

mgr inż. PRZEMYSŁAW WISZNIOWSKI  
mgr inż. DARIUSZ BABECKI  
mgr inż. TOMASZ SZPAK  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

## System WLSS – możliwości, praktyka, perspektywy

*W artykule zaprezentowano możliwości opracowanego w Instytucie Technik Innowacyjnych EMAG systemu bezprzewodowego wspierania logistyki dla transportu podziemnego WLSS. Przedstawione zostały: budowa oraz podstawowe funkcje realizowane przez opracowane rozwiązanie, jak również praktyczne wdrożenie systemu. Opisano także rolę systemu na stanowisku dysponenta oraz nakreślono perspektywy jego rozwoju.*

### 1. WPROWADZENIE

---

Transport jest bardzo istotnym elementem funkcjonowania każdego podziemnego zakładu górniczego. We współczesnych kopalniach węgla kamiennego mamy do czynienia z prowadzeniem eksploatacji w coraz trudniejszych warunkach geologicznych, co często związane jest ze znacznym wydłużeniem dróg transportowych oraz z dużą dynamiką ich przebudowy. Drugim, bardzo ważnym aspektem, jest poprawa bezpieczeństwa na drogach transportowych, szczególnie, iż w ostatnim okresie w polskim górnictwie najczęściej dochodzi do wypadków podczas prac związanych z transportem.

Zapewnienie bezpiecznego i efektywnego transportu w takich warunkach stanowi spore wyzwanie i wymaga stosowania nowoczesnych rozwiązań z zakresu zarówno samych środków transportu, jak i systemów stowarzyszonych.

### 2. WSPARCIE LOGISTYKI W TRANSPOR- CIE PODZIEMNYM Z WYKORZYSTANIEM TECHNICZNYCH ŚRODKÓW ŁĄCZNOŚCI

---

Dla sprawnego funkcjonowania transportu podziemnego ważne jest, by dysponent ruchu, zarządzający podziemnymi systemami transportowymi, był wyposażony w środki techniczne, które zapewniłyby

mu dostarczanie aktualnych danych dotyczących bieżącej sytuacji ruchowej. Szczególnie istotną rolę odgrywają tu informacje dotyczące lokalizacji poszczególnych pojazdów, jak i informacje diagnostyczne dotyczące ich stanu technicznego. Sprawne dostarczenie takich informacji rzutuje zarówno na efektywne sterowanie procesami transportowymi, jak i na ich bezpieczeństwo. Aby zapewnić możliwość optymalnego wykorzystania zasobów i ułatwić proces decyzyjny, wspomniane informacje powinny być dostarczane na bieżąco i prezentowane dysponentowi w czytelny sposób.

W przypadku systemów pracujących na powierzchni w terenie otwartym, zrealizowanie powyższej funkcjonalności jest zadaniem stosunkowo łatwym. W tym wypadku można posłużyć się zarówno systemem globalnego pozycjonowania (GPS), jak również szeregiem wydajnych środków łączności, takich jak telefonia komórkowa czy łączność trunkingowa. Trzeba jednak pamiętać, że w warunkach podziemnego zakładu górniczego, ze względu na wysoką tłumienność górotworu i konieczność działania w ograniczonych przestrzeniach, żaden z wymienionych systemów nie będzie w stanie funkcjonować poprawnie, za wyjątkiem przypadków, w których zapewniono dedykowaną, przeważnie bardzo kosztowną, infrastrukturę (GSM, trunking).

Stosowane obecnie w kopalniach techniczne środki łączności dla systemów transportowych wykorzystują technologie, które w różny sposób radzą sobie z problemem zapewnienia łączności w ograniczonej prze-

strzeni, jaką stanowią podziemne wyrobiska. Wśród powszechnie stosowanych rozwiązań należy wymienić zarówno radiotelefonię analogową, wykorzystującą jako medium transmisyjne przewód trakcyjny (tzw. trolejfony), jak i nieco bardziej współczesne rozwiązania bezprzewodowe, oparte o łączność z wykorzystaniem technologii tzw. ciekącego kabla bądź technologię sieci bezprzewodowej standardu IEEE 802.11 (WLAN).

