

Piotr Kawalec<sup>1</sup>, Marcin Rżysko<sup>2</sup>

Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Zakład Sterowania Ruchem

## Zastosowanie języków opisu sprzętu do specyfikacji urządzeń srk

### 1. WPROWADZENIE

Metody opisu urządzeń sterowania ruchem kolejowym ewoluowały wraz z rozwojem techniki ich wykonania. W przypadku pierwszych urządzeń mechanicznych czy elektromechanicznych stosowane były opisy słowne. Technika przekaźnikowa spopularyzowała jako metodę opisu schemat elektryczny. Wzrost złożoności układów przekaźnikowych powodował coraz większe trudności w ich projektowaniu, jednak nim znaleziono optymalne rozwiązanie pojawiła się nowa technika realizacji urządzeń, czyli układy elektroniczne. Te zaś projektowane są różnymi metodami, zależnie od producenta czy typu urządzenia. Przez pewien czas stan ten wydawał się nie być problematyczny, jednak obecna tendencja do obejmowania coraz większych obszarów sterowaniem z jednej nastawni (lokalnego centrum sterowania) powoduje, iż znacząco wzrasta ilość funkcji realizowanych przez poszczególne systemy srk. Konieczność współpracy wielu typów urządzeń (systemy zależnościowe, blokady liniowe, systemy przekazywania informacji o pociągu, układy diagnostyki taboru) w obrębie jednego obszaru sterowania powoduje, że niezbędne staje się znalezienie jednolitej i spójnej platformy projektowej i opisowej dla różnych rodzajów urządzeń i systemów sterowania ruchem kolejowym.

Niniejszy artykuł przedstawia koncepcję wykorzystania do stworzenia takiej platformy języków opisu sprzętu wraz z dedykowanymi narzędziami wspomagania komputerowego. Udowodniona została przydatność wspomagania komputerowego do szczegółowej analizy działania urządzeń przekaźnikowych [3]. Poruszany jest również w pracach naukowych temat zastosowania w technice srk układów programowalnych, tworzonych przy użyciu języków opisu sprzętu [4]. W tym artykule przedstawiony zostanie proces tworzenia i weryfikowania modelu urządzenia od powstania algorytmu do wygenerowania kodu języka opisu sprzętu.

### 2. ANALIZA METOD OPISU URZĄDZEŃ SRK

Pierwotnie urządzenia sterowania ruchem kolejowym opierały się głównie na zależnościach mechanicznych. W celu pokazania i opisanie zasady ich działania opracowywane były szczegółowe opisy słowne, wzbogacane rysunkami poszczególnych elementów i schematami ich współpracy [5]. Projektowanie takich urządzeń było procesem długotrwałym i skomplikowanym, gdyż aby upewnić się, czy urządzenie zadziała poprawnie, konieczne było wybudowanie prototypu i jego przetestowanie. Sam opis stanowił jedynie zapis idei i wytyczne do konstrukcji.

W przypadku urządzeń przekaźnikowych najpowszechniejszą formą opisu są schematy elektryczne [6]. Schemat taki odzwierciedla fizyczne połączenie poszczególnych elementów układu, jest więc dogodną formą do montażu. Jako metoda projektowania, opiera się wyłącznie na doświadczeniu projektanta. Możliwa jest tylko statyczna analiza układu, która jednak w przypadku złożonych układów staje się żmudna i długotrwała, a i tak nie daje gwarancji, że urządzenie w ogóle uda się uruchomić.

Stosowany jest też opis działania urządzeń srk w postaci graficznej. Takimi zapisami mogą być schematy blokowe algorytmu lub grafy przejść (maszyny stanów). Metody te stosowane są przy projektowaniu urządzeń komputerowych, stanowią jednak tylko pośredni etap syntezy. Nie jest bowiem

---

<sup>1</sup> pka@it.pw.edu.pl<sup>2</sup> m.rzysko@gmail.com

możliwe automatyczne przekształcenie tak stworzonego modelu w program gotowy do zaimplementowania w urządzeniu bez narzędzi wspomaganie komputerowego. Takie narzędzia są już co prawda wykorzystywane do pojedynczych rozwiązań (na przykład narzędzia GLE i SST/SVT dla języka *Sternol* w systemie *EBILock* firmy Bombardier), ich zastosowanie jest jednak ograniczone do konkretnego urządzenia, nie mogą więc stanowić uniwersalnej platformy projektowej.

