

## Pomiar efektywności ekranowania metodą wykorzystującą generator impulsów wysokoenergetycznych

**Streszczenie.** Opisano metodę pomiaru efektywności ekranowania małych komór ekranujących bazującą na wykorzystaniu generatora impulsów wysokoenergetycznych DS-110. Przedstawiono poziomy ekranowania otrzymane z pomiarów z wykorzystaniem powyższej metody dla przykładowej obudowy ekranującej. Otrzymane wyniki pomiarów porównano z wynikami otrzymanymi z pomiarów bazujących na klasycznej metodyce pomiarów wykorzystującej selektywny odbiornik pomiarowy oraz generator sygnałowy jako źródło sygnału probierczego.

**Abstract.** The shielding effectiveness (SE) measurement methodology basing on HPEM-RF DS110 pulse generator is described. The shielding effectiveness measurement results for selected enclosure are presented. During the measurement were used the worked out methodology. The obtained measurement results are compared to shielding efficiency measurement results which are obtained using standard measurement methodology basing on the selective measurement receiver and RF signal generator which is used as source of testing signal. (The shielding efficiency methodology measurement basing on high power electromagnetic pulse generator).

**Słowa kluczowe:** efektywność ekranowania, kompatybilność elektromagnetyczna.

**Keywords:** shielding effectiveness, electromagnetic compatibility.

doi:10.12915/pe.2014.07.47

### Wstęp

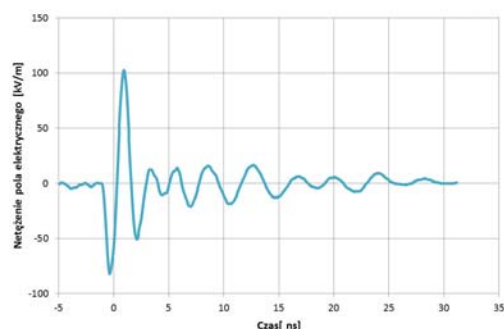
Artykuł dotyczy problemów związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną. Opisano w nim metodę pomiaru efektywności ekranowania małych komór ekranujących bazującą na wykorzystaniu, jako sygnału sondującego impulsów wysokoenergetycznych generowanych przez generator Marxa o wartości natężenia pola elektrycznego powyżej 90 kV/m przy maksymalnym czasie trwania pojedynczego impulsu nie przekraczającym 5ns. Zaproponowana metoda cechuje się dużym zakresem dynamiki pomiaru oraz można ją zastosować do pomiaru efektywności ekranowania komór o małych gabarytach. W artykule przedstawiono ukończenie stanowiska pomiarowego w skład którego wchodzi generator impulsów wysokoenergetycznych oraz miernik poziomu impulsów wysokoenergetycznych zbudowany na bazie oscyloskopu szerokopasmowego oraz sensora z blokiem dopasowania. Opisana w artykule procedura pomiarowa sprowadza się do wykonania dwóch pomiarów poziomu sygnału w funkcji czasu na wejściu sensora wchodzącego w skład miernika poziomu impulsów wysokoenergetycznych. Pierwszy pomiar wykonywany jest jako tzw. pomiar normalizacyjny polegający na pomiarze poziomu sygnału sondującego w dziedzinie czasu bez uwzględnienia wpływu badanej komory ekranującej. Po wykonaniu pomiaru normalizującego wykonywany jest pomiar zasadniczy polegający na pomiarze poziomu sygnału sondującego w dziedzinie czasu podczas, którego sensor pomiarowy umieszczony jest wewnątrz badanej komory ekranującej. Widmo zarejestrowanych impulsów sondujących jest następnie wyliczane przy pomocy szybkiej transformaty Fouriera FFT, a następnie obliczana jest różnica poziomów poszczególnych składowych widma częstotliwości odpowiadających pomiarowi normalizacyjnemu i zasadniczemu, która odpowiada efektywności ekranowania.

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów przykładowej komory ekranującej otrzymane przy pomocy opisanej metody oraz porównano je z wynikami pomiarów otrzymanych inną metodą pomiaru.

