość 10 Hz, poprawia ruchliwość plemników ludzkich po 4 h ekspozycji; podobnie jak częstotliwość 25 Hz, pozostając bez wpływu na inne parametry nasienia [9]. Jednocześnie nie wykazali oni wpływu częstotliwości 40 Hz na parametry nasienia poddanego 4 h inkubacji. Łopucki i wsp. poddawali nasienie działaniu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 50 Hz indukcji magnetycznej 0,5 mT przez 2 h, stwierdzając większy odsetek plemników w ruchu szybkim postępowym wśród ejakulatów eksponowanych na mikrofałe w porównaniu z tymi bez ekspozycji [10]. W przypadku oceny ruchu wolnego postępowego, jego natężenie zmalało w próbkach trzymanyh w polu elektromagnetycznym w porównaniu z grupą kontrolną. Również badania przeprowadzone na królikach przez Roychoudhury et al. potwierdziły korzystny wpływ ekspozycji na fale 50 Hz na ruchliwość nasienia [12]. Autorzy [12] doszli do podobnych stwierdzeń, że w wyniku inkubacji w polu EMR zwiększa się prędkość plemników, a co więcej wzrasta także odsetek zapłodnień po inseminacjach przeprowadzonych nasieniem eksponowanym na fale. Jest to zbieżne z doniesieniami Formicki K. i wsp., którzy podczas badania ekspozycji rybich komórek rozrodczych na pole magnetyczne 1,5 i 10 mT przez 24 h, zauważyli poprawę parametrów ruchu plemników i zwiększony odsetek zapłodnień [11]. Ich badanie podobnie jak nasze i Roychoudhury et al. przeprowadzono za pomocą CASA wykazało zwiększenie ruchliwości w grupie badanej po 24 h inkubacji. Do zupełnie odmiennych wniosków doszedł Xu X. et al. badający ekspozycję ludzkiego nasienia na 50-Hz pole elektromagnetyczne 0,4 mT, stwierdzają występowanie obniżenia odsetka plemników w ruchu postępowym umieszczonych tym polu w 15 i 60 minucie ekspozycji [13]. Doniesienia naukowe dotyczące oddziaływania pól elektromagnetycznych generowanych przez fale o wysokich częstotliwościach niemal jednoznacznie udowadniają ich niekorzystny wpływ na ruchliwość plemników, uszkodzenia materiału genetycznego i wywoływanie szoku tlenowego [14,15,16].

Efekt oddziaływania fal elektromagnetycznych związany jest najprawdopodobniej z ich zdolnością wpływu na

niektóre kanały jonowe [17,18]. Niewątpliwie problematyka oddziaływania pól elektromagnetycznych na parametry nasienia wymaga prowadzenia dalszych badań w tym zakresie. Problemy, jakie występują podczas próby uzyskania powtarzalności i jednorodności wytworzonego pola elektromagnetycznego, mogą wpływać na rozbieżności w uzyskiwanych wynikach. Trudności tego typu dotyczą jednak wszystkich eksperymentów medycznych, gdzie powtarzalność badania jest niemal nie możliwa do uzyskania. Jedynie prowadzenie doświadczeń na bardzo dużych grupach jest w stanie rozwiązywać problemy badawcze i eliminować granice błędu, tworząc podwaliny rozwoju nauk medycznych.

Wnioski

Aktualnie prowadzone badania i wyciągane z nich wnioski nie pozwalają jednoznacznie uogólnić szkodliwego, obojętnego lub korzystnego wpływu promieniowania elektromagnetycznego na zdolności rozrodcze człowieka. Można spodziewać się, że istnieją dawki energii działające obojętnie lub korzystnie, a dopiero ich przekroczenie może wywołać efekty szkodliwe.

Męski układ rozrodczy stanowi bardzo wrażliwy na czynniki zewnętrzne zespół tkanek, a plemnik, który nie posiada zdolności do naprawy swojego materiału genetycznego wydaje się być przez to podatny na różnego rodzaju uszkodzenia generowane przez czynniki zewnętrzne. Dotychczasowe doniesienia literaturowe na temat wpływu fal elektromagnetycznych na męskie komórki rozrodcze są niejednoznaczne [2]. Może to wynikać z trudności związanych z wyizolowaniem jednego czynnika wpływającego na spermatogenezę.

Ze względu na szeroki zakres technologii wykorzystujących i przetwarzających energię elektryczną charakter zjawisk elektromagnetycznych jest skomplikowany. Przeprowadzona w niniejszym artykule dyskusja wynika z rzeczywistego narażenia na jakie są poddani m.in. użytkownicy wykrywaczy metalu. W przeprowadzonych w laboratorium badaniach własnych zidentyfikowano parametry promieniowanej fali elektromagnetycznej z jaką działa wykrywacz metalu w „trybie skanu”. Zidentyfikowana częstotliwość, kształt sygnału i jego amplituda pozwoliły przeprowadzić pilotażową analizę oddziaływania promieniowania.

Ekspozycja nasienia na prostokątną falę elektromagnetyczną o częstotliwości 14,62 kHz wpływa na ruchliwość plemników, zwiększając ich ilość w ruchu postępowym oraz w stanie hiperaktywnym. Autorzy zdają jednak sobie sprawę, że ekspozycja plemników na określone częstotliwości widma elektromagnetycznego poza organizmem człowieka, wyłącza wpływ wielu innych czynników, a to nie odtwarza warunków in vivo.

