Marek KAŁUSKI, Marek MICHALAK, Karolina SPALT, Monika SZAFRAŃSKA

Instytut Łączności - PIB, Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej

Praktyczne przykłady braku kompatybilności elektromagnetycznej dużych urządzeń

Streszczenie. *W artykule zostaną zaprezentowane praktyczne przykłady braku kompatybilności elektromagnetycznej w urządzeniach o znacznych wymiarach, z którymi spotkał się zespół akredytowanego Laboratorium Badań EMC, działającego w ramach Zakładu Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności - PIB we Wrocławiu. Pokazane przykłady praktyczne zebrane na bazie wieloletniej współpracy między zespołem laboratorium, a producentami urządzeń górniczych zilustrują problemy związane z wyłączeniami się maszyn, zatrzymaniami taśmy przenośnika, awariami różnych układów. Badania, z których pochodzą przedstawione w artykule przykłady zostały wykonane w warunkach in situ.*

Abstract*. The paper some practical examples of the lack of electromagnetic compatibility in large size equipment, some typical problems encountered by the team of accredited EMC Testing Laboratory of National Institute of Telecommunications, Electromagnetic Compatibility Department, Wroclaw. The examples given here, gathered during several years of experience and collaboration between laboratory team and manufacturers of mining equipment will illustrate some problems related with machines switch-offs, conveyor belt stopping, numerous breakdowns. Examples presented in the paper were gathered during in situ tests. (**Practical examples of big equipment lack of electromagnetic compatibility**).*

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna, pomiary in situ.
Keywords: electromagnetic compatibility, in situ measurements.

doi:10.12915/pe.2014.07.39

Wstęp

Akredytowane Laboratorium Badań EMC, działające przy Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności – PIB we Wrocławiu, zrealizowało w ostatnich kilku latach wiele badań z zakresu EMC dużych maszyn, głównie górniczych.

Spełnienie przez urządzenia wymagań kompatybilności elektromagnetycznej przynosi zyski zarówno w zakresie bezpieczeństwa jak i zyski związane z wymiernymi efektami np. z mniejszą awaryjnością urządzeń, ograniczeniem awaryjnych wyłączeń. Dzięki zabezpieczeniu urządzeń przed efektami zaburzeń, które występują w środowisku możliwe jest znaczne ograniczenie awarii maszyn i przestoju związanego z tymi awariami, a co za tym idzie minimalizacji strat ponoszonych w ich wyniku.

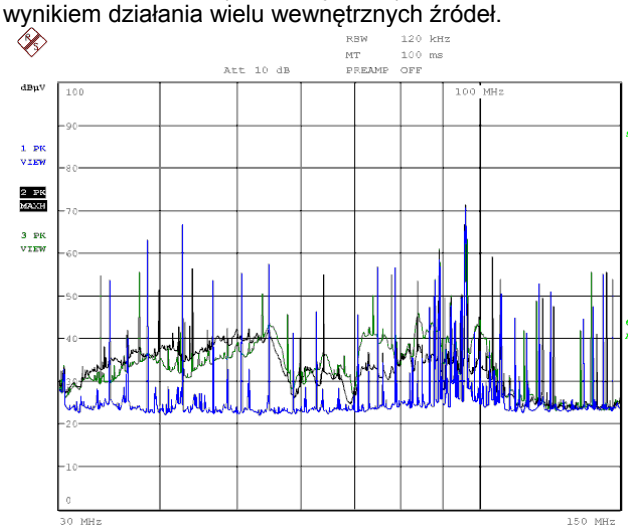
Rys. 1. Przykład pomiaru emisji zaburzeń promieniowanych

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną praktyczne przykłady z badań kompatybilności elektromagnetycznej przeprowadzonych przez zespół Laboratorium Badań EMC. Nagromadzenie „elektroniki" w dużych (takich jak pokazany na rysunku 1) maszynach często już teraz jest tak znaczne, że z powodu braku kompatybilności elektromagnetycznej nieodpowiednio lub wcale niezabezpieczonych urządzeń niebezpieczeństwo wystąpienia awarii lub nieprawidłowej pracy stale wzrasta. Uwzględniając zagadnienia EMC już na etapie konstrukcji urządzeń można tym problemom zapobiec. Wielokrotnie o EMC przypomnimy sobie dopiero w momencie końcowych badań urządzenia, to już tylko można „gasić pożar" i podejmowane działania mogą nie być wystarczająco skuteczne.

