

Kazimierz MIŚKIEWICZ, Antoni WOJACZEK
Politechnika Śląska, Gliwice

NOWE ROZWIĄZANIA SYSTEMÓW RADIOKOMUNIKACYJNYCH DLA KOPALŃ PODZIEMNYCH

Streszczenie. W referacie omówiono możliwe do zastosowania w podziemnych zakładach górniczych bezprzewodowe systemy telekomunikacyjne, wykorzystujące propagację swobodną oraz kierunkową. W propagacji kierunkowej zwrócono szczególną uwagę na systemy łączności z kablem koncentrycznym, z nieszczelnym opłotem (tzw. kabel cieknący). Omówiono wybrane bezprzewodowe systemy łączności, stosowane w polskich kopalniach.

Zwrócono uwagę na kierunki rozwoju bezprzewodowych systemów telekomunikacyjnych dla kopalń, w tym przede wszystkim na integrację tych systemów.

NEW SOLUTIONS OF RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS FOR UNDERGROUND MINES

Summary. In the paper, wireless telecommunication systems that use free and directional propagation to be applied in mining undergrounds have been discussed. As regards directional propagation the special attention has been paid to communication systems provided with leaky feeder. The selected wireless communication systems used in Polish mines were discussed.

Attention has been paid to mining wireless communications systems development, including, first of all, the integration of these systems.

1. Wprowadzenie

Istniejące w kopalniach przewodowe systemy łączności fonicznej (telefony ogólnozakładowe, telefony lokalne, urządzenia głośnomówiące alarmowe, urządzenia głośnomówiące technologiczne itp.) nie zapewniają szybkiego kontaktu z osobami, których charakter pracy związany jest z ich przemieszczaniem się w wyrobiskach podziemnych,

np. maszynistów lokomotyw dołowych, kolejek podwieszanych, spągowych, brygad rewizyjnych w szybach itp. W takich przypadkach konieczne jest stosowanie systemów radiokomunikacyjnych. Cechą charakterystyczną radiokomunikacji w kopalniach podziemnych jest ograniczone zastosowanie propagacji swobodnej fal elektromagnetycznych na większe odległości oraz propagacji przez górotwór (ze względu na duże tłumienie).

2. Systemy radiokomunikacyjne z kablem ciekącym

Są to najczęściej stosowane systemy radiokomunikacyjne w kopalniach podziemnych. Działanie przewodów ciekących to współistnienie dwóch rodzajów propagacji w przewodzie współosiowym:

- propagacji bifilarnej (pomiędzy przewodem wewnętrznym i zewnętrznym) – odgrywa ona główną rolę w przenoszeniu sygnału wzdłuż kabla,
- propagacji monofilarnej (pomiędzy zewnętrzną powierzchnią przewodu zewnętrznego i ziemią) – umożliwia sprzężenie radiotelefonu ruchomego z kablem ciekącym.

Obydwa rodzaje propagacji podlegają wzajemnej konwersji. Dla kompensacji strat w przewodzie ciekącym, co kilkaset metrów stosowany jest wzmacniacz antenowy.

Częstotliwości wykorzystywane przez systemy z przewodem ciekącym mogą być podzielone na następujące pasma:

- transmisja głosu i danych do stacji bazowej,
- transmisja głosu i danych od stacji bazowej,
- transmisja video.

W systemach z przewodem ciekącym można wyróżnić:

