



Koncepcja optymalizacji systemu monitoringu, lokalizacji sprzętu i załogi w podziemnych zakładach górniczych za pomocą wykorzystania innowacyjnego rozwiązania – „inteligentnego zegarka”

Shahin BARAMAJ¹⁾, Krzysztof BARAŃSKI²⁾

¹⁾ mgr inż.; AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Geoengineering (graduate); email: inibaramaj@gmail.com

²⁾ mgr inż.; AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining and Geoengineering, Department of Surface Mining; email: baranski@agh.edu.pl

<http://doi.org/10.29227/IM-2018-02-20>

Abstract

W artykule przedstawiono charakterystykę systemów lokalizacji, monitoringu i sterowania stosowanych w podziemnych zakładach górniczych. Opisano został protokół Zigbee zastosowany w kopalniach węgla kamiennego oraz rodzaje topologii łączenia sensorów bezprzewodowo. Zaproponowano koncepcję optymalizacji obecnie istniejącego systemu detekcji ludzi i urządzeń za pomocą wprowadzenia innowacyjnego rozwiązania tzw. inteligentnego zegarka w celu poprawy szeroko rozumianego bezpieczeństwa pracy kopalni. Opisano budowę, schemat działania oraz konstrukcję nowoczesnego rozwiązania tzw. inteligentnego zegarka. Przedstawiono potencjalne korzyści wynikające z wdrożenia prezentowanego w artykule rozwiązania.

Słowa kluczowe: monitoring, czujnik – „inteligentny zegarek”, Protokół Zigbee

Wstęp

Prowadzenie monitoringu zarówno załogi jak i urządzeń w kopalniach podziemnych jest nieodłącznym elementem umożliwiającym funkcjonowanie zakładu górniczego. Ma to za zadanie nie tylko zwiększenie wydajności zakładu i optymalizację jego pracy, ale umożliwia planowanie działań związanych z procesami technologicznymi oraz dostarcza informacji na temat przebiegu tych procesów.

Bardzo istotnym zadaniem systemów detekcji jest również poprawa bezpieczeństwa załogi pracującej pod ziemią. Przy ciągłym zwiększaniu wydajności kopalń podczas gdy zakłady górnicze działające w warunkach gospodarki rynkowej dążą do minimalizacji strat i zwiększenia zysków, a co za tym idzie zwiększenia wydobywania zapewnienie bezpieczeństwa staje się coraz bardziej problematyczne. Istnieje wiele systemów detekcji załogi i urządzeń w kopalniach podziemnych, które umożliwiają realizację wyżej wspomnianych założeń.

W artykule przedstawiono porównanie wybranych, obecnie stosowanych systemów detekcji załogi i urządzeń oraz zaproponowano wdrożenie innowacyjnego i nowoczesnego rozwiązania tzw. inteligentnego zegarka.

Przegląd wybranych systemów monitoringu, lokalizacji ludzi i urządzeń w kopalniach podziemnych

Jednym ze sposobów poprawy bezpieczeństwa w kopalniach podziemnych jest opracowanie zinte-

growanego systemu teleinformatycznego monitoringu ludzi i urządzeń. System ten powinien cechować się przede wszystkim niezawodnością działania oraz odpornością na trudne warunki panujące w kopalni. Ciągłość przekazu informacji do służb bezpieczeństwa czy centrów dyspozytorskich powinna być zapewniona także w sytuacjach gdy część sieci systemu zostanie uszkodzona w wyniku wypadku lub awarii. Oznacza to, iż projektując system należy wyposażyć go w takie narzędzia łączności, aby dało się uzyskiwać informacje z dowolnego punktu sieci pod ziemią, gdy zachodzi taka potrzeba z pozycji dyspozytorskiej [1].

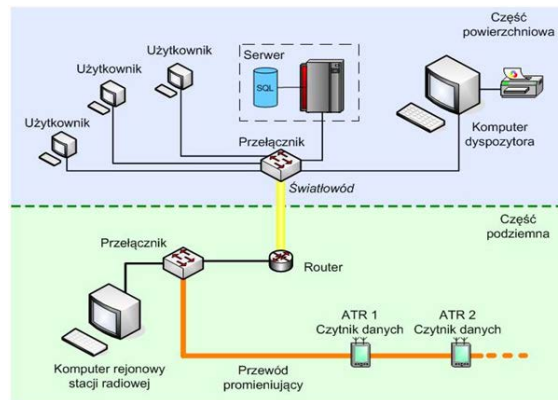
Aktualny stan automatyzacji systemów monitoringu, lokalizacji ludzi i urządzeń

Głównym i najważniejszym elementem systemu łączności każdej kopalni jest dyspozytornia, czyli miejsce wyposażone w urządzenia sygnalizujące przebieg pracy na różnych stanowiskach w zakładzie oraz urządzenia umożliwiające porozumiewanie się

z załogą. Z dyspozytorni odbywa się sterowanie procesami technologicznymi i ich stały nadzór dzięki środkom łączności, monitoringu i urządzeniom sterowniczym. W kopalniach podziemnych stosuje się różne, w zależności od potrzeb i specyfiki zakładu, systemy dyspozytorskie. Wizualizacja przetwarzanych danych odbywa się za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Wyróżnia się między innymi [4,12]:

- ZEFIR,

Submission date: 22-09-2018 | Review date: 25-10-2018



Rys. 1. Konfiguracja sprzętowa systemu Ametyst [10]
 Fig. 1. Hardware configuration of the Ametyst system [10]

- SD2000,
- SOLARIS,
- MONSTEER-D,
- SP3,
- EH-MainView,
- EMAC.