Przedstawione poniżej przykłady nie powinny być odnoszone do konkretnego produktu. W większości przypadków, z jakimi zespół badawczy spotkał się podczas wykonywania badań, problemy dotyczyły całego szeregu urządzeń, natomiast w artykule wybrano i przedstawiono przykłady problemów, które mogą pojawiać się najczęściej i generować największe straty. Wszystkie podane w artykule przykłady, w wyniku współpracy między przedstawicielami Instytutu Łączności – PIB z producentami i w wyniku zastosowania zaleceń przekazanych przez IŁ-PIB zakończyły się usunięciem występujących problemów i finalne wersje urządzeń bądź systemów spełniały wymagania odpowiednich norm.

Typowe problemy w zakresie emisji zaburzeń

Jednym z istotnych problemów pojawiających się podczas badań emisji zaburzeń od dużych urządzeń są przekroczenia dopuszczalnych poziomów w zakresie do ok. 200 MHz. Z uwagi na znaczne gabaryty badanych obiektów bardzo często spotyka się zaburzenia, które są wynikiem działania wielu wewnętrznych źródeł.



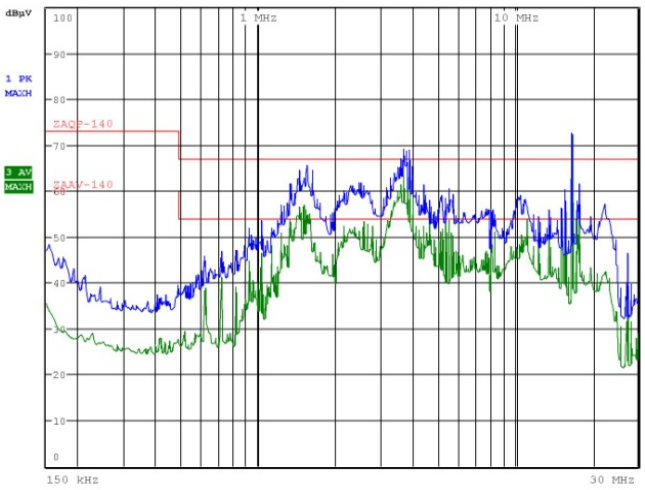
Rys. 2. Przykładowe zarejestrowane zaburzenia przekraczające dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń promieniowanych

Na rysunku 2 przedstawiono przykłady pomiaru emisji zaburzeń promieniowanych, gdzie widoczna jest niedogodność badania takich obiektów w warunkach in-situ, a mianowicie zaburzenia pochodzące z tła (przedstawione tu linią niebieską). Bardzo często zaburzenia pochodzące od wielu źródeł mają charakter zaburzeń szerokopasmowych, co mimo obecności w tle wielu sygnałów pozwala na wyodrębnienie zaburzeń pochodzących od badanego urządzenia (na rysunku 2 linie zielona i czarna dla dwóch trybów pracy badanego urządzenia).

Zarejestrowane zaburzenia, występujące w paśmie 30 – 200 MHz mogą przyczyniać się do nieprawidłowej pracy urządzeń znajdujących się w pobliżu, a w szczególności mogą niekorzystnie wpływać na bezpieczeństwo. Takie zaburzenia mogą zakłócić łączność lub sterowanie radiowe – w tym drugim przypadku, przy błędnej interpretacji zaburzenia jako komendy może łatwo doprowadzić do tragedii.

Większość dużych maszyn jest wyposażona w silniki o znacznej mocy, które w sieciach do których są przyłączone generują zaburzenia pochodzące od dużych obciążeń, o czym można więcej przeczytać w [1]. Rejestrowane przez zespół badawczy zaburzenia generowane przez urządzenia zarówno górnicze jak i typowo przemysłowe w zakresie emisji zaburzeń przewodzonych są głównie wynikiem występowania stanów przejściowych związanych z nieliniowością obciążeń. Ponadto obserwowane są niepożądane produkty powiązane ze stosowaniem zasilaczy impulsowych oraz mikroprocesorów w układach sterowania.

