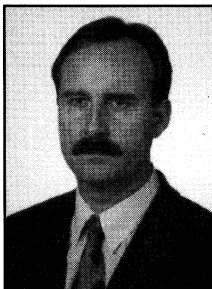


**Karol KORCZ, Ludwik SPIRALSKI**  
 AKADEMIA MORSKA, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY  
 KATEDRA RADIOELEKTRONIKI MORSKIEJ

## Cyfrowy system do pomiarów przebiegów niepożądanych w odbiornikach radiokomunikacyjnych

Mgr inż. Karol KORCZ

Doktorant w Katedrze Radioelektroniki Morskiej na Wydziale Elektrycznym Akademii Morskiej w Gdyni. Podejmuje zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej w technice odbiorczej, w tym pomiarów przebiegów niepożądanych w urządzeniach radiokomunikacyjnych.



Prof. dr hab. inż. Ludwik SPIRALSKI

Jest kierownikiem Katedry Aparatury Pomiarowej Politechniki Gdańskiej. Zajmuje się zagadnieniami metrologii elektrycznej, aparatury i systemów elektronicznych, zakłóceń i szumów oraz kompatybilności elektromagnetycznej. Jest autorem lub współautorem 10 monografii i rozpraw, ponad 200 publikacji naukowych w kraju i za granicą, 3 skryptów, ponad 30 patentów oraz ponad 150 prac naukowo badawczych o charakterze konstrukcyjnym zastosowanych w praktyce.



### Streszczenie

Zaprezentowano sposób rozwiązania funkcjonalnego cyfrowego systemu do pomiarów przebiegów niepożądanych na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego. Dzięki zastosowaniu operacji rozdzielania składowej losowej i zdeterminowanej, w części programowej-komputerowej systemu, uzyskano bardzo małe błędy wyznaczanych parametrów. Omówiono zalety prezentowanego systemu pomiarowego w porównaniu z zalecanymi w odnośnych normach układami pomiarowymi. Podano wybrane wyniki pomiarów parametrów określających intensywność szumów i zakłóceń na wyjściu odbiornika, które uzyskano z zastosowaniem cyfrowego systemu pomiarowego opracowanego w Katedrze Radioelektroniki Morskiej w Akademii Morskiej w Gdyni.

### Abstract

The way of the functional solution of the digital system for measurement of the unwanted signals at the communication receiver output has been presented. Thanks to using the separating operation of the random and determined components by the software, the very low measurement errors of the estimated parameters have been achieved. Advantages of the presented measuring system in comparison with these recommended by the norms measuring circuits have been discussed. Chosen results of the measurement of the parameters determine intensity of the noise and the interference at the receiver output have been given.

### 1. Wstęp

Sygnal m.c. na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego zawiera, oprócz przebiegu pożądanego, składowe pochodzące od szumów własnych urządzenia odbiorczego, przewodzone przebiegi niepożądane od sieci zasilającej (50 Hz i jej harmoniczne), przebiegi niepożądane powstałe w wyniku zniekształceń nieliniowych w stopniach końcowych odbiornika oraz przebiegi intermodulacyjne powstające w jego stopniach wejściowych.

Radiokomunikacyjne urządzenia odbiorcze, pod względem szumowym, charakteryzuje się zwykle za pomocą współczynnika szumów  $F$  oraz czułości użytkowej  $E_s$  [1, 3]. Parametry te zależą od średniej mocy szumów własnych urządzeń odbiorczych.

Współczynnik szumów  $F$  określa degradację stosunku mocy sygnału pożądanego do mocy szumów przy przechodzeniu sygnału przez czwórnik [1].

Natomiast czułość użytkowa odbiornika radiokomunikacyjnego jest to wartość skuteczna siły elektromotorycznej  $E_s$  źródła sygnału o rezystancji  $R_s$  (anteny), dla której uzyskuje się na wyjściu odbiornika standardową moc sygnału w pasmie odpowiednim dla danego rodzaju modulacji, przy określonej jednoznacznie wartości stosunku średniej mocy sygnału do średniej mocy szumów.