Oferowane obecnie na rynku systemy w przeważającej większości nie spełniają w sposób zadawalający wymagań związanych z funkcjonalnością, pożądaną z punktu widzenia wsparcia logistyki transportu. Mając na uwadze ograniczenia istniejących rozwiązań oraz wychodząc naprzeciw potrzebom rynku górniczego, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG opracował system WLSS – nazwa stanowi akronim od angielskiego Wireless Logistics Support System (bezprzewodowy system wspierania logistyki). Poszczególne elementy systemu powstały na bazie prac prowadzonych w ramach projektu MINTOS, współfinansowanego z Funduszu Badawczego Węgla i Stali „RFCS”. Pierwotnie system WLSS opracowany był z myślą o transporcie podwieszonym. Jego obecna wersja może być stosowana również w systemach transportu opartego na kolejkach spągowych oraz w transporcie oponowym [6]. Opracowany system wykorzystuje nowoczesne rozwiązania z zakresu bezprzewodowej transmisji cyfrowej.

### 3. OPIS FUNKCJONALNOŚCI SYSTEMU

System WLSS występuje w kilku różniących się nieznacznie wersjach dedykowanych dla różnych systemów transportowych. Wśród funkcji, jakie oferuje, znajdują się:

- precyzyjna lokalizacja położenia pojazdów w czasie rzeczywistym,
- wykrywanie aktualnie zajmowanego toru – w przypadku co najmniej dwóch torów (dwutorze),
- wykrywanie możliwości wystąpienia kolizji pojazdów,
- wizualizacja rozlokowania pojazdów za pomocą aplikacji GIS/SCADA,
- komunikacja z kierowcami za pomocą wiadomości tekstowych,
- wysyłanie priorytetowych komunikatów alarmowych z/do pojazdów,
- transmisja danych diagnostycznych z pojazdów,
- wykrywanie niektórych typów awarii zespołów kołowych (kolejki podwieszane),
- wizualizacja wspomnianych informacji diagnostycznych w aplikacji SCADA.

System WLSS posiada konstrukcję modułową. Dzięki temu, wariant zabudowy można dostosować w łatwy i ekonomiczny sposób do aktualnych potrzeb kopalń przy jednoczesnym zachowaniu możliwości rozbudowy. Wśród opcjonalnych funkcji systemu należy wymienić możliwość integracji z systemem telewizji przemysłowej, w celu monitorowania wizyjnego stacji, rozjazdów i innych newralgicznych miejsc na trasach transportowych. W tym przypadku do koncentratorów systemu WLSS podłącza się, bez konieczności instalacji dodatkowych interfejsów, iskrobezpieczne cyfrowe kamery obserwacyjne typu OKO-1R [4]. Kolejną z opcji rozbudowy systemu, w znaczącym stopniu zwiększającą aspekty bezpieczeństwa, jest możliwość integracji z systemami wykrywania i powiadamiania o zagrożeniach. W szczególności system WLSS jest przystosowany do integracji z systemem metanowo-pożarowym SMP-NT/A (EMAG), celem automatycznego powiadamiania operatorów pojazdów o zagrożeniach.

