

20

MOŻLIWOŚCI REALIZACJI SYSTEMÓW RADIOWYCH W KOPALNIACH PODZIEMNYCH

UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE DLA SYSTEMÓW RADIOWYCH W KOPALNIACH

Systemy radiokomunikacyjne w kopalniach powinny stosować się wszędzie tam, gdzie istnieje konieczność porozumiewania się (komunikacji) z osobami (urządzeniami), których charakter pracy związany jest z przemieszczaniem się w wyrobiskach. Radiowe systemy telekomunikacyjne eksploatowane w kopalniach określa się często jako bezprzewodowe. Nie jest to zawsze słuszne, ponieważ z wyjątkiem systemów bliskiego zasięgu (kilkadziesiąt do kilkuset metrów) dla funkcjonowania systemu radiokomunikacyjnego niezbędna jest odpowiednia infrastruktura, taka jak np. przewód promieniujący, punkty dostępowe połączone odpowiednimi łączami czy elementy metalowe w wyrobiskach [2, 5, 6, 7].

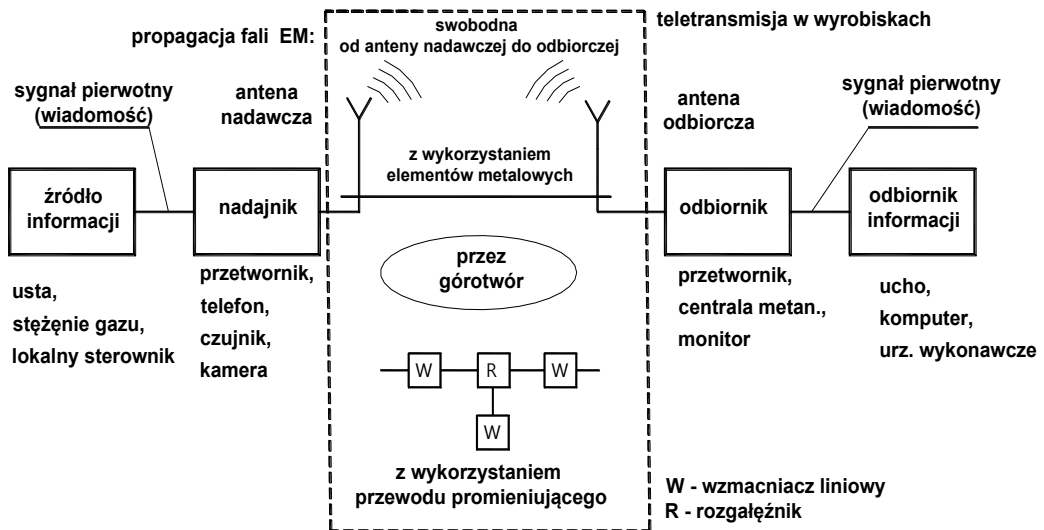
Ogólny model systemu radiokomunikacyjnego dla kopalń podziemnych pokazano na rys. 1. W przedstawionym modelu pokazano różne możliwości propagacji fal elektromagnetycznych.

Dla systemów radiowych środowisko techniczne podziemnych zakładów górniczych stwarza wiele dodatkowych ograniczeń i uwarunkowań, które związane są z następującymi czynnikami [2, 3, 6]:

- Przeciwwybuchowością. W kopalniach zagrożonych wybuchem metanu radiowe urządzenia dołowe oraz interfejsy dołowe powierzchniowych systemów radiokomunikacyjnych powinny być przeciwwybuchowe umożliwiające ich pracę w dowolnej koncentracji metanu. Stopień ochrony obudowy urządzeń radiowych powinien wynosić minimum IP54.
- Strukturą wyrobisk. Małe poprzeczne wymiary wyrobisk górniczych w stosunku do ich wymiarów podłużnych (do kilku kilometrów) stwarza konieczność stosowania określonych struktur sieci teletransmisyjnych dla systemów radiowych.
- Środowiskiem elektromagnetycznym. W wyrobiskach występuje duże nagromadzenie (w ograniczonych przestrzeniach) sieci i urządzeń elektroenergetycznych o dużych mocach; sieci radiowe oraz elektroenergetyczne na długich odcinkach

są prowadzone równolegle w niewielkiej odległości ograniczonej wymiarami poprzecznymi wyrobisk.

