

KAWALEC Piotr<sup>1</sup>  
KOLIŃSKI Dariusz<sup>2</sup>

## JEDNOZNACZNA METODA OPISU FUNKCJI ZALEŻNOŚCIOWYCH W SYSTEMACH STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

*W artykule zaprezentowano nowe podejście do problemu opisu funkcji zależnościowych. Polega ono na dekompozycji obiektu sterowania ruchem kolejowym (np. odcinka torowego, zwrotnicy) na proste funkcje zależnościowe, które opisywane są za pomocą automatów Moore'a. Przedstawiono sposób opisu takich obiektów z wykorzystaniem teorii automatów oraz struktur hierarchicznych. Zaprezentowano metodę weryfikacji funkcji zależnościowych na obu poziomach realizacji. Opracowana przez autorów metoda została zilustrowana na przykładzie obiektu jakim jest odcinek torowy.*

## EXPLICIT METHOD OF INTERLOCKING FUNCTIONS DESCRIPTION WITHIN INTERLOCKING SYSTEM

*The paper presents a new approach to the issue of interlocking functions descriptions. It consists in decomposition of an interlocking complex (e.g. insulated section, points) into simple interlocking functions which are described by means of Moore automata. The manner of description has been presented of such complexes with the use of automata theory and hierarchical structures. Verification method has also been presented of interlocking functions on both realization levels. The method designed by the authors of the paper has been illustrated on the example of the insulated section.*

### 1. WSTĘP

W pierwszych latach istnienia kolei bezpieczeństwo ruchu pociągów było zapewniane poprzez wprowadzenie odpowiednich procedur, które nakładało na prowadzących ruch pociągów wykonanie odpowiednich czynności. Niestety człowiek okazał się bardzo zawodnym elementem w tym procesie. Dlatego w celu poprawienia bezpieczeństwa ruchu kolejowego zaprojektowano pierwsze urządzenia sterowania ruchem kolejowym (srk), które weryfikowały wykonanie procedur narzuconych przepisami przez personel prowadzący ruch pociągów. Dynamiczny rozwój postępu technicznego powodował

---

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział transportu; 00-662 Warszawa; ul. Koszykowa 75.  
tel: + 48 234-75-85, e-mail: pka@it.pw.edu.pl

<sup>2</sup> Egis Poland Sp. z o.o.; 02-822 Warszawa; ul. Poleczki 13B  
tel: + 48 324-18-59, e-mail: d.kolinski@egis-poland.com

naturalną ewolucję urządzeń srk od technologii mechanicznych przez elektryczne, do mikroprocesorowych (elektronicznych i komputerowych). Wraz z pojawianiem się nowych możliwości technologicznych w realizacji systemów srk, zwiększała się ilość weryfikowanych procedur, kontrolowanych przez system sterowania oraz powiększał się obszar objęty sterowaniem z jednego systemu. Powolna ewolucja systemów zależnościowych doprowadziła do znacznego ograniczenia udziału człowieka w prowadzeniu procesu przewozowego. Mimo tak ważnej roli systemów srk, do dziś jednak nie opracowano pełnego spójnego opisu realizacji funkcji zależnościowych. Wraz z nowo wprowadzonymi urządzeniami pojawiały się albumy do projektowania. Równocześnie tworzone były wymagania w formie opisu słownego, które wprowadzono do treści rozporządzeń, instrukcji lub innych dokumentów publikowanych przez narodowego zarządcę infrastruktury.

Potrzeba jednolitego opisu systemów srk została zauważona również przez Międzynarodowy Związek Kolei UIC. Uruchomiony został projekt INESS – INtegrated European Signalling Systems (Zintegrowany europejski system srk). Celem tego projektu było opracowanie wspólnych wymagań dla europejskiego systemu zależnościowego. W pierwszym kroku przedstawiciele zarządców kolejowych dokonywali opisu funkcji zależnościowych za pomocą języka behawioralnego. Następnie opis ten miał posłużyć do opracowania w języku ULM jądra systemu zależnościowego [7]. Niestety cele postawione przez UIC nie zostały osiągnięte.

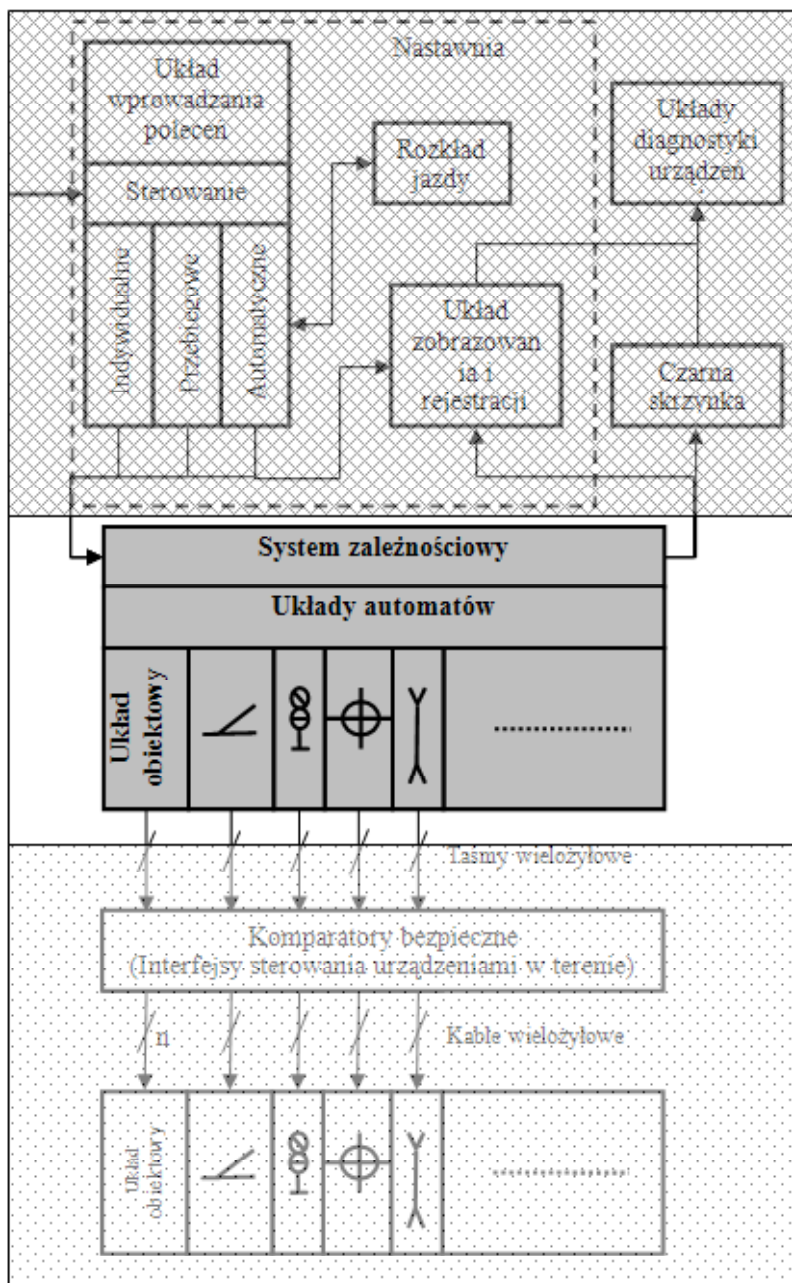
Wymienione powyżej zdarzenia skłoniły autorów do zajęcia się problemem opisu funkcji zależnościowych w systemie srk. Rozwiązanie tego problemu rozpoczęto od zdefiniowania obszaru występowania funkcji zależnościowych. W obszarze tym przyjęto podział na obiekty rzeczywiste odwzorowujące system srk. Następnie autorzy proponują metodę dekompozycji obiektu na rozłączne funkcje sterujące, dla których możliwy jest opis behawioralny, z którego naturalne jest przejście do specyfikacji w postaci automatów skończonych. Proces specyfikacji i weryfikacji automatów wspomagany jest komputerowo i pozwala w kolejnym kroku z opracowanych automatów zbudować strukturę hierarchiczną odwzorowującą obiekt.

## 2. SYSTEM STEROWANIA RUCHEM KOLEJOWYM

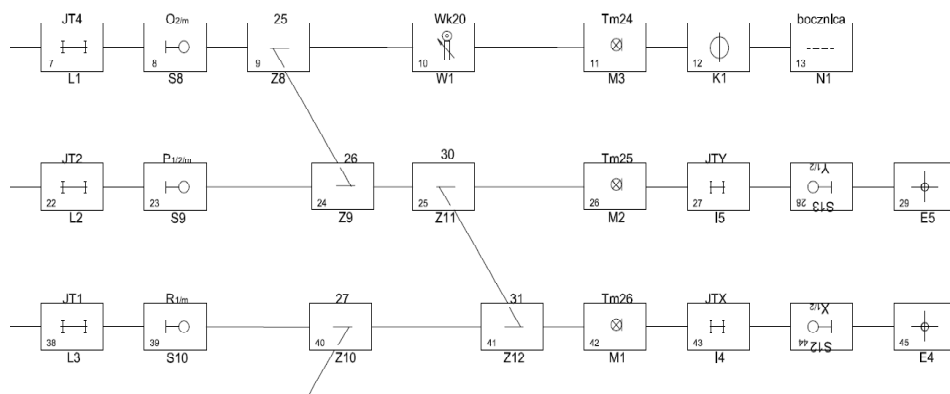
### 2.1 Architektura systemu

W miejscowym systemie sterowania ruchem kolejowy (rys.1.) wyróżniamy trzy warstwy: **nadrzędną** (górną zakreskowaną na rysunku), **zależnościową** (środkową) i **wykonawczą** (dolną zakropkowaną). Pierwsza z tych warstw służy do zobrazowania stanu obiektów systemu oraz wprowadzania poleceń nastawczych. Warstwa zależnościowa odpowiada za realizację funkcji zależnościowych i to na jej poziomie sprawdzana jest możliwość realizacji wprowadzonych poleceń w zależności od stanu urządzeń oraz sytuacji ruchowej na posterunku ruchu. Warstwa wykonawcza odpowiada za kontrolę stanu obiektu oraz właściwe wysterowanie obiektu po otrzymaniu polecenia z warstwy zależnościowej. Należy również zauważyć, że każda z tych warstw ma własne wymagania dotyczące realizowanych funkcji. Prezentowane zagadnienie dotyczy warstwy zależnościowej.

Współczesne systemy srk przedstawiane są w postaci obiektów (rys.2.) odzwierciedlających układy torowe posterunków ruchu i geograficzne rozmieszczenie



Rys.1. Schemat blokowy systemu sterowania ruchem kolejowym.



Rys.2. Obiektowe odwzorowanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym.

obiektów srk [1, 2, 9]. W celu opracowania opisu systemu zależnościowego należy przenieść obiekty na warstwę zależnościową. Niestety próby przedstawienia w postaci automatu skończonego choćby najprostszego obiektu srk pokazały, że jest to problemem NP-trudny. Analiza dotychczasowych rozwiązań oraz doświadczenia autorów z modelowaniem systemów srk [4, 5, 6, 8] potwierdziły konieczność zastosowania dekompozycji funkcji obiektu. Dekompozycja ta polega na wyodrębnieniu podstawowych funkcji pełniących w systemie zależnościowym. Dalej te funkcje będą nazywane funkcjami zależnościowymi.

## 2.2 Funkcje zależnościowe

Zapewnienie przyjętego poziomu bezpieczeństwa ruchu kolejowego realizowane jest w systemach srk poprzez zależności. Pod pojęciem tym rozumie się uzależnienie sygnałów na semaforach od stanu położenia zwrotnic i wykolejnic, stanu urządzeń układowej kontroli niezajętości torów i rozjazdów, stanu blokad liniowych, stanu utwierdzenia przebiegów, wykluczenia przebiegów sprzecznych. Złożone zależności można zdekomponować do prostych funkcji realizowanych przez obiekt. Pod pojęciem funkcji zależnościowych należy rozumieć funkcje pozwalające na kontrolowanie iysterowanie obiektów srk.

Przeprowadzenie dekompozycji obiektów na pojedyncze funkcje zależnościowe pozwala je odwzorować w postaci automatów Moore'a [3]:

$$A^i = (X^i, S^i, Y^i, \delta^i, \lambda^i) \quad (1)$$

gdzie:  $X^i = \{x_n^i, \dots, x_1^i\}$  – zbiór liter wejściowych (alfabet wejściowy) dla i-tego automatu,

$S^i = \{s_k^i, \dots, s_1^i\}$  – zbiór stanów wewnętrznych (alfabet wewnętrzny) dla i-tego automatu,

$Y^i = \{y_m^i, \dots, y_1^i\}$  – zbiór liter wyjściowych (alfabet wyjściowy) dla i-tego automatu,

$\delta^i$  – funkcja przejść dla i-tego automatu,

$\lambda^i$  – funkcja wyjść dla i-tego automatu.

Zgodnie z ogólną teorię systemów sterowania, można powiedzieć, że dowolny obiekt  $srk$  da się przedstawić za pomocą skończonej ilości automatów. Co dla systemu zależnościowego  $srk$  można zapisać w następującej postaci:

$$O_{srk} = \bigcup_{k=1}^n A^k \quad (2)$$

gdzie:

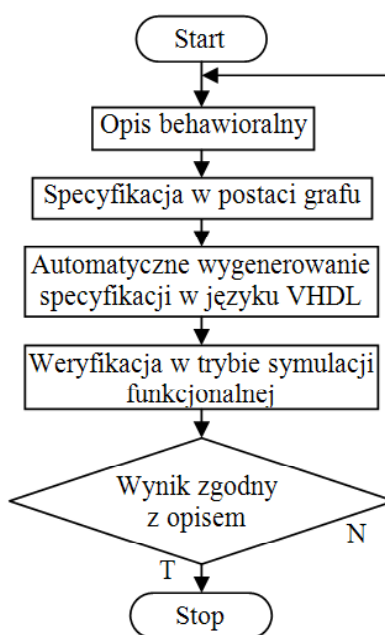
$O_{srk}$  – obiekt  $srk$  (zbiór automatów obiektu  $srk$ ),

$A^k$  – automat  $k$ -tej funkcji sterującej obiektu  $srk$ ,

Przyjęte założenie związane z opisem funkcji w postaci automatów jest szczególnie ważne, albowiem dowolny obiekt  $srk$  można opisywać jako obiekt reaktywny tzn. taki, w którym zmienne wejściowe pojawiają się w dowolnej kolejności i w dowolnych chwilach czasowych, co jest charakterystyczne dla kolejowych systemów sterowania. Należy również podkreślić, że system  $srk$  musi być systemem czasu rzeczywistego, co oznacza, że czas odpowiedzi systemu musi być „niezauważalny” dla otoczenia.

### 3. ALGORYTM TWORZENIA I WERYFIKACJI FUNKCJI ZALEŻNOŚCIOWYCH

Algorytm opracowania funkcji zależnościowych przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Algorytm tworzenia i weryfikacji funkcji zależnościowych.

Po dekompozycji obiektu na funkcje zależnościowe, dla każdej zidentyfikowanej funkcji zależnościowej w pierwszym kroku dokonywany jest opis nieformalny na podstawie obowiązujących przepisów, doświadczeń i przyjętych założeń. Opis ten jest podstawą opracowania automatu funkcji zależnościowej. Ponieważ automat Moore'a przedstawia się jako graf skierowany, więc do opracowania automatu wystarcza specyfikacja grafów przejść. Od tego momentu kolejne kroki wspierane są komputerowo i realizowane były w programie Active-HDL. Grafy rysowane są w edytorze FSM, a następnie generowany jest opis funkcji zależnościowej w języku VHDL. Ostatnim krokiem w opracowaniu funkcji zależnościowej jest weryfikacja funkcji w trybie symulacji funkcjonalnej.

#### 4. OPRACOWANIE OBIEKTU

Zaproponowany sposób opisu funkcji zależnościowych przedstawiony jest na przykładzie obiektu, jakim jest odcinek torowy „krótki”. Odcinek ten w obszarze stacji jest fragmentem toru, na którym nie może odbywać się postój pociągu. Kontrola stanu toru odbywa się na poziomie układów obiektowych rys.1. Informacja o stanie odcinka wolny, zajęty, uszkodzony przekazywana jest za pomocą urządzeń transmisji do systemu zależnościowego. Odcinek jest niesterowalnym elementem układu torowego.

##### 4.1 Dekompozycja na funkcje zależnościowe

Obiekt reprezentujący odcinek torowy „krótki” w systemie zależnościowym spełnia funkcje o charakterze rzeczywistym i nierzeczywistym. W pierwszej grupie występuje funkcja odzwierciedlająca stan odcinka torowego. Takie odzwierciedlenie jest niezbędne, ponieważ we współczesnych systemach srk ciągle przekazywanie informacji o urządzeniach w terenie zastąpiono cykliczną transmisją.

Nierzeczywistymi funkcjami odcinka torowego są funkcja utwierdzenia i funkcja zamknięcia ruchowego. Utwierdzenie jest funkcją, która umożliwia wykorzystanie odcinka torowego dla tylko jednej jazdy pociągu lub manewru.

Funkcja zamknięcia ruchowego pozwala na wyłączenie odcinaka toru z obszaru, na którym można prowadzić zorganizowany ruch pociągów i ma ona charakter analogiczny do zamknięć pomocniczych [10].

##### 4.2 Opis funkcji zależnościowych

W opisie behawioralnym funkcji zależnościowej, konieczne jest określenie: stanów obiektu, warunków w których możliwe jest przejście pomiędzy stanami oraz funkcji wyjść. Przy czym dla funkcji rzeczywistych będzie dalej używane pojęcie stanu a dla funkcji nierzeczywistej pojęcie statusu.

**Funkcja stanów** ma trzy stany:

- wolny, gdy na odcinku torowym nie ma taboru,
- zajęty, gdy na odcinku torowym jest tabor,
- uszkodzony, gdy odcinek torowy jest niesprawny.

Przejście od stanu wolnego do zajętego i odwrotnie jest odpowiednikiem wykrycia lub niewykrycia taboru na odcinku torowym. Przejście do stanu uszkodzenia musi być możliwe

z dowolnego stanu i odbywa się po wykryciu niesprawności. Wyjście ze stanu uszkodzenia jest możliwe tylko do stanu zajętości.

Odcinek jest zajęty, gdy znajduje się w stanie uszkodzonym, bądź zajęтым.

**Funkcja statusów utwierdzenia** została opracowana z założeniem, że każdy z kierunków utwierdzenia dla pociągu i manewru będzie niezależny. Takie założenie już na poziomie wyizolowanego obiektu eliminuje konieczność stosowania wykluczenia specjalnego. Odcinek torowy może być utwierdzony tylko dla jednej jazdy, zatem status neutwierdzenia jest wspólny dla wszystkich kierunków i rodzajów utwierdzeń (pociągowe lub manewrowe). Natomiast dla każdego z kierunków i rodzajów utwierdzenia występują trzy statusy:

- utwierdzenia, gdy odcinek torowy jest utwierdzony,
- zwalniania, gdy rozpoczęło się zwalnianie przebiegu,
- wstrzymania zwalniania, gdy tabor zmienił kierunek jazdy.

Przejście do stanu utwierdzenia jest możliwe, po wprowadzeniu polecenia utwierdzenia przez obsługę i może nastąpić tylko gdy odcinek jest wolny i dostępny dla ruchu. Przejście ze statusu utwierdzenia do zwalniania może odbyć się:

- dla utwierdzenia pociągowego, gdy odcinek przeszedł w stan zajętości,
- dla utwierdzenia manewrowego, gdy odcinek poprzedzający przeszedł w stan zajęty.

Przejście ze statusu zwalniania do statusu neutrudzonego może odbyć się:

- dla utwierdzenia pociągowego, gdy odcinek utwierdzony przeszedł w stan wolny a odcinek następny jest jednocześnie zajęty,
- dla utwierdzenia manewrowego, gdy odcinek poprzedzający przeszedł w stan wolny a odcinek utwierdzony jest jednocześnie zajęty,
- dla obu rodzajów utwierdzeń, gdy wprowadzone zostaną przez obsługę polecenia specjalne.

**Funkcja statusów zamknięcia** ma dwa statusy:

- pełnej dostępności ruchowej, gdy po odcinku toru może odbywać się ruch taboru,
- zamknięcia toru, gdy po odcinku toru nie może odbywać się ruch taboru.

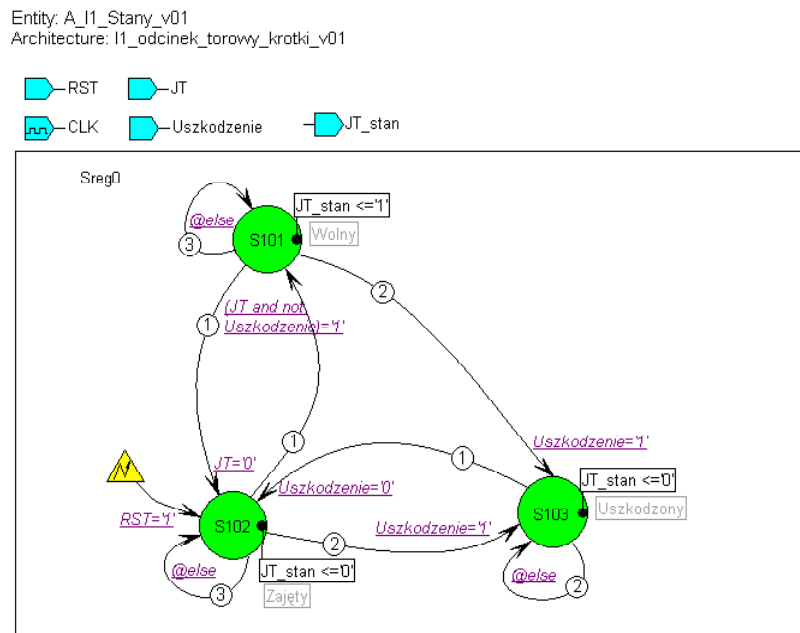
Funkcja ta może być wprowadzana i odwoływana przez obsługę w dowolnej sytuacji stosownymi poleceniami.

### 4.3 Budowa grafu przejść

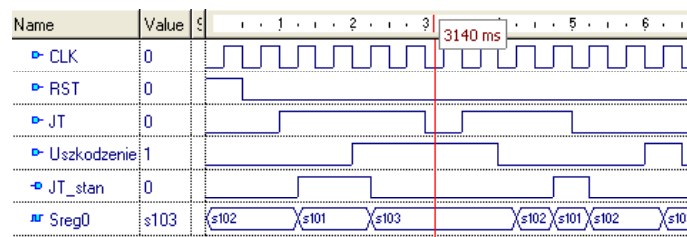
Na podstawie opisu behawioralnego wyspecyfikowane zostały poszczególne funkcje w postaci automatów Moore'a. W edytorze FSM pakietu Active-HDL narysowane zostały grafy każdej z funkcji. Łuki grafów przejść opisane zostały z zastosowaniem literałów w odpowiedniej postaci. Łukom wychodzącym z wierzchołków przypisane zostały priorytety oznaczające kolejność sprawdzania warunków przypisanych tym łukom. Następnie w stanach (statusach) rozmieszczone zostały wyjścia (operacje). Przykładowa specyfikacja przedstawiona jest na rys.4.

#### 4.4 Testowanie

Proces testowania polega na podawaniu i zmianie wartości wejściowych a symulator pakietu Active-HDL generuje odpowiedzi na wyjściach, po każdym kroku symulacji. Dzięki temu możliwa jest szczegółowa obserwacja zachodzących zmian oraz weryfikacja poprawności opracowanych funkcji. Przekładowy fragment przebiegu symulacji przedstawiono na rys.5.



Rys.4. Wypycyfikowany w edytorze FSM graf funkcji stanu odcinka torowego.



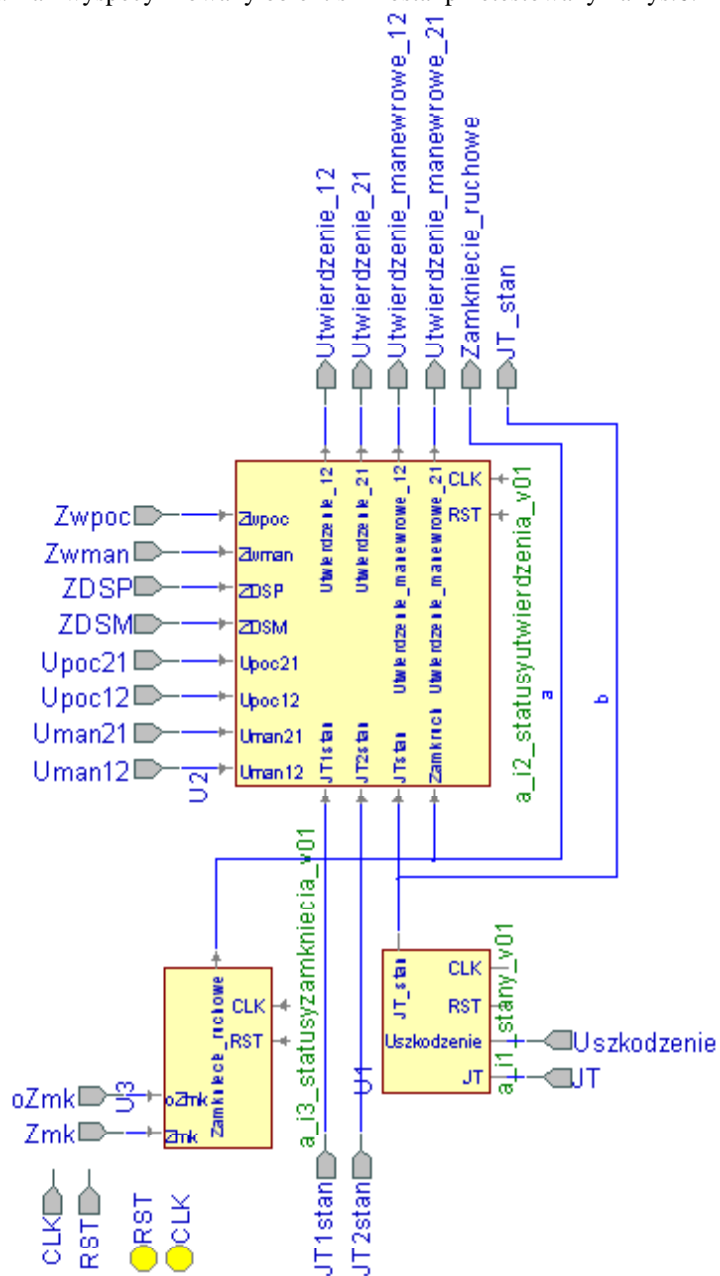
Rys.5 Przebiegi symulacji funkcjonalnej odcinka torowego.

#### 4.5 Budowa obiektu

W edytorze BDE umieszczone zostały układy odzwierciedlające funkcje zależnościowe, następnie wykonane zostały połączenia między układami oraz podłączone wejścia



i wyjścia. Tak wyspecyfikowany obiekt srk został przetestowany na rys.6.



Rys.6. Wyspecyfikowany w edytorze BDE obiekt srk odzwierciedlający odcinek torowy.

## 5. WNIOSKI

Zastosowanie dekompozycji obiektu srk na rozłączne funkcje zależnościowe pozwoliło na opisanie tych funkcji w postaci automatów skończonych. Natomiast wykorzystanie wspomaganie komputerowego umożliwiło prostą budowę opisanych funkcji i łatwą ich weryfikację w trybie symulacji funkcjonalnej. Możliwa była również budowa układu hierarchicznego opisującego obiekt srk. Uzyskane wyniki potwierdziły poprawność opisu obiektu srk jakim jest odcinek torowy. Zaprezentowane podejście pozwoliło autorom na opis kolejnych obiektów srk. Po opracowaniu pełnego zbioru obiektów srk prace będą prowadzone w kierunku budowy systemu zależnościowego dla posterunku ruchu.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2002.
- [2] Dyduch J. (red.): *Innowacyjne systemy sterowania ruchem*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2010.
- [3] Kawalec P.: *Analiza i synteza specjalizowanych układów modelowania i sterowania ruchem w transporcie*, *Prace Naukowe – Transport*, z. 68, OWPW, Warszawa, 2009.
- [4] Kawalec P., Koliński D.: *Algorytmizacja funkcji samoczynnych sygnalizacji przejazdowych z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego*. *Materiały VII Konferencji „Komputerowe systemy wspomaganie nauki, przemysłu i transportu TRANSCOMP”*, Zakopane, 2003, str. 255-260.
- [5] Kawalec P., Koliński D.: *Modelowanie obwodów przekaźnikowych urządzeń srk językach opisu sprzętu*. *Politechnika Radomska, Prace Naukowe – Elektryka nr 1 (9) 2005*, Radom, 2005. str. 101-106.
- [6] Kawalec P., Koliński D.: *Zastosowanie języków opisu sprzętu do modelowania elementów srk o charakterystyce przekaźnikowej*. *Politechnika Radomska, Prace Naukowe – Elektryka nr1 (9) 2005*, Radom, 2005. str. 107-112.
- [7] Kawalec P., Koliński D.: *Modelowanie interlocking`u z zastosowaniem języka opisu sprzętu*. *Logistyka 6/2010*, Poznań, 2010, str. 1329 – 1337.
- [8] Kawalec P., Koliński D., Mocki J.: *Zastosowanie programowalnych struktur logicznych w projektowaniu urządzeń sterowania ruchem kolejowym*. *Problemy kolejnictwa, Nr 140*, CNTK, Warszawa, 2005, str. 66 – 88.
- [9] Zabłocki W.: *Modelowanie stacyjnych systemów sterowania ruchem kolejowym*, *Prace Naukowe – Transport*, z. 65, OWPW, Warszawa, 2008.
- [10] *Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1*, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2011.