

Mobilny system do pomiaru wyładowań niezupełnych sterowany falami elektroencefalograficznymi

▶ Andrzej Błachowicz
Szczeban Paszkiel

W artykule przedstawiono koncepcję sterowanego falami mózgowymi, mobilnego systemu do pomiaru wyładowań niezupełnych. Do wykonywania pomiarów wyładowań niezupełnych w dielektrykach urządzeń elektrycznych (kondensatory, transformatory) został opracowany specjalny robot. Ponadto przedstawiona została idea sprzęgnięcia robota z mózgiem człowieka zapewniającego bezpośrednią komunikację na linii mózg człowieka-robot.

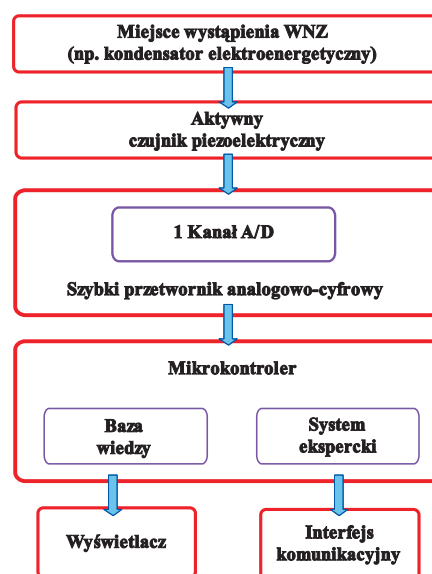
Obecny poziom technologii pozwala na opracowywanie nowych koncepcji realizacji zadań, które dotychczas były trudne do wykonania. Rozwój biocybernetyki oraz informatyki stworzył dogodne warunki do wspierania automatyki i robotyki mechanizmami informatycznymi [1]. Bezpośrednie sterowanie przez mózg człowieka urządzeniami, a konkretnie robotami, jeszcze kilka lat temu trudno było zrealizować ze względów technicznych [2]. Obecnie, dzięki wykorzystaniu elektroencefalografii, można analizować emitowane przez neurony fale mózgowe, a następnie po odpowiedniej ich klasyfikacji zastosować w procesie sterowania [3]. W artykule opisano koncepcję zastosowania fal mózgowych pobieranych za pomocą elektroencefalografu do sterowania robotem mobilnym, który posłuży do zautomatyzowania procesu pomiaru wyładowań niezupełnych (WNZ).

Wyładowania niezupełne

Wyładowania niezupełne występują w dielektrykach urządzeń elektrycznych, takich jak transformatory, kondensatory energetyczne, silniki elektryczne itp. Zjawisko to jest niekorzystne ze względu na charakterystykę izolatora, a wraz z większą częstością WNZ dochodzi do jego znacznej degradacji. Różne mechanizmy fizyczne towarzyszące wyładowaniom elektrycznym, zarówno zupełnym jak i niezupełnym, świadczą o złożoności zagadnienia. Objawom uszkodzenia materiału izolacyjnego towarzyszą czynniki fizykochemiczne, z których najistotniejsze to [4, 5, 6]:

- emitowanie z miejsca występowania wyładowania fali elektromagnetycznej, która jest następstwem impulsu prądowego
- przemiany chemiczne w strukturze izolacji
- odkształcenia sprężyste na poziomie molekularnym prowadzące do emitowania fali akustycznej

▶ mgr inż. Andrzej Błachowicz, mgr inż. Szczeban Paszkiel
– Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki,
Automatyki i Informatyki, Instytut Elektroenergetyki



Rys. 1. Schemat blokowy systemu detekcji WNZ metodą emisji akustycznej

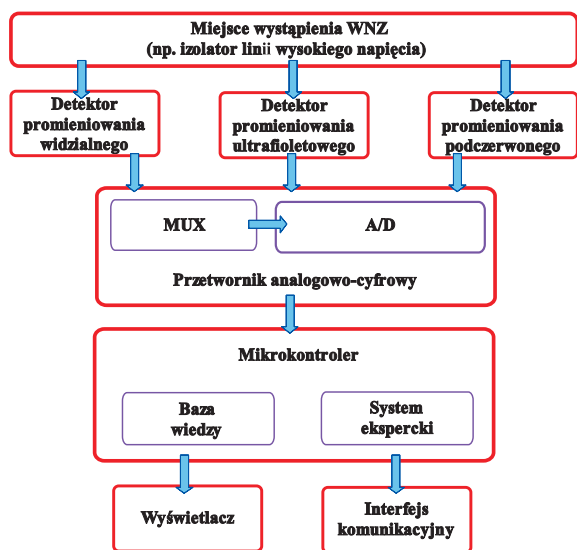
- rozbłyski świetlne emitujące promieniowanie w zakresach spektrum widzialnego, podczerwonego i nadfioletowego
- lokalne implozje powodujące wzrost temperatury oraz zmiany ciśnienia gazu.

