

mgr inż. MAREK KAŁUSKI
mgr inż. MAREK MICHALAK
mgr inż. KAROLINA SPALT
mgr inż. MONIKA SZAFRAŃSKA
Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej

Potrzeby zmian w zakresie norm regulujących badania kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) urządzeń górniczych

W artykule zwrócono uwagę na potrzebę wprowadzenia zmiany wymagań z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej, wynikającej ze specyfiki środowiska podziemnych wyrobisk górniczych. Przedstawiono najważniejsze zjawiska elektromagnetyczne występujące w kopalniach, które mogą nie być w wystarczającym stopniu odzwierciedlone w wymaganiach wynikających z obecnego stanu normalizacji. Zaznaczono, że poruszone zagadnienia są jedynie zarysem problemu, mającym na celu zwrócenie uwagi na skalę zjawisk elektromagnetycznych (EM), występujących w podziemnych wyrobiskach kopalni.

1. WPROWADZENIE

Wszystkie urządzenia poddawane badaniom na zgodność z wymaganiami dyrektywy o kompatybilności elektromagnetycznej [1] muszą zostać na wstępie ocenione pod kątem środowiska, w którym będą docelowo pracować. Dlatego tak istotną kwestią jest właściwe zidentyfikowanie tego środowiska przed przystąpieniem do badań i określenie odpowiednich dla niego parametrów tychże badań.

Obecnie w normalizacji kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) stosuje się podział na dwa środowiska: przemysłowe oraz mieszkalne, handlowe i lekko uprzemysłowione. Nie uwzględnia on środowisk specyficznych, które nie pasują do takiej klasyfikacji. W szczególności środowisko podziemnych wyrobisk górniczych, identyfikowane zwyczajowo jako przemysłowe, jest na tyle specyficzne ze względu na charakter występujących w nim zaburzeń i drogi ich propagacji, że wymaga odrębnego podejścia przy ustalaniu najbardziej właściwych wymagań EMC.

2. KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA

Przed omówieniem zagadnień związanych z problemami normalizacyjnymi dotyczącymi samych badań kompatybilności elektromagnetycznej należy wyjaśnić, czym ona jest i co użytkownik zyskuje dzięki odpowiedniemu do niej podejściu. Kompatybilność można opisać jako współistnienie bez szkody dla żadnej ze stron. W praktyce oznacza to, że maszyna górnicza, która jest kompatybilna, może działać bezszkodowo w otoczeniu innych maszyn, nie powodując ich błędnej pracy, jak również sama nie podlega wpływom zaburzeń ze środowiska, w którym pracuje. Z punktu widzenia użytkownika spełnienie przez urządzenie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej daje przede wszystkim poczucie bezpieczeństwa. To poczucie bezpieczeństwa możemy zawdzięczać temu, że przebadane urządzenie w większości przypadków wyposażone jest w zabezpieczenia, które powodują znaczący spadek awaryjności urządzeń, a także zapewniają, że urządzenie nie

wykona błędnego rozkazu i nie dojdzie przez to do wypadku lub awarii (przykładowo rozmowa prowadzona przez radiotelefon nie spowoduje wyłączenia taśmociągu).

W związku z powyższym istotne jest, aby urządzenia były zgodne z wymaganiami EMC. Z kolei wymagania te powinny zostać dostosowane do specyficznych warunków panujących w podziemiach kopalń (opisanych ogólnie w dalszej części artykułu).

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ŚRODOWISKA

Środowisko elektromagnetyczne w podziemnych wyrobiskach kopalń można ogólnie scharakteryzować i przeanalizować, uwzględniając kilka jego istotnych elementów, których nie spotka się w typowym środowisku przemysłowym na powierzchni ziemi. Są to:

- parametry fizyczne związane z charakterystyką takich miejsc, jak wąskie i długie wyrobiska korytarzowe (przypominające tunele) czy wyrobiska wybierkowe wyposażone w żelazne kompleksy ścianowe,
- sieć elektroenergetyczna,
- maszyny pracujące pod ziemią, charakterystyczne dla środowiska kopalń – z silnikami elektrycznymi, generujące duże zmiany prądów i napięć przy ich załączaniu/wyłączaniu, posiadające duże rozmiary,
- sygnały celowo propagowane w wyrobiskach podziemnych (np. systemy komunikacyjne wykorzystujące ciekący kabel, sterowanie radiowe itp.).

