

**Mateusz Domański\***  <https://orcid.org/0000-0002-7997-8786>

Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi

e-mail: [domanski12@o2.pl](mailto:domanski12@o2.pl)

**Maciej Puchała\*\***  <https://orcid.org/0000-0001-7723-1913>

Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi

e-mail: [m\\_puchala@wp.pl](mailto:m_puchala@wp.pl)

## Innowacyjne systemy sterowania ruchem kolejowym stosowane na sieci PKP – cz. I

[https://doi.org/10.25312/2391-5129.34/2022\\_06mdmp](https://doi.org/10.25312/2391-5129.34/2022_06mdmp)

W artykule zaprezentowano wybrane nowoczesne systemy sterowania ruchem kolejowym stosowane na sieci PKP. Zaprezentowano także, z czym wiąże się Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności (TSI) oraz w jakim zakresie dotyczy zagadnienia sterowania ruchem kolejowym. Omówiono podstawowe różnice w zakresie poziomów systemu ERTMS/ETCS oraz zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa. Zastosowanie nowoczesnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym jest podsumowaniem rozwoju kolei pod kątem technicznym i organizacyjnym, mającym na celu poprawę poziomu bezpieczeństwa na sieci kolejowej oraz zapewnienie interoperacyjności systemów kolejowych.

**Słowa kluczowe:** sterowanie ruchem kolejowym, bezpieczeństwo ruchu pociągów, interoperacyjność

---

\* Inż. Mateusz Domański – absolwent studiów inżynierskich na Wydziale Techniki i Informatyki w Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi, autor pracy dyplomowej *System ETCS i jego wpływ na ruch pociągów* (Domański, 2022).

\*\* Dr inż. Maciej Puchała – adiunkt w Katedrze Systemów Transportu na Wydziale Techniki i Informatyki Akademii Humanistyczno-Ekonomicznej w Łodzi, promotor pracy dyplomowej *System ETCS i jego wpływ na ruch pociągów* (Domański, 2022).

## Wprowadzenie

Transport kolejowy jest coraz ważniejszą gałęzią transportu. Obecność wysokorozwiniętej kolei wspomaga rozwój miast i aglomeracji, wpływa na zwiększenie atrakcyjności regionu oraz poprawia jakość życia mieszkańców. W obecnych czasach gdy coraz bardziej zwraca się uwagę na transport oraz wykorzystywane do niego pojazdy w aspekcie organizacyjnym i ekologicznym, kolej staje się coraz ważniejszym elementem systemu transportowego w znaczeniu europejskim. Postrzeganie kolei jako atrakcyjnego i coraz bardziej konkurencyjnego środka transportu nie byłoby możliwe, gdyby nie liczne inwestycje w poprawę jakości infrastruktury. Dzięki modernizacjom, stosowaniu nowoczesnych urządzeń i technologii kolej staje się coraz bezpieczniejszym i szybszym środkiem transportu. Z uwagi na wzrost znaczenia kolei w Europie dąży się do likwidacji barier technicznych w aspekcie sterowania ruchem kolejowym wśród państw członkowskich UE, między którymi kolej będzie tworzyć transeuropejską sieć kolejową TEN-T. Dla zapewnienia interoperacyjności (*Interoperacyjność systemu kolei*, 2021) systemów kolejowych stosuje się system ERTMS/ETCS korzystający z nowoczesnej łączności cyfrowej GSM-R (ang. *GSM for Railways*). Jego zastosowanie oprócz interoperacyjności systemów kolejowych warunkuje poprawę bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

W części I artykułu przedstawiono podstawowe zasady prowadzenia ruchu kolejowego, założenia interoperacyjności, a także komputerowe systemy sterowania ruchem kolejowym spotykane na sieci PKP, natomiast w części II pokazano działanie komputerów zależnościowych jako elementów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo całego systemu.

## Zasady bezpiecznego prowadzenia ruchu pociągów

Podstawowe zasady dotyczące prowadzenia ruchu pociągów zawarte są w dokumencie pt. *Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1*. Opisuje on schemat postępowania w przypadkach szczególnych, zasady prowadzenia ruchu pociągów z uwzględnieniem różnych sytuacji ruchowych oraz urządzenia dbające o bezpieczeństwo i wspomagające prowadzenie ruchu. Z uwagi na wprowadzanie coraz to nowych technologii, takich jak system ERTMS/ETCS, powstały następujące instrukcje dodatkowe: *Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów z wykorzystaniem systemu ERTMS/ETCS poziomu 1 Ir-1a* oraz *Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów z wykorzystaniem systemu ERTMS/ETCS poziomu 2 Ir-1b*. Wariant *a* dotyczy poziomu pierwszego ERTMS/ETCS, wariant *b* – poziomu drugiego systemu ERTMS/ETCS.

Prowadzenie ruchu kolejowego wymaga odpowiedniej wiedzy z zakresu obsługi urządzeń SRK (sterowania ruchem kolejowym) oraz przepisów (wspomnianych wyżej instrukcji). Postępowania uwzględniające warunki miejscowe zawarte są także

w regulaminach technicznych, których treść musi znać personel odpowiadający za prowadzenie ruchu kolejowego.

Personel odpowiedzialny za prowadzenie ruchu pociągów korzysta z urządzeń technicznych znajdujących się na posterunku ruchu, dzięki którym zapewniony jest odpowiednio wysoki poziom bezpieczeństwa.

