

## Możliwości zastosowania łączności radiowej przy podziemnej eksploatacji węgla kamiennego

### The possibility of application of radio communication in underground hard coal mine



*Dr inż. Łukasz Herezy\**



*Dr inż. Łukasz Bołoz\**



*Mgr inż. Łukasz Filiks\*\**



*Mgr Joanna Plachetka \*\*\**

**Treść:** Komunikacja w podziemnych zakładach górniczych jest nieodzownym elementem technologii. Jej stosowanie wynika zarówno z konieczności porozumiewania się, jak i prawa obligującego zakład górniczy do jej posiadania. Obecnie systemy komunikacji opierają się na sieci telefonicznej lub światłowodowej. Można również spotkać sieci radiowe wykorzystujące tak zwany przewód promieniujący. W ostatnim czasie na rynku pojawił się system łączności bezprzewodowej niewymagający połączenia w obrębie np. oddziału eksploatacyjnego do sieci telefonicznej. Tego rodzaju system został podany ocenie w warunkach *in situ* w Lubelskim Węglu „Bogdanka” S.A. (LW Bogdanka). Testy systemu zostały przeprowadzone w ścianie kombajnowej, gdzie załoga została wyposażona w komunikatory, a transmisja pomiędzy pracownikami realizowana była poprzez repeatery. Następnie przeprowadzono ankietę wśród pracowników. System został oceniony jako dobry (w skali od 1 do 10 – 6,5), natomiast niektóre elementy systemu z punktu widzenia ergonomii załoga wskazała jako „do poprawy” w przyszłych wersjach systemu.

**Abstract:** Communication in underground mining is an element of technology. Its application results from the necessity of communication as well as the law obliging the underground mining to own it. Currently, communication systems are based on a telephone or fiber optic network, you can also meet radio networks using radiating cable. Recently, there has been a wireless communication system on the market that does not require connection within, for example, longwall panel of the telephone network. This type of system has been assessed *in situ* conditions in Lubelski Węgiel “Bogdanka” S.A. (LW Bogdanka). The system tests were carried out in the shearer longwall, where the crew was equipped with communicators, and the transmission between employees was carried out through repeaters. Afterwards, a survey was conducted among workers. The functionalities of the system were rated well (on a scale of 1 to 10 - 6.5), while some elements of the system from the point of view of ergonomics were indicated by the crew as “to be improved” in future versions of the system.

\* ) AGH w Krakowie

\*\* ) Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A.

\*\*\* ) 2RHP

**Słowa kluczowe:**

łączność kopalniana, transmisja danych, łączność radiowa, górnictwo podziemne

**Keywords:**

mining communications, data transmission, radio communication, underground mining

**1. Wprowadzenie**

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. podziemny zakład górniczy musi być wyposażony w system ogólnozakładowej łączności telefonicznej, system dyspozytora ruchu zakładu górniczego składający się z systemu alarmowania i kontroli stanu zagrożenia (Rozporządzenie...2016). Kopalnie, aby spełnić zapisy rozporządzenia posiadają systemy pozwalające na łączność ogólnozakładową, ale również i lokalną, alarmowanie oraz transmisję danych. Do transmisji danych w poszczególnych systemach służą kable telekomunikacyjne, światłowody oraz sieci radiowe. To samo rozporządzenie nakłada na zakład górniczy obowiązek ewidencjonowania osób przebywających w wyrobiskach. Obecnie ewidencjonowanie realizowane jest przez rejestratory elektroniczne zjazdu oraz zgłoszenia osób dozoru o osobach przebywających w ich rejonie. Coraz częściej mówi się i podejmuje starania, aby wykorzystać w celu ewidencji osób urządzenia elektroniczne. Urządzenia rejestrujące miejsce przebywania pracownika wysyłałyby informacje o miejscu jego przebywania poprzez sieć telekomunikacyjną lub światłowodową (Miśkiewicz i inni 2010, Wojaczek 2014). Coraz częściej dla zakładu górniczego prócz wiedzy na temat lokalizacji pracowników przydatna jest wiedza w zakresie lokalizacji maszyn (w szczególności w zakładach wydobywających rudy metali), jak i parametrów ich pracy (Herezy i inni 2018, Moridi i inni 2014, Wojaczek 2014). Maszyny pracujące obecnie w zakładach górniczych posiadają systemy umożliwiające ich lokalizację, diagnostykę jak i obserwację on-line parametrów ich pracy. Coraz częściej przedsiębiorcy mówią o odsunięciu pracownika, w szczególności w miejscach najbardziej niebezpiecznych lub tych, gdzie istnieje możliwość automatyzacji pracy. Realizacja wszystkich wymienionych powyżej zadań wymaga niezakłóconej transmisji znacznej ilości danych. Obecne systemy transmisji mogą nie mieć odpowiedniej przepustowości lub nie będą zapewniały odpowiedniej jakości transmisji (Archana, Mudasser 2014, Ranjan, Sahu 2014, Patri i inni 2013).