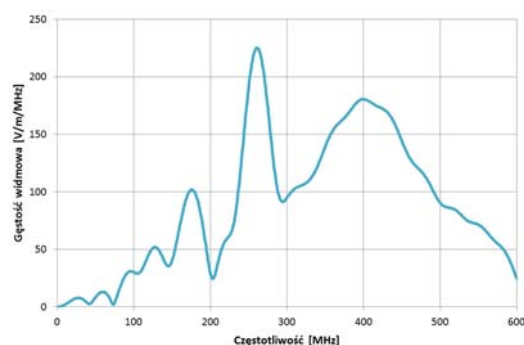
### Opis metody pomiaru efektywności ekranowania przy pomocy generatora impulsów wysokoenergetycznych

Jedynym z najnowocześniejszych rozwiązań problemu zwiększenia zakresu pomiarowego efektywności ekranowania ekranów małych komór ekranujących jest zastosowanie, jako sygnału sondującego impulsów

wysokoenergetycznych generowanych przez generator Marxa. Jako źródło sygnału probierczego w opracowanym stanowisku laboratoryjnym do pomiaru efektywności ekranowania został wykorzystany generator impulsów wysokoenergetycznych HPEM-RF DS110 znajdujący się na wyposażeniu Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Kształt impulsu probierczego generowanego przez powyższy generator w funkcji czasu oraz jego widmo przedstawiono odpowiednio na rysunkach 1 i 2. Z uwagi na znaczne poziomy składowych widma impulsu probierczego oraz jego pokrycie w dziedzinie częstotliwości można go wykorzystać, jako sygnał sondujący w procedurze pomiaru efektywności ekranowania małych komór ekranujących w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 600 MHz.

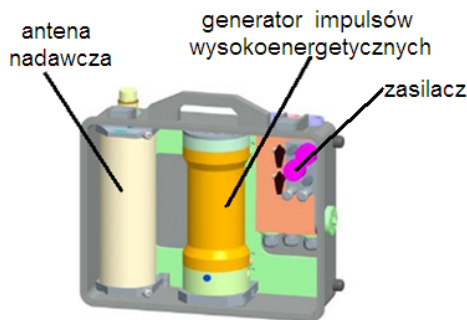


Rys. 1. Reprezentacja impulsu wysokoenergetycznego generowanego przez generator HPEM-RF DS110 w dziedzinie czasu



Rys. 2. Widmo impulsu wysokoenergetycznego generowanego przez generator HPEM-RF DS110

W celu zmierzenia wartości tłumienności małych komór ekranujących metodą wykorzystującą generator impulsów wysokoenergetycznych wymagany jest zestaw pomiarowy w skład, którego wchodzi nadajnik sygnału pomiarowego oraz miernik natężenia pola elektromagnetycznego. W skład nadajnika sygnału pomiarowego wchodzi generator impulsów wysokoenergetycznych HPEM-RF DS110 wraz z anteną nadawczą i akumulatorem. Zestaw umieszczony jest w przenośnej walizce o wymiarach zewnętrznych nie większych niż 550x450x250mm. Generator ma zadanie dostarczyć impulsy o minimalnej wartości natężenia pola elektrycznego 90 kV/m przy maksymalnym czasie trwania pojedynczego impulsu nieprzekraczającego 5 ns. Efektem jego działania jest uzyskiwanie impulsu wysoko-napięciowego na wejściu anteny nadawczej rzędu setek tysięcy woltów przez bardzo krótki okres czasu. Strukturę nadajnika sygnału pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura nadajnika sygnału pomiarowego

