

doi:10.15199/48.2015.11.03

Wymagania kompatybilności elektromagnetycznej w elektroenergetycznej automatyce zabezpieczeniowej

Streszczenie. W artykule przedstawiono wymagania z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej EMC dotyczące emisyjności i odporności urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ). Przedstawiono źródła zaburzeń EMC dla urządzeń EAZ występujące w ich naturalnym środowisku pracy. Podano najnowsze edycje norm dotyczących badania urządzeń elektronicznych dla automatyki przemysłowej.

Abstract. This paper presents the requirements for electromagnetic compatibility EMC emission and immunity for equipment of power system protection. The sources of electromagnetic disturbances and the latest editions of standards for testing electronic devices for equipment of power system protection have been presented. (**Electromagnetic compatibility requirements for equipment of power system protection**)

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), normy, urządzenie zabezpieczające, środowisko przemysłowe

Keywords: electromagnetic compatibility (EMC), standards, equipment of power system protection, industrial environment

Wstęp

Tematyka związana z Elektroenergetyczną Automatyką Zabezpieczeniową (EAZ) jest dziedziną wiedzy i techniki zajmującą się kontrolą i sterowaniem prac systemu elektroenergetycznego zarówno podczas normalnej pracy, jak i w stanach zakłóceń. Od urządzeń EAZ wymaga się długotrwałej bezawaryjnej pracy w niekorzystnych warunkach środowiskowych, między innymi przy dużym poziomie zaburzeń elektromagnetycznych. Urządzenia te powinny charakteryzować odpowiednio wysoka odporność na zaburzenia, mająca często decydujące znaczenie dla ich prawidłowego działania w obecności zakłóceń elektromagnetycznych. Wobec tego istotne znaczenie ma dbałość o opracowanie konstrukcji urządzeń EAZ zgodnych z wymaganiami kompatybilności elektromagnetycznej przy uwzględnieniu wymagań w zakresie bezpieczeństwa. Podlegają one ocenie zgodności z dyrektywą niskiego napięcia 2006/95/WE (LVD) i dyrektywą kompatybilności elektromagnetycznej 2004/108/WE (EMC) oraz dla obszaru zastosowania w przemyśle wydobywczym – z dyrektywą dotyczącą urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem 94/9/WE (ATEX). Odpowiednie poziomy zaburzeń, sposób prowadzenia badań i ocena wyników badań są ustalone w odpowiednich normach europejskich zharmonizowanych z tymi dyrektywami. Spełnienie wymagań bezpieczeństwa i kompatybilności elektromagnetycznej uzyskuje się poprzez modułową budowę urządzeń z izolacją galwaniczną między poszczególnymi modułami. Urządzenia wchodzące w skład tej automatyki spełniają funkcje pomiarowe, sterujące i zabezpieczające odcinki linii elektroenergetycznej, gwarantując tym samym bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej dla procesów przemysłowych. Od urządzeń EAZ wymaga się wysokiej niezawodności w całym okresie eksploatacji oraz stabilnego, niezależnego od środowiska zewnętrznego działania, przy zapewnieniu wybiórczości i czułości zabezpieczeń z wbudowanymi algorytmami automatyki, pozwalającymi na selektywne wyłączenie odcinków linii lub obiektów elektroenergetycznych. Przedstawione dalej źródła zaburzeń EMC występują w naturalnym środowisku pracy urządzeń EAZ, które są instalowane w elektrorowniach oraz różnego rodzaju stacjach rozdzielczych wysokiego, średniego i niskiego napięcia. Jest to typowe środowisko przemysłowe charakteryzujące się występowaniem warunków środowiskowych o następujących właściwościach:

- Praca urządzeń przemysłowych, takich jak silniki, baterie kondensatorów czy układy tyrystorowe.
- Częste przełączenia obwodów o dużej indukcyjności lub pojemności np. załączenia silników czy baterii kondensatorów.
- Prądy i wywołane nimi pola magnetyczne o znacznej wartości.
- Rozptyw prądów ziemnozwarciowych.

