

CHRZAN Marcin¹
PIROSZ Paweł²

Systemy radiowe zapewniające komfort pasażerom i bezpieczeństwo sterowania ruchem kolejowym

Słowa kluczowe,
Telematyka, LTE, WIMAX
8pt, kursywa

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania współczesnych systemów łączności dla potrzeb kolei. Artykuł prezentuje rozwiązania wprowadzone w światowym transporcie kolejowym, jak również propozycje wykorzystania środków łączności bezprzewodowej w usługach dla pasażerów jak i w sterowaniu ruchem kolejowym.

RADIO SYSTEMS TO ENSURE COMFORT FOR PASSENGERS TRAFFIC CONTROL AND SAFETY OF RAILWAY

Abstract

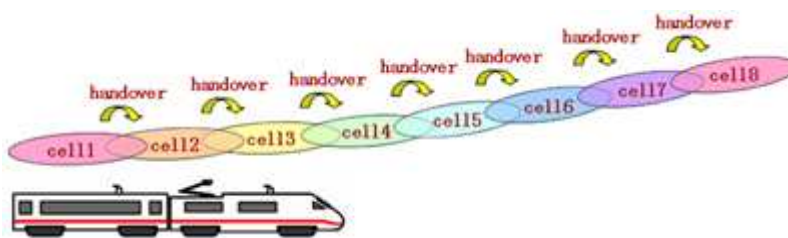
The article presents possibility to use modern communication systems for railways. This article presents a solution introduced in the global rail transport, as well as proposals for use of wireless services for passengers as well as traffic control.

1. WSTĘP

Szybki rozwój cywilizacyjny, globalizacja, spowodowały potrzebę coraz większego dostępu do technologii bezprzewodowych. Internet w domu to dziś codzienność. Producenci specjalizowanego sprzętu telekomunikacyjnego stają przed wielkim wyzwaniem, jakim jest stworzenie technologii i wdrożenie jej dla mobilnego użytkownika jakim jest kolej. Wszystkie opracowania i wdrożenia w tej dziedzinie zmierzają do ujednoczenia standardów oraz integracji sprzętowo usługowej.

Wprowadzenie technologii opartej o standard GSM-R na kolei doprowadziło do integracji w jednym systemie zarówno usług głosowych jak i transmisji danych dla potrzeb prowadzenia i sterowania ruchem. Niewątpliwą zaletą standardu GSM-R jest także możliwość współpracy w zakresie usług głosowych dla pasażerów z GSM. O ile GSM-R zapewnia odpowiedni poziom usług dla potrzeb bezpieczeństwa i niezawodności systemów sterowania to niestety wraz ze wzrostem wymagań odnośnie usług transmisji danych na potrzeby pasażerów (np.: dostęp do Internetu, VoiP) nie jest w stanie sprostać tym wymaganiom.

Dodatkowo dla GSM-R, gdy pociąg przekracza prędkość 250 kilometrów na godzinę, użytkownicy przechodzą przez wiele komórek w bardzo krótkim czasie. Powoduje to zaniki w transmisji sygnału na poziomie 300 Hz. O ile zanik ten jest mało odczuwalny dla prowadzenia rozmów, to podczas transmisji danych powoduje bardzo dużą utratę pasma.

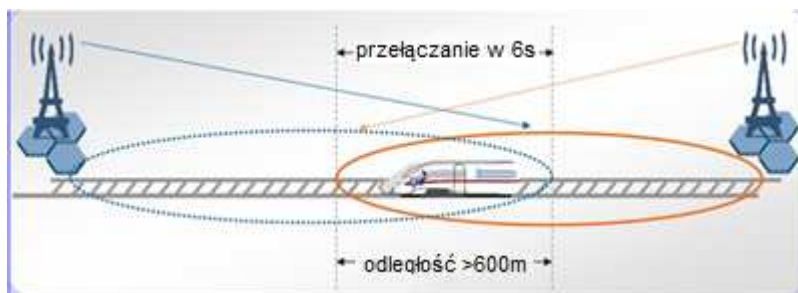


Rys. 1. Przetaczanie między stacjami bazowymi w systemie GSM-R[4]

Aby terminal przełączył się pomiędzy kolejnymi stacjami bazowymi (handover) niezbędna jest zakładka skutecznego zasięgu sygnału z BTS wynosząca co najmniej 600 metrów, co przy prędkości 250 km/h przekłada się na czas 6 sekund. Dlatego też poszukuje się coraz to nowszych systemów łączności bezprzewodowej, które będą mogły być wykorzystane na kolei.

¹ Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29.
Tel: + 48 48 361-77-00, 361-77-33, Fax: + 48 48 361-77-42, E-mail: m.chrzan@pr.radom.pl

² Zespół Szkół Elektronicznych; 26-600 Radom; ul Sadkowska 19. Tel: + 48 48 344-81-16, E-Mail: pawelpirosz@elektronik.edu.pl



Rys. 2. Obszar przełączania telefonu komórkowego pomiędzy stacjami bazowymi [4]

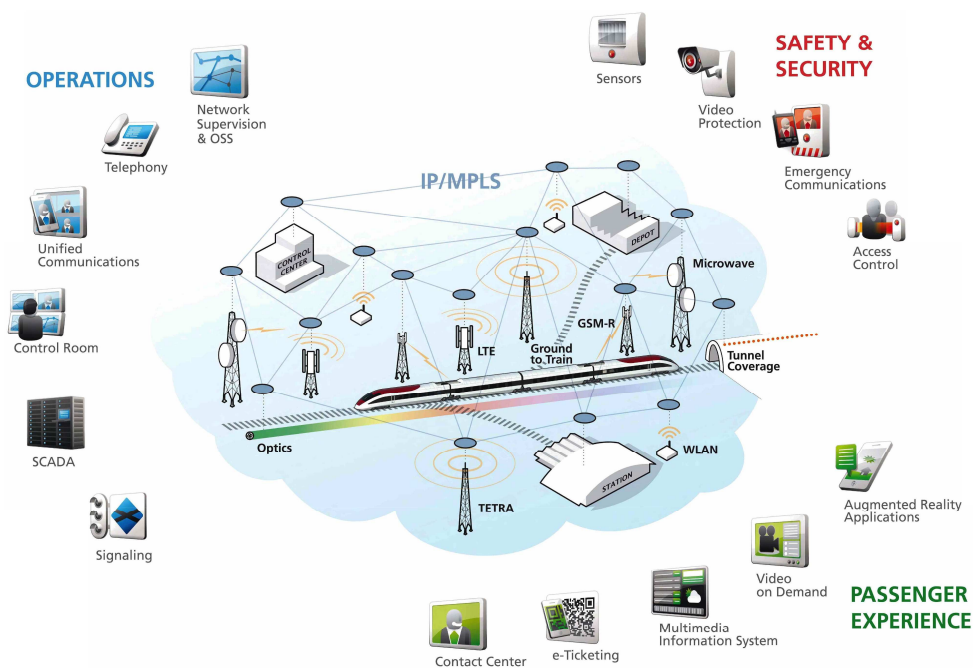
Diagram prezentujący rozwój systemów łączności dla potrzeb kolei przedstawia rysunek poniżej.



Rys.3. Kierunki rozwoju technologii bezprzewodowych w transporcie kolejowym [1]

Przedstawiony diagram charakteryzuje rozwój technologii szerokopasmowej w aspekcie wykorzystania jej do zadań transportowych. W aspekcie wykorzystania łączności bezprzewodowej w transporcie kolejowym planowana jest migracja obecnego standardu GSM-R do otwartych sieci bezprzewodowych standardu LTE lub nawet LTE-R.

Integracja szerokopasmowych systemów łączności bezprzewodowej umożliwi globalne podejście do sterowania, nadzoru i usług pasażerskich, co wyeliminuje wykorzystywane dotychczas niekompatybilne systemy zarządzania. Przykład takiego globalnego podejścia przedstawia rysunek poniżej (rys. 4).



Rys.4. Globalny system sterowania ruchem kolejowym według firmy Alcatel-Lucent[7]

Użytkownicy korzystający z usług przewoźników kolejowych potrzebują szybkiego łącza z niewielkimi lub żadnymi stratami w pakietach i opóźnieniach przekazania danych. Transmisja osiągnięta przez terminale GPRS systemu GSM-R jest na poziomie 85,6kb/s (łącze „w dół”). Współczesne sieci bezprzewodowe WLAN wykorzystują modulację OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) oraz DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) pozwalają na transmisję z prędkością 54 Mb/s przy czym maksymalna rzeczywista szybkość przesyłu danych użytecznych wynosi 20 – 25 Mb/s. Prędkość może być negocjowana w systemie w zależności od liczby abonentów i ich potrzeb. Dopuszczalne są dodatkowo następujące wartości: 6, 9, 12, 18, 22, 24, 33, 36, 48 Mbit/s w celu zapewnienia kompatybilności z sieciami o niższym standardzie transmisji. W dalszej części zostaną przedstawione możliwe zastosowania technologii bezprzewodowych, takich jak Wi-Fi, WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) czy LTE (Long Term Evolution) dla potrzeb obsługi przewozów kolejowych.

2. MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA OTWARTYCH SIECI RADIOWYCH NA KOLEI

Szybki rozwój sieci radiowych opartych o transmisje szerokopasmową może zapewnić poprawę komunikacji między pociągami a infrastrukturą kolejową tworząc bezprzewodowy mobilny korytarz łączności. W rzeczywistości, bezprzewodowy dostęp oparty o sieci WLAN umożliwi prowadzenie bardziej wydajnego ruchu kolejowego przez zwiększenie przepustowości sieci a z drugiej strony może stanowić wsparcie szeregu usług komercyjnych, w tym usług internetowych dla pasażerów w pociągach.

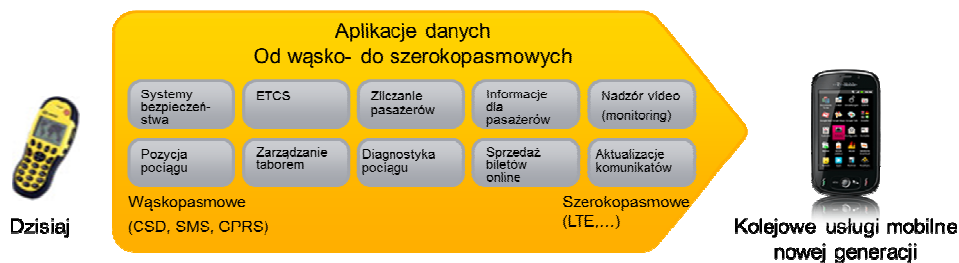
Wprowadzenie sieci bezprzewodowych do infrastruktury kolejowej będzie miało wpływ na:

- monitoring wewnątrz pociągu,
- wspomaganie procesu sterowania ruchem,
- realizację transakcji pieniężnych w pociągu,
- dostęp do Internetu dla pasażerów.

Obecnie stosowane systemy radiowe umożliwiają wprowadzenie automatycznego prowadzenia pociągu od drugiego poziomu ETCS. Wykorzystane technologie przedstawione na rys. 1 umożliwiają:

- zliczanie pasażerów,
- przekazywanie informacji i komunikatów dla pasażerów, zarówno z pociągu jak również z zewnątrz,
- aktualizacja danych o położeniu pociągów i następnym pociągach,
- diagnostykę urządzeń w pociągu,
- zarządzanie całym taborem danego przewoźnika,
- zakup biletu w pociągu (e-Bilet),

co symbolicznie przedstawiono na rys. 5 poniżej.

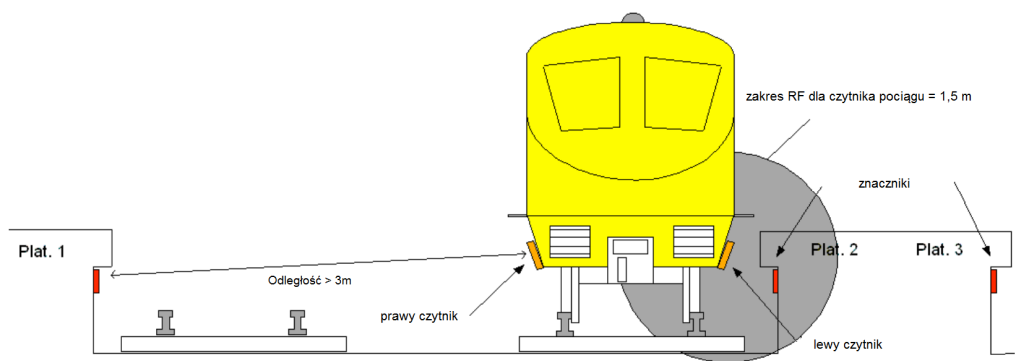


Rys. 5. Główne czynniki ewolucji kolejowych systemów komunikacyjnych wg Nokia Siemens[1]

3. OTWARTE SIECI RADIOWE W STEROWANIU

W niektórych zarządkach kolei otwarte sieci Wi-Fi służą do wymiany danych dotyczących obsługi i sterowania pociągami. Na przykład, linie Southern (Wielka Brytania) zwiększyły dokładność otwierania automatycznego drzwi z wykorzystaniem otwartych sieci bezprzewodowych. Było to możliwe do osiągnięcia przez wykorzystanie tzw. korytarza bezprzewodowego, którego zadaniem jest wykrywanie osi lub płaszczyzny koła w momencie, gdy się ono pojawi się w odpowiednim miejscu. Inny przykładem zastosowania „bezprowodowego korytarza” jest wykorzystanie znaczników RFID (Radio-frequency identification) do wykrywania źle wyregulowanego pantografu, który może powodować uszkodzenia trakcji elektrycznej. W tym przypadku zmiany położenia pantografu względem trakcji elektrycznej są wykrywane przez czytniki kodów RFID znajdujące się na elementach podpierających trakcję elektryczną. Sygnał ten dalej jest przekazywany za pomocą wewnętrznej sieci bezprzewodowej do pomieszczenia mechanika lub/i do najbliższej nastawni lub centrum obszarowego odpowiedzialnego za prowadzenie ruchu pociągów na danym odcinku.[11]

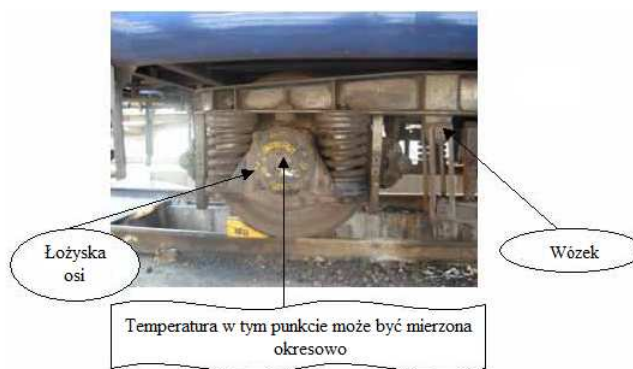
Etykiety RFID mogą być także używane do identyfikacji poszczególnych wagonów pasażerskich czy towarowych, a także odgrywają istotną rolę w automatycznym otwieraniu drzwi i pozycjonowaniu pociągu względem elementów infrastruktury kolejowej, tak aby otwierały się w określonych miejscach na peronie, co zaprezentowano na rysunku 6.



Rys. 6. Znaczniki RFID używane do automatycznej kontroli drzwi [8]

Zasada działania tej metody opiera się na odczycie transponderów biernych umieszczonych w odpowiednich miejscach peronu przez umieszczone na czole pociągu (prostopadle do osi peronu) czytniki RFID. Transponder RFID jest zwykle elementem biernym, bez jakiegokolwiek wbudowanego źródła zasilania, wykorzystującym do zasilania nadajnika przekształconą energię pola elektromagnetycznego wytwarzanego przez czytnik. Energia ta jest przekształcana na napięcie doładowujące wewnętrzny kondensator, z którego zasilany jest układ elektroniczny transpondera. Obwód zasilania transpondera umieszczonego w polu wytwarzanym przez czytnik zaczyna pobierać energię. Jeżeli natężenie pola jest wystarczające to układ jest gotów do wymiany informacji z czytnikiem. W zaprezentowanym rozwiązaniu odległość między czytnikiem i transponderem nie przekracza 1,5 m. System może pracować w paśmie UHF 866 MHz albo paśmie mikrofalowym 2,45 GHz lub 5,8 GHz.

Otwarte sieci radiowe można wykorzystać również do monitorowania pracy kół pociągu, co przedstawiono na rys. 7. Jest to szczególnie istotnie przy kolejach dużych prędkości. Dotychczas stosowane rozwiązania preferują umieszczanie czujników zaagranych mażnic bezpośrednio przy torze. Ze względu na małe prędkości system ten jest w stanie identyfikować zagrożenia i przekazywać informacje do odpowiednich służb. Zastosowanie tej technologii w kolejach dużej prędkości (powyżej 250 km/h) może prowadzić do dużej bezwładności tego systemu. Zastosowanie pokładowych urządzeń identyfikujących zjawiska cieplne w kołach i przekazujących informacje z wykorzystaniem sieci bezprzewodowej do odpowiednich układów mikroprocesorowych pociągu umożliwi nie tylko natychmiastową reakcję służb kolejowych lecz także może prowadzić do automatycznego zatrzymania pociągu na szlaku w celu uniemożliwienia rozprzestrzeniania się efektu cieplnego (pożaru).



Rys. 7. Pomiar temperatury kół pociągu [6]

Do monitorowania temperatury wózka do osi wprowadzono czujnik temperatury. Czujnik ten jest połączony z nadajnikiem sieci bezprzewodowej znajdującym się w wagonie, który za pomoc technologii przewodowej lub bezprzewodowej przekazuje dane do odpowiedniego systemu. W zależności od rozwiązania umożliwia on przekazywanie do kabiny maszynisty informacji o temperaturze w sposób ciągły lub okresowy.

4. OTWARTE SIECI RADIOWE W USŁUGACH PASAŻERSKICH

W nowoczesnych pociągach pasażerskich wyposażonych w urządzenia kontroli: wewnętrznej i zewnętrznej drzwi, oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego, systemu klimatyzacji i urządzeń sanitarnych, ciągłości pociągu zwraca się szczególną uwagę na poprawność wymiany danych między tymi systemami a także na ewentualnie odchylenia od poprawnej pracy tych urządzeń. Nie są to jedyne systemy wpływające na komfort podróży. Pojawiające się ostatnio systemy informacji pasażerskiej wewnątrz pociągu oraz bezprzewodowy dostęp do Internetu zwiększają komfort podróży oraz konkurencyjność względem innych środków transportu. Działania mające na celu poprawę bezpieczeństwa podróżnych i załóg pociągów, a także pojawiające się akty wandalizmu spowodowały, że kolejnym trendem jest systematyczne wyposażanie składów pociągów w monitoring i systemy bezpieczeństwa dla pasażerów i infrastruktury kolejowej.

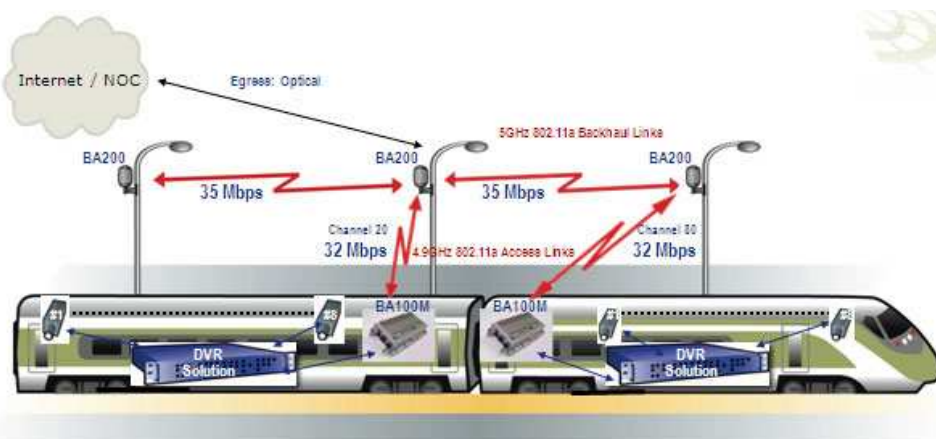
Współczesne systemy oferujące kolejną dostęp do Internetu opierają się w dużej mierze na łączach satelitarnych oraz na systemie GSM-R. Systemy te zapewniają zdolność do przełączania pomiędzy systemami satelitarnymi i sieciami komórkowymi (3G, GPRS, EDGE) wykorzystując wiele technologii radiowych mających na celu zwiększenie zasięgu i pojemności łącza oraz minimalizację kosztów transmisji. Typowe komercyjne konfiguracje są formowane przez: cztery 384 kbit/s kanały UMTS, cztery 112 kbit/s kanały GPRS/EDGE, kanał 2Mbit/s w satelitarnym standardzie DVB-S jako połączenia dla sieci szkieletowej oraz 11/54 Mbit/s połączenia w standardzie IEEE 802.11b/g/n dla połączeń wewnątrz pociągu w celu udostępniania połączenia internetowego dla pasażerów czy mostowania sieci pomiędzy wagonami.

Założmy, że w pociągu podróżuje 600-700 pasażerów i mamy dostęp do Internetu za pośrednictwem łącza satelitarnego o przepustowości w „dół” 4 Mbit/s. Niech tylko 200 pasażerów zaloguje się do sieci, wówczas przepustowość na jednego pasażera będzie wynosiła około 20 kbit/s, co nie wydaje się zbyt dużą wartością. Dlatego przewiduje się, że systemy satelitarne zostaną wyparte przez rozwiązania wykorzystywane w sieciach telefonii komórkowej i siecią infrastruktury pokładową Wi-Fi.

Na terenie Polski można wykorzystać rozwiązania, które są obecnie oferowane przez lokalnych operatorów usług dla pasażerów. Korzystając z tej usługi pasażer ma możliwość z wykorzystaniem technologii bezprzewodowej wykupienia biletu lub uzyskania dostępu do sieci bezprzewodowej wewnątrz pociągu. Zakup biletu może opierać się na przykład na podaniu numeru pociągu. W dalszej części pasażer definiuje czy chce zakupić bilet ulgowy czy pełnopłatny. Po zakończeniu rejestracji zakupu z konta telefonu pobierana zostaje odpowiednia odpłatność. W czasie kontroli pasażer pokazuje otrzymany kod dostępu, który obsługa pociągu jest w stanie zweryfikować w swoim terminalu. System ten może też oferować usługi związane bezpośrednio z podróżowaniem. Można do nich zaliczyć:

- rezerwacje hotelowe,
- informację o komunikacji zbiorowej,
- zamówienie taksówki,
- rezerwacja usług u innych przewoźników.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pasażerom i obsłudze pociągu stosuje się rozwiązania zaczerpnięte z komunikacji drogowej. Przykład takiego rozwiązania został zaprezentowany na rys. 8.



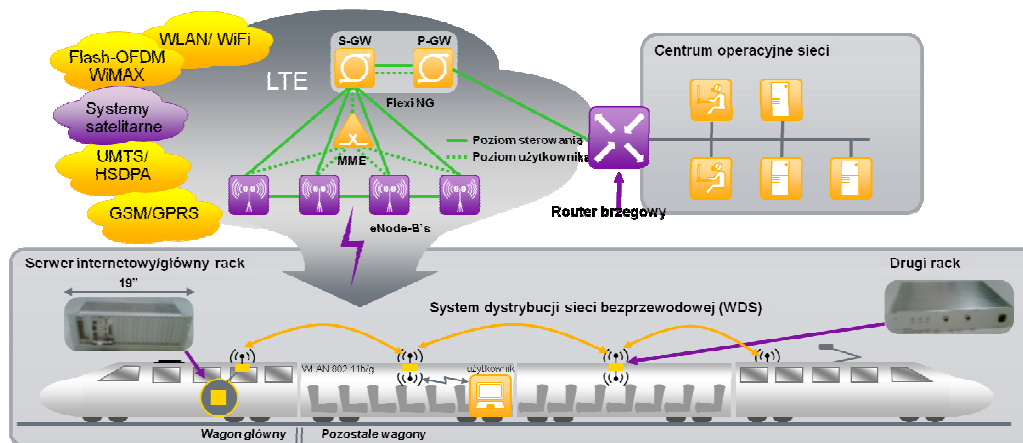
Rys. 8. Koncepcja telewizji przemysłowej na kolei [3]

Na pokładzie pociągu w miejscach niedostępnych dla pasażerów umieszczone są lokalne rejestratory telewizji przemysłowej CCTV, które umożliwiają ciągły zapis w wysokiej rozdzielczości obrazu z kamer umieszczonych wewnątrz i na zewnątrz pociągu. Podczas przejazdu lub postoju na stacji zarejestrowany obraz jest przekazywany do lokalnych centrów bezpieczeństwa, gdzie podlega dalszej obróbce. Dla zapewnienia odpowiedniej przepływności między pociągiem a terminalami znajdującymi się przy elementach infrastruktury kolejowej stosuje się urządzenia o przepływności 32 Mbit/s. Dalsza transmisja do centrum odbywa się wysokowydajnymi łączami światłowodowymi. Zastosowanie odpowiedniej technologii (sieci neuronowych) umożliwi identyfikację on-line zagrożeń oraz osób poszukiwanych.

Koncepcja przekazywania informacji z pociągu do urządzeń przytorowych miała się opierać według projektantów o szerokopasmowy dostęp do Internetu wykorzystujący technologię WiMAX. Technologia ta umożliwia teoretyczną przepływność 75 Mbit/s na odległość do 50 km. Jest to rozwiązanie konkurencyjne dla telefonii komórkowej, ponieważ komunikacja odbywałaby się w zasięgu tych samych komórek. Jednak technologia WiMAX ma pewną wadę, która polega na obniżeniu transferu danych w miarę oddalania się od stacji bazowej. Tę niedogodność eliminuje technologia LTE.

Badania prowadzone przez czołowych dostawców rozwiązań dla kolei wykazują, że system LTE powinien zapewnić poprawne działanie w relacji tor-pojazd przy prędkościach do 350 km/h, gwarantując jednocześnie przepływność 100 Mbit/s, a z wykorzystaniem technologii antenowej MIMO (Multiple Input Multiple Output) – do 300 Mbit/s. LTE będzie oferowało 20 razy większą wydajność od rozwiązań 2G proponowanych w systemie GSM-R i zapewni jednocześnie pełną kompatybilność z tym systemem.

Koncepcję wykorzystania systemu LTE na kolei przedstawia rys. 9.



Rys. 9. Możliwość wykorzystania łącz szerokopasmowych w pociągu [1]

W zaprezentowanym rozwiązaniu proponowane jest wykorzystanie pokładowych serwerów internetowych w celu zapewnienia odpowiednich usług dla pasażerów i operatora kolejowego. W systemie tym łączność pokładowa jest zapewniana przez urządzenia bezprzewodowe w technologii Wi-Fi oraz przewodowe w technologii światłowodowej. Komunikacja zewnętrzna w relacji tor-pojazd oparta jest o system LTE, który nadzorowany jest z poziomu routera brzegowego przez centrum operacyjne sieci. W centrum tym odbywa się nadzór nad usługami płatnymi i bezpłatnymi dla pasażerów oraz nad bezpieczeństwem ruchu kolejowego. System LTE przez sieć szkieletową umożliwia komunikację z innymi sieciami bezprzewodowymi, jak GSM, GSM-R, WLAN, WiMAX czy łącza satelitarne. Wykorzystanie różnorodnych technologii zewnętrznych wydaje się ze względu na bezpieczeństwo celowe, gdyż na wielu poziomach zapewnia nam ciągłość transmisji.

Nowe aplikacje pokładowe mogą być rozszerzeniami komunikacji „pojazd-tor” istniejących dotychczas systemów, które wspierają różne aplikacje komercyjne i aplikacje o znaczeniu strategicznym dla zarządów kolei, takie jak:

- pokładowy dostęp pasażerów do Internetu;
- informacje dla pasażerów;
- nadzór video;
- zdalne monitorowanie taboru.

5. WNIOSKI

Wprowadzenie szerokopasmowego dostępu do infrastruktury kolejowej umożliwi zarządom kolei zwiększenie dostępności do e-usług dla pasażerów. Może prowadzić to także do wykorzystania tej technologii do zarządzania i sterowania ruchem kolejowym. Oczywiście w tym względzie należy opracować odpowiednie procedury i normy, które będą dopuszczały urządzenia do ruchu kolejowego. Wprowadzenie łączności bezprzewodowej o dużej przepustowości w znaczny sposób wpłynie na poprawę atrakcyjności transportu kolejowego w stosunku do innych środków komunikacji.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Garstenauer J.: *GSM-R evolution towards LTE*, New Delhi, Institution of Railway Signal Engineers International Convention 2010.
- [2] Fortuna C., Hrovat A., Mohorčič M., Kandus G.: *Access to Broadband Services on Trains*, Brdo pri Kranju, materiały z konferencji VITEL – 19. delavnica o telekomunikacijah – Brezžični širokopasovni dostop 2007
- [3] *The Future of Rail-Communications: WiMaX-R?*, <http://www.zylstrategy.com/london-conference-2008/>
- [4] *Huawei High-Speed Railway Communication (HRC) Solution*, <http://www.huawei.com/enterprise/hrc-solution.do>
- [5] Orłowski A., Tomaszuk E.: *Ewolucja technik szerokopasmowego dostępu radiowego oraz analiza stanu prac prowadzonych przez europejskie organizacje standaryzacyjne, organizacje zrzeszające administracje łączności oraz instytucje UE, mających na celu harmonizację wykorzystania częstotliwości radiowych dla potrzeb urządzeń bliskiego zasięgu*, Warszawa, Instytut Łączności – PIB 2008.
- [6] Shankar G., Jeeva S., Anand Solomon E.: *Wireless sensor based onboard safe railway system*, http://www.faeer.ac.in/motorola/msp2007_08/motorola_winner_2007_08.html
- [7] *A Global Railway in the Digital Age*, materiały firmowe Alcatel-Lucent, http://enterprise.alcatel-lucent.com/private/images/public/si/pdf_globalRailways.pdf
- [8] Caton J.: *Satellite navigation and associated technology*, Presentation. Rail Safety and Standards Board 2007
- [9] <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/trans1.pdf>
- [10] <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/trans3.pdf>
- [11] Szychta L.: *Zasady doboru systemu sterowania pompowni wodociągowych*, Wydawnictwo Politechnik Radomskiej, Radom 2006.