LW Bogdanka realizując obecną strategię rozwoju prowadzi prace nad tak zwanymi Kopalnianymi Inteligentnymi Rozwiązaniami. Jednym z elementów wpisujących się w te działania jest chęć wykorzystania funkcji maszyn do predykcji ich awaryjności i harmonogramowania czynności serwisowych. Poszukując możliwości zwiększenia ilości transmitowanych danych kopalnia nawiązała kontakt z firmą 2RHP, której rozwiązania techniczne pozwalają na bezprzewodową transmisję danych jak i bezprzewodową komunikację między pracownikami. System został przygotowany przez 2RHP wraz z Centralną Stacją Ratownictwa Górniczego w Bytomiu, Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie i Instytutem Łączności w Warszawie z myślą o usprawnieniu komunikacji pomiędzy ratownikami biorącymi udział w akcjach ratowniczych. Widząc potencjał w opracowanym systemie LWB zdecydowało się na przeprowadzenie testów *in situ*.

**2. Opis systemu łączności**

RESYS jest innowacyjnym w skali światowej systemem komunikacji mobilnej, przeznaczonym do pracy w podziem-

nych zakładach górniczych, w tym w zakładach zagrożonych wybuchem metanu lub pyłu węglowego. Funkcjonalność systemu RESYS miała odpowiadać potrzebom akcji ratowniczej, a po wypadku w kopalni Krupiński w maju 2011 r. istotnym postulatem dotyczącym jego funkcjonalności była lokalizacja ratowników.

Dla spełnienia wymaganej funkcjonalności twórcy systemu RESYS wzięli pod uwagę warunki, w jakich prowadzona jest akcja ratownicza. Od strony technicznej szczególną uwagę zwrócono na propagację fal radiowych w wyrobiskach podziemnych, gabaryty urządzeń, ich masę, zasięg, zużycie energii, a w szczególności łatwość obsługi. Realizacja tego dedykowanego systemu do pracy w wyrobiskach podziemnych wymagała zaprojektowania elektroniki i stworzenia oprogramowania, które obsłuży ruch audio w sieci rozproszonej.

Mobilna komunikacja zmieniła wiele w różnych dziedzinach życia na powierzchni. Czas na podobne zmiany w wyrobiskach podziemnych. Poziom bezpieczeństwa musi wzrosnąć, bo sięga się po coraz trudniejsze pokłady, a praca w obecnie eksploatowanych wyrobiskach jest już bardzo trudna. Również dla górników poczucie bezpieczeństwa wiąże się z dostępem do komunikacji mobilnej, bo w przypadku zagrożenia, czy ratowania życia liczy się każda sekunda. Akcja ratownicza, a należy tu zaznaczyć, że ratownicy narażają życie nie tylko w przypadku katastrof górniczych, ale na co dzień, gdy realizują zadania, które zabezpieczają pracę górników, jest szczególnie niebezpieczna i minimalizacja ryzyka, w tym lokalizacja ratowników stała się istotnym wyzwaniem dla twórców. System został przystosowany tak, aby mimo warunków panujących w miejscach prowadzenia akcji ratowniczej był przyjazny dla użytkownika. Łączność duplexowa (w dwóch kierunkach jednocześnie), czyli taka jak w telefonii komórkowej. Oznacza to, iż użytkownicy mogą rozmawiać w grupie, (jeśli pozostają we wzajemnym zasięgu) bez żadnego urządzenia pośredniczącego. Jakość dźwięku zapewnia system redukcji zakłóceń (szumów) z zewnątrz, w tym z aparatów oddechowych. Wyzwaniem były również zasięgi radiowe. Twórcy zdecydowali o doborze częstotliwości w oparciu o badania własne, Instytutu Łączności w Warszawie oraz o badania przeprowadzone w USA. Kolejno zaprojektowali urządzenia tak, aby zmaksymalizować zasięg, jednocześnie zapewniając stabilność połączenia i łatwość budowania sieci ad hoc.