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na obserwowany ciągle wzrost zastosowania zautomatyzowanych procesów technologicznych z dużym wykorzystaniem podzespołów elektronicznych. Urządzenia takie, jak nowoczesne kombajny górnicze wyposażone w kamery, systemy zdalnego sterowania, czujniki, systemy komunikacyjne itp., które mają na celu poprawę bezpieczeństwa i ułatwienie pracy człowiekowi, a także optymalizację kosztów wydobywania, mogą być znacznie bardziej podatne na zjawiska EM występujące w kopalniach. Dlatego coraz powszechniejsze wdrażanie ich do podziemnych wyrobisk kopalni wymaga poznania zjawisk elektromagnetycznych już tam występujących, odpowiedniego ich zdefiniowania pod kątem bezpieczeństwa pracy ludzi i urządzeń oraz analizy kompatybilności. Ze względu na kompatybilność istotne jest również dostosowanie wprowadzanych do kopalni nowych urządzeń do istniejących tam warunków poprzez ustanawianie im odpowiednich wymagań EMC.

Jak wspomniano, szczególną uwagę należy zwrócić na badania stanu środowiska w kopalniach i dokładny opis zjawisk w nim zachodzących. Przeprowadzona wstępna ocena pozwala stwierdzić, że środowisko to różni się od typowego środowiska przemysłowego. Ponadto należy mieć świadomość tego, że z uwagi na warunki pracy pod ziemią zagrożenia tam występujące są znacznie poważniejsze w skutkach, niż te związane z typowymi środowiskami naziemnymi, zaś ewentualna nieprawidłowa praca urządzeń, spowodowana brakiem odporności na zaburzenia elektromagnetyczne, może zagrozić zdrowiu i życiu ludzi tam pracujących oraz spowodować straty materialne.

Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na konieczność nowego podejścia do problemu opisu stanu środowiska elektromagnetycznego w podziemnych wyrobiskach kopalń. Autorzy od 2006 r. prowadzą prace pozwalające opisać i scharakteryzować pod kątem EMC środowiska podziemnych wyrobisk kopalń. Dodatkowo znaczący wpływ na kierunek prac zespołu ma wieloletnie, aktywne uczestnictwo w pracach Komitetu Technicznego nr 104 ds. Kompatybilności Elektromagnetycznej, działającego przy Polskim Komitecie Normalizacyjnym. Zebrany dotychczas materiał oraz doświadczenie w normalizacji pozwalają na sformułowanie tezy, że obowiązujące normy, opracowane dla środowiska przemysłowego, wydają się nieadekwatne w stosunku do środowiska EM w podziemnych wyrobiskach kopalń, w związku z czym wymaga ono odrębnego potraktowania.

Takie doświadczenie zarówno autorów niniejszego artykułu, jak i członków innych zespołów badawczych spowodowało potrzebę powołania konsorcjum (<http://www.cbsemk.agh.edu.pl/>) z udziałem kilku znaczących w tej dziedzinie instytucji naukowo-badawczych. Centrum Badań Środowiska Elektromagnetycznego Kopalń stawia sobie za cel przygotowanie odpowiednich założeń do prac normalizacyjnych, w tym ewentualnej korekty wymagań dotyczących poziomów zaburzeń elektromagnetycznych w środowiskach kopalń. W ramach kooperacji zgłoszone zostały już pierwsze propozycje do przygotowywanego przez Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji rozporządzenia.

4. ZBURZENIA WYSTĘPUJĄCE W PODZIEMNYCH WYROBISKACH KOPALŃ

Przy okazji badań EMC środowiska górniczego w podziemnych wyrobiskach kopalń zespół zebrał podstawowe informacje o środowisku elektromagnetycznym zakładu górniczego w warunkach rzeczywistych.

