

Wpływ statycznego pola elektrycznego generowanego w pobliżu wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego na równowagę prooksydantów i przeciwutleniaczy u szczurów

Grzegorz Cieślak¹, Justyna Malyszek-Tumidajewicz¹, Paweł Sowa² i Aleksander Sieroń¹

¹ Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Fizykoterapii w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
ul. Batorego 15, Bytom, PL-41902, Polska
cieslar1@tlen.pl

² Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Bolesława Krzywoustego 2, Gliwice, PL-41100, Polska

Streszczenie - W tym badaniu sprawdzano wpływ długotrwałej ekspozycji całego ciała szczurów na silne, statyczne pole elektryczne generowane w pobliżu wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego (HVDC) na równowagę prooksydantów i przeciwutleniaczy we krwi i w wątrobie. Materiał eksperymentalny składał się z 96 samców szczurów Wistar, losowo podzielonych na 3 grupy (po 32 zwierzęta). Dwie grupy eksperymentalne były narażane przez 56 dni (8 godzin dziennie) na elektryczność statyczną z polem elektrycznym o wartości intensywności, odpowiednio 16 kV/m i 35 kV/m, w specjalnie zaprojektowanym układzie eksperymentalnym. Grupa kontrolna została poddana ekspozycji pozorowanej w tym samym układzie eksperymentalnym, w którym pole magnetyczne pomiędzy elektrodami nie było generowane. W 14 i 56 dniu ekspozycji, a następnie w 28 dniu po zakończeniu cyklu ekspozycji, część zwierząt ze wszystkich grup (8 szczurów w tym samym czasie) została rozczłonkowana w narkozie po podaniu Morbitalu. Uzyskane osocza, lizaty erytrocytów i homogenaty wątroby zbadano przy użyciu metod spektrofotometrycznych pod kątem wykazanej aktywności niektórych enzymów przeciwutleniających w postaci dysmutazy ponadtlenkowej, mitochondrialnej dysmutazy ponadtlenkowej, pozakomórkowej katalazy dysmutazy ponadtlenkowej, S-transferazy glutationowej, peroksydazy glutationowej, reduktazy i katalazy glutationowej. Analizie poddano również stężenie dialdehydu malonowego. W oparciu o uzyskane wyniki potwierdzono, że długotrwała ekspozycja szczurów na statyczne pole elektromagnetyczne przy wysokich wartościach natężenia pola elektrycznego wytwarzanych w pobliżu linii przesyłowych HVDC nie powoduje zasadniczych zmian w intensywności peroksydacji lipidów w erytrocytach, podczas gdy w osoczu prowadzi do chwilowej stymulacji tego procesu z wyrównawczym zahamowaniem i końcową normalizacją po zakończeniu cyklu ekspozycji. Ponadto zauważono, że powoduje on zmiany w enzymatycznym układzie antyutleniającym w postaci tymczasowego hamowania lub aktywności większości enzymów antyoksydacyjnych podczas cyklu ekspozycji, a następnie wyrównującego wzrostu tej aktywności po zakończeniu cyklu ekspozycji w erytrocytach (szczególnie w przypadku wyższych wartości intensywności pola elektrycznego), a także zróżnicowane zmiany aktywności poszczególnych enzymów w osoczu. Długotrwała ekspozycja na pole elektrostatyczne o wysokiej wartości intensywności powoduje również wyrównawcze zmiany enzymatycznego układu przeciwutleniającego w tkance wątroby, umożliwiając utrzymanie równowagi prooksydantów i przeciwutleniaczy w organizmie doświadczalnych zwierząt i zahamowanie procesu peroksydacji. Przedstawione dane wskazują, że budowa wysokonapięciowych linii przesyłowych HVDC zgodnie z obowiązującymi przepisami umożliwia uniknięcie poważnych zagrożeń dla zdrowia ludzi związanych z zaburzeniami równowagi prooksydantów i przeciwutleniaczy w organizmach żywych.

I. WPROWADZENIE

Długotrwała ekspozycja na różne zewnętrzne czynniki fizyczne (między innymi, różne formy pól elektromagnetycznych) powoduje tak zwany stres

oksydacyjny w organizmie żyjącym, powodując powstanie zwiększonej ilości tlenu reaktywnego, zmiany aktywności układu przeciwutleniającego oraz stymuluje peroksydację lipidów w błonach biologicznych i późniejszą śmierć komórek apoptotycznych [1] - [6]

Różnica uzyskanych wyników eksperymentalnych dotyczących zaburzeń równowagi prooksydantów i przeciwutleniaczy w tkankach zwierząt pod wpływem pola elektromagnetycznego związana jest głównie z różnymi parametrami fizycznymi pola elektrycznego i modelami eksperymentalnymi używanymi przez poszczególnych autorów [7] - [9].

W ostatnich latach bardzo popularny stał się przesył energii elektrycznej przy użyciu linii transmisyjnych wysokiego napięcia. Do tej pory, w dostępnej literaturze brakuje raportów prezentujących wyniki badań eksperymentalnych poświęconych wpływowi silnych statycznych pól elektrycznych na równowagę prooksydantów i przeciwutleniaczy, ale naszym zdaniem, badania tego zagadnienia mają duże znaczenie [10].

Celem pracy było oszacowanie wpływu długotrwałej ekspozycji całego ciała szczurów na silne, statyczne pole elektryczne z parametrami fizycznymi generowanymi w pobliżu linii przesyłowych wysokonapięciowych przy intensywności generowania reaktywnych form tlenu analizowanej pośrednio, w oparciu o pomiar wskaźnika peroksydacji lipidów - dialdehydu malonowego (MDA), a także aktywności enzymatycznego układu obronnego przeciwutleniacza, w warunkach potencjalnego stresu oksydacyjnego, zarówno dla krwi jak i tkanki wątroby.

II. MATERIAL I METODY

Materiał eksperymentalny obejmował 128 samców szczurów albinosów Wistar w wieku 6 tygodni, ważących około 150 g. Podczas całego eksperymentu wszystkie zwierzęta umieszczano w identycznych warunkach środowiskowych (stała temperatura $22 \pm 1^\circ\text{C}$ i wilgotność powietrza) w cyklu 12-godzinny dzień i noc i karmiono je standardowym laboratoryjnym pokarmem Labofed B (15 g dziennie), ze swobodnym dostępem do wody. Wszystkie zwierzęta losowo podzielono na 4 równe grupy (po 32), bez istotnych różnic w stosunku do masy ciała.