Podstawowymi urządzeniami systemu są (Buchwald i inni 2017):

- komunikatory osobiste PC1.0, osobiste wyposażenie górnika/ratownika (rys. 1),
- repeatory RE1.0, elementy tworzące bezprzewodową sieć szkieletową (rys. 2),
- baza M1 (opcjonalnie z komputerem klasy PC), wyposażenie kierownika akcji na dole, centrala zarządzania komunikacją w sieci,
- mediakonwertery MC1.0, element aktywny sieci światłowodowej (RESYS jest opcjonalnie przewodowy).

Do sieci mogą być również podłączane urządzenia dodatkowe (poprzez komunikatory osobiste PC 1.0 lub repeatory RE1.0) za pomocą radiowego interfejsu 2,4 GHz, np. osobiste pulsometry (elementy sieci typu PAN – *Personal Area Network*), czujniki maszyn/urządzeń, (jako sieć dla IoT – *Internet of Things*), czy też sygnalizatory świetlnodźwiękowe, etc.





**Rys. 1. Komunikator PC1.0**  
**Fig. 1. Communicator PC1.0**

Foto L. Filiks

System RESYS w obecnej funkcjonalności służy przede wszystkim do głosowej, bezprzewodowej komunikacji pomiędzy kierownikiem akcji ratowniczej na dole wyposażonym w bazę M1 a zastępami ratowników górniczych, których członkowie są wyposażeni w osobiste komunikatory PC1 oraz do bezprzewodowej łączności pomiędzy ratownikami w ramach zastępu. Komunikacja z urządzeniami będącymi poza bezpośrednim zasięgiem radiowym (np. baza oddalona o 3 km) jest realizowana poprzez bezprzewodową sieć szkieletową, którą tworzą repeatery REP 1.0. Komunikator PC1.0 jest radiotelefonem, umieszczonym na helmie górniczym w formie ochronnika słuchu (rys. 1). Rozwiązanie to sprawia, że jest on ergonomiczny, pozostawiając swobodę ruchu obiema rękami. Komunikacja w ramach zastępu/brygady odbywa się w trybie ciągłym, niewymagającym nawiązywania połączeń, czyli tzw. full-dupleksie, tj. cały czas każdy słyszy każdego, wszyscy użytkownicy mogą ze sobą jednocześnie rozmawiać. Masa urządzenia gotowego do pracy wynosi 650 g, z czego sam akumulator waży 140 g i jest on wymienny w strefie zagrożenia wybuchem. Pojemność akumulatora wynosi 3000 mAh, co pozwala na ok. 12 godzin ciągłej pracy. Zarówno komunikatory osobiste jak i repeatery są urządzeniami radiowymi pracującymi na częstotliwościach 840-880 MHz, z mocą nadajnika nieprzekraczającą 500 mW. Dostęp do medium transmisyjnego jest realizowany jednocześnie technikami TDMA i FDMA. Połączenia z innymi komunikatorami realizowane są bezpośrednio, o ile użytkownicy znajdują się we wzajemnym zasięgu radiowym i/lub za pośrednictwem bezprzewodowej sieci szkieletowej zbudowanej w oparciu o repeatery REP 1.0, jeśli użytkownicy są poza bezpośrednim wzajemnym zasięgiem radiowym. Do obsługi komunikatora służy klawiatura umieszczona na czaszy ochronnika. System komunikatów głosowych, uruchamiany przy każdorazowym przyciśnięciu klawisza daje użytkownikom pewność, że realizują za ich pomocą tę funkcję, którą zamierzali.

Repeatery, jako elementy tworzące bezprzewodową sieć szkieletową, pełnią dwie podstawowe funkcje: przekazników retransmitujących sygnały radiowe oraz punktów dostępowych do sieci.

Retransmitowane są pakiety audio oraz dane uzyskane z poprzednich repeaterów, lub w przypadku - pierwszego re-



**Fig. 2. Repeater REP1.0**

**Rys. 2. Repeater REP1.0**

Foto L. Filiks

peatera, z bazy do kolejnych repeaterów oraz innych urządzeń radiowych systemu (np. osobiste komunikatory ratowników), będących w ich zasięgu radiowym. Opcjonalnie repeatery mogą być łączone ze sobą światłowodem za pośrednictwem mediakonwerterów MC1.0. Połączenie światłowodowe jest wykorzystywane głównie do transmisji na powierzchnię. Światłowodem mogą być połączone repeatery w różnych rejonach kopalni, co pozwoli skomunikować ze sobą (pokryć zasięgiem) jak największą część jej podziemnych wyrobisk.

