

BADANIE WPLYWU NISKOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO POLA MAGNETYCZNEGO ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) NA WYBRANE PARAMETRY ELEKTROFIZJOLOGICZNE ORGANIZMU

Zbigniew DAMIJAN

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki
Laboratorium Akustyki Strukturalnej i Inżynierii Biomedycznej
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30, fax: (012) 617 31 12, email: damijan@imir.agh.edu.pl

Streszczenie

W wykonanych przez autora badaniach nt. wpływu infradźwięków na organizm człowieka prowadzonych w kabinie ciśnieniowej typu węgierskiego, bodziec generowano za pomocą głośników elektrodynamicznych GDN 30/80, oprócz ekspozycji dźwięku, czynnikiem zakłócającym było pole elektromagnetyczne (PEM). Pole elektryczne eliminowano przez zastosowanie siatki Faradaya. Czynnikiem zakłócającym pozostawało zmienne pole magnetyczne (PM) głośników ($f=7$ Hz, $B=330$ nT).

Autor postawił tezę, że PM niskiej częstotliwości może wpływać na organizm człowieka. Jako estymaty wpływu ekspozycji PM zaproponowano wariancję oraz wartość skuteczną sygnału EEG.

W eksperymencie uczestniczyło 28 ochotników, obojga płci. Uczestnicy zostali poddani 20 minutowej ekspozycji PM ($f=7$ Hz, $B=330$ nT). Badania przeprowadzono w roku 2003. Przeprowadzone analizy wskazują, że organizm człowieka jest wrażliwy na ekspozycję „bardzo słabego” PM, następują zmiany wartości wariancji oraz wartość skutecznej sygnału EEG.

Słowa kluczowe: niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne, czynność bioelektryczna.

THE EFFECTS OF LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELD ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) EXPOSURE ON SELECTED PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF HUMAN BODY

Summary

In the author's research program to investigate the effects of infrasound exposure on the human body, tests were performed in a Hungarian type pressure cabin. The applied stimuli were generated by electrodynamic speakers GDB 30/80. Apart from sound exposure, the excitation was applied in the form of electromagnetic field (EMF). The electric field was eliminated by Faraday cage and magnetic field (MF) ($f=7$ Hz, $B=330$ nT) remained as a disturbing agent.

The author put forward a hypothesis that that low frequency magnetic field might affect human body. Variance and the effective value of EEG signal are taken as estimates the effects of PM exposure.

The test group included 28 volunteers, both males and females. They were subjected to 20 min of MF exposure ($f=7$ Hz, $B=330$ nT). Tests were performed in 2003. The research data reveal human sensitivity to the 'weak' field exposure, which is borne out by the obtained variance values and effective values of EEG signals.

Keywords: low-frequency magnetic field, bioelectric activity.

1. WSTĘP

W 1960 roku R. König i F. Ankermtiller wykazali niezwykle dużą wrażliwość człowieka na niskoczęstotliwościowe pola elektromagnetyczne (ang. Ultra Low Frequencies ULF - zakres od 3 do 30 Hz). W związku z podejrzeniem wpływu elektryczności atmosferycznej na stan psychiczny ludzi, badali oni reakcje na zmienne pole elektryczne o częstotliwości 2 - 6 Hz i amplitudzie 1 do 5 V/m. Stwierdzili, że u wielu badanych po 8 - 12 minutowej ekspozycji pola, pojawiało się poczucie senności i istotne spowolnienie reakcji

motorycznych. Wynik badań był o tyle zaskakujący, że kilka lat wcześniej E. Hartman poszukując nowych efektów terapeutycznych, stosował znacznie silniejsze pola i podobnych zjawisk nie odkrył. Znacznie później okazało się, że duże amplitudy pól wywołują nieproporcjonalnie słabe reakcje, gdyż receptory biologiczne pól są silnie nieliniowe (zjawisko blokady) [6, 7, 10, 11].