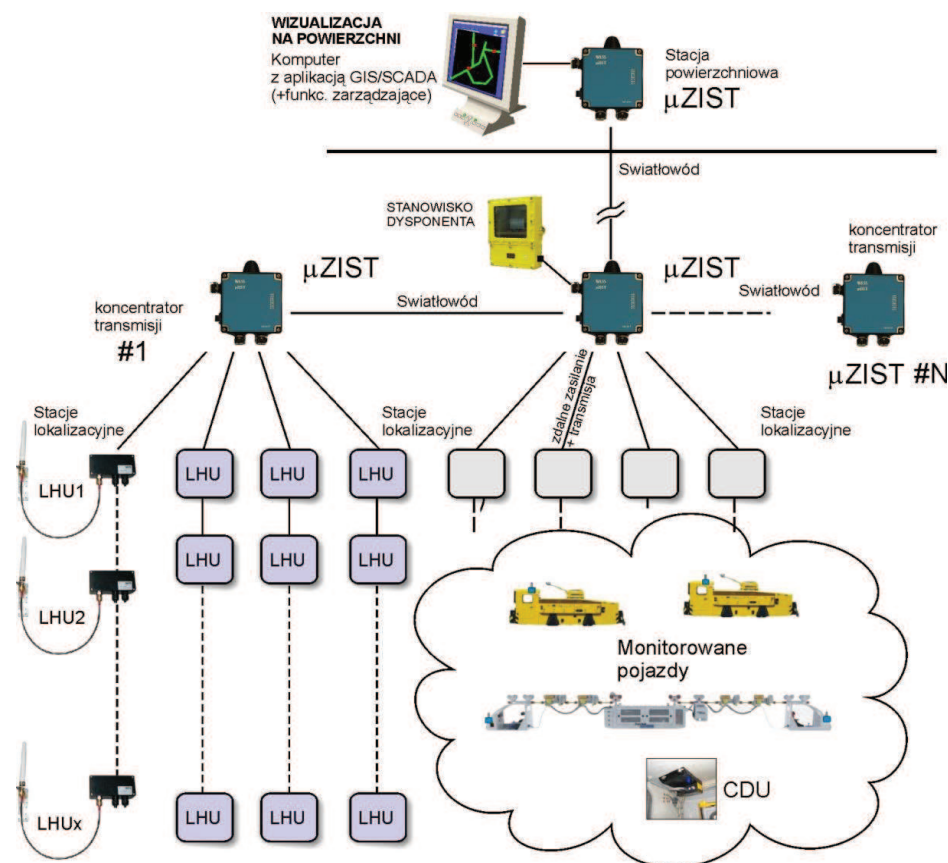
### 4. BUDOWA I DZIAŁANIE SYSTEMU WLSS

Struktura systemu została schematycznie przedstawiona na rysunku 1. Wśród podstawowych bloków funkcjonalnych systemu WLSS można wyróżnić następujące elementy:

- urządzenia przytorowe (tj. głowice lokalizacyjne typu LHU),
- interfejsy pojazdowe (typu CDU),
- koncentratory transmisji (typu  $\mu$ Zist) [2,3],
- dysponenckie stanowiska wizualizacji i łączności (podziemne oraz powierzchniowe).

#### 4.1. Działanie systemu

Informacje o aktualnym położeniu pojazdów uzyskuje się za pomocą pomiarów odległości, przeprowadzanych na podstawie analizy czasu propagacji pakietów, przesyłanych drogą radiową z głowic lokalizacyjno-transmisyjnych LHU do urządzeń pojazdowych. Informacje te trafiają do koncentratorów transmisji, a następnie do centralnej aplikacji na stanowisku dysponenta, gdzie podlegają filtracji i przetwarzaniu za pomocą algorytmów predykcyjnych. Sieć głowic lokalizacyjno-transmisyjnych umożliwi również dwukierunkową transmisję danych z/do pojazdów. Dzięki temu do interfejsów pojazdowych CDU można przysyłać informacje w formie wiadomości tekstowych (tj. polecenia, alarmy, komunikaty o zagrożeniach itp.), co pozwala na realizację prostej komunikacji z operatorami. Z interfejsów pojazd-



Rys. 1. Schemat struktury logicznej systemu WLSS

wych przesyłana jest do części dysponenckiej systemu sygnalizacja, związana z interfejsem użytkownika oraz opcjonalnie dane z karty diagnostycznej ciągnika. Wersja przeznaczona do systemów pracujących w układzie dwóch torów (dwutorze) realizuje również wykrywanie aktualnie zajmowanego przez pojazdy toru, co wykorzystywane jest do automatycznej analizy prawdopodobieństwa wystąpienia kolizji przez oprogramowanie zarządzające.

#### 4.2. Część stacjonarna systemu

Aby umożliwić działanie systemu lokalizacyjnego, należy zapewnić odpowiednie pokrycie wyrobisk siecią urządzeń, stanowiących infrastrukturę pomiarowo-transmisyjną. W systemie WLSS wykorzystano topologię, w której sąsiadujące ze sobą głowice lokalizacyjne (rys. 2) połączone są w łańcuch zapewniający zarówno transmisję, jak i zasilanie.