Zwierzęta z trzech grup doświadczalnych były narażane przez 56 kolejnych dni (8 godzin na dobę, na przemian w okresach 700 do 1500, 1500 do 2300 i 2300 do 700), podobnie jak pracownicy linii przesyłowych prądu elektrycznego pracujący na zmianach) na statyczne pole elektryczne o różnych wartościach natężenia pola elektrycznego w specjalnie zaprojektowanym systemie eksperymentalnym składającym się z transformatora wysokonapięciowego 220V/60000V, prostownika kaskadowego, reostatu wodnego, 2 elektrod o okrągłym kształcie i specjalnie profilowanych krawędziach umieszczonych w odległości 50 cm

IV. OMÓWIENIE

W naszym poprzednim eksperymencie [16] stwierdziliśmy, że silne, statyczne pole elektryczne o parametrach wyższych od tych dozwolonych przez faktyczne przepisy wykonawcze obowiązujące podczas budowy linii przesyłowych HVDC powoduje przejściowe hamowanie aktywności enzymów antyutleniających w erytrocytach, a następnie wyrównywanie stymulacji tej aktywności po zakończeniu cyklu ekspozycji. Wyniki innych badań potwierdziły, że długotrwała ekspozycja szczurów na statyczne pole elektryczne spowodowało kompensacyjne przesunięcie intensywności peroksydacji lipidów na nowym poziomie równowagi dynamicznej [8], [9].

Katalaza, peroksydaza glutationowa, reduktaza glutationowa, transferaza S glutationu i dysmutaza ponadtlenkowa to główne enzymy przeciwutleniające, które, współpracując ze sobą, tworzą łańcuch reakcji chroniących organizm przed działaniem toksycznym reaktywnych form tlenu, zwłaszcza w postaci rozwoju nadtlenkowania lipidów błonowych [17], [18].

Przejściowe zwiększenie stężenia dialdehydu malonowego, zwłaszcza w osoczu, w początkowej fazie ekspozycji na statyczne pole elektryczne, wskazuje na stymulację generowania reaktywnych form tlenu, co prowadzi do aktywacji peroksydacji lipidów, pod wpływem tego czynnika fizycznego. Natomiast dwukierunkowe zmiany aktywności poszczególnych enzymów antyutleniających prawdopodobnie związane są z wyczerpaniem ich rezerw bazowych w początkowej fazie cyklu ekspozycji, a następnie wyrównawczą aktywacją indukowaną przez wyższy poziom wolnych rodników tlenowych, zarówno we krwi, jak i w tkance wątroby. Te połączone zmiany aktywności wszystkich enzymów antyutleniających prowadzą do przywrócenia równowagi prooksydantów i antyoksydantów na nowym wyższym poziomie, co powoduje spadek zawartości dialdehydu malonowego w tkance wątroby i osoczu po zakończeniu cyklu ekspozycji. Wydaje się to potwierdzać tezę, że taka ekspozycja nie powoduje trwałej intensyfikacji peroksydacji lipidów w błonach biologicznych.

V. WNIOSK

Na podstawie uzyskanych wyników potwierdzono, że długotrwała ekspozycja szczurów na statyczne pole elektryczne o wysokiej wartości natężenia pola elektrycznego wytwarzanego w pobliżu linii przesyłowych HVDC nie powoduje trwałych zasadniczych zmian natężenia nadtlenkowania lipidów (szacowanych za pomocą pomiaru stężenia dialdehydu malonowego) w erytrocytach, podczas gdy w osoczu prowadzi do tymczasowego stymulowania tego procesu, a następnie do wyrównawczego zahamowania i do końcowej normalizacji po zakończeniu cyklu ekspozycji.

Ponadto zauważono, że długotrwała ekspozycja szczurów na statyczne pole elektryczne o wysokich wartościach natężenia pola elektrycznego wytwarzanych w pobliżu linii przesyłowych HVDC powoduje zmiany w enzymatycznym systemie przeciwutleniającym w postaci tymczasowego zahamowania aktywności większości enzymów antyutleniających podczas cyklu ekspozycji, a następnie wyrównawczego wzrostu tej aktywności poszczególnych enzymów w osoczu. Długotrwała ekspozycja na statyczne pole elektryczne o wysokich wartościach natężenia pola elektrycznego wytwarzanych w pobliżu linii przesyłowych HVDC

powoduje kompensacyjne zmiany enzymatycznej aktywności przeciwutleniającej w tkance wątroby, umożliwiając utrzymanie równowagi prooksydantów i przeciwutleniaczy w organizmie zwierząt oraz zahamowanie peroksydacji lipidów. Przedstawione dane wskazują, że budowa wysokonapięciowych linii przesyłowych prądów stałych zgodnie z obowiązującymi przepisami praktycznymi pozwala uniknąć poważnych zagrożeń dla zdrowia ludzi związanych z zaburzeniami równowagi prooksydantów i przeciwutleniaczy w organizmach żywych.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Hisanitsu, K. Narita, T. Ichisaka, A. Seto, Y. Ya and K. Asanp, "Induction of apoptosis in tinman leucemic cells by magnetic Otitis," *Jap. J. Physiol.* vol. 47, pp. 307-310, Jun. 1997.
- [2] F. L. Wolf, A. Torsello, B. Tedesco, S. Fasano, A. A. Boonsegna, M. D'Ascto, C. Ormsl., G. B. Azzena and A. Cittadini, "50-Hz Bystroa low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: Possible involvement of a redox mechanism," *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1743, pp. 120-129, Mar. 2005.
- [3] S. A. Mam, T. Douki, J. Ravanat, C. Garre, P. Gubaud, A. Favier, M. Sakiy, R. L. Ben Rhouma and H. Abdineck, "Influence of a static magnetic fields (250 mT) on the antioxidant response and DNA integrity in THPI cells," *Phys. Med Biol.* vol. 52, pp. 889-398, Feb. 2007.
- [4] S. Chafer, R. Abdelmelak, T. Douki, C. Gsrrel, A. Favier, M. Sakiy and K. Ben Rheuma, "Exposure to static magnetic field of pregnant rats induces hepatic GSH elevation but not oxidative DNA damage in liver and kidney," *Arch. Med. Res.*, vol. 37, pp. 941-946, Nov. 2006.
- [5] B. Knta, A. Soborak and R. Kuska, "Effects of static and ELF magnetic fields on free radical processes in rat liver and kidney," *Klectromagn Biol A/iaA*, vol. 19, pp. 99-105, 2000.
- [6] B. Knta, A. Soborak and R. Kuska, "A study of the effects of static and extremely low frequency magnetic fields on lipid peroxidation products in subcellular fractions," *Bioelectromagn. Biol Med.*, vol. 21, pp. 161-168, 2002.
- [7] A. F. McKinlay, S. G. Allen, R. Cox and P. J. Dimby, "Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz)," *Documents NR/PB*, vol. 15, pp. 1-215, 2004.
- [8] A. V. Paramch, B. A. Romodanova and L. Chaltina, "The adaptation change in lipid peroxidation under the chronic action of an electrostatic field," *Final Z7*, vol. 37, pp. 113-116, Sep-Oct 1991.
- [9] G. Gal Or, N. Seyhan and A. Ancioğlu, "Effects of static and 50 Hz alternating electric field on superoxide dismutase activity and TBARS levels in guinea pigs," *Gen. Physiol. Biophys.*, vol. 25, pp. 177-193, Jun. 2006.
- [10] M. R. Repacholi and B. Greenobeun, "Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs," *Bioelectromagnetics*, vol. 20, pp. 133-160, 1999.
- [11] P. Vecchia, "ICNTB-P statement on the Onidefina for limiting exposure to 11ns varying electric, magnetic and electromagnetic Odds (up to 300 GHz)," *Health Phys.*, vol. 74, pp. 464-522, Sep. 1998.
- [12] T. D. Bredeca, A. S. Capon and D. V. Montgomery, "Ground level electric fields and ion currents on the Colilo-Sylmar AL-400 kV DC Lntextic during fear weather," *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, vol. PAS-97, pp. 376-378, Mar. 1978.
- [13] R. Aebi, "Calalaso in vitro," *Methods Enzymol.* vol. 105, pp. 121-126, 1984.
- [14] Y. Oyanagui, "Evaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity," *Anal Biochem.*, vol. 142, pp. 290-296, Nov. 1984.
- [15] R. Ohkawa, N. Ohishi and K. Yagi, "Assay for peroxide in animal tissues by tetrabarbitalic acid reaction," *Anal. Biochem.*, vol. 95, pp. 351-358, Jan. 1979.
- [16] G. Ciełlar, A. Swroś and P. Sowa, "Influence of high voltage static electric field on activity of antioxidant enzymes in guinea pig," *In Medicine and Biology Society 2003. Proceedings of 25th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 4, pp. 3257-3260, 2003.
- [17] I. Fridovich, "Superoxide radical and superoxide dismutase," *Annu. Rev. Biochem.*, vol. 64, pp. 97-12, 1995.
- [18] W. D. Nee, "Free radicals in the physiological control of cell function," *Physiol. Rev.*, vol. 82, pp. 47-95, Jan. 2002.