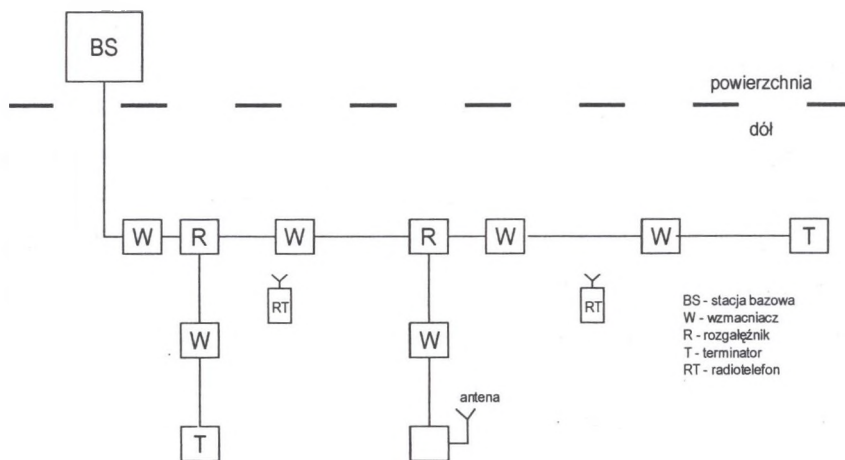
- realizację kanałów radiowych,
- wykorzystanie kanałów radiowych.

2.1. Realizacja kanałów radiowych

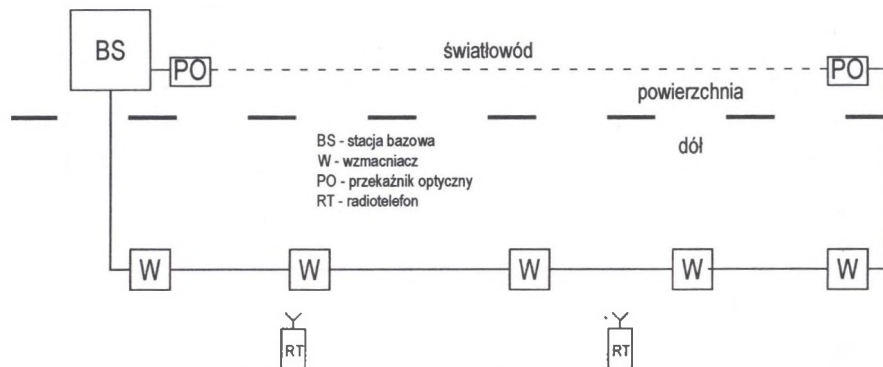
Wszystkie dotychczas uruchomione w Polsce instalacje łączności bezprzewodowej wykorzystujące kabel ciekący mają drzewiastą strukturę przewodu ciekącego (rys.1). W innych krajach spotyka się również systemy z pętlową (pierscieniową) strukturą przewodu ciekącego (rys. 2).

W systemach radiokomunikacyjnych z kablem ciekącym można wyróżnić [6]:

- stację bazową BS,
- wzmacniacze W,
- rozgałęźniki R,
- terminatory T.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu radiokomunikacji z kablem ciekącym o strukturze drzewa
Fig. 1. Block diagram of radiocommunication system with tree leaky feeder



Rys. 2. Schemat blokowy systemu radiokomunikacji z kablem ciekącym o strukturze pętli
Fig. 2. Block diagram of radiocommunication system with loop leaky feeder

Stacja bazowa zawiera między innymi radiotelefony bazowe, rozgałęźniki oraz układy zdalnego zasilania wzmacniaczy. W kopalniach, z uwagi na rozległość sieci kablowej i związaną z tym większą ilość zasilaczy, niezbędne są również zasilacze lokalne (ZAS na rys. 3), instalowane z reguły co kilka wzmacniaczy. Wzmacniacz W kompensuje tłumienność kabla ciekącego oraz innych elementów (np. rozgałęźników R). Wewnątrz zawiera on 3 wzmacniacze (pasmo transmisji głosu do stacji bazowej, pasmo transmisji głosu od stacji

bazowej, pasmo sygnału wideo – rys. 3) i jest elementem kierunkowym. Terminator T jest szeregowym dwójnikiem RC, powodującym obciążenie kabla ciekącego impedancją falową. Rozgałęźniki umożliwiają tworzenie rozgałęzień. Wprowadzają dodatkową tłumienność. Na końcu kabla ciekącego, zamiast terminatora, można włączyć antenę (kierunkową).