Układy te oparte na urządzeniach pomiarowych stosowanych w danym zakładzie górniczym, odpowiedzialne są za gromadzenie danych o przebiegu występujących w kopalniach procesów technologicznych. Dostarczają informacji między innymi o zagrożeniach panujących w danym rejonie, obecności załogi w strefach zagrożonych, a także o stanie przewietrzania danych wyrobisk i składzie atmosfery kopalnianej. Ponadto systemy wspomagają prowadzenie ewidencji awarii maszyn. Wymianę danych między stacją operatorską a urządzeniami pomiarowymi umożliwia konwerter protokołu [8].

Obecnie do celów ewidencji i lokalizacji załogi stosuje się lampy, tracące na popularności tzw. marki oraz RCP (system rejestracji czasu pracy). Monitoring załogi odbywa się także poprzez łączność telefoniczną (dyspozytornia – wyrobiska podziemne). Lampy montowane na hełmach górniczych wyposażone są w nadajniki lokacyjne lub opcjonalnie nadajniki radiowe, które przeznaczone są m. in. do śledzenia ewidencji czasu pracy załogi za pomocą systemu WELM. Rejestracja czasu pracy (RCP) polega na wykorzystaniu specjalnych rejestratorów na karty zbliżeniowe lub indukcyjne, które są przypisywane z osobna do każdego zatrudnionego. Odbywa się to poprzez zbliżenie karty do skanera zarówno przed zjazdem pod ziemię jak i po wyjeździe, co umożliwia zdefiniowanie ilości osób pracujących pod ziemią. Jednym z przykładów takiego systemu jest Górniczy System RCP 5000G.

Głównym elementem zintegrowanego systemu dółowej łączności telefonicznej są telefony (np.: telefon iskrobezpieczny typu TIG-S produkowany przez firmę TELVIS Przedsiębiorstwo Usługowo-Produkcyjne Sp.

z o.o.) połączone z systemem dyspozytorskim alarmowo-rozgłoszeniowym typu SAT-A [5].

Opis aktualnie stosowanych systemów detekcji ludzi oraz urządzeń stosowanych w kopalniach podziemnych

System AMETYST produkowany przez firmę AMEplus Sp. z o.o System Ametyst jest informatycznym narzędziem identyfikacji i pozycjonowania osób oraz urządzeń technicznych stosowanym w zakładach górniczych. Jest zbudowany w oparciu o technologię RFID (ang. Radio Frequency Identification), czyli technologię umożliwiającą pełną automatyzację pracy związanej z odczytywaniem danych. Ametyst jest teletransmisyjnym systemem radiowym wykorzystującym kabel promieniujący rozlokowany w wyrobiskach zakładu górniczego. Kabel ten jest anteną, która zapewnia komunikację radiową z urządzeniami znajdującymi się w jej zasięgu. System składa się z dwóch komponentów: znaczników oraz czytników. Czytniki znaczników ATR (ang. Active Tag Reader) odczytują i następnie rejestrują ich adresy. Znaczniki te stanowią układy elektroniczne, a dzięki niewielkim gabarytom uzyskano możliwość umieszczania ich w lampach górników bądź przymocowane są do maszyn, a w razie konieczności do innych urządzeń technicznych. Przesył danych następuje według schematu: znacznik > czytnik > dyspozytornia [10]. Schemat działania systemu Ametyst przedstawiono na rys. 1.

W ujęciu informatycznym system zbudowany jest z 4 modułów [9]:

- aplikacja serwerowa – odpowiada za przesł danych w radiowej sieci teletransmisyjnej z urządzeń systemu łączności, gromadzi informacje w radiowej sieci teletransmisyjnej,
- aplikacja internetowa – zapewnia wizualizację, relacjonowanie danych, a także umożliwia ich selekcję oraz udostępnianie wybranych danych na ekranach monitorów, pozwala także na drukowanie niezbędnych zestawień danych,

Tab. 1. Zestawienie wady i zalet systemów opartych na technologii RFID na przykładzie Argusa i Ametysta [Opracowanie własne na podstawie 10,15,17].
 Tab. 1. List of advantages and disadvantages of systems based on RFID technology on the example of Argus and Amethyst [Own work based on 10,15,17].