W przypadku, gdy w odbiorniku występują wyłącznie szumy własne, między współczynnikiem szumów  $F$  odbiornika, a jego

czułością użytkową  $E_s$  istnieje ściśle powiązanie. Jeżeli parametry te są wyznaczane w tych samych warunkach częstotliwościowych, przy tej samej wartości rezystancji  $R_s$  źródła sygnału (anteny) i jej temperaturze  $T_0=290$  K, to między tymi parametrami zachodzi ścisła zależność [1]:

$$E_s = (4kT_0R_s\Delta f n_o)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

przy czym:  $\Delta f$  - energetyczne (szumowe) pasmo przenoszenia odbiornika, zależne od rodzaju modulacji sygnału,  $n_o$  - założony stosunek średniej mocy sygnału do średniej mocy szumów na wyjściu odbiornika,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  VAs/K - stała Boltzmanna.

Właściwości odbiornika radiokomunikacyjnego pod względem zniekształceń nieliniowych charakteryzowane są za pomocą współczynnika zniekształceń nieliniowych, zwanego też współczynnikiem zawartości harmonicznych  $h$  oraz parametrów intermodulacyjnych, odmiennych dla różnych zjawisk nieliniowych [3].

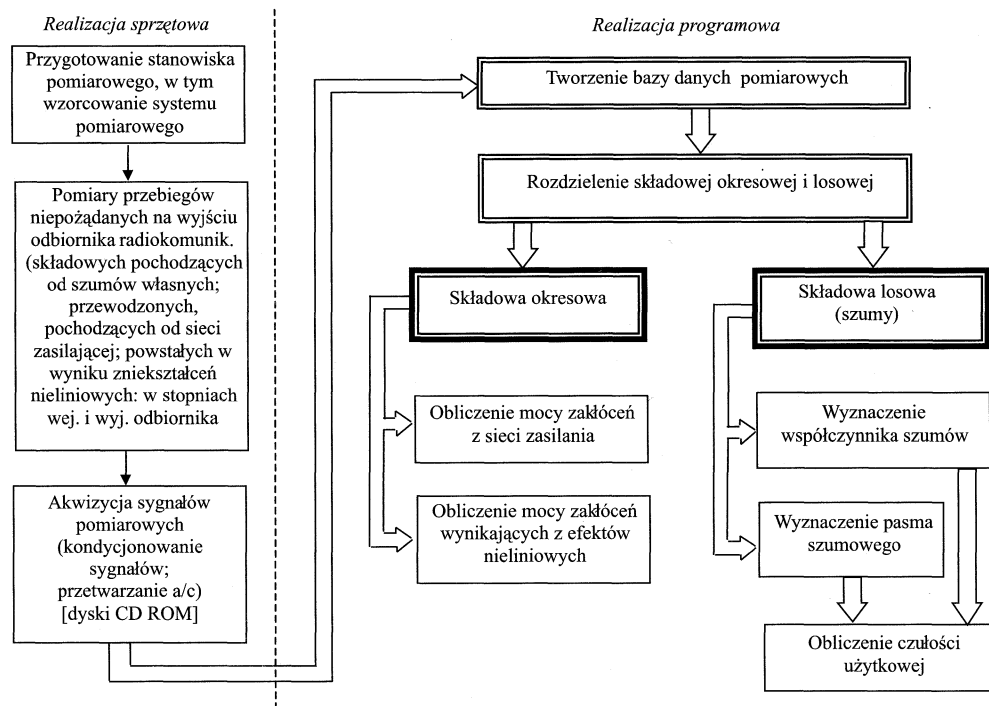
W stopniach wejściowych odbiorników radiokomunikacyjnych (głównie we wzmacniaczach w.c.z. oraz mieszaczach) w obecności silnych przebiegów niepożądanych, zakłócenia są powodowane na skutek występowania zjawisk nieliniowych, które dla celów pomiarowych (jednoznacznego porównywania właściwości odbiorników) określa się jako: intermodulacja, blokowanie, modulacja skrośna, przemiana z szumami heterodyny.

Podstawowe parametry, określające przebiegi niepożądane na wyjściu odbiornika, określają w zasadzie tylko wybrane niepożądane właściwości odbiornika. Natomiast w przebiegach niepożądanych na wyjściu odbiornika zwykle występują one jednocześnie. Stąd często wyznaczając wartości liczbowe odpowiednich parametrów, popełniane są błędy wynikające z przyjętych sposobów wyznaczania tych wielkości, wskutek założenia, że w sygnale pomiarowym występuje wyłącznie składowa ujęta w definicji danego parametru.