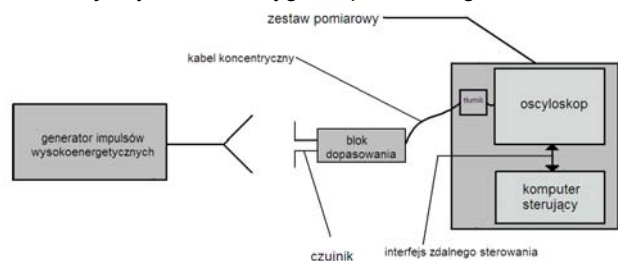
W skład miernika natężenia pola elektromagnetycznego wchodzi: komputer sterujący, oscyloskop wraz z tłumikami i czujnik z blokiem dopasowania. Do monitorowania generowanego pola elektromagnetycznego wykorzystywany jest czujnik wraz z układem dopasowania podłączany przez ekranowane tłumiki do oscyloskopu za pomocą kabla koncentrycznego. W oscyloskopie następuje zobrazowanie danych pobranych z czujnika w dziedzinie czasu. W celu zapewnienia prawidłowego pomiaru oscyloskop musi być umieszczony w specjalnej obudowie ekranującej, chroniącej go przed dużym generowanym poziomem pola elektromagnetycznego. Zainstalowane oprogramowanie komputera sterującego umożliwia, na bazie zarejestrowanego w funkcji czasu impulsu wysokoenergetycznego, wyznaczenie widma częstotliwościowego za pomocą transformaty Fouriera.

Pomiar tłumienności metodą wykorzystującą generator wysokoenergetyczny sprowadza się do wykonania dwóch pomiarów poziomu sygnału na wejściu czujnika wchodzącego w skład miernika poziomu impulsów wysokoenergetycznych. Pierwszy pomiar wykonywany jest jako tzw. pomiar normalizacyjny. Schemat blokowy stanowiska do pomiaru normalizacyjnego przedstawiono na rysunku 4. Pomiar normalizacyjny odbywa się dla określonej wartości poziomu sygnału generowanego przez generator impulsów wysokoenergetycznych. Mierzony jest poziom natężenia pola elektromagnetycznego w miejscu instalacji czujnika wraz z blokiem dopasowania. Pomierzone wartości natężenia pola elektromagnetycznego odpowiadające poszczególnym częstotliwościom pomiarowym są zapamiętywane przez komputer sterujący procesem pomiarowym.

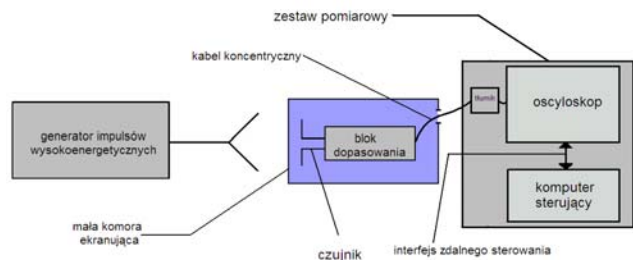
Po wykonaniu pomiaru normalizującego należy przeprowadzić pomiar zasadniczy podczas, którego czujnik wraz z blokiem dopasowania umieszcza się w badanej

małej komorze ekranującej. Schemat blokowy stanowiska do pomiaru zasadniczego przedstawiono na rysunku 5. Pomiar zasadniczy odbywa się dla określonej wartości poziomu sygnału generowanego przez generator impulsów wysokoenergetycznych. Mierzony jest poziom natężenia pola elektrycznego w miejscu instalacji czujnika wraz z układem dopasowania. Pomiaru powinny być wykonane w taki sam sposób jak podczas pomiaru normalizacyjnego. Pomierzone wartości natężenia pola elektrycznego odpowiadające poszczególnym częstotliwościom pomiarowym powinny być zapamiętane. Po odjęciu zarejestrowanych poziomów natężeń pól odpowiadających poszczególnym częstotliwościom pomiarowym, podczas pomiaru normalizacyjnego i zasadniczego, otrzymamy różnicę poziomów odebranych sygnałów w [dB], która to stanowi wartość efektywności ekranowania obudowy małej komory ekranującej.

Pomiary efektywności ekranowania powinny być przeprowadzone dla każdej z czterech stron badanej obudowy. Jako wynik końcowy efektywności ekranowania powinny być wybrane wyniki pomiarów efektywności ekranowania o najmniejszej wartości, ze zbioru czterech wartości odpowiadających każdej stronie badanej obudowy, dla każdej częstotliwości sygnału probierczego.