	WADY	ZALETY
<p>SYSTEMY ZBUDOWANE W OPARCIU O TECHNOLOGIĘ RFID (AMETYST I ARGUS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ względna dokładność lokalizacji obiektów, brak informacji o lokalizacji znaczników po wyjściu z zasięgu czytników (bramki konfigurowane są tylko w wyznaczonych strefach zakładu górniczego), ➤ w przypadku uszkodzenia czas pracy sieci na zasilaniu bateryjnym wynosi do kilku godzin ➤ mniejsza dokładność przekazywania informacji o zagrożeniach panujących w danym rejonie kopalni ➤ system nie jest wielofunkcyjny (przykładowo nie przewiduje wykonywania pomiarów za pomocą dodatkowych czujników w czytnikach), ➤ konieczność wykorzystania kabli w sieci wyrobisk podziemnych, ➤ ograniczony zasięg odbioru czytników. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ jest narzędziem pomagającym kontrolować zjazdy i wyjazdy załogi ➤ wskazuje rejon przebywania załogi i kierunek jej migracji, pomaga oznaczyć liczbę osób zarówno wchodzących do strefy oraz ją opuszczających, ➤ szybka lokalizacja urządzeń, wysoka częstotliwość odświeżania danych, ➤ usprawnia proces lokalizacji miejsc kolizji i pomaga im zapobiegać, ➤ umożliwia i usprawnia synchronizację pracy maszyn i osób, ➤ system może być stosowany w trudnych warunkach (z uwzględnieniem zagrożeń w zakładzie górniczym), ➤ duża funkcjonalność systemu informatycznego oraz łatwość interpretacji i prezentowania danych ➤ wspomaga logistykę materiałów ➤ system może być stosowany w trudnych warunkach (z uwzględnieniem zagrożeń w zakładzie górniczym), system iskrobezpieczny ➤ jest pomocniczym narzędziem stosowanym w przypadku konieczności przeprowadzenia akcji ratowniczej

- aplikacja organizacji bazy danych – organizuje i gromadzi dane bieżące
- i historyczne o osobach, urządzeniach technicznych, a także dane związane z ich synchronizacją w czasie, ponadto dane dotyczące eksploatacji i administracji systemu,
- moduł identyfikacji i pozycjonowania – definiuje liczbę osób i urządzeń w zadanych strefach.

Prezentacja stanu zakładu górniczego oraz danych systemowych odbywa się w przeglądarkach internetowych. System Ametyst stosowany jest m. in. w Zakładach Górniczych KGHM.

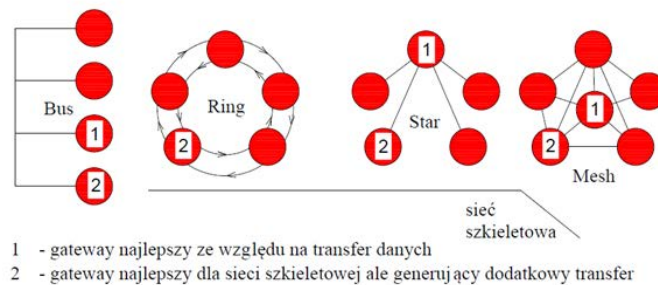
System ARGUS produkowany przez firmę Tranz-Tel Sp. z o.o.

Argus to kompleksowy system lokalizacji i identyfikacji zarówno załogi jak i materiałów. Jego zasada działania jest w przybliżeniu analogiczna do systemu Ametyst, jednak rozszerzona o kilka elementów. System ten także działa w oparciu o technologię RFID. Każdy pracownik dołowy w lampie posiada wbudowany iskrobezpieczny identyfikator radiowy TTAG (identyfikacja radiowa) z unikalnym numerem. Jego praca nie wpływa na jakość działania lampy, ponieważ charakteryzuje się on niskim poborem prądu. Lampy

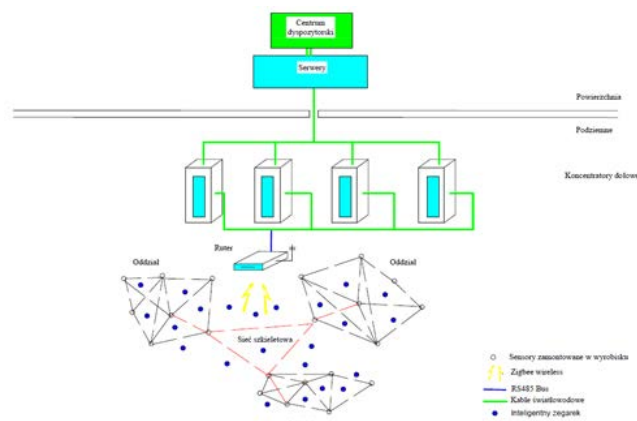
pracujące w systemie przypisane są poszczególnym pracownikom [16].