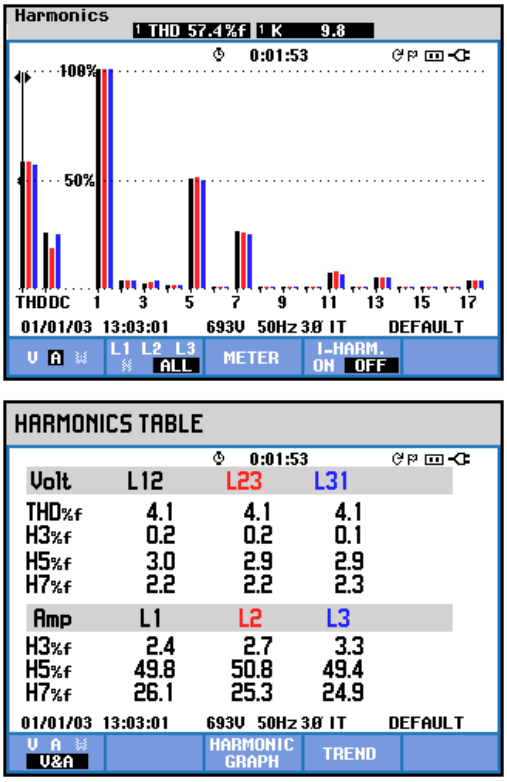
Na rysunku 3 przedstawiono przykład zaburzeń przewodzonych pochodzących od urządzenia górniczego. Widoczny jest efekt zastosowania mikroprocesora w układzie, na wyjściu którego nie wprowadzono odpowiedniej filtracji zaburzeń.



Rys. 3. Przykładowe zarejestrowane zaburzenia przekraczające dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń przewodzonych

Dodatkowym efektem stosowania dużych obciążeń i ich dużej liczby, jest obserwowana w stosunku do typowych środowisk przemysłowych znaczna ilość harmonicznych prądu istotnie przekraczających typowe poziomy dopuszczalne w normach. Efekt ten może mieć znaczący wpływ na poprawność działania urządzeń pracujących z częstotliwościami nawet do kilku kHz.

Jak przedstawiono na rysunku 4, nawet harmoniczne nastego rzędu nie są do pominięcia i mogą mieć potencjalnie niekorzystny wpływ na inne urządzenia dołączone do tej samej sieci lub własne podzespoły badanego obiektu.



Rys. 4. Przykład wyników pomiaru harmonicznych zarejestrowanych podczas badań taśmociągu

Typowe problemy w zakresie odporności na zaburzenia

W zakresie odporności urządzeń na zaburzenia można stwierdzić, że każde nieprawidłowe zadziałanie urządzenia jest kluczowe, gdyż może to skutkować awarią lub wypadkiem. W przypadku badań odporności szczególną uwagę należy zwrócić na elementy odpowiedzialne za bezpieczeństwo. Bardzo często powiązane z tymi elementami są czujniki, które podczas poddawania ich narażeniom, błędnie interpretują odbierane sygnały jako komunikaty/komendy wykonawcze, podczas gdy sygnały te są związane z przenoszeniem zaburzeń po całym urządzeniu z uwagi na nieodpowiednią filtrację (a często całkowity jej brak). W najłagodniejszym przypadku mamy do czynienia z wyłączeniem maszyny, jednakże o wiele bardziej niebezpieczne jest, gdy podczas podawania narażenia maszyna wykona procedurę mogącą zagrażać bezpieczeństwu, bądź też system zabezpieczeń poddany działaniu zewnętrznego pola pozwoli na uruchomienie w maszynie procesów, które wzajemnie powinny być wykluczone.

W przypadku urządzeń wielkogabarytowych zagadnienie odporności na zaburzenia przewodzone staje się problemem o wiele bardziej złożonym niż wynikałoby to z tradycyjnego podejścia opisanego w normach EMC. Z uwagi na rozmiary i długie przewody oplatające badane urządzenie warto wykonać badania odporności na napięcia indukowane w przewodach przez pole o częstotliwościach radiowych nie tylko dla przewodów zasilania i dołączanych do zewnętrznych urządzeń, ale również dla długich przewodów wchodzących w skład badanego obiektu, zwłaszcza tych dołączonych do kluczowych podzespołów urządzenia, np. odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Dla dużych urządzeń spotyka się również takie prowadzenie przewodów, że nie stanowią one jednego długiego przewodu, a połączone są z kilku krótszych odcinków, które w sumie oplatają cały obwód urządzenia. Zgodnie z normami odcinki te nie przekraczają długości, dla której należy wykonywać badania, ale biorąc pod uwagę

zastosowane łączenia zasadne jest wykonanie badań również dla tego przypadku.

