

# SYSTEM POKŁADOWY W MODELU WARSTWOWYM SYSTEMU KIEROWANIA I STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

---

**Andrzej Kochan**

dr inż., Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Zakład Sterowania Ruchem, Zespół Sterowania Ruchem Kolejowym, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: +48 22 234 7882, e-mail: ako@wt.pw.edu.pl

---

*Streszczenie. Systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym (ksrk) zapewniają bezpieczne i efektywne prowadzenie ruchu kolejowego. Ich funkcjonalność oraz stopień integracji nieustannie rośnie wraz z rozszerzaniem zastosowania techniki komputerowej i teleinformatycznej do realizacji ich zadań. W Zakładzie Sterowania Ruchem Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej od kilkudziesięciu lat są prowadzone badania i prace rozwojowe w tym kierunku. Jednym z nurtów tych badań jest modelowanie systemów ksrk w celu porządkowania i definiowania ich struktur i funkcjonalności w oderwaniu od konkretnych rozwiązań dostarczanych przez producentów. W związku z obecnie prowadzonymi i zapowiadanimi przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. inwestycjami mającymi na celu wdrażanie systemu ERTMS, jak również innymi rozwiązaniami wprowadzanymi w Metrze Warszawskim, naturalnym wydaje się rozszerzenie modelu warstwowego ksrko rozwiązania wynoszące funkcjonalność sterowania ruchem na pokład pojazdu trakcyjnego. Rozwiązania te w sensie technicznym nie są nowością, jednak nie doczekały się jeszcze uogólnienia w wymiarze modelowym. Niniejszy artykuł jest próbą wypełnienia tej luki.*

**Słowa kluczowe:** kierowanie i sterowanie ruchem kolejowym, modelowanie, system pokładowy

## 1. Wprowadzenie

Systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym (ksrk) są podstawowym narzędziem pracy personelu zarządcy infrastruktury w zakresie nadzoru nad ruchem pojazdów poruszających się po sieci kolejowej. W dobie intensywnego wkraczania techniki komputerowej w różne obszary ksrk w znacznym stopniu rośnie ich złożoność i stopień powiązań. W Zakładzie Sterowania Ruchem Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej od kilkudziesięciu lat są prowadzone badania i prace rozwojowe mające na celu porządkowanie i systematyczne podejście do definiowania struktur oraz funkcji ksrk poprzez modelowanie systemów tej klasy. Efektem tych prac jest model warstwowo ksrk.

Obecnie w Polsce zarówno na sieci kolejowej jak i w Metrze Warszawskim wprowadzane są rozwiązania zakładające przeniesienie pewnych funkcji sterowania do urządzeń pokładowych pojazdów. Ten kierunek rozwoju powinien znaleźć

odzwierciedlenie w modelu warstwowym. Zagadnienie to będzie omówione w niniejszym artykule.

Jednym z rozwiązań, które posiada właściwości, istotne z punktu widzenia poruszanego problemu jest Europejski System Sterowania Pociągiem ERTMS/ETCS. Część pokładowa tego systemu będzie stanowić przykład obrazujący prezentowane koncepcje.

## 2. Przegląd literatury

Prace Zespołu Sterowania Ruchem Kolejowym Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej związane z modelowaniem systemów ksrk były dokumentowane w wielu publikacjach. Przykładami są pozycje [1, 2, 6]. System ETCS, który w artykule jest wykorzystywany jako przykład, również jest przedmiotem wielu pozycji literaturowych, można tutaj wskazać choćby pozycje [3, 4]. W pozycji [5] można znaleźć podobne ujęcie zagadnienia do prezentowanego modelu warstwowego.

## 3. Model warstwowy systemu ksrk

Kierowanie ruchem [1] to zbiór funkcji i czynności związanych ze śledzeniem i kontrolowaniem sytuacji ruchowej, wykrywaniem i rozwiązywaniem konfliktów ruchowych (wyznaczeniem kolejności jazdy pociągów, minimalizowaniem zakłóceń ruchowych), realizowanych przez dyspozytora liniowego dla odcinka dyspozytorskiego, a w ograniczonym zakresie również przez dyżurnego ruchu dla okręgu sterowania (miejscowego lub zdalnego) i sąsiadujących okręgów sterowania. Z kolei sterowanie ruchem kolejowym [1] (srk), to regulowanie ruchu pojazdów z wykorzystaniem środków technicznych dla zapewnienia bezpieczeństwa, sprawności oraz niezawodności kolejowego procesu transportowego. Na srk składają się działania operacyjne wynikające z rzeczywistego lub planowanego ruchu pojazdów kolejowych, polegające na:

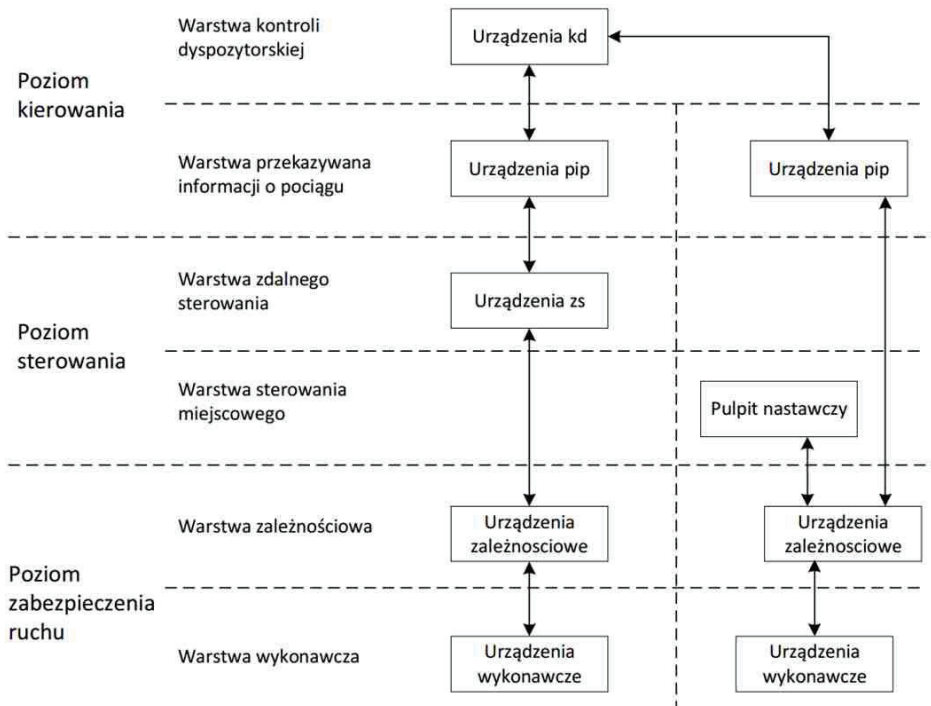
- podejmowaniu decyzji o przygotowaniu dróg przebiegu,
- dozorowaniu jazdy,
- kontrolowaniu zwolnienia przebiegu, ew. na podejmowaniu decyzji o doraźnym zwolnieniu przebiegu,
- przekazywaniu ww. decyzji do realizacji przez urządzenia zależnościami i wykonawcze srk,
- rejestrowaniu jazdy (jeżeli nie jest to realizowane w urządzeniach pip),
- obsłudze innych urządzeń sterowanych,
- oraz funkcje i rozwiązania techniczne zapewniające realizację tych działań.

Wymienione zadania realizuje system kierowania i sterowania ruchem kolejowym (ksrk). Uogólnieniem tego systemu jest model warstwowy ksrk [2]. Model

przedstawiony jest schematycznie na rys. 1. Składa się on z następujących poziomów i warstw:

- 1) poziom zabezpieczenia ruchu,
  - a) warstwa wykonawcza,
  - b) warstwa zależnościowa,
- 2) poziom sterowania ruchem,
  - a) warstwa sterowania miejscowego,
  - b) warstwa sterowania zdalnego,
- 3) poziom kierowania ruchem,
  - a) warstwa przekazywania informacji o pociągu,
  - b) warstwa kontroli dyspozytorskiej

W poziomie zabezpieczenia ruchu realizowane są działania operacyjne, a także funkcje i działania techniczne mające na celu bezpieczny ruch pojazdów kolejowych. Można w nim wyróżnić warstwę wykonawczą, czyli urządzenia wykonawcze srk, ale też urządzenia wykrywania stanów awaryjnych taboru, urządzenia łączności przewodowej i bezprzewodowej oraz telewizji przemysłowej itd. Drugą warstwą jest warstwa zależnościowa obejmująca urządzenia automatyki kolejowej zapewniające uzależnienie poleceń nastawczych od warunków ich realizacji.