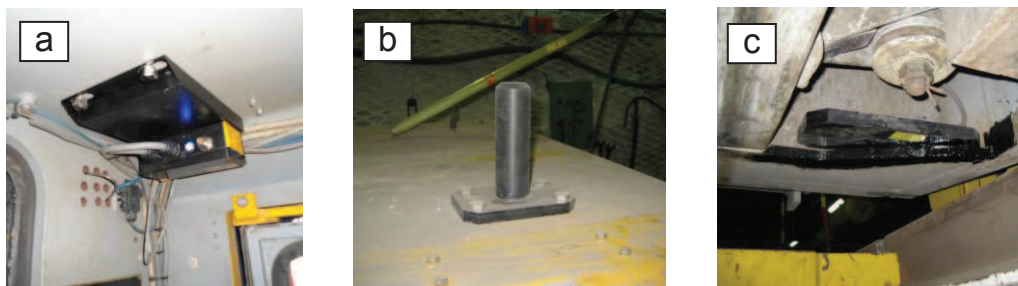
Dzięki temu uzyskano rozwiązanie optymalne ze względu na użycie minimalnej ilości punktów lokalnego zasilania. Gałęzie takiej sieci łączone są następnie w koncentratorach transmisji typu  $\mu$ Zist, a te z kolei połączone są do „głównego pnia”, zbudowanego w oparciu o szkieletową sieć światłowodową, bazującą na światłowodzie jednomodowym. W wersji systemu przeznaczonej na rynek kopalń węglowych

koncentratory transmisji  $\mu$ Zist wyposażone są również w moduły zdalnego iskrobezpiecznego zasilania. Podsystem transmisyjny bazuje na iskrobezpiecznej wersji interfejsu szeregowego RS-485, wykorzystując przy tym jedną parę miedzianą, natomiast druga para dostarcza głowicom zdalne zasilanie.

Opracowane rozwiązanie daje możliwość połączenia w jednej gałęzi (dwie pary teletechniczne) do 10 głowic lokalizacyjnych, przy maksymalnej długości linii transmisyjnej do 2 km. Początkowe (skrajne) głowice połączone są do interfejsów zasilająco-transmisyjnych koncentratorów, natomiast sąsiednie stacje przyłączane są do linii magistralnie.



Rys. 2. Głowica lokalizacyjna typu LHU



Rys. 3. Urządzenia pojazdowe: a) interfejs CDU, b) antena, c) czujnik toru

Do jednego węzła koncentrującego stacji  $\mu$ Zist można dołączyć do czterech takich gałęzi. Poszczególne stacje  $\mu$ Zist łączy się ze sobą za pomocą łącza światłowodowego w strukturze o topologii liniowej lub pierścieniowej. Druga z topologii pozwala w znacznym stopniu zwiększyć niezawodność systemu dzięki zapewnieniu redundantnej ścieżki transmisji.

Dzięki przyjętej filozofii rozproszonego zasilania jeden lokalny zasilacz iskrobezpieczny wystarcza do zasilania do czterdziestu głowic lokalizacyjnych oraz umożliwia pokrycie wyrobisk o łącznej długości do 8 km z pojedynczego koncentratora  $\mu$ Zist. Jest to istotne ze względu na minimalizację kosztów infrastruktury. Na ten aspekt pozytywny wpływ ma również wysoka odporność i duże zasięgi zastosowanego podsystemu cyfrowej transmisji radiowej. Dzięki temu można znacznie ograniczyć ilość stacji lokalizacyjnych, koniecznych do zapewnienia pokrycia zasięgiem radiowym sieci podziemnych wyrobisk.

#### 4.3. Część mobilna systemu

Część mobilną systemu stanowią interfejsy pojazdowe typu CDU. Przeznaczone są one do instalacji w kabinach pojazdów. Dla poprawnej pracy systemu, w wersji dla transportu podwieszono, wymagana jest instalacja urządzeń w obu kabinach kolejki. Urządzenia te wyposażone są w prosty interfejs użytkownika (wyświetlacz LCD, klawiatura). Podsystem radiowy interfejsu CDU umożliwia łączność z częścią stacjonarną systemu oraz realizację procedur lokalizacyjnych. Urządzenie posiada wyprowadzone gniazda, służące do podłączenia anteny zewnętrznej oraz iskrobezpiecznego zasilania. Moduły elektroniczne urządzenia umieszczone są w obudowie, zapewniającej ochronę przed wnikaniem pyłu węglowego i strug wody.