Występowanie konkretnych czynników jest bezpośrednio związane ze złożonością konstrukcyjną urządzeń energetycznych zawierających izolatory. Z tego względu proponuje się metody detekcji wyładowań niezupełnych opartych na wykrywaniu poziomu obecności wybranego zjawiska fizykochemicznego [7]. Obecnie pierwsze miejsce w diagnostyce zajmują metody nieinwazyjne. W dziedzinie wyładowań niezupełnych prym wiodą metody pomiaru emisji akustycznej [8, 9, 10] oraz optyczna diagnostyka spektralna [11, 12].

Głównymi elementami systemu (rys. 1) do pomiaru WNZ metodą emisji akustycznej (EA) są: czujnik piezoelektryczny, wejściowe wzmacniacze pomiarowe, szybki przetwornik analogowo cyfrowy oraz układ akwizycji danych. Czujnik piezoelektryczny umieszczony

jest w pobliżu miejsca występowania wylądowania niepełnego. W przypadku pomiarów na rzeczywistym obiekcie należy dokonać „osłuchania” jak największej powierzchni w celu wyznaczenia obszarów o wysokim prawdopodobieństwie występowania WNZ. Miejsce styku czujnika z powierzchnią obiektu powinno być w miarę możliwości jak najlepiej dopasowane, aby uniknąć przesłuchów pochodzących z otoczenia. Duże znaczenie ma możliwość szybkiego przemieszczenia czujników, co znacznie usprawnia proces diagnozy.

Na rys. 2 przedstawiona jest konfiguracja systemu do pomiarów WNZ metodą detekcji widma optycznego. W pobliżu miejsca występowania zjawiska WNZ umieszcza się trzy czujniki optyczne. Każdy z czujników dostosowany jest do innego pasma optycznego. Wyszczególnia się pasmo światła widzialnego, ultrafioletowego oraz podczerwonego.



Rys. 2. Schemat blokowy detekcji WNZ metodą pomiaru widma optycznego

Detektory konstruuje się z elementów półprzewodnikowych, światłoczułych, które pracują dla wyspecyfikowanych długości fal świetlnych. Podczas pomiarów obserwuje się znaczną aktywność w zakresie fal ultrafioletowych, co kierunkuje badania w tym zakresie. Ze względu na bardzo niski poziom energetyczny wylądowań niepełnych, świadczących o degradacji izolatora, należy stosować bardzo czułe tory pomiarowe. Czujniki powinny charakteryzować się dużą selektywnością pasma, wysokim wzmocnieniem oraz bardzo dobrym współczynnikiem stosunku szumu do sygnału użytecznego. Należy stosować specjalnie wyselekcjonowane wzmacniacze pomiarowe przeznaczone do pracy z światłoczułymi elementami półprzewodnikowymi. Ze względu na małą dynamikę sygnału nie jest konieczne stosowanie szybkich układów pomiarowych. Szybkość przetwarzania analogowo-cyfrowego w opisywanej metodzie detekcji WNZ nie musi przekraczać wartości 100 kS/s. Istnieje wówczas realna możliwość zastosowania przetwornika o efektywnej rozdzielczości powyżej 16 bitów.