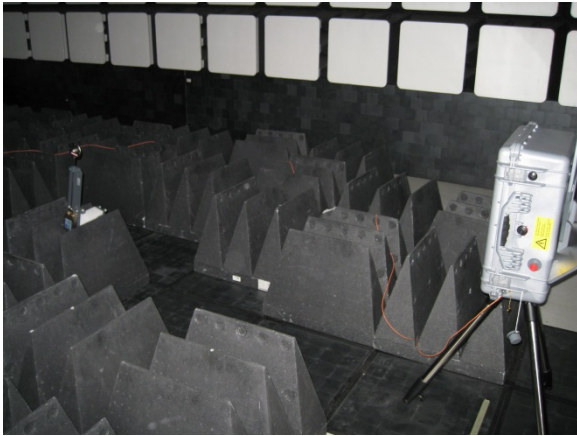
Rys. 4. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do pomiaru normalizacyjnego



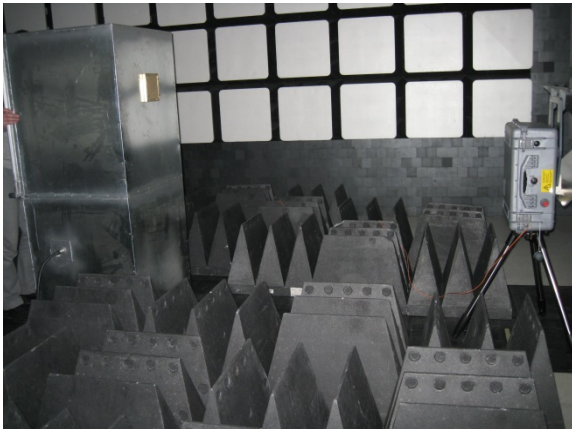
Rys. 5. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do pomiaru zasadniczego

### Opis obiektu badań

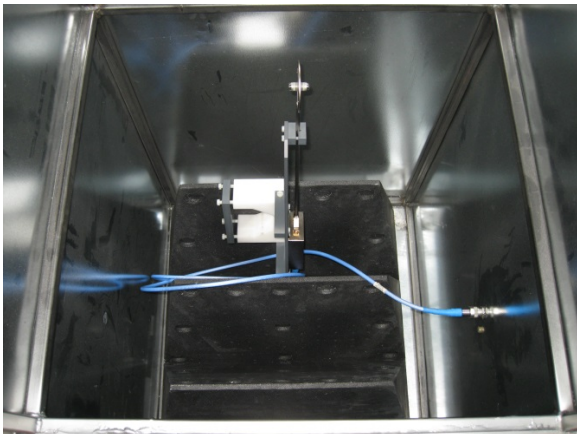
W celu przeprowadzenia walidacji metodyki badawczej bazującej na generatorze impulsów wysokoenergetycznych opisanej powyżej, przeprowadzono badania przykładowej komory ekranującej skonstruowanej w formie sześcianu zamykanego poprzez dołączenie jednej ze ścian. Komora ekranująca posiada wymiary 0.45 m x 0.45 m x 0.45 m i wykonana jest z ocynkowanej blachy stalowej. W celu podłączenia czujnika montowanego na czas pomiaru zasadniczego w środku komory ekranującej na jednej ze ścian wykonany został specjalny panel zapewniający połączenie sondy pomiarowej i toru odbiorczego. Widok komory wraz z panelem przyłączy przedstawiono na rysunku 6. Na panelu znajdują się także panel wentylacyjny wykonany w formie plastra miodu (*ang.* Honey Comb).



a)



b)



c)

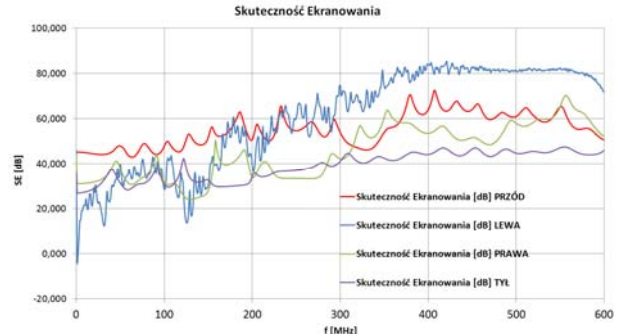
Rys. 6. Stanowisko pomiarowe do pomiaru efektywności ekranowania przy pomocy generatora wysokoenergetycznego: a) aranżacja stanowiska pomiarowego podczas pomiaru normalizacyjnego, b) aranżacja stanowiska pomiarowego podczas pomiaru zasadniczego, c) usytuowanie sondy pomiarowej wewnątrz badanej obudowy ekranującej.