Do interfejsów pojazdowych można przesyłać w formie wiadomości tekstowych informacje (tj. polecenia, alarmy, komunikaty o zagrożeniach itp.). Natomiast z interfejsów pojazdowych przesyłane są do części dysponentkiej systemu dane diagnostyczne oraz sygnalizacja związana z interfejsem użytkownika. W wersji interfejsu pojazdowego, przeznaczonej

dla kopalń węgla, kierowcy mają możliwość interakcji z dysponentem za pomocą klawiatury interfejsu CDU. Za pomocą jednego przyciśnięcia klawisza można potwierdzić lub odrzucić przyjęcie dyspozycji, a także wysłać sygnał alarmowy.

Opracowana została również wersja urządzeń mobilnych dla transportu szynowego spągowego. Wymaga ona instalacji pojedynczego urządzenia CDU w kabinie operatora. W wersji przeznaczonej dla kopalń, gdzie istnieją podstawowe systemy łączności, zrezygnowano z interfejsu użytkownika, natomiast nacisk położono na precyzyjne monitorowanie położenia. Elementy mobilne w tym wykonaniu przedstawione zostały na rysunku 3.

Zastosowano tu podsystem identyfikacji toru, dzięki czemu możliwa jest realizacja prostych funkcji wykrywania potencjalnych kolizji, zwiększających znacznie bezpieczeństwo prowadzonych prac transportowych.

#### 4.4. Stanowisko dysponenta

W skład systemu WLSS wchodzi również stanowiska dysponentckie. Istnieje możliwość instalacji podziemnego stanowiska dysponentckiego, jak również powierzchniowych stanowisk wizualizacyjnych. Stanowisko dysponenta podziemnego wykorzystuje do wizualizacji dedykowaną aplikację typu GIS/SCADA, działającą na komputerze przemysłowym typu GKP-09 [5]. System połączony jest także z serwerem powierzchniowym, który umożliwia dostęp do wizualizacji uprawnionym użytkownikom. Łączność systemu z powierzchniowym stanowiskiem wizualizacyjno-komunikacyjnym realizowana jest poprzez łącze światłowodowe.

Opracowane na potrzeby systemu oprogramowanie GIS/SCADA odpowiada za wizualizację i realizację funkcji interfejsu użytkownika dla dysponenta. W aplikacji zapisana jest wektorowa mapa monitorowanego obszaru oraz baza danych, zawierająca informacje dotyczące konfiguracji i stanu taboru. Bieżąca sytuacja ruchowa uaktualniana jest w czasie rzeczywistym i prezentowana dysponentowi na tle mapy wyrobisk. Dysponent ma możliwość wyboru

wyświetlanych warstw informacyjnych oraz szerokie możliwości skalowania, przesuwania, ustalania interesujących rejonów mapy. Aplikacja prezentuje w oknie głównym widok całego monitorowanego rejonu oraz posiada trzy konfigurowalne okna podglądu szczegółowego. Animowane piktogramy pokazują aktualne położenie i kierunek ruchu poszczególnych pojazdów wraz z ich danymi identyfikacyjnymi (numery boczne). Wizualizacji podlega również stan pracy monitorowanych obiektów. W czytelny, graficzny sposób wyświetlane są informacje diagnostyczne o wystąpieniu awarii urządzeń pojazdowych bądź awarii któregoś z elementów systemu (funkcje auto-diagnostyczne).

Oprogramowanie GIS/SCADA wyposażone zostało również w moduły analizy sytuacji ruchowej pod kątem wykrywania wystąpienia potencjalnych kolizji pojazdów. Prezentowane są one w oknie głównym aplikacji. O możliwości wystąpienia zagrożenia dysponent informowany jest również za pomocą ostrzeżeń dźwiękowych.