Robot mobilny

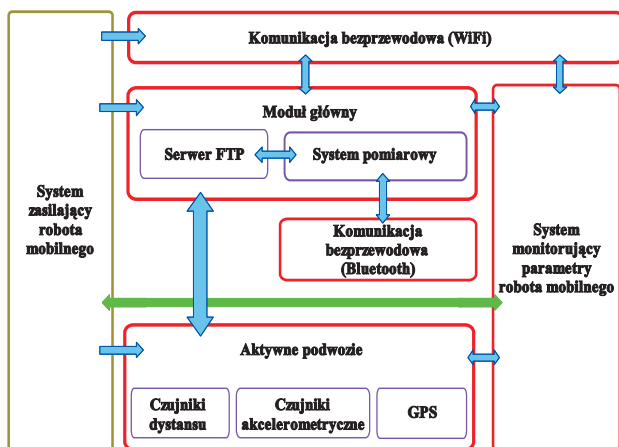
Możliwość prowadzenia pomiarów w obszarach o utrudnionym dostępie do badanego obiektu stanowi poważne wyzwanie natury technicznej. Znaczącą zaletą mobilnej jednostki badawczej jest sposobność dostarczenia aparatury pomiarowej w miejsca, w których przebywanie personelu operatorskiego grozi utratą zdrowia. Zaprojektowany i wykonany robot SQ1 (rys. 3 i 5) jest wyposażony w aparaturę umożliwiającą mu poruszanie się w obszarze potencjalnego zastosowania. Narzędzia pomiarowe, w które wyposażony został robot to: czujniki ultradźwiękowe dystansu, czujniki akcelerometryczne rozmieszczone na kończynach robota oraz w centralnej części korpusu, kamery cyfrowe oraz skaner laserowy. Komunikacja operatora z robotem odbywa się bezprzewodowo. Operator za pomocą autorskiej aplikacji może prowadzić robota w przestrzeni architektonicznej rozdzielni średniego napięcia. Pobieranie próbek pomiarowych odbywa się za pośrednictwem czujników zamontowanych na badanym obiekcie. Dane przekazywane są z czujników również za pomocą fal radiowych.



Rys. 3. Robot mobilny zasymulowany w programie AutoDesk Inventor 2009

Mobilny system pomiarowy (rys. 4) składa się z kilku modułów umożliwiających operatorowi zdalną pracę. Głównymi elementami mobilnego robota są: moduł bezprzewodowy zgodny z IEEE 802.11 (ang. *Wireless Fidelity* – WiFi) [13] umożliwiający bezpośrednią komunikację z aplikacją sterującą WNZDetect2, moduł główny zawierający część pomiarową, tor transmisji bezprzewodowej (Bluetooth) umożliwiający komunikację z czujnikami pomiarowymi, aktywne podwozie oraz moduł monitoringu parametrów pracy robota SQ1.

Robot wyposażony został w ramię, za pomocą którego operator montuje na powierzchni badanego obiektu elementy systemu pomiarowego. Podczas procesu diagnozowania wykonywana jest analiza emitowanych WNZ z jednoczesnym utrwaleniem w bazie wiedzy pozycji przestrzennej montażu czujnika. W przyszłości umożliwi to wykonanie badań porównawczych oraz określenie trendów degradacji zachodzących w bada-

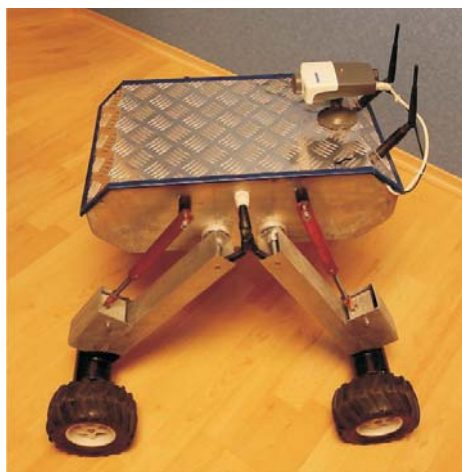


Rys. 4. Modułowa budowa mobilnego systemu pomiarowego

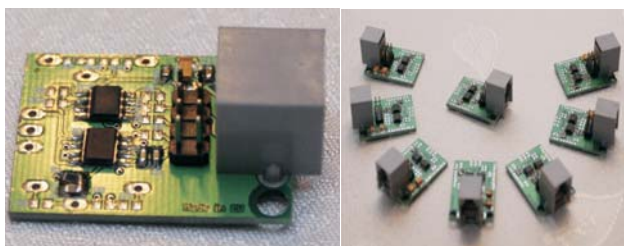
nym układzie izolacyjnym. System zamontowanych na ramieniu chwytaków magnetycznych ułatwia operowanie niewielkimi modułami czujników i przytwierdzanie ich do powierzchni obiektu.