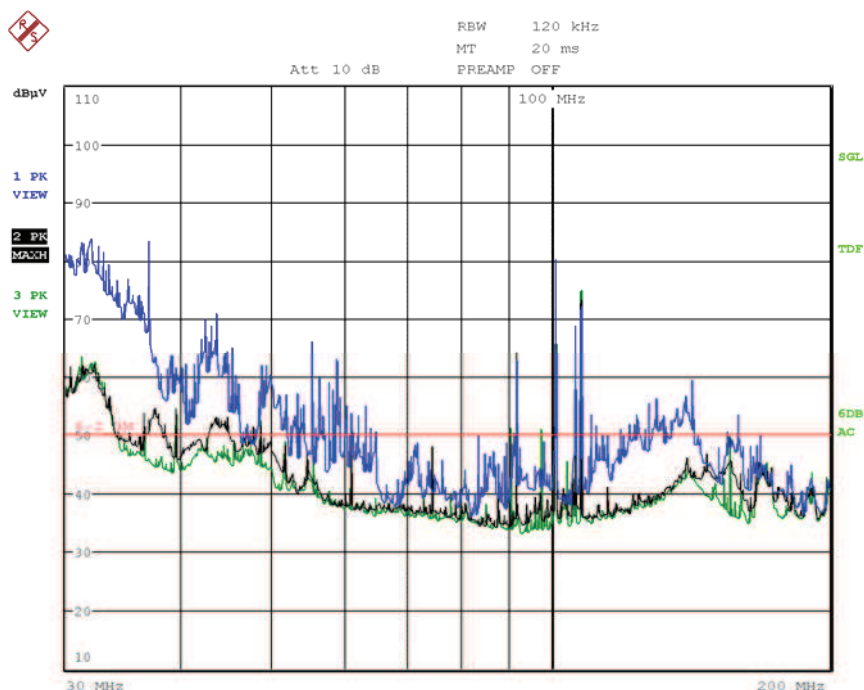
Stwierdzono, że podstawowe znaczenie mają zaburzenia przewodzone i zaburzenia promieniowane w polu bliskim. Można przyjąć, że zaburzenia generowane przez urządzenia przenikają do otoczenia w postaci:

- zaburzeń przewodzonych, rozprzestrzeniających się w układzie wspólnego zasilania lub wspólnego systemu kabli sygnałowych (regulacji, sterowania, nadzoru itp.),
- napięć indukowanych w przewodach bezpośrednio przez pola elektromagnetyczne lub w wyniku silnych sprzężeń występujących między biegnącymi równolegle kablami,
- pól elektromagnetycznych od generujących takie zaburzenia urządzeń, pracujących w bezpośrednim sąsiedztwie.

Wyniki tych badań potwierdziły, że najistotniejsze z punktu widzenia środowiska elektromagnetycznego kopalń są zaburzenia przewodzone. Autorzy przed przystąpieniem do badań na podstawie wizji lokalnych stwierdzili, że sieć energetyczna w kopalniach jest w większości przypadków siecią „miękką”, do której przyłączone są urządzenia generujące stany przejściowe o dużej amplitudzie, co może powodować znaczący udział zaburzeń przewodzonych w ogólnym udziale zjawisk występujących w kopalniach. Ponadto wzięto również pod uwagę specyfikę górniczych podziemnych wyrobisk, wzdłuż których na ociosach w bliskiej odległości od siebie podwieszane są przewody niskiego i średniego napięcia. Dodatkowo w niektórych przypadkach na stosunkowo niewielkich wysokościach zawieszono przewody trakcyjne, stanowiące doskonałe medium propagujące sygnały wysokiej częstotliwości po całym zakładzie górniczym [4].