W wyszczególnionych miejscach zakładu górniczego (chodnik, skrzyżowanie, strefa zagrożona, rejon ściany, nadszybia, podszybia) zostały zabudowane czytniki radiowe TGATE (czytniki radiowe). W przypadku gdy identyfikator TTAG znajdzie się w zasięgu odbioru czytnika radiowego, w systemie zostaje zarejestrowana obecność identyfikatora w danym sektorze. Zasięg odbioru czytnika wynosi 5,5 m. Konfiguracja kilku czytników TGATE w danym obszarze (chodnik, skrzyżowanie, strefa) tworzy tzw. „bramkę”, która analizuje ruch identyfikatorów, odczytuje je oraz pomaga wyznaczyć kierunek przemieszczania się danego identyfikatora. System przewiduje również stosowanie elektronicznych transparentów zamieszczonych w strategicznych punktach sieci podziemnych wyrobisk górniczych. Ma on na celu wyświetlanie informacji ostrzegawczych, najczęściej dotyczących zakazów wejścia do danych rejonów bądź liczbie pracowników znajdujących się w danym rejonie. Ponadto transparenty mogą generować ostrzeżenia i alarmy. Struktura systemu tworzona jest w oparciu o 5 współpracujących komponentów [15]:

- serwer RFID wraz z oprogramowaniem systemowym oraz bazą danych, którego zadaniem



Rys. 2. Przykładowe topologie sieci sensorowej. [Opracowanie własne na podstawie 1]
Fig. 2. Exemplary topologies of the sensor network. [Own work based on 1]



Rys. 3. Schemat sieci typu mesh z siecią szkieletową i klastrami działająca w oparciu o protokół Zigbee [Opracowanie własne na podstawie 1,6]
Fig. 3. Diagram of a mesh network with backbone network and clusters operating on the basis of the Zigbee protocol [Own elaboration based on 1.6]

jest gromadzenie danych z elementów systemu, ich analiza i obróbka,

- stanowisko dyspozytorskie – miejsce do którego dostarczane są informacje o ilości osób w poszczególnych rejonach, ich migracje bądź wejścia w strefy, w dyspozytorni odbywa się wizualizacja i przetwarzanie danych o ruchu załogi,
- dołowe i powierzchniowe koncentratory/multiplexery danych HYDRA – ich celem jest zapewnianie redundancji torów transmisyjnych w obrębie pętli linii danych grup czujników TTAG-ów oraz redundancji magistralnych torów transmisyjnych dół – powierzchnia,
- odpowiednio skonfigurowane bramki w sieci wyrobisk podziemnych – odpowiednie rozlokowanie czujników TTAG-ów, bramki konfigurowane są w sposób nadmiarowy,
- identyfikatory radiowe TTAG.

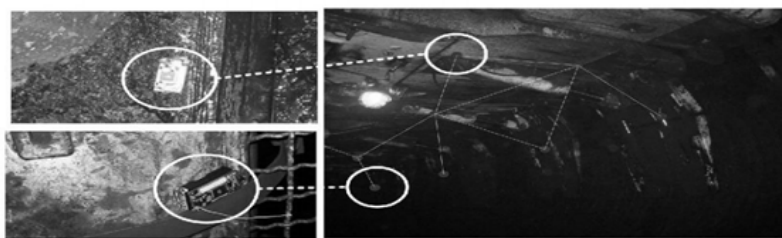
Infrastruktura telekomunikacyjna tego systemu wykorzystuje kable promieniujące, kable miedziane oraz światłowody. Jednak wszystkie urządzenia systemu współpracują z zasilaczami z podtrzymaniem bateryjnym. Czas pracy urządzeń w stanie braku zasilania, zależy od liczby czujników zasilanych z jednego zasilacza, długości linii zasilających, odległości pomię-

dzy czujnikami i ilości zastosowanych koncentratorów. W przypadku uszkodzenia czujnika lub utraty transmisji system wyświetla komunikat o wystąpieniu awarii. Elementy węzłów automatycznie przełączają się w przypadku uszkodzenia linii magistralnej i pracują 8 godzin na podtrzymaniu bateryjnym. System AGRUS stosowany jest m.in. przez JSW S.A. KWK „Pniówek”. Porównanie wad i zalet systemów Argus i Ametyst przedstawiono w tab. 1.

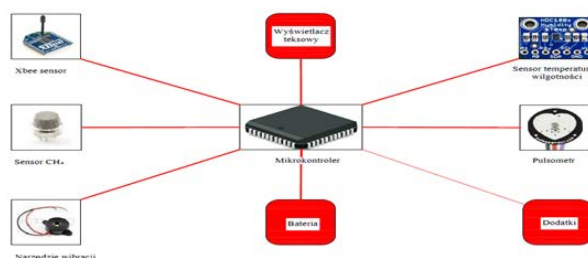
Protokół transmisji danych Zigbee

Protokół Zigbee jest protokołem standardu IEEE 802.15.4. należącym do rodziny standardów IEEE 802.15 opisujących tworzenie personalnych sieci bezprzewodowych do których m. in. należy protokół Bluetooth [3,13,14,18]. Standard Zigbee został rozszerzony o wyższe warstwy modelu ISO-OSI, umożliwiające tworzenie struktury sieci o rozbudowanej topologii, dynamiczne rutowanie pakietów danych w przypadku, gdy sieć jest rozbudowana oraz umożliwia autoryzację węzłów i szyfrowanie danych. Protokół Zigbee posiada następujące cechy [2]:

- 1) Wysyłanie danych. Przepustowość wysyłanych danych wynosząca w granicach od 20 kb/s do 250 kb/s.
- 2) Energooszczędność. Niski pobór energii jest możliwy dzięki stosowaniu DSSS (ang. Direct Sequen-