W przypadku kabla ciekącego, zawierającego dużą liczbę wzmacniaczy istotne jest dopasowanie ich wzmocnień do tłumienności poszczególnych odcinków kabla. Niektóre systemy posiadają możliwość automatycznego ustawiania wzmocnień poszczególnych wzmacniaczy (np. system MultiCom [8]).

Przerwa (uszkodzenie) kabla ciekącego ogranicza zasięg łączności. Zwiększenie niezawodności można uzyskać przez zastosowanie struktury pętlowej [11]. Koniec kabla ciekącego (wyprowadzony np. przez szyb peryferyjny) poprzez łącze światłowodowe (dwa przekaźniki optyczne i kabel światłowodowy) lub łącze radiowe na powierzchni, są dołączone do stacji bazowej. W przypadku przerwy w pętli następuje zmiana kierunku działania wzmacniaczy pomiędzy miejscem uszkodzenia i końcem kabla ciekącego.

2.2. Wykorzystanie kanałów radiowych

Istnieją dwa sposoby wykorzystania kanałów radiowych w systemach radiokomunikacyjnych z kablem ciekącym:

- system dyspozytorski,
- system trunkingowy [10].

W systemie dyspozytorskim w stacji bazowej instaluje się przekaźniki (najczęściej pary radiotelefonów stacjonarnych) po jednym dla każdego kanału (RB na rys. 3). Jeden radiotelefon pracuje jako odbiornik, a drugi jako nadajnik. Oba radiotelefony są sprzężone odpowiednim interfejsem [6]:

- RICK (repeater interface communication kit) w przypadku kanału dla komunikacji głosowej (rys.),
- interfejs telefoniczny (np. ZETRON 48-max Interconnected Repeater Panel) w przypadku, gdy kanał głosowy będzie mógł być łączony z centralą telefoniczną,
- modem w przypadku kanału dla transmisji danych.

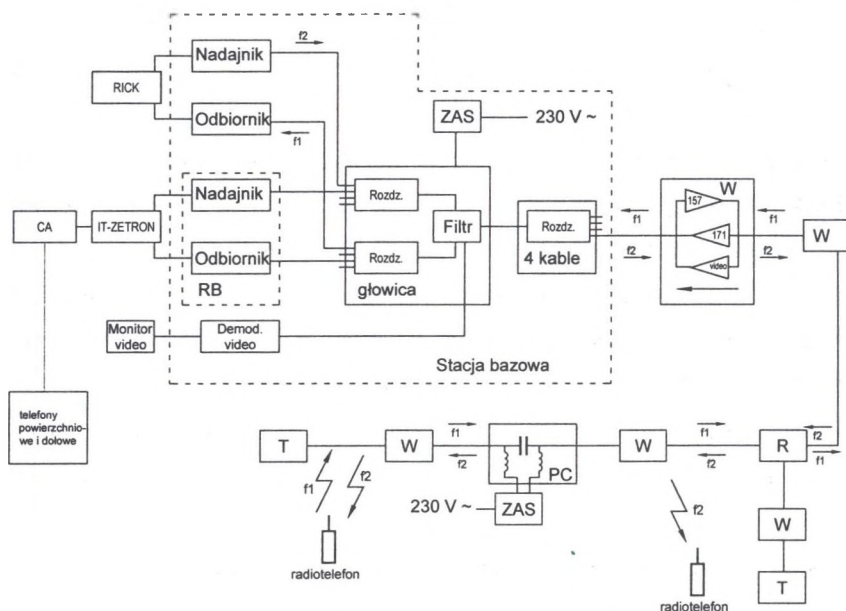
Radiotelefon ruchomy nadaje na częstotliwości f_1 , jego sygnał jest odbierany przez radiotelefon odbiorczy stacji bazowej, a sygnał akustyczny jest przekazywany do radiotelefonu nadawczego. Radiotelefon nadawczy nadaje na częstotliwości f_2 , która jest

wprowadzana do kabla ciekącego. Sygnał o częstotliwości f_2 jest odbierany przez wszystkie radiotelefony pracujące na kanale odbiorczym, wykorzystującym częstotliwość f_2 .