Mając na względzie powyższe ustalenia, należy zastosować inną niż znormalizowaną metodologię badań. Podstawowym urządzeniem do pomiarów zaburzeń przewodzonych w warunkach laboratoryjnych jest sieć sztuczna, której zastosowanie dla sieci energetycznej kopalni (o prądach roboczych do kilkuset A przy napięciach 500/1000 V) jest niemożliwe. Nie ma bowiem odpowiednich sieci sztucznych przystosowanych do tak dużych prądów roboczych przy napięciu skutecznym powyżej 500 V. Dodatkowym utrudnieniem jest także brak możliwości ich włączenia w sieć kopalnianą bez powodowania długich przerw w pracy zakładu górniczego. W takich warunkach możliwe jest jedynie zastosowanie odpowiedniego transformatora prądowego sygnały wysokiej częstotliwości. Jego niewątpliwymi zaletami podczas badań *in situ* są prostota układu pomiarowego oraz łatwość zastosowania w rzeczywistych warunkach kopalni, niewymagającego przerywania przewodów energetycznych.

Tak jak wspomniano wcześniej, w przypadku podziemnych wyrobisk górniczych to składowe związane z zaburzeniami przewodzonymi są znacznie bardziej istotne aniżeli zaburzenia promieniowane. Występuje tu niewiele sygnałów promieniowanych, związanych z zamierzonymi emisjami: komunikacją lub sterowaniem maszynami. Emisje niezamierzone, zaburzenia od maszyn górniczych, mierzalne są najczęściej w polu bliskim urządzenia i mają znaczenie w ograniczonym zakresie częstotliwości (do 200 MHz – przykład pokazano na rys. 1). Mogą za to powodować indukowanie się napięć w przewodach.



Rys. 1. Zarejestrowany efekt przekroczenia dopuszczalnych poziomów emisji zaburzeń promieniowanych [4]

Mając powyższe na uwadze, autorzy pragną szczególnie skupić uwagę na zaburzeniach przewodzonych i podkreślić ich dużą rolę w środowisku elektromagnetycznym kopalń.

5. ZABURZENIA WYNIKAJĄCE ZE ZMIAN PRĄDU

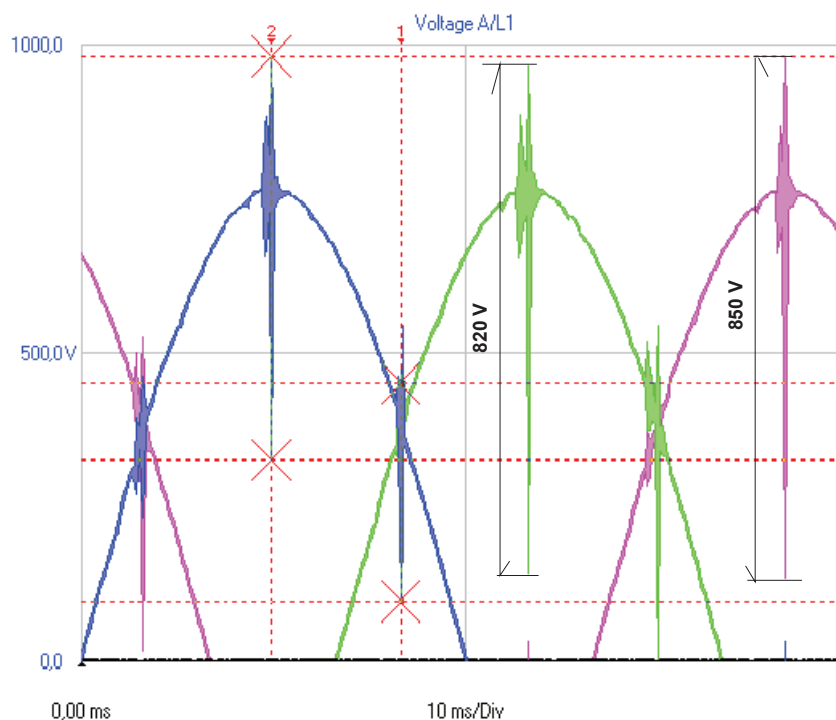
W latach 2006-2010 zostały przeprowadzone pomiary jakości w kopalnianej sieci energetycznej, na podstawie których stwierdzono, że główną przyczyną zaburzeń w kopalni są zmiany prądu w przewodach energetycznych, w szczególności zmiany nagłe, powstające w wyniku celowego lub awaryjnego włączenia/wyłączenia dużych obciążeń. Te zmiany prądów powodują powstanie zaburzeń EM, które w kopalnianej sieci zasilania rozchodzą się w postaci napięć/prądów (tzw. zaburzenia przewodzone) lub pól o charakterze pola magnetycznego/elektrycznego w bezpośrednim otoczeniu kabli energetycznych, w których te zmiany zachodzą [2].