Oprogramowanie mobilnego systemu pomiarowego wykonano przy wsparciu systemu czasu rzeczywistego RTOS (ang. *Real Time Operation System*). Poszczególne moduły składające się na robota zostały zaprojektowane zgodnie z architekturą proponowaną przez producenta RTOS. Korzystanie z zasobów udostępnianych przez biblioteki systemu operacyjnego stwarza możliwość szybkiej realizacji nowych funkcji prowadzących do rozwoju mobilnego systemu pomiarowego.

Moduł bezprzewodowego czujnika zrealizowano stosując szybki mikrokontroler z rdzeniem ARM. Umożliwia rejestrację sygnałów emisji akustycznej



Rys. 5. Robot mobilny, zdjęcie laboratoryjne



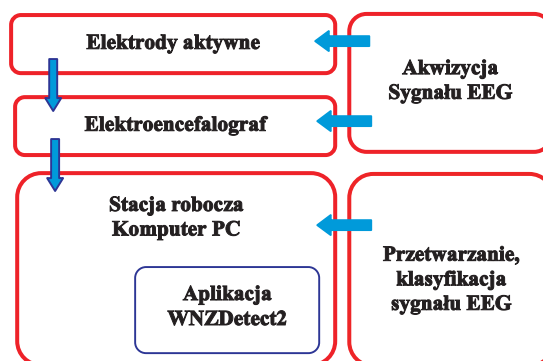
Rys. 6. Moduł czujnika: aktywne sondy piezoelektryczne

generowanej od WNZ z szybkością do 8 MS/s. Próbkę zarejestrowaną przez czujnik (rys. 6) przesyłane są do robota mobilnego. Kolejne dane gromadzone są w postaci pliku w pamięci stałej. Dostęp do informacji gwarantują serwer FTP (za pomocą klienta FTP) oraz aplikacja WNZDetect2, która jednocześnie realizuje wizualizację i analizę danych.

Automatyzacja procesu eliminuje konieczność odłączania pracujących pod napięciem elementów sieci elektroenergetycznej, skracając czas analizy, a jednocześnie nie powoduje zakłóceń w pracy systemu energetycznego. Regularne prowadzenie diagnostyki elementów sieci energetycznej oraz utrwalanie ich parametrów pozwala na gromadzenie informacji przydatnych w procesie planowania serwisu. Dodatkowo mobilny system pomiarowy zapamiętuje pokonywaną trasę oraz topologię obszaru stacji elektroenergetycznej i miejsce instalacji obiektów diagnozowanych.

Sterowanie robotem za pomocą fal mózgowych

Aplikacja WNZDetect2 zainstalowana na stacji roboczej, z której następuje sterowanie robotem, umożliwia realizację tego procesu poprzez analizę sygnału elektroencefalograficznego. Sygnał EEG pobierany jest metodą nieinwazyjną za pomocą, umieszczonych na skórze głowy osoby badanej, elektrod aktywnych [14]. Rozmieszczenie elektrod określa międzynarodowa specyfikacja 10-20 IFCN. Następnie sygnał przesyłany jest do elektroencefalografu, przyłączonego za pomocą portu USB 2.0 do stacji roboczej z zainstalowaną aplikacją WNZDetect2. Oprogramowanie odpowiednio klasyfikuje sygnał EEG by wypracować reakcję robota na aktualne bodźce mózgowie. Rys. 7 ilustruje ideę realizacji komunikacji z wykorzystaniem sygnału EEG.



Rys. 7. Modułowa budowa systemu akwizycji fal mózgowych

Na proces poprawnego sterowania robotem wpływa umiejętna analiza oscylacji sygnału EEG w zakresie rytmów α , β , γ [15]. Podczas prowadzonej analizy sygnału EEG można zauważyć dużą synchronizację rytmów β w procesie uwagi, co jest istotne z punktu widzenia sterowania robotem mobilnym. W tym czasie występuje duża aktywność komórek piramidalnych oraz ich silna synchronizacja. Rytmu γ są zauważalne podczas wzmoczonej ilości przetwarzanych informacji przez ko-

mórki nerwowe w jednostce czasu t . W przypadku rytmów γ następuje synchronizacja aktywności, która jest bezpośrednio związana z przetwarzaniem informacji [16, 17]. Na częstość rytmów i ich kształt ma bezpośredni wpływ nieliniowość związana ze specyficznym charakterem występującego w danym czasie pobudzenia. Oscylacje rytmów γ można obserwować na wielu elektrodach umieszczonych bezpośrednio nad korą motoryczną. W trakcie pomiaru sygnału elektroencefalograficznego możliwa jest także do obserwacji desynchronizacja sygnału, zauważalna w różnicy energii sygnału mierzonego. Miarą desynchronizacji sygnału jest jego moc (1).