Opisane metody projektowania to w większości metody heurystyczne, nie pozwalające na jednoznaczne stwierdzenie, że wykonany projekt uwzględnia wszystkie możliwe zachowania modelowanego układu. Widoczny jest brak jednego, zunifikowanego środowiska, w którym proces projektowania byłby pozbawiony wymienionych niedogodności.

### 3. JEZYKI OPISU SPRZĘTU

Wykorzystanie języków opisu sprzętu (HDL – *Hardware Description Languages*) stanowi dziś światowy standard w projektowaniu układów elektronicznych, szczególnie w zastosowaniach wymagających wysokiej niezawodności działania (lotnictwo, wojsko). Języki HDL umożliwiają tworzenie sformalizowanego modelu działania układu, będącego zarówno zapisem projektu, jak i podstawą do implementacji oraz wykonania prototypu. Popularność języków opisu sprzętu sprawia, że posiadają one wiele dedykowanych narzędzi CAD, czyli komputerowego wspomaganie prac projektowych. Takie narzędzia nie tylko upraszczają proces tworzenia kodu, ale także umożliwiają automatyczną weryfikację oraz symulowanie działania opracowanego modelu, co stanowi podstawowy argument przemawiający za ich wykorzystaniem. Dokonując wyboru środowiska projektowania należy kierować się dostępnością takich narzędzi CAD, które umożliwiają pracę nad projektem na każdym etapie (specyfikacja, weryfikacja, synteza, implementacja). Takie warunki mogą zapewnić tylko języki mające status światowego standardu. Jednym z nich jest język VHDL, który znalazł zastosowanie w modelowaniu złożonych układów cyfrowych w wielu branżach automatyki [2].

Możliwości proponowanej metody zaprezentowane zostaną na przykładzie specyfikacji i weryfikacji algorytmu działania jednodostępowej blokady liniowej w języku VHDL. Proces projektowania (niezależnie od przyjętej metody) rozpoczyna się od stworzenia schematu blokowego algorytmu.

### 4. ALGORYTM DZIAŁANIA JEDNOODSTĘPOWEJ BLOKADY LINIOWEJ

Blokady liniowe to urządzenia, które zabezpieczają ruch pociągów na szlaku, uzależniając od siebie działania sąsiednich posterunków ruchu. Podstawową funkcją tych układów jest więc niedopuszczenie do pojawienia się na jednym torze szlakowym pociągów jadących w przeciwnych kierunkach, oraz zachowanie odpowiedniego odstępu pomiędzy pociągami poruszającymi się w tym samym kierunku. Zgodnie z tradycyjnym podziałem blokady liniowe dzielą się na półsamoczynne i samoczynne [1]. W przypadku obecnie wdrażanych blokad jednodostępowych rozróżnienie nie jest już takie oczywiste, ponieważ posiadają one cechy obu wymienionych typów. Układowa kontrola niezajętości szlaku pozwala na samoczynne stwierdzenie przyjazdu pociągu w całości (nie jest więc konieczna kontrola wzrokowa, jak w przypadku klasycznych blokad półsamoczynnych). Nadal jednak przed wyświetleniem sygnału zezwalającego należy ręcznie ustawić kierunek blokady.