- Ograniczoną możliwością ciągłego, lokalnego zasilania urządzeń radiokomunikacyjnych z dołowej sieci elektroenergetycznej. Przekroczenie progu alarmowego metanomierza powoduje automatyczne wyłączenie energii elektrycznej w danym rejonie wentylacyjnym. W kopalniach zalecane jest więc stosowanie zasilania centralnego lub grupowego, w tym w szczególności z wykorzystaniem autonomicznych iskrobezpiecznych źródeł zasilania (bateria, akumulator).
- Ograniczeniem mocy urządzeń radiowych. Moce urządzeń nadawczych nie mogą powodować przypadkowego odpalenia zapalników materiałów wybuchowych, co jest związane z małą odległością obwodów strzałowych od radiowych urządzeń nadawczych eksploatowanych w wyrobiskach [3].



Rys. 1 Modele transmisji radiowej w kopalni podziemnej

RODZAJE SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH W KOPALNIACH PODZIEMNYCH

Istotą każdego systemu radiokomunikacyjnego jest wykorzystanie propagacji fal elektromagnetycznych jako nośnika informacji transmitowanych między wybranymi podstawowymi elementami systemu. Do najważniejszych cech systemów radiokomunikacyjnych można zaliczyć:

- sposób realizacji łączy i ich topologię,
- protokół telekomunikacyjny,
- sposób zasilania elementów systemu.

Ze względu na sposób realizacji łącza telekomunikacyjnego w kopalniach podziemnych wyróżnia się [6, 7]:

- systemy TTE (Through The Earth) wykorzystujące propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór,
- systemy TTW (Through The Wire) wykorzystujące kable telekomunikacyjne miedziane i światłowodowe, a niekiedy elementy metalowe wyposażenia wyrobisk takie jak np. liny urządzeń wyciągowych czy przewody jezdne trakcji elektrycznej przewodowej,
- systemy TTA (Through The Air) wykorzystujące propagację fal elektromagnetycznych przez powietrze wewnątrz wyrobiska z zasięgiem widzialności (LOS - Line Of Sight), a także bez zasięgu widzialności (NLOS - Non Line Of Sight),
- systemy hybrydowe wykorzystujące różne sposoby realizacji poszczególnych fragmentów łącza np. systemy z przewodem promieniującym, które można traktować jako TTW + TTA.

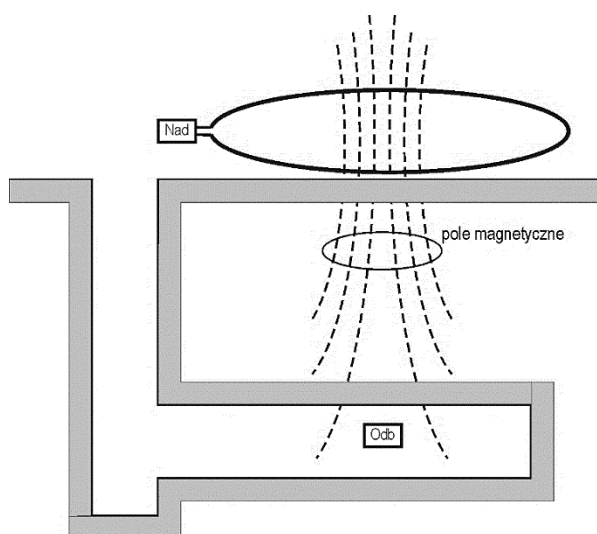
SYSTEMY TTE

Systemy TTE wykorzystują propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór. Cechą charakterystyczną każdej kopalni podziemnej w odniesieniu do systemów radiokomunikacyjnych jest górotwór, który można scharakteryzować jako środowisko o przenikalności dielektrycznej ϵ_w względnej w granicach od 5 do 10 oraz niewielkiej przewodności elektrycznej rzędu 0,1 S/m. Parametry elektryczne górotworu ograniczają w istotny sposób propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór. W klasyfikacji telekomunikacyjnej są to tzw. systemy rozsiewcze. Rys. 2 ilustruje zasadę działania jednokierunkowych systemów radiokomunikacyjnych TTE.

Ze względu na właściwości elektryczne górotworu w systemach TTE wykorzystuje się częstotliwości rzędu kilkaset do kilku tysięcy Hz. Na powierzchni instaluje się nadajnik (często o mocy kilku kW) do którego jest przyłączona duża antena pętlowa. Antena pętlowa wytwarza pole magnetyczne wnikaające w głąb kopalni. Górnicy w podziemiach kopalni są wyposażeni w osobiste odbiorniki. Systemy TTE oferują transmisję tekstu oraz czasami głosu przy zasięgu do kilkuset m. Istnieją również (rzadko spotykane) systemy TTE realizujące łączność dwukierunkową. Wymagają one instalacji stacjonarnego nadajnika z anteną pętlową w wyrobiskach podziemnych. W przypadku instalacji odpowiednio dużej powierzchniowej anteny pętlowej systemy TTE mogą realizować łączność jednokierunkową w obszarze całej kopalni.