Uzyskane wyniki wskazują też na potrzebę prowadzenia dalszego monitoringu wartości natężeń pól oraz prowadzenia analiz numerycznych pochłaniania energii. Ważne są też dalsze badania samych układów ekspozycyjnych oraz czujników identyfikujących parametry pola magnetycznego i elektrycznego [24,25]. Współcześnie prowadzone badania w kraju na świecie wskazują, że oddziaływanie biologiczne pól elektromagnetycznych jest niewielkie, ale informacje czy to o znikomym zagrożeniu czy o pozytywnych reakcjach są ważne i powinny być wykorzystywane m.in. do racjonalnej ochrony przed ich działaniem.

Autorzy: 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, dr inż. Paweł A. Mazurek, Politechnika Lubelska, Instytut Elektrotechniki i Elektrotechnologii, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-416 Lublin, E-mail: p.mazurek@pollub.pl.

LITERATURA

- [1] Zmysłony M., Politański P., Zagrożenia zdrowia i ochrona zdrowia pracujących w narażeniu na pola i promieniowanie elektromagnetyczne 0-300 GHz Oficyna Wydawnicza Instytutu Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, 2009, 7-50
- [2] Wdowiak A., Mazurek P. Wpływ pola elektromagnetycznego na rozród człowieka. (The influence of electromagnetic waves on the human reproduction) Przegląd Elektrotechniczny 2016 R. 92 nr 1 s. 124-127
- [3] Challis L.J. Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics*. 2005;Suppl 7:S98-106.
- [4] Du Plessis SS, Agarwal A, Halabi J, Tvrda E. Contemporary evidence on the physiological role of reactive oxygen species in human sperm function. *J Assist Reprod Genet*. 2015 Apr;32(4):509-20
- [5] Bakalczuk G., Wdowiak A., Lewicka M., Sulima M., Petrovic S., Anton J., Kielak M.A. Induction effectiveness of acrosome reaction in prepared human spermatozoa assessed using the CD46 surface antigen. *Eur. J. Med. Technol*. 2016 nr 1 s. 44-53
- [6] Mazurek PA, Wdowiak A. Wykrywacze metalu - identyfikacja poziomu natężenia pola elektrycznego i magnetycznego, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 91 NR 12/2015 str. 163-166
- [7] World Health Organization. (2010) WHO Laboratory Manual for the Examination and Processing of Human Semen, 5th edn. Geneva: World Health Organization
- [8] Holt W, Watson P, Curry M, Holt C. Reproducibility of computer-aided semen analysis: comparison of five different systems used in a practical workshop. *Fertil. Steril*. 1994, 62, 1277-1282.
- [9] Falahati S., Anvari M., Khalili M.A. Effect of combined magnetic fields on human sperm parameters. *Iran.J. Radiat. Res.*, 2011;9(3):195-200
- [10] 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
- [11] Formicki, K., Szulc, J., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., Witkowski, A., Kwiatkowski, P., 2013. The effect of static magnetic field on Danube huchen, *Hucho hucho* (L.) sperm motility parameters. *Arch Pol Fish* 21, 189-197
- [12] Roychoudhury, S., Jedlicka, J., Parkanyi, V., Rafay, J., Ondruska, L., Massanyi, P., Bulla, J., 2009. Influence of a 50 hz extra low frequency electromagnetic field on spermatozoa motility and fertilization rates in rabbits. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 44, 1041-1047
- [13] Xu, X., Lin, H., Zhang, X., Li, J., Zhang, W., Sun, W., Pan, Y., 2012. [The effects of extremely low frequency electromagnetic field exposure on the pH of the adult male semen and the motricity parameters of spermatozoa in vitro]. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi* 30, 178-180
- [14] 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
- [15] Yildirim, M.E., Kaynar, M., Badem, H., Cavis, M., Karatas, O.F., Cimentepe, E., 2015. What is harmful for male fertility: cell phone or the wireless Internet? *Kaohsiung J Med Sci* 31, 480-484
- [16] Wdowiak A, Wdowiak L, Wiktor H. Evaluation of the effect of using mobile phones on male fertility. *Ann Agric Environ Med*. 2007;14(1):169-72
- [17] Kotnik T, Miklavcic D. Theoretical evaluation of voltage induction on internal membranes of biological cells exposed to electric fields. *Biophys J*. 2006;90(2):480-91
- [18] Kotnik T, Pucihar G, Miklavcic D. Induced transmembrane voltage and its correlation with electroporation-mediated molecular transport. *J Membr Biol*. 2010;236(1):3-13
- [19] Gryz K., Karpowicz J., Pomiarów pól elektromagnetycznych i ocena ekspozycji zawodowej - wymagania PN-T-06580:2002 i zasady stosowane w krajach Unii Europejskiej, *Medycyna Pracy* 2003; 54 (3): 279 — 284
- [20] Bortkiewicz A., Gadzicka E., Szymczak W., Zmysłony M., Ekspozycja na pola elektromagnetyczne a funkcjonowanie układu krążenia – badania własne, *Bezpieczeństwo Pracy*, 09/2013, 47-49
- [21] Długosz T., Wzajemne oddziaływanie linii transmisyjnej TEM i badanego w niej obiektu, rozprawa doktorska, Politechnika Wroclawska, 2007
- [22] Długosz T., badania bioelektromagnetyczne — analiza błędów w ocenie ekspozycji pola elektromagnetycznego, *Medycyna Pracy* 2008;59(6), 521 – 528
- [23] Bieńkowski P., Trzaska H., Ekspozycja na pole elektromagnetyczne w badaniach biomedycznych i kompatybilności elektromagnetycznej, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 12/2014
- [24] Prauzner T., Ptak P., Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, 90 (2014), nr.12, 273-276
- [25] Prauzner T., Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, 91 (2015), nr.12, 205-208.