W systemie dyspozytorskim każdy kanał radiowy przyporządkowuje się dla konkretnego zastosowania (grupa radiotelefonów, transmisja danych).

W systemach trankingowych sterownik systemu przyporządkowuje kanał radiowy (jeżeli istnieje wolny kanał) do konkretnego celu. Dla funkcjonowania systemu trankingowego niezbędny jest kanał sterujący (cyfrowy). W Polsce dla systemów trankingowych zarezerwowano pasma 410 – 420 MHz (do stacji bazowej) i 420 – 430 MHz (od stacji bazowej). Istnieją dwa otwarte standardy systemów trankingowych [10]:

- analogowy MPT 1327,
- cyfrowy TETRA.



Rys. 3. Schemat blokowy systemu radiokomunikacji z kablem ciekącym w układzie dyspozytorskim [9]
Fig. 3. Block diagram of leaky feeder radiocommunication dispatcher system [9]

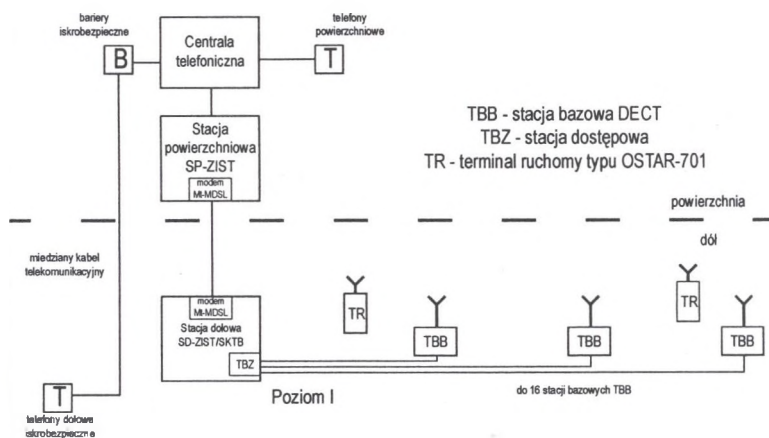
W systemie MPT 1327 kanał sterujący jest cyfrowy, natomiast pozostałe kanały (do rozmów) są analogowe. W systemie TETRA wszystkie kanały są cyfrowe. Systemy trankingowe mają większe możliwości funkcjonalne od dyspozytorskich [6, 10].

2.3. Przykłady rozwiązań systemów radiokomunikacyjnych z kablem ciekącym

Przegląd możliwych do zastosowania w kopalniach systemów bezprzewodowych pozwala wymienić następujące rozwiązania:

- System łączności z kablem ciekącym typu DAC 83400 (MRD) angielskiej firmy NEI-DAC z lat osiemdziesiątych w dwóch pasmach 72 i 86 MHz oraz jego unowocześniona wersja – system RFM 2000 w paśmie 160 – 174 MHz [2, 4].
- Radiowy system łączności ratowniczej GABI 98 z 1998 r. firmy AKSEL Rybnik z radiotelefonami Motorola w zakresie częstotliwości 136 – 174 MHz, z kablem ciekącym prod. Fabryki Kabli w Wałczu, wykorzystywany przez zastępy ratowników w czasie prowadzenia akcji ratowniczych [6].
- System łączności radiowej MR-90 z 1999 r. firmy Funke Huster, realizowany w Polsce przez firmę CARBOAUTOMATYKA SA Tychy i pracujący na częstotliwości 27 i 35 MHz [6].
- System SWAR z 2004 r. do wspomaganie akcji ratowniczych w zakładach górniczych, opracowany przez Centrum EMAG Katowice [6].
- Dyspozytorski system łączności bezprzewodowej typu BECKER LF/N z 2000 r. firmy Becker Warkop z Jankowic pracujący na częstotliwościach z zakresu 170 MHz (156 – 173 MHz), zainstalowany w O/ZG Polkowice Sierszowice [6].
- Dyspozytorski system łączności bezprzewodowej typu FLEXCOM z Kanady (150 – 174 MHz) z 2002 r. zainstalowany w KWK BUDRYK, O/ZG RUDNA, KWK ZOFIÓWKA, KWK JAS-MOS, KWK BORYNIA, KWK BIELSZOWICE [6].
- Dyspozytorski system łączności bezprzewodowej typu MulitCom z Kanady (150 – 174 MHz) z 2005 r. – zawiera wzmacniacze z automatyczną regulacją poziomu sygnału wyjściowego [8].
- System DOTRA (aplikacja systemu trunkingowego MPT1327) eksploatowany w O/ZG LUBIN, pracujący w zakresie częstotliwości 410 – 430 MHz [6].
- System łączności radiowej z kablem ciekącym firmy VARIS z Kanady (oferowany przez ELEKTROMETAL SA Cieszyn), zainstalowany w KWK PIAST (podobny do systemu FLEXCOM) [9, 12].