### Wyniki pomiarów

W celu przeprowadzenia walidacji opracowanej metodyki pomiarowej porównano poziomy efektywności ekranowania otrzymane w wyniku pomiarów przeprowadzonych przy pomocy metodyki wykorzystującej impulsy wysokoenergetyczne z wynikami pomiarów otrzymanych inną metodologią pomiarową. Do porównania wykorzystano klasyczną metodykę pomiarów [1][2][3][4][5][6][7][8][9] wykorzystującą selektywny odbiornik pomiarowy oraz generator sygnałowy jako źródło sygnału probierczego.

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki pomiaru efektywności ekranowania dla każdej z czterech stron

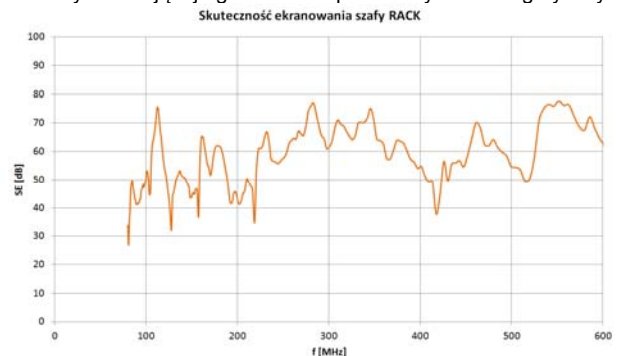
badanej obudowy przy wykorzystaniu metody bazującej na generatorze impulsów wysokoenergetycznych. Na rysunku 8 przedstawiono wynik końcowy pomiaru efektywności ekranowania odpowiadający wynikom pomiarów efektywności ekranowania o najmniejszej wartości, ze zbioru czterech wartości odpowiadających każdej stronie badanej obudowy, dla każdej częstotliwości sygnału probierczego.



Rys. 7. Skuteczność ekranowania dla każdej ze stron badanej obudowy ekranującej – generator impulsów wysokoenergetycznych



Rys. 8. Wynik końcowy skuteczności ekranowania dla badanej obudowy ekranującej – generator impulsów wysokoenergetycznych



Rys. 9. Wynik końcowy skuteczności ekranowania dla badanej obudowy ekranującej – selektywny odbiornik pomiarowy oraz generator sygnałowy jako źródło sygnału probierczego

Niestety, z uwagi na ograniczenia fizyczne możliwości pomiarowych zastosowanych do walidacji metod pomiarowych, nie można w pełnym zakresie częstotliwości porównać wyników otrzymanych przy pomocy metody wykorzystującej generator impulsów wysokosodowych oraz metody wykorzystującej selektywny odbiornik pomiarowy i generator sygnałowy, jako źródło sygnału probierczego. Wyniki pomiarów skuteczności ekranowania przedstawione na rysunku 8 otrzymane metodą wykorzystującą generator impulsów wysokoenergetycznych oraz wartości skuteczności ekranowania otrzymane metodą wykorzystującą selektywny odbiornik pomiarowy i generator sygnałowy przedstawione na rysunku 9 można porównać tylko w zakresie częstotliwości od 100 MHz do 600 MHz.



Ograniczenie zakresu pomiarowego proponowanej metody tylko do 600 MHz wynika z faktu, że zastosowany do pomiarów generator impulsów wysokoenergetycznych generuje sygnał probierczy o dostatecznie dużej gęstości widmowej do 600 MHz (rysunek 2). Ograniczenie zakresu pomiarowego metody wykorzystującej selektywny odbiornik pomiarowy od 100 MHz wynika natomiast z faktu, że małe komory ekranujące (wymiary mniejsze niż 1 m x 1 m x 1 m) nie pozwalają umieścić w ich wnętrzu anten probierczych o wymiarach dostatecznie dużych, aby wypromieniować efektywnie sygnał probierczy o częstotliwości mniejszej od 100 MHz.

### Wnioski

Wartości efektywności ekranowania otrzymane przy pomocy metody bazującej na generatorze impulsów wysokoenergetycznych różnią się od wartości pomierzonych przy wykorzystaniu metody wykorzystującej selektywny odbiornik pomiarowy oraz generator sygnałowy około 10 dB. Różnica powyższa wynika z dużego wpływu różnicy położenia sondy pomiarowej podczas pomiaru normalizacyjnego i zasadniczego w obu metodach pomiarowych. Trudności z umiejscowieniem sond pomiarowych w tym samym miejscu wewnątrz i na zewnątrz badanej obudowy ekranującej wynikają z różnic rozmiarów zastosowanych sond pomiarowych w obu procedurach pomiarowych. Powyższe ma wpływ na niepewność pomiaru objętością metodami, która oscyluje wokół wartości 10 dB.

Opisana metoda pomiaru bazująca na generatorze impulsów wysokoenergetycznych posiada szereg zalet, do których należy zaliczyć między innymi:

- duży zakres dynamiki pomiaru efektywności ekranowania,
- duża szybkość pomiaru w porównaniu z tradycyjnymi metodami pomiaru efektywności ekranowania obudów,
- wymiary sondy pomiarowej pozwalają na przeprowadzenie pomiarów obudów ekranujących o małych gabarytach (wymiary mniejsze niż 1 m x 1 m x 1 m).

### LITERATURA

- [1] L. Nowosielski, R. Przesmycki, M. Wnuk, K. Piwowarczyk – Small Chambers Shielding Efficiency Measurements, PIERS Marrakesh Morocco 20 - 23.03.2011r., PIERS Online, Vol. 7, No. 3, str. 256-260, 2011, ISSN 1931-7360,
- [2] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk, P. Skokowski – Metodyka pomiarów skuteczności ekranowania małych komór, KKRRIT Poznań Polska 08 - 10.06.2011r., Przegląd Telekomunikacyjny 6/2011, str: 321-324, ISSN 1230-3496,
- [3] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk, M. Bugaj – Pomiar efektywności ekranowania komór ekranujących, KKRRIT Poznań Polska 08 - 10.06.2011r., Przegląd Telekomunikacyjny 6/2011, str: 325-328, ISSN 1230-3496,
- [4] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Bugaj, M. Wnuk, K. Piwowarczyk - The Shielding Effectiveness Measurement Using High Voltage Pulse Generator, PIERS Proceedings, Proceedings of PIERS 2012 in Moscow, ISSN 1599-9450, ISBN 978-1-934142-22-6, 19.08.2012-23.08.2012r, str: 1449-1452,
- [5] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk, M. Bugaj – Small chambers shielding effectiveness measurement, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), 2011 11th, Hammamet, Tunezja 08.09 - 10.09.2011r, IEEE Xplore, ISSN: 2157-9822, Print ISBN: 978-1-4577-1814-4,
- [6] R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Wnuk, M. Bugaj – The laptop casing shielding effectiveness measurement, Mediterranean Microwave Symposium (MMS), 2011 11th, Hammamet, Tunezja 08.09 - 10.09.2011r, IEEE Xplore, ISSN: 2157-9822, Print ISBN: 978-1-4577-1814-4.
- [7] K. Piwowarczyk, R. Przesmycki, L. Nowosielski, M. Bugaj - Procedure for absorption measurements of absorbing materials, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, Volume 88, Issue 2, 2012, Pages 33-35, ISSN: 0033-2097.
- [8] R. Kubacki, L. Nowosielski, R. Przesmycki - The improved technique of electric and magnetic parameters measurements of powdered materials, ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE, Volume 42, Issue 11, November 2011, Pages 911-916, ISSN: 0965-9978.
- [9] R. Kubacki, L. Nowosielski, R. Przesmycki - Technique for the electric and magnetic parameter measurement of powdered materials, WIT Transactions on Modelling and Simulation, Volume 48, 2009, Pages 241-250, ISSN: 1743355X, ISBN: 978-184564187-0.

---

**Autorzy:** dr inż. Leszek Nowosielski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [lnowosielski@wat.edu.pl](mailto:lnowosielski@wat.edu.pl).