Z kolei jako główne źródła zaburzeń w sieci energetycznej kopalni zidentyfikowano:

- urządzenia bardzo dużej mocy o impedancji zespolonej (zwłaszcza o charakterze indukcyjnym); w wyniku ich nagłego odłączenia generowane są krótkotrwałe, bardzo duże przepięcia o charakterze impulsowym o wartościach nawet kilkuset V (o czasie trwania poniżej 0,1 ms),
- urządzenia o nieliniowym charakterze impedancji; są przyczyną powstawania dużych poziomów sygnałów harmonicznnych, problem zaostża się w przypadku tzw. „sieci miękkiej”, kiedy to nagłe zmiany obciążenia są odczuwalne przez inne dołączone do takiej sieci urządzenia.

Przedstawione w dalszej części artykułu zjawiska obserwowane w sieci energetycznej kopalni, towarzyszące różnym stanom pracy dołączonych urządzeń, nie stały się przedmiotem kompletnego opisu. Zwraca się tu uwagę jedynie na niektóre, najbardziej istotne, obserwowane w praktyce zaburzenia.

Nagłe włączenie/wyłączenie dużych obciążeń o charakterze indukcyjnym, mające miejsce w przypadku silników napędzających maszyny wyciągowe, wentylatory głównego przewietrzania itp., powoduje powstawanie na obwodni sygnału energetycznego dużych impulsów o amplitudzie często przekraczającej wartość szczytową nominalnego napięcia sieci (rys. 2).

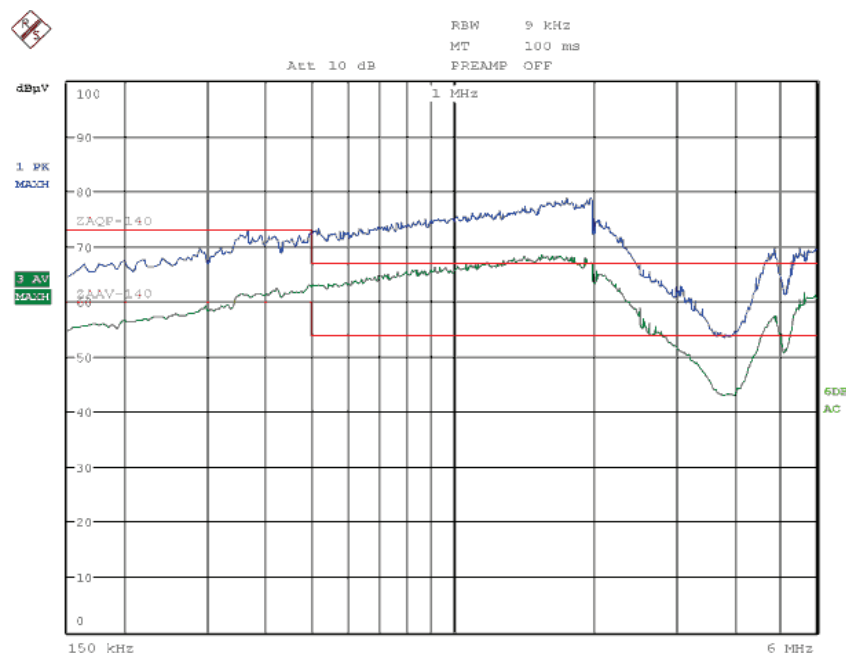


Rys. 2. Zmiany napięcia w przewodach zasilania silnika napędu wentylatora [4]

Związane z tym widmo zaburzeń przewodzonych w sieci energetycznej może stanowić problem nawet w zakresie do kilkudziesięciu MHz (rys. 3). W sieciach średniej i małej mocy przełączanie powoduje powstawanie szeregu impulsów o bardzo krótkich

czasach narostu (rzędu kilku ns), stanowiących poważne zagrożenie dla urządzeń ze sterowaniem mikroprocesorowym.