3. Systemy radiokomunikacyjne wykorzystujące standard DECT



Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy systemu SKTB
 Fig. 4. Simplified block diagram of SKTB system

Standard DECT jest przewidziany do nawiązywania cyfrowej łączności pomiędzy terminalami ruchowymi i stacjami bazowymi na nieduże odległości w paśmie 1880 – 1900 MHz (do 200 m w terenie otwartym [10]). Może być wykorzystywany do budowy bezprzewodowych telefonów, jak i systemów z tzw. bezprzewodową centralą abonencką [10]. Został wykorzystany przez EMAG do budowy iskrobezpiecznego systemu kopalnianej telefonii bezprzewodowej typu SKTB. Na rys. 4 przedstawiono uproszczony schemat blokowy systemu SKTB [1].

System SKTB zawiera następujące elementy:

- stacja dostępowa TBZ,
- stacje bazowe TBB,
- terminale ruchome DECT - typu OSTAR-701.

Stacja dostępowa TBZ ulokowana jest w stacji dołowej systemu ZIST i umożliwia komunikację ze stacją powierzchniową systemu ZIST, dając tym samym możliwość współpracy systemu z centralą abonencką. Zadaniem stacji dostępowej TBZ jest kontrola i synchronizacja stacji bazowych TBB dla realizacji funkcji systemowych (np. *handover* – czyli automatyczne przenoszenie rozmów użytkownika, przemieszczającego się pomiędzy stacjami bazowymi, komunikacja alarmowa, sygnalizacja, itp.). Jedna stacja dostępowa TBZ umożliwia obsługę do szesnastu stacji bazowych TBB i obsługę do sześćdziesięciu czterech terminali ruchomych, np. typu OSTAR-701.

Stacje bazowe TBB zapewniają łączność bezprzewodową z terminalami ruchomymi. Do stacji dostępowej TBZ podłączone są za pomocą pary telekomunikacyjnej. Tą drogą stacja TBB komunikuje się z systemem oraz jest zasilana. Stacja bazowa TBB umożliwia obsługę ośmiu terminali ruchomych pozostających w zasięgu stacji, z czego cztery mogą być w stanie aktywnym (stan rozmowy).

Obszar pokrycia radiowego stacji bazowej TBB w znacznym stopniu zależy od ukształtowania wyrobisk. W warunkach widzialności optycznej promień obszaru wynosi ok. 300 m [1] (stacja bazowa - terminal). Dla zapewnienia realizacji funkcji handover wymagane jest nakładanie się obszarów pokrycia (współpokrycia) radiowego pomiędzy sąsiednimi stacjami bazowymi. Wielkość obszaru współpokrycia zależy od zakładanej prędkości przemieszczania się terminali ruchomych (dla średniej prędkości przemieszczania się człowieka – 3,5 km/h zaleca się 20 m obszaru współpokrycia).

Terminale ruchome DECT - typu OSTAR-701 pełnią funkcję osobistych sygnalizatorów telefonów alarmowo-rozgłoszeniowych. Umożliwiają realizację funkcji: telefonicznych i alarmowych. Zasilanie akumulatorowe pozwala na kilkunastogodzinne użytkowanie sygnalizatora.