Składowa magnetyczna pola EM o niskich częstotliwościach przenika organizmy właściwie bez żadnego tłumienia i o wiele silniej na nie oddziałuje. Biologiczny zakres częstotliwości pól wywołujących silne reakcje w organizmach żywych

rozciąga się od ułamków Hz do około 30 Hz. Pod względem amplitud pola dzieli się obecnie na dwa zakresy: pól słabych, od pT do nT oraz pól silnych od nT do mT. Podział ten wynika z odmiennego wpływu pól na organizmy, pola słabe działają biostymulacyjnie (przekaz informacji), natomiast pola silne - fizykoterapeutycznie [1, 2, 3, 6, 7, 10, 11].

Z wielu prac wynika, że strefa nieczułości układów biologicznych zawiera się w zakresie częstotliwości 45 - 75 Hz. W przypadku pól magnetycznych maksimum efektów biologicznych obserwuje się w czterech pasmach częstotliwości: do 0,02, (0,5 - 0,6), (5 - 6) oraz (8 - 11) Hz. Zarówno zakres wymienionych częstotliwości jak i amplitudy pól magnetycznych stosowane w eksperymentach były bardzo zbliżone do charakterystyk naturalnych pól magnetycznych występujących w przyrodzie. W dolnym zakresie częstotliwości są to pola typowe dla burz magnetycznych, spowodowanych prądami płynącymi w jonosferze i mikropulsacji pochodzenia magnetosferycznego. W zakresie wyższych częstotliwości są to pola typowe dla rezonansu jonosferycznego [4, 6, 8, 9].

Wiele prac poświęcono badaniom wpływu pól ULF na rytm serca. Wykazano związki pomiędzy specyfiką czasowego przebiegu pola magnetycznego a czynnością bioelektryczną serca. Podobnie jak w przypadku centralnego układu nerwowego, na pracę serca silnie oddziałują pola słabe. Dość dobrze udokumentowano wpływ pól naturalnych na przewodnictwo mięśnia sercowego [4, 6, 9, 10, 11].

2. CEL PRACY

Celem pracy były badania i analizy wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego o częstotliwości $f=7$ Hz i indukcji magnetycznej $B=330$ nT na wytypowane estymaty sygnału EEG. Hipoteza pracy została sformułowana następująco: ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego nie powoduje zmian wariancji (ozn. WA) oraz wartości skutecznej (RMS) sygnału EEG.

3. MATERIAŁ BADAWCZY

Ochotnicy do badań wpływu pola magnetycznego niskiej częstotliwości na czynność bioelektryczną mózgu zostali powiadomieni na temat ogólnego celu badań, zostali zapoznani ze sposobem realizacji eksperymentu oraz podpisali formularz zgody na udział w badaniu. Deklarowali, że nie mają problemów zdrowotnych i nie zażywają leków. Kwalifikacji do uczestnictwa w eksperymencie dokonywał lekarz ze względu na przebyte choroby i urazy neurologiczne, laryngologiczne oraz schorzenia ogólne. Na tym etapie, w wyniku pozytywnej weryfikacji, kwalifikowano do uczestnictwa w eksperymencie.

Do badań zakwalifikowano 28 ochotników obojga płci, 9 kobiet i 19 mężczyzn, w wieku 20 - 40 lat. Badani zostali poinformowani, by przed eksperymentem nie spożywać napojów pobudzających lub odurzających.

Stanowisko doświadczalne zaprojektowano i wykonano dla potrzeb eksperymentu. Składa się ono:

- z toru generowania bodźca (sygnał z pliku typu WAV wzmacniano wzmacniaczem mocy ELMUZ 2158 M, podawano na sześć głośników GDN 30/80 (z unieruchomionymi w sposób mechaniczny membranami i zaprojektowanym do tego celu systemem tłumiącym),
- toru analizy pola magnetycznego (magnetometr typu URSZULA 5 oraz system akwizycji PROSOG),
- kabiny typu ciśnieniowego,
- toru rejestracji i analizy czynności bioelektrycznych (EEG, EKG oraz EDA).

Kabina wykorzystana w badaniach to prostopadłościan o konstrukcji aluminiowej, szkielet samonośny, wzmacniany. Ma ona na celu izolowanie osoby badanej od warunków zewnętrznych laboratorium. W celu zmniejszenia wpływu pola elektrycznego głośników na osobę badaną, kabinę zabezpieczono wewnątrz siatką Faradaya.