Rys. 4. Węzły (sensory) zamontowane w obudowie zmechanizowanej
Fig. 4. Nodes (sensors) mounted in a mechanized housing



Rys. 5. Schemat blokowy inteligentnego zegarka [Opracowanie własne]
Fig. 5. Block diagram of the intelligent watch [Own work]

ce Spread Spectrum) i pomija technologię FHSS (ang. Frequency Hopping Spread Spectrum). Podczas gdy urządzenie nie jest używane przechodzi automatycznie w stan hibernacji, w którym sensor pobiera bardzo mało energii przy możliwości szybkiego przejścia z powrotem w stan gotowości. Dzięki temu zostaje znacznie wydłużony czas pracy na zasilaniu baterijnym co wydłuża czas eksploatacji ogniwa. Czas pracy z wykorzystaniem jednej baterii może wynieść od 6 miesięcy do nawet 2 lat.

3) Niski koszt eksploatacji. Firmy, które korzystają z tego systemu nie muszą ponosić kosztów licencji protokołu Zigbee, ponieważ jest ona darmowa także do użytku komercyjnego oraz w kopalniach.

4) Niewielkie opóźnienie sieci. Opóźnienia związane z wysłaniem i odbieraniem danych, które mogą występować w sieci wahają się w granicach od 15 do 30 milisekund.

5) Bezpieczeństwo danych. Struktura typu węzłowego (ang. mesh) którą najczęściej wykorzystuje Zigbee jest odporna na trudne warunki kopalniane na przykład w razie awarii któregoś z węzłów, inne sąsiadujące z nim są w stanie przejąć jego rolę.

6) Duży zasięg transmisji. Zasięg zależny jest od rodzajów sensorów oraz ich lokalizacji. Średni dystans między węzłami wynosi około 100 m.

7) Elastyczność pracy. Możliwość dostosowania protokołu do określonych zadań z uwzględnieniem zmian zależnych od potrzeb w zakładach górniczych.

W zależności od sposobu łączności sensorów wyróżnia się [1]:

- konfigurację magistralną (ang. Bus) pozwalającą tylko na uzyskanie jednego kanału łączności. W zależności od zasięgu każdego węzła (sensora) w stosunku do kolejnych sąsiednich węzłów sieci, kanał ten może być odporny w mniejszym lub większym stopniu na uszkodzenie części węzłów,
- konfigurację pierścieniową (ang. Ring), która pozwala na zachowanie kanału łączności nawet po całkowitym jego przerwaniu w jednym miejscu,
- konfigurację typu gwiazdy (ang. Star), która w przypadku nadmiernego rozłożenia „n” węzłów końcowych, pozwala na zachowanie funkcjonalności nawet gdy któryś z sensorów uległ awarii, przy spełnieniu warunku, że co najmniej „k” sensorów zgłasza alarm przy założeniu, że „k” jest mniejsze od „n”.

System detekcji ludzi i sprzętu powinien posiadać odpowiednią topologię sieci. Najpowszechniej stosowane typy topologii sieci sensorowych przedstawiono na rys. 2.

Najlepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie topologii typu Mesh. Sieć w takim przypadku może zarówno przyjmować strukturę narzuconą lub działającą autonomicznie dokonywać rekonfiguracji. Taki typ topologii wykazuje przez to dużą odporność na trudne warunki pracy. Każdy węzeł może brać udział w transmisji danych, zbieraniu informacji z otoczenia oraz przekazywaniu informacji na zewnątrz. Zastosowanie sieci typu Mesh umożliwia nieprzerwaną komunikację

nawet w przypadku gdy jeden lub więcej węzłów zostanie uszkodzony. Przykładowy schemat sieci szkieletowej typu Mesh, która może być zastosowana w kopalniach węgla kamiennego, rud i soli przedstawiono na rys. 3.

W każdym wyrobisku górniczym zamontowane są sensory posiadające mikrokontroler oraz moduł Xbee, które odbierają i wysyłają dane informujące o aktualnych warunkach panujących w kopalni (wilgotność, temperatura, stężenie metanu) oraz stanie zdrowia pracownika w danym rejonie czy poziomie. Są one zazwyczaj rozmieszczone w postaci bramek na skrzyżowaniach wyrobisk górniczych oraz w chodnikach przyścianowych jak również w miejscach gdzie występują zagrożenia naturalne (rys. 4). Każdy z sensorów odbiera informacje od otoczenia lub urządzeń, które znajdują się w jego zasięgu i przesyła informacje do drugiego najbliższego węzła, którego lokalizacja wynika z zastosowania odpowiednich algorytmów. Odległość między sensorami może sięgać do 100 m. Taki typ topologii znalazł zastosowanie podczas prowadzenia eksploatacji m.in. systemem ścianowym. Wraz z postępem ściany przesunięcie sensorów w inne miejsce ze względu na brak kabli zajmuje stosunkowo niewiele czasu.

Budowa oraz schemat działania „inteligentnego zegarka” z protokołem Zigbee.