Elementem systemu RESYS jest dedykowana aplikacja, która umożliwia schematyczne odwzorowanie akcji (przemieszczanie się górników/ratowników w wyrobisku), komunikację głosową z nimi oraz ich lokalizację. Aplikacja ta będzie w najbliższym czasie dostosowywana do potrzeb komunikacji z górnikiem w wyrobiskach (przodki, ściana, trasy kolejek).

### 3. Testy

LW Bogdanka, rozpoznając funkcje systemu i płynące z jego zastosowania korzyści, dostrzegł również możliwość jego wykorzystania w innych miejscach pracy w kopalni. Jednym z nich jest rejon ściany wydobywczej, a właściwie niektóre stanowiska pracy, w jakich system ten pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa oraz efektywności prowadzonych prac.

W wyrobisku ścianowym bezpośrednio za obsługę maszyn w niej zainstalowanych odpowiadają kombajniści, sekcjoni, operatorzy przenośników oraz pracownicy zatrudnieni w rejonie skrzyżowań z chodnikami przyścianowymi. Kombajniści odpowiedzialni są za sterowanie kombajnem, zwłaszcza prędkością posuwu oraz położeniem głowic kombajnu tak aby dostosować parametry pracy maszyny do aktualnych warunków przy jednoczesnym uzyskaniu maksymalnej efektywności eksploatacji. Osoby te oddalone są od siebie o dwukrotną długość kombajnu. Odległość dzieląca sekcyjnych, obsługę napędów, przodowych wnek jest zmienna i może dochodzić do kilkudziesięciu metrów. Z uwagi na hałas, jaki towarzyszy pracy maszyny komunikacja słowna jest niemożliwa. Kombajnista i pomocnik porozumiewają się za pomocą gestów lub znaków nadawanych lampami. Bardzo często dochodzi do pomyłek i nieporozumień, czego konsekwencją jest zatrzymanie procesu urabiania. Dodatkowo występuje realne ryzyko kolizji kombajnu z sekcjami, niepotrzebne przestoje maszyny oraz wyłączenie uprawnień sterowania. Za

bezpośrednią koordynację pracowników odpowiada przodowy brygady ścianowej. Bardzo często osoba ta, w celu porozumienia się z na przykład z kombajnistą i przekazania mu istotnych instrukcji, komunikuje się za pomocą znaków nadawanych lampą. Przekazywanie poleceń za pomocą lampy jest znacząco utrudnione, a czasami wręcz niemożliwe. Zachodzi wówczas konieczność przemieszczania się pracownika wzdłuż kombajnu przy jednoczesnym zatrzymaniu pracy maszyny. Przykładem jest sytuacja, w której operator sekcji obudowy zmechanizowanej przesuwają sekcje bezpośrednio za tylnym organem urabiającym. Koordynacja prac wymaga bezbłędnej komunikacji między pracownikami, a tempo urabiania musi być na bieżąco dostosowane do możliwości zabezpieczenia stropu. Oprócz brygady zatrudnionej bezpośrednio w rejonie maszyny urabiającej niezbędna jest komunikacja między przodowym a operatorami przenośników. Zachodzi konieczność, aby operator przenośnika obserwował przesypy, na przykład z przenośnika podścianowego na taśmowy, wówczas nie ma możliwości porozumienia się między nimi (przodowy, operator) z uwagi na hałas i odległość. Kolejnym stanowiskiem niezbędnym do wyposażenia w łączność bezpośrednią jest operator przenośnika zgrzeblowego podścianowego. Tutaj również zachodzi konieczność komunikacji (np. z kombajnistami w przypadku przeciążenia przenośnika urobkiem). Dostęp do komunikacji bezprzewodowej potrzebny jest również osobom dozoru.

Testy przeprowadzane w oddziale wydobywczym trwały cztery tygodnie. Pierwszego dnia, testy zostały przeprowadzone w wyrobiskach podszybia i polegały na przeprowadzeniu przez przedstawicieli 2RHP szkolenia z zakresu działania i używania komunikatorów i repeaterów. Następnie załoga udała się do rejonu prowadzonych prac i przygotowała sieć repeaterów dla zapewnienia łączności pomiędzy pracownikami wyposażonymi w komunikatory osobiste. W ścianie repeaterzy zostały rozwieszane w odległości około 40 m od siebie na sekcjach obudowy zmechanizowanej. Takie ich rozmieszczenie umożliwiało komunikację pomiędzy kombajnistami i sekcyjnym. Repeatery zostały również zabudowane w wyrobiskach przyścianowych w rejonach skrzyżowań ze ścianą dla umożliwienia komunikacji pomiędzy kombajnistami a przodowymi wnek i obsługi przenośnika podścianowego. W urządzeniach komunikacyjne zostały wyposażeni przodowy ściany, kombajnisci, sekcyni, przodowi wneki górnej i dolnej oraz obsługa przenośników zgrzeblowych.