Dodatkowo duże urządzenia zwykle pracują w specyficznym środowisku, w którym, jak wspomniano w publikacji [1], zaburzenia rejestrowane w sieciach zasilania znacznie przekraczają typowo spotykane w środowisku przemysłowym i opisywane w normach EMC. W artykule [2] pokazano, że sygnały niepożądane rejestrowane w kopalniach, czyli w środowisku, w którym pracują niektóre z przedstawionych w niniejszym artykule urządzeń, znacznie przewyższają znormalizowane poziomy dopuszczalne zaburzeń. Należy podkreślić, że np. w przypadku urządzeń górniczych jakakolwiek podatność na zaburzenia pochodzące z sieci zasilania jest szczególnie niebezpieczna. W środowisku górniczym występują sygnały zaburzające o znacznym poziomie (jakich twórcy obecnie obowiązujących norm EMC mogli nie brać pod uwagę) i mogą one wywołać reakcje nieodpowiednio zabezpieczonego sprzętu.

Przykłady praktyczne problemów w zakresie odporności na zaburzenia

Z uwagi na możliwość wywołania przez zaburzenia zagrożeń związanych z bezpieczeństwem pracy dużych urządzeń i rozległych instalacji należy zwrócić szczególną uwagę na szczególnie wrażliwe elementy ich wyposażenia. Poniżej przedstawione zostało kilka niepożądanych efektów, jakie zostały wywołane podczas badań.

Przy badaniu lokomotyw górniczych podczas podawania zaburzeń przewodzonych – napięć zaburzeń indukowanych w przewodach przez pole częstotliwości radiowych (150 kHz – 80 MHz) – następowało składanie pantografu lokomotywy i reset systemu. Tego typu zaburzenia może powodować pracujący w tym zakresie częstotliwości system łączności lub sterowania. W tym wypadku problem związany był z nieciągłością ekranu. Tego typu błędy konstrukcyjne są bardzo częstym przypadkiem przyczyniającym się do niespełnienia wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej.

Rys. 5. Przykładowy obiekt podczas badań odporności na zaburzenia promieniowane

Kolejnym przykładem jest górnicza lokomotywa spalinowa, w której podczas narażeń na wyładowania elektrostatyczne (ESD) następowało wyłączenie monitora serwisowego (lub pojawiały się na nim błędne, losowe znaki), czemu towarzyszyło całkowite wyłączenie lokomotywy. Dla tego samego obiektu przy oddziaływaniu pola w.cz. następowało wyłączenie spowodowane alarmem metanomierza, zaś wrażliwość ta występowała m.in. dla częstotliwości pracy stosowanego w kopalniach systemu łączności.

Przykładem braku odporności na zaburzenia radiowe pochodzące od systemów komunikacyjnych takich jak np. DOTRA może być również efekt obserwowany podczas badań wyposażenia taśmociągu (tj. rozległego obiektu). Przy oddziaływaniu promieniowanego pola w.cz pojawiała się błędna sygnalizacja doziemienia, co w efekcie powodowało odłączenie zasilania taśmociągu. Należy pamiętać, że taka podatność na sygnały pochodzące od systemu komunikacji, który na pewno będzie stosowany w pobliżu, może uniemożliwić jakąkolwiek pracę urządzenia.

