

**Mieczysław KORNASZEWSKI**

## **STRUKTURA SYSTEMU STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM W UJĘCIU FUNKCJONALNYM**

### *Streszczenie*

*Podjęcie systemowe powinno uwzględnić podrzędne podzespoły składowe systemu istotne z punktu widzenia jego budowy. Hierarchiczność struktury systemu sterowania ruchem kolejowym uwzględnia różne poziomy konstrukcyjne. Zadania realizowane przez system srk określają ciąg relacji pomiędzy jego elementami funkcjonalnymi tworzącymi strukturę funkcjonalną systemu. Funkcjonowanie systemu sterowania ruchem kolejowym ma odpowiednie przełożenie na jego właściwości techniczne i ruchowe.*

### **WSTĘP**

Transport kolejowy stanowi przestrzennie ukształtowany zbiór składników współdziałających ze sobą w celu przemieszczania osób i ładunków. Podczas realizacji przewozów w poszczególnych podsystemach tego systemu powstają różnego rodzaju niesprawności powodujące zakłócenia w jego prawidłowym działaniu.

Przez system sterowania ruchem kolejowym (srk) należy rozumieć techniczne środki realizacji funkcji sterowania w procesie przemieszczania pojazdów szynowych wraz z metodami i środkami ich utrzymania.

Funkcjonalność systemu oznacza w technice zbiór atrybutów systemu (zespół elementów wzajemnie powiązanych w układy, realizujących jako całość funkcję nadrzędną lub zbiór takich funkcji), określających zdolność do dostarczenia funkcji zaspokajających wyznaczone i zakładane potrzeby systemu, podczas używania w określonych warunkach.



**Rys. 1.** Przykład rozmieszczenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym na szlaku kolejowym [8]

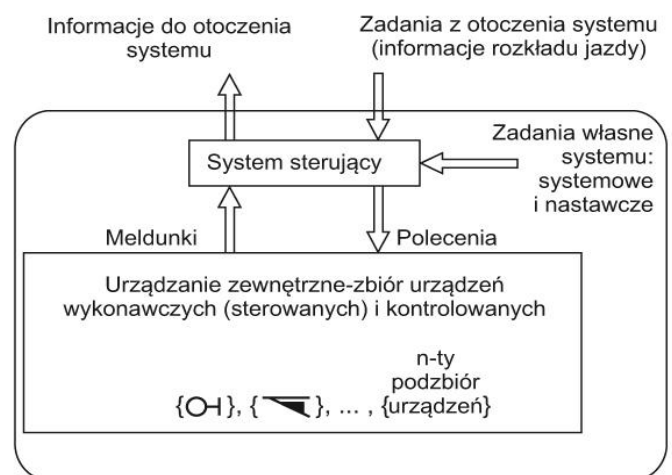
### **1. ANALIZA SYSTEMOWA TRANSPORTU KOLEJOWEGO**

W analizie systemowej wygodnie jest rozważać systemy otwarte, tzn. takie, które współdziałają z otoczeniem poprzez wejścia do systemu i wyjścia z niego. Oddziaływanie nie przeszkadzające w wykonywaniu funkcji, do której spełnienia system jest przeznaczony nazywa się sterowaniem systemu. Wielkości wejściowe, które realizują sterowanie są wielkościami sterującymi lub zmiennymi decyzyjnymi (zależnie od charakteru problemu). Wielkości wyjściowe, które nie są wielkościami sterującymi nazywa się zakłóceniami.

Zakłócenia charakteryzują bezpośredni niekontrolowany wpływ otoczenia na system, co przejawia się jedynie ich wpływem na wielkości wyjściowe (rys. 2) [3].

Zakłócenia w systemie transportowym mogą: zagrażać lub naruszać bezpieczeństwo ruchu kolejowego, zakłócać płynność ruchu, naruszać stan przedmiotu działania transportu kolejowego, naruszać stan otoczenia, itp.