W kopalniach podziemnych powszechnie stosuje się metanometrię automatyczną oraz wykonuje pomiary zawartości i składu gazów szkodliwych, ilości tlenu oraz temperatury. Przepisy wymagają wykonywania pomiarów w sposób ciągły, a uzyskiwane wartości notowane są w dziennikach pracy oraz w tabelach, które znajdują się w określonych miejscach w wyrobiskach. W ten sposób rejestruje się i udostępnia informacje o warunkach atmosfery kopalnianej panujących w danym rejonie lub aktualnie eksploatowanej ścianie.

Prowadzenie takiego rodzaju statystyk jest problematyczne gdyż pomiary wykonywane są manualnie przez pracowników i muszą być systematycznie notowane i weryfikowane. Proces może być zautomatyzowany poprzez użycie inteligentnej elektroniki, która jest bezbłędna a informacje przekazywane są w czasie rzeczywistym.

Przykładem takiego innowacyjnego rozwiązania, wyręczającego ludzi w ręcznym wprowadzaniu danych jest koncepcja „inteligentnego zegarka” noszonego przez każdego pracownika kopalni. W kopalniach podziemnych zaniki sygnału mogą wystąpić w długich wyrobiskach korytarzowych o długościach od 2,5 km do 5 km. Jest to bardzo niepożądane zjawisko gdyż pojawiają się zakłócenia transmisji sygnału lub niekiedy następuje całkowita utrata informacji o położeniu górnika. Dokładna lokalizacja ludzi jest potrzebna do prawidłowej organizacji i prowadzenia bieżącej eks-

ploatacji na terenie zakładu górniczego. W przypadku wystąpienia potencjalnego zagrożenia lub wypadku ułatwia natomiast sprawne przeprowadzenia ewakuacji lub akcji ratunkowej.

Moduł Xbee (XB Zb mesh) zamontowany w węzłach i zegarku pozwala pokazać niezależnie od miejsca położenia osoby lub sprzętu jego dokładną lokalizację. Zegarek oprócz przekazywania danych o lokalizacji pracownika można dostosować do rejestracji innych parametrów. Zamontowane dodatkowe komponenty przekazywałyby podstawowe informacje o stanie zdrowia górnika np. puls górnika oraz przesyłałyby do centrali informacje o jego obecnej lokalizacji w kopalni poprzez komunikację z sensorami rozmieszczonymi w bramkach przy każdym rozgałęzieniu korytarza. Jest to bardzo ważne dla załogi, która pracuje w bardzo trudnych warunkach, gdyż każda nagła zmiana pulsu może świadczyć o występujących zagrożeniach zdrowia lub życiu górnika. Jeśli zawartość tlenu obniży się poniżej poziomu 16–18% to ludzie zaczynają odczuwać niekorzystne objawy takie jak: ból głowy, utrudnione oddychanie, mdłości itp., które mogą uniemożliwić ewakuację z zagrożonego miejsca [7]. Czujnik pomiaru pulsu pracuje cały czas i wysyła informacje do centrum dyspozytorskiego o stanie zdrowia, monitoruje też gdy pracownik nie wykonuje danej pracy [11]. Drugim narzędziem jest sensor temperatury (HDC-1008-12C). Czujnik ma zdolność pomiaru temperatury w trakcie ruchu pracownika w zasięgu sensorów. Również wilgotność jest jednym z parametrów wpływającym na komfort pracy i jego wartość jest mierzona sensorem (HDC1008-12C). Zegarek zawiera także czujnik metanu (MQ2), który jest bardzo istotny w niektórych kopalniach, na przykład węgla kamiennego. Każdy górnik poruszając się po chodnikach jest w stanie zmierzyć zawartość metanu w danym miejscu. Jest to lepsze rozwiązanie niż użycie czujników stacjonarnych rozmieszczanych w określonych, często oddalonych od siebie miejscach, ponieważ daje ono większą precyzję pomiarów. Zamiast informowania górników za pomocą wyświetlaczy tekstowych, które są umieszczone na skrzyżowaniach korytarzy oraz w miejscach o zwiększonym zagrożeniu wystąpienia gazów, każdy zegarek miałby wbudowany brzęczyk (ang. Buzzer FY248) informujący wibracją o ewentualnym zagrożeniu w danym rejonie. Zegarek posiada sensor, który nadaje sygnał w trakcie przekraczania dopuszczalnej zawartości metanu. Jest to sygnał informujący o konieczności wycofania załogi. Schemat blokowy „inteligentnego zegarka” przedstawiono na rys. 5.

Projekt wizualizacji zegarka przedstawiono na rys. 6 a i b.