W czasie eksperymentów panowały następujące warunki fizyczne:

- ciśnienie atmosferyczne - średnio 1000 hPa,
- temperatura - średnia 294 °K,
- wilgotność względna - 75%,
- poziom ciśnienia akustycznego - dla 7 Hz 60 dB HP (poziom tła),
- indukcja pola magnetycznego w okolicy głowy w czasie doświadczenia - 330 nT (1-20 Hz), 20 nT (50 Hz).

4. PROCEDURA BADANIA

Eksperyment przebiegał według następującego algorytmu:

- przygotowanie osoby do badania, założenie elektrod EEG,
- wejście badanego do kabiny, w trakcie eksperymentu uczestnik badań przebywał w kabinie na fotelu w pozycji półleżącej z zamkniętymi oczami (stan czuwania),
- sprawdzenie jakości połączeń (prawidłowa wartość impedancji między skórą głowy a elektrodą powinna być niższa od 5 k Ω),
- rozpoczęcie 35 minutowej, ciągłej akwizycji sygnału EEG (po 5 minutach - bez bodźca (ozn. etap I) - 20 minutowa ekspozycja niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego (II), wyłączenie ekspozycji, dalsza 10 minutowa akwizycja sygnału EEG, bez bodźca (III),
- zakończenie akwizycji sygnału EEG,
- zdjęcie elektrod, wyjście badanego z kabiny.

Zapis elektroencefalograficzny wykonano za pomocą 25 kanałowej głowicy SAM-25, wykorzystując do analiz 10 kanałów. Do akwizycji sygnałów stosowano oprogramowanie firmy MICROMED, z częstotliwością próbkowania 256 Hz / kanał. Stosowano stykowe elektrody krążkowe Ag/AgCl o średnicy 6 milimetrów, rozmieszczone podłużnie, równolegle, do linii strzałkowej (F_{p1} , F_3 , C_3 , P_3 , O_1 - dla lewej półkuli oraz, odpowiednio F_{p2} , F_4 , C_4 , P_4 , O_2 - dla prawej). Elektrody rozmieszczono zgodnie ze standardem „10 – 20”, stosując montaż dwubiegunowy. Elektrody odniesienia umieszczono na czole, potylicy głowy, oraz na płatku usznym. Kabina, fotel oraz osoba badana były uziemione.

Porównanie wartości zmiennych zależnych RMS oraz WA w kolejnych etapach czasowych eksperymentu (ozn. I, II, i III) wykorzystano do analizy wpływu ekspozycji bodźca na organizm człowieka.

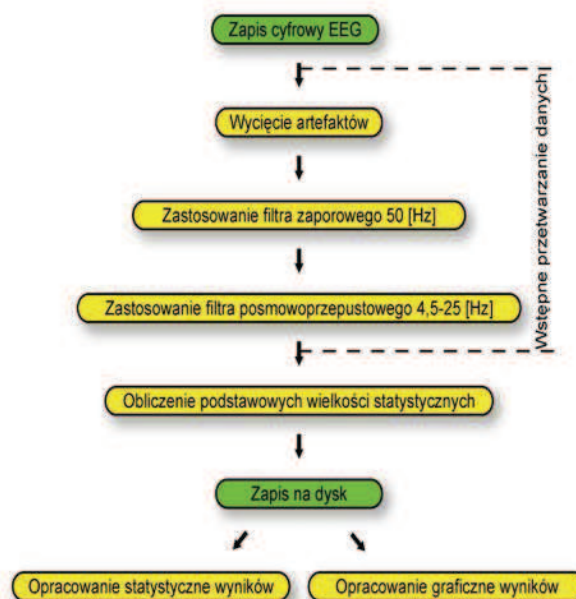
Przeprowadzono 28 badań, z uwagi na to, że kilka zapisów z powodów artefaktów nie nadawało się do analizy, do opracowania statystycznego zakwalifikowano 25 wyników.

Zarejestrowane przebiegi sygnałów EEG zostały zapisane jako pliki tekstowe ASCII. Usunięto z nich nagłówki, tak aby można było przeprowadzić obróbkę danych wejściowych i późniejszą analizę z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego MATLAB (rys. 1).

Wyeliminowanie artefaktów polegało na ograniczeniu amplitudy sygnału do wartości maksymalnej równej trzem odchyleniom standardowym wyznaczonym dla całego przebiegu.

W celu ograniczenia zakłóceń sygnału pochodzących z sieci elektrycznej 50 Hz zastosowano filtr dolnoprzepustowy Butterwortha pierwszego rzędu, do częstotliwości 50 Hz. W celu ograniczenia szerokości pasma poddanego późniejszej analizie użyto filtru pasmowo przepustowego Butterwortha ósmego rzędu, o częstotliwościach granicznych 4,5 - 25 Hz.

Stosowano okno pomiarowe o szerokości 256 punktów (1 sekunda).



Rys. 1. Algorytm przetwarzania danych

Wartości estymat sygnału EEG z 10 kanałów EEG wyznaczano dla każdej osoby, uśredniano - po kanałach - dla każdego etapu eksperymentu. Następnie wyniki uśredniono dla próby. Przykładowe estymaty sygnału EEG przedstawiono na rys. 2. Na wykresie linią pionową zaznaczono moment włączenia (5 min.) i wyłączenia (25 min.) ekspozycji bodźca.

Analizy statystyczne wyników przeprowadzono według algorytmu wnioskowania statystycznego na poziomie istotności $p = 0,05$.

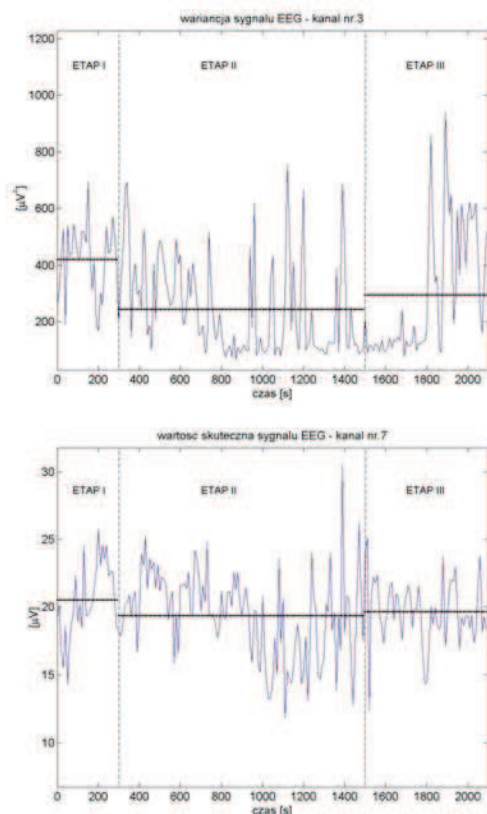
Przeprowadzone badania rodzaju rozkładu za pomocy testów: Kołmogorowa z poprawką Lillieforsa oraz W. Shapiro-Wilka wskazują, że analizowane zmienne nie posiadają rozkładu normalnego.

Istotność statystyczną różnic pomiędzy wartościami średnimi w kolejnych etapach eksperymentu szacowano przy użyciu nieparametrycznego testu Wilcoxon dla dwóch grup zmiennych zależnych.

Wyniki analiz istotności różnic dla zmiennej WA przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 3.

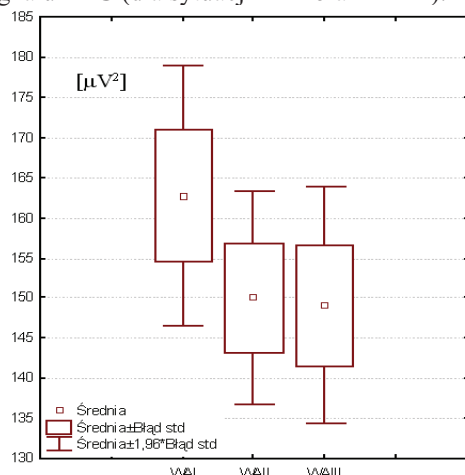
Tabela.1. Test Wilcoxon różnic średnich w kolejnych etapach eksperymentu

Para zmiennych	Test kolejności par Wilcoxon	
	Z	p
WAI&WAI	1,929	0,05363
WAI&WAI	4,148	0,00003
WAI&WAI	1,403	0,16052



Rys. 2. Przykładowe estymaty zmian wariancji oraz wartości skutecznej sygnału EEG, dla wybranych kanałów, w kolejnych etapach eksperymentu z zaznaczonymi trendami zmian

Przeprowadzone analizy zmian średniej wartości wariancji sygnału EEG pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu (ETAP I, ETAP II, ETAP III) za pomocą testu Wilcozona wskazują, że: niskoczęstotliwościowe pole magnetyczne nie wpływa na zmiany wariancji sygnału EEG (dla sytuacji I i II oraz II i III).



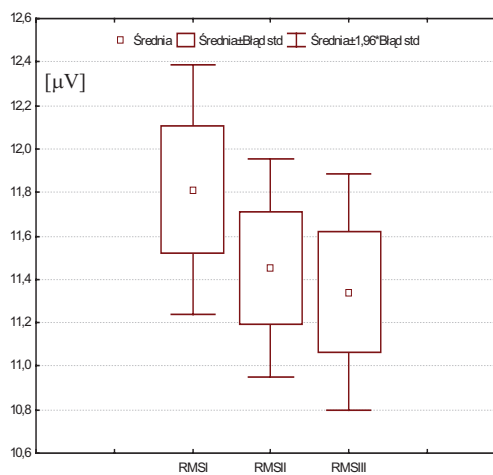
Rys. 3. Analizy zmian wariancji sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu

Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2 oraz na rys. 4.

Tabela. 2. Test Wilcozona różnic średnich w kolejnych etapach eksperymentu

Para zmiennych	Test kolejności par Wilcozona	
	Z	p
RMSI&RMSII	2,134	0,03286
RMSI&RMSIII	4,235	0,00002
RMSII&RMSIII	1,986	0,04702

Przeprowadzone analizy zmian wartości skutecznej sygnału EEG pomiędzy poszczególnymi etapami eksperymentu (ETAP I, II oraz III) za pomocą testu Wilcozona wskazują, że różnice są statystycznie istotne (tab. 2).



Rys. 4. Analizy zmian wartości skutecznej sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na wybrane estymaty sygnału EEG wynika:

- Z analizy statystycznej zmian wartości wariancji sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu można stwierdzić:
 - nie wykazano istotnych różnic wartości wariancji sygnału EEG pomiędzy I i II oraz II i III etapem eksperymentu,
 - wartość wariancji sygnału EEG między etapem I i III istotnie statystycznie maleje, ($W_{AIII} - W_{AI} = -13,62 \mu V^2$ z prawdopodobieństwem testowym $p=0,00003$),
 - w trakcie eksperymentu następuje spadek wartości wariancji sygnału EEG ($W_{AI} = 162,72 \mu V^2$, $W_{AII} = 150,06 \mu V^2$, $W_{AIII} = 149,10 \mu V^2$).
- Z analizy statystycznej zmian średniej wartości skutecznej sygnału EEG w kolejnych etapach eksperymentu można stwierdzić:
 - statystycznie istotny spadek wartości skutecznej sygnału EEG między etapami: I i II, I i III oraz II i III, które wynoszą, odpowiednio: RMSII -

RMSI = $-0,36 \mu\text{V}$ ($p=0,03286$), RMSIII - RMSI = $-0,47 \mu\text{V}$ ($p=0,00002$), RMSIII - RMSII = $-0,11 \mu\text{V}$ ($p=0,04702$),

- w trakcie eksperymentu wartość skuteczna sygnału EEG maleje i odpowiednio dla każdego etapu przyjmuje wartość: RMSI = $11,81 \mu\text{V}$, RMSII = $11,45 \mu\text{V}$, RMSIII = $11,34 \mu\text{V}$.

3. Wariacje, wartość skuteczną sygnału EEG można wykorzystać do analizy wpływu niskoczęstotliwościowego pola magnetycznego na organizm człowieka.

Badania wykonano w ramach Projektu Badawczego nr 3 T11E 006 26 oraz były częściowo sponsorowane przez Fundację Kościuszkowską, Amerykańskie Centrum na rzecz Kultury Polskiej, z funduszu zapewnianego przez Fundację Alfreda Jurzykowskiego.

Autor składa serdeczne podziękowanie za konsultacje medyczne Doktorowi n. med. Mariuszowi Grochala z 5 Wojskowego Szpitala Klinicznego w Krakowie.

LITERATURA

- [1] A. Ahlbom, M. Feychting, A. Gustavsson, J. Hallqvist, Ch. Johansen, L. Kheifets, J. H. Olsen, „Occupational Magnetic Field Exposure and Myocardial Infarction Incidence”, *Epidemiology* 15(4), 403-408, July 2004.
- [2] S. Ghione, C. Del Seppia, L. Mezzasalma, M. Emdin, P. Luschi, „Human head exposure to a 37 Hz electromagnetic field: Effects on blood pressure, somatosensory perception, and related parameters” *Bioelectromagnetics* 25:167-175, 2004.
- [3] F. Giesel, H. Tengg-Kobligk, I. Wilkinson, P. Siegler, C. W. Lieth, M. Frank, K. Lodemann, M. Essig, „Influence of Human Serum Albumin on Longitudinal and Transverse Relaxation Rates (R1 and R2) of Magnetic Resonance Contrast Agents”, *Investigative Radiology* 41(3), 222-228, March 2006.
- [4] J. H. Jeong, J. S. Kim, B. C. Lee, Y. S. Min, D. S. Kim, J. S. Ryu, K. S. Soh, K. M. Seo, U. D. Sohn, „Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system”, *Autonomic & Autacoid Pharmacology*. Vol. 25, Page 17, January 2005.
- [5] M. Kosei, S. Hiroyuki, T. Kenji, N. Yoshiyuki, Y. Kuniaki, „Extremely low frequency magnetic fields originating from equipment used for assisted reproduction, umbilical cord and peripheral blood stem cell transplantation, transfusion, and hemodialysis”, *Bioelectromagnetics* 26, 69-73, 2005.
- [6] A. Kułak, A. Michalec, S. Zięba, K. Maślanka, J. Kubisz, „Czy pola elektromagnetyczne ELF mają wpływ na ludzi?”, Kraków: UJ, 2000.
- [7] M. Lupke, J. Rollwitz, M. Simko, „Cell Activating Capacity of 50 Hz Magnetic Fields to Release Reactive Oxygen Intermediates in Human Umbilical Cord Blood-derived Monocytes and in Mono Mac 6 Cells”, *Free Radical Research*, Vol. 38, September 2004.
- [8] V. Manni, A. Lisi, S. Rieti, A. Serafino, M. Ledda, L. Giuliani, D. Sacco, E. D'Emilia, S. Grimaldi, „Low electromagnetic field (50 Hz) induces differentiation on primary human oral keratinocytes (HOK)”, *Bioelectromagnetics* 25:118-126, 2004.
- [9] S. Micek, Z. Nieckarz, „Wpływ pola elektromagnetycznego bardzo niskiej częstotliwości na serce”, IX Krajowe Sympozjum Nauk Radiowych URSI: 1999.
- [10] M. T. Santini, A. Ferrante, G. Rainaldi, P. Indovina, P. L. Indovina, „Extremely low frequency (ELF) magnetic fields and apoptosis: a review”, *International Journal of Radiation Biology*, Volume 81, Number 1, January 2005.
- [11] M. Sosa, J. Bernal-Alvarado, M. Jimenez-Moreno, J. C. Hernandez, G. Gutierrez-Juarez, M. Vargas-Luna, R. Huerta, J. C. Villagomez-Castro, P. Palomares, „Magnetic field influence on electrical properties of human blood measured by impedance spectroscopy”, *Bioelectromagnetics*, 564-570, Oct 26(7), 2005.
- [12] PN-T-06580-1:2002, PN-T-06580-3:2002 *Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1: Terminologia. i część 3: Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.*



Dr inż. **Zbigniew DAMIJAN**
ur. 9.06.1957r. W 1982 ukończył WAT, Wydział Cybernetyki. Od 2000 - adiunkt WIMiR AGH. Wykształcenie: mechanik, cybernetyk, elektronik, specjalność automatyzacja systemów kierowania i zarządzania. Zainteresowania naukowe: diagnostyka biomedyczna, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, bionika, cybernetyka, psychoakustyka, biometria. Inne zainteresowania: modelarstwo, turystyka, sport.