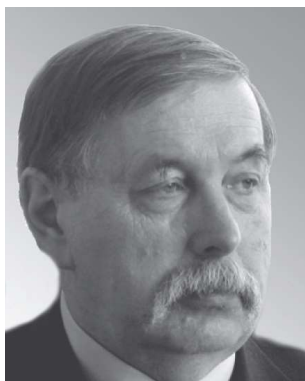


Ryzyko niezamierzonego odpalenia zapalników elektrycznych przez urządzenia radiokomunikacyjne

Risk of unintentional firing the electric blasting cap by radiocommunication devices



Dr inż. Kazimierz Miśkiewicz^{)}*



Dr hab. inż. Antoni Wojaczek prof. PŚ^{)}*

Treść: W górnictwie podziemnym stosuje się systemy radiokomunikacyjne zarówno dla realizacji usług głosowych (radiotelefony), jak i dla lokalizacji maszyn i ludzi, transmisji danych z pojazdów, a także lokalnego sterowania maszyn. Ze względu na warunki propagacji fal elektromagnetycznych, systemy radiokomunikacyjne wykorzystują metalowe wyposażenie wyrobisk, przewód promieniujący, punkty dostępowe czy też czytniki identyfikatorów. Nadajniki ruchome i nieruchome systemów radiokomunikacyjnych, a także przewód promieniujący, emitują fale elektromagnetyczne, które oddziałują na obwody strzałowe oraz druty zapalników elektrycznych. Przewody zapalnika tworzą antenę o przypadkowych parametrach. Istotnym zagrożeniem, jakie może wywołać nadajnik dowolnego systemu radiokomunikacyjnego jest możliwość niezamierzonego odpalenia zapalnika elektrycznego obwodu strzałowego przygotowywanego do odpalenia. Występowanie takiego zagrożenia jest zależne od konfiguracji obwodu strzałowego, odległości obwodu strzałowego od nadajnika radiowego oraz od jego mocy. Artykuł przedstawia analizę oddziaływania sygnałów radiowych na przewody zapalników elektrycznych i obwody strzałowe, a także zalecenia dotyczące bezpiecznego prowadzenia robót strzałowych w pobliżu tych nadajników.

Abstract: In underground mining the radiocommunication systems are both applied for voice service (radio-telephones) and for localization of machines, employees, data transmission of vehicles, and local control of mining devices as well. Due to conditions of propagation of electromagnetic waves, the radiocommunication systems use metal outfit of workings, leaky feeder, access points or ID readers. Portable and stationary transmitters of radiocommunication systems as well as leaky feeder emit electromagnetic waves that affect the blasting circuits as well as conductors of electric blasting caps. Conductors of blasting cap compose an antenna of random parameters. The special hazard that a transmitter of any radiocommunication system may produce is an opportunity of unintentional firing the blasting cap of ready to use electric blasting circuit. Occurrence of such risk depends on configuration of blasting circuit, the distance of blasting circuit from radio transmitter and its power as well. The paper presents an analysis of radio signals effect on conductors of electric blasting caps and blasting circuits, and recommendations related to safe execution of blasting works in proximity of these transmitters.

Słowa kluczowe:

radiokomunikacja w kopalniach, zapalniki elektryczne

Keywords:

Radio communication in underground mines, electric blasting caps

1. Wprowadzenie

W kopalniach podziemnych systemy radiokomunikacyjne wykorzystywane są nie tylko do łączności fonicznej (np. z obsługą maszyn, kolejek, czy brygad wykonujących roboty w szybach), lecz również do transmisji danych (z maszyn lub czujników radiowych) oraz do zdalnego sterowania urządzeń górniczych. Urządzenia radiokomunikacyjne stosowane w kopalniach, w których występuje zagrożenie wybuchem metanu

powinny być iskrobezpieczne. Dla kopalń niemetalowych urządzenia radiokomunikacyjne, z uwagi na eksploatację w określonym środowisku technicznym, powinny posiadać stopień ochrony obudowy minimum IP54 (PGG 2011, RME 2016).

Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych (RRM 2004), w załączniku nr 2 w rozdziale „Sprzęt strzałowy” określa między innymi minimalne wymagania techniczne dla urządzeń do mechanicznego ładowania materiałów wybuchowych oraz wozów i pojazdów do przewożenia, lub prze-

^{*)} Politechnika Śląska, Gliwice.

chowywania środków strzałowych. Urządzenia te podlegają procedurze dopuszczeniowej. Procedury dopuszczeniowe nie uwzględniają jednak żadnych badań podatności środków inicjujących i zapalających, a także sprzętu strzałowego na pola elektromagnetyczne. Ustawa o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego (UMW 2002) również nie wymaga badania materiałów wybuchowych pod kątem ich odporności na zakłócenia i silne pola elektromagnetyczne.