Przesył danych od zegarka do dyspozytorni odbywa się w następujący sposób zobrazowany na rys. 3. Wszystkie moduły zegarka połączone są z mikrokon-



Rys. 6a. Wizualizacja budowy „inteligentnego zegarka” [opracowanie własne]
 Fig. 6a. Visualization of the sensor “intelligent watch” [own work]



Rys. 6b. Wizualizacja poszczególnych części „inteligentnego zegarka” [opracowanie własne]
 Fig. 6b. Visualization of individual parts of the sensor “intelligent watch” [own work]

trolerem, umieszczonym w zegarku. Informacje pozyskane za pomocą czujników dostarczane są do mikrokontrolera, który je przetwarza i za pomocą modułu Xbee wysyła do węzłów (sensorów) zainstalowanych w stropie wyrobiska. Jak wcześniej wspomniano transmisja danych odbywa się za pomocą protokołu Zigbee wireless. Oczywiście każdy zegarek posiada baterię, która umożliwia nieprzerwaną pracę urządzenia podczas jednej zmiany załogi. Analogicznie jak lampa pracuje przez co najmniej jedną zmianę i musi zostać naładowana po jej zakończeniu. Niektóre z tych czujników można zamontować do urządzeń będących w ruchu ale posiadających mikrokontroler. Wszystkie informacje o stanie zdrowia i pracy w kopalni wysłane są do węzłów. Węzły komunikują się między sobą i dostarczają dane do koncentratorów dołowych, które według przepisów muszą być umieszczone w podziemnych zakładach górniczych. Od koncentratorów dołowych do powierzchni dane są wysyłane za pomocą kabli światłowodowych. Na powierzchni znajduje się centrum dyspozytorskie, które przetwarza te informacje, wizualizuje i w razie awarii rozpoczyna akcje ratowniczą.

Korzyści i zalety wynikające z wdrożenia tzw. inteligentnego zegarka

Implementacja innowacyjnej technologii „inteligentnego zegarka” do obecnie stosowanych systemów monitoringu ludzi i urządzeń w kopalniach podziemnych może przynieść wiele korzyści zakładom górniczym i ich użytkownikom przyczyniając się do poprawy szeroko rozumianego bezpieczeństwa prowadzenia robót górniczych. Do zalet inteligentnego zegarka można zaliczyć:

- poprawa dokładności lokalizacji i monitoringu ludzi i urządzeń w czasie rzeczywistym niezależnie od głębokości i warunków pracy,
- dostarczenie niezbędnych informacji o stanie zdrowia górników (pulsometr) w celu kontroli ergonomii pracy oraz potencjalnie ekipom ratunkowym w przypadku konieczności przeprowadzenia akcji ratowniczej
- możliwość łączenia węzłów bezprzewodowych typu Mesh, rekonfiguracja sieci, która podtrzymuje jej działanie w sytuacji uszkodzenia niektórych elementów – autoodnawianie sieci,
- zapobieganie zagrożeniom pracy górników w warunkach niedozwolonych poprzez ciągły monitoring temperatury, składu atmosfery kopalnianej oraz wilgotności,
- informowanie i wysyłanie alarmów wibracyjnych bądź dźwiękowych (ang. buzzer) gdy roboty górnicze wykonywane są w strefach zagrożonych,
- szybszy w stosunku do obecnie istniejących rozwiązań transfer danych,
- zmniejsza prawdopodobieństwo popełnienia błędów pomiarowych wynikających
- z niedokładności pracy ludzi,
- sensory zamontowane w węzłach mogą być przydatne przy wykonywaniu prac związanych z wentylacją i siecią energetyczną,
- możliwość zastosowania systemu dla usprawnienia przekazywania informacji i prowadzenia statystyk bieżącego wydobywania oraz postępu prac kopalnianych a także prowadzenia statystyk długoterminowych.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona charakterystyka protokołu Zigbee pozwoliła na prowadzenie rozważań na temat jego zastosowania w kopalniach, gdzie najdogodniejszą możliwością użycia systemu jest sieć Mesh, która umożliwia przepływ danych pomimo możliwego uszkodzenia sieci transmisyjnej, co odróżnia ją od innych. Jedną z najważniejszych zalet protokołu Zigbee jest możliwość wprowadzania dodatkowych elementów, które pozwalają na rozszerzanie możliwości sieci i jej rozwój w żądanym kierunku. Jednym z takich elementów jest przedstawiony w artykule model „inteligentnego zegarka”, który łącząc się bezprzewodowo z siecią Mesh staje się narzędziem monitoringu ludzi przebywających w kopalniach. Zegarek oprócz swojego głównego przeznaczenia, a więc określania lokalizacji załogi, dzięki czujnikom w nim zainstalowanym pozwala na pomiary temperatury i wilgotności atmosfery kopalnianej, pomiar stężenia metanu oraz określenie pulsu pracownika posiadającego zegarek. Wszystkie te funkcje dzięki zintegrowanemu działaniu pozwalają na uzyskanie pożądanego przez każdy zakład górniczy wzrostu bezpieczeństwa załogi. Obecnie obserwując osiągnięcia coraz to większych głębokości eksploatacji, dąży się do zapewniania odpowiedniego bezpieczeństwa każdego z pracowników przebywających pod powierzchnią; przedstawione w niniejszej publikacji rozwiązanie

może w znacznym stopniu zapewnić wzrost bezpieczeństwa.