4. Systemy radiokomunikacyjne wykorzystujące bezprzewodowe sieci komputerowych (WLAN)

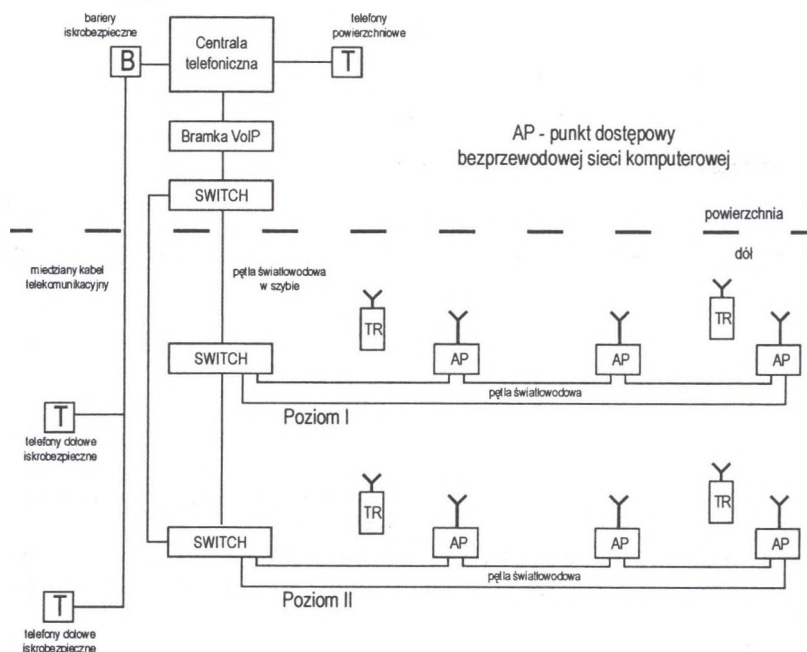
Realizacja tego rodzaju rozwiązania wykorzystuje dwie grupy standardów:

- standardy IEEE 802.11 bezprzewodowych sieci komputerowych [3, 10]:
 - 802.11b, 802.11g w paśmie 2,4 GHz,
 - 802.11a w paśmie 5 GHz,
- standardy telefonii VoIP (Voice over Internet Protocol) [5].

Urządzenia realizujące protokoły 802.11 pozwalają na instalację w wyrobiskach górniczych sieci punktów dostępowych (Access Point), tworzących bezprzewodową sieć komputerową dostępną dla przenośnych terminali (palmtopy z kartą sieciową WLAN). Jeżeli do sieci szkieletowej, obsługującej punkty dostępowe dołączymy odpowiednie bramki VoIP, a palmtopy wyposażymy w oprogramowanie realizujące jeden z wybranych protokołów VoIP, otrzymamy system radiokomunikacyjny dla kopalń podziemnych.

Przykładem tego typu rozwiązania jest system zaproponowany przez firmę EMBIGENCE GmbH [7], którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 5. Sieć punktów

dostępowych jest połączona pętlami światłowodowymi i wpięta do wydzielonej sieci komputerowej na powierzchni. Sieć komputerowa poprzez bramkę VoIP jest centralą telefoniczną. W ten sposób każdy terminal przenośny może zapewnić łączność głosową, jak i transmisję danych. System jest iskrobezpieczny (zgodnie z dyrektywą ATEX). Przeprowadzone próby wykazały, że wymagane odległości między punktami dostępowymi są rzędu 300 – 500 m [7].



Rys. 5. Uproszczony schemat blokowy systemu radiokomunikacji firmy EMBIGENCE GmbH
 Fig. 5. Simplified block diagram of underground radiocommunication system developed by EMBIGENCE GmbH

5. Zakończenie

W referacie przedstawiono oferowane obecnie systemy radiokomunikacyjne dla kopalń podziemnych:

- systemy z kablem ciekącym (wersji dyspozytorskiej i trankingowej),
- systemy z wykorzystaniem standardu DECT,
- systemy z wykorzystaniem bezprzewodowej sieci komputerowej WLAN (802.11).

Systemy z kablem ciekącym są rozwijane od ponad 30 lat. Są zaawansowane technicznie i oferowane przez wielu producentów z różnych krajów (Australia, Afryka

Południowa, Kanada). Wykorzystują seryjnie produkowane radiotelefony przenośne (z modyfikacjami w przypadku radiotelefonów iskrobezpiecznych) oraz stacjonarne. Różnią się preferowanymi kablami ciekącymi, wzmocnieniem zastosowanych wzmacniaczy, stosowanym pasmem częstotliwości (UHF, VHF) oraz dodatkowymi możliwościami funkcjonalnymi, jak: automatyczna regulacja wzmocnienia wzmacniaczy, diagnostyka czy odwracanie kierunku wzmocnienia wzmacniaczy dla struktury pętlowej. Duża przepustowość kabla ciekącego pozwala na jego wykorzystanie do transmisji danych (w tym z bramek odczytujących identyfikatory), transmisji obrazów z kamer. Istotnym problemem jest zwiększenie odległości między wzmacniaczami (szczególnie w szybach). Szereg oferowanych systemów jest iskrobezpiecznych, jednak nie wszystkie mają certyfikaty ATEX.

Systemy wykorzystujące standardy DECT i WLAN są stosunkowo nowymi rozwiązaniami i dopiero ich przemysłowa eksploatacja w kopalniach pozwoli na ich właściwą ocenę.

LITERATURA

1. Babecki D., Wiszniewski P.: System kopalnianej telefonii bezprzewodowej. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa (MiAG) 2002*, nr 9.
2. Cieślak E., Węglorz J.: Łączność radiowa w warunkach dołowych. Materiały konferencji naukowo-technicznej pt.: „Łączność i automatyzacja w górnictwie”. ELEKTROMETAL Cieszyn SA Ustroń 2000.
3. Gast M. D.: 802.11 Sieci bezprzewodowe. Przewodnik encyklopedyczny. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
4. Miśkiewicz K., Wojacek A.: Radiokomunikacja w polskich kopalniach węgla, stan aktualny, możliwości rozwoju. Materiały Krajowej Konferencji Radiokomunikacji Ruchomej KKRR'96. Poznań 1996.
5. Miśkiewicz K.: Zastosowanie telefonii VoIP w lokalnych systemach łączności. Materiały Międzynarodowej konferencji „Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie” – ATI'2006. Szczyrk, czerwiec 2006.
6. Model systemu łączności radiowej w oddziałach górniczych KGHM Polska Miedź. Praca naukowo-badawcza Katedry Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa i Katedry Zarządzania i Inżynierii Bezpieczeństwa Politechniki Śl. Gliwice IX 2005 (niepublikowana).
7. Mueller Ch.: Standarized nertworking an information exchanego increasing efficiency and safety of underground coal mines. www.technologycentre.org/uploadfiles/Presentation1_24.04.06
8. MultiCom Leaky Feeder Communication System. Application and Instalation Manual. Mine radio Systems Inc. January 2003.
9. VARIS IS LEAKY FEEDER SYSTEM. SYSTEM DESCRIPTION. Varis Mine Technology Ltd. November 2003.
10. Wesołowski K.: Systemy radiokomunikacji ruchomej. WKŁ. Warszawa 2003.

11. Wilson B., Kulisz B.: Telekomunikacja w górnictwie XXI wieku. Materiały Międzynarodowej konferencji „Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie” – ATI’2006. Szczyrk, czerwiec 2006.
12. Wojaczek A., Temel S.: Zintegrowany system łączności radiowej do podziemi kopalń. Materiały III Sympozjum naukowo-technicznego pt.: „Łączność i automatyzacja w górnictwie”. ELEKTROMETAL SA Ustroń, październik 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Prałat