Wpływ ekspozycji na statyczne pole elektryczne o wysokim napięciu generowane w pobliżu linii przesyłowych HVDC na zachowania szczurów

G. Cieslar¹, J. Mrowiec¹, P. Sowa³, S. Kasperczyk³, i A. Sieron¹

¹ Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Fizykoterapii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Polska

² Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Politechnika Śląska, Polska

³ Zakład biochemii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Polska

Streszczenie – W badaniu tym sprawdzano wpływ długotrwałej ekspozycji całego ciała na silne statyczne pole elektryczne generowane zwykle w pobliżu linii wysokiego napięcia (HVDC) na zachowania szczurów, w oparciu o oszacowanie aktywności lokomotorycznej, aktywność rozpoznawczą, pamięć miejsca i drażliwość. Materiał doświadczalny składał się z 16 męskich szczurów albinosów Wistar w wieku 8 tygodni, ważących 180-200 g. Podczas całego eksperymentu wszystkie zwierzęta umieszczano w identycznych warunkach środowiskowych, w cyklu 12-godzinny jasno-ciemny, ze swobodnym dostępem do standardowego pokarmu laboratoryjnego i wody. Wszystkie zwierzęta były losowo podzielone na 2 grupy (po 8 zwierząt).

Szczury z grupy eksperymentalnej były narażane przez 56 kolejnych dni (8 godzin na dobę) na statyczne pole elektryczne o natężeniu prądu elektrycznego 25 kV/m (zazwyczaj spotykane w pobliżu faktycznie istniejących linii przesyłowych HVDC) w specjalnie zaprojektowanym układzie eksperymentalnym. Szczury z grupy kontrolnej były narażane na pole pozorowane w tym samym układzie eksperymentalnym, bez pola elektrycznego generowanego między elektrodami podczas ekspozycji. Ocenę zachowania przeprowadzono na 24 godziny przed pierwszą ekspozycją, w 24 godziny po pierwszej ekspozycji, w dniach 7, 14, 21, 28, 42 i 56 cyklu ekspozycji oraz 28 dni po zakończeniu cyklu ekspozycji. Aktywność lokomotoryczną określano w teście „otwartego pola”, aktywność rozpoznawczą badano w teście „dziury”, pamięć miejsca sprawdzano za pomocą testu labiryntu wodnego, a drażliwość badano za pomocą wyników testu Nakamury i Thoenena. W wyniku wielokrotnych ekspozycji w grupie eksperymentalnej szczurów na pole elektryczne, w teście „pola otwartego” odnotowano znaczne zmniejszenie, w porównaniu do grupy kontrolnej, liczby epizodów przejść (w 7 dni cyklu ekspozycji), rozglądania się (7 i 14 dnia cyklu ekspozycji) oraz defekacji (w 28 dni cyklu ekspozycji). Z drugiej strony, w grupie eksperymentalnej szczurów ekspozowanych na działanie pola elektrycznego nie stwierdzono istotnych zmian czasu przejścia przez labirynt wodny, liczby epizodów stawania na tylnych nogach i mycia się w teście „pola otwartego”, jak również liczby usłyszanych zanurzeń w teście „dziury”, natomiast w zakresie drażliwości, odnotowane wyniki były porównywalne do wyników zwierząt kontrolnych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że długotrwała ekspozycja całego ciała szczurów na działanie statycznego pola elektrycznego o parametrach generowanych w pobliżu faktycznie istniejących linii przesyłowych HVDC powoduje jedynie przejściową, znaczącą redukcję aktywności lokomotorycznej w początkowej fazie cyklu ekspozycji, bez jakichkolwiek innych trwałych zmian zachowania.

1. WPROWADZENIE

W dostępnej literaturze jest niewiele danych na temat wpływu pól elektrycznych 50-60 Hz wytwarzanych w pobliżu linii przesyłowych pola elektrycznego na funkcję mózgu, prowadzących do zmian zachowań u osób narażonych zawodowo [1, 2]. W badaniach eksperymentalnych stwierdzono, że pola elektryczne wysokonapięciowe o niskiej częstotliwości mogą zmieniać zachowanie myszy, szczurów i naczelników innych niż ludzie, jednakże, te przejściowe zmiany były prawdopodobnie następstwem wykrycia nowego bodźca i nie sugerowały ostrych działań niepożądanych [3-7]. Celem pracy było oszacowanie w modelu doświadczalnym wpływu długotrwałej ekspozycji całego ciała na silne statyczne pole elektryczne z parametrami fizycznymi, które często występują w pobliżu istniejących linii przesyłowych prądu stałego wysokiego napięcia na takie reakcje behawioralne jak aktywność lokomotoryczna, aktywność rozpoznawcza, pamięć miejsca i drażliwość u szczurów.

2. MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny składał się z 16 samców szczurów albinosów Wistar w wieku 8 tygodni, ważących 180-200 g. Podczas całego eksperymentu wszystkie zwierzęta umieszczono w identycznych warunkach środowiskowych (stała temperatura $22 \pm 1^\circ\text{C}$ i wilgotności powietrza) w 12-godzinny cykl dnia i nocy, przy swobodnym dostępie do standardowych pokarmów laboratoryjnych i wody. Wszystkie zwierzęta losowo podzielono na 2 grupy: doświadczalną i kontrolną (po 8 zwierząt), bez istotnych różnic w masie ciała.

4. WNIOSK

Długotrwała ekspozycja całego ciała szczurów na silne, statyczne pole elektryczne wytwarzane zwykle w pobliżu linii wysokiego napięcia prądu stałego powoduje jedynie przejściową, znaczącą redukcję aktywności lokomotorycznej w początkowej fazie cyklu ekspozycji bez żadnych patologicznych zakłóceń czynności rozpoznawczych, pamięci miejsca lub drażliwości.

BIBLIOGRAFIA

1. Foie, F. F., "The HVS effect in electric power substations." *Medicine y Seguridad del Trabajo*, Vol. 23, 15-18, 1973.
2. Hauf, R. and J. Wiesinger, "Biological effects of technical, electric, and electromagnetic VLF fields." *International Journal of Biometeorology*, Vol. 17, No. 3, 213-215, 1973.
3. Coelho, Jr., A. M., S. P. Easley, and W. R. Rogers, "Effects of exposure to 30kV/m, 60Hz electric fields on the social behavior of baboons." *Bioelectromagnetics*, Vol. 12, No. 2, 117-135, 1991.
4. Easley, S. P., A. M. Coelho, Jr., and W. R. Rogers, "Effects of a 30kV/m, 60Hz electric field on the social behavior of baboons: A crossover experiment." *Bioelectromagnetics*, Vol. 13, No. 5, 395-MOO, 1992.
5. Hjerresen, D. L., W. T. Kaune, J. R. Decker, and R. D. Phillips, "Effects of 60 Hz electric fields on avoidance behavior and activity of rats." *Bioelectromagnetics*, Vol. 1, No. 3, 299-312, 1980.
6. Hjerresen, D. L., M. C. Miller, W. T. Kaune, and R. D. Phillips, "A behavioral response of swine to a 60 Hz electric field." *Bioelectromagnetics*, Vol. 3, No. 4, 443-452, 1982.
7. Rosenberg, R. S., P. H. Duffy, and G. A. Sacher, "Effects of intermittent 60 Hz high voltage electric fields on metabolism, activity, and temperature in mice." *Bioelectromagnetics*, Vol. 2, No. 4, 291-303, 1981.

8. Janssen, P. A., A. H. Jagéneau, and K. H. Schellekens, "Chemistry and pharmacology of compounds related to 4-(4-hydroxy-4-phenyl-piperidino)-butyrophenone. TV. Influence of haloperidol (R 1625) and of chlorpromazine on the behaviour of rats in an unfamiliar 'open field' situation," *Psychopharmacologia*, Vol. 1, 389-392, 1960.
9. File, S. E., "Effects of chlorpromazine on exploration and habituation in the rat," *British Journal of Pharmacology*, Vol. 49, No. 2, 303-310, 1973.
10. Morris, R., "Development of a water maze procedure for studying spatial learning in the rat," *Journal of Neuroscience Methods*, Vol. 11, No. 1, 47-60, 1984.
11. Plech, A., T. Kliinkiewicz, and H. Jakrzewska, "Neurotoxic effect of copper salts in rats," *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 9, 301-304, 2000.
12. Nakamura, K. and H. Thoenen, "Increased irritability: A permanent behaviour change induced in the rat by intraventricular administration of 6-hydroxydopamine," *Psychopharmacologia*, Vol. 24, No. 3, 359-372, 1972.

ISEF 2011 - XV Międzynarodowe Sympozjum na temat pola elektromagnetycznego w mechatronice,
inżynierii elektrycznej i elektronicznej
Funchal, Madeira, 1-3 września 2011 r.

WPLYW STATYCZNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO GENEROWANEGO W PRZYPADKU WYSOKONAPIĘCIOWYCH LINII PRZESYŁOWYCH PRĄDU STAŁEGO NA ZACHOWANIA SZCZURÓW

Grzegorz Cieślak¹, Janina Mrowiec¹, Paweł Sowa², Aleksander Sieroń¹

¹ Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Fizykoterapii w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, ul. Batorego 15,
Bytom, PL-41902, Polska. E-mail: cieslarl@tlen.pl

² Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Bolesława Krzywoustego 2, Gliwice, PL-41100,
Polska. E-mail: Pawel.Sowa@polsl.pl

***Streszczenie** - Wpływ długotrwałej ekspozycji całego ciała na statyczne pole elektryczne mające fizyczne parametry generowane w pobliżu rzeczywiście istniejących wysokonapięciowych linii przesyłowych. Szczury były narażane przez 56 kolejnych dni (8 godzin na dobę) na statyczne pole elektryczne o natężeniu 16 i 25 kV/m lub ekspozycja była pozorowana. Przed rozpoczęciem, a następnie w wyznaczonych dniach cyklu ekspozycji dokonano oceny aktywności lokomotorycznej, aktywności rozpoznawczej, nauki przestrzeni i drażliwości. Odnotowano jedynie przejściowe zmniejszenie aktywności lokomotorycznej w początkowej fazie cyklu ekspozycji bez wpływu na aktywność rozpoznawczą, pamięć miejsca i drażliwość.*