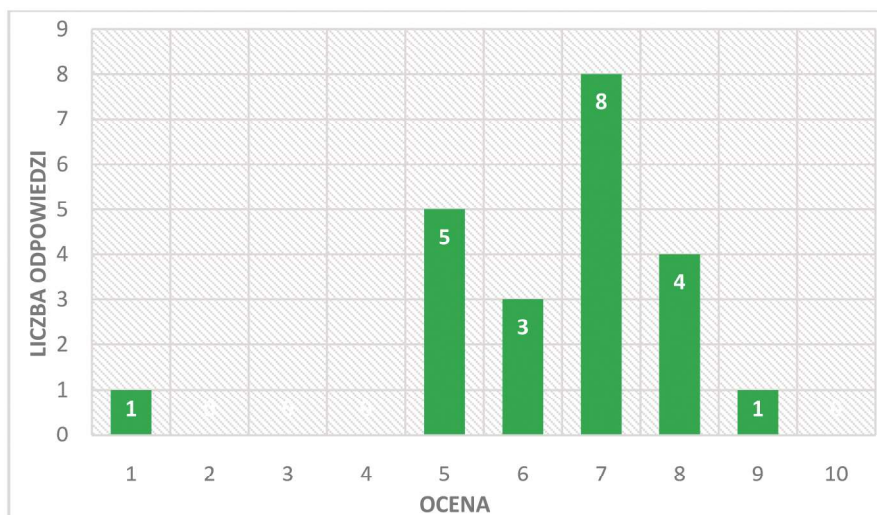
Funkcjonalność systemu została pozytywnie oceniona

przez załogę. Ocena systemu została dokonana na podstawie ankiety przeprowadzonej wśród pracowników wykorzystujących/testujących system komunikacji bezprzewodowej. Zadano im następujące pytania:

1. Czy uważasz, że system łączności bezprzewodowej jest potrzebny do usprawnienia pracy w oddziale?
2. Czy uważasz, że system łączności bezprzewodowej podwyższy komfort pracy, poprawi komunikację wzajemną w oddziale i usprawni pracę?
3. Czy w systemie powinna być wyposażona większość załogi w ścianie?
4. Czy testowany system RESYS działał poprawnie?
5. Czy słuchawki systemu RESYS powinny być mniejsze od testowanych w oddziale?
6. Czy anteny do słuchawek powinny być krótsze?
7. Czy rejon ściany powinien być wyposażony na stałe w repeaterzy z funkcją podtrzymania zasilania baterią?
8. Czy testowane mikrofony są uciążliwe?
9. Czy testowane mikrofony należy zmienić?
10. Czy przyciski na słuchawkach są intuicyjne?
11. Czy łatwo użytkuje się poszczególne przyciski?
12. Czy słuchawki należy wyposażać w przycisk rozmowy (przyciskam i wtedy reszta mnie słyszy)?
13. Czy system pozwoli na poprawę bezpieczeństwa podczas pracy pod ziemią?
14. Czy testowany system powinien być lżejszy?
15. Czy chcesz, aby testowany system umożliwiał realizowanie połączeń z telefonami stacjonarnymi?
16. Czy czas pracy baterii w testowanym systemie pozwalał na jego użytkowanie przez całą zmianę?
17. Czy testowany system pozwalał na komunikację nawet w warunkach największego zapylenia, hałasu?
18. Czy system pozwalał na komunikację w wyznaczonym rejonie bez przerywania ciągłości rozmów?
19. Czy system pozwala na poprawę wydajności eksploatacji?

Ankiety przeprowadzono wśród 22 pracowników. Na podstawie udzielonych odpowiedzi na zadane pytania można stwierdzić, iż załoga widzi pozytywne efekty stosowania bezprzewodowej łączności w szczególności jego przydatności. System otrzymał ogólną ocenę w skali od 1 do 10 wynoszącą 6,5, poszczególne noty zaprezentowano na rysunku 3.