W prezentowanym cyfrowym systemie pomiarowym, dzięki zastosowaniu operacji rozdzielania składowych losowej i zdeterminowanej przebiegów niepożądanych, co dokonuje się programowo (z zastosowaniem komputera PC), uzyskano znaczne zmniejszenie błędów pomiarowych wyznaczanych parametrów [4].

### 2. Cyfrowy system do pomiarów szumów i zakłóceń na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego

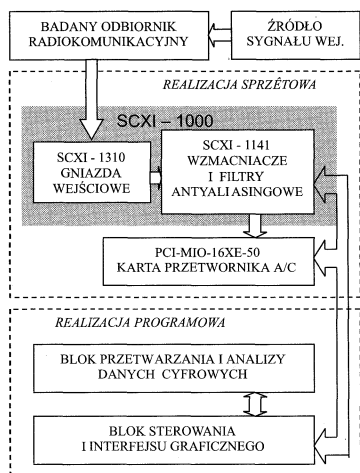
Schemat funkcjonalny realizacji pomiarów przebiegów niepożądanych na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny realizacji badań przebiegów niepożądanych w odbiorniku radiokomunikacyjnym

Pomiary realizowane są w systemie pomiarowym z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów on-line (rys. 2). Dane pomiarowe są wstępnie kondycjonowane (wzmacniane, filtrowane) oraz podawane na przetwornik a/c w części sprzętowej układu pomiarowego [4]. Przetwarzanie cyfrowe oraz analiza spróbkowanego sygnału dokonywane są za pomocą przyrządów wirtualnych pracujących w środowisku programowania LabVIEW.

W systemie pomiarowym źródło sygnału wejściowego odbiornika, w zależności od mierzonego parametru, stanowi wzorcowy generator szumów albo wzorcowy generator w.c.z. (sygnałowy).



Rys. 2. Schemat blokowy cyfrowego układu do badania odbiornika radiokomunikacyjnego

większą wartość wzmacnienia, która nie powoduje jeszcze przekroczenia przez mierzony sygnał szumowy tego zakresu. Eliptyczne (8 rzędu) filtry dolnoprzepustowe o częstotliwości odcięcia ustawianej również programowo z zakresu od 10 Hz do 25 kHz pełnią funkcję filtrów antyaliasingowych. Właściwe działanie zespołu filtrów w systemie zapewniono wykorzystując oprogramowanie LabVIEW.

### Realizacja programowa

Dane pomiarowe przetwarzane są programowo w przyrządach wirtualnych, w których dla składowej losowej wyznaczany jest kolejno współczynnik szumów odbiornika  $F$ , energetyczna (szumowa) szerokość pasma odbiornika  $\Delta f$ , a następnie obliczana czułość użytkowa odbiornika na podstawie zależności (1). Natomiast dla składowej zdeterminowanej obliczane są odpowiednio moce zakłóceń z sieci zasilania oraz wynikających z efektów nieliniowych.

### Błędy estymacji parametrów

Względny błąd standardowy estymacji wartości średniokwadratowej  $\Psi^2$ , wyznaczanej w przyrządzie wirtualnym do

miaru współczynnika szumów, dla gaussowskiego szumu białego o zerowej wartości średniej może być wyrażony równaniem [1]:

$$\frac{e}{\Psi^2} \cong \sqrt{\frac{2}{K}} \quad (2)$$

i dla  $K=1024$  próbek, wynosi ok. 4,4%.

Rozdzielczość analizy widmowej w algorytmie wyznaczania energetycznej szerokości pasma odbiornika opisana jest zależnością

$$df = \frac{q}{N\Delta t} = \frac{1}{K\Delta t}, \text{ gdzie } N=2^p \text{ to całkowita liczba próbek. Dla czę-}$$

stotliwości próbkowania 20 kHz (okres próbkowania  $\Delta t=50 \mu s$ ), liczby próbek  $K=1024$  oraz liczby uśrednień  $q=1000$ , wynosi ona  $df=19,5$  Hz. Ciąg próbek  $G_n(k)$  ma długość  $K/2=512$  próbek. Liczba uśrednień ma wpływ na względny błąd standardowy estymacji gęstości widmowej mocy, w przypadku gaussowskiego szumu białego błąd ten wynosi [1]:

$$\frac{e}{G_n(k)} \cong \frac{1}{\sqrt{q}} = \sqrt{\frac{T_s}{N\Delta t}} = \sqrt{\frac{K}{N}} \quad (3)$$

np. dla 1000 uśrednień nie przekracza 3,2%, ( $T_s$  - czas trwania analizowanego segmentu czasowego sygnału).

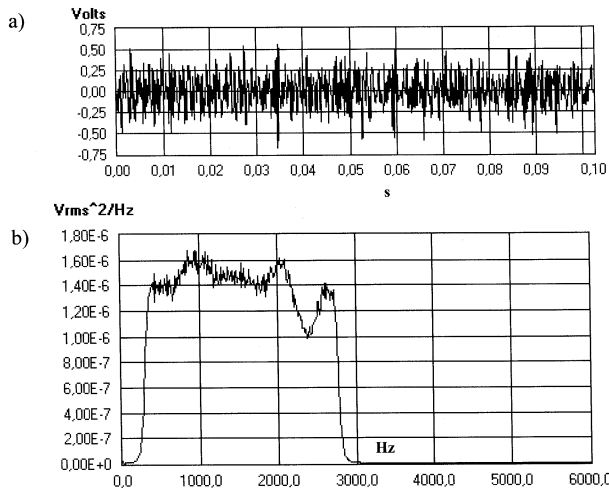
Na skutek występowania tego błędu kolejne pomiary gęstości widmowej mocy mogą różnić się od wartości rzeczywistej więcej niż o  $e$ , ponieważ zależność (3) określa jedynie wartość względnego odchylenia standardowego tak wyznaczanego estymatora gęstości widmowej mocy. Fluktuacje wyników pomiarowych można zmniejszyć przez zwiększenie czasu obserwacji sygnału, czyli liczby uśrednień gęstości widmowej mocy.

### 3. Pomiary intensywności szumów i zakłóceń wybranych odbiorników radiokomunikacyjnych

Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych charakterystyki przenoszenia i współczynnika szumów  $F$  wybranego odbiornika

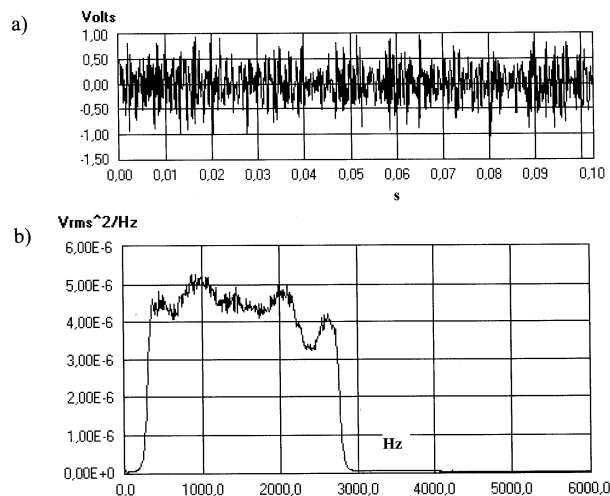
radiokomunikacyjnego RA1776 firmy RACAL dla pasma przeniesienia odbiornika 2,7 kHz.

Na rys. 3 przedstawiono uzyskane wykresy.



Rys. 3. Przebieg napięcia chwilowego (a) i charakterystyka przenoszenia odbiornika (b) przy włączonym źródle aktywnym generatora szumów

Na kolejnym rysunku (rys. 4a) przedstawiono uzyskane wykresy przebiegu czasowego szumów na wyjściu m.c.z. odbiornika, gdy do jego wejścia dołączono zalecaną rezystancję wejściową (50  $\Omega$ ). Na podstawie danych tego przebiegu wyznaczono charakterystykę przenoszenia odbiornika (rys. 4b).

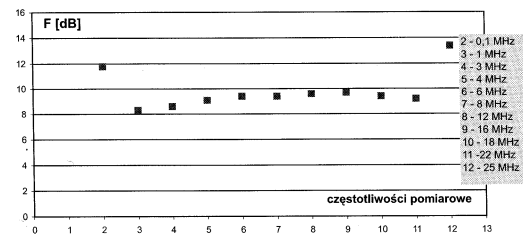


Rys. 4. Przebieg napięcia chwilowego (a) i charakterystyka przenoszenia odbiornika (b) przy wyłączonym źródle aktywnym wzorcowego generatora szumów

Z wyników pomiarów przedstawionych na rys. 3 i rys. 4 wynika, że do wyznaczenia charakterystyki przenoszenia odbiornika radiokomunikacyjnego i obliczenia wartości pasm energetycznych dla różnych rodzajów modulacji, wystarczy jedynie rejestrować dane pomiarowe jego szumów własnych, a następnie programowo wyznaczyć pożądane parametry.

Uzyskane wyniki pomiarów współczynnika szumów  $F$  badanego odbiornika dla wszystkich, wykorzystywanych w radiokomunikacji morskiej pasm częstotliwości, przedstawiono na rys. 5. Dwa skrajne, odbiegające od pozostałych, wyniki pomiarów spowodowane są nierównomiernością charakterystyki przenoszenia odbiornika dla krańcowych wartości jego częstotliwości pracy.

Uśrednione wartości pasma szumowego dla odbiornika RA.1776, dla częstotliwości z wykorzystywanych w radiokomunikacji morskiej zakresów, przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 5. Pomierzone wartości współczynnika szumów odbiornika RA.1776 w pasmach morskich

Wykorzystując uzyskane wcześniej wartości współczynnika szumów  $F$  oraz pasma energetycznego  $\Delta f$ , obliczono, zgodnie z zależnością (1), czułość użytkową odbiornika RA.1776. Uzyskane wyniki przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Pasma szumowe i czułości użytkowe odbiornika RA.1776 dla pasm morskich

Częstotliwość pomiaru [MHz]	Pasma szumowe [Hz]	Czułość użytkowa [ $\mu$ V]
0,1	3745,7	1,19
1	3780,8	1,00
3	3814,3	1,02
4	3869,3	1,06
6	3863,8	1,07
8	3809,4	1,07
12	3841,9	1,09
16	3797,9	1,09
18	3782,9	1,07
22	3812,3	1,06
25	3767,9	1,27

Widoczne pogorszenie czułości użytkowej odbiornika RA.1776 dla krańcowych wartości jego częstotliwości pracy, wynika z pomierzonych wcześniej gorszych właściwości szumowych odbiornika dla tych częstotliwości.

Analogiczne pomiary przeprowadzone dla innych odbiorników radiokomunikacyjnych, potwierdziły uzyskane wyżej wyniki.

## 4. Podsumowanie

Na niedokładność pomiaru przebiegów niepożądanych na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego metodami normatywnymi, najistotniejszy wpływ mają następujące czynniki [3]:

- generatory wzorcowe (sygnały i szumów), a zwłaszcza zakres zmian i niedokładność nastawiania ich poziomów i wnoszonych w system pomiarowy zakłóceń,
- poziom promieniowanych zakłóceń przez generatory wzorcowe,
- zniekształcenia liniowe amplitudowe, odstępstwa od rezystancji nominalnej obciążenia oraz zmiany parametrów w funkcji temperatury, wilgotności, itp., miernika mocy,
- metodyka pomiaru stosunku mocy sygnału do mocy szumów na wyjściu odbiornika  $n_0$ .

Przeprowadzone przez autorów badania i analizy wskazują, że sposób cyfrowego wyznaczania wielkości określających niepożądane przebiegi na wyjściu odbiornika radiokomunikacyjnego, pozwala na uzyskanie znacznie mniejszych błędów mierzonych parametrów.

Proponowana metoda pomiarowa jest znacznie prostsza, a zarazem bardziej wszechstronna, w porównaniu z metodami ujętymi w dokumentach normalizacyjnych. Podstawowe parametry, określające przebiegi niepożądane na wyjściu odbiornika, określają w zasadzie tylko wybrane niepożądane właściwości odbiornika. Natomiast w przebiegach niepożądanych na wyjściu odbiornika zwykle występują one jednocześnie. Stąd często wyznaczając wartości liczbowe odpowiednich parametrów, popełniane są błędy wynikające

z przyjętych sposobów wyznaczania tych wielkości, wskutek założenia, że w sygnale pomiarowym występuje wyłącznie składowa ujęta w definicji danego parametru.

Innymi zaletami przedstawionej metody jest także:

- znaczne skracanie czasów estymacji parametrów i charakterystyk opisujących przebiegi niepożądane odbiornika, wskutek modyfikacji procedur obliczeniowych w trybie *off-line*,
- wyznaczanie parametrów i charakterystyk odbiornika (np. w funkcji częstotliwości) z wykorzystaniem szumów własnych badanego odbiornika,
- po niewielkich modyfikacjach, można rozszerzyć liczbę parametrów i charakterystyk opisujących pracę odbiornika, np. w zakresie kompatybilności w warunkach występujących na statkach morskich.

## LITERATURA

1. L. Hasse, L. Spiralski, „*Szumy elementów i układów elektronicznych*”, WNT, Warszawa 1981,
2. K. Korcz, B. Pałczyńska, L. Spiralski, „*Digital measurement of noise parameters of communication receiver*”, 12<sup>th</sup> IMEKO TC4 International Symposium, Zagreb 2002,
3. ETSI, „*Technical characteristics and methods of measurement for maritime mobile transmitters and receivers for use in the MF and HF bands*”, ETS 300373, 1997,
4. B. Pałczyńska, L. Spiralski, J. Turczyński, „*The new method of interference assessment in low-voltage power supply lines*”, 11<sup>th</sup> IMEKO TC4 International Symposium, Lisbon 2001.
5. K. Korcz, B. Pałczyńska, L. Spiralski, „*Cyfrowy pomiar szumów i czułości użytkowej odbiornika radiokomunikacyjnego*”, KKM, Warszawa 2001.

## INFORMACJE

# MWK'2003

## VI SZKOŁA - KONFERENCJA

### „METROLOGIA WSPOMAGANA KOMPUTEROWO” MWK'2003

26-29 maja 2003 r., Waplewo k/Nidzicy

**Organizator:** Instytut Podstaw Elektroniki Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej

**Współorganizatorzy:** Komitet Metrologii i Aparatury Naukowej PAN  
Ministerstwo Obrony Narodowej Wojskowy Nadzór Metrologiczny

**Tematyka:** Dydaktyczne problemy metrologii, teoria pomiaru, metrologia wielkości: elektrycznych, geometrycznych, cieplnych i przepływów fizyko-chemicznych, radiometria, systemy pomiarowe, monitoring, kompatybilność elektromagnetyczna, metrologia medyczna, diagnostyka układów oraz systemów elektrycznych i elektronicznych, systemy jakości oraz metrologia w Siłach Zbrojnych RP i NATO.

W części szkolnej zostaną wygłoszone następujące referaty:

- **WSPÓLRZĘDNOŚCIOWE TECHNIKI POMIAROWE** - Prof. Eugeniusz RATAJCZYK,
- **METROLOGICZNE PROBLEMY MODELOWANIA OBWODÓW ELEKTRONICZNYCH** - Prof. Valerij DIDENKO,
- **PROBLEMY POMIARU SZUMÓW I ZAKŁÓCEŃ** - Prof. Ludwik SPIRALSKI i dr Lech HASSE,
- **METODY ANALIZY SYGNAŁÓW POMIAROWYCH** - Prof. Tomasz ZIELINSKI.

W części konferencyjnej zostaną zaprezentowane referaty własne oraz referaty związane z projektami badawczymi i celowymi finansowanymi przez Komitet Badań Naukowych.

Konferencji towarzyszyć będzie wystawa sprzętu pomiarowego, oprogramowania i wydawnictw.

**Koszt:** Pełny koszt uczestnictwa z noclegami i żywnością wynosi 940 zł. Wpłaty należy dokonać na konto:

Wojskowa Akademia Techniczna  
ul. Kaliskiego 2  
00-908 WARSZAWA 49  
BPH PBK S.A. V O/WARSZAWA  
11102018-422010001273  
MWK'2003  
Koniecznie z nazwiskiem uczestnika

Faktury VAT będą wystawiane tylko w przypadku pisemnego powiadomienia i podania niezbędnych informacji oraz po dokonaniu przelewu na podane konto bankowe.

#### Informacje dodatkowe:

- a) informacji organizacyjnych** udziela: Czesław Przybysz, tel.: (0-prefiks-22) 6 839 872, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: cprzybysz@wel.wat.waw.pl
- b) informacji finansowych** udziela: Roman Wrona, tel.: (0-prefiks-22) 6 839 481, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: rwrona@wel.wat.waw.pl
- c) informacji o wystawie** udziela: Mirosław Rusek, tel.: (0-prefiks-22) 6 837 626, fax: (0-prefiks-22) 6 839 125, e-mail: mrusek@wel.wat.waw.pl