Wymagania dotyczące zasad bezpiecznego wykonywania prac z wykorzystaniem środków strzałowych w pobliżu źródeł pola elektromagnetycznego są określone w Rozporządzeniu Ministra Energii z 2016 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego (RME MW 2016). Rozporządzenie, chociaż określa zasady użytkowania środków strzałowych w pobliżu źródeł pola elektromagnetycznego, to jednak jest nieprecyzyjne. W zakresie wykonywania robót strzałowych przy użyciu zapalników elektrycznych w pobliżu czynnych nadajników fal elektromagnetycznych wymagania dotyczące zachowania minimalnych odległości obwodów strzałowych od urządzeń nadawczych, dotyczą (jak należy przypuszczać) w większości przypadków kopalń odkrywkowych. § 176 przywołanego rozporządzenia określa dodatkowo, iż roboty strzałowe mogą być prowadzone, jeżeli odległość wykonywania tych robót jest większa niż 300 m (dla zapalników elektrycznych klasy 0,2 A), względnie 200 m (dla klasy 0,45 A), czy 100 m (dla klasy 2 A) od energetycznych linii napowietrznych wysokiego napięcia i przewodów trakcyjnych oraz stacji nadawczych radiowych, telewizyjnych, dla systemów GSM, wojskowych itp. pracujących na obszarze Polski (np. minimalna odległość od stacji radarowej powinna wynosić 2200 m, a od nadajników o mocy powyżej 1 kW od 200 do 1500 m). Rozporządzenie zabrania używania wyrobów, w tym odzieży, gromadzących ładunki elektryczności statycznej, zdolnych do zainicjowania środków strzałowych. Ponadto zwraca ono uwagę na konieczność okresowego pomiaru prądów błądzących przed pierwszym wykonywaniem, w danym miejscu, robót strzałowych. Artykuł jest próbą oceny możliwości niezamierzonego odpalenia zapalników elektrycznych przez systemy radiokomunikacyjne stosowane w wyrobiskach podziemnych.

2. Systemy radiowe w kopalniach podziemnych

2.1. Ogólna charakterystyka systemów radiowych

Środowisko techniczne podziemnego zakładu górniczego stwarza stosowanym tam systemom radiowym wiele, niespotykanych na powierzchni, ograniczeń i uwarunkowań, związanych między innymi z następującymi czynnikami (Wojaczek 2014, Miśkiewicz, Wojaczek 2018):

1. Przeciwybuchowością. W kopalniach zagrożonych wybuchem metanu urządzenia radiokomunikacyjne powinny być przeciwybuchowe, przystosowane do pracy w dowolnej koncentracji metanu.
2. Strukturą wyrobisk. Małe poprzeczne wymiary wyrobisk górniczych w stosunku do ich wymiarów podłużnych (do kilku kilometrów) stwarzają konieczność stosowania określonych struktur sieci teletransmisyjnych systemów radiowych.
3. Środowiskiem elektromagnetycznym. W wyrobiskach, w ograniczonych przestrzeniach, występuje duże nagromadzenie sieci i urządzeń elektroenergetycznych o dużych mocach; sieci radiokomunikacyjne oraz elektroenergetyczne na długich odcinkach są prowadzone równolegle w niewielkiej odległości.

4. Ograniczoną możliwością ciągłego, lokalnego zasilania urządzeń radiowych z dołowej sieci elektroenergetycznej. Przekroczenie progu alarmowego stężenia metanu powoduje automatyczne wyłączenie zasilania w danym rejonie wentylacyjnym.

Ważne ograniczenie związane jest także z maksymalną mocą urządzeń radiowych. Urządzenia nadawcze nie mogą np. powodować przypadkowego odpalenia zapalników elektrycznych.

Ze względu na sposób realizacji łącza telekomunikacyjnego w kopalniach podziemnych wyróżnia się następujące rodzaje systemów telekomunikacyjnych (Wojaczek i in 2018):

- **systemy TTE** (Through The Earth) wykorzystujące propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór,
- **systemy TTW** (Through The Wire) wykorzystujące kable telekomunikacyjne, a niekiedy elementy metalowe wyposażenia wyrobisk takie jak np. liny urządzeń wyciągowych czy przewody jezdne trakcji elektrycznej,
- **systemy TTA** (Through The Air) wykorzystujące propagację fal elektromagnetycznych przez powietrze wewnątrz wyrobiska,
- **systemy hybrydowe** wykorzystujące różne sposoby realizacji poszczególnych fragmentów łączy teletransmisyjnych np. TTW + TTA (przewód promieniujący + propagacja swobodna fali elektromagnetycznej).