Wprowadzenie

Wysokonapięciowe linie energetyczne generują największe natężenie pola elektrycznego, z którym mogą się zetknąć ludzie. Maksymalna intensywność pola elektrycznego bezpośrednio pod liniami przesyłowymi 400 kV wynosi około 11 kV/m przy minimalnym odstępie 7,6 m, chociaż ludzie są ogólnie narażeni na pola znacznie poniżej tego poziomu. 25 m po obu stronach linii elektroenergetycznej 50 Hz natężenie pola wynosi około 1 kV/m. Obiekty takie jak drzewa i inne uziemione obiekty mają działanie ekranujące i ogólnie zmniejszają siłę pola elektrycznego w ich pobliżu. Budynki znacznie osłabiają pola elektryczne, a natężenie pola elektrycznego może wynosić od jednego do trzech rzędów wielkości mniej wewnątrz budynku niż na zewnątrz. Pola elektryczne, na które ludzie są narażeni w budynkach są wytwarzane na ogół przez wewnętrzne okablowanie i urządzenia, a nie przez źródła zewnętrzne. Współczesne przewody wysokonapięciowe zostały zaprojektowane do przesyłu prądu stałego (DC), wytwarzając zarówno pola elektrostatyczne, jak i magneto statyczne. Pod linią przesyłową prądu stałego wysokiego napięcia 500 kV (HVDC), statyczne natężenie pola elektrycznego może osiągnąć wartość 30 kV/m lub wyższą [1]. Silne pola elektryczne znajdują się głównie w pobliżu prądów o wysokim napięciu [2]. W przemyśle energetycznym, prądy o wysokim napięciu znajdują się w liniach napowietrznych i podziemnych oraz w szynach, w elektrowniach i podstacjach. Szyna zbiorcza w pobliżu generatorów w elektrowniach może przesyłać prąd do 20 razy większy niż zwykle prądy przesyłane przez linię transmisyjną 400 kV [3]. Jak dotąd, tylko nieliczne osoby żyją w odległości 50-300 m od linii elektroenergetycznych, więc linie te stanowią główne źródło narażenia dla mniej niż 1% populacji [4]. W ostatnich latach, w wielu krajach budowane są wysokonapięciowe linie przesyłowe prądu stałego (HVDC), również na obszarach zamieszkałych przez wiele osób. Do tej pory, w dostępnej literaturze jest tylko kilka doniesień [5] przedstawiających wyniki badań eksperymentalnych poświęconych wpływom silnych statycznych pól elektrycznych na zachowanie zwierząt doświadczalnych, ale naszym zdaniem, badania dotyczące tego zagadnienia mają duże znaczenie. Celem pracy było oszacowanie wpływu długotrwałej ekspozycji całego ciała szczurów na silne, statyczne pole elektryczne o parametrach fizycznych generowanych w pobliżu wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego na ich zachowanie za pomocą rutynowych testów eksperymentalnych.

Dostatecznie duża gęstość ładunku powierzchniowego może być postrzegana poprzez jej oddziaływanie z włosami na ciele (zwłaszcza na głowie) i innymi skutkami, takimi jak wyładowania isker (mikrowstrząsy). Proóg percepcji pola elektrycznego u ludzi zależy od różnych czynników i może wahać się pomiędzy 10-45 kV/m. Stwierdzono, że u zdrowych ochotników drażniące odczucia są powodowane przez pola o natężeniu około 25 kV/m [11]. W dostępnej literaturze brakuje badań dotyczących przewlekłych lub opóźnionych skutków ekspozycji na statyczne pola elektryczne. Niewiele badań przeprowadzono nad ostrymi skutkami efektów statycznego pola elektrycznego. Ogólnie rzecz biorąc, wyniki sugerują, że jedyne niekorzystne efekty są związane z bezpośrednim odczuciem pól i dyskomfortem powodowanym przez mikrowstrząsy. Biorąc pod uwagę, że ani wyniki niniejszego badania, ani żadne z przeprowadzonych dotychczas badań nie dały dowodów na trwale niekorzystne wpływy zdrowotne statycznego pola elektrycznego na zachowanie szczurów, inne niż związane z odczuciem powierzchniowego ładunku elektrycznego, wydaje się, że odnotowane przejściowe skutki behawioralne są związane z możliwym stresem wynikającym z długotrwałej ekspozycji na pole.

Wnioski

Długotrwała ekspozycja całego ciała szczurów na silne statyczne pole elektromagnetyczne, mające fizyczne parametry zbliżone do tych generowanych przez rzeczywiste wysokonapięciowe linie przesyłowe, powoduje jedynie przejściową, znaczącą redukcję

aktywności lokomotorycznej w początkowej fazie cyklu ekspozycji, bez żadnego wpływu na czynności rozpoznawcze, pamięć miejsca i drażliwość zwierząt.

Bibliografia

- [1] M.H. Repacholi, B. Greenebaum, Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: Health effects and research needs, *Bioelectromagnetics*, Vol.20, pp 133-160,1995
- [2] J.B.J. Maddock, Overhead line design in relation to electric and magnetic field limits, *Power Engineering Journal*, Vol. 6(5), pp 217-224, 1992
- [3] C.J. Merchant, D.C. Renew, J. Swanson, Occupational exposure to power frequency magnetic fields in the electricity supply industry, *Journal of Radiological Protection*, Vol. 14(2), pp 155-164,1994
- [4] M.L. McBride, R.P. Gallagher, C. Theriault, et al., Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada, *American Journal of Epidemiology* Vol. 149(9), pp 831-842, 1999
- [5] E. Van Rongen, R.D. Saunders RD, E.T. Van Deventer, M.H. Repacholi, Static fields: biological effects and mechanisms relevant to exposure limits, *Health Physics*, Vol.92(6), pp 584-590, 2007
- [6] R.G. Lister, Ethologically-based animal models of anxiety disorders, *Pharmacological Therapy*, Vol. 46<3X pp 321-340, 1990.
- [7] R. Morris, Development of a water maze procedure for studying spatial learning in the rat, *Journal of Neuroscience Methods*, Vol.11(1), pp 47-60, 1984
- [8] G. CieSiar, J. Mrowiec, P. Sowa, et al., Influence of long-term exposure to static, high voltage electric field on behavioural reactions in rats, XXVILth General Assembly of International Union of Radio Science URSI GA 2005, New Delhi 23-29.10.2005, Proceedings, K06.1, pp 1-4,2005.
- [9] J.A. Creim, R.H. Lovely, R.J. Weigel, W.C. Forsythe, L.E. Anderson, Rats avoid exposure to HVdc electric fields: a dose response study, *Bioelectromagnetics*, Vol. 14(4), pp 341-352, 1993
- [10] N.M. Gromyko, O.L. Krivodaeva, Features of the behavioral reactions of rats during exposure to constant electrical fields of varied intensities, *Neuroscience and Behavioral Physiology*, Vol_22(5), pp 419- 422, 1992
- [11] B.A. Clairmont, G.B. Johtison, L.E. Zaffanella, S. Zelingher, The effect of HVAC-HVET line separation in a hybrid corridor, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.4(2), pp 1338-1350, 1989

Wpływ ekspozycji na działanie statycznego pola elektrycznego generowanego przez wysokonapięciowe linie przesyłowe prądu stałego HVDC na aktywność przeciwutleniającą hepatocytów u szczurów

G.Cieślak¹, J. Fiolka², J. Mrowiec¹, P. Sowa³, S. Kasperczyk²,
E. Birkner² i A. Sieron¹

¹ Katedra i Klinika Chorób Wewnętrznych, Angiologii i Fizykoterapii w Bytomiu, Śląski Uniwersytet Medyczny, Polska

² Zakład biochemii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Polska

³ Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Politechnika Śląska, Polska

Streszczenie – W badaniu tym zbadano wpływ długotrwałej ekspozycji całego ciała na silne, statyczne pole elektryczne generowane zwykle w pobliżu linii przesyłowych wysokonapięciowych prądu stałego (HVDC) na aktywność niektórych enzymów antyutleniających w homogenatach tkanki wątroby szczurów. Materiał eksperymentalny składał się z 64 samców szczurów albinosów Wistar w wieku 8 tygodni, ważących 180-200 g. Podczas całego eksperymentu wszystkie zwierzęta umieszczano w identycznych warunkach środowiskowych w 12-godzinny cykl dnia i nocy, ze swobodnym dostępem do standardowego pokarmu laboratoryjnego i wody. Wszystkie zwierzęta losowo podzielono na 2 grupy (po 32 zwierzęta). Grupy eksperymentalne szczurów były poddawane ekspozycji przez 56 kolejnych dni (8 godzin na dobę) na statyczne pole elektryczne o natężeniu prądu elektrycznego 25 kV/m (zwykle mierzone w pobliżu faktycznie istniejących linii przesyłowych HVDC), w specjalnie zaprojektowanym układzie eksperymentalnym. Zwierzęta kontrolne poddawano ekspozycji pozorowanej w tym samym układzie eksperymentalnym, podczas której nie wytwarzano pola elektrycznego pomiędzy elektrodami. W 14, 28 i 56 dniu cyklu ekspozycji, a następnie 28 dnia po zakończeniu cyklu ekspozycji, zwierząt ze wszystkich grup (8 szczurów jednocześnie) wykrywano w narkozie po podaniu Morbitalu. Następnie w homogenatach przygotowanych z uzyskanych próbek wątroby aktywność niektórych przeciwutleniaczy enzymów, jak np. katalaza, S-transferaza glutationu, peroksydaza glutationowa, reduktaza glutationowa i dysmutaza nadadtlenkowa została określona z zastosowaniem metod spektrofotometrycznych, a także stężenia dialdehydu malonowego (marker intensywności procesów utleniających w tkankach). W wyniku powtarzających się ekspozycji w eksperymentalnej grupie szczurów narażonych na działanie pola elektrycznego, odnotowano znaczący wzrost aktywności peroksydazy glutationowej i reduktazy glutationowej w 56 dniu cyklu ekspozycji, znaczny spadek aktywności dysmutazy nadadtlenkowej w 14 dniu cyklu ekspozycji, jak również brak statystycznie istotnych zmian w aktywności katalazy i S-transferazy glutationu, zarówno podczas jak i po zakończeniu cyklu ekspozycji. Ponadto, w grupie eksperymentalnej szczurów zaobserwowano znaczne zmniejszenie, w porównaniu z grupą kontrolną, stężenia dialdehydu malonowego w homogenatach tkanki wątroby w 28 dniu od zakończenia cyklu ekspozycji. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że silne statyczne pola elektromagnetyczne o parametrach generowanych zwykle w pobliżu wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego nie powodują trwałego niekorzystnego wpływu na reakcje przeciwutleniające w wątrobie gryzoni.

Dane te wskazują, że właściwa budowa wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego pozwala uniknąć poważnych zagrożeń dla zdrowia ludzi związanych z zaburzeniami procesów przeciwutleniających w organizmach żywych.

1. WPROWADZENIE

Niektóre dane eksperymentalne wskazują, że silne pola elektromagnetyczne generowane w pobliżu linii przesyłowych mogą wytwarzać zwiększoną liczbę reaktywnych form tlenu w tkankach, co powoduje stymulację peroksydacji lipidów membranowych prowadzącą do apoptozy i śmierci komórek [1, 2]. Podobnie, jak w poprzednim eksperymencie [3] stwierdziliśmy, że silne, statyczne pole elektryczne o parametrach wyższych od tych dozwolonych przez aktualne przepisy prawne w zakresie budowy wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego, powoduje nadmierne hamowanie aktywności enzymów przeciwutleniających w erytrocytach z późniejszą adaptacyjną stymulacją tej aktywności po zakończeniu cyklu ekspozycji, celem obecnego badania było oszacowanie wpływu długotrwałej ekspozycji całego ciała na statyczne pole elektryczne z parametrami zwykle generowanymi przez faktycznie istniejące linie przesyłowe na aktywność niektórych enzymów przeciwutleniających oraz stężenie dialdehydu malonowego (znacznika intensywności patologicznych procesów utleniania w żyjącym organizmie) w homogenatach wątroby szczurów.

2. MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny składał się z 96 samców szczurów albinosów Wistar w wieku 8 tygodni, ważących 180-200 g. Podczas całego eksperymentu, wszystkie zwierzęta umieszczono w identycznych warunkach środowiskowych (stała

5. WNIOSKI

Ekspozycja na statyczne pole elektryczne z parametrami fizycznymi generowanymi zwykle w pobliżu przewodów linii przesyłowych HVDC nie powoduje trwałego, szkodliwego wpływu na reakcje przeciwutleniające w wątrobie zwierząt doświadczalnych. Pozyskane dane eksperymentalne wskazują, że prawidłowa budowa wysokonapięciowych linii przesyłowych prądu stałego pozwala uniknąć poważnych zagrożeń dla zdrowia ludzkiego, które są związane z zaburzeniami procesów przeciwutleniających w organizmach żywych.

BIBLIOGRAFIA

1. Hisamitau, T., K. Marita, and T. Kasahara, "Induction of apoptosis in human leucemic cells by magnetic fields," *Japan Journal of Physiology*, Vol. 47, No. 3, 307-310, 1997.
2. Wolf, F. I., A. Torsello, B. Tedesco, S. Fhsanella, A. Boninsegna, M. D'Ascenzo, C. Grassi, G. B. Azzena, and A. Cittadini, "50-Hz extremely low frequency electromagnetic fields enhance cell proliferation and DNA damage: Possible involvement of a redox mechanism," *Biochimica et Biophysica Acta*, Vol. 1743, No. 1-2, 120-129, 2005.
3. Cieelar, G., A. Sieron, and P. Sowa, "Influence of high voltage static electric field on activity of antioxidant enzymes in rats," *Proceedings of 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society '2003*, Vol. 4, 3257-3260, 2003.
4. Aebi, H., "Catalase in vitro," *Methods in Enzymology*, Vol. 105, 121-126, 1984.
5. Paglia, D. and W. Valentine, "Studies on the quantities and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase," *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, Vol. 70, No. 1, 158-169, 1967.
6. Oyanagui, Y., "Evaluation of assay methods and establishment of kit for superoxide dismutase activity," *Analytical Biochemistry*, Vol. 142, No. 2, 290-296, 1984.
7. Okkawa, H., N. Ohishi, and K. Yagi, "Assay for peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction," *Analytical Biochemistry*, Vol. 95, No. 2, 351-358, 1979.
8. Fridovich, I., "Superoxide radical and superoxide dismutases," *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 64, 97-112, 1995.
9. Suzuki, Y. J., H. J. Forman, and A. Sevanian, "Oxidants as stimulators of signal transduction," *Free Radicals in Biology and Medicine*, Vol. 22, No. 1-2, 269-285, 1997.
10. Droge, W., "Free radicals in the physiological control of cell function," *Physiological Reviews*, Vol. 82, No. 1, 47-95, 2002.

Określenie wpływu pola elektromagnetycznego o niskich i wysokich częstotliwościach na organizm człowieka

P. Sowa

Streszczenie — W artykule zaprezentowano aktualny stan szeroko zakrojonych badań nad wpływem pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne. Scenariusz badań - symulacja naturalnych warunków pracy w miejscu pracy z uwzględnieniem wpływu pola elektromagnetycznego o niskiej i wysokiej częstotliwości. Poniżej zaprezentowano biologiczne skutki pól elektromagnetycznych o niskich i wysokich częstotliwościach. Podano wyniki badań prowadzonych na zwierzętach. Dokonano przeglądu norm i przepisów dotyczących poziomów natężenia pola elektromagnetycznego.

Słowa kluczowe — pole elektromagnetyczne i środowisko, biologiczny wpływ pola elektrycznego na organizm człowieka, symulacja naturalnych warunków w miejscu pracy

1. WPROWADZENIE

Pola ELEKTROMAGNETYCZNE o różnych częstotliwościach oddziałują na organizm na różne sposoby. Przy niskiej częstotliwości 85 - szkodliwe oddziaływanie na ludzki organizm generowane jest w otoczeniu linii i urządzeń elektrociepłowni. Nagrzewanie się jest głównym biologicznym objawem wpływu pól elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej.

Obszary aktualnych badań naukowych dotyczących interakcji pomiędzy organizmami żywymi a polami elektromagnetycznymi dotyczą bardzo niskiej częstotliwości (50-60 Hz) oraz częstotliwości generowanych przez telefony satelitarne (w kilo-, mega- i giga-Hz).

Badania prowadzone w ostatnich dwóch dekadach intensywnie koncentrują się na określaniu potencjału rozwoju nowotworów (białaczki dziecięcej, nowotworów mózgu i chorób układu chłonnego) pod wpływem pola elektromagnetycznego i pojawieniu się choroby układu nerwowego.

Pomimo wielu badań, dowody na jakikolwiek wpływ nadal są bardzo kontrowersyjne. Jest jednak oczywiste, że pola elektromagnetyczne mają wpływ na środowisko naturalne, mimo to dotychczasowe wyniki zawierają wiele niespójności.

Błędy prowadzonych badań są konsekwencją statystycznie błędnego wyboru badanej grupy, nieprawidłowej informacji o ekspozycji w ciągu dnia oraz niemożności wyboru optymalnej grupy kontrolnej.

Ponadto, celem badania jest warunkowanie wyników (producent-emitenci).

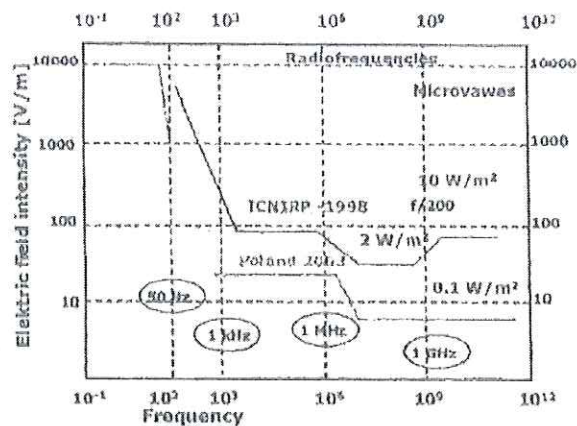
Państwa określają własne normy krajowe dotyczące

ekspozycji na pola elektromagnetyczne. Jednakże większość z tych krajowych standardów opiera się na wytycznych Międzynarodowej Komisji ds. Ochrony przed Promieniowaniem Niejonizującym (ICNIRP). Ta pozarządowa organizacja, oficjalnie uznana przez WHO, ocenia wyniki naukowe z całego świata. Na podstawie pogłębionej analizy literatury, ICNIRP opracowuje wytyczne zalecające limity ekspozycji. Wytyczne te są okresowo przeglądane i aktualizowane, jeśli to konieczne.

Podstawą wytycznych ICNIRP są wyniki analiz i eksperymentów przeprowadzanych na całym świecie. Zasady obowiązujące w wielu krajach (normy krajowe) powstają w wyniku tych międzynarodowych wytycznych [1, 2].

Z obowiązujących przepisów dotyczących ochrony środowiska wynika, że przyjęte i zastosowane w Polsce dopuszczalne wartości intensywności pola elektromagnetycznego 50 Hz w środowisku naturalnym są bardziej rygorystyczne od zalecanych w Unii Europejskiej i przez Światową Organizację Zdrowia.

Jako przykład, na rysunku 1 pokazano porównanie dopuszczalnych poziomów ekspozycji społeczeństwa – ekspozycji na pole elektromagnetyczne, wg. ICNIRP (zalecenia z 1998 r.) i polskiego rozporządzenia (2003 r.).

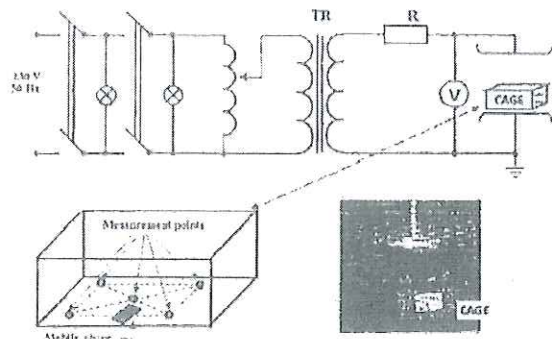


Rys. 1. Dopuszczalne publiczne poziomy ekspozycji na działanie pola elektrycznego

Prace te wspierało Ministerstwo Oświaty i Szkolnictwa Wyższego (Warszawa, Polska) jako projekt badawczy 2010-2012 (grant Nr N511 351737).

P. Sowa jest Dyrektorem Instytutu Elektroenergetyki i Sterowania Układów oraz wiceprzewodniczącym ds. Nauki i Organizacji Wydziału Elektrotechniki Politechniki Śląskiej, Polska (e-mail: Paw-el.Sowa@pob.pl) tel.: +4832371481

Generator pola elektromagnetycznego w formie mobilnego terminala wielu zakresów Nokia, (strefa oddziaływania dalekiego pola). Zasadniczą ideę laboratorium pokazano na rysunku 5.



Rys. 5 Idea systemu symulacji

W eksperymencie z użyciem modelu badań na zwierzętach, materiałem były samce szczurów Wistar w wieku 8 tygodni, które podzielono losowo na cztery równe grupy: grupa kontrolna poddawana ekspozycji pozorowanej (podczas której system nie generował pola elektromagnetycznego), grupa będąca pod wpływem działania prądu pola elektromagnetycznego 10 kV/m generowanego w typowej linii przesyłowej otoczonej prądem zmiennym o częstotliwości 50 Hz, grupa poddana działaniu pola elektromagnetycznego generowanego przez standardowy telefon komórkowy o częstotliwości 900-1800 Mz i grupa poddana jednocześnie oddziaływaniu intensywności pola elektromagnetycznego 10 kV/m generowanego w otoczeniu linii przesyłowych AC o częstotliwości 50 Hz i pola elektromagnetycznego generowanego przez telefon komórkowy o częstotliwości w zakresie 900-1800 Mz (symulacja codziennej aktywności inżynierów pracujących w pobliżu urządzeń elektrycznych i rozmawiania przez telefon komórkowy podczas pracy). Każda grupa składała się z 10 zwierząt. Okres cykli codziennej 8-godzinnej ekspozycji zwierząt z różnych grup na odpowiednie formy interakcji pola elektromagnetycznego wynosił 28 dni. Po ekspozycji na pole elektromagnetyczne lub pozorowane, zwierzęta były poddawane sekcji zwłok w znieczuleniu, aby otrzymać krew do celów badań biochemicznych, a tkanki i narządy do oceny histopatologicznej i wdrożenia homogenatów do oznaczeń biochemicznych. Powstałe homogenaty surowicy i tkanek przygotowane w niedalekiej przyszłości będą nosić oznaczenia obejmujące następujące parametry biochemiczne: aktywność wybranych enzymów przeciwutleniających; dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydaza glutationowa i katalaza oraz wybrane markery stresu oksydacyjnego (dialdehyd malonowy). Wyniki symulacji zostaną opublikowane w najbliższej przyszłości.

VII. UWAGI KOŃCOWE

W prezentowanym artykule przedstawiono aktualny stan badań nad wpływem pola elektromagnetycznego na środowisko naturalne oraz scenariusz symulacji warunków naturalnych w miejscu pracy. Wpływ zewnętrznego oddziaływania pola elektromagnetycznego na organizm człowieka i jego komórki zależy głównie od częstotliwości, wielkości lub wytrzymałości pola elektromagnetycznego. Niska i wysoka częstotliwość fal elektromagnetycznych wpływa na organizm człowieka na różne sposoby. Przy niskich częstotliwościach, zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne

indukują małe cyrkulacyjne prądy wewnątrz ciała. Głównym efektem pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej jest nagrzewanie się tkanek ciała.

Aby znaleźć ochronę w miejscu pracy w pobliżu wysokonapięciowych urządzeń i przy użyciu telefonów komórkowych, należy wziąć pod uwagę symulację warunków naturalnych.

Badania na zwierzętach mają zasadnicze znaczenie dla przypisania wpływu odnotowanego w ludzkich organizmach, których fizjologia przypomina w pewnym stopniu ludzi. Wyniki rozmaitych badań (komórkowych, zwierzęcych i epidemiologicznych) muszą być wzięte pod uwagę łącznie zanim zostaną wyciągnięte wnioski o możliwych zagrożeniach dla zdrowia wynikających z podejrzenia o zagrożenie dla środowiska.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P.Sowa. Influences of electromagnetic fields on the natural environment. Electrical Review (Przegląd Elektrotechniczny), 9, 2008. ISSN 0033-2097, pp.55- 60.
- [2] Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). Official Journal L 199, 30/07/1999, pp.59-70. 1999/519/EC.
- [3] G.Cieślak, J.Mrowiec, P.Sowa, A.Sieroi, Effect of Static Electric Field Generated Nearby High Voltage Direct Current Transmission Lines on Behavior in Rats, ISEF 2011 - XV International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering Funchal, Madeira, September 1-3, 2011.
- [4] G.Cieślak, J.Matyszek-Tumidajewicz, P.Sowa, A.Sieroi, Effect of Static Electric Field Generated Nearby High Voltage Direct Current Transmission Lines on Prooxidant -Antioxidant Balance in Rats, EHE 2011, 4th International Conference on Electromagnetic Field Health and Environment, Coimbra, Portugal, May, 2011, s. 1-7.
- [5] G.Cieślak, P.Sowa, B.Kos-Kudła, A.Sieroi, Influence of Static Electric Field Generated Nearby High Voltage Direct Current Transmission Lines on Hormonal Activity of Experimental Animals, Electromagnetic Field Health and Environment, Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics, Volume 29, IOS Press, ISBN 978-1-58603-860-1, Amsterdam 2008, str. 72 - 78.
- [6] Alexander v. Kramarenko, Uner Tan, Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. Intern. J. Neuroscience. 113:1007-1019, 2003.
- [7] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics April 1998, Volume 74, Number 4, pp 494 - 521



Paweł Sowa (M'1998) received his Dipl.-Ing. degree in electrical engineering from the Silesian University of Technology (SUT) Poland in 1971. After his studies, he joined the Institute of Power Systems & Control in SUT, Poland, where he received his PhD degree in 1980, and D.Sc. degree in 1997. He is Professor (1999), Director of Institute of Power Systems & Control (2008) and Vice-Dean for science and organization of the Faculty of Electrical Engineering (2005) at Silesian University of Technology. His major scientific interest is focused on influences of electromagnetic fields on the natural environment, modeling and digital simulation of faults and emergency conditions in electric power systems, development and optimization of power systems protection and local control schemes.