Rys. 1. Schemat modelu warstwowego ksrk bez uwzględnienia poziomu pojazdu

Źródło: opracowanie własne

Drugim poziomem jest poziom sterowania ruchem umożliwiający podejmowanie i realizowanie decyzji wynikających z planowanego lub rzeczywistego ruchu

pojazdów kolejowych. Obejmuje on warstwę sterowania miejscowego (ms), czyli „scentralizowanego sterowania ruchem poprzez oddziaływanie na urządzenia zewnętrzne z wykorzystaniem urządzeń sterowania zlokalizowanych na sterowanym posterunku, przewidujące możliwość bezpośredniego wglądu i ingerencji dyżurnego ruchu w sytuację ruchową”. Drugą warstwą jest warstwa sterowania zdalnego (zs), umożliwiająca „scentralizowane sterowanie ruchem poprzez oddziaływanie z nastawni zdalnego sterowania na urządzenia posterunku sterowanego za pośrednictwem urządzeń zdalnego sterowania, zakładające całkowity brak możliwości bezpośredniego wglądu i ingerencji dyżurnego ruchu w sytuację ruchową”.

Poziom kierowania ruchem (kr) to poziom zapewniający śledzenie i kontrolowanie sytuacji ruchowej oraz rozwiązywanie konfliktów ruchowych. Działania te realizuje dyspozytor liniowy dla odcinka dyspozytorskiego oraz w pewnym zakresie również dyżurny ruchu dla podlegającego mu i sąsiednich okręgów sterowania.

W poziomie kierowania ruchem wyróżnia się warstwę przekazywania informacji o pociągach (pip), która obejmuje wzajemną wymianę informacji pomiędzy dyżurnymi ruchu oraz pomiędzy dyspozytorem liniowym i dyżurnymi ruchu. Poziom kr obejmuje również warstwę kontroli dyspozytorskiej zapewniającą scentralizowane kierowanie ruchem pociągów na odcinku dyspozytorskim przez dyspozytora liniowego z użyciem urządzeń kontroli dyspozytorskiej.

#### 4. Funkcje sterowania ruchem w urządzeniach pokładowych podsystemu Sterowanie

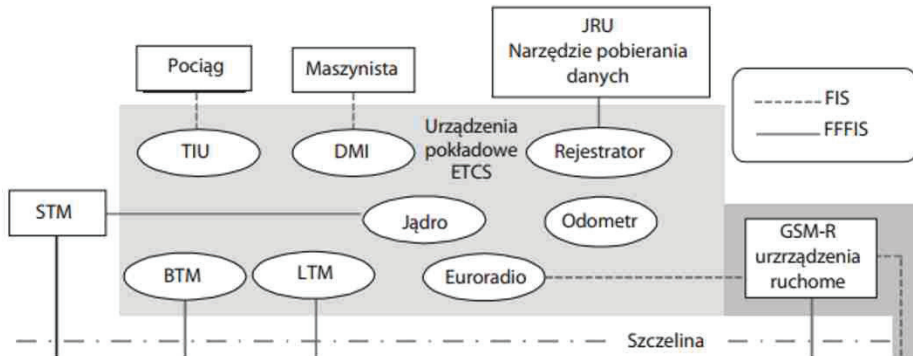
Prowadzenie pociągu jest oparte o obserwację przez maszynistę wskazań sygnalizatorów lub sygnalizacji kabinowej i dostosowywanie parametrów ruchu pociągu (prędkości, przyspieszenia) do tych wskazań. Maszynista ponosi odpowiedzialność za ruch pociągu.

Pod terminem urządzeń pokładowych w kontekście sterowania ruchem należy rozumieć urządzenia, które współdziałają z urządzeniami przytorowymi w celu wspomaganie maszynisty w bezpiecznym prowadzeniu pociągu.

Do momentu dopuszczenia na polskiej sieci kolejowej pociągów Pendolino (za wyjątkiem testów systemu ETCS na linii CMK i E30) w eksploatowanych pojazdach trakcyjnych jedynym systemem pokładowym był czuwak aktywny, który współdziałał z systemem SHP. Taka konfiguracja pozwala na wymuszenie reakcji maszynisty przy zbliżaniu się do określonych sygnalizatorów oraz ich mijaniu. W przypadku braku reakcji, w sposób automatyczny wdrażane jest hamowanie. Przy tak ograniczonej funkcjonalności rozwiązania te nie miały minimalne znaczenie z punktu widzenia ogólnego modelu systemu kierowania i sterowania ruchem i były zaliczane do urządzeń wykonawczych warstwy zabezpieczenia.

Sytuacja uległa zmianie w sposób znaczący po wprowadzeniu do eksploatacji pociągów wyposażonych w urządzenia pokładowe ETCS. W tym przypadku zna-

czenie bezpośredniego oddziaływania na pojazd znacząco wzrasta. Moduły funkcjonalne urządzeń pokładowych ETCS zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy urządzeń pokładowych ETCS

Źródło: {3}

Sposób komunikacji urządzeń pokładowych z urządzeniami przytorowymi zależy od poziomu ETCS, a co za tym idzie od zaawansowania zastosowanych rozwiązań technicznych. Nie jest to jednak kluczowe dla sposobu pracy urządzeń pokładowych. (Więcej na temat różnic pomiędzy poziomami ETCS można przeczytać w [3, 4].) W każdym z przypadków system ETCS kontroluje aktualne zezwolenie na jazdę oraz aktualną prędkość w odniesieniu do prędkości dopuszczalnej. Prędkość dopuszczalna jest wyliczana przez system ETCS na bieżąco w postaci tzw. krzywych hamowania. Nieprzestrzeganie przez maszynistę wyznaczonych ograniczeń prędkości skutkuje ostrzeganiem go o przekroczeniu, a jeżeli ostrzeżenie jest nieskuteczne wdrażane jest automatyczne hamowanie w celu dostosowania prędkości do bezpiecznej wartości.

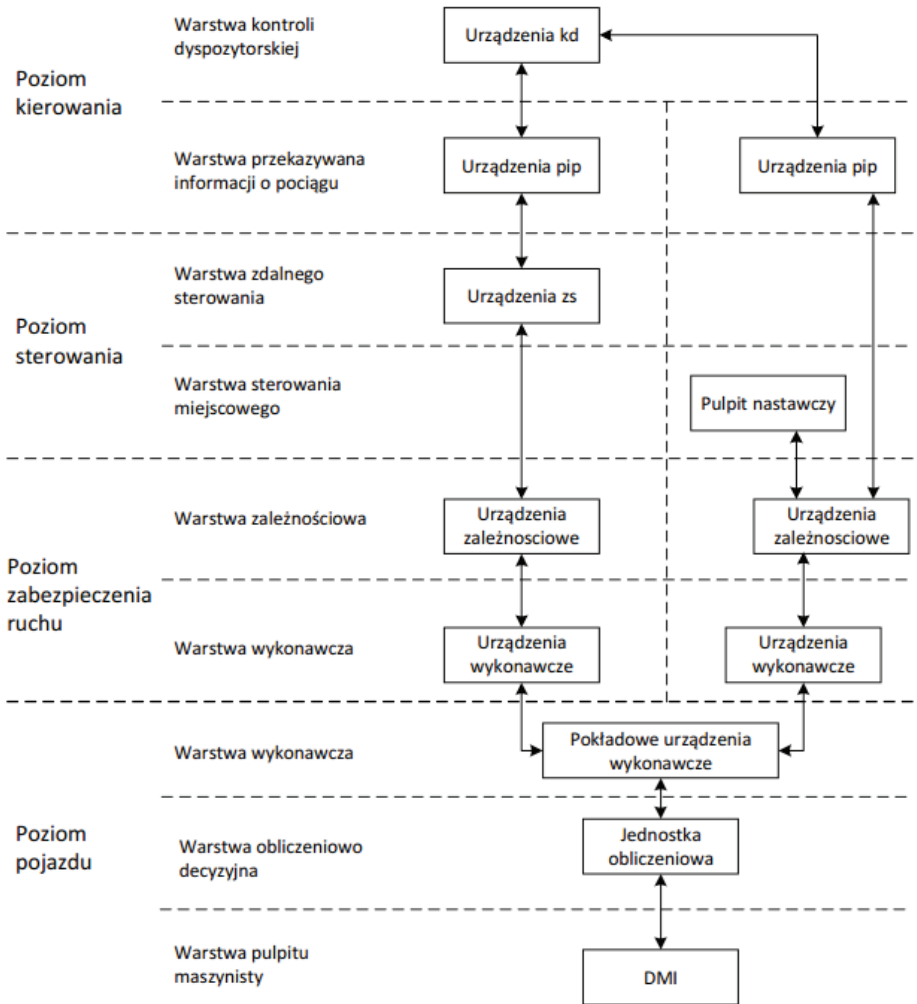
Aktualne wartości dopuszczalne wyliczane są przez urządzenia pokładowe na podstawie zbieranych danych wejściowych o parametrach ruchu pociągu, aktualnego odcinka toru z zezwoleniem na jazdę oraz na podstawie danych statycznych opisujących układ torowy oraz pociąg. W odpowiednim cyklu dane wejściowe są przetwarzane. Wyniki przetwarzania w postaci komunikatów przekazywane są maszyniście lub w postaci poleceń do układu hamulcowego.

## 5. Rozszerzenie modelu warstwowego

Biorąc pod uwagę powyższe, model systemu ksrk postanowiono rozszerzyć o poziom pojazdu, w którym występują:

- warstwa urządzeń wykonawczych,
- warstwa pulpitu maszynisty,
- warstwa obliczeniowo decyzyjna.

Schemat modelu rozszerzonego o poziom pojazdu przedstawiony jest na rys. 3.



Rys. 3. Schemat modelu warstwowego ksrk rozszerzonego o poziom pojazdu

Źródło: opracowanie własne

Zadaniem warstwy urządzeń wykonawczych jest:

- zebranie niezbędnych informacji wynikających z ruchu pociągu, które są potrzebne dla zadań warstwy obliczeniowo-decyzyjnej,
- wykonywanie poleceń mających wpływ na ruch pociągu,
- transmisja danych pomiędzy pojazdem a urządzeniami przytorowymi w sposób bezawaryjny i bezpieczny,
- wstępna interpretacja danych odbieranych z urządzeń przytorowych,
- przygotowanie do nadawania danych do urządzeń przytorowych,
- rejestracja parametrów ruchu pociągu,

Zadaniem warstwy pulpitu maszynisty jest:

- prezentacja parametrów jazdy pociągu,

- prezentacja warunków zezwolenia na jazdę,
- ostrzeganie o niespełnieniu warunków bezpiecznego prowadzenia pojazdu,
- informowanie o wdrożeniu automatycznego hamowania,
- umożliwienie wprowadzania danych konfiguracyjnych pojazdu i obsługi,
- umożliwienie potwierdzania komunikatów,
- umożliwienie wydawania określonych poleceń.

Zadaniem warstwy obliczeniowo decyzyjnej jest:

- odbieranie danych niezbędnych do określenia warunków bezpiecznego ruchu pociągu,
- gromadzenie danych statycznych,
- wyznaczanie warunków bezpiecznego ruchu pociągu,
- generowanie poleceń zapewniających bezpieczny ruch pociągów.

Podobnie jak w przypadku dotychczasowej postaci modelu do poszczególnych warstw poziomu pojazdu wchodzi konkretne urządzenia. Posługując się przykładem systemu ETCS można wskazać, że w skład warstwy urządzeń wykonawczych wchodzi:

- urządzenia dostarczające dane o pociągu i sytuacji ruchowej,
- urządzenia wykonujące polecenia sterujące,
- urządzenia transmisji tor-pojazd.

Do pierwszej grupy należą takie urządzenia jak odometr, moduł odczytu danych z balis, moduł odczytu danych z transmisji radiowej GSM-R, moduł kontroli ciągłości składu, moduł pozycjonowania pociągu.

Urządzenia wykonujące polecenia sterujące to w przypadku systemu ETCS układ hamulcowy, który jest automatycznie włączany w przypadku potrzeby zmniejszenia prędkości pociągu. W innych systemach klasy ATC (ang. Automatic Train Control) do takich urządzeń mogą należeć również urządzenia rozruchowe i urządzenia umożliwiające zwiększanie prędkości jazdy.

Urządzenia transmisji tor-pojazd to anteny i współpracujące z nimi nadajniki oraz odbiorniki dostarczające bezpiecznego i sprawnego połączenia pomiędzy pojazdem a urządzeniami przytorowymi.

Do warstwy pulpitu maszynisty należą urządzenia sygnalizacji kabinowej oraz umożliwiające wprowadzanie parametrów istotnych dla zasad sterowania ruchem pociągu. W systemie ETCS taką funkcję pełni wyświetlacz dotykowy prezentujący obraz o ściśle określonym wyglądzie i znaczeniu składowych symboliokreślany jako DMI (ang. Driver Machine Interface).

Najważniejszą z punktu widzenia bezpieczeństwa jest warstwa obliczeniowo decyzyjna. Należą do niej urządzenia, które odbierają wszystkie informacje dotyczące ruchu pojazdu, a także stanu urządzeń przytorowych srk, przetwarzają je, a następnie generują odpowiednie komunikaty do sygnalizacji kabinowej lub urządzeń wykonujących polecenia sterujące. W systemie ETCS taką funkcję pełni moduł EVC (ang. European Vital Computer), który wyznacza krzywe hamowania określające w danym momencie dopuszczalną prędkość oraz określają warunki, dla



których prowadzone będzie ostrzeżenie maszynisty bądź wdrażane będzie hamowanie. Są to operacje krytyczne dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. W przypadku ETCS poziomu 2 i 3, kiedy linia kolejowa nie jest wyposażona w sygnalizatory przytorowe, niepoprawne obliczenia mogą powodować zbyt duże opóźnienie w rozpoczęciu hamowania i przekroczenie granicy rzeczywistego zezwolenia na jazdę, a w rezultacie kolizję z przeszkodą. Taka sytuacja pozwala zauważyć, że warstwa obliczeniowo-decyzyjna ma zbliżony charakter do warstwy zależnościowej. W obu przypadkach funkcje realizowane przez systemy należące do tych warstw są odpowiedzialne za kontrolowanie warunków bezpiecznego prowadzenia ruchu kolejowego, choć w innych obszarach. Urządzenia zależnościowe sterują urządzeniami przytorowymi, natomiast urządzenia warstwy obliczeniowo-decyzyjnej sterują ruchem pojazdu.

## 6. Podsumowanie

Systemy kierowania i sterowania ruchem zmieniają swoje oblicze. Następują zmiany technologiczne, gdzie coraz większą rolę odgrywają rozwiązania komputerowe. Urządzenia tradycyjnie wchodzące w skład systemów ksrk jeszcze do niedawna pozostające w izolacji, współpracują z innymi systemami, które wspierają ich działanie. Również zakres funkcjonalności ksrk się zwiększa. Przejawem tego procesu jest zwiększenie znaczenia urządzeń pokładowych pojazdów. W związku z tym do modelu warstwowego wypracowanego przez Zespół Sterowania Ruchem Kolejowym Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej dołączony został nowy element w postaci poziomu pojazdu i warstw: urządzeń wykonawczych, pulpitu maszynisty oraz obliczeniowo decyzyjnej. Przy okazji przeprowadzonych analiz można było zauważyć znaczne zwiększenie zbioru urządzeń określanych jako wykonawcze. Istnieje tutaj potrzeba dokładniejszej analizy i wprowadzenia kolejnych uogólnionych podwarstw dokładniej opisujących strukturę i funkcjonalność tego obszaru.

## Bibliografia

- [1] Dąbrowa-Bajon M., Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania zarys techniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2007.
- [2] Grochowski K., Konopiński L., Kierowanie i sterowanie ruchem kolejowym w inteligentnym systemie transportowym. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Seria Transport z. 61, Warszawa 2007, s. 55.
- [3] Białoń A., Gradowski K., Toruń A., Nowoczesny system zarządzania ruchem kolejowym. Problemy kolejnictwa – zeszyt 148. s. 137.



- 
- [4] Stanley P., ETCS for Engineers. Institution of Railway Signal Engineers Euro Rail Press Hamburg 2011.
  - [5] Żurkowski A., Pawlik M., Ruch i przewozy kolejowe. Sterowanie ruchem. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.
  - [6] Kochan A., Model informacyjny systemu kierowania ruchem kolejowym. Komputerowe Systemy Wspomagania Nauki, Przemysłu i Transportu- „TRANSCOMP 2006”, Zakopane 2006.