2.2. Systemy TTE

Systemy TTE wykorzystują propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór. Parametry elektryczne górotworu ograniczają w istotny sposób propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór. Systemy TTE wykorzystuje się powszechnie w każdej kopalni, szczególnie w czasie akcji ratowniczych przy lokacji górników w zawale. W kopalniach węgla górników wyposaża się w nadajniki GLON (górnicy lokacyjny osobisty nadajnik), pracujące w zakresie częstotliwości 4100 – 5840 Hz. Są one umieszczone w obudowie akumulatora lampy nahełmnej. Pracują ciągle od momentu pobrania lampy z lampowni. W przypadku obniżenia się pojemności akumulatora do wartości minimalnej (około 2,25 V) wyłącza się oświetlenie podstawowe lampy, a nadajnik lokacyjny pracuje jeszcze przez minimum 7 dni. Pobór prądu przez nadajnik lokacyjny nie przekracza 20 mA. W kopalniach rud miedzi, we wszystkich lampach stosuje się nadajniki LOK o częstotliwości fali nośnej 250 kHz. Minimalny czas autonomicznej pracy nadajnika LOK wynosi 10 dni. Zasilany jest on z akumulatora lampy o pojemności około 9 Ah, napięciem 3,6 V i pobiera prąd około 15 mA. Badania praktyczne obu systemów potwierdziły możliwość lokacji górnika w zawale z odległości około 30 m.

Małe moce tych nadajników nie mają żadnego wpływu na możliwość odpalenia zapalnika elektrycznego materiału wybuchowego w kopalni.

2.3. Systemy TTW

Systemy TTW wykorzystują w części swojego łańcucha teletransmisyjnego kable telekomunikacyjne, a także elementy metalowe wyposażenia wyrobisk górniczych, takie jak np. liny urządzeń wyciągowych (telefony szybowe TS-32, TS-65, system łączności i sygnalizacji szybowej ECHO), czy przewody jezdne trakcji elektrycznej (trolejfony TRG). Systemy TTW pracują najczęściej w zakresie fal długich (32 - 120 kHz).

Pomimo dużych mocy tych nadajników, zastosowanie lokalne i specyficzne tych urządzeń:

- w szybach, w czasie rewizji szybu, kiedy nie prowadzi się robót strzałowych,

- w wyrobiskach z trakcją elektryczną, kiedy przy załączonym przewodzie jezdnym również nie prowadzi się robót strzałowych, systemy TTW nie mają wpływu na możliwość odpalenia zapalnika elektrycznego materiału wybuchowego w kopalni.

2.4. Systemy TTA oraz hybrydowe TTA + TTW

Systemy TTA oraz hybrydowe TTA + TTW są obecnie najpowszechniej stosowane w kopalniach. Wykorzystuje się w nich pasma częstotliwości niechronionych ISM (Industrial, Scientific, Medical); pasma wielu różnych zakresów częstotliwości (np. od 6,7 MHz do 246 GHz) przeznaczone do zastosowań w przemyśle, nauce i medycynie lub urządzenia radiowe klasy 1 (urządzenia radiowe małej mocy, których używanie nie wymaga pozwolenia radiowego UKE). Można również użytkować (bez pozwolenia radiowego) dowolne urządzenia radiowe pracujące (w zakresie częstotliwości 30 MHz–3 GHz z mocą nieprzekraczającą 500 mW e r.p.) pracujące w wyrobiskach podziemnych na głębokości większej niż 100 m i w odległości nie mniejszej niż 100 m od szybu (MAiC 2014).

Zasięg łączy TTA wynosi od kilkudziesięciu metrów do 1 km w zależności od geometrii wyrobisk i wykorzystywanej częstotliwości.

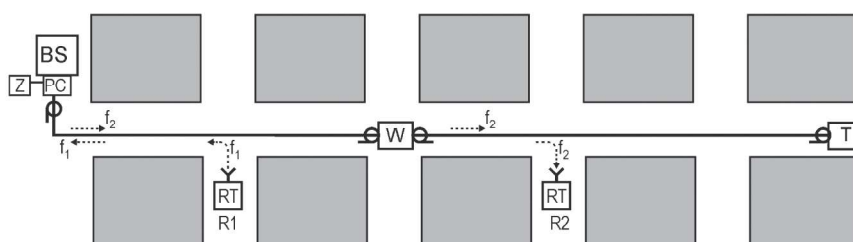
Ponieważ pojedyncze łącza TTA nie mogą zapewnić komunikacji w obrębie całej kopalni, są one uzupełniane pewną „infrastrukturą” (siecią szkieletową) najczęściej przewodową, co tworzy system hybrydowy (TTW+TTA). Można wyróżnić systemy hybrydowe z węzłami połączonymi łączy światłowodowymi, radiowymi, a także systemy z przewodem promieniującym (Miśkiewicz, Wojaczek 2010).

