

Kazimierz MIŚKIEWICZ, Antoni WOJACZEK  
Politechnika Śląska

## KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA GÓRNICZYCH URZĄDZEŃ AUTOMATYKI I ŁĄCZNOŚCI

**Streszczenie.** Dla poprawnej pracy górniczych urządzeń automatyki i telekomunikacji niezbędna jest analiza kompatybilności elektromagnetycznej (EMC). Kompatybilność elektromagnetyczna dotyczy ograniczenia emisji zaburzeń elektromagnetycznych do środowiska oraz odporności na zaburzenia elektromagnetyczne istniejące w środowisku. Referat opisuje zasady normalizacji EMC oraz zasady pomiaru emisyjności i odporności na zaburzenia elektromagnetyczne. Dla górniczych urządzeń automatyki i telekomunikacji niezbędne jest określenie dopuszczalnych poziomów emisyjności oraz odporności, szczególnie dla urządzeń i obwodów iskrobezpiecznych.

## ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF MINING CONTROL AND TELECOMMUNICATION EQUIPMENT

**Summary.** Analysis of electromagnetic compatibility is needed for proper operation of mining control and telecommunication equipment. Electromagnetic compatibility (EMC) concerns to limiting of emission of electromagnetic disturbances into electromagnetic environment and immunity to electromagnetic disturbances existing in the environment. The paper describes EMC standarization, emission measurements methods and immunity testing methods. For mining equipment estimation of emission limits and immunity limits particularly for intrinsically safe equipment is needed.

### 1. Wstęp

Występowanie oddziaływań o charakterze elektromagnetycznym pomiędzy urządzeniami elektrycznymi doprowadziło do powstania pojęcia kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) [4, 6]. W polskim górnictwie poważne problemy wynikające z kompatybilności elektromagnetycznej wystąpiły w latach siedemdziesiątych przy instalacji systemu

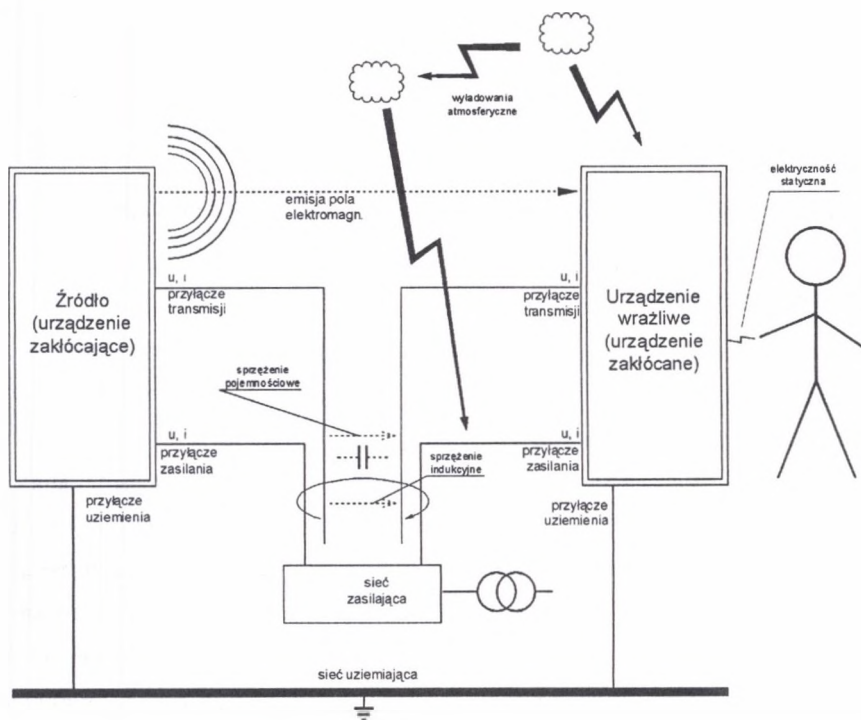
metanometrycznego CTT-63 w kopalniach eksploatujących sieci elektrotrakcyjne przewodowe. Oddziaływania trakcji elektrycznej prądu stałego na linie metanometryczne powodowały zbędne wyłączenia zasilania elektrycznych urządzeń dołowych przez system metanometryczny [3, 5]. Zaobserwowano również niekorzystne oddziaływanie urządzeń przekształtnikowych dużej mocy (np. napędy maszyn wyciągowych) na urządzenia telekomunikacyjne czy też telemetryczne, a także wzajemne oddziaływanie urządzeń telekomunikacyjnych na siebie (np. sygnału przywołania abonenta w systemie IAUL-CAMAC) [3, 5].

## 2. Podstawy prawne normalizacji w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej

Utworzenie Unii Europejskiej (UE) wymagało opracowania jednolitych warunków technicznych dotyczących wielu aspektów, w tym między innymi kompatybilności elektromagnetycznej. Zadanie to regulowane jest w UE tzw. „dyrektywami”. W zakresie kompatybilności elektromagnetycznej została wydana dyrektywa EMC 89/336/EEC [1], która (wraz z późniejszymi modyfikacjami) stanowi podstawę prawną do działań normalizacyjnych w tym zakresie. Wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej zostały zobowiązane do opracowania i przyjęcia przez parlamenty odpowiednich ustaw kompatybilnościowych, stanowiących przeniesienie na grunt krajowy dyrektywy 89/336.

Sformułowanie szczegółowych możliwych rozwiązań technicznych i sposób kontroli spełnienia przez dany wyrób tych podstawowych wymagań zawarty jest w zharmonizowanych normach europejskich (EN). Zgodnie z dyrektywą nowego podejścia **normy zharmonizowane nie są normami obowiązującymi i utrzymują swój status norm nieobowiązujących**. Władze narodowe jednak są zobowiązane do uznania, że produkty wytwarzane zgodnie z normami zharmonizowanymi (EN) transponowanymi w normy narodowe są domniemanie zgodne z zasadniczymi wymaganiami ustanowionymi przez dyrektywę. Przestrzeganie norm zharmonizowanych zapewnia np. produktowi **domniemanie zgodności** z wymaganiami zasadniczymi [2].

### 3. Pojęcie kompatybilności elektromagnetycznej



Rys. 1. Schemat propagacji zaburzeń

Fig. 1. Diagram of disturbances propagation

Według dyrektywy [1] kompatybilność elektromagnetyczna to zdolność aparatu, instalacji lub systemu do zadowalającej pracy w środowisku elektromagnetycznym, bez równoczesnego wywoływania zakłóceń elektromagnetycznych, które nie byłyby akceptowane przez wszystko, co się w tym środowisku znajduje.

Przy rozpatrywaniu kompatybilności występują co najmniej dwa urządzenia. Jedno z nich jest **źródłem** i emituje napięcia, prądy lub pola stanowiące **zaburzenia**. Drugie z tych urządzeń, zwane **urządzeniem wrażliwym**, może zachowywać się w ten sposób, że jego jakość działania może ulec pogorszeniu. Mówi się, że praca urządzenia wrażliwego jest zakłócana. Wieloletnie przyzwyczajenia językowe powodują, iż w wielu przypadkach zaburzenia nazywane są zakłóceniami. Należy dodać, że kompatybilność elektromagnetyczna dotyczy również oddziaływania wyładowań elektromagnetycznych na urządzenia elektryczne (wpływ naturalnego środowiska elektromagnetycznego), jak również oddziaływania wyładowań elektrostatycznych na urządzenia elektryczne. Na rysunku 1 przedstawiono

schematycznie różnego rodzaju oddziaływania związane z pojęciem kompatybilności elektromagnetycznej.

Oddziaływanie urządzeń na siebie może następować za pośrednictwem zaburzeń mających charakter różnych wielkości fizycznych, takich jak na przykład: napięcia, prądy, pola elektromagnetyczne.

## **4. Techniczne aspekty oceny kompatybilności elektromagnetycznej**

### **4.1. Ogólne zasady badań**

Techniczna ocena kompatybilności elektromagnetycznej zawiera:

- pomiar i ocenę emisyjności,
- badania odporności na zaburzenia.

Do pomiaru emisyjności stosuje się mierniki zaburzeń (zakłóceń), które są woltomierzami selektywnymi z przemianą częstotliwości lub analizatory widma. Oba typy przyrządów posiadają określoną w normach szerokość pasma przenoszenia oraz wyposażone są w różnego rodzaju detektory [5, 9, 10]. Charakterystyczne jest stosowanie detektorów quasi-szczytowych i określanie wartości dopuszczalnej jako wartości quasi-szczytowe [9, 10].

Zmierzone wartości emitowanych zaburzeń są porównywane z wartościami dopuszczalnymi określonymi albo w normie przedmiotowej dla badanego urządzenia lub dla danego środowiska. W normach zdefiniowano dopuszczalne poziomy dla:

- środowiska mieszkalnego, handlowego i lekko uprzemysłowionego [11, 13],
- środowiska przemysłowego [12, 14].

Istnieje możliwość zdefiniowania dopuszczalnych poziomów dla innych środowisk.

Badanie odporności polega na oddziaływaniu na badane urządzenie sygnałami o określonych parametrach i ocenie zachowania się urządzenia. Przyjmuje się następujące kryteria oceny [13,14]:

- kryterium oceny typu A - urządzenie powinno działać zgodnie ze swoim przeznaczeniem (również w trakcie badań),
- kryterium oceny typu B - urządzenie powinno działać zgodnie ze swoim przeznaczeniem po zakończeniu badań,
- kryterium oceny typu C – dopuszczalna jest chwilowa utrata funkcji urządzenia pod warunkiem ich samoistnego odtworzenia.

Przy badaniu odporności (szczególnie na zaburzenia impulsowe) istotne jest to, że badania nie mogą doprowadzić do uszkodzenia urządzenia, w tym także do zmiany zawartości pamięci mikrokontrolerów (np. skasowania oprogramowania).

Poziomy sygnałów zakłócających (tzw. ostrość próby) dla badań odporności na zaburzenia należy przyjmować z normy przedmiotowej dla danego urządzenia, normy dotyczącej zdefiniowanego środowiska elektromagnetycznego [13,14] lub można kierować się wskazówkami doboru zawartymi w normach dotyczących poszczególnych rodzajów badań [21, 22, 23, 24].

#### 4.2. Pomiar emisyjności

Badane urządzenie oraz antenę odbiorczą umieszcza się nad płaszczyzną całkowicie odbijającą fale elektromagnetyczne. Układ pomiarowy może być zrealizowany:

- na otwartym poligonie pomiarowym, w którym pewien obszar objęty tzw. elipsą Fresnela jest wyłożony blachą lub siatką metalową [7, 8],
- w komorze bezodbiciowej [7].

Istnieją również alternatywne metody pomiarów [7]:

- układ trzech ortogonalnych anten ramowych,
- komora TEM typu Crawforda,
- komora GTEM.

**Zaburzenia przewodzone** występują na zaciskach przewodów dołączonych do badanego urządzenia. Ponieważ właściwości elektryczne przewodów dołączonych do urządzenia mogą zmieniać się w szerokim zakresie, dla pomiaru napięć zakłóceń niezbędna jest taka konfiguracja układu pomiarowego, by zapewnić ściśle określoną wartość impedancji obciążenia dla częstotliwości pomiarowych. Tego rodzaju wymaganie w odniesieniu do przewodów zasilających spełnia zastosowanie sieci sztucznej [7].

Do pomiaru prądów zakłóceń stosowany jest transformator prądowy o znanej wartości impedancji przejścia.

Dla środowiska przemysłowego dopuszczalne poziomy zakłóceń są następujące [12]:

- zaburzenia przewodzone na zaciskach zasilania prądem przemiennym (<1000V):
- 0,15 – 0,5 MHz – 79dB (wartość quasi - szczytowa), 66dB (wartość średnia).
- 0,5 – 30 MHz - 73dB (wartość quasi - szczytowa), 60dB (wartość średnia),
- zaburzenia promieniowania,

- 30 – 230 MHz – 30 dB ( $\mu\text{V/m}$  – wartość quasi - szczytowa w odległości 30 m),
- 230 – 300 MHz – 37 dB ( $\mu\text{V/m}$  – wartość quasi - szczytowa w odległości 30 m).

#### 4.3. Pomiar odporności na zaburzenia sinusoidalne i impulsowe

Nieliniowe właściwości układów elektronicznych mogą być przyczyną istnienia pasożytniczych demodulatorów amplitudy. W przypadku pojawienia się na zaciskach urządzenia sygnałów zmodulowanych amplitudowo produkty demodulacji mogą wpływać na pracę urządzenia. Tego typu badania są istotne dla urządzeń z interfejsem akustycznym.

Do badań wykorzystuje się sygnały zmodulowane amplitudowo (najczęściej sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości 1 kHz) o zadanej głębokości modulacji (80%) i zadanim poziomie. Sygnały wprowadza się do przewodów za pomocą [25]:

- transformatora prądowego,
- układu sprzęgającego,
- klamry.

W trakcie badań sprawdza się zachowanie się badanego urządzenia. Niekiedy w przypadku urządzeń z interfejsem akustycznym sprawdza się czy poziom sygnału akustycznego (1 kHz) na odpowiednich zaciskach nie przekracza wartości dopuszczalnej.

Badania odporności na pola elektromagnetyczne powinny być wykonane w komorze bezodbiciowej. Za pomocą generatora i anteny w miejscu zainstalowania badanego urządzenia wytwarza się pole o określonych w normie przedmiotowej parametrach (poziom, głębokość modulacji amplitudy). W trakcie badań obserwuje się pracę badanego urządzenia stosując kryterium ostrości A.

Zalecane w normach [23, 25] poziomy probiercze są następujące:

- 1V (1 V/m) dla środowiska o niskim natężeniu promieniowania elektromagnetycznego, tzn. przy odległości co najmniej 1 km od nadajnika radiowo-telewizyjnego i w obecności w środowisku urządzeń nadawczo-odbiorczych niskiej mocy,
- 3 V (3 V/m) dla środowiska o średnim natężeniu promieniowania elektromagnetycznego, zawierającego urządzenia nadawczo-odbiorcze małej mocy (do 1W),
- 10 V (10 V/m) dla środowiska przemysłowego.

W kompatybilności elektromagnetycznej bierze się pod uwagę narażenia impulsowe wytwarzane przez następujące zjawiska:

- procesy łączeniowe w sieciach elektroenergetycznych,
- wyładowania atmosferyczne,



- elektryczność statyczną.
  - Stąd badania odporności na [22, 24]:
  - serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych (FTB – fast transient burst),
  - udary (surge),
  - wyładowania elektrostatyczne (ESD – electrostatic discharge).
- Impulsy (FTB lub surge) z generatora doprowadza się do badanego urządzenia przez:
- układ sprzęgający,
  - klamrę sprzęgającą,
  - folię lub taśmę przewodzącą nawiniętą na przewód.

Generator wytwarza serie impulsów o czasie narastania 5ns i czasie trwania 50 ns (na poziomie 50%). Seria trwa 15 ms, a okres powtarzania serii jest równy 300 ms.

Przy badaniu odporności na FTB stosuje się poziomy probiercze (od 0,5 do 4 kV) zależne od charakteru obwodu (przyłącze zasilania, przyłącze sygnałowe) i warunków środowiskowych (środowisko dobrze chronione, środowisko chronione, typowe środowisko przemysłowe, uciążliwe środowisko przemysłowe) [24].

W podobny sposób badana jest odporność na udary wywołane przez wyładowania atmosferyczne. Inne są parametry czasowe impulsów. Napięcie wyjściowe generatora ma parametry czasowe 1,2/50 $\mu$ s, a jego amplituda zależy od środowiska, w którym pracuje badane urządzenie. W przypadku badania telefonów stosuje się impulsy 10/700  $\mu$ s [19].

W badaniach odporności na wyładowania elektrostatyczne stosuje się [22]:

- wyładowania kontaktowe do obudowy urządzenia,
- wyładowania kontaktowe do płaszczyzny sprzęgającej (pionowa lub pozioma blacha metalowa w pobliżu badanego urządzenia),
- wyładowania w powietrzu do badanego urządzenia.

W badaniach odporności na ESD poziomy probiercze zależą od najmniejszej wilgotności względnej zastosowania w środowisku materiałów syntetycznych (elektryzujących się).

#### 4.4. Pomiar odporności na zaburzenia zasilania

W normie [26] zdefiniowano następujące zjawiska występujące w sieci zasilającej:

- zapad napięcia (nagłe obniżenie napięcia, po którym następuje powrót do stanu poprzedniego po czasie nie dłuższym od kilku sekund),
- krótka przerwa (zanik napięcia o czasie nie dłuższym od 1 min),
- zmiana napięcia (stopniowa zmiana napięcia zasilania do wyższej lub niższej wartości).

Zalecane poziomy probieczerce i czasy trwania zaburzeń w sieci zasilającej są podane w normie [26]. Znajomość odporności urządzenia na zaburzenia zasilania pozwala na właściwy wybór układu zasilania urządzeń automatyki i telekomunikacji.

## 5. Wnioski

W referacie przedstawiono w sposób skrótowy techniczne podejście do badania kompatybilności elektromagnetycznej. Prezentowane podejście sprowadza się do następujących elementów:

- pomiaru emisyjności (napięcia, prądy, pola elektromagnetyczne),
- prawidłowego wyboru dopuszczalnych parametrów emisyjności,
- badań odporności na narażenia elektromagnetyczne połączonych z prawidłowym wyborem poziomów probierczych,
- podejścia systemowego w przypadku większych instalacji.

W górnictwie w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej należy stosować tam, gdzie jest to możliwe, podejście ogólne na podstawie istniejących norm. Niezbędne jednak są prace zmierzające do właściwej oceny środowiska elektromagnetycznego istniejącego w kopalniach podziemnych.

Szczególnym przypadkiem są urządzenia i systemy iskrobezpieczne. Z racji iskrobezpieczeństwa spełniają one szereg wymagań dotyczących między innymi ich separacji od obwodów elektroenergetycznych i innych nieiskrobezpiecznych. Stąd pytanie: Jakie narażenia mogą się pojawić w obwodach iskrobezpiecznych i na jakie narażenia elektromagnetyczne powinny być odporne urządzenia iskrobezpieczne ?

## LITERATURA

1. Council Directive 89/336EEC of 3 May 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility. Official Journal of the European Communities No L 139.
2. Koszmider A., Lutz M., Nedtwig J., Probst H.: Certyfikat CE w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej. Normy i zasady bezpieczeństwa w elektrotechnice. Wydawnictwo WEKA, Warszawa 2000.
3. Praca zbiorowa pod red. D. J. Bema: Impulsowe narażenia elektromagnetyczne. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1994.



4. Krasucki F., Miśkiewicz K., Wojacek A., Frączek S.: *Electromagnetic Compatibility in Mining. Selected Problems*. ELSEVIER Amsterdam, London, New York, Tokyo 1993.
5. Praca zbiorowa pod red. F. Krasuckiego. *Wybrane zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej w górnictwie*. PWN, Warszawa 1988.
6. Praca zbiorowa pod red. W. Rotkiewicza: *Kompatybilność elektromagnetyczna w radiotechnice*. WKŁ, Warszawa 1978.
7. Więckowski T.: *Pomiar emisyjności urządzeń elektrycznych i elektronicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
8. Więckowski T.: *Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
9. PN-CISPR 16-1 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Urządzenia do pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia elektromagnetyczne*.
10. PN-CISPR 16-2 *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) Wymagania dotyczące urządzeń i metod pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia radioelektryczne. Metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i odporności na zaburzenia elektromagnetyczne*.
11. PN-EN 50081-1:1996 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania ogólne dotyczące emisyjności. Środowisko mieszkalne, handlowe i lekko przemysłowe*
12. PN-EN 50081-2:1995 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania ogólne dotyczące odporności na zakłócenia. Środowisko przemysłowe*.
13. PN-EN 50082-1:1996 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania ogólne dotyczące emisyjności. Środowisko mieszkalne, handlowe i lekko przemysłowe*.
14. PN-EN 50082-2:1992 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania ogólne dotyczące odporności na zakłócenia. Środowisko przemysłowe*.
15. PN-EN 55014 *Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne przyrządy powszechnego użytku lub urządzenia o podobnym przeznaczeniu zawierające silniki elektryczne i elementy grzejne oraz narzędzia i podobne urządzenia elektryczne*.
16. PN-EN 55015 *Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne urządzenia oświetleniowe i urządzenia podobne*.
17. PN-EN 55024 *Urządzenia informatyczne. Charakterystyki odporności Metody pomiaru i dopuszczalne poziomy*.
18. PN-93/T-06450 *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia i metody pomiarów zakłóceń radioelektrycznych*.
19. PN-72/T-05008 *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia łączności przewodowej. Dopuszczalne poziomy zakłóceń. Ogólne wymagania i badania*.
20. PN-EN 55022 *Dopuszczalne poziomy i metody pomiaru zakłóceń radioelektrycznych wytwarzanych przez urządzenia informatyczne*.
21. PN-EN 61000-2-4 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych*.
22. PN-EN 61000-4-2 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne. Podstawowa publikacja EMC*.
23. PN-IEC 1000-4-3 *Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej*.
24. PN-EN 61000-4-4 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych. Podstawowa publikacja EMC*.

25. PN-EN 61000-4-6 Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na zaburzenia przewodzone indukowane przez pola o częstotliwości radiowej.
26. PN-EN 61000-4-11 Kompatybilność elektromagnetyczna. Metody badań i pomiarów. Badanie odporności zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Walaszek - Babiszewska, prof. UZ

### **Abstract**

The paper describes definition of electromagnetic compatibility (EMC). It presents testing methods of equipment immunity and emission. For EMC analysis of mining control and telecommunication equipment the estimation of emission limit and immunity limit is needed. Separation of intrinsically safe circuits from electrical power networks and nonintrinsically save circuits allows the decreasing immunity levels.