## **Podstawowe zasady prowadzenia ruchu kolejowego**

Urządzenia wykorzystywane przez personel (dyżurnych ruchu) umożliwiają prowadzenie ruchu na stacjach oraz szlakach. Zgodnie z obowiązującymi przepisami pociągi kursują po torze prawym na szlakach dwutorowych, patrząc w kierunku wzrostu kilometrowania. Wyjątkiem może być szlak, który będzie umożliwiał jazdę po więcej niż dwóch torach, wówczas tor zasadniczy dla danego kierunku jazdy określa obowiązujący regulamin techniczny. Na każdym odstępie może znajdować się jeden pociąg. Szlak kolejowy może być podzielony na kilka odstępów, w takich przypadkach przepustowość znacząco wzrasta poprzez możliwość wyprawienia większej liczby pociągów. Bezpieczeństwo na szlakach zapewniają urządzenia techniczne nazywane blokadą liniową. Blokadę możemy podzielić na blokadę półsamoczną oraz samoczną (stosowaną na przykład na szlakach wieloodstępowych). Dzięki niej możliwe jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Prawidłowo działające bloki są podstawą do prowadzenia ruchu, za ich pomocą ustala się, czy dany tor jest wolny. Blokada może znaleźć także zastosowanie na stacjach jako blokada stacyjna. Stosuje się ją w przypadku obecności wielu okręgów nastawczych na stacji w celu zapewnienia bezpieczeństwa i ergonomii pracy. Przykładem może być stacja, na której z jednej strony jest nastawnia dysponująca, a z drugiej wykonawcza, wówczas stacja posiada dwa okręgi nastawcze. Takie rozwiązanie było zwykle stosowane w przypadku starszego typu urządzeń. Blokada stacyjna umożliwiała wyświetlenie sygnału zezwalającego na jazdę dla pociągu przez nastawniczego nastawni wykonawczej od decyzji dyżurnego ruchu będącego na nastawni dysponującej. Obecnie, kiedy stosowane są nowoczesne urządzenia komputerowe, mówimy już o okręgu sterowania (okręgu nastawczym), w którego skład mogą wchodzić szlaki i inne stacje na obszarze zdalnego prowadzenia ruchu.

W przypadku wszystkich urządzeń SRK kluczowe są zależności, dzięki którym możliwe jest bezpieczne sterowanie. Jest to określenie spotykane zarówno w urządzeniach mechanicznych, jak i nowoczesnych komputerowych. Podstawowym zadaniem urządzeń jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa. Możliwe jest to do osiągnięcia dzięki zależnościom. Pojęcie to oznacza uzależnienie podania sygnału zezwalającego na jazdę i wyświetlonego na semaforze od położenia rozjazdów, wykolejnic oraz innych elementów wchodzących w skład drogi przebiegu i wchodzących do zależności dla danej drogi. Uzależniania stosuje się pomiędzy wspomnianymi okręgami nastawczymi na stacji oraz między sąsiednimi posterunkami ruchu

(na przykład poprzez blokadę liniową lub stacyjną). Urządzenia sterowania ruchem kolejowym są urządzeniami pracującymi wedle określonych zależności, które należy zdefiniować w sposób ścisły i jednoznaczny, zapisując w pamięci komputera (*Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1*, 2017).

Okręg sterowania obszarem, obejmujący wiele stacji (zdalnie sterowanych), dotyczy posterunków typu LCS (Lokalne Centrum Sterowania), na których sterowanie zdalne odbywa się poprzez dalekosiężną transmisję sygnałów cyfrowej transmisji danych poprzez linie światłowodowe w topologii magistrali lub pierścienia, dzięki którym zapewniona jest wysoka przepustowość. Zastosowanie linii światłowodowych umożliwia przesyłanie informacji na duże odległości, zapewnia przy tym odporność na zakłócenia i podsłuch transmisji, osiągając odpowiedni poziom bezpieczeństwa transmisji sygnałów (Wontorski, Kochan, 2020: 100).

### **Podejście UE do problemu – sformułowane zasady interoperacyjności w sterowaniu ruchem pociągów (ERTMS/ETCS)**

W obecnych czasach kolej zyskuje na znaczeniu w skali europejskiej oraz globalnej. Z uwagi na ten fakt widoczne są liczne inwestycje w ten środek transportu. W przypadku Unii Europejskiej kolej jest bardzo ważnym elementem wpływającym na rozwój gospodarczy. Z analiz przeprowadzonych przez Komisję Europejską w zakresie rozwoju wynika, że sprawny transport to warunek konieczny do zapewnienia dobrobytu oraz utrzymania pozycji UE na arenie międzynarodowej. Jednym z elementów mających na celu osiągnięcie założonego celu jest wspólna europejska sieć kolejowa zapewniająca wysokie parametry techniczne, dzięki którym spełnione zostaną założenia interoperacyjności. Osiągnięcie założonej interoperacyjności będzie możliwe po pokonaniu barier technicznych między systemami kolejowymi. Transport kolejowy jest bardzo ważnym elementem planu tak zwanej Białej Księgi. Podstawowym jej założeniem jest stworzenie konkurencyjnego i ekologicznego systemu transportowego. Stworzenie wspólnej europejskiej kolei wymaga wyeliminowania barier technicznych występujących między poszczególnymi systemami kolejowymi, wynikających z rozwoju tych systemów niezależnie od siebie i zastosowania różnych rozwiązań technicznych. Różnice te powodują konieczność zmiany lokomotyw na granicy państw, co wiąże się ze wzrostem kosztów oraz wydłużeniem czasu jazdy.

Wdrożenie Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) jest procesem wieloletnim oraz wieloetapowym. Wymaga licznych kosztownych inwestycji w infrastrukturę kolejową na poziomie europejskim. W dokumencie TSI wyznaczono cele oraz terminy ich wdrożenia, dzięki czemu zarządcy infrastruktury mogą rozplanować inwestycje w czasie. Osiągnięcie celów i założeń TSI oznacza usunięcie przeszkód technicznych, administracyjnych oraz prawnych (osiągnięcie pełnej interoperacyjności). W celu pokonania barier technicznych między systemami kolejowymi powstał

system ERTMS/ETCS. Polska jako państwo wspólnotowe zobowiązała się do wdrożenia systemu ERTMS/ETCS zgodnie z art. 6 ust. 4 Rozporządzenia Komisji (UE) nr 2016/919 z dnia 27 maja 2016 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” systemu kolei w Unii Europejskiej, zwanym dalej TSI CCS (*Control-Command and Signalling*) (*Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017).

System ERTMS/ETCS zgodnie z TSI CCS jest systemem kontroli jazdy pociągu klasy A, łączność cyfrowa GSM-R jest systemem łączności klasy A. Dla porównania obecnie w Polsce eksploatuje się systemy klasy B. Jest to system samoczynnego hamowania pociągu (SHP) oraz system łączności VHF 150 MHz z funkcją radiostop (*Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017).

System kolei w celu ułatwienia wdrożenia interoperacyjności został podzielony na podsystemy strukturalne i funkcjonalne. W skład podsystemu strukturalnego wchodzi infrastruktura, energia, sterowanie, tabor. Podsystem funkcjonalny to utrzymanie ruchu kolejowego, aplikacje telematyczne (*Interoperacyjność systemu kolei*, 2021).

Zastosowanie systemu ERTMS/ETCS znacząco poprawi bezpieczeństwo ruchu pociągów oraz przyczyni się do stworzenia interoperacyjnej transeuropejskiej sieci kolejowej (TEN-T – od. ang. *Trans-European Transport Network*). Projekt sieci TEN-T składa się z dwóch części, bazowej oraz kompleksowej. Sieć bazowa wymaga wdrożenia systemu ERTMS/ETCS zgodnie z terminami dla wyznaczonych korytarzy do 31 grudnia 2030 roku. Sieć kompleksowa musi być wyposażona w system ERTMS/ETCS do 31 grudnia 2050 roku, jednak nie ma wyznaczonych konkretnych terminów dla poszczególnych korytarzy wchodzących w jej skład. Szczegóły wdrożenia ERTMS/ETCS dla sieci bazowej zawarte są w rozporządzeniu wykonawczym Komisji nr 2017/6, w której zawarto konkretne daty wdrożenia ERTMS/ETCS dla poszczególnych linii kolejowych. Wszystkie te inwestycje nie tylko zapewnią odpowiedni poziom interoperacyjności, ale także znacząco podniosą poziom kultury bezpieczeństwa na sieci kolejowej (*Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017: 9).

**Tabela 1. Przykładowy koszt wdrożenia ERTMS/ETCS**

Przykładowe koszty wdrożenia systemu ERTMS/ETCS	
ERTMS/ETCS poziom 1	260 000 zł na jednym kilometrze linii
ERTMS/ETCS poziom 2	485 000 zł na jednym kilometrze linii
System łączności GSM-R	205 000 zł na jednym kilometrze linii

Źródło: *Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017.

Europejski System Kontroli Jazdy Pociągu – ETCS (od ang. *European Train Control System*) jest systemem, który wraz z systemem radiołączności kolejowej GSM-R wchodzi w skład systemu ERTMS (od ang. *European Railway Traffic Management System* – Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym). Zadaniem systemu ETCS jest umożliwienie prowadzenia pociągów na europejskiej sieci kolejowej. Wynika to z faktu zróżnicowania na europejskiej sieci kolejowej urządzeń przekazywania informacji z toru do pojazdu oraz sygnalizacji. Wdrożenie systemu ERTMS/ETCS zapewni interoperacyjność systemów kolejowych.

## **Podział ERTMS/ETCS w zależności od poziomu wraz z możliwościami technicznymi (Dąbrowa-Bajon, 2014: 347)**

### **ERTMS/ETCS poziom 1**

Następstwo jazdy pociągów – 3 min.

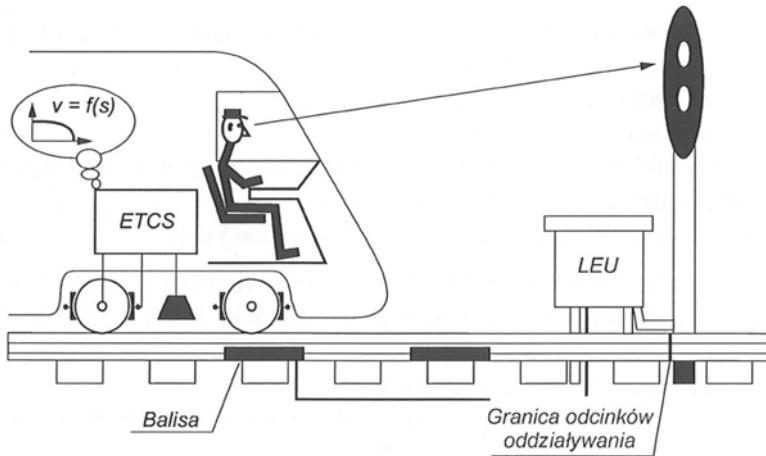
Przepustowość – 20 pociągów na godz.

V<sub>max</sub> – 160 km/h.

W ETCS 1 występuje zróżnicowane wyposażenie techniczne w zakresie uaktualnienia informacji. Możemy wyróżnić ERTMS/ETCS 1 bez uaktualnienia, wówczas transmisja opiera się na przekazywaniu zezwoleń na jazdę do pojazdu poprzez sygnalizatory świetlne. Do sygnalizatora dołączona jest balisa<sup>1</sup>, która transmituje informację o zezwoleniu na jazdę zależnie od wskazań sygnalizatora. Pojazd, przejeżdżając nad balisą, odbiera sygnał, a następnie poprzez urządzenia pokładowe przetwarza go w celu wizualizacji informacji o sposobie prowadzenia pociągu przez maszynistę. W przypadku opisywanego wariantu istnieje możliwość zainstalowania dodatkowej balisy uaktualniającej informację o sposobie jazdy. Uaktualnieniu przez dodatkowe balisy pozwala na zwiększenie przepustowości szlaku. Nie jest to jedyne rozwiązanie uaktualniające, drugą możliwością jest uaktualnienie przez pętlę. W tym przypadku pętla umożliwia ciągłą transmisję danych na odcinku zbliżania się do semafora, co pozwala na rezygnację z sygnalizatorów przytorowych.

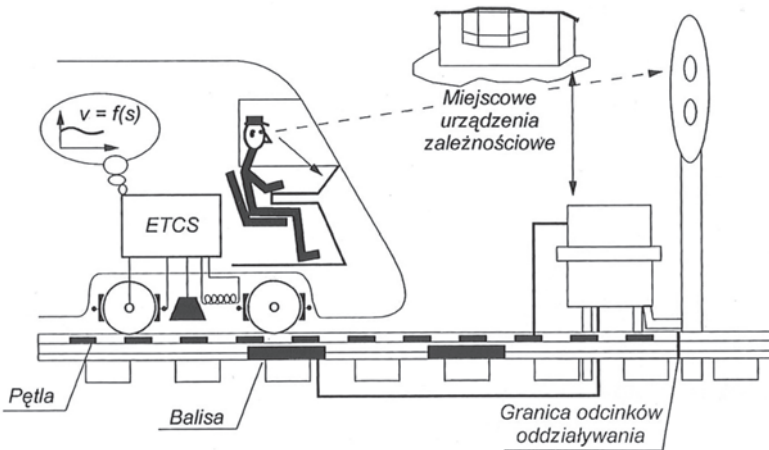
---

<sup>1</sup> Balisa – pasywny transponder torowy zabudowywany między tokami szynowymi, służący do przekazywania informacji do urządzeń pojazdowych w momencie przejazdu nad nim pojazdu kolejowego za pomocą bezprzewodowej transmisji cyfrowej.



Rysunek 1. Poziom 1 systemu ERTMS/ETCS bez funkcji uaktualnienia informacji

Źródło: Dąbrowa-Bajon, 2014: 348.



Rysunek 2. Poziom 1 systemu ERTMS/ETCS z uaktualnieniem przez pętlę

Źródło: Dąbrowa-Bajon, 2014: 349.

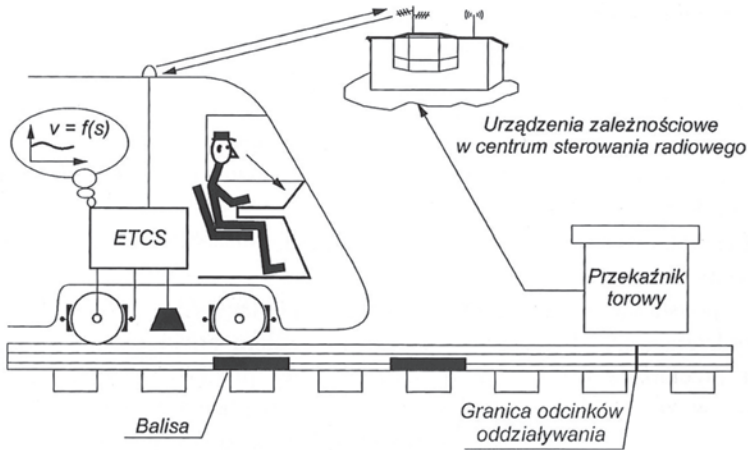
## ERTMS/ETCS poziom 2

Następstwo jazdy pociągów – 2,5 min.

Przepustowość – 24 pociągi na godz.

$V_{max}$  – 300 km/h.

ERTMS/ETCS poziom 2 wymaga łączności cyfrowej GSM-R, dzięki której transmituje się zezwolenia na jazdę między centrum sterowania a pojazdem, jednocześnie wykorzystując tradycyjne techniki kontroli niezajętości torów (na przykład oparte na licznikach osi), w celu przygotowania tych zezwoleń z wykorzystaniem urządzeń SRK warstwy podstawowej. Balisy w poziomie 2 wykorzystywane są do przekazywania informacji stałych w celu lokalizacji pociągu.



Rysunek 3. Poziom 2 systemu ERTMS/ETCS

Źródło: Dąbrowa-Bajon, 2014: 349.

### ERTMS/ETCS poziom 3

Następstwo jazdy pociągów – 2 min.

Przepustowość – 30 pociągów na godz.

$V_{max}$  – 500 km/h.

ERTMS/ETCS poziom 3 jest najbardziej zaawansowany, bazuje na łączności GSM-R, wysyłając zezwolenia na jazdę oraz zastępując tradycyjne metody i techniki kontroli zajętości torów poprzez kombinację punktowej kontroli położenia pociągu poprzez balisy i kontroli ciągłości składów. Otrzymanie tych informacji umożliwia przygotowanie zezwoleń na jazdę z zasadą ruchomego odstępu blokowego (ROB). System tworzy tak zwaną krzywą hamowania pociągu z uwzględnieniem drogi ochronnej na podstawie otrzymanych danych. Obecnie na sieci kolejowej w Polsce nie przewiduje się zbudowania systemu ERTMS/ETCS poziom 3.

Ogólne korzyści dzięki zastosowaniu systemu ERTMS/ETCS na sieci kolejowej w Polsce to:

- poprawa atrakcyjności polskiej sieci kolejowej jako składnika europejskiej sieci kolejowej,
- zapewnienie standardu europejskiej sieci kolejowej na liniach wchodzących w skład TEN-T,
- zapewnienie technicznej interoperacyjności kolei,
- usprawnienie ruchu tranzytowego,
- wzmocnienie konkurencyjności kolei względem innych gałęzi transportu,
- ograniczenie kosztów związanych z urządzeniami SRK poprzez ujednoczenie systemu w skali Europy,
- zwiększenie prędkości i przepustowości,
- zwiększenie punktualności po wdrożeniu systemu ERTMS/ETCS (wynikające z doświadczeń państw korzystających z tego systemu),



- możliwość jednoosobowego prowadzenia pojazdu kolejowego powyżej 130 km/h (dotychczas bez kontroli ETCS powyżej prędkości 130 km/h wymagana jest podwójna obsługa trakcyjna),
- poprawa bezpieczeństwa ruchu pociągów (ograniczenie roli człowieka w procesie sterowania i kierowania pojazdem kolejowym, zwiększony nadzór nad maszynistą),
- poprawa łączności i wymiany danych dzięki zastosowaniu GSM-R (*Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017: 18–19).

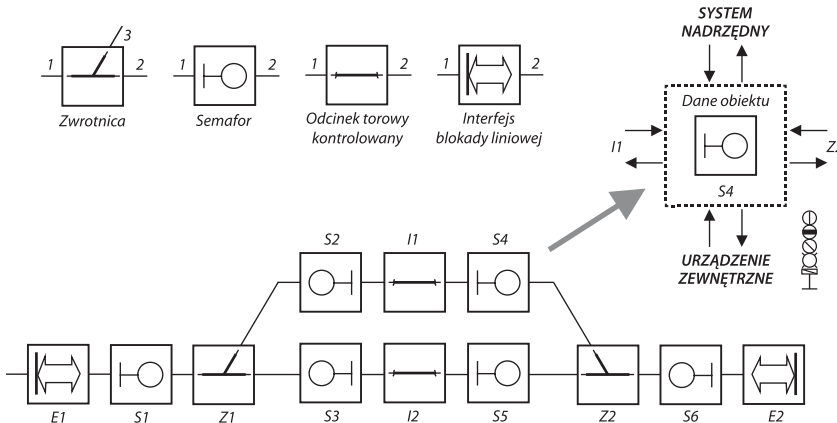
## GSM-R

Elementem niezbędnym do działania systemu ERTMS/ETCS jest łączność cyfrowa GSM-R. Infrastruktura GSM-R zbliżona jest do standardowej sieci GSM. Różnicą są typowo kolejowe funkcje, takie jak klasyfikacja poszczególnych abonentów według grup ważności, podzespoły automatycznej kontroli pociągu czy centrale służące do obsługi dyspozytorskiej. Aby przeciwdziałać zakłóceniom elektromagnetycznym sieci, GSM-R pracuje w częstotliwości 900 MHz. Łączność cyfrowa GSM-R spełnia wymagania jakości usług QoS (ang. *Quality of Service*). Dostępność usług w tym systemie ustanowiona jest na bardzo wysokim poziomie wynoszącym 99,95% (Siergiejczyk, 2018: 24–28). Na sieci kolejowej w Polsce planuje się wdrożyć GSM-R w sposób sieciowy, co oznacza przejście z łączności analogowej systemu 150 MHz na cyfrową GSM-R w skali całej sieci kolejowej z końcem 2024 roku, a względem sieci systemu 150 MHz podjęte zostaną działania wyłączające. Wraz z wyłączeniem starego systemu łączności funkcja radiostop zostanie zastąpiona priorytetowym połączeniem alarmowym REC (ang. *Railway Emergency Call*) realizowanym przez sieć GSM-R (*Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”*, 2017: 22).

## Komputerowe systemy sterowania ruchem pociągów stosowane na sieci PKP

Podstawowym elementem urządzeń komputerowych jest system zależnościowy, który poprzez zapisane wspomniane wcześniej zależności zapewni bezpieczeństwo. Systemy zależnościowe możemy podzielić ze względu na logikę działania na geograficzne i niegeograficzne. W urządzeniach komputerowych w systemie geograficznym dane aplikacji opracowuje się na podstawie geograficznego rozmieszczenia elementów na układzie torowym stacji i ich powiązań. Działanie tych urządzeń opiera się na geograficznej metodzie realizacji zasad sterowania. W urządzeniach w systemie zależnościowym niegeograficznym aplikacje projektuje się indywidualnie dla

danej stacji. Zasada ich działania polega na realizacji zależności na podstawie zapisu zależności, którą stanowi tablica zależności lub karta przebiegów. W urządzeniach tego typu metoda realizacji zasad sterowania nie jest związana w sposób bezpośredni z elementami rozmieszczonymi geograficznie w stacji.



Rysunek 4. Logiczna reprezentacja relacji w systemie Ebilock i przykładowe bloki

Źródło: Wontorski, Kochan, 2020.

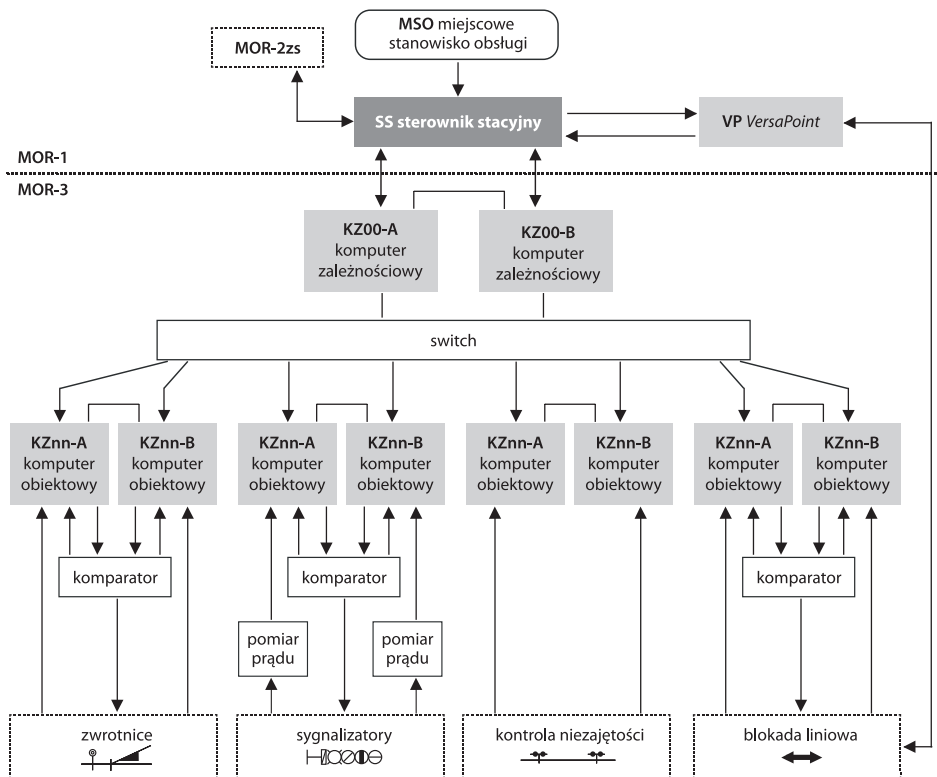
Następnie urządzenia w systemie geograficznym i niegeograficznym dzielą się według kryterium struktury danych na systemy zblokowane, częściowo zblokowane (hybrydowe) oraz niezblokowane. W przypadku systemu zblokowanego obiektem znajdującym się w terenie odpowiada blok programowy lub sprzętowy, który opisuje jego zależności. Systemy częściowo zblokowane możemy nazwać systemami hybrydowymi (przeładunkowo-komputerowymi). W systemie tym tylko niektórym obiektom w terenie odpowiada blok programowy lub sprzętowy z opisem jego zależności. W systemach niezblokowanych nie stosuje się bloków sprzętowych ani programowych, a struktura tych systemów oparta jest na zależnościach między przebiegami (Wontorski, Kochan, 2020: 36–38).

### System Ebilock

System Ebilock jest systemem zależnościowym przeznaczonym do zastosowania na posterunkach z geograficzną logiką zależnościową. System ten jest systemem podzielonym na bloki. Każdemu obiektowi w terenie (na przykład semafor, odcinek torowy) odpowiada blok programowy, który opisuje jego właściwości oraz możliwości powiązania z innymi blokami. Blok geograficzny w swoim obszarze pamięci posiada dane stałe i zmienne opisujące obiekty w terenie. Może być definiowany jako zbiór algorytmów w komputerze zależnościowym lub jako moduł urządzenia zewnętrznego wraz z oprogramowaniem. Bloki geograficzne posiadają interfejsy do systemu nadrzędnego i urządzeń przytorowych oraz do sąsiednich bloków geograficznych. Dają opis matematyczny stanów zależnościowych dla danego typu obiektów (Wontorski, Kochan, 2020: 43).

### System MOR-3

MOR-3 jest systemem zależnościowym z niegeograficzną realizacją zależności, jest przeznaczony do zastosowania na posterunkach ruchu z niegeograficzną (przebiegową) logiką zależnościową. Oprogramowanie nie jest zablokowane, a logika zależnościowa jest definiowana dla każdego obiektu w formie tablicy zależności lub kart przebiegów. System MOR-3 jest systemem indywidualnego projektowania zależności pomiędzy przebiegami i urządzeniami SRK. Wchodzi on w skład systemu sterowania ruchem kolejowym wraz z urządzeniami przytorowymi oraz interfejsem użytkownika MSO (miejsce stanowisko obsługi) (Wontorski, Kochan, 2020: 48).



Rysunek 5. Struktura systemu SRK na stacji z urządzeniami zależnościowymi typu MOR-3

Źródło: Wontorski, Kochan, 2020: 48.

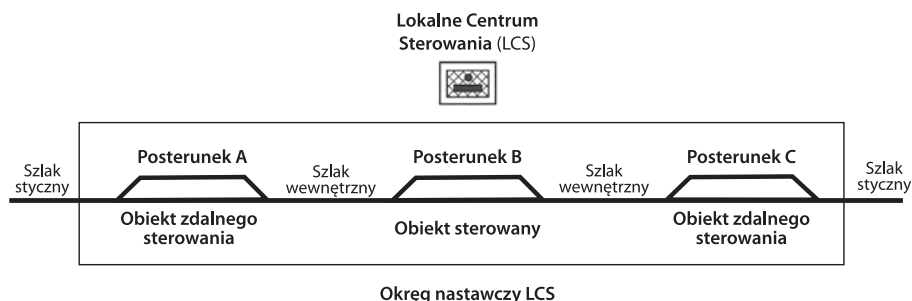
### System Iskra

Iskra jest to komputerowy system sterowania ruchem kolejowym. Zbudowany jest z dwóch warstw. Pierwsza z nich to warstwa komputerowa, a druga to warstwa kart sterowników obiektowych. Warstwa komputerowa odpowiada za wypracowanie odpowiednich decyzji zależnościowych oraz prawidłową transmisję danych. Karty sterowników obiektowych zapewniają realizację funkcji sterowania oraz kontroli pracy urządzeń wykonawczych (na przykład semafony, napędy zwrotnicowe, odcinki torowe

lub zwrotnicowe). Elementem, dzięki któremu możliwe jest sterowanie oraz zobrazowany jest obszar sterowania, jest komputer nadrzędny. Pozwala on na wysterowanie odpowiednich przebiegów i odczyt meldunków. Bezpieczeństwo nastawianych przebiegów zachowane jest dzięki komputerowi zależnościowemu. Sterowanie elementami przytorowymi odbywa się dzięki sterownikom obiektowym poprzez transmisję danych z komputerem zależnościowym. System Iskra wyposażony jest w tak zwany sygnał zastępczy uzależniony przebiegowo. Jest to funkcja, która daje dyżurnemu ruchu możliwość wykluczenia z zależności przebiegowych uszkodzonego elementu (takiego jak zajęty odcinek, rozjazd z utraconą kontrolą). Stan wszystkich pozostałych elementów drogi przebiegu oraz pracy dyżurnego jest kontrolowany i rejestrowany przez system Iskra, dzięki czemu znacząco podnosi się bezpieczeństwo i ergonomia pracy (SRK. *Systemy sterowania ruchem kolejowym*, 2022).

### Urządzenia zdalnego sterowania

Stosowanie urządzeń komputerowych umożliwia sterowanie i kontrolę nad dużym obszarem (na przykład linią kolejową wraz z obecnymi na niej stacjami). Dzięki takim możliwościom urządzenia komputerowe znajdują zastosowanie na nastawniach zdalnego sterowania LCS (Lokalne Centrum Sterowania). Sterowanie innymi posterunkami OZS (obiekt zdalnie sterowany) odbywa się poprzez transmisję światłowodową z posterunku LCS. Z tej nastawni dyżurny ruchu odcinkowy steruje urządzeniami znajdującymi się w obszarze zdalnego sterowania tworzącymi jeden okręg nastawczy. Szlaki, które objęte są obszarem zdalnego sterowania, to szlaki wewnętrzne, a szlaki bezpośrednio sąsiadujące z obszarem zdalnego sterowania to szlaki styczne. Lokalne Centra Sterowania znajdują się zazwyczaj na jednej ze stacji, którą określa się jako obiekt sterowany. Urządzenia zdalnego sterowania stosuje się w celu zwiększenia płynności ruchu kolejowego, zwiększenia przepustowości i zmniejszenia kosztów związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego. Urządzenia zdalnego sterowania na pulpicie powinny zapewniać ciągłą i równoczesną informację dotyczącą stanu urządzeń z całego obszaru zdalnego sterowania oraz obiektu sterowanego aktualnie (*Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-4 (WTB-E10)*, 2014).



Rysunek 6. Odcinek zdalnego prowadzenia ruchu przez Lokalne Centrum Sterowania

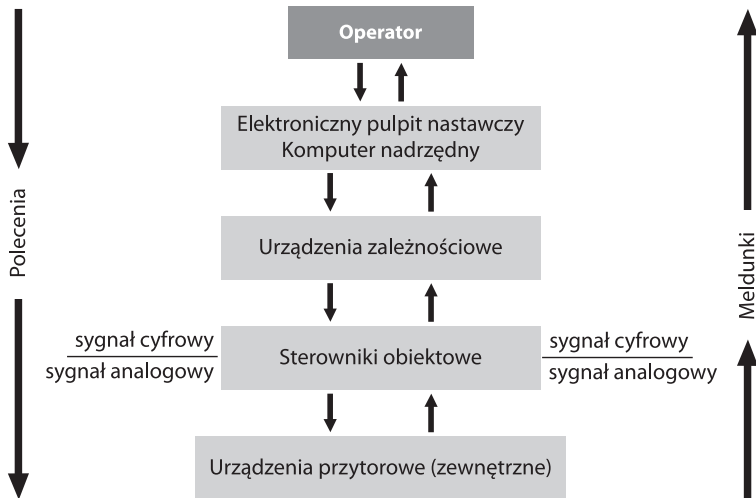
Źródło: opracowanie własne na podstawie Wontorski, Kochan, 2020.

## Bezpieczeństwo w komputerowych systemach sterowania ruchem pociągów

Najważniejszym elementem urządzeń komputerowych z punktu widzenia bezpieczeństwa są wspomniane już wielokrotnie urządzenia zależnościowe. Dzięki zapisanym zależnościom zabezpieczają one ruch (realizowane przebiegi itp.) w zakresie uzależniania wykonania poleceń nastawczych (poprzez pulpit nastawczy EPN) od warunków realizacji tych poleceń. Urządzenia te nie dopuszczają do sytuacji, w której wydane zostanie celowo lub przypadkowo polecenie powodujące wystąpienie sytuacji niebezpiecznej. W zależności od typu urządzeń możemy spotkać się z różną strukturą systemów zależnościowych w postaci komputerów (na przykład pracujących w architekturze „dwa z trzech”). Taka konfiguracja zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa dzięki pozostawieniu jednego komputera w „gorącej rezerwie”. Pozostałe dwa, stale pracując, umożliwiają sterowanie i kontrolę nad obszarem sterowania. Obecność dwóch komputerów jest wymagana, a wyniki decyzji zależnościowych muszą być jednakowe w obydwu przypadkach, w przeciwnym razie polecenie nie zostanie zrealizowane. W przypadku awarii jednego z pracujących komputerów „gorąca rezerwa” przejmuje jego zadanie, umożliwiając dalsze sterowanie i kontrolę. W przypadku awarii dwóch komputerów z trzech nie ma możliwości wykonania żadnego z poleceń ze względów bezpieczeństwa. Opisana konfiguracja w systemach zależnościowych, tak zwane wielokanałowe przetwarzanie danych jest podstawową metodą zapewnienia nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL4). W przypadku awarii uniemożliwiającej sterowanie (na przykład awaria dwóch komputerów zależnościowych z trzech dostępnych) personel zobowiązany jest do przestrzegania instrukcji i obowiązujących regulaminów, dzięki czemu bezpieczeństwo jest nadal zachowane.

Urządzeniem obrazującym obszar sterowania oraz umożliwiającym wykonywanie poleceń jest elektroniczny pulpit nastawczy (EPN). W jego skład wchodzi komputery, monitory, urządzenia wskazujące. Dzięki nim personel może wydawać polecenia i odczytywać meldunki systemu.

W systemach sterowania ruchem kolejowym pomiędzy urządzeniami przytorowymi a komputerami zależnościowymi następuje przetwarzanie sygnałów poprzez sterowniki obiektowe, dzięki którym możliwe jest bezpośrednie sterowanie obiektem. Sterowniki obiektowe przetwarzają sygnał analogowy urządzeń przytorowych (na przykład świateł semafora lub napędu zwrotnicowego) na sygnał cyfrowy, zapewniając komputerowi zależnościowemu wymianę informacji z urządzeniami przytorowymi (przetwarzając sygnał analogowy na cyfrowy i odwrotnie) (rys. 7). Jest to konieczne z uwagi na obecność urządzenia cyfrowego, jakim jest komputer zależnościowy. Komputery zależnościowe przetwarzają polecenia i meldunki. Polecenia dotyczą informacji, które określają rodzaj działania przekazywanego do sterowanego urządzenia. Meldunki są to informacje opisujące stany kontrolowanego urządzenia (Wontorski, Kochan, 2020: 36–53).



Rysunek 7. Ujęcie ogólne przepływu poleceń i meldunków w systemie komputerowym

Źródło: opracowanie własne na podstawie Wontorski, Kochan, 2020.

## Zakończenie i wnioski

Pojawienie się urządzeń sterowania ruchem kolejowym wpłynęło na wzrost bezpieczeństwa na kolei. Dzięki urządzeniom SRK poprawiła się także ergonomia pracy, zwłaszcza w przypadku urządzeń scentralizowanych, czyli takich, które obsługiwane są z posterunku ruchu. Za sprawą unowocześniania urządzeń zwiększa się przepustowość szlaków, po których pociągi mogą poruszać się coraz szybciej. Obecnie w technice sterowania ruchem kolejowym coraz większą rolę odgrywają urządzenia komputerowe, zastępując urządzenia starszego typu. Nowoczesne urządzenia komputerowe mają wiele zalet. Dyżurny ruchu dostaje dokładny podgląd sytuacji ruchowej w sterowanym obszarze dzięki ekranowi monitora elektronicznego pulpitu nastawczego, poprzez który ma możliwość sterowania stacją lub stacjami. Transmisja sygnałów poprzez sieci światłowodowe, z których korzystają urządzenia komputerowe, pozwala na sterowanie dużym obszarem. W takim przypadku mówimy o odcinku zdalnego sterowania, w którego skład może wchodzić wiele stacji.

W aspekcie bezpieczeństwa za działanie urządzeń komputerowych odpowiada system zależnościowy, który dzięki rozwiązaniom technicznym (takim jak wielokanałowość) daje wysoki poziom bezpieczeństwa. Następstwem pojawienia się urządzeń komputerowych jest system ERTMS/ETCS, który jeszcze bardziej poprawia bezpieczeństwo, a także unifikuje sposób kontroli jazdy pociągów poprzez zapewnienie interoperacyjności między innymi w zakresie techniki sterowania.

Dzięki tego typu działaniom kolej europejska staje się coraz szybszym i bezpieczniejszym środkiem transportu, tworząc spójny technicznie i organizacyjnie system kolejowy. Najważniejszą korzyścią jest poprawa bezpieczeństwa poprzez

stosowanie nowoczesnych urządzeń komputerowych (SRK), nowoczesnego systemu kontroli jazdy pociągu (ETCS), szerokopasmowej nowoczesnej łączności cyfrowej GSM-R, dających łącznie system ERTMS/ETCS. Tak szeroko realizowane działania mają pozytywny wpływ na wiele aspektów, poczynając od bezpieczeństwa, poprzez profity ekonomiczne dla przewoźników (na przykład brak konieczności zmiany lokomotyw na granicy państw), kończąc na korzyściach dla pasażerów w postaci szybkiej i bezpiecznej europejskiej sieci kolejowej.

## Bibliografia

- Dąbrowa-Bajon M. (2014), *Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Domański M. (2022), *System ETCS i jego wpływ na ruch pociągów*, inżynierska praca dyplomowa, Wydział Techniki i Informatyki, Akademia Humanistyczno-Ekonomiczna w Łodzi, Łódź (maszynopis niepublikowany).
- Informacje o interoperacyjności* (b.r.), <https://www.utk.gov.pl/pl/interoperacyjnosc/informacje-o-interopera-1/14553,Interoperacyjnosc-systemu-kolei.html> [dostęp: 24.10.2022].
- Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1* (2017), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
- Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów z wykorzystaniem systemu ERTMS/ETCS poziomu 1 Ir-1a* (2019a), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
- Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów z wykorzystaniem systemu ERTMS/ETCS poziomu 2 Ir-1b* (2019b), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
- Interoperacyjność systemu kolei* (2021), [https://pl.wikipedia.org/wiki/Interoperacyjno%C5%9B%C4%87\\_systemu\\_kolei](https://pl.wikipedia.org/wiki/Interoperacyjno%C5%9B%C4%87_systemu_kolei) [dostęp: 24.10.2022].
- Krajowy plan wdrażania Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności „STEROWANIE”* (2017), Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa.
- Siergiejczyk M. (2018), *Bezpieczeństwo transmisji informacji w sieci cyfrowej radiołączności kolejowej*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- SRK. Systemy sterowania ruchem kolejowym* (2022), <https://elester-pkp.com.pl/wp-content/uploads/2022/01/Katalog-rozwiazan-SRK-Elester-pkp.pdf> [dostęp: 24.10.2022].
- Wontorski P., Kochan A. (2020), *Komputerowe systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym. Część 1: Funkcje, elementy i układy*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Wytyczne techniczne budowy urządzeń sterowania ruchem kolejowym Ie-4 (WTB-E10)* (2014), PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa.

**Summary****Innovative railway traffic control systems on the PKP Network, part I**

In this article selected modern railway traffic control systems used on the PKP network are discussed. It also presents what the „Technical Specification for Interoperability” (TSI) entails and to what extent it concerns the issue of rail traffic control. The basic differences in the ERTMS/ETCS levels and safety issues are presented. The use of modern railway traffic control devices summarises the development of the railways in technical and organizational terms, and aims to improve the level of safety on the rail network and ensuring the interoperability of rail systems.

**Keywords:** railway traffic control, train traffic safety, interoperability