3. Przewód promieniujący a bezpieczeństwo robót strzałowych

Przewód promieniujący jest powszechnie stosowany w kopalniach. Instalacje tego rodzaju w kopalniach rud miedzi przekraczają 100 km, a w kopalniach węgla osiągają długości do 30 km. Problemy bezpieczeństwa robót w pobliżu przewodów promieniujących zostały szczegółowiej omówione w publikacji (Miśkiewicz, Wojaczek 2013). Na rys. 1 pokazano uproszczony schemat blokowy systemu z przewodem promieniującym. Spotyka się systemy pracujące w zakresach:

- VHF - 150 – 159 MHz w kierunku do stacji bazowej (BS, f_1), 165 – 174 MHz w kierunku od stacji bazowej do radiotelefonu (RT),
- UHF - 410 – 420 MHz w kierunku do stacji bazowej, 420 – 430 MHz w kierunku od stacji bazowej (f_2).

Ze względu na tłumienie sygnału w przewodzie promieniującym, co 300 – 500 m instaluje się wzmacniaki (W) kompensujące tłumienie sygnału. Wzmacniaki są zasilane zdalnie (Z) przewodem promieniującym.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu radiokomunikacyjnego z przewodem promieniującym
Fig. 1. Block diagram of a radio communication system with a leaky feeder

W systemach z przewodem promieniującym występują dwa źródła promieniowania elektromagnetycznego:

- radiotelefon noszony i instalowany w pojazdach (np. o mocy nadajnika do 1 W),
- głowica stacji bazowej z przemiennikami częstotliwości, do której przyłączony jest przewód promieniujący wraz z wzmacniakami.

Sygnał radiowy w przewodzie promieniującym ma poziom do +4 dBm, co odpowiada mocy około 2,5 mW. Według przeprowadzonych szacunkowych obliczeń (Miśkiewicz, Wojaczek 2013) jest to moc znacznie (prawie dwudziestokrotnie) mniejsza od maksymalnej mocy nieodpalającej dla zapalnika elektrycznego o prądzie niezapalającym $I_{nf} = 0,2$ A (48 mW to jest około 17 dBm).

Istnieje możliwość o bardzo małym prawdopodobieństwie, że radiotelefony noszone i zainstalowane w pojazdach (w stanie nadawania) w bliskiej odległości (w konfiguracji bez ograniczenia mocy) mogą odpalić zapalnik elektryczny.

Ministerstwo Pracy Stanu Ontario w Kanadzie w swoim raporcie (Vergunst 1999) przedstawiło opis jednego wypadku odpalenia zapalnika elektrycznego przez radiotelefon w kopalni Inco Stobie w Kanadzie, spowodowanego przez niewłaściwe użytkowanie radiotelefonu. Radiotelefon Motorola o mocy nadajnika 1 W posiadał nieosłonięte gniazdo mikrofonowe. Przypadkowe zwarcie gniazda mikrofonowego spowodowało nadanie przez radiotelefon sygnału alarmowego przy mocy nadajnika ponad 4,5 W, co spowodowało odpalenie zapalnika elektrycznego w odległości około 2 m. Z tego powodu niezbędna jest analiza bezpiecznego użytkowania radiotelefonów przez osoby wykonujące i nadzorujące ładowanie otworów strzałowych oraz łączenie obwodu strzałowego. Dla niektórych typów radiotelefonów niezbędne może być wprowadzenie zakazu posiadania radiotelefonów przez osoby wykonujące i nadzorujące ładowanie otworów strzałowych oraz łączenie obwodu strzałowego.

4. Parametry elektryczne zapalników elektrycznych

W kopalniach rud miedzi do odpalenia materiałów wybuchowych w robotach strzelniczych używa się zestawów do inicjowania lontu detonującego NITROCONNECTOR-E 0,20. Zawiera on zapalnik elektryczny skalny NITRODET 0,2 (NITROERG). Do najistotniejszych parametrów zapalników elektrycznych decydujących o możliwości jego odpalenia (lub niedopalenia) należą:

- I_{nf} – prąd nieodpalający (tzw. „bezpieczne” natężenie prądu), A,
- I_f – prąd odpalający (natężenie prądu odpalające serię 20 zapalników), A,
- W_{nf} – maksymalny impuls nieodpalający, mJ/W, lub $A^2 \cdot ms$,
- W_f – minimalny impuls odpalający, mJ/W, lub $A^2 \cdot ms$.

Korzystając z danych zamieszczonych w kartach katalogowych publikowanych przez producenta zapalników (NITROERG), a także wyników badań WE firmy NITROERG S.A. Bieruń, sporządzono porównawczą tabelę parametrów elektrycznych zapalników o prądach nieodpalających wynoszących odpowiednio: 0,2 A, 0,45 A, 2 A.