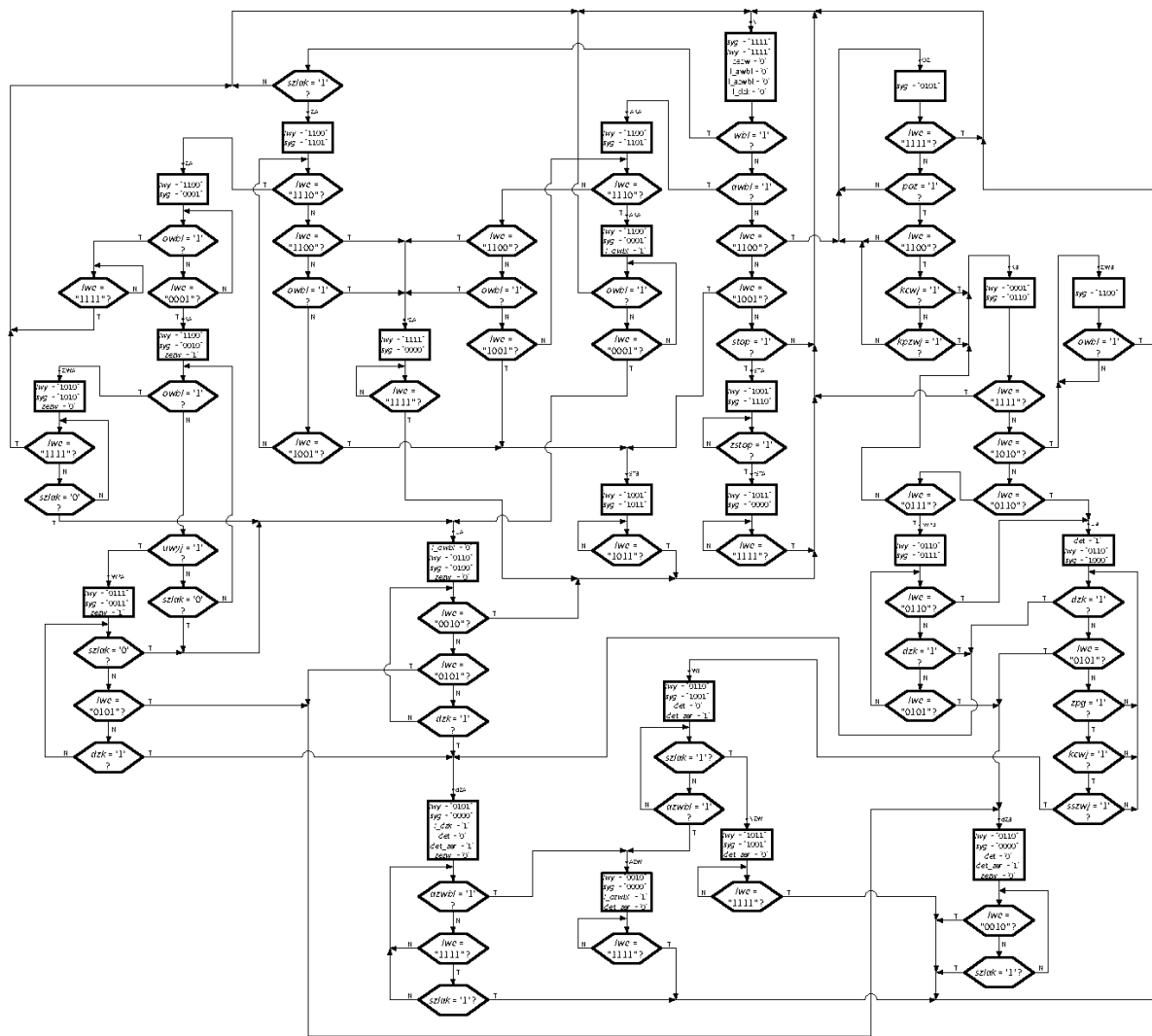
Opracowany algorytm stworzony został w oparciu o instrukcję WTB-E10 oraz zasadę działania podobnych urządzeń tego typu (takich jak blokada typu Eap w wersji z kontrolą niezajętości szlaku). Przyjęto następujące założenia dotyczące funkcjonalności blokady:

- w stanie zasadniczym brak ustawionego kierunku,
- włączenie kierunku możliwe tylko przy niezajętości szlaku,
- awaryjne włączenie kierunku (rejestrowane) przy braku kryterium niezajętości,
- samoczynne utwierdzenie kierunku po utwierdzeniu przebiegu wyjazdowego na szlak lub po zajęciu szlaku (na przykład przy wyjeździe na sygnał zastępczy),

- nierejestrowane odwołanie nieutwierdzonego kierunku, możliwość odwołania kierunku w dowolnym momencie (rejestrowanego),
- samoczynne zwolnienie blokady po wjeździe pociągu,
- ręczne zwolnienie (rejestrowane) przy braku wykrycia wjazdu lub braku kryterium niezajętości szlaku,
- możliwość zastopowania blokady (uniemożliwienia włączenia kierunku).

Projektowana blokada będzie składać się z dwóch modułów (po jednym na obu przyległych posterunkach ruchu) połączonych linią transmisyjną. Działanie urządzenia opierać się będzie na równoległej realizacji powyższych funkcji przez obydwa moduły.

Na podstawie przyjętych założeń skonstruowany został algorytm działania pojedynczego modułu blokady. Jego schemat blokowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy algorytmu

Źródło: opracowanie własne.

Jak już wspomniano opracowanie algorytmu i jego zapis w postaci schematu blokowego stanowią nieodłączny etap każdego projektu urządzenia srk. W dalszej części artykułu pokazane zostanie przeniesienie pracy do środowiska CAD i możliwości, jakie daje nam zastosowanie języków opisu sprzętu.

## 5. SPECYFIKACJA ALGORYTMU W JĘZYKU VHDL

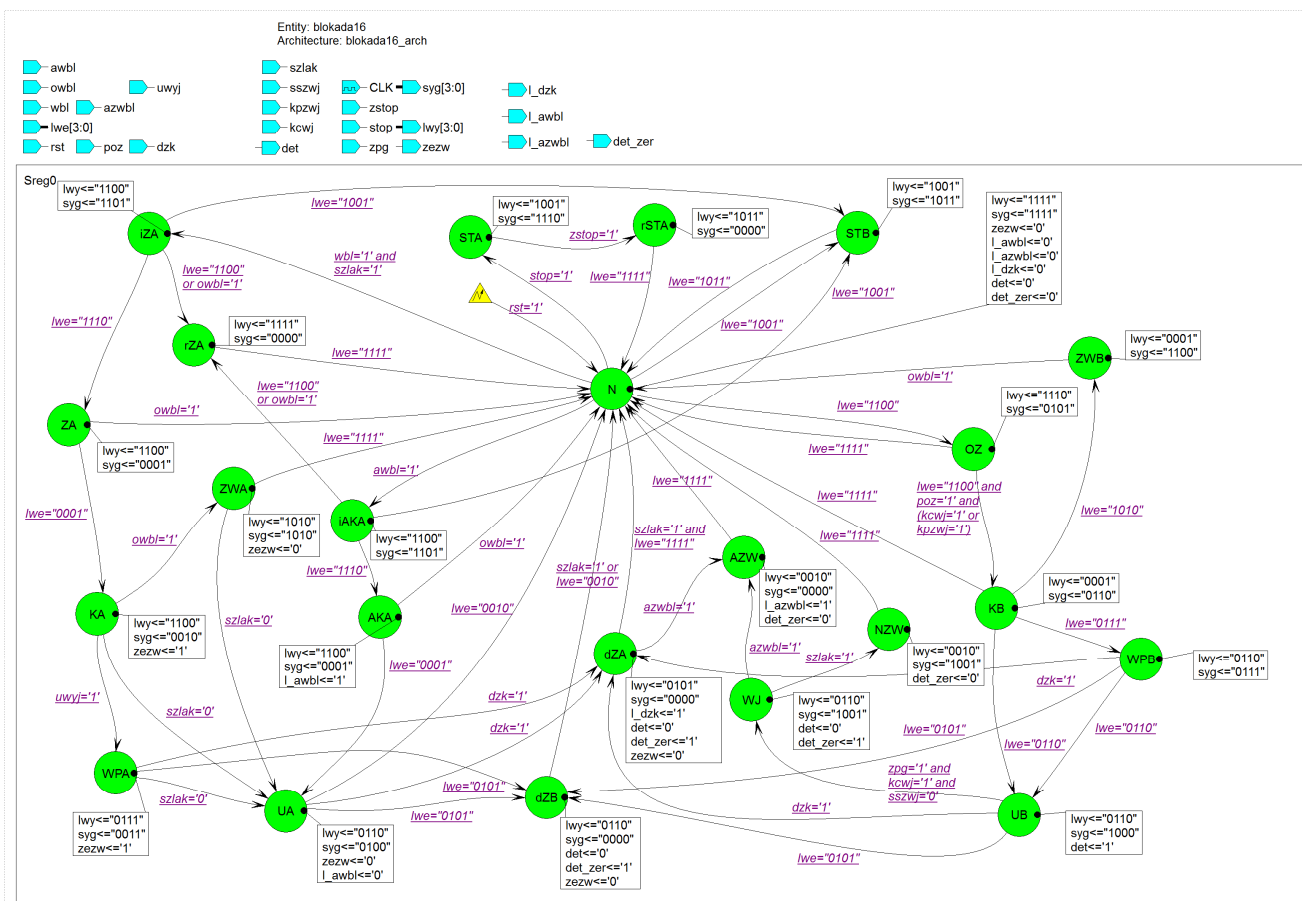
Do specyfikacji projektu w języku VHDL wykorzystano pakiet Active-HDL. Stanowi on wygodne i kompletne narzędzie pozwalające na tworzenie kodu języka przy pomocy intuicyjnych edytorów