Dobrze jest wyodrębnić z otoczenia taki system, którego podsystemem jest rozpatrywany obiekt. W przypadku systemu sterowania ruchem kolejowym nadsystemem jest system transportu kolejowego. System srk jest przestrzennie rozmieszczonym zbiorem obiektów srk współdziałających ze sobą, zarówno pod kątem technicznym, informacyjnym, jak i organizacyjnym, w ramach systemu transportu kolejowego. Podstawową funkcją systemu sterowania ruchem kolejowym jest zapewnienie bezpieczeństwa i płynności ruchu pociągów. Systemy transportu kolejowego i sterowania ruchem kolejowym są ze sobą powiązane poprzez relacje techniczne i informacyjne, natomiast procesy ich użytkowania i odnowy pokrywają się [2].



**Rys. 2.** System sterowania ruchem kolejowym i jego otoczenie [7]

System sterowania ruchem kolejowym stanowi zatem przestrzennie ukształtowany zbiór składników współdziałających ze sobą w ramach systemu transportu kolejowego (np. nawierzchnia, semafor, czujniki torowe, napędy zwrotnicowe, inne urządzenia srk) [2, 7].

## 2. ZADANIA SYSTEMU STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Proces sterowania ruchem kolejowym wymusza na systemie srk realizację zbiorów funkcji operacyjnych i decyzyjnych w stosunku do pojazdów szynowych poruszających się po sieci kolejowej. Wymienione zbiory są równoważne zadaniom, realizowanym przez system, z uwzględnieniem jego złożonej struktury technicznej. Zadania systemu sterowania ruchem kolejowym podczas swojej realizacji uaktywniają niezbędne elementy systemu, tworzące tzw. konfiguracje funkcjonalne (ich stany eksploatacyjne determinowane są przez strukturę techniczną i organizacyjną). W warunkach pełnej sprawności systemu srk, co wiąże się z bezpiecznym przemieszczaniem się pojazdów szynowych, każde z zadań wykonywane jest w jednej określonej konfiguracji funkcjonalnej i wymusza określoną dynamikę zmiany stanów systemu [1].

W chwili zakończenia jednego zadania urządzenia wchodzące w skład danego systemu srk i tworzące określoną w tym momencie konfigurację, są zwalniane i mogą od tego czasu być znów wykorzystane w kolejnych zadaniach. Te urządzenia systemu, które biorą udział w realizacji określonego zadania mogą być zwolnione dopiero po jego wykonaniu (tzw. cecha nieprzywłaszczalności obiektów technicznych). Inaczej wygląda stan systemu w odniesieniu do elementów drogowych. Chociaż spełniają swoje przeznaczenie jako funkcjonalne części składowe systemu srk, to również są wykorzystywane jako funkcjonalne części składowe nawierzchni kolejowej. Szczególnie uwidacznia się to w przypadku jazd manewrowych, w których część urządzeń sterowania ruchem kolejowym nie zmienia stanu, mimo pełnego udziału urządzeń drogowych.

Ilość jednocześnie przeprowadzanych zadań odpowiada liczbie aktywnych w tym samym czasie konfiguracji funkcjonalnych systemu srk i jest uzależniona od struktury jego powiązań oraz konstrukcji strumienia zadań. Występujące podczas działania systemu jego niezdatności mogą mieć wpływ na niezrealizowanie zadań, wystąpienie opóźnienia lub wydłużenie czasu ich realizacji. Charakterystyczne jest to, że w przypadku pojawienia się niesprawności nieaktywnych w konkretnej konfiguracji, są one tolerowane przez system i nie mają wpływu na realizację innych zadań.

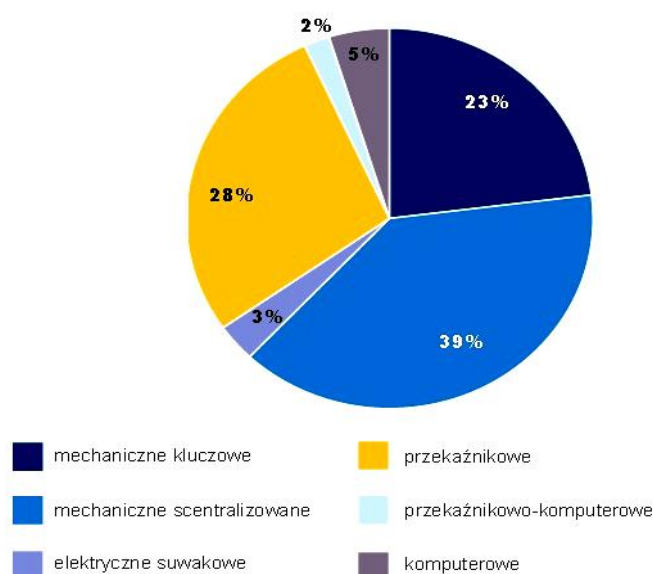
W przypadku systemów sterowania ruchem kolejowym szczególnie istotny jest nadmiar funkcjonalny, który może wyrażać się poprzez możliwość realizacji zadania w innej konfiguracji funkcjonalnej lub realizację zadania z wykorzystaniem odmiennych metod prowadzenia ruchu pojazdów szynowych. W przypadku pierwszej okoliczności powrót do wymaganej konfiguracji systemu srk ograniczony może być przez aktualnie realizowane zadania i w efekcie może wpływać na określone straty, wynikające m.in. z opóźnień w realizacji zadania, zakłóceń w ustalonym porządku pracy obiektów kolejowych (np. dyspozytorni) sterujących urządzeniami na danym fragmencie sieci kolejowej, itp. Zastosowanie odmiennych metod prowadzenia ruchu kolejowego, tzw. metod awaryjnych z wykorzystaniem np. sygnału zastępczego, czy rozkazu specjalnego ma ujemny wpływ na przepustowość systemu i znacznie obniża bezpieczeństwo ruchu pociągów. Struktury systemów srk należy traktować jako dynamiczne struktury funkcjonalne, ponieważ zmiany ich możliwych konfiguracji funkcjonalnych spowodowane są zmianami strumienia zgłoszeń lub strumienia uszkodzeń [4, 5, 7].

## 3. ROZWÓJ SYSTEMÓW STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM BIORĄCYCH UDZIAŁ W PROCESIE TRANSPORTOWYM

Systemy sterowania ruchem kolejowym wraz z rozwojem kolejnictwa doskonalili swoje rozwiązania techniczne w miarę rosnących potrzeb, wymagań i oczekiwań. Przez kolejne lata systemy srk

przechodziły stopniową ewolucję od urządzeń mechanicznych, przez elektromechaniczne, przekaźnikowe, aż do hybrydowych i komputerowych. Głównym celem producentów systemów jest zapewnienie bezpieczeństwa i sprawności ruchu kolejowego. Tworzone rozwiązania techniczne systemów srk pozwalają na skrócenie czasu przejazdu pociągu po liniach kolejowych, bezpieczne działania urządzeń na przejazdach kolejowych oraz skrócenie czasu i ułatwienie wykonywania czynności nastawczych urządzeń na stacjach kolejowych [4].

Najnowsza generacja urządzeń sterowania ruchem kolejowym to systemy komputerowe, które łączą w sobie nowoczesność, niezawodność oraz zapewniają bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa ruchu. Wg PKP PLK w chwili obecnej zaledwie 5% urządzeń stacyjnych stanowią urządzenia sterowane komputerowo, zaś kolejne 2% to urządzenia przekaźnikowo-komputerowe. Większość urządzeń srk to technologie przekaźnikowe (28%), elektryczne suwakowe (3%) i mechaniczne (62%), w tym mechaniczne scentralizowane (39%) i mechaniczne kluczowe (23%) – rys. 3 [6].



Rys. 3. Różne generacje urządzeń srk stosowane w systemach stacyjnych w Polsce w 2013 roku [6]

Nowoczesne technologie informatyczne wprowadzane w kolejnictwie polskim mają stanowić istotne wsparcie dla pracowników spółek PKP. Wdrażanie do eksploatacji komputerowych systemów sterowania ruchem kolejowym, niezależnie od swego przeznaczenia, ogranicza koszty pracy i stymuluje wzrost wydajności pracowników.

W związku z wejściem Polski do struktur unijnych obowiązujące stały się normy oznaczone odpowiednio: PN-EN 50126 [239, 240], PN-EN 50128 [241] oraz PN-EN 50129.

W normie PN-EN 50126 określono niezawodność, gotowość, dostępność i bezpieczeństwo (RAMS – Reliability, Availability, Maintainability and Safety), jako proces oparty na cyklu życia systemu. W procesie tym zdefiniowano poszczególne etapy systemu i procedury związane z zatwierdzaniem przed przejściem do następnego etapu (specyfikacja wymagań, projektowanie, implementacja, itp.). Norma PN-EN 50128 określa procedury i wymagania techniczne dla projektowania oprogramowania bezpiecznego systemu elektronicznego dla sterowania i zabezpieczenia na kolei. Norma ta nie jest w pełni obligatoryjna. Norma PN-EN 50129 definiuje wymagania dotyczące projektowania, testowania, odbioru i zatwierdzania elek-

tronicznych systemów, podsystemów i urządzeń sygnalizacji związanych z bezpieczeństwem w zastosowaniach kolejowych.

Koncepcja bezpiecznych systemów komputerowych stosowanych w kolejnictwie zakłada bardzo małą intensywność usterek, co przy całkowitej niezależności kanałów przetwarzania (dwóch lub trzech) gwarantuje znikome prawdopodobieństwo wystąpienia usterki podwójnej lub wielokrotnej – decydującej o uszkodzeniu katastroficznym (krytycznym) [4].

#### 4. STRUKTURA FUNKCJONALNA SYSTEMU STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

Strukturę funkcjonalną systemu określa ciąg relacji pomiędzy jego elementami funkcjonalnymi, zachodzących w procesie realizacji zadania. W każdym zadaniu istnieją widoczne przebiegi i fazy realizacji zadania, które są charakterystyczne dla danego systemu oraz metody jego użytkowania i obsługiwanie i zależą od zaistniałej sytuacji eksploatacyjno-ruchowej.

W ujęciu systemowym można dokonać podziału systemu na podrzędne elementy składowe istotne z punktu widzenia jego konstrukcji. W odniesieniu do konkretnego systemu (obiektu), struktura ta może ulegać pewnym modyfikacjom, głównie może odnosić się do liczby i nazw poziomów hierarchicznych [4].

W strukturze hierarchicznej systemu sterowania ruchem kolejowym (rys. 4) można wyodrębnić cztery poziomy konstrukcyjne [4]:

- SYSTEM – całość systemu sterowania ruchem kolejowym, tj. fragment sieci PKP objęty np. przez okręg sterowania (LCS lub RCS) wraz z powiązaniem z otoczeniem,
- PODSYSTEMY – podstawowe zespoły funkcjonalne systemu srk, tj. urządzenia srk różnego przeznaczenia (m.in. blokady liniowe, blokady stacyjne, przejazdy kolejowe, urządzenia zdalnego sterowania, itd.) wykorzystane do spełniania różnych funkcji,
- URZĄDZENIA – części składowe podsystemów,
- ELEMENTY – podrzędne części urządzeń.

#### PODSUMOWANIE

Hierarchiczna struktura systemu uwzględnia przynależność poszczególnych obiektów srk do konkretnych poziomów konstrukcyjnych oraz może być przydatna do zbudowania modelu symulacyjnego systemu srk.