Rys. 6. Transformator górniczy podczas badań

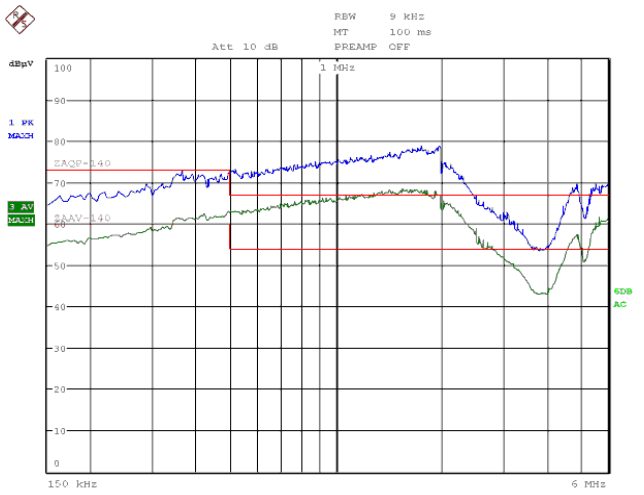
Podczas podawania zaburzeń przewodzonych na przewody w transformatorze, zaobserwowane zostały błędne wskazania napięcia zasilania i impedancji uziemienia. Podawanie tych samych zaburzeń na kabel iskrobezpieczny powodowało błędne wskazanie rezystancji izolacji (mniejszej niż dopuszczalna - interpretowane jako przebicie izolacji). Efektem tych błędów było wyłączenie urządzenia.

Nieprawidłowe podłączenie ekranów („wiszący” ekran) które jest powodem częstych problemów podczas narażania urządzeń górniczych było również powodem zaobserwowanego błędnego działania czujników taśmociągu. Wśród różnych przykładów błędów wskazań można podać obserwowane przyśpieszenie taśmy, ze wskazaniami osiągającymi postęp taśmy porównywalny z I prędkością kosmiczną czy też wskazania temperatury taśmy wahające się w zakresie topienia materiału, z którego była ona zrobiona. Prawidłowe ekranowanie z zastosowaniem filtrów ferrytowych na odpowiednich przewodach pozwoliło również na wyeliminowanie obserwowanych podczas podawania zaburzeń promieniowanych przyśpieszenia taśmy i sygnalizacji za dużej temperatury.

Powtarzającym się problemem w urządzeniach z dużym nagromadzeniem elektroniki – sterowania elektronicznego, zwłaszcza w urządzeniach, które mają punkt kontrolny oddalony od paneli operatorskich o kilka czy kilkanaście metrów jest podatność na narażenia przewodzone na przewodach sygnałowych. Zespół IŁ-PIB wiele razy obserwował przykłady błędnych komunikatów będących niepożądanym efektem w takich rozwiązaniach. W większości przypadków powodem podatności jest stosowanie nieprawidłowych (niezalecanych przez producentów) kabli, szczególnie kabli nieekranowanych. Efekt ten jest również obserwowany, gdy wytwórca dużego urządzenia zastosuje odległości znacznie przekraczające dopuszczalną odległość przez wytwórcę układu sterowania i sygnały, które przesyłane są przewodami komunikacyjnymi mają poziomy znacznie niższe niż typowe, co powoduje większą podatność na zaburzenia.

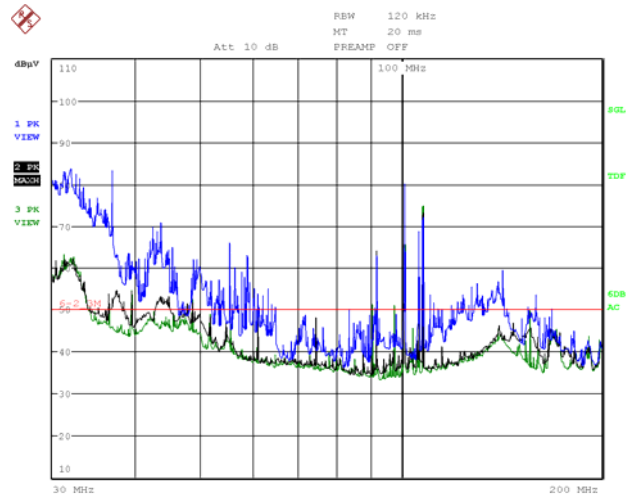
Przykłady praktyczne problemów w zakresie emisji zaburzeń

Przykładami obrazującymi efekty braku kompatybilności elektromagnetycznej z uwagi na generowane (emitowane) zaburzenia szczególnie w ostatnim czasie mogą być coraz chętniej stosowane falowniki. Urządzenia te zazwyczaj sprzedawane są w wersji bez lub z filtrem EMC, przy czym pierwsze domyślnie stosuje się wówczas, gdy podłączane są w szereg falowniki i na ich wyjściu stosuje się odpowiedni filtr. Niestety bardzo często to właśnie wersje bez filtrów stosowane są w urządzeniach górniczych i bardzo często wbrew zaleceniom producenta podanym w instrukcji, nie jest stosowany odpowiedni filtr, przez co urządzenia te nie spełniają wymagania EMC.