W tabeli 1 przedstawiono termiczne stałe czasowe C_T zapalników obliczone według wzoru:

$$C_T = \frac{W_{nf}}{I_{nf}^2} \quad (1)$$

Stałe czasowe C_T są równe 30 – 40 ms.

Termiczna stała czasowa pozwala ocenić możliwości odpalenia zapalnika w przypadku impulsowej pracy nadajnika radiokomunikacyjnego, kiedy długość impulsu jest mniejsza od termicznej stałej czasowej zapalnika.

W tabeli 1 obliczono również maksymalną moc elektryczną P_{nf} jaką można wprowadzić do zapalnika nie powodując jego odpalenia. Moc tę obliczono korzystając z następującej zależności:

$$P_{nf} = I_{nf}^2 \cdot R \quad (2)$$

Wyliczone moce, niepowodujące odpalenia zapalników elektrycznych są równe odpowiednio od około 50 mW do 280 mW. W tabeli 1: R_{Fe} to rezystancja 1 m drutu stalowego, a R_{Cu} to rezystancja 1 m drutu miedzianego.

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów elektrycznych zapalników [NITROERG]

Table 1. List of selected parameters of electric blasting caps

Parametr	Typ zapalnika		
	ERGODET 0,2	ERGODET 0,45	ERGODET 2
I_{nf}	0,2	0,45	2
I_T	0,8	1,8	8
R_{zmin} , W	1,2	0,4	0,07
R_{zmax} , Ω	2,2	0,7	0,13
W_p , $A^2 \cdot ms$	2,4	16	280
W_{nf} , $A^2 \cdot ms$	1,2	8	120
C_T , ms	30	40	30
P_{nf} (dla R_{zmin}), W	0,048	0,08	0,28
P_{nf} (dla R_{zmax}), W	0,088	0,14	0,52
R_{Fe} (1m drutu Fe), W	0,52	0,52	0,52
R_{Cu} (1m drutu Cu), Ω	0,065	0,065	0,065

5. Mechanizm oddziaływania urządzeń radiokomunikacyjnych na zapalniki elektryczne

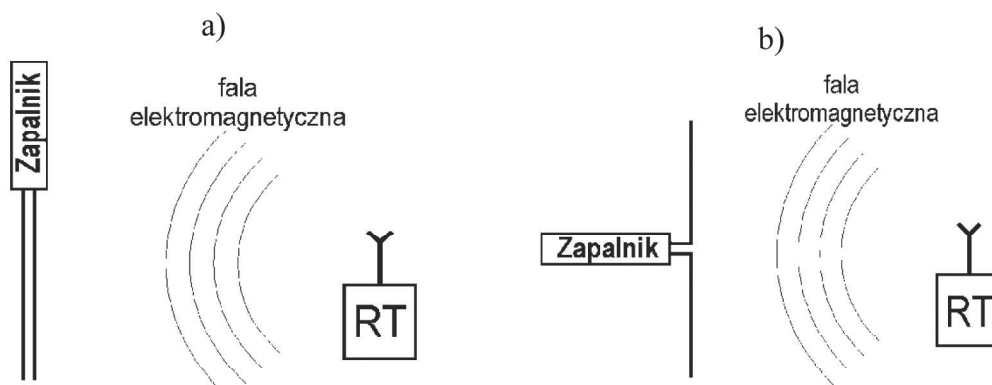
Urządzenia systemu radiokomunikacji takie jak: radiotelefony, punkty dostępowe (i inne) w czasie nadawania wytwarzają falę elektromagnetyczną. Obok takiego nadajnika może znajdować się zapalnik elektryczny. Z zapalnika wystają izolowane druty, które tworzą „antenę” o przypadkowych parametrach elektrycznych zależnych od ułożenia drutów. Na rys. 2 pokazano dwa charakterystyczne sposoby ułożenia drutów zapalnika w stosunku do fali elektromagnetycznej.

Istnieje obszerna literatura prezentująca zarówno prace teoretyczne, jak i eksperymentalne dotyczące oddziaływania pola elektromagnetycznego na zapalniki elektryczne w zależności od sposobów ułożenia jego drutów. Celem wielu badań i analiz jest sformułowanie warunków zapewniających bezpieczne wykonywanie prac strzałowców w pobliżu urządzeń i systemów radiokomunikacyjnych, czyli warunków, które nie spowodują odpalenia zapalników elektrycznych przez nadajniki radiokomunikacyjne.

Lambrecht w swojej pracy (Lambrecht 2008) analizował parametry elektryczne zapalników w zakresie częstotliwości do kilku GHz, uwzględniając pobudzenie zapalnika sygnałem różnicowym, jak i sygnałem wspólnym.