Na pytania związane z sensownością zastosowania komunikacji bezprzewodowej ankietowani opowiedzieli się właściwie jednomyślnie. Przeprowadzone próby dołowe funkcjonalności systemu pozwoliły na jego ocenę na bardzo



Rys. 3. Ogólna ocena systemu RESYS

Fig. 3. General evaluation of RESYS system



wysokim poziomie. Na pytania: Czy uważasz, że system łączności bezprzewodowej jest potrzebny do usprawnienia pracy w oddziale?; Czy uważasz, że system łączności bezprzewodowej podwyższy komfort pracy, ograniczy zamieszanie w celu komunikacji, usprawni pracę?; Czy w system powinna być wyposażona większość załogi w ścianie?; Czy system pozwoli na poprawę bezpieczeństwa podczas pracy pod ziemią?; Czy system pozwala na poprawę wydajności eksploatacji? Pozytywne odpowiedzi kształtowały się na poziomie od 75% do niemal 100% (rys. 4).

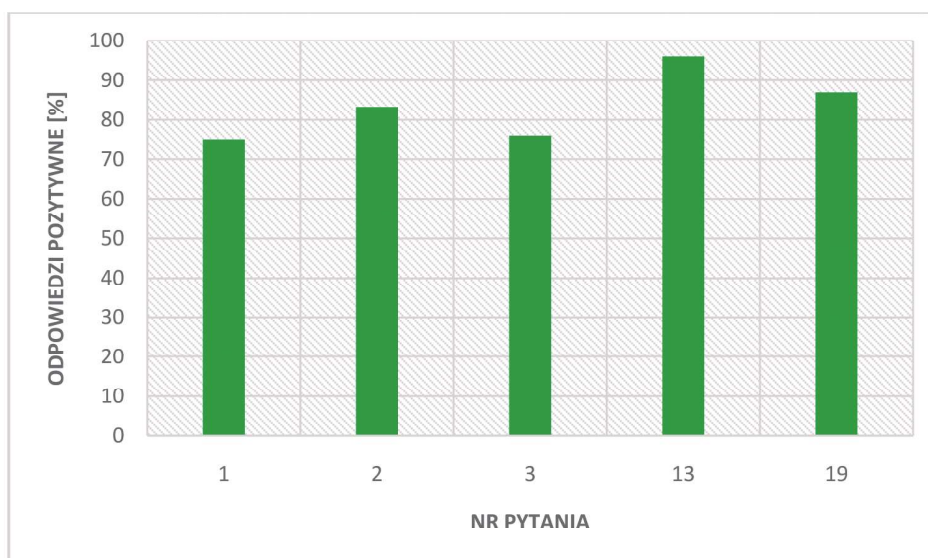
Istnieją jednak elementy systemu szczególnie w zakresie jego ergonomii, które zostały przez załogę ocenione negatywnie. W szczególności chodzi o wagę urządzenia (komunikatora), która wynosi 650 g, wielkość anten i rozwiązania mocowania mikrofonu. Na rysunku 5 zaprezentowano odpowiedzi na pytania wskazujące elementy systemu najgorzej ocenione i te, które powinny być w pierwszej kolejności poddane modyfikacji w kolejnych wersjach systemu. Zwrócono uwagę na elementy, co do których pojawiło się najwięcej zastrzeżeń. W pierwsze kolejności powinny zostać wprowadzone następujące modyfikacje poszczególnych elementów systemu:

- zmniejszenie wielkości słuchawek,
- zmniejszenie długości anten słuchawek,
- słuchawki należy wyposażyć w przycisk nadawania,
- mobilne elementy systemu powinny być lżejsze,

Pracownicy zwrócili również uwagę na potrzebę wyposażenia na stałe rejonów ścian w repeatory z funkcją podtrzymywania zasilania baterią oraz na potrzebę wymiany mikrofonów.