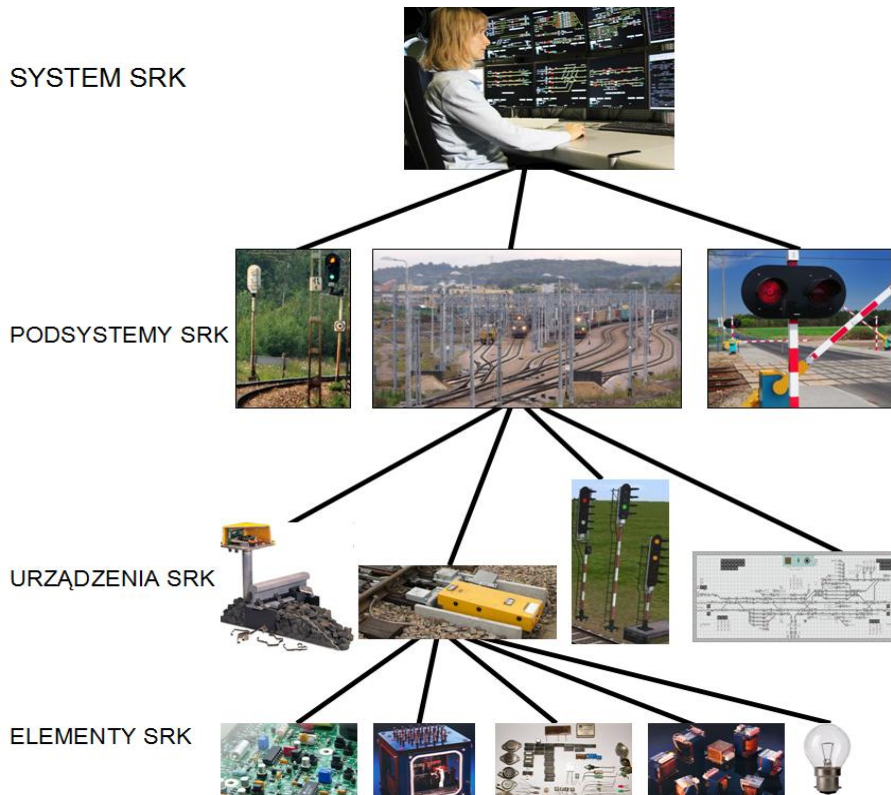
Układ hierarchiczny systemu sterowania ruchem kolejowym przedstawiony w postaci drzewa odwzorowuje jego infrastrukturę, zarówno w sensie topograficznym (przyporządkowanie urządzeń srk do poszczególnych podsystemów, np. odcinków izolowanych do samoczynnych blokad liniowych, czujników koła do licznikowych systemów kontroli niezajętości torów, itp.), jak i w sensie technicznym (typy urządzeń, ich ilość, złożoność, itp.).

Z punktu widzenia eksploatacji i niezawodności, w przypadku systemów sterowania ruchem kolejowym, szczególnie istotny jest nadmiar funkcjonalny (zwielokrotnione układy), który nieco komplikuje strukturę niezawodnościową, ale z kolei zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzenia systemu.

Głównym poziomem konstrukcyjnym, na którym odbywa się proces eksploatacji systemu sterowania ruchem kolejowym jest poziom urządzeń. Uwzględnione w nim urządzenia powinny wchodzić w skład danego obszaru sieci kolejowej, np. okręgu sterowania. Z punktu widzenia odwzorowania procesów uszkodzeń i odnow poziomu elementów jest szczególnie istotny.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Dyduch J., Kornaszewski M.: *Systemy sterowania ruchem kolejowym*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2013.
2. Dyduch J.: *Problemy systemowej analizy niezawodności urządzeń sterowania ruchem kolejowym w eksploatacji*. Transport z 3. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1975.
3. Findeisen W.: *Analiza systemowa – podstawy i metodologia*. Praca zbiorowa. PWN, Warszawa 1985.



Rys. 4. Hierarchiczna struktura obiektów wyróżnionych w systemie sterowania ruchem kolejowym

4. Kornaszewski M.: *Modelowanie odnowy systemów sterowania ruchem kolejowym w procesie eksploatacji*. Monografia Nr 179. Wydawnictwo UTH Radom, Radom 2013.
5. Kornaszewski M.: *Współczesne systemy sterowania ruchem kolejowym w Polsce*. Logistyka 3/2014.
6. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.: *Zarządca narodowej sieci linii kolejowych. Raport roczny 2013*, Warszawa 2013.
7. Zabłocki W.: *Modelowanie stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym*, Prace Naukowe TRANSPORT z 65. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
8. <http://kurierkolejowy.eu/>

## THE STRUCTURE OF RAILWAY TRAFFIC CONTROL SYSTEM IN A FUNCTIONAL APPROACH

### *Abstract*

*The system approach should consider the sub-components of the system important from the point of view of its construction. Hierarchical structure of railway traffic control system takes into account different structural levels. Tasks performed by the railway traffic control system determine the sequence of the relationship between the functional elements that form a functional structure of the system. The functioning of railway traffic control system has a significant impact on its technical and movement properties.*

Autor:

dr hab. inż. **Mieczysław Kornaszewski**, prof. nadzw. – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-88; Fax: + 48 48 361-77-42; [m.kornaszewski@uthrad.pl](mailto:m.kornaszewski@uthrad.pl)