$$P_A(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N A_{f(n,m)}^2 \quad (1)$$

gdzie A jest wartością m -tego punktu sygnału w n -tym powtórzeniu doświadczenia, a N oznacza liczbę powtórzeń. Desynchronizację można zatem zdefiniować jako (2).

$$ERD = \frac{P_A(m) - Z}{Z} * 100\% \quad (2)$$

gdzie Z jest poziomem odniesienia (3).

$$Z = \frac{1}{l} \sum_{m=i_0}^{i_0+l} P_A(m) \quad (3)$$

l – długość obszaru odniesienia, m – punkt sygnału.

Oprócz proponowanego w artykule interfejsu nieinwazyjnego BMI (ang. *Brain Machine Interface*) możliwe są również metody inwazyjne. Tego typu BMI, opracowany został przez naukowców w Stanach Zjednoczonych i Europie. Wykorzystano tu implant chirurgiczny składający się z wiązek elektrod. Z punktu widzenia technicznego takie rozwiązanie jest znacznie trudniejsze do realizacji i mało praktyczne w tego typu zastosowaniach, jak mobilny system do pomiaru wyładowań niepełnych. Z tego względu w systemie do pomiarów wyładowań niepełnych zastosowano metodę nieinwazyjną.

Problemy na etapie realizacji połączenia mózg-robot mobilny

Bez wątpliwej największą trudnością, jaka występuje na etapie skorelowania mózgu człowieka z robotem mobilnym, jest przezwyciężenie różnego rodzaju zakłóceń zarówno biologicznych jak i technicznych [18, 19]. W analizowanym systemie szczególnie istotne wydają się być czynniki techniczne, ponieważ system działa w pobliżu dużych skupisk urządzeń elektroenergetycznych, które zakłócają poprawny odczyt sygnału [20, 21]. W związku z tym konieczne jest odizolowanie stanowiska sterowania od obszaru pracy robota mobilnego.

Oprócz wyżej wymienionych problemów natury technicznej, wymagane będą również odpowiednie kryteria biologiczne w stosunku do osoby sterującej robotem.

Szczególną uwagę należy zwrócić na osoby z podwyższonym ciśnieniem, zwiększoną pulsacją serca lub mające różnego rodzaju tiki nerwowe. Takie osoby niestety nie będą mogły kierować mobilnym robotem.

Podsumowanie

Mobilny system pomiarowy do badań WNZ, jakie występują w układach izolacyjnych podczas postępującego procesu degradacji materiału dielektrycznego w kondensatorach elektroenergetycznych przy wykorzystaniu metody EA, będzie testowany podczas badań diagnostycznych wykonywanych w warunkach przemysłowych. Pozwoli to sprecyzować zakres praktycznych zastosowań. Przeprowadzenie doświadczeń w warunkach dużych poziomów zakłóceń elektromagnetycznych towarzyszących pracy urządzeń elektroenergetycznych, umożliwi określenie kierunków dalszych przeobrażeń systemu, co wpłynie na jego udoskonalenie.

Zastosowanie mobilnego systemu rejestracji sygnałów EA generowanych przez WNZ w izolacji kondensatorów elektroenergetycznych pozwoli m. in.: zrobotyzować – dotychczas przeprowadzany ręcznie – proces pomiarowy, zautomatyzować proces rejestracji, zobjektywizować uzyskiwane wyniki (automatyczna zmiana miejsc umieszczenia przetworników, sposób ich sprzęgnięcia z badanym obiektem), skutecznie odseparować personel techniczny od miejsca pomiarów zapewniając bezpieczeństwo oraz mobilność – możliwość przesyłania danych pomiarowych z miejsca pomiarów do stanowiska obsługi za pomocą bezprzewodowej sieci opartej na protokole TCP/IP.

Nieustających modyfikacji wymaga również system sterowania robotem mobilnym za pomocą fal mózgowych. Konieczne jest opracowywanie modeli populacyjnych, będących odwzorowaniem poszczególnych populacji komórek nerwowych i ich wzajemnych współzależności. Za pomocą zaawansowanych metod matematycznych można emulować poprawne zachowanie się sygnału EEG, w konkretnych stanach myślowych, w jakich znajduje się człowiek. Jest to kluczem do sukcesu w przypadku budowy i implementacji zarówno komunikacji Brain Computer Interface, jak również Brain Machine Interface.

Bibliografia

1. Georgopoulos A. P., Langheim F. J., Leuthold A. C., Merkle A. N.: *Magnetoencephalographic signals predict movement trajectory in space*. Exp Brain Res, Vol. 25, p. 132-135, 2005.
2. Dudek Z. T.: *Interfejs BCI – próba przełamania bariery pomiędzy człowiekiem a komputerem*. Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 7/2003.
3. Tortella F., Rose J., Robles L., Moreton J., Hughes J., Hunter J.: *EEG Spectra Analysis of the Neuroprotective Kappa Opioids Enadoline*. Maryland 1997.

dokończenie na s. 16

dokończenie ze s. 15

4. Kawada H., Honda M., Inoue T., Amemiya T.: *PD automatic monitor for oil-filled power transformer*. IEEE-PAS, vol. 103, no. 2, s. 422-428, 1984.
5. Kirtley J. L., Lavalle J. C., Mccarthy D. J.: *Acoustic monitoring of transformer structures*. CIGRE Symp., Report no. 3-05.87, Vienna, s. 1-5, 1987.
6. Kucharska B.: *Akustyczne deskryptory sygnałów emitowanych przez wyladowania niezupetne powierzchniowe*. ZN PO, nr 219, Elektryka z. 44, s. 107-124, 1996.
7. Kelley N. D., Osgood R. M., Bialasiewicz J. T., Jakubowski A.: *Using time-frequency and wavelet analysis to access turbulence/rotor interactions*. 19th American Society of Mechanical Engineers (ASME) Wind Energy Symposium, Reno, Nevada, January 10-13, 2000.
8. Florkowska B., Zydroń P.: *Analiza widmowa ulotu elektrycznego*. V Ogólnopolskie Sympozjum IWN-IW 2002, Poznań-Kiekrz, s. 80-83, 2002.
9. Fuhr J., Maessing M., Boss P., Tschudi D., King R. A.: *Detection and Location of Internal Defects in the Insulation of Power Transformers*. IEEE Trans. On EI, Vol.28, No.6, s. 10057-1069, 1993.
10. Howells E., Norton E. T.: *Parameters affecting the velocity of sound in transformer oil*. IEEE-PAS, Vol. 103, No.5, p. 1111-1115, 1984.
11. Rabbani M., Santa Cruz D.: *The JPEG 2000 still-image compression standard*. Materials of course in ICIP, Thessaloniki, Greece 2001.
12. Skubis J.: *Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych*. IPPT-PAN, Opole 1993.
13. Zmarzły D.: *Pomiary elektrycznych wielkości medycznych*. Politechnika Opolska. Opole 2004.
14. Venter H. S., Eloff J.H.P.: *Network Security: Important Issues*. Department of Computer Science, Rand Afrikaans University, s. 147-154, 1992.
15. Larrieu N., Owezarski P.: *Towards a Measurement Based Networking approach for Internet QoS improvement*. Computer Communications, Vol. 28, s. 259-273, 2005.
16. White T., Pagurek B., Bieszczad A.: *Network Modeling for Management Applications Using Intelligent Mobile Agents*. Journal of Network and Systems Management, Vol. 7, No. 3, 1999.
17. Todorova P.: *Network Control in ATM-Based LEO Satellite Networks*. Telecommunication Systems 22:1-4, p. 321-335, 2003.
18. Bush S. F., Frost V. S.: *A Framework for Predictive Network Management of Predictive Mobile Networks*. Journal of Network and Systems Management, Vol. 7, No. 2, 1999.
19. Ibrahim T., Venin J. M., Garcia G.: *Brain Computer Interface in Multimedia Communication*. IEEE Signal Processing Magazin, vol. 20 (1), 2003.
20. Wolański N.: *Rozwój biologiczny człowieka. Podstawy auksologii, gerontologii i promocji zdrowia*. Warszawa 2005, s. 374.
21. Schumacher H. J., Ghosh S.: *A fundamental framework for network security*. Journal of Network and Computer Applications, p. 305-322, 1997. ■