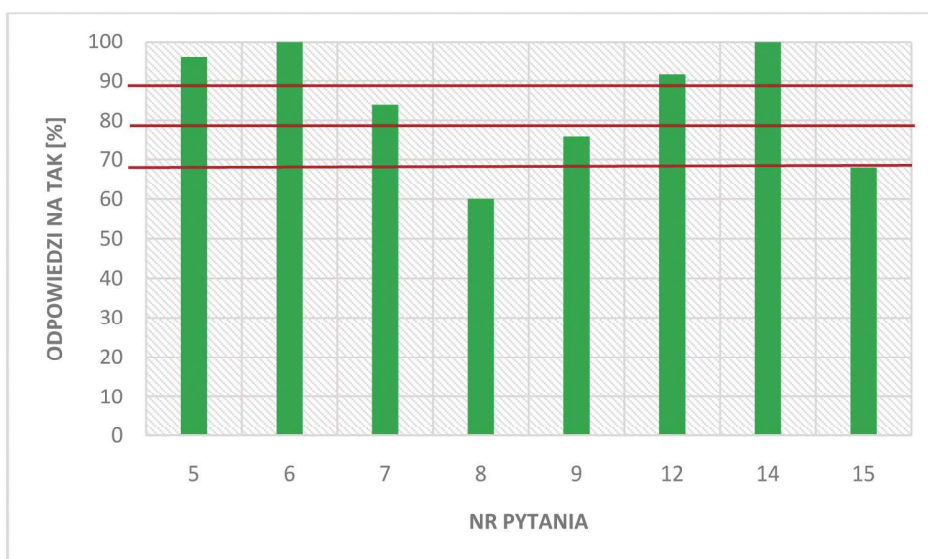
Jako pierwsze powinny być zmodyfikowane elementy kryjące się pod pytaniami 5, 6, 12 i 14, a kolejnymi zawierające się w pytaniami 7 i 9.

Niektóre elementy, cechy systemu zostały ocenione pozytywnie (rys. 6), nad poprawą można zastanowić się w przypadku jakości połączenia i intuicyjności przycisków (pytania 4, 10, 18). System wśród badanych uzyskał pozytywną ocenę poprawności działania na poziomie 60%. Jednakże wiele negatywnych uwag dotyczących jakości połączenia lub jego brakiem wynikało z nieprawidłowego rozmieszczenia repeaterów wzdłuż wyrobiska ścianowego. Przyczyną błędnego rozmieszczenia sieci repeaterów jest brak doświadczenia załogi w wykorzystaniu tego typu łączności oraz ocenie wpływu wyposażenia wyrobisk na poprawności działania systemu.



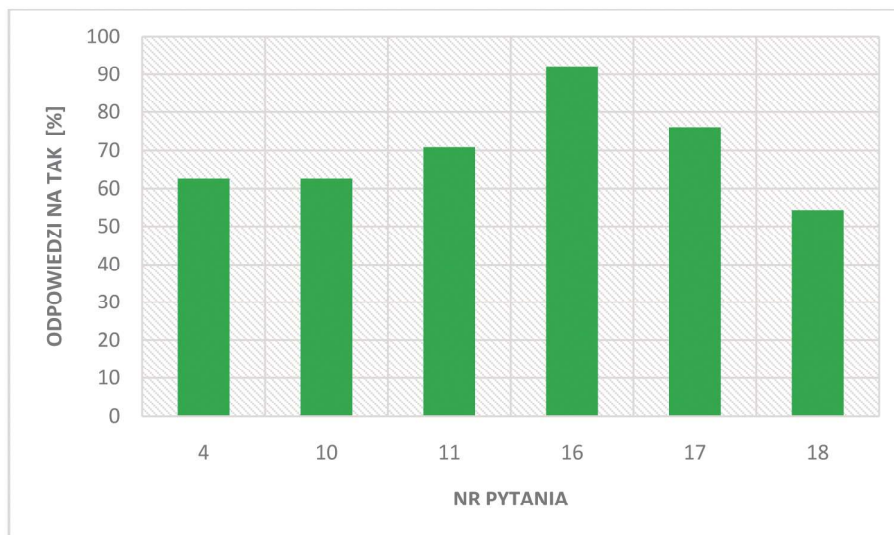
Rys. 4. Ocena funkcjonalności systemu łączności bezprzewodowej

Fig. 4. Evaluation of the functionality of the wireless communication system



Rys. 5. Ocena elementów, cech systemu wymagających poprawy

Fig. 5. Evaluation of elements, features of the system that need improvement



**Rys. 6. Ocena elementów, cech systemu ocenianych pozytywnie**

**Fig. 6. Evaluation of elements, features of the system assessed positively**

Uwzględniając możliwość korzystniejszego rozmieszczenia repeaterów oraz wyeliminowania szeregu kluczowych elementów, wymienionych wcześniej, należy się spodziewać w przyszłości znacznie wyższej oceny poprawności działania systemu.