Rys. 7. Zarejestrowany efekt przekroczenia dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń przewodzonych

Na Rysunku 7 przedstawiono przykładowy efekt zaburzeń przewodzonych powodowanych przez zastosowany w urządzeniu falownik.



Rys. 8. Zarejestrowany efekt przekroczenia dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń promieniowanych

Na rysunku 8 pokazano podobny efekt w zakresie zaburzeń promieniowanych pochodzący od rozległej linii produkcyjnej. Kolorem niebieskim przedstawiono emisję zaburzeń promieniowanych podczas normalnej pracy urządzenia przy rejestracji detektorem wartości szczytowej, kolor zielonym pokazano tło odniesienia jakie panuje w hali w której przeprowadzano pomiary przy wyłączonym EUT – pomiar wykonany detektorem wartości szczytowej, kolor czarny przedstawia zaburzenia generowane przez EUT podczas rozruchu rejestrowane detektorem wartości szczytowej.

Podsumowanie

Wszystkie duże urządzenia lub instalacje, zwłaszcza wyposażone w wiele podzespołów elektronicznych, wymagają indywidualnego podejścia przy badaniu ich pod względem kompatybilności elektromagnetycznej. Istotne jest doświadczenie wykonujących badania, które pozwala im zidentyfikować potencjalne źródła problemów zarówno w zakresie emisji zaburzeń jak i odporności na zaburzenia. Z doświadczenia zespołu Laboratorium Badań EMC płynie przede wszystkim nauka, że im lepsza wzajemna współpraca między zespołem badawczym a konstruktorami tym mniej problemów rejestruje się podczas badań końcowych.

Należy jeszcze raz podkreślić, że podejście pro-EMC już na etapie projektowania urządzeń wpływa znacząco na spełnienie przez urządzenie wymagań Dyrektywy EMC a co w efekcie skutkuje pozytywnym wynikiem badań jakim to urządzenie zostanie poddane. Odpowiednia filtracja i dbałość o zabezpieczenie urządzenia z uwagi na potencjalnie występujące w środowisku docelowym zaburzenia elektromagnetyczne pozwala na wyeliminowanie problemów o jakich tu wspomniano. Oczywiście każde urządzenie większym lub mniejszym nakładem pracy i kosztów z tym związanych można doprowadzić do stanu zgodności. Jednakże czasami wiąże się to z całkowitym przeprojektowaniem niektórych elementów.

Zagadnienie szczególnie w kwestii odporności na narażenia jest w wielu przypadkach kluczowe z uwagi na bezpieczeństwo osób pracujących w pobliżu tych wielkich (o masie nawet ponad 30 t) urządzeń lub też rozległych instalacji (około kilku km).

LITERATURA

[1] M. Kałuski, M. Michalak, M. Pietranik, K. Skrzypek, M. Szafrańska, Disturbances in Industrial Power Networks, Przegląd Elektrotechniczny, SIGMA NOT, 2012, nr 9b, s. 298-300

[2] M. Kałuski, M. Michalak, M. Pietranik, K. Skrzypek, M. Szafrańska, Potrzeby zmian w normalizacji badań EMC w środowiskach specjalnych, Przegląd Elektrotechniczny, SIGMA NOT, 2012, nr 2, s. 79-81

[3] C. Worek, M. Szczurkowski, Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń elektronicznych przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem, Przegląd Elektrotechniczny, SIGMA NOT, 2010, nr 3, s. 176–178

***Autorzy**: mgr inż. Marek Kałuski, E-mail: m.kaluski@itl.waw.pl; mgr inż. Marek Michalak, E-mail: m.michalak@itl.waw.pl; mgr inż. Karolina Spalt, E-mail: k.spalt@itl.waw.pl; mgr inż. Monika Szafrańska, E-mail: m.szafranska@itl.waw.pl; Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Swojczycka 38, 51-501 Wrocław.*