Innym charakterystycznym zaburzeniem w sieci energetycznej są duże zniekształcenia obwodni sygna-



Rys. 3. Przykład emisji zaburzeń przewodzonych pochodzących od falownika stosowanego w kopalni [4]

łu energetycznego, a w konsekwencji pojawianie się istotnych sygnałów harmonicznyc. Takie zaburzenia wywoływane są w szczególności przez urządzenia o nieliniowym obciążeniu, np. przekształtniki tyrystorowe (często stosowane w układach napędów maszyn wyciągowyc).

Zarejestrowane zaburzenia pojawiające się w sieci zasilania przekraczają dopuszczalne poziomy ustalone dla środowiska przemysłowego – do oceny zostały użyte te poziomy, ponieważ obecnie nie istnieją normy określające parametry sieci energetycznej w podziemiach kopalni. Z drugiej strony badania nowo wprowadzanych urządzeń do kopalni opierają się także na normie przemysłowej. Norma ta podaje limity dopuszczalne emisji urządzeń i poziomy odporności. Przy obecnym stanie normalizacji wartości te są tak dobrane, iż spełnienie wymagań odporności i emisji gwarantuje, że badane urządzenie będzie bezproblemowo pracować w danym środowisku. Jednak w przypadku środowiska górniczego już na początku wiadomo, że poziomy emisji w sieci zasilającej są na tyle duże (przekraczają znacznie wartości określone w normie przemysłowej), iż urządzenia, które pomyślnie przeszły badania EMC dla warunków środowiska przemysłowego, mogą w środowisku górniczym pracować w sposób nieprawidłowy [3].

6. PODSUMOWANIE

Wszystkie urządzenia lub instalacje górnicze, zwłaszcza te wyposażone w wiele podzespołów elek-

tronicznyc, wymagają indywidualnego podejścia przy badaniu ich pod względem kompatybilności elektromagnetycznej z uwagi na specyficzne środowisko, w jakim pracują.

Dla dalszych prac normalizacyjnych istotne jest zidentyfikowanie potencjalnych źródeł, mogących powodować problemy z punktu widzenia EMC – zarówno w zakresie emisji zaburzeń, jak i odporności na zaburzenia.

Wyniki licznych pomiarów urządzeń górniczych oraz wstępne rozpoznanie środowiska górniczego pozwala na stwierdzenie, że niezbędne jest powstanie norm górniczych EMC, które uwzględniałyby poziomy emisji przewodzonych rejestrowanych w kopalni.

W konsekwencji niezbędne jest również zwiększenie poziomów odporności urządzeń tam pracujących, gdyż nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie zaburzeń występujących w sieci zasilania podziemnych zakładów górniczych.

Literatura

1. Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG.
2. Kałuski M., Michalak M., Pietranik M., Skrzypek K., Szafranska M.: *Disturbances in Industrial Power Networks*. „Przegląd Elektrotechniczny”, SIGMA NOT, nr 9b, 2012, s. 298-300.
3. Kałuski M., Michalak M., Pietranik M., Skrzypek K., Szafranska M.: *Potrzeby zmian w normalizacji badań EMC w środowiskach specjalnych*. „Przegląd Elektrotechniczny”, SIGMA NOT, nr 2, 2012, s. 79-81.
4. Worek C., Szczurkowski M.: *Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń elektronicznyc przeznaczonych do pracy w przestrzeniach zagrożonych wybuchem*. „Przegląd Elektrotechniczny”, SIGMA NOT, nr 3, 2010, s. 176-178.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.