Zaprezentowany model „inteligentnego zegarka” jest projektem, który może przyczynić się do poprawy szeroko rozumianego poziomu bezpieczeństwa kopalni, ponadto architektura zegarka daje możliwość jego ulepszeń i rozbudowy. W przyszłości urządzenie można wyposażyć w dodatkowe narzędzia jak: czujniki pomiaru innych szkodliwych gazów w atmosferze kopalnianej, prędkości przepływającego powietrza czy także pomiaru natężenia poziomu hałasu. Wprowadzenie obecnie tych komponentów mogłoby spowodować znaczny wzrost gabarytów zegarka a tym samym pogorszenie jego użyteczności. Jednakże ciągły rozwój techniki i postępujący proces miniaturyzacji spowoduje, że w niedalekiej przyszłości instalacja wymienionych narzędzi może być wykonalna bez istotnych zmian wielkości urządzenia.

Informatyzacja i rozwój systemów technologii przepływu informacji w górnictwie zarówno krajowym jak i zagranicznym jest zagadnieniem bardzo istotnym gdyż pogarszające się warunki prowadzenia robót podziemnych na skutek wzrostu głębokości eksploatacji wymuszają poszukiwania nowych technologii i rozwiązań technicznych zapewniających bezpieczeństwo pracowników. Dlatego dalsze badania w tym zakresie są bardzo pożądane.

Literatura – References

Pozycje książkowe, opracowania i artykuły naukowe:

1. Praca zbiorowa pod redakcją Kałuski M.: Zintegrowany system ICT (teleinformatyczny) w podziemnych wyrobiskach kopalni. Instytut Łączności. Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Kompatybilności Elektromagnetycznej(Raport Z21/21300011/1476a/11) Wrocław 2011
2. Li Y., Zhang K.: Research on Application of Zigbee Technology in Flammable and Explosive Environment. *Wireless Sensor Network*, 2010, 2
3. Tomkiewicz D.: Zastosowanie protokołu Zigbee do transmisji sygnałów w rozproszonym systemie pomiarowym. *Inżynieria Rolnicza* (9) (118)/2009
4. Trenczek S., Wojtas P.: Systemowe monitorowanie bezpieczeństwa w podziemiach kopalń. *Pomiary Automatyka Robotyka* 2/2010
5. Wojaczek A. Wojtas P.: Systemowe podejście do telekomunikacji zakładu górniczego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*. Numer: 06(460) 2009
6. Xu H., Li F.: A ZigBee-based miner Localization System. *Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*.
7. Szlązak J., Szlązak J.: *Ratownictwo górnicze*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2014
8. Żymelka K.: *Monitorowanie procesów technologicznych i stanu bezpieczeństwa w dyspozytorniach polskich kopalń węgla kamiennego*. Wydawnictwo Instytutu Systemów Sterowania, Chorzów 2000

Pozycje internetowe:

9. http://www.ameplus.pl/_pdf/ame_rfid.pdf Systemy identyfikacji zasobów w oparciu o technologię RFID – strona internetowa firmy AMEplus Sp. z o.o. (Dostęp: 21.03.2016)
10. www.ameplus.pl/_pdf/ametyst.ppt System identyfikacji i pozycjonowania osób oraz urządzeń technicznych dla Zakładów Górniczych – prezentacja firmy
11. AMEplus Sp. z o.o. (Dostęp: 12.03.2016)
12. www.botland.com - informacja ze sklepu internetowego dotycząca produktów (sensorów) i ich parametrów technicznych
13. <http://www.energotest.com.pl/oferta/systemy/dotychczasowe-systemy/system-dyspozytorski-dla-obiektow-przemyslowych-emas/> - Strona internetowa firmy Energotest sp. z o.o. (Dostęp: 12.03.2016)
14. <http://www.ieee802.org/15/about.html> - Working Group for Wireless Personal Area Networks (Dostęp: 12.03.2016)
15. <http://www3.nd.edu/~mhaenggi/ee67011/zigbee.pdf> - ZigBee Specification book (Dostęp: 12.03.2016)
16. <https://se-pdf.s3.amazonaws.com/pdf/615/2.pdf> System identyfikacji personelu Argus; Aspekty poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalniach głębinowych- strona internetowa firmy Tranz-Tel sp. z o.o. (Dostęp: 12.03.2016)
17. http://tranztel.com.pl/files/component_files/argus-prezentacja.pdf - ARGUS identyfikacja personelu i urządzeń - strona internetowa firmy Tranz-Tel sp. z o.o. (Dostęp: 21.03.2016)
18. http://www.tt.digipoint.pl/pl/gornictwo_237.html - strona internetowa firmy Tranz-Tel sp. z o.o. (Dostęp: 12.03.2016)
19. <http://www.zigbee.org> – strona internetowa informująca o technologii Zigbee

A Concept for the Optimization of Currently Implemented (Functioning) Monitoring and Localization Systems for Equipment and Staff in Underground Mines Utilizing the „Intelligent Watch” Innovative Solution

Characteristics of localization systems, monitoring and control implemented at present in underground mines were presented. The Zigbee protocol along with the different topologies for connecting wireless sensor networks were described. A concept of optimizing the currently implemented detection systems for personnel and equipment through the introduction of the „intelligent watch” innovative solution in order to improve security were mentioned. The construct and schematic model of our innovative device were described. Moreover the potential benefits resulting from the utilization of the solution were presented in this article.

Keywords: monitoring, sensor – “smart watch”, Zigbee protocol