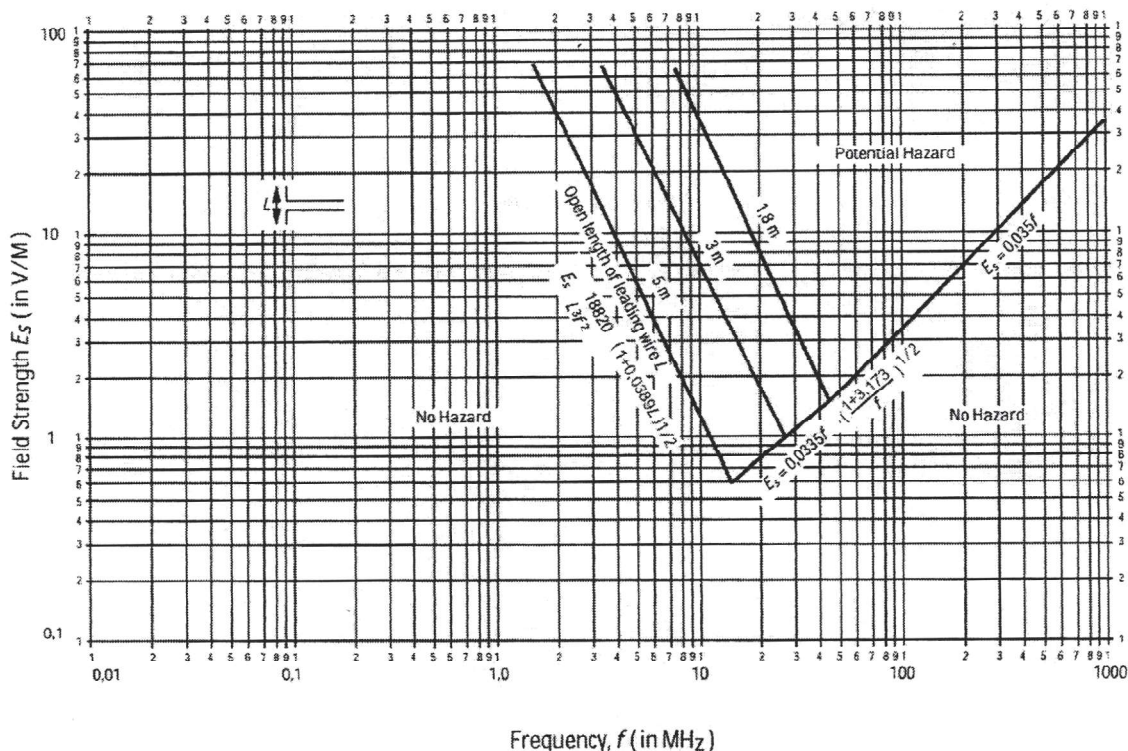
Galuga i Bray przedstawili wyniki obliczeń zależności prądu płynącego przez główkę zapalnika od częstotliwości, w przypadku umieszczenia zapalnika w polu elektromagnetycznym o natężeniu 50 – 150 V/m (Galuga, Bray 2011). W pokazanych zależnościach występują częstotliwości rezonansowe dające prądy o wartościach kilkuset mA, które mogą być większe od prądu bezpiecznego. Występowanie częstotliwości rezonansowych dla zapalnika pokazał również Lambrecht.

Raport techniczny CENELEC (CENELEC 2004) zajmuje się oceną niezamierzonego zapłonu zapalników elektrycznych, wywołanego przez promieniowanie w zakresie częstotliwości radiowych. Raport wyróżnia 6 klas zapalników elektrycznych w zależności od prądu nieodpalającego I_{nf} . Klasa I obejmuje zapalniki o prądzie nieodpalającym 180 mA, co w przybliżeniu odpowiada zapalnikowi NITRODET 0,2A. Dla poszczególnych klas zapalników raport prezentuje wykres zależności bezpiecznego natężenia pola elektromagnetycznego, czyli takiego natężenia, które nie spowoduje odpalenia zapalnika od częstotliwości i długości przewodów zapalnika. Na rys. 3 przedstawiono przykład takiego wykresu dla zapalników klasy I.



Rys. 2. Ilustracja charakterystycznych przypadków oddziaływania urządzeń radiokomunikacyjnych na zapalnik elektryczny

Fig. 2. Presentation of characteristic cases of radiocommunication devices actions to electric blasting cap



Rys. 3. Zależność bezpiecznego natężenia pola elektromagnetycznego od częstotliwości dla zapalników klasy 1 (CENELEC 2004)

Fig. 3. Relation of safe intensity of electromagnetic field on frequency for class 1 blasting caps

Można określić, że dla systemu radiokomunikacji pracującego w pasmie ISM (około 900 MHz) bezpieczna wartość natężenia pola elektromagnetycznego dla zapalnika klasy 1 jest równa około 35 V/m.

6. Wymagania normatywne

Wymagania dotyczące zasad bezpiecznego wykonywania prac z wykorzystaniem środków strzałowych w pobliżu źródeł pola elektromagnetycznego są określone w Rozporządzeniu Ministra Energii z dnia 9 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego (RME MW 2016).

W zakresie wykonywania robót strzałowych przy użyciu zapalników elektrycznych w pobliżu czynnych nadajników fal elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości, wymagania zachowania minimalnych odległości obwodów strzałowych od urządzeń nadawczych, dotyczą kopalń odkrywkowych oraz stacji nadawczych radiowych, telewizyjnych, stacji bazowych systemów GSM, wojskowych itp. Paragraf 77. 1. tego rozporządzenia określa, że:

w przypadku wykonywania robót strzałowych przy użyciu zapalników elektrycznych w pobliżu czynnych nadajników fal elektromagnetycznych wysokiej częstotliwości, zachowuje się minimalne odległości obwodów strzałowych od urządzeń nadawczych, wynoszące w zależności od mocy P nadajników:

- 1) 10 m – dla $0,5 \text{ W} < P \leq 2,5 \text{ W}$;
- 2) 30 m – dla $2,5 \text{ W} < P \leq 30 \text{ W}$;
- 3) 60 m – dla $30 \text{ W} < P \leq 100 \text{ W}$;
- 4) 100 m – dla $100 \text{ W} < P \leq 250 \text{ W}$;
- 5) 200 m – dla $250 \text{ W} < P \leq 1 \text{ kW}$;
- 6) 500 m – dla $1 \text{ kW} < P \leq 5 \text{ kW}$;

7) 1500 m – dla $5 \text{ kW} < P \leq 50 \text{ kW}$;

8) 2200 m – dla stacji radarowych.

W przywołanym rozporządzeniu uwzględniono tylko moce nadajników radiowych, nie uwzględniając charakterystyk kierunkowych anten. Rozporządzenie nie posługuje się pojęciem mocy EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) nadajnika. Nie uwzględniono nadajników radiowych o mocy poniżej 0,5 W.

Amerykański urząd Mine Safety and Health Administration opublikował w 2013 roku dokument określający minimalne odległości nadajników radiowych od obwodów strzałowych (MSHA). Poniżej pokazano wybrane przykłady z tego dokumentu:

- radiotelefony MOTOROLA HT750 VHF lub UHF 18 lub 27 stóp,
- radiotelefon Accolade Mesh Radio Handset 5 stóp,
- radiotelefon MP70 firmy Mine Site Technologies 375 mm,
- radiotelefon Wi-Fi Phone firmy NL Technologies 15,5 cali,
- radiotelefon SENTINEL Mesh Handset Portable Two-Way Radio 3,3 stopy,
- punkt dostępowy PWAP firmy Venture Design Services Inc. 5 stóp,
- punkt dostępowy ACCOLADE 7 stóp (dla 900 MHz),
- punkt dostępowy firmy Innovative Wireless Technologies 2,5 stopy (dla 900 MHz),
- punkt dostępowy AM1000 firmy Active Control Technology 18 stóp.

W dokumencie nie podano informacji o parametrach elektrycznych zapalników w obwodach strzałowych. Z przedstawionych przykładów minimalnych odległości widać, że są one w zakresie od kilkudziesięciu cm (375 mm) do kilku m.

Amerykański dokument z 2009 roku (GUIDE 2009) określa minimalną odległość telefonu komórkowego (o mocy 1 W) od obwodu strzałowego jako 8 stóp (nie podając parametrów elektrycznych zapalnika).

Dokument Institute of Makers of Explosives (IME 2001) określił minimalną odległość przenośnego telefonu komórkowego pracującego w pasmie powyżej 800 MHz od obwodu strzałowego z zapalnikami o rezystancji 1Ω równą 8 stóp przy mocy nadajnika 1 W i 14 stóp przy mocy nadajnika 3 W.

Z raportu technicznego CENELEC [CENELEC 2004], w którym między innymi tym określono bezpieczne odległości między obwodami strzałowymi, a różnymi źródłami pola elektromagnetycznego znajdującymi się na powierzchni (nadajniki radiowe, telewizyjne itd.) wynikają następujące wnioski:

- Dla niektórych urządzeń przenośnych małej mocy (z jakimi najczęściej mamy do czynienia w wyrobiskach podziemnych kopalni) bezpieczne odległości są rzędu pojedynczych metrów (np. stacje bazowe systemów DECT), lub nie są w ogóle określane (np. radiotelefony - terminale przenośne systemu radiokomunikacyjnego DECT o mocy 0,25 W).
- Dla zapalników o różnych prądach bezpiecznych (różnych klasach), zależności bezpiecznej wartości natężenia pola elektromagnetycznego od częstotliwości, określono w postaci graficznej w formie wykresów (rys. 3).

7. Wnioski

Aby sformułować pewne zalecenia dotyczące bezpiecznego stosowania urządzeń radiokomunikacyjnych przy wykonywaniu robót strzałowych, należy uwzględnić dwa aspekty:

- Relację między przewidywaną mocą wielu nadajników radiowych (w granicach 200 mW) i mocą niepowodującą odpalenia zapalnika 50 mW. Wtedy możliwość odpalenia zapalnika pojawi się, jak ponad $\frac{1}{4}$ mocy nadajnika radiowego doprowadzimy do mostka zapalnika).
- Zalecenia instytucji normalizacyjnych międzynarodowych, a także producentów urządzeń radiokomunikacyjnych, które określają minimalne odległości od obwodów strzałowych dla różnych urządzeń od ułamka m do kilku m.

Proponujemy przyjęcie zasady, że osoby wykonujące podłączenie zapalników elektrycznych do linii strzałowych i osoby będące w pobliżu, nie posiadają przy sobie radiotelefonów lub mają je wyłączone.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu „Innowacyjny system łączności bezprzewodowej w wyrobiskach filarowo-komorowych w podziemnych zakładach górniczych” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz KGHM Polska Miedź S.A. w ramach przedsięwzięcia „CuBR III”.

Literatura

- CENELEC 2004 - Technical Report CLC/TR 50426: Assessment of inadvertent initiation of bridge wire electro-explosive devices by radio-frequency radiation – Guide. Brussels.
- GALUGA J., BRAY J. 2011 - Induced Currents on Electric Detonators for

- Improvised Explosive Device Pre-Detonation. Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Rome.
- GUIDE 2009 - A Guide to Radio Frequency Hazards With Electric Detonators. N.C. Department of Labor Occupational Safety and Health Division.
- IME 2001 - Safety Guide for the Prevention of Radio Frequency Radiation Hazards in the Use of Commercial Electric Detonators Institute of Makers of Explosives (IME), Washington DC, Technical Report 20.
- LAMBRECHT M. 2008 - Electromagnetic modeling of hot-wire detonators using analytical and numerical methods with comparison to experiment. P.H dissertation. University of New Mexico.
- MAiC - Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 12 grudnia 2014 r. w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego. Obwieszczenie Ministra Cyfryzacji z dnia 6 grudnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia. Dz. U. 2017 r. poz. 96.
- MIŚKIEWICZ K., WOJACZEK A. 2010 - Systemy radiokomunikacji z kablem promieniującym w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- MIŚKIEWICZ K., WOJACZEK A. 2013 - Analiza możliwości odpalenia zapalników elektrycznych przez system radiokomunikacyjny z kablem promieniującym w kopalniach podziemnych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6.
- MIŚKIEWICZ K., WOJACZEK A. 2018 - Telekomunikacja w górnictwie. Systemy łączności telefonicznej, alarmowej i głośnomówiącej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- MSHA. Approval No. 23-A120004-0. Mine Safety and Health Administration Approval and Certification Center, 765 Technology Drive. Triadelphia, West Virginia.
- NITROERG - Karty katalogowe firmy NITROERG SA. Zapalniki elektryczne (węglowe, metanowe, skalne, metanowe ERGODENT 0,2AN).
- PGG - Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2011 r. nr 163 poz. 981.
- PT - Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r. Prawo telekomunikacyjne. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 23 sierpnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy Dz.U. 2016 poz. 1489.
- RME - Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. 2017 poz. 1118.
- RME MW - Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 9 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących przechowywania i używania środków strzałowych i sprzętu strzałowego w ruchu zakładu górniczego. Dz.U. z 2017 r. poz. 321.
- RRM - Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30.04.2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych. Dz.U. z 2004 r. nr 99 poz. 1003.
- UMW - Ustawa z dnia 21 czerwca 2002 r. o materiałach wybuchowych przeznaczonych do użytku cywilnego. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 20 września 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy. Dz.U z 2012 r. nr 0 poz. 1329.
- VERGUNST J. 1999 - Premature Detonation of Explosives. Summary of critical accident. Ontario Ministry of Labor.
- WOJACZEK A. 2014 - Wpływ środowiska technicznego kopalni podziemnych na transmisję sygnałów w dołowych sieciach telekomunikacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- WOJACZEK A., MIŚKIEWICZ K., KOŁODZIEJCZYK P. 2018 - Możliwości realizacji systemów radiowych w kopalniach podziemnych. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji. Volume 7, issue 1.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019

Artykuł akceptowano do druku – 25.03.2020