## 5. WDROŻENIE SYSTEMU I JEGO PERSPEKTYWY ROZWOJOWE

Pod koniec roku 2011 zakończyło się pierwsze wdrożenie systemu. Miało to miejsce w Zakładzie Górniczym KGHM Polkowice-Sieroszowice. Obecnie przy pomocy Systemu WLSS monitorowane są trasy transportowe kolei szynowej o łącznej długości ok. 15 km, w konfiguracji dwutorowej z licznymi rozjazdami. Do monitorowania tego obszaru użyto 29 stacji lokalizacyjnych oraz 2 koncentratorów transmisji typu  $\mu$ ZIST. Oczujnikowanych zostało w sumie 20 pojazdów, z czego w ruchu przeciętnie znajduje się ok. 14 (głównie lokomotywy elektryczne typu EE90). Wizualizacja odbywa się w pomieszczeniu dysponenta podziemnego na wielkoformatowym 46-calowym monitorze, co znacząco wpływa na komfort pracy. W systemie, oprócz monitorowania ruchu zintegrowano również funkcję cyfrowego monitoringu wizyjnego, który zrealizowano za pomocą czterech kamer typu OKO-1R. Z informacji zwrotnych wynika, iż działanie systemu w pozytywny sposób wpłynęło na efektywność zarządzania ruchem systemu transportowego.

Obecnie trwają prace przygotowawcze do wdrożenia wersji iskrobezpiecznej systemu. W perspektywie rozwoju leży również opracowanie narzędzi dedykowanych dla pracowników nadzoru, które umożliwiłyby zaawansowane automatyczne raportowanie i archiwizację pracy systemu transportowe-

go. Dzięki takim narzędziom możliwe będzie efektywne wprowadzanie optymalizacji procesów transportowych.

## 6. PODSUMOWANIE

System WLSS w innowacyjny sposób wspiera transport podziemny, umożliwiając efektywniejsze nim zarządzanie. Realizuje on również funkcje, mające wpływ na polepszenie bezpieczeństwa, z których szczególnie istotne jest automatyczne wykrywanie potencjalnych kolizji. W systemie zastosowano nowatorskie rozwiązania, charakteryzujące się zarówno niskim kosztem urządzeń pojazdowych, jak i wymaganej infrastruktury w sensie jej zabudowy i utrzymania. Dzięki temu możliwa jest optymalizacja kosztów, co czyni system atrakcyjnym na tle rozwiązań konkurencyjnych, również z ekonomicznego punktu widzenia. System w wersji dla transportu szynowego spągowego został z sukcesem wdrożony w kopalni ZG Polkowice-Sieroszowice, wchodzącej w skład KGHM Polska Miedź S.A.

### Literatura

1. *Chen H.H., Guizani M.*: „Next Generation Wireless Systems and Networks” John Wiley 2006.
2. *Halit E.*: Wireless Sensors and Instruments Networks, Design, and Applications, CRC Press 2006.
3. *Gaura E., Girod L. et.al.*: Wireless Sensor Networks, Deployments and Design Frameworks, Springer 2010.
4. *Munoz D., Boucherau F., Vargas C.*: „Position Location Techniques and Applications” Academic Press Elsevier 2009.
5. *Wiszniewski P., Babecki D., Mirek G.*: Poprawa bezpieczeństwa i efektywności transportu przy wykorzystaniu bezprzewodowego systemu wspomagania logistyki WLSS™. Mechanizacja i Automatyza Górnictwa 2011, Nr 6.
6. Dokumentacje. *Babecki D., Zych K.*: „System Transmisji  $\mu$ Zist - Moduł Interfejsów Mi-RS4” EMAG 2009, niepublikowane.
7. Dokumentacje. *Babecki D., Zych K.*: „System Transmisji  $\mu$ Zist - Moduł Transmisyjny Mt-FSE” EMAG 2009, niepublikowane.
8. Dokumentacje. *Zych K.*: „Kamera Obserwacyjna OKO-1R Dokumentacja Techniczno-Ruchowa: EMAG 2009, niepublikowane.
9. Dokumentacje. *Zych K.*: „Górnicy Komputer Przemysłowy GPK-09: Dokumentacja Techniczno-Ruchowa” EMAG 2010, niepublikowane.

*Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów*