

NOWOCZESNE SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI DLA POTRZEB PKP

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Systemy radiołączności stosowane na PKP
3. Ogólna charakterystyka systemów GSM-R i UMTS
4. Wykorzystanie systemu GPS na kolei
5. Wnioski

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono strukturę oraz etapy rozwoju radiołączności na polskich kolejach. Przeanalizowano aktualną sieć łączności oraz obecnie eksploatowane środki łączności. Omówiono proponowane kierunki rozwoju infrastruktury telekomunikacyjnej, związane z wprowadzeniem interoperacyjności sterowania ruchem i łączności na PKP. Zaprezentowane rozważania nie wyczerpują omawianej tematyki, lecz są próbą przybliżenia problemów z nią związanych szerokiemu gremium klientów PKP.

1. WSTĘP

Do szybkiego rozwoju transportu kolejowego są potrzebne nowoczesne systemy łączności oraz urządzenia prowadzenia ruchu kolejowego, które powinny zapewniać zawsze wysoki poziom bezpieczeństwa przewozów, zarówno towarowych jak i pasażerskich.

Obecnie dysponujemy nowoczesnym standardem dla publicznych systemów wymiany informacji z obiektami ruchomymi w postaci systemu GSM — faza II; także od niedawna został na terenie Polski pilotażowo uruchomiony system UMTS, czyli system telefonii komórkowej trzeciej generacji. Docelowo jest on przewidziany do całkowitego pokrycia Polski światowym systemem radiokomunikacji ruchomej, co umożliwi realizację połączeń dwupunktowych, rozsiewczych i zbiorczych.

Koleje europejskie postanowiły oprzeć swoje przyszłe systemy radiokomunikacji ruchomej na standardzie GSM, zgodnie z dyrektywami UIC.

Należy w tym miejscu przypomnieć, że przewidywany dla kolejnictwa w Polsce do wprowadzenia system radiokomunikacji ruchomej GSM-R może być także podstawą do wprowadzenia do sterowania ruchem kolejowym systemów informacji przestrzennej, opartych na nawigacji satelitarnej.

Zastosowanie systemów informacji przestrzennej w transporcie kolejowym z reguły nie wykraczało poza fazy prototypów. Badania te dotyczyły śledzenia ładunków specjalnych i niebezpiecznych, chociaż były i są prowadzone próby identyfikacji pociągów dla potrzeb zarządzania i sterowania.

Wprowadzanie automatyzacji procesów srk (*sterowania ruchem kolejowym*) wymusza na konstruktorach urządzeń srk projektowanie takich elementów zabezpieczenia, które spełniałyby wysokie wymagania bezpieczeństwa. Zastosowanie dużych prędkości jazdy pociągów (powyżej 200 km/h) spowodowało przeniesienie wielu elementów kontrolnych i sterujących z toru na pojazdy trakcyjne, a co za tym idzie — zwiększyło liczbę elementów elektronicznych, biorących udział w procesie sterowania i nadzoru [2, 10]. Polskie Koleje Państwowe S.A. (dalej PKP) stały na początku dwudziestego pierwszego wieku przed koniecznością dostosowania istniejącej sieci telekomunikacyjnej i sterowania ruchem oraz taboru do standardów europejskich. Obecnie posiadamy tylko jedną linię *Warszawa—Katowice* (E65) przystosowaną technicznie do prowadzenia ruchu z prędkościami rzędu 200 km/h; druga — *Warszawa—Kunowice* (E20) jest w fazie modernizacji, lecz i na niej brakuje urządzeń sygnalizacji kabinowej, co jest niezbędne dla bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów przy tak znacznych prędkościach. Dlatego konieczne staje się zastosowanie takich technik przekazu ciągłej informacji w relacji *tor—pojazd*, które zapewnią niezbędne bezpieczeństwo ruchu kolejowego; wydaje się, że takim medium przekazu jest system GSM-R.

W dotychczas stosowanych systemach sterowania lokalizacja pociągu oraz kontrola jego kompletności odbywa się wciąż jeszcze przez urządzenia stałe, np. obwody torowe lub liczniki osi, a nawet przez dyżurnych ruchu w nastawniach i posterunkach odstępowych. Najnowsze systemy sterowania pociągami powinny realizować funkcję lokalizacji odstępu blokowego i kontroli kompletności pociągu w samym pociągu, co znacznie uprościłoby i zredukowałoby urządzenia stałe, zainstalowane w torze [6, 7].

Oprócz starych, technicznie nieskomplikowanych systemów punktowego oddziaływania na pociąg, obecnie dysponujemy systemami transmisji informacji o dużej przepływności binarnej i z małym prawdopodobieństwem błędnej decyzji; mamy również dostęp do systemów precyzyjnej lokalizacji obiektów stacjonarnych i ruchomych, poprzez odbiór i przetwarzanie sygnałów wysyłanych przez te systemy. Do takich systemów należą EUTELTRACS, GLONAS oraz najbardziej rozpowszechniony system GPS [2, 7, 12, 13].

Zastosowanie na polskich kolejach nowoczesnych i różnorodnych systemów srk oraz łączności powoduje konieczność dostosowania ich do potrzeb europejskiego systemu prowadzenia ruchu kolejowego. Na całym świecie są tworzone systemy wykorzystujące elementy nawigacyjne do precyzyjnej kontroli ruchu powietrznego i naziemnego. Jednym z takich systemów jest wspomniany już, a powstały w USA, system satelitarny NAVSTAR/GPS, w skrócie zwany dalej GPS (*Global Positioning System*) [2, 5, 12]. Dane nawigacyjne, otrzymane z tego systemu, są wykorzystywane na szeroką skalę w technice wojskowej, nawigacji morskiej i lotniczej oraz w aplikacjach motoryzacyjnych [6].

Poniżej zostanie omówiony stan obecny infrastruktury telekomunikacyjnej, wykorzystywanej przez spółki PKP S.A., a także przedstawione rozważania teoretyczne na temat: czy na kolejach polskich należy wprowadzać system GSM-R czy też może rozpocząć prace badawcze nad systemem UMTS-R. Omówione zostaną także możliwe kierunki wdrożenia na kolei systemu GPS.

2. SYSTEMY RADIOŁĄCZNOŚCI STOSOWANE NA PKP

Jako pierwszą pracę na temat radiokomunikacji kolejowej można uznać opracowanie zespołu ekspertów pod kierunkiem prof. Henryka Śmigielskiego pt.: „Studium koncepcyjne radiołączności radiotelefonicznej PKP”. Opracowanie to, ukończone w roku 1968, obejmowało wytyczne dotyczące rodzaju i usytuowania kolejowej sieci radiokomunikacyjnej oraz zasady przydziału i użytkowania częstotliwości na PKP. Oczywiście 1968 r. przyjmuje się jako „początek organizacyjny” powstania radiołączności na PKP. Nie należy jednak zapominać, że już na początku lat pięćdziesiątych staraniem Wydziału Telekomunikacji Departamentu Elektrotechnicznego Ministerstwa Kolei zakupiono, nowoczesne, jak na ówczesne czasy, radiotelefony od firmy STORNO, pracujące w paśmie 72 MHz, oraz od firmy SVENSKA RADIO AKTIENBOLAGET – na pasmo 40 MHz; w 1953 r. podjęto decyzję o zainstalowaniu wymienionego sprzętu na następujących stacjach rozrządowych:

- Warszawa Odolany,
- Skarżysko,
- Tarnowskie Góry,
- Łazy.

Przełomem we wprowadzaniu urządzeń telekomunikacji na kolei staje się 1955 r., w którym Morska Obsługa Radiowa Statków (MORS) w Gdyni rozpoczyna produkcję rodzimych radiotelefonów, pracujących w paśmie UKF z modulacją częstotliwościową. W następnych latach zakłady MORS zostały przekształcone w Gdyńskie Zakłady RADMOR, których produkty do dnia dzisiejszego są użytkowane.

Następnym, istotnym etapem w budowaniu systemu łączności dla kolei staje się system łączności selektorowej SELTON, opracowany przez Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa, a produkowany przez Kolejowe Zakłady Łączności w Bydgoszczy. Należy tu jednak podkreślić, że wszystkie istniejące w tym czasie systemy łączności dotyczyły łączności liniowej lub manewrowej; dalej był nierozwiązany problem tzw. radiokomunikacji ruchomej, czyli łączności między pociągiem a nastawnią. Ten bagatelizowany dość długo problem stał się przyczyną kilku katastrof kolejowych, co udowodniło, że taki system łączności jest niezbędny dla bezpiecznego prowadzenia ruchu kolejowego. Ten typ łączności uruchomiono dopiero na początku lat siedemdziesiątych na linii *Tarnowskie Góry—Gdynia*.

Pod koniec lat siedemdziesiątych został opracowany standard analogowej telefonii komórkowej NMT (ang. *Nordic Mobile Telephon*). Zgodnie z przyjętymi wówczas założeniami miał on być systemem łączności międzynarodowej. W pierwszej wersji wykorzystano zakres częstotliwości z pasma 450 MHz. Takie rozwiązanie szybko wdrożono w wielu krajach Europy, jednak z powodu braku możliwości wydzielenia w poszczególnych państwach ujednoliconego pasma częstotliwości, powstało wiele, wzajemnie niekompatybilnych, wersji tego systemu. Zamiast jednego, ogólnoeuropejskiego systemu analogowej telefonii komórkowej istnieje obecnie wiele jego wersji o zasięgach krajowych.

O popularności systemu zadecydowało to, że zapewniał on dobrą jakość rozmów i wysoki poziom usług telefonicznych, taki jak w sieci telefonii stałej. Jednak najważniejszą zaletą systemu była możliwość obsługi abonentów prowadzących rozmowę podczas ruchu, z dowolnego punktu, w oderwaniu od istniejącej infrastruktury telekomunikacyjnej oraz możliwość odśledzenia abonenta w dowolnym miejscu zasięgu systemu. Taki zakres usług nie był wcześniej oferowany potencjalnemu użytkownikowi, to też

system NMT szybko zyskał duże zainteresowanie klientów. Jednak mała liczba możliwych do wydzielienia w paśmie 450 MHz kanałów radiowych (tylko 180) sprawiła, że system bardzo szybko osiągnął stan nasycenia w zakresie liczby użytkowników. Spowodowało to potrzebę opracowania kolejnej wersji systemu. Została ona zrealizowana dla pasma 900 MHz i ma oznaczenie NMT 900. Nowa wersja po raz pierwszy została zastosowana w 1986 r.[4].

W Polsce od 1992 r. funkcjonuje sieć analogowej telefonii komórkowej, której operatorem jest polsko-francusko-amerykańska spółka CENTERTEL. Przyjęto w niej rozwiązania na wzór krajów skandynawskich, jednak z powodu występujących odstępstw od pierwotnych założeń polska wersja systemu otrzymała oznaczenie NMT 450i.

W 1994 r., czyli w niespełna dwa lata od momentu pojawienia się standardu NMT w Polsce, PKP wprowadziły do swoich usług radiołączność dla pasażerów, opartą na wykorzystaniu telefonu abonenckiego, zainstalowanego w pociągu EC Berolina (rys. 1 i 2). Realizacja połączeń była możliwa na trasie *Warszawa—Kunowice* (E20).



Rys. 1. Radiotelefon NMT w pociągu EC Berolina (widok z przodu)



Rys. 2. Radiotelefon NMT w pociągu EC Berolina (widok z boku)

Tak szybkie wdrożenie terminalu ruchomego, opartego na technologii komórkowej, mogło się stać zaczątkiem budowania infrastruktury łączności komórkowej dla potrzeb przewozów kolejowych. Jednak celem tego rozwiązania było udostępnienie usług dla pasażerów, a nie wykorzystanie do prowadzenia ruchu kolejowego, gdyż w tym systemie nie ma możliwości transmisji danych. Ze względów ekonomicznych projekt ten został zaniechany.

Aktualna struktura radiołączności PKP dzieli się na dwie grupy:

- 1) sieci stacyjne, obejmujące zasięgiem teren danej stacji;
- 2) sieci liniowe, działające na określonych liniach kolejowych lub na całej sieci PKP.

Wszystkie sieci radiotelefoniczne PKP, zarówno stacyjne jak i liniowe, z wyjątkiem sieci zbiorowej liniowej (radiotelefonicznej sieci zarządzania RASZ) pracują w systemie simpleksowym. Sieć RASZ pracuje semiduplexowo.

Sieci liniowe wykorzystują 19 kanałów, a dla sieci stacyjnych przewidziano ok. 140 kanałów z pasma 150÷156 MHz. Według danych Telekomunikacji Kolejowej Sp. z o.o. (z 2002 r.) w kolejowych sieciach radiotelefonicznych pracowało 31362 radiotelefonów (p. tabl. 1.).

Tablica 1

Liczba radiotelefonów w zależności od rodzaju i roku produkcji [8]

Rok produkcji	Rodzaj radiotelefonu		
	stacjonarny	przewoźny	noszony
1996 i lata wcześniejsze	6707	8487	11913
1997	247	193	1457
1998	219	131	1432
1999	0	0	75
2000	25	2	232
2001	1	0	216
2002	0	0	25

Z ogólnie eksploatowanej liczby radiotelefonów zgodnie z wymaganymi obecnie warunkami technicznymi homologację ma 15053 radiotelefony (39% ogółu), a 23489 radiotelefonów (61%) nie ma homologacji lub jest niemożliwa praca z odstępem 12,5 kHz (p. tabl. 2.).

Tablica 2

Zestawienie radiotelefonów ze względu na ich homologację [8]

Wymagania	Rodzaj radiotelefonu		
	stacjonarne	przewoźne	noszone
Z homologacją	689 (10%)	522 (6%)	6661 (43%)
Bez homologacji lub niemożliwa praca z odstępem 12,5 kHz	6508 (90%)	8291 (94%)	8691 (57%)

Na podstawie przedstawionych w tablicach 1 i 2 danych można stwierdzić, że radiokomunikacja i łączność kolejowa stanęły w miejscu, w którym należy albo dostosować istniejący system łączności do istniejących standardów radiokomunikacyjnych w Polsce, albo wykonać całkowitą modernizację i przejść na system łączności proponowany dyrektywami UIC.

Przejście z 25 kHz na 12,5 kHz w paśmie 150 MHz (zgodnie z dyrektywami UIC), co wydaje się punktu widzenia laika bezproblemowe, po szczegółowym zapoznaniu się z sytuacją może budzić wiele problemów natury technicznej, do których można zaliczyć:

- opracowanie nowych kanałów dla sieci,
- zakup nowego sprzętu,
- badanie i homologację.

Natomiast wprowadzenie radiołączności opartej na technologii komórkowej jest rozwiązaniem wiążącym się z bardzo dużymi nakładami finansowymi i długim czasem wdrażania. Należy jednocześnie podkreślić, że prace dotyczące łączności kolejowej nie stały w miejscu; opracowywano nowe projekty, a także wdrażano do eksploatacji systemy, które nie opierały się na standardzie 150 MHz. Można do nich zaliczyć:

- 1) dyspozytorski system radiołączności pociągowej na linii WKD, wdrożony i działający obecnie, a oparty na systemie ZUGFUNK 2000 austriackiej firmy *Kapsch*, pracującym w paśmie 450 MHz;
- 2) dyspozytorski system radiołączności pociągowej na linii *Szczecinek—Korzybie*, wykorzystujący także urządzenia firmy *Kapsch* ZUGLEITFUNK;
- 3) scentralizowano-zdecentralizowany system radiołączności pociągowej o standardzie UIC 751-3, pracujący w paśmie 450 MHz na pilotażowym odcinku *Poznań—Opalenica* (linia E20), wdrożony przez firmę AEG;
- 4) radiotelefon pociągowo-stacyjny ze sterowaniem mikroprocesorowym.

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMÓW GSM-R i UMTS

3.1. System GSM-R

System GSM został wprowadzony do użytku publicznego w 1992 r., jako druga generacja systemów komórkowych (systemy komórkowe pierwszej generacji — analogowe — były wprowadzane w Europie w latach osiemdziesiątych; przykładem takiego systemu w Polsce jest NMT-450i). Ewolucję przechodzą systemy radiołączności kolejowej w Europie: od pierwszych, pionierskich systemów pracujących na różnych, dostępnych w danym kraju częstotliwościach, przez systemy rozwijane bardziej metodycznie (np. pracujące w paśmie 150 MHz), do najpopularniejszych obecnie w Europie systemów opartych na standardzie UIC 751-3 (450 MHz). Wszystkie one były systemami analogowymi, projektowanymi do realizacji podstawowej usługi: połączenia głosowego punkt-punkt, a ponadto cechował je niski stopień wzajemnej zgodności (nie zapewniały interoperacyjności) [11].

Obecna konieczność modernizacji kolejowych sieci radiowych wynika z potrzeb rozwojowych i integracji europejskich kolei (wprowadzanie coraz szybszych pociągów, podwyższanie bezpieczeństwa, wymóg interoperacyjności itp.), a także z przesłanek ekonomicznych, w warunkach zaostrejającej się konkurencji (wyższa sprawność zarzą-

dzania, niższe koszty). Dotychczasowe środki łączności okazały się do tego celu niewystarczające, dlatego też międzynarodowa unia kolei (UIC) pod koniec lat osiemdziesiątych podjęła prace zmierzające do stworzenia projektów nowoczesnego systemu sterowania ruchem kolejowym. Zatwierdzony został system bazujący na publicznym, cyfrowym systemie komórkowym GSM-900, w zastosowaniu kolejowym oznaczany jako GSM-R. Wymagania dla systemu zostały opracowane w UIC w ramach projektu EIRENE (*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*). Na potrzeby tego systemu ETSI zarezerwowała dwa pasma częstotliwości, „przylegające” do odpowiednich pasm systemu publicznego GSM. W celu koordynacji poczynań weryfikujących w praktyce tworzone standardy zawiązała się grupa MORANE (*MOBILE Radio for Railway Networks in Europe*), zrzeszająca ekspertów z europejskich organizacji kolejowych i przemysłu, która opracowała, uruchomiła i przebadła praktycznie na odcinkach próbnych prototypy elementów systemu GSM-R. Działania te zaowocowały opublikowaniem ostatecznych wersji wymagań funkcjonalnych (E-FRS¹ wersja 6.0) i systemowych (E-SRS² wersja 14.0) dla systemu EIRENE. Obecnie zarządy kolei państw z dotychczasowego obszaru Unii Europejskiej są w różnych fazach wdrażania projektów [1,15].

W odróżnieniu od analogowej radiołączności pociągowej, GSM-R oferuje wiele nowych funkcji. Najważniejsze z nich są następujące [9]:

- transmisja danych cyfrowych — wykorzystywana między innymi do sterowania ruchem pociągów, przekazywania informacji dla ich załóg i pasażerów;
- wywoływanie grupowe na danym obszarze — zawiadomienie wszystkich służb;
- wywoływanie funkcyjne — np. według grup ważności albo funkcji pełnionej w danym pociągu;
- szeregowanie w dowolnej kolejności połączeń przychodzących i wychodzących, możliwość określenia pozycji odbiorcy (pociągu) na trasie;
- programowanie zakresów dostępu użytkowników do całości lub części połączeń w sieci;
- automatyczny wybór języka komunikatów;
- łączność z publicznymi sieciami komórkowymi (rys. 3).

Obecnie naziemne systemy komunikacji ruchomej zostały zdominowane przez system GSM. Oferuje on szeroki wachlarz usług dodatkowych, które zostały zdefiniowane w ramach prac standaryzacyjnych UIT i ETSI (rys. 4).

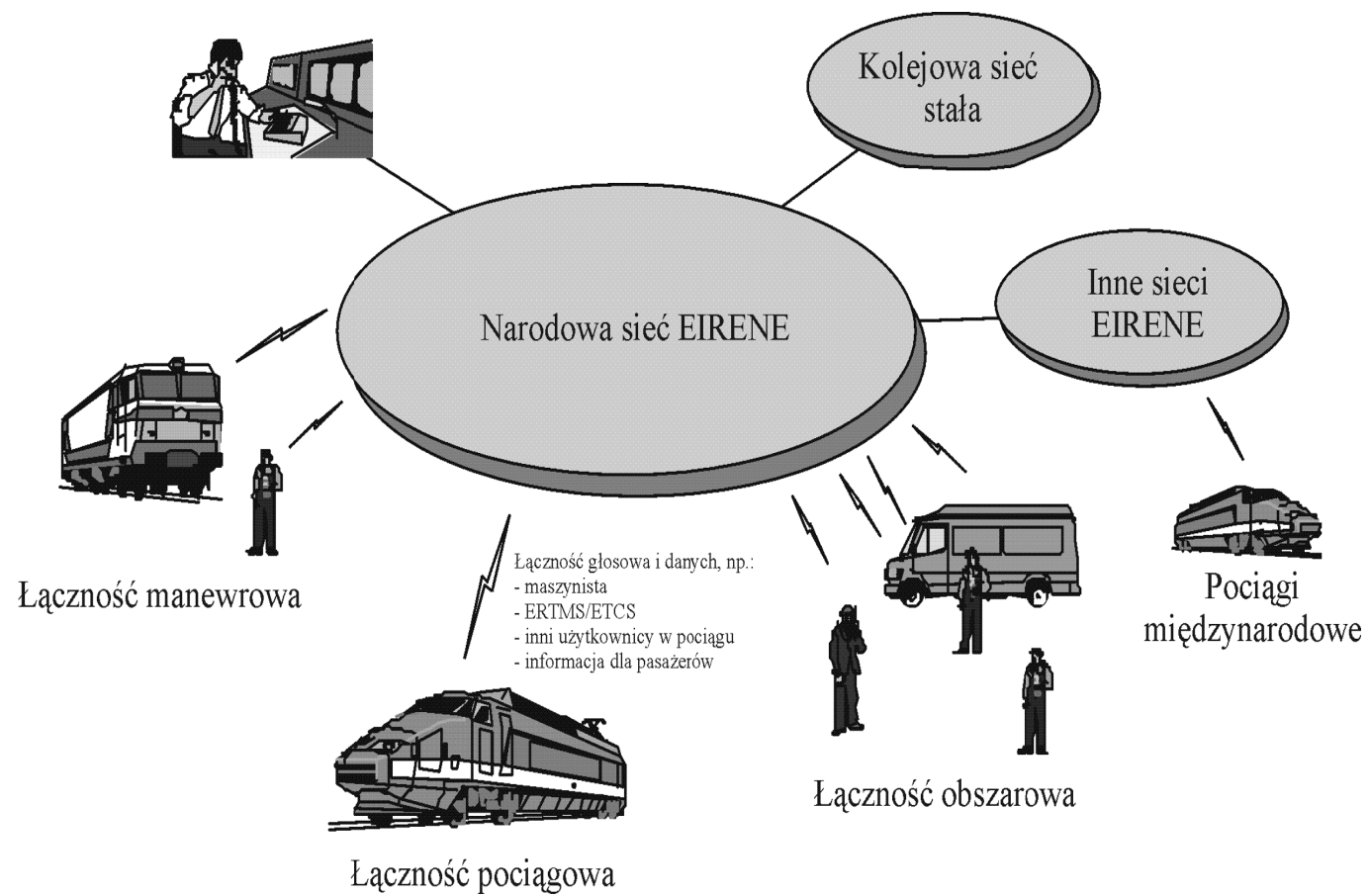
System GSM-R (rys. 3) umożliwia trzy podstawowe rodzaje transmisji danych:

1. Transmisja SMS (*Short Message Service*) umożliwia przesyłanie komunikatów znakowych o długości do 160 znaków. Wymiana komunikatów pomiędzy terminalami (telefonami lub modemami) odbywa się za pośrednictwem centrum usługowego SMS operatora sieci. Terminal nadający komunikat wysyła do centrum SMS wiadomość opatrzoną numerem terminalu odbiorczego, a centrum przesyła komunikat do odbiorcy. Centrum SMS oferuje dodatkowe usługi, takie jak przechowywanie komunikatu w przypadku niemożności jego dostarczenia, informowanie nadawcy o poprawności dostarczenia komunikatu do odbiorcy.

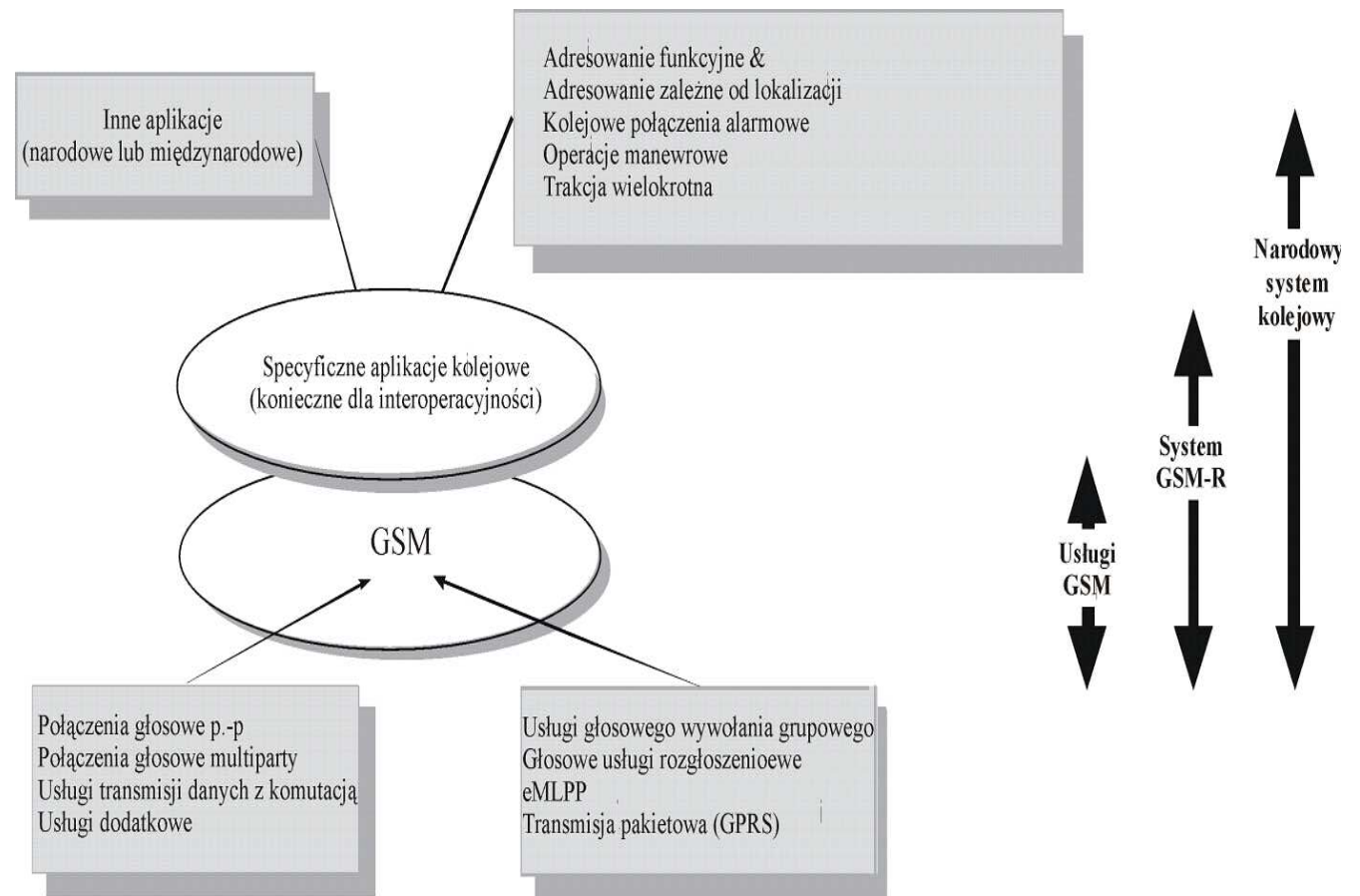
2. Transmisja danych poprzez łącza komutowane SDT (*Switched Data Transfer*). Transmisja taka polega na zestawieniu połączenia między terminalami na określonym kanale na cały czas trwania przesyłu danych. Transmisja SDT umożliwia osiągnięcie prędkości przesyłu danych 9,6 kbit/s. Do zwiększenia szybkości przesyłu wykorzystywany jest standard HSCSD, którym istnieje możliwość przesyłu danych z prędkością do 57,6 kbit/s.

¹ E-FRS — [EIRENE Functional Requirements Specification].

² E-SRS — [EIRENE System Requirements Specification].



Rys. 3. Idea platformy GSM-R [5, 15]



Rys. 4. Zakres systemu GSM-R w odniesieniu do funkcji realizowanych przez GSM [9]

3. Pakietowa transmisja danych — GPRS opiera się na komutacji pakietów, które są transmitowane przez wspólny kanał. Dzięki temu informacja jest dzielona na porcje (pakiety) opatrzone adresem, które następnie są wysyłane do sieci. W miejscu przeznaczenia pakiety są odbierane i łączone. W ten sposób kanał przydzielany jest na żądanie i może być wykorzystywany równocześnie przez wielu użytkowników. Rozwiązanie to charakteryzuje się dużą prędkością przesyłania danych. Ważne jest to, że GPRS może działać równoległe z klasycznym przesyłaniem danych w GSM.

Każdy z wymienionych sposobów transmisji różni się kosztem i charakteryzuje innymi właściwościami. Transmisja SMS nadaje się do przesyłania niewielkiej liczby danych z małą częstotliwością (kilkaset pakietów na dobę). Wybierając transmisję SMS trzeba pamiętać o możliwości powstania opóźnień w dostarczaniu komunikatów. Zwykle opóźnienia takie wynoszą kilka sekund, ale mogą zwiększyć się nawet do kilku dni.

Jeżeli jest konieczna transmisja przy minimalnych opóźnieniach przesyłu, a liczba danych jest znaczna (np.: transmisja plikowa), odpowiednią formą jest transmisja przez łącze komutowane.

Ostatnia z wymienionych form transmisji — GPRS nadaje się do transmisji danych, których liczba nie jest zbyt wielka, a jednocześnie jest ważny czas zestawiania połączenia (w standardzie GPRS terminal może być cały czas połączony z siecią bez ponoszenia kosztów za połączenia i może przysyłać dane w dowolnym czasie). W transmisji GPRS opłaty są pobierane jedynie za liczbę przesłanych danych.

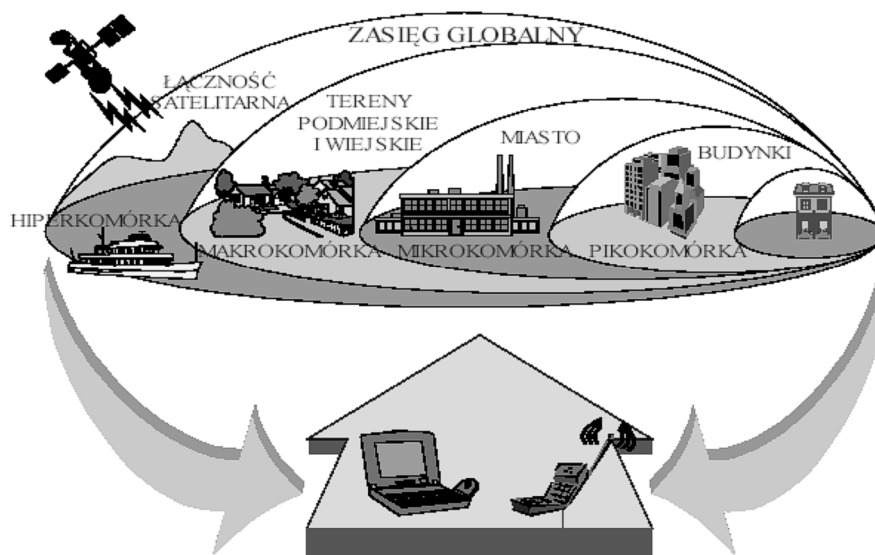
Podczas wdrażania technologii GSM na PKP powstaną poważne problemy do pokonania, ponieważ równoległe wykorzystywanie pasm 150 MHz (obecne pasmo radiotelefonii kolejowej FM) i 900 MHz jest mniej korzystne niż pasm 450 MHz (dla łączności na kolejach zachodnich) i 900 MHz. Warunki propagacyjne dla pasm 450 MHz i 900 MHz są prawie identyczne, więc na liniach zachodnioeuropejskich, przy wprowadzaniu urządzeń systemu 900 MHz, będzie można wykorzystać pomieszczenia i maszty antenowe po urządzeniach pasma 450 MHz [7].

3.2. System UMTS

W roku 2004 rozpoczęto testowanie przez sieci telefonii komórkowej systemu 3G, zwanego potocznie systemem UMTS, który ma stać się naturalnym następcą znanego już systemu GSM. System ten realizuje następujące zadania:

- 1) usługowe — transmisja danych, dostęp do Internetu, transmisja w trybach komutacji łączy i komutacji pakietów, transmisja mowy z wysoką jakością dźwiękową, usługi czasu rzeczywistego, usługi lokalizacyjne;
- 2) funkcjonalne — roaming światowy, dostęp do usług na obszarach bez pokrycia radiowego z użyciem łączy satelitarnych, możliwość realizacji różnych usług;
- 3) realizacyjne — efektywne wykorzystanie widm sygnału, wysoki poziom bezpieczeństwa przekazywanych informacji, otwarta architektura sieciowa, skalowalność sieci przez możliwość jej rozbudowy.

Na rysunku 5 przedstawiono środowisko, w którym jest realizowany system UMTS. System ten ma zasięg ogólnosiwiatowy, co może stać się jego podstawową zaletą podczas wdrażania. Dodatkowo umożliwia on znaczne rozbudowanie usług w porównaniu z dotychczas oferowanymi przez sieci komórkowe. W tablicy 3 przedstawiono rodzaje usług oraz teoretyczne zasięgi komórek przy zastosowaniu standardowego łącza systemu UMTS.



Rys. 5. Środowisko systemu UMTS [11]

Tablica 3

Klasy komórek i zakres dostępu do usług [11]

	Pikokomórka	Mikrokomórka	Makrokomórka	Hiperkomórka
Klasa komórki	wnętrza budynków, obiekty handlowe	tereny miejskie z dużymi skupiskami ludności	tereny miejskie z niewielkimi skupiskami ludności i tereny wiejskie	obszary mórz i oceanów, pustynie, obszary góryste
Promień komórki	<100 m	<1 km	<20 km	300—800 km (satelity LEO, MEO) 4000—5000 km (GEO)
Dostępność do usług	wszystkie	liczny podzbiór	usługi podstawowe	usługi podstawowe

W tablicy podano również przybliżony zakres usług dostępnych w obszarze określonym promieniem komórki. Pełne możliwości będą znane po całkowitym uruchomieniu systemu. Zastosowanie tego systemu na kolei może w znaczny sposób usprawnić dotychczasowe metody łączności w relacji *pojazd—nastawnia*, a także w obrębie samego pociągu.

4. WYKORZYSTANIE SYSTEMU GPS NA KOLEI

4.1. Wymagania dla systemów lokalizacji i identyfikacji

Mówiąc o podsystemach służących do określania pozycji mamy przeważnie na myśli infrastrukturę przytorową o wysokich kosztach utrzymania. Zestawienie tych podsystemów zawiera tablica 4. Najnowsza specyfikacja dotyczy podsystemu wymienionego w ostatnim wierszu tablicy (jednostka pomiaru drogi z wykorzystaniem balisy). Będzie to przyszły system lokalizacji.

Tablica 4

Podsystemy do określania pozycji na podstawie opracowania [16]

Podsystem	Podanie lokalizacji	Lokalizacja ze strony	Informacja o położeniu		
			treść	rozdzielczość [m]	dokładność (wzdłuż) [m]
Obwód torowy	odcinkowe,	toru	pozycja	odstęp 10 1000	1,0
Czujnik torowy	punktowe, pociąg	toru	pozycja	każda pozycja	1,0
Licznik osi	odcinkowe, pociąg	toru	pozycja	odcinek >50	1.0
Pomiar drogi w systemie LZB	liniowe, dowolny punkt	toru i pojazdu	pozycja, droga	12,5	300,0
Prowadzenie ruchu	punktowe, pociąg	toru	pozycja	toru	odcinek zgłaszany
Jednostka miary drogi plus balisa	liniowe, dowolny punkt	toru i pojazdu	droga, prędkość	0,1	30 —100

Aby pokładowy system lokalizacji pojazdów nadawał się do istotnych dla bezpieczeństwa zastosowań w kierowaniu i sterowaniu pojazdami w technice srk musi spełnić najwyższe wymagania. Konieczne jest opracowanie autonomicznego, pokładowego systemu lokalizacji o łatwej dostępności, dużej dokładności i wysokim poziomie bezpieczeństwa informacji, który zawierałby system satelitarny jako jeden z elementów.

System lokalizacji powinien umożliwiać przeprowadzenie dowodu bezpieczeństwa. Przez redukcję wymagań można wyprowadzić koncepcje systemowe jako rozwiązania dla wszystkich zastosowań.

Taki system lokalizacji pojazdów musi spełniać następujące wymagania [3]:

- ciągłość — jest konieczne uzyskanie informacji o położeniu w każdym momencie i w każdym miejscu, niezależnie od sytuacji ruchowej;
- aktualność — oznacza krótkie czasy odpowiedzi systemu, wynikające z danego zastosowania;
- dostępność — całkowite lub częściowe przesłonięcie sygnału satelitarnego (np. przez tunel lub wiatę) nie może powodować utraty informacji o położeniu.

System lokalizacji musi więc mieć dostęp do dodatkowych źródeł informacji, które charakteryzują się następującymi parametrami [3]:

1. Bezpieczeństwo informacji. W razie wystąpienia przerwy w realizacji funkcji uwzględnionej w specyfikacji (lokalizacji), co może być spowodowane niedostateczną dostępnością systemu lokalizacji lub awarią jednego z jego komponentów, system lokalizacji musi taką sytuację rozpoznać i przesłać wiadomość o jej wystąpieniu. System lokalizacji musi więc dysponować niezależnymi źródłami informacji, aby było możliwe sprawdzenie bezpieczeństwa informacji.

2. Dokładność. Wymaganie to zawiera w sobie dwa warunki. Musi być możliwe określenie selektywności toru w poprzek do kierunku jazdy, tzn. jednoznaczne przyporządkowanie informacji o położeniu do danego toru. Konieczne jest uzyskanie informacji z dokładnością do 2 m. Dokładność wzdłuż kierunku jazdy wynosi około 6 m. Odpowiednio do tych wymagań systemowych istnieje konieczność opracowania takiego rozwiązania technicznego, które spełni specyficzne dla kolei warunki brzegowe i wykrzysta istotne cechy systemów satelitarnych.

4.2. Systemy lokalizacji i śledzenia taboru kolejowego (GPS/GSM, AVI)

Sprawdzonym i efektywnym narzędziem wspomagania procesu przewozowego są systemy lokalizacji i śledzenia pojazdów szynowych i ładunków (rys. 6). Zastosowanie tego typu systemów umożliwia:

- optymalizację wykorzystania taboru i zasobów ludzkich,
- nadzór procesu przewozowego w czasie rzeczywistym (dostawy *just in time*),
- ogólną poprawę jakości usług i satysfakcji klienta,
- automatyzację wprowadzania informacji identyfikacyjnych — uniknięcie kosztownych błędów ludzkich.

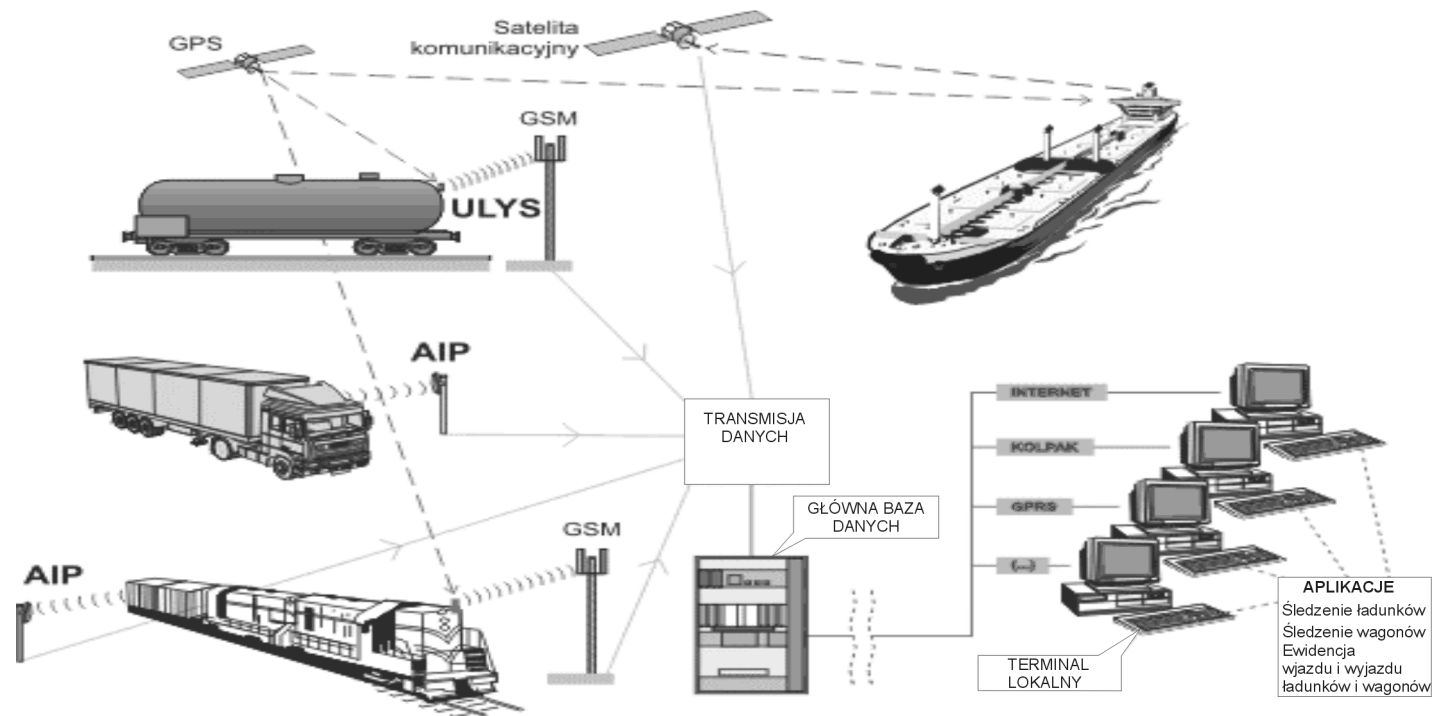
Systemy lokalizacji i śledzenia pojazdów szynowych i ładunków bazują na dwóch uzupełniających się technologiach:

- 1) Automatycznej Identyfikacji Pojazdów (radioidentyfikacja);
- 2) pozycjonowania satelitarnego GPS.

Połączenie tych systemów umożliwia stworzenie optymalnego ekonomicznie i technicznie systemu śledzącego.

Eksplloatowane przez wiodące technicznie zarządy kolejowe od połowy lat dziewięćdziesiątych systemy Automatycznej Identyfikacji Pojazdów (AIP) bazują na technologii amerykańskiej firmy *Amtech* (obecnie *TransCore*), spełniającej standardy UIC oraz AAR w transporcie kolejowym i ISO, ANSI i CEN w transporcie kontenerów. Niezawodne i ekonomicznie uzasadnione rozwiązania znalazły powszechne zastosowanie; przewoźnicy kolejowi i intermodalni wdrożyli na całym świecie systemy AIP, instalując ponad 3 500 000 identyfikatorów na pojazdach oraz ponad 5000 punktów odczytujących oraz odczytująco-zapisujących. Systemy pozycjonowania satelitarnego GPS, uzupełnione przez radiowe lub satelitarne technologie transmisji danych (GSM, *OrbCom*, *Inmarsat*) zaczynają wchodzić do eksploatacji, zwłaszcza dla monitorowania przewozów międzynarodowych oraz śledzenia pojazdów trakcyjnych.

Technologia AIP (radioidentyfikacja) jest wykorzystywana tam, gdzie techniki satelitarne mają ograniczenia ze względu na charakterystykę terenu, np. tunele, bądź są zbyt kosztowne, np. kontrola przepływu pojazdów i kontenerów w bazach terminalowych, śledzenie pociągów i wagonów w ruchu krajowym i lokalnym.



Rys. 6. Systemy śledzenia środków transportu [2]

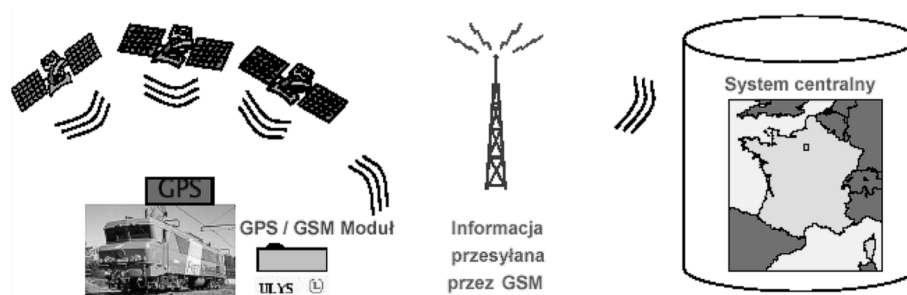
4.3. System zarządzania taborem trakcyjnym ULYS

System zarządzania taborem kolejowym [13] można wykorzystać do:

- kontroli lokomotyw i wagonów;
- optymalizacji ruchu;
- informowania klientów;
- zwiększenia doświadczenia na temat ruchu i eksploatacji taboru kolejowego.

Moduł ULYS L (rys. 7) co 15 minut ustala położenie lokomotyw oraz innych środków transportu, pracujących pod nadzorem tego systemu, za pomocą systemu nawigacji satelitarnej. Moduł ten wykrywa obiekty z zainstalowanymi urządzeniami systemowymi, będącymi zarówno na postoju, jak i w ruchu. Informacja ta co 45 minut jest przekazywana do systemu centralnego (rys. 8, 9), gdzie na mapie cyfrowej są oznaczane obiekty z podaniem ich identyfikatora, statusu ruchu, przeznaczenia. Zalety tego systemu są następujące:

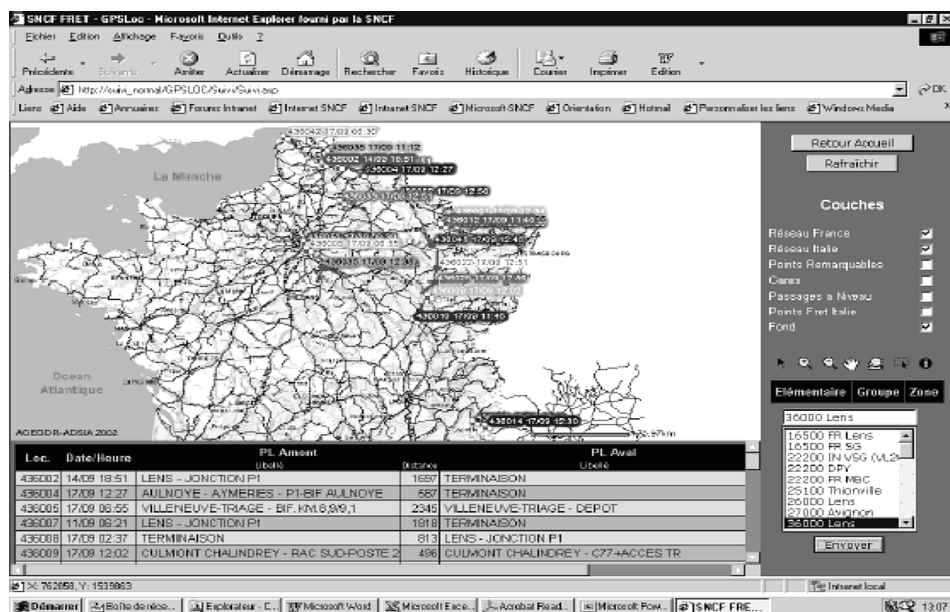
- nie ingeruje w istniejącą infrastrukturę kolejową,
- nie wymaga obsługi, brak konsoli na pulpicie maszynisty,
- używa wbudowanych baterii (działających 12÷18 miesięcy), nie wymaga podłączenia do istniejącej instalacji elektrycznej lokomotywy,
- łatwa instalacja.



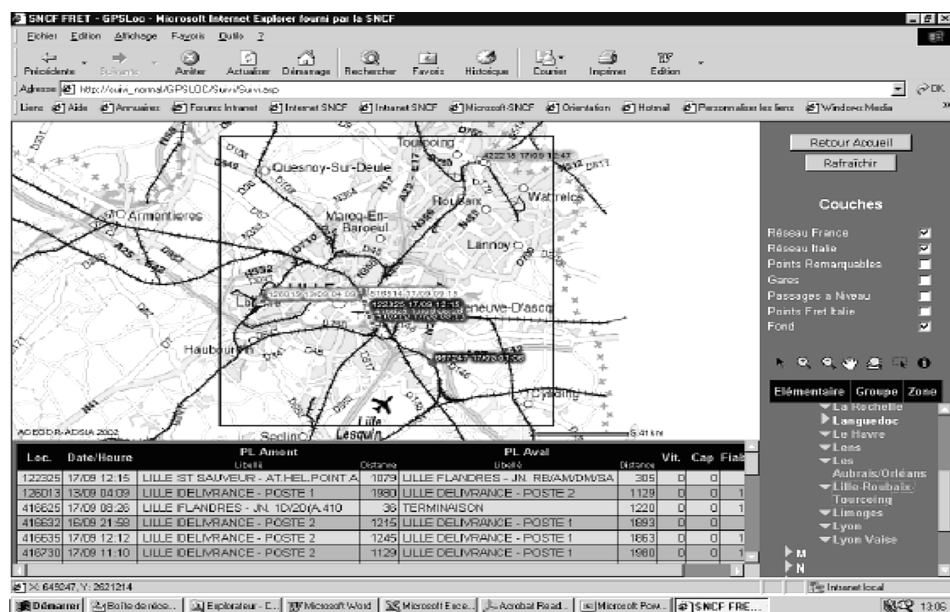
Rys. 7. Zasada działania systemu ULYS

System ten z powodzeniem został zainstalowany na lokomotywach SNCF (z wyjątkiem lokomotyw na stacjach rozrządowych). Architektura tego systemu jest oparta na architekturze WEB, tzn. każdy operator ma dostęp do systemu przez standardową przeglądarkę WEB. Do kluczowych elementów systemu można zaliczyć:

- lokalizację lokomotyw — operator,
- nadzór nad funkcjami komunikacji — kierownik,
- administracja uprawnieniami operatorów — administrator.



Rys. 8. Ekran pulpitu nadzorującego — śledzenie grupy lokomotyw



Rys. 9. Ekran pulpitu nadzorującego — śledzenie wszystkich lokomotyw na obszarze

5. WNIOSKI

Zadaniem tego artykułu nie jest przedstawienie gotowego rozwiązania, związanego z zastąpieniem proponowanego na kolei systemu GSM-R systemem UMTS-R czy wykorzystania GPS do sterowania ruchem kolejowym. Artykuł ten w zamierzeniu autora miał przedstawić dzień dzisiejszy oraz nowe technologie w radiołączności i nawigacji.

Z analizy rynku telekomunikacyjnego wynika, że technologie zmieniają się co dekadę. Natomiast kolej wymaga stabilnego i pewnego środka łączności, który zapewni niezawodność zarówno w sterowaniu ruchem, jak też w łączności dyspozytorskiej i służb technicznych.

Zastosowanie systemów satelitarnych powoli zaczyna wkraczać w obszar sterowania ruchem kolejowym. W wyniku przeprowadzonej analizy i przedstawionych rozwiązań można wymienić obszary, w których system GPS może znaleźć (lub już znalazł) zastosowanie na kolei:

- synchronizacja sieci telekomunikacyjnej,
- prowadzenie ruchu pociągu na liniach mało obciążonych,
- wprowadzenie ruchomego odstępu blokowego,
- kontrola końca pociągu,
- monitorowanie pociągu oraz przesyłek,
- informacje dla podróżnych,
- organizacja dystrybucji wagonów,
- organizacja pracy obsługi pociągów,
- dokumentowanie procesu ruchowego,
- tworzenie rzeczywistych zestawień analitycznych, służących do rozliczeń między klientami.

Oczywiście artykuł ten nie wyczerpuje całkowicie tematyki łączności na kolei oraz problemów z nią związanych. Nadal otwarta zostaje sprawa wykorzystania GPS jako źródła jednolitego czasu dla kolejowych systemów łączności i transmisji danych.

BIBLIOGRAFIA

1. *Bielecki Z.*: Łączność panaeuropejska. *Nowe Sygnały*. 2001 nr 29.
2. *Chrzan M.*: Ocena możliwości wykorzystania systemu GPS do automatycznego prowadzenia ruchu kolejowego. Zeszyty Naukowe, PR. Radom 2004.
3. *Dyduch J., Pawlik M.*: Systemy automatycznej kontroli jazdy pociągu. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2002.
4. *Jackowski S.*: Teoretyczne podstawy funkcjonowania systemów z rozproszonym widmem SS/DS. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 1998.
5. *Januszewski J.*: Systemy satelitarne w nawigacji morskiej. AM Gdynia, 2002.
6. *Lewiński A., Sokołowska L.*: Szybka transmisja danych w systemach komórkowych z ukierunkowaniem na zarządzanie i sterowanie ruchem w transporcie. Transcomp 2003. Zakopane 2003.
7. *Lewiński A., Utkowski P.*: Satelitarne systemy nadzoru obiektów ruchomych. Transcomp 2003. Zakopane 2003.
8. *Markowski R.*: Stan obecny radiołączności PKP — problemy i wyzwania. Referat wygłoszony na seminarium „Radiołączność w kolejnictwie: wczoraj — dziś — jutro”. Warszawa 2003.

9. *Masikowski P.*: Nowoczesne systemy sterowania i zarządzania ruchem kolejowym. Referat wygłoszony w trakcie seminarium w dniu 5 listopada 1999 r. CNTK. Warszawa 1999.
10. *Masikowski P., Michalski J.*: Projekt wymagań funkcjonalnych na system GSM-R. Zakład Teleinformatyki CNTK. Warszawa 2001.
11. Materiały firmowe sieci komórkowej ERA — www.eragsm.pl.
12. Materiały konferencyjne firmy SIEMENS. www.siemens.com.pl.
13. Materiały reklamowe firmy TENS.
14. Materiały ze strony internetowej Telekomunikacji Kolejowej Spółki z o.o. www.tktelekom.pl (styczeń 2004).
15. *Radziszewski W., Stirmer J.*: Rola, potrzeby i możliwości rozwoju systemu łączności radiowej GSM-R w procesie modernizacji polskiego transportu kolejowego oraz tworzenia warunków interoperacyjności dla integracji z kolejami UE. Referat wygłoszony na seminarium „Radiołączność w kolejnictwie: wczoraj — dziś — jutro”. Warszawa 2003.
16. *Telekomunikacja i Sterowanie Ruchem*. 1999, nr 2.