Kompatybilność elektromagnetyczna w środowisku eksploatacyjnym urządzeń EAZ

Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń elektrycznych lub elektronicznych wymaga od nich poprawnej pracy w określonym środowisku elektromagnetycznym. Cel ten zostaje osiągnięty przez zapewnienie odpowiedniego poziomu odporności oraz ograniczenie emisji zaburzeń, które mogłyby zakłócić pracę innych urządzeń.

Poziomy zarówno emisji zaburzeń, jak i odporności na zaburzenia zostały określone w normie PN-EN 60255-26:2014 [1], która w 2014 r. zastąpiła normę PN-EN 50263:2004. Norma ta precyzuje sposób prowadzenia badań a także wprowadza nowe wymagania w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej, co ma bezpośredni wpływ na konstrukcję urządzeń EAZ. Urządzenia EAZ wyposażone są w wejścia pomiarowe, logiczne dwustanowe i zasilania, a także w wyjścia przekaźnikowe i obwody transmisji, które zwyczajowo nazywane są portami. Szczególne znaczenie ma obudowa, zwykle metalowa, z zaciskiem uziemiającym zwana portem obudowy. Emisja zaburzeń odbywa się zarówno przez obudowę, jak i port zasilania. Odporność na zaburzenia dotyczy wszystkich portów urządzenia, łącznie z obudową i przewodem uziemiającym.

Norma [1] definiuje następujące strefy środowiska elektromagnetycznego:

- Strefa A – środowisko o podwyższonym poziomie zaburzeń EMC
- Strefa B – typowe środowisko przemysłowe

Emisja zaburzeń przez urządzenia EAZ [5]

Emisja zaburzeń jest jednym z podstawowych zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej. Wymagania dotyczące emisji w odniesieniu do przekaźników pomiarowych i urządzeń techniki zabezpieczeniowej przedstawiono w normie PN-EN 60255-26:2014 [1], w której podano dopuszczalne poziomy emisji. Badania według tej normy są zgodne z międzynarodowymi

standardami CISPR11 i CISPR 22, które obowiązują w polskich edycjach norm PN-EN 55011:2012 [2] i PN-EN 55022:2011 [3]. Norma [1] precyzuje wymagane poziomy zaburzeń elektromagnetycznych, a normy [2] i [3] charakteryzują metody prowadzenia badań dla urządzeń EAZ pod względem emisji zaburzeń elektromagnetycznych. Dopuszczalne poziomy emisji stanowią wyznaczają podstawowe wymagania w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej i są tak dobrane, aby zaburzenia wytwarzane przez urządzenia pracujące w obiektach elektroenergetycznych (typowe środowisko przemysłowe) nie przekroczyły poziomu, który mógłby spowodować niewłaściwe działanie innych urządzeń. Przekazniki pomiarowe i urządzenia techniki zabezpieczeniowej powinny spełniać wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń przewodzonych i promieniowanych. Wartości mierzone nie powinny przekraczać poziomów ustalonych w normach. Na rysunku 1 przedstawiono rodzaj i lokalizację miejsc emisji badanych zaburzeń promieniowanych przez obudowę urządzenia EAZ w zakresie od 30 MHz do 6 GHz oraz zaburzeń przewodzonych wprowadzanych do sieci za pośrednictwem portu zasilania w zakresie od 150 kHz do 30 MHz. Emisje te wynikają głównie z pracy rezonatorów kwarcowych oraz kluczowania tranzystorów wykorzystywanych w układach cyfrowego przetwarzania sygnałów i przetwornicach napięcia.



Rys.1. Rodzaj i lokalizacja miejsc emisji zaburzeń przez urządzenia Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieceniowej

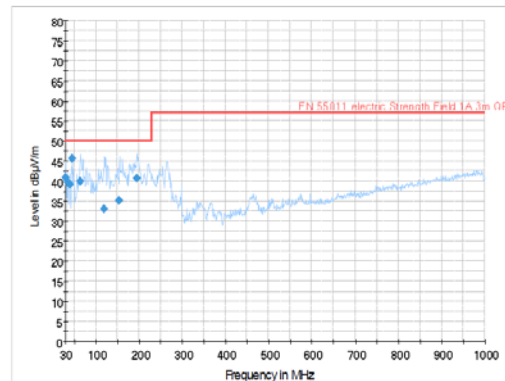
W tabelicy 1 podano zależność zakresu częstotliwości w badaniach emisji promieniowanej od maksymalnej częstotliwości występującej w sprawdzanym urządzeniu.

Tabela 1. Zależność zakresu częstotliwości badanej emisji promieniowanej od maksymalnej częstotliwości występującej w sprawdzanym urządzeniu

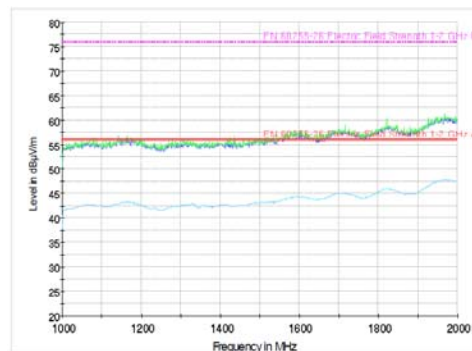
Zakres częstotliwości sygnałów występujących w urządzeniu	Zakres częstotliwości w badaniach emisji
$f_{wewn} < 108 \text{ MHz}$	$30 \text{ MHz} < f < 1 \text{ GHz}$
$108 \text{ MHz} < f_{wewn} < 500 \text{ MHz}$	$30 \text{ MHz} < f < 2 \text{ GHz}$
$500 \text{ MHz} < f < 1 \text{ GHz}$	$30 \text{ MHz} < f < 5 \text{ GHz}$
$> 1 \text{ GHz}$	$30 \text{ MHz} < f < 6 \text{ GHz}$ lub 5-krotność największej częstotliwości w układzie (należy wybrać bardziej niekorzystny wariant)

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wykresy emisji promieniowanej dla urządzenia HGSP1. Największa

częstotliwość występująca tym urządzeniu wynika z powielania częstotliwości oscylatora kwarcowego w pętli fazowej. W zaprezentowanym przykładzie częstotliwość oscylatora kwarcowego wynosiła 8MHz, co po powieleniu daje największą częstotliwość w układzie równą 168MHz. Z tego powodu, zgodnie z wartościami podanymi w tabeli 1, badania przeprowadzono w zakresie do 2GHz. Charakterystykę częstotliwościową emitowanego na zewnątrz obudowy urządzenia zaburzenia promieniowanego (natężenie pola elektrycznego) w zakresie od 30 MHz do 1 GHz przedstawiono na rysunku 2, a w zakresie od 1 GHz do 2 GHz – na rysunku 3.

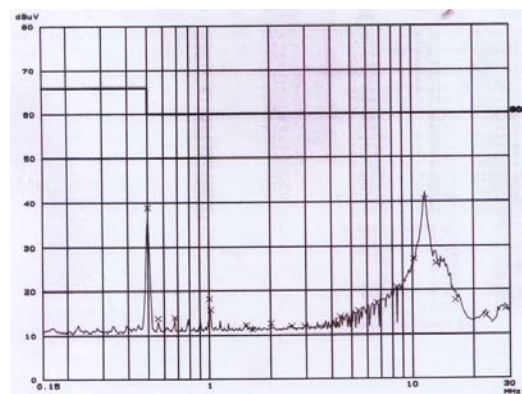


Rys.2. Charakterystyka częstotliwościowa emitowanego przez obudowę urządzenia HGSP1 zaburzenia promieniowanego w zakresie od 30 MHz do 1 GHz



Rys.3. Charakterystyka częstotliwościowa emitowanego przez obudowę urządzenia HGSP1 zaburzenia promieniowanego w zakresie od 1 GHz do 2 GHz

Na rysunku 4 przedstawiono wykres emisji zaburzeń przewodzonych wyprowadzonych z zasilacza urządzenia HGSP1 do sieci w zakresie częstotliwości od 150kHz do 30 MHz.



Rys.4. Emisja zaburzeń przewodzonych wyprowadzonych z zasilacza urządzenia HGSP1 do sieci w zakresie częstotliwości od 150kHz do 30MHz

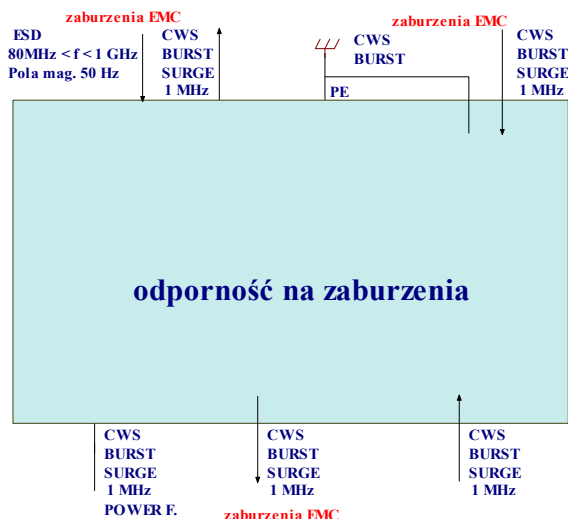
Odporność urządzeń EAZ na zaburzenia

Odporność na zaburzenia dotyczy wszystkich wejść i wyjść dostępnych w urządzeniu, łącznie z obudową i przewodem uzmiemiającym. Miejsca wnikania zaburzeń do urządzeń EAZ zostały wyszczególnione w normie PN-EN 60255-26:2014 [1]. Urządzenia z rodziny urządzeń EAZ przeznaczone do pomiarów, automatyki, sterowania i zabezpieczeń pola rozdzielni SN można opisać za pomocą portów funkcjonalnych przedstawionych na rysunku 1 i rysunku 5.

W przywołanej normie [1] emisyjność i odporność nierozłącznie związane z kompatybilnością elektromagnetyczną (EMC) urządzeń EAZ odnoszą się do odpowiednio zdefiniowanych portów stanowiących interfejs między urządzeniem, a zewnętrznym środowiskiem elektromagnetycznym. Są nimi:

- Port komunikacyjny jako interfejs do telekomunikacji lub systemu sterowania, wykorzystujący sygnały o niskim poziomie energii, podłączony na stałe do urządzenia.
- Port dostępu przez obudowę będący fizyczną granicą aparatu, przez którą pole elektromagnetyczne może promieniować na zewnątrz lub w jej obręb wnikać.
- Port uzziemienia funkcjonalnego w postaci połączonego z ziemią zacisku urządzenia, wprowadzonego w innym celu niż zapewnienie bezpieczeństwa przeciwporażeniowego.
- Port wejściowy. Jest nim element, poprzez który aparat jest zasilany lub sterowany w celu realizowania swojej zadanej funkcji, np.: z przekładnika prądowego lub napięciowego. Może nim być wejście binarne.
- Port wyjściowy. Jest nim element, poprzez który urządzenie wywołuje określone zmiany, np. zestyk, transoptor. Może nim być wyjście analogowe.
- Port zasilania pomocniczego. Jest nim wejście służące do doprowadzenia do aparatu pomocniczego zasilania prądu przemiennego (AC) lub stałego (DC).

Na rysunku 5 przedstawiono rodzaj i lokalizację miejsc wnikania zaburzeń EMC do urządzeń EAZ.



Rys.5. Rodzaj i lokalizacja miejsc wnikania zaburzeń EMC do urządzeń Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieceniowej

Źródła zaburzeń EMC urządzeń EAZ

Źródłami zaburzeń elektromagnetycznych dla urządzeń EAZ są [4]:

- Procesy łączeniowe związane z łączeniem obwodów prądowych, jak i załączeniem napięcia na szyny zbiorcze.
- Uloty na liniach i szynach, izolatorach, przepustach.
- Rozpływ prądów ziemnozwarciowych o częstotliwości sieciowej.

- Wyładowania elektrostatyczne związane z obsługą urządzenia przez operatora.
- Zjawiska naturalnych wyładowań elektrycznych występujące podczas burz.

Zbiór obowiązujących norm przywołanych przez normę zharmonizowaną [1] przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zbiór obowiązujących norm dotyczących odporności na zaburzenia dla urządzeń EAZ

Rodzaj zaburzenia, Norma (Oznaczenie na rys. 5)	obudowa	przewód uzmiemiający	wejście zasilania pomocniczego	łącza komunikacyjne	Wejścia, wyjścia (w tym tory pomiarowe)
Promieniowane pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej PN-EN 61000-4-3 (80 MHz-1 GHz)	X	X			
Wyładowania elektrostatyczne PN-EN 61000-4-2 (ESD)	X				
Pole magnetyczne o częstotliwości sieciowej PN-EN 61000-4-8 (Pola magn. 50 Hz)	X				
Zaburzenia przewodzone indukowane przez pola o częstotliwości radiowej PN-EN 61000-4-6 (CWS)		X	X	X	X
Szybkozmiennne zaburzenia przejściowe, PN-EN 61000-4-4 (BURST)			X	X	X
Przebieg oscylacyjny 1MHz PN-EN 61000-4-12 (1MHz)			X	X	X
Udar PN-EN 61000-4-5 (SURGE)			X	X	X
Przerwa w zasilaniu napięciem AC i DC PN-EN 61000-4-11, PN-EN 61000-4-29 (Zapady, przerwy w zasilaniu)			X		
Zaburzenia o częstotliwości sieciowej (dotyczy tylko wejść dwustanowych) PN-EN 61000-4-16 (POWER F.)					X

Kryteria akceptacji [1]

Przewiduje się 3 kryteria akceptacji wyników badań, przy oddziaływaniu różnych zaburzeń EMC, A, B i C. Kryterium akceptacji A dotyczy zaburzeń o częstotliwości radiowej, które mogą oddziaływać na urządzenie EAZ w sposób ciągły, połowo RF przez obudowę lub poprzez

sprężenia pojemnościowe i magnetyczne indukując pasożytnicze napięcia CWS na przewodach doprowadzonych do urządzenia. Według kryterium A ocenia się również wpływ pól magnetycznych oddziaływujących w sposób ciągły o częstotliwości sieci, jak również krótkotrwałe zaniki i zapady napięcia zasilającego. Kryterium akceptacji B dotyczy głównie zaburzeń o działaniu przejściowym typu: szybkozmiennie zaburzenia przejściowe BURST, udary SURGE, przebieg oscylacyjny 1 MHz, impulsowe pola magnetyczne. Kryterium C dotyczy prawidłowego restartu urządzenia po dłuższych zanikach zasilania lub wolnego spadku i wzrostu napięcia zasilającego. Obserwuje się wpływ zaburzeń na stan: zabezpieczeń, wejść pomiarowych i dwustanowych, wyjść przełącznikowych, obwodów sterowania i kontroli, obwodów transmisji, interfejsu użytkownika. Obwody te w większości nie mogą zmienić swojego stanu. Interfejs użytkownika może ulegać czasowej degradacji podczas testu, powinien jednak samodzielnie odzyskać pełną operacyjność po teście bez straty zapisanych danych dla kryterium akceptacji B. Kryteria akceptowalne przez użytkownika to A i dla niektórych zaburzeń również B lub C.

Podsumowanie

Wszelkie urządzenia należące do elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ) powinny być przystosowane do niezawodnej pracy w przemysłowym środowisku elektromagnetycznym. W środowisku tym mogą występować różnorodne zaburzenia elektromagnetyczne wynikające bądź z procesów łączeniowych w obwodach prądowych, bądź podania napięcia na szyny zbiorcze. Poza tym potencjalną przyczyną zaburzeń są wyładowania ulotowe w liniach elektroenergetycznych, na szynach, izolatorach czy przepustach. Zaburzenia elektromagnetyczne mogą być także wynikiem przepływu prądów ziemnozwarciowych o częstotliwości sieciowej, wyładowań piorunowych lub wyładowań elektrostatycznych spowodowanych przez personel obsługi urządzenia. Wnikanie tych zaburzeń do urządzeń EAZ odbywa się różnymi sposobami, w tym:

- drogą sprzężenia polowego poprzez obudowę –pola elektryczne i magnetyczne m.cz.,
- drogą sprzężenia pojemnościowego (diafonia pojemnościowa),
- drogą sprzężenia indukcyjnościowego (diafonia indukcyjnościowa),
- przez wspólne gałęzie obwodów (sprężenie impedancyjne).

Od urządzeń EAZ wymaga się zgodności z dyrektywą kompatybilności elektromagnetycznej, a także z innymi obowiązującymi dyrektywami takimi jak LVD, czy ATEX. Za pośrednictwem wejścia zasilania urządzenia te mogą wprowadzić do sieci zasilającej elektromagnetyczne zaburzenia przewodzone a także wypromieniować zaburzenia poprzez obudowę lub przewody dołączone do innych portów. Wielkość tych zaburzeń powinna być kontrolowana pod kątem nieprzekraczania ustalonych w obowiązujących normach poziomów granicznych. Poziom emisji ma bezpośredni związek z „czystością” środowiska elektromagnetycznego i warunków pracy innych urządzeń

elektronicznych. Zakres częstotliwości, na które należy zwrócić uwagę podczas badania emisji, ma bezpośredni związek z największą częstotliwością sygnałów występujących w urządzeniu. We współczesnych urządzeniach EAZ zagadnienie to dotyczy syntezy częstotliwości. W celu zmniejszenia zarówno poziomu emisji zaburzeń pochodzących z urządzeń EAZ, jak i zwiększenia ich odporności na zaburzenia pochodzenia zewnętrznego, należy je projektować i instalować zgodnie z ustalonymi zasadami dotyczącymi rozdzielania galwanicznego modułów pomiarowych i sterowania, prawidłowego rozproszania masy i zasilania, zastosowania filtrów EMC oraz uziemienia funkcjonalnego obudowy. Odpowiednia konstrukcja i prawidłowy z punktu widzenia EMC montaż powinny doprowadzić do osiągnięcia odpowiedniego, zgodnego z wymaganiami normy [1] poziomu odporności na zaburzenia. Jednakże dla urządzeń stosowanych w stacjach rozdzielczych i elektrowniach mogą być stawiane wyższe, aniżeli ustalone w normach, wymagania w odniesieniu do poziomów badań odpornościowych. Dotyczy to głównie unowocześnianych stacji rozdzielczych starszego typu, w których modernizacja polega na wymianie urządzeń EAZ bez modyfikacji pozostałego oprzyrządowania. Ważną rolę w zagadnieniach kompatybilności elektromagnetycznej odgrywa port uziemienia funkcjonalnego, który powinien być podłączony jak najkrótszym przewodem, najlepiej w formie plecionki do instalacji masy. Dbalność o zasady kompatybilności elektromagnetycznej, począwszy od projektu, poprzez wykonanie i montaż, zapewnia długotrwałą bezawaryjną pracę urządzeń zabezpieczeniowych EAZ, jak również innych urządzeń będących na wyposażeniu rozdzielni.

Artykuł zawiera wyniki osiągnięte podczas realizacji projektu ID181836 finansowanego przez NCBiR.

LITERATURA

- [1] PN-EN 60255-26:2014 Przekazniki energoelektryczne - Część 26: Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej przekazywników pomiarowych i urządzeń zabezpieczeniowych.
- [2] PN-EN 55011:2012 Urządzenia przemysłowe, naukowe i medyczne -- Charakterystyki zaburzeń o częstotliwości radiowej -- Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru.
- [3] PN-EN 55022:2011 Urządzenia informatyczne -- Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych -- Poziomy dopuszczalne i metody pomiarów.
- [4] Chudorliński J. Problematyka techniczna i prawna konstrukcji urządzeń automatyki zabezpieczeniowej zgodnych z wymaganiami EMC. *Przegląd Elektrotechniczny* 90(2014) n.7, 156-159
- [5] Chudorliński J., Wlazło P. Badanie i analiza emisyjności urządzeń EAZ w zakresie dyrektywy EMC *Elektronika* (2009) n..7, 44-47

Autorzy: mgr inż. Jerzy Chudorliński, mgr inż. Paweł Michalski
Instytut Tele- i Radiotechniczny, Centrum Teleinformatyki i Elektroniki CA

*Zakład Elektronicznych Systemów Elektroenergetycznych A1,
ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa. E-mail:
jerzy.chudorlinski@itr.org.pl, pawel.michalski@itr.org.pl*