Ze względu na właściwości elektryczne górotworu w systemach TTE wykorzystuje się częstotliwości rzędu kilkaset do kilku tysięcy Hz. Na powierzchni instaluje się nadajnik (często o mocy kilku kW) do którego jest przyłączona duża antena pętlowa. Antena pętlowa wytwarza pole magnetyczne wnikaające w głąb kopalni. Górnicy w podziemiach kopalni są wyposażeni w osobiste odbiorniki. Systemy TTE oferują

transmisję tekstu oraz czasami głosu przy zasięgu do kilkuset m. Istnieją również (rzadko spotykane) systemy TTE realizujące łączność dwukierunkową. Wymagają one instalacji stacjonarnego nadajnika z anteną pętlową w wyrobiskach podziemnych. W przypadku instalacji odpowiednio dużej powierzchniowej anteny pętlowej systemy TTE mogą realizować łączność jednokierunkową w obszarze całej kopalni.

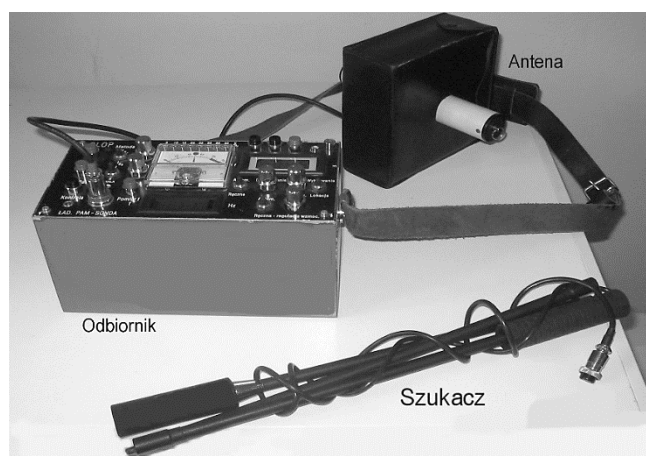


Rys. 2 Struktura systemów radiokomunikacyjnych TTE

Propagację fal elektromagnetycznych poprzez górotwór wykorzystuje się powszechnie w każdej kopalni. Istotnym elementem niektórych akcji ratowniczych (w przypadku zawałów) jest lokacja górników w zawale. Lokacja górników powinna być możliwa do przeprowadzenia niezależnie od stanu i woli górnika (górnik może być nieprzytomny). Górników wyposaża się więc w różnego rodzaju nadajniki lokacyjne (najczęściej umieszczone w obudowie akumulatora lampy nahełmnej – np. GLON/W¹). Sterownik w lampie nahełmnej dokonuje pomiaru ładunku elektrycznego pobieranego z akumulatora w czasie pracy lampy wraz z nadajnikiem lokacyjnym, który pracuje ciągle od momentu pobrania lampy z lampowni na powierzchni. W przypadku obniżenia się pojemności akumulatora do określonej wartości minimalnej (około 2,25 V) wyłącza on oświetlenie podstawowe lampy. Zgodnie z przepisami nadajnik lokacyjny powinien pracować minimum 170 godzin. Pobór prądu przez nadajnik lokacyjny nie przekracza 20 mA, co daje „zużycie” ładunku nie większe niż 3,4 Ah.

¹ GLON/W skrót od słów: górniczy lokacyjny osobisty nadajnik wyłączający

W czasie akcji ratowniczej używa się odbiornika lokacyjnego. Używając odpowiednich procedur pomiarowych można stwierdzić, czy w pobliżu jest zasypany górnik oraz można określić w przybliżeniu miejsce, w którym znajduje się nadajnik lokacyjny. Nadajniki lokacyjne pracują w różnych zakresach częstotliwości od kilku kHz do kilku MHz. W kopalniach węgla wykorzystuje się nadajniki lokacyjne pracujące w zakresie częstotliwości 4100-5840 Hz w ośmiu kanałach częstotliwościowych. Znamionowy moment magnetyczny nadajnika lokacyjnego jest równym 0,08 Am. Nadajniki lokacyjne współpracują z odbiornikiem lokacyjnym GLOP przedstawionym na rys. 3 [4]. Badania praktyczne potwierdziły możliwość lokacji górnika w zawale z odległości około 30 metrów.

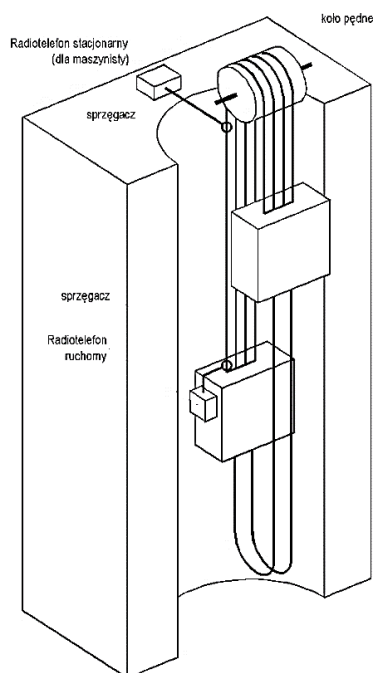


Rys. 3 Widok odbiornika lokacyjnego GLOP wraz z antenami odbiorczymi „daleką” oraz „bliską”

SYSTEMY TTW

Systemy TTW wykorzystują w części swojego łańcucha teletransmisyjnego kable telekomunikacyjne (miedziane lub światłowodowe), a także elementy metalowe wyposażenia wyrobisk górniczych takie jak np. liny urządzeń wyciągowych (rys. 4), czy przewody jezdne trakcji elektrycznej przewodowej.

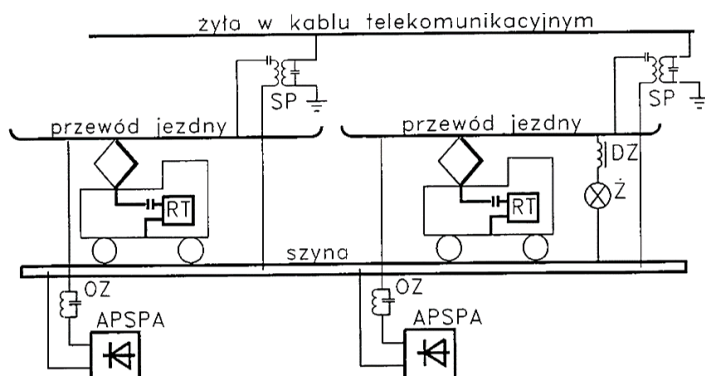
Tego rodzaju rozwiązanie jest powszechnie stosowane w polskich szybach, w telefonach szybowych TS-32 i TS-65 oraz w systemie łączności i sygnalizacji szybowej typu ECHO. Systemy TTW wykorzystują istniejące elementy metalowe wyrobisk podziemnych i pracują najczęściej w zakresie fal długich (LW). Przykładami takich elementów metalowych są liny urządzeń wyciągowych (rys. 4), a także odpowiednio przystosowany do łączności radiowej przewód jezdny trakcji elektrycznej przewodowej (rys. 5). Na rys. 4 radiotelefon maszynisty oraz radiotelefon klatkowy są sprzężone z linią nośną przy pomocy transformatora.



Rys. 4 Przykład systemu łączności szybowej z wykorzystaniem lin nośnych urządzenia wyciągowego

Na rys. 5 oprócz radiotelefonów (RT) przedstawiono również elementy adaptacji sieci trakcyjnej dla potrzeb łączności radiowej takie jak:

- dławiki zaporowe DZ na odpływach urządzeń zasilanych z przewodu jezdny,
- obwody zaporowe OZ na wyjściach prostownikowych urządzeń zasilających (APSP) drut jezdny napięciem 250V,
- skrzynki przyłączeniowe SP dla eliminacji granic zasilania drutu ślizgowego (przerw międzysekcyjnych).



Rys. 5 Schemat blokowy systemu łączności w trakcji przewodowej z wykorzystaniem radiotelefonów TRG wraz z elementami przystosowującymi trakcję dla potrzeb łączności radiowej

Systemy TTW wykorzystujące elementy metalowe wyrobisk są systemami lokalnymi (np. łączność szybowa, łączność dysponenta transportu z maszynistami lokomotyw elektrycznych).

SYSTEMY TTA ORAZ HYBRYDOWE TTA + TTW

Wykorzystanie częstotliwości w systemach radiokomunikacyjnych podlega ograniczeniom formalnym z których najważniejsze to:

- prawo telekomunikacyjne [10],
- krajowa tablica częstotliwości [9],
- rozporządzenie Ministra Cyfryzacji w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego [8].

Dla użytkowania radiowych urządzeń nadawczych niezbędne jest pozwolenie radiowe wydawane przez Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE) z pewnymi wyjątkami określonymi w rozporządzeniu [8]. Wyjątki dotyczą niechronionych pasm częstotliwości ISM² oraz urządzeń radiowych klasy 1, których wykaz jest publikowany przez UKE.

Bez pozwolenia radiowego można użytkować między innymi pasma:

- PR27; tzw. CB radio (pasmo 27 MHz),
- PMR446 (cywilne mobilne sieci radiowe z radiotelefonami pracującymi w paśmie 446 MHz),
- 1880-1900 MHz (standard DECT),
- pozostałe pasma niechronione ISM w zakresach częstotliwości: 6,7 MHz, 13 MHz, 40 MHz, 433 MHz, 920 MHz, 2,4 GHz, 5,8 GHz, 24 GHz, 61 GHz, 245 GHz itp.,
- bezprzewodowe sieci komputerowe wykorzystujące rodzinę standardów 802.11,
- standardy pikosieci radiowych np. Bluetooth, ZigBee (IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4).

Ponadto wg rozporządzenia [8] bez pozwolenia radiowego można użytkować urządzenia radiowe pracujące w zakresach częstotliwości 29,7 MHz-3 GHz w podziemnych wyrobiskach górniczych, z mocą nieprzekraczającą 500 mW e r.p. na głębokości większej niż 100 m poniżej poziomu terenu i w odległości nie mniejszej niż 100 m od pionowego tunelu szybowego.

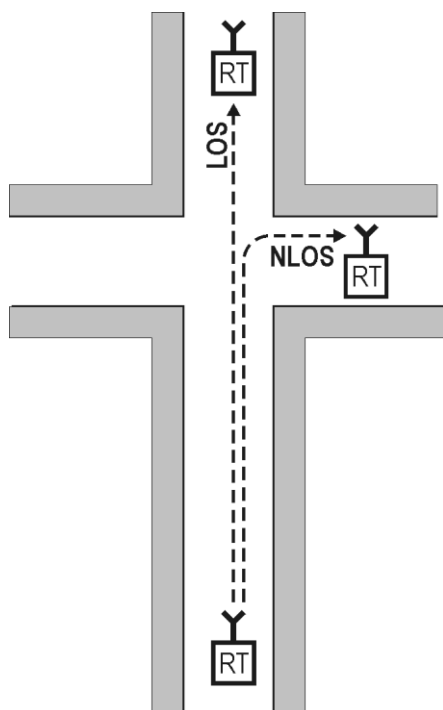
Jeszcze kilkanaście lat temu propagacja swobodna w wyrobiskach podziemnych ograniczała się praktycznie do szybów, w których instalowano stacjonarną antenę kierunkową na zrębie skierowaną w dół (np. radiowy system łączności szyb-

² ISM - (ang. Industrial, Scientific, Medical); pasma wielu różnych zakresów częstotliwości (od 6,7 MHz do 246 GHz) przeznaczone do zastosowań w przemyśle, nauce i medycynie

wej typu RSŁS 98; zakresy: VHF i UHF) oraz zasięgów rzędu kilkunastu metrów, w paśmie 430 MHz. do bezprzewodowego sterowania maszyn górniczych (np. RADIAX firmy CARBONEX), czy wiele rozwiązań firmy ELSTA z Wieliczki [5, 7]. Systemy te tworzą: nadajniki kombajnisty wyposażone w klawiaturę funkcyjną oraz odbiorniki zlokalizowane w skrzyni aparaturowej kombajnu z wyjściami dwustanowymi do współpracy z elementami wykonawczymi układu sterowania kombajnu.

W ostatnich latach w kopalniach coraz powszechniej wprowadza się urządzenia wykorzystujące standardy bezprzewodowych sieci komputerowych WLAN oraz sieci osobistych niewielkiego zasięgu WPAN.

Tego rodzaju urządzenia wykorzystują częstotliwości, dla których długość fali jest mniejsza od poprzecznych rozmiarów wyrobisk, co powoduje, że dla takich częstotliwości wyrobisko można potraktować jako niedoskonały falowód dielektryczny. Zasięg łączy TTA wynosi od kilkudziesięciu metrów do 1 km w zależności od geometrii wyrobisk i wykorzystywanej częstotliwości. Łącze radiowe TTA między dwoma punktami może mieć warunki widzialności optycznej (LOS³) lub może nie mieć warunków widzialności optycznej (NLOS⁴) co pokazano na rys. 6.



Rys. 6 Struktura systemów TTA, łączy LOS i NLOS

³ LOS – Line of Sight.

⁴ NLOS –None Line of Sight.

Brak warunków widzialności LOS wynika z istnienia zakrętów w wyrobiskach, zmian nachylenia wyrobisk, a także skrzyżowań wyrobisk. Praca łącza radiowego w kopalni podziemnej w warunkach NLOS jest możliwa ze względu na występowanie zjawisk załamania, dyfrakcji, odbicia i rozproszenia fali elektromagnetycznej w wyrobiskach.

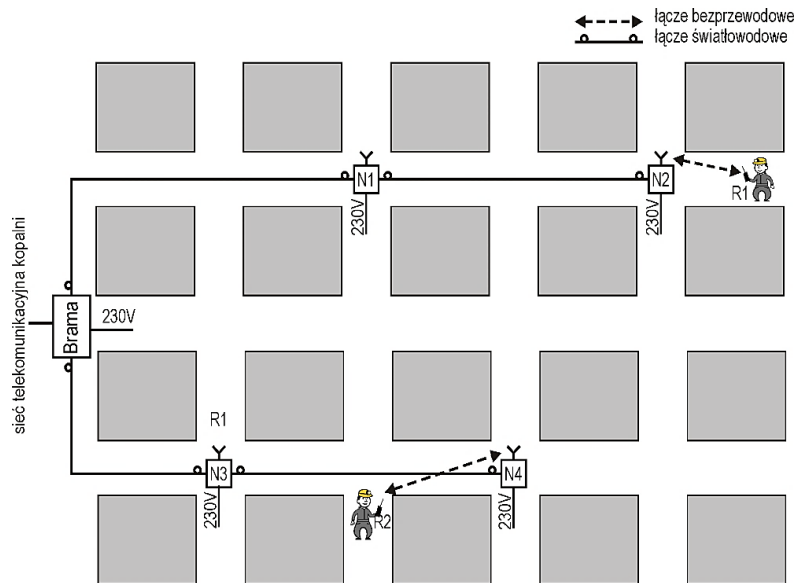
Ponieważ pojedyncze łącza TTA nie mogą zapewnić komunikacji w obrębie całej kopalni są one uzupełniane pewną „infrastrukturą” (siecią szkieletową) najczęściej przewodową, co tworzy system hybrydowy (TTW+TTA).

Można wyróżnić następujące struktury systemów hybrydowych:

- systemy z węzłami połączonymi łączami przewodowymi (światłowodowymi),
- systemy z węzłami połączonymi łączami radiowymi,
- systemy z przewodem promieniującym [6].

Możliwe są również rozwiązania mieszane sieci szkieletowej.

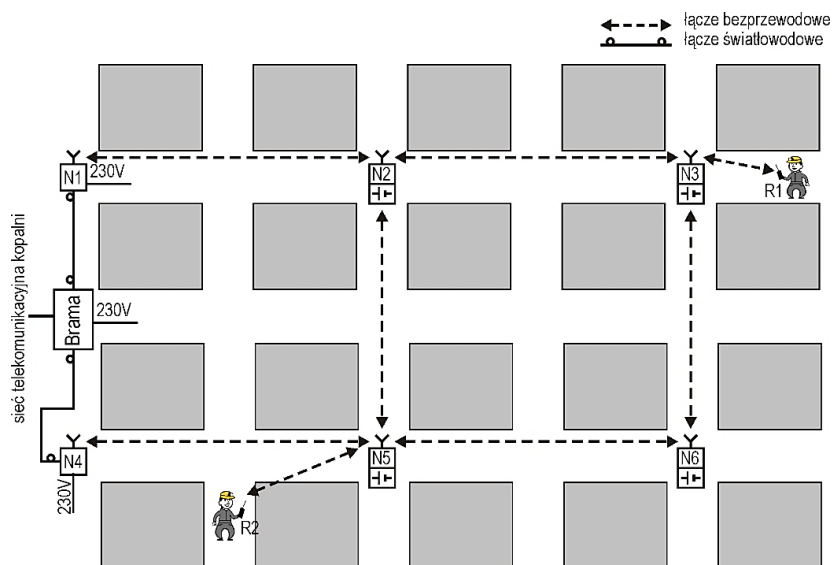
Na rys. 7 pokazano przykład systemu radiokomunikacji z siecią szkieletową z łączami światłowodowymi. Łącza radiowe są realizowane pomiędzy terminalem ruchomym (może to być radiotelefon), a odpowiednim węzłem pełniącym rolę punktu dostępowego. Natomiast transmisja między punktami dostępowymi odbywa się przez sieć światłowodową.



Rys. 7 Schemat blokowy systemu radiokomunikacyjnego z węzłami połączonymi łączami światłowodowymi

Na rys. 8 pokazano przykład systemu radiokomunikacyjnego z siecią szkieletową zbudowaną jako sieć kratowa z łączami radiowymi. Na rys. 8 terminal R1 łączy się

z węzłami: N3, następnie N2 oraz N1 i dalej w sieci szkieletowej (światłowodowej) z węzłem N4 i poprzez N5 z terminalem R2.



Rys. 8 Schemat blokowy systemu radiokomunikacyjnego z węzłami połączonymi łączyami radiowymi

Zastosowanie zasilania bateryjnego poszczególnych węzłów sieci szkieletowej pozwala na zbudowanie systemu pozbawionego sieci kablowej co umożliwia stosunkowo łatwą przebudowę związaną z postępem frontu eksploatacyjnego.

Ze względu na dostępność technik energooszczędnych oraz akumulatorów o dużych pojemnościach czasy pracy bateryjnej węzłów sieci szkieletowej są coraz dłuższe. Przykładowo repeater WRN (Wireless Repeater Node) firmy MST ma czas pracy bateryjnej 120 godzin.

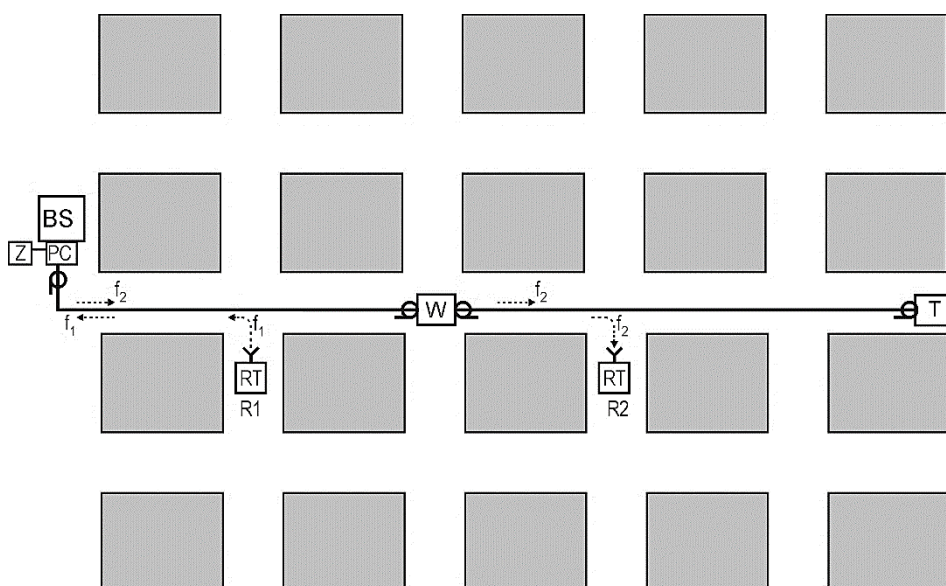
Sieć szkieletowa z łączyami bezprzewodowymi może być siecią kratową (mesh) co zwiększa niezawodność systemu radiokomunikacyjnego. Na rys. 8 pokazano przykład niepełnej sieci kratowej (mesh) w wyrobiskach systemu filarowo-komorowego. W skład sieci kratowej wchodzi węzły N1-N6, z tym, że ze względu na konfigurację wyrobisk możliwe są połączenia pokazane na rys. 8. Terminal ruchomy R1 jest połączony z węzłem N3, a terminal ruchomy R2 z węzłem N5. Oprócz wyżej wymienionej drogi transmisja między węzłami N3 i N5 może także przebiegać przez węzeł N2 lub przez węzeł N6 w zależności od przyjętej procedury routingu.

Na rys. 9 pokazano uproszczony schemat blokowy systemu z przewodem promieniującym. Tego rodzaju system wymaga zainstalowania, w wyrobiskach w których ma funkcjonować łączności radiowa, przewodu promieniującego. Przewód promieniujący dołączony jest do stacji bazowej zawierającej dla każdego kanału czę-

stotliwościowego przemiennik, czyli element, który odbiera sygnał rozmówny na częstotliwości f_1 i nadaje go na częstotliwości f_2 . Spotyka się systemy pracujące:

- w zakresie VHF (150-159 MHz w kierunku do stacji bazowej, 165-174 MHz w kierunku od stacji bazowej),
- w zakresie UHF (410-420 MHz w kierunku do stacji bazowej, 420-430 MHz w kierunku od stacji bazowej).

Ze względu na tłumienie sygnału w przewodzie promieniującym w odległościach co 300-500 m instaluje się wzmacniaki kompensujące tłumienie sygnału. Wzmacniaki są zasilane zdalnie przewodem promieniującym.



Rys. 9 Schemat blokowy systemu radiokomunikacyjnego z przewodem promieniującym

PODSUMOWANIE

W tabeli 1 pokazano macierz porównania różnych rodzajów systemów radiokomunikacyjnych stosowanych w kopalniach podziemnych. W macierzy porównania uwzględniono zasięg, nakłady pracy na budowę i przebudowę systemu związaną z przesuwaniem się frontu eksploatacyjnego, a także właściwości funkcjonalne.

Z porównania wynika, że dla realizacji radiokomunikacji w obszarach dotyczących frontów eksploatacyjnych najkorzystniejszy jest system TTA ze szkieletem bezprzewodowym.

Tabela 1 Macierz porównania systemów radiokomunikacyjnych dla kopalń podziemnych

Kategoria	Właściwość	TTE	TTW-LW	TTW-kabel promieniujący	TTA szkielet przewodowy	TTA szkielet radiowy
zasięg	systemu (sieci szkieletowej)	do 600 m	1 km w szybie, zasięg trakcji przewodowej	tam, gdzie jest kabel promieniujący	bez ograniczeń	bez ograniczeń
zasięg	terminala ruchomego		nie dotyczy	kilkanaście m od kabla	kilkadziesiąt do kilkuset m	kilkadziesiąt do kilkuset m
instalacja	nakład pracy	instalacja na powierzchni	mały (przy istniejących elementach metalowych)	średni	średni	mały
instalacja	rozbudowa	nie dotyczy	łatwa	średnia	średnia	łatwa
instalacja	przebudowa wraz postępowaniem eksploatacji	nie dotyczy	nie dotyczy	średnia	średnia	łatwa
funkcjonalność	transmisja głosu	w niektórych systemach	tak	tak	tak	tak
funkcjonalność	transmisja tekstu	tak	tak	tak	tak	tak
funkcjonalność	Transmisja danych	nie	w niektórych	tak	tak	tak
funkcjonalność	Instalacja kabli	nie	nie	tak	tak	nie

Artykuł powstał w ramach 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

- Gajewski P., Wszelak S.: *Technologie bezprzewodowe sieci teleinformatycznych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa, 2008.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P.: *Systemy dyspozytorskie kopalń podziemnych i ich integracja. Wybrane problemy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2011.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Analiza możliwości odpalenia zapalników elektrycznych przez system radiokomunikacyjny z kablem promieniującym w kopalniach podziemnych. *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne* 2013, nr 6.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Measurements of parameters of location transmitters – selected problems. Proceedings of 20th World Mining Congress. Mining and Sustainable Development. Published by Geological Survey of Iran & National Geosciences Database of Iran. Teheran, Iran, 2005 r.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Nowe rozwiązania systemów radiokomunikacyjnych dla kopalń podziemnych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo*. Gliwice, 2006, zeszyt 274.

6. Miśkiewicz K., Wojacek A.: *Systemy radiokomunikacji z kablem promieniującym w kopalniach podziemnych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2010.
7. Miśkiewicz K., Wojacek A.: Wybrane problemy radiokomunikacji w podziemiach kopalń. *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne* 2009 nr 6.
8. Obwieszczenie Ministra Cyfryzacji z dnia 6 grudnia 2016 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Administracji i Cyfryzacji w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego. Dz. U. 2017. poz. 96.
9. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 czerwca 2005 r. w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości. Dz.U. z 2005 r. nr 134 poz. 1127.
10. Prawo Telekomunikacyjne. Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r poz. 138 z późniejszymi zmianami

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2018

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2018

MOŻLIWOŚCI REALIZACJI SYSTEMÓW RADIOWYCH W KOPALNIACH PODZIEMNYCH

Streszczenie: *Przedstawiono ograniczenia i możliwości realizacji systemów radiokomunikacyjnych w kopalniach podziemnych. Opisano systemy TTE, TTW, TTA oraz systemy hybrydowe. Pokazano możliwe do zastosowania zakresy częstotliwości oraz protokoły transmisyjne.*

Słowa kluczowe: *radiokomunikacja w kopalniach podziemnych, systemy TTE, TTW, TTA*

POSSIBLE SOLUTIONS OF UNDERGROUND RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS

Abstract: *This paper presents the limitations and possibilities of implementing radiocommunication systems in underground mines. The TTE, TTW, TTA systems and hybrid systems have also been described in details. Moreover, the issues of possible frequency ranges and transmission protocols were presented.*

Key words: *radiocommunication in underground mines; TTE TTW TTA systems*

dr hab. inż. Antoni Wojacek prof. PŚ.

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Elektrotechniki
i Automatyki Przemysłowej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska
e-mail: awojacek@polsl.pl

mgr inż. Paweł Kołodziejczyk

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Elektrotechniki
i Automatyki Przemysłowej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska

dr inż. Kazimierz Miśkiewicz

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Elektrotechniki
i Automatyki Przemysłowej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Polska