(tekstowego, blokowego oraz edytora grafów), automatyczną weryfikację oraz syntezę i implementację kodu. Do wyspecyfikowania pojedynczego modułu blokady wykorzystane zostały wszystkie dostępne edytory.

Na specyfikację kompletnego modułu składają się:

- zasadniczy algorytm (opracowany w poprzednim rozdziale) – jeden dla każdego toru,
- algorytm detekcji wjazdu pociągu – jeden dla każdego toru,
- układ wiążący urządzenia stacyjne z blokadą.

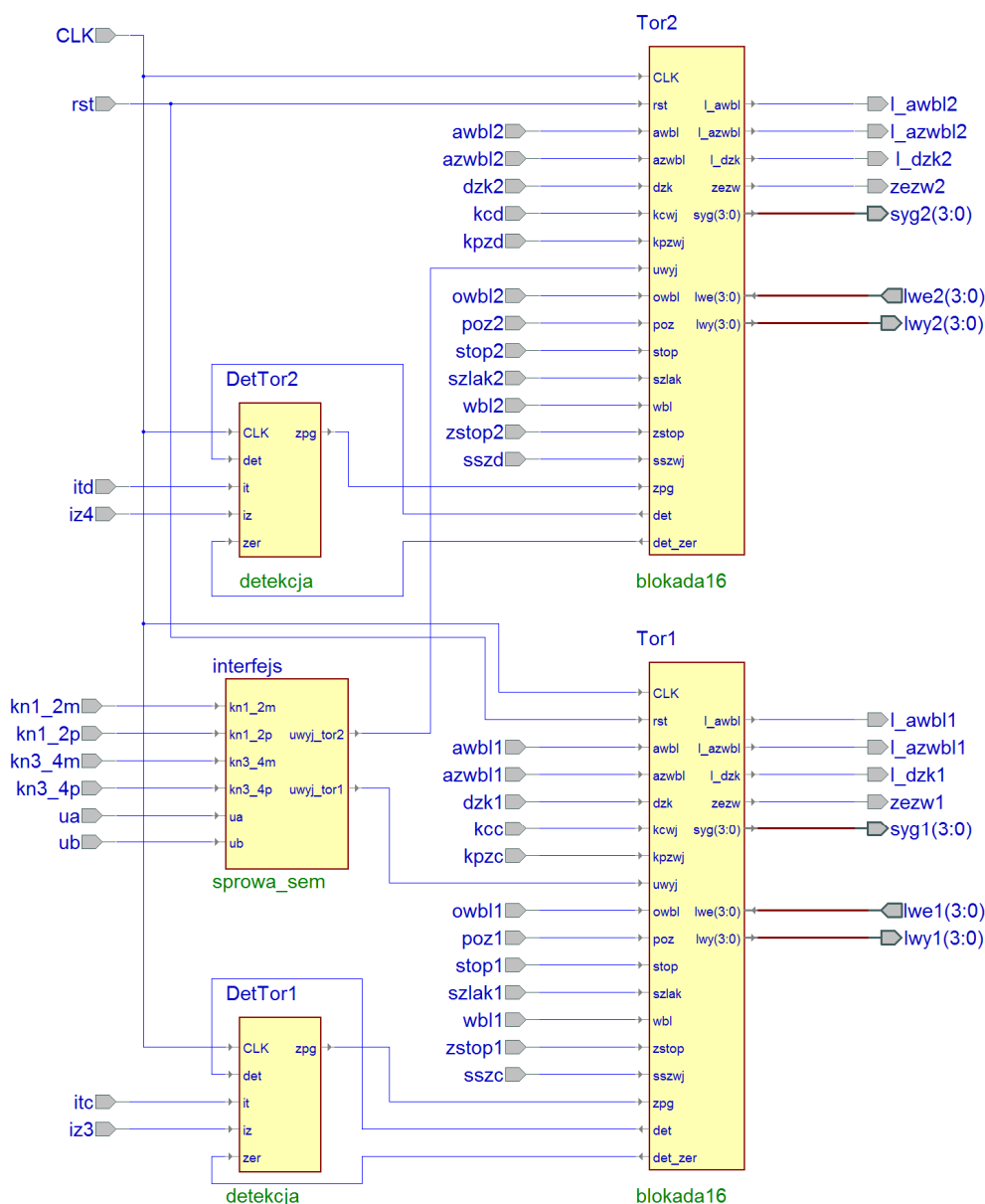
Zasadniczy algorytm działania wykonany został w edytorze grafów przejść FSM (rys. 2). W górnej części widoczne jest odwzorowanie jednostki projektowej, w tym polu zawarte są zadeklarowane zmienne wejściowe oraz wyjściowe. Zasadniczą część stanowi graf, będący odwzorowaniem architektury układu.



Rys. 2. Specyfikacja algorytmu działania blokady w edytorze FSM

Źródło: opracowanie własne.

Za pomocą tego samego edytora wykonano moduł wykrywający wjazd pociągu. Układ kontroli utwierdzenia przebiegu wyjazdowego, będący prostym układem kombinacyjnym, wyspecyfikowano w edytorze tekstowym HDE. Wykonanie go jako oddzielny element ułatwia dostosowanie urządzenia do dowolnego układu torowego na posterunku ruchu. Poszczególne fragmenty modułu zostały połączone w całość w edytorze schematów blokowych BDE. W ten sposób powstała pełna specyfikacja pojedynczego modułu blokady (rys. 3). Zaletą wykorzystania wspomaganie komputerowe jest możliwość projektowania układu za pomocą edytorów graficznych, w których praca jest przejrzysta i intuicyjna. Widoczne są też zależności hierarchiczne. Wynik końcowy specyfikacji, w postaci kodu języka VHDL, generowany jest automatycznie. Wielokrotnie skraca to czas opracowania projektu, pozwalając poświęcić więcej uwagi funkcjonalności układu niż sprawdzaniu poprawności zapisania projektu. Samoczynne zarządzanie składnią języka ogranicza możliwość występowania błędów w kodzie. Pozostałe błędy, wynikające z nieprawidłowego wykonania lub wyspecyfikowania algorytmu, wyeliminować można dzięki symulatorom logicznym.



Rys. 3. Pełna specyfikacja modułu dla linii dwutorowej.

Źródło: opracowanie własne.