#### 4. Podsumowanie

Możliwość swobodnego, niezależnego od trudnych warunków pracy w ścianie i nie tylko, porozumiewania się osób wyposażonych w system bezprzewodowej łączności pozwoliła na wyeliminowanie niektórych zdarzeń skutkujących postojami. Kambajniści pomimo dzielącej ich niewielkiej odległości z powodu hałasu nie byli w stanie się usłyszeć, a momentami nawet widzieć. Komunikacja bezprzewodowa wyeliminowała nieporozumienia pomiędzy kambajnistami spowodowane błędną interpretacją gestów. Błędna interpretacja gestów jest istotną przyczyną wstrzymania pracy kambajnu. Komunikacja pomiędzy kambajnistami a sekcyjnymi pozwalała na prawidłowe prowadzenie przenośnika zgrzeblowego, dostosowanie prędkości kambajnu do szybkości przesuwania sekcji itp. Przez komunikację za pomocą RESYS-a można było również dodatkowo poinformować pracowników na skrzyżowaniach przyścianowych o zbliżającym się w rejon ich prac kambajnie. Umożliwiało to skoordynowanie prac, zachowanie ciągłości eksploatacji i bezpieczne wycofanie załogi (brygady likwidacji wyrobisk) poza rejon skrzyżowania na czas wykonania przekładek. System umożliwiał komunikację załogi między poszczególnymi stanowiskami bez konieczności podchodzenia za każdym razem do zabudowanych na stałe urządzeń głośnomówiących. Przeprowadzone testy potwierdzają konieczność usprawnienia komunikacji między pracownikami w wyrobisku ścianowym, gdyż obecna stacjonarna sieć łączności ogólnozakładowej, pomimo że płynna, to nie zapewnia wystarczająco sprawnej komunikacji, gdyż ograniczoną jest poprzez liczbę zastosowanych urządzeń oraz brak możliwości porozumiewania się w trakcie wykonywania typowych czynności, na przykład na długości ściany.

Analiza wyników przeprowadzonej ankiety ma zastosowanie do tego konkretnego przypadku i oparta jest jedynie na odpowiedziach 22 górników, którzy mieli okazję testować przedmiotowe rozwiązanie. Niemniej jednak ankieta jest źródłem cennych informacji uzyskanych od zainteresowanych,

którzy mają konkretne oczekiwania. Istnieją pewne elementy urządzenia, które wymagają przeprojektowania pod kątem ergonomii, jednak nie dyskwalifikuje to samego systemu.

W ocenie przydatności komunikacja bezprzewodowa pomiędzy osobami biorącymi udział w testach, jak i na innych stanowiskach pracy w ruchu zakładu górniczego, można stwierdzić, iż wprowadzenie tego rodzaju komunikacji powinno zostać wdrożone.

Przeprowadzone testy oraz ankieta pozwalają pozytywnie ocenić możliwość szerszego zastosowania łączności bezprzewodowej w wyrobiskach kopalni LW Bogdanka.

#### Literatura

- ARCHANA K., MUDASSER A.W. 2014 - Zig-Bee and Wi-Fi based Mine Safety Application. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 4, Issue 1, pp. 1-4.
- BUCHWALD P., GOLICZ P., ŚLIWA J., KOWALIK A. 2017 - RESYS - nowy system telekomunikacyjny dla ratownictwa górniczego, *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, vol. 6, issue 2, pp 31-41.
- HEREZY Ł., JANIK D., SKRZYPKOWSKI K. 2018 - Powered roof support – rock strata interactions on the example of an automated coal plough system. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 40, Issue 1, pp. 46-55.
- MIŚKIEWICZ K., WOJACZEK A., WÓJCIK D. 2010 - Zintegrowany system łączności telefonicznej i alarmowo-rozgłoszeniowej dla małych kopalń na przykładzie Kopalni Gipsu i Anhydrytu w Niwnicach. „*Mechanizacja i Automatyka Górnictwa*” nr 1, s. 30-35.
- MORIDI M. A., KAWAMURA Y., SHARIFZADEH M., CHANDA E. K., WAGNER M., JANG H., OKAWA H. 2015 - Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*. Dostęp on-line <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.07.017>.
- PATRI A., NAYAK A., JAYANTHU S. 2013 - Wireless Communication Systems For Underground Mines – A Critical Appraisal. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 4 Issue 7, pp. 3149-3153.
- RANJAN, A., SAHU, H.B. 2014. - Communication Challenges in Underground Mines. *Search & Research*, Vol. V, No. (2), pp. 23-29.
- Rozporządzenie ministra energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz.U. 2017 poz. 1118.
- WOJACZEK A. 2014 - Wykorzystanie przewodu promieniującego w systemie lokalizacji pojazdów w kopalniach. „*Przeгляд Górnicy*” nr 1, s. 1-8.
- Artykuł wpłynął do redakcji – listopad 2018  
Artykuł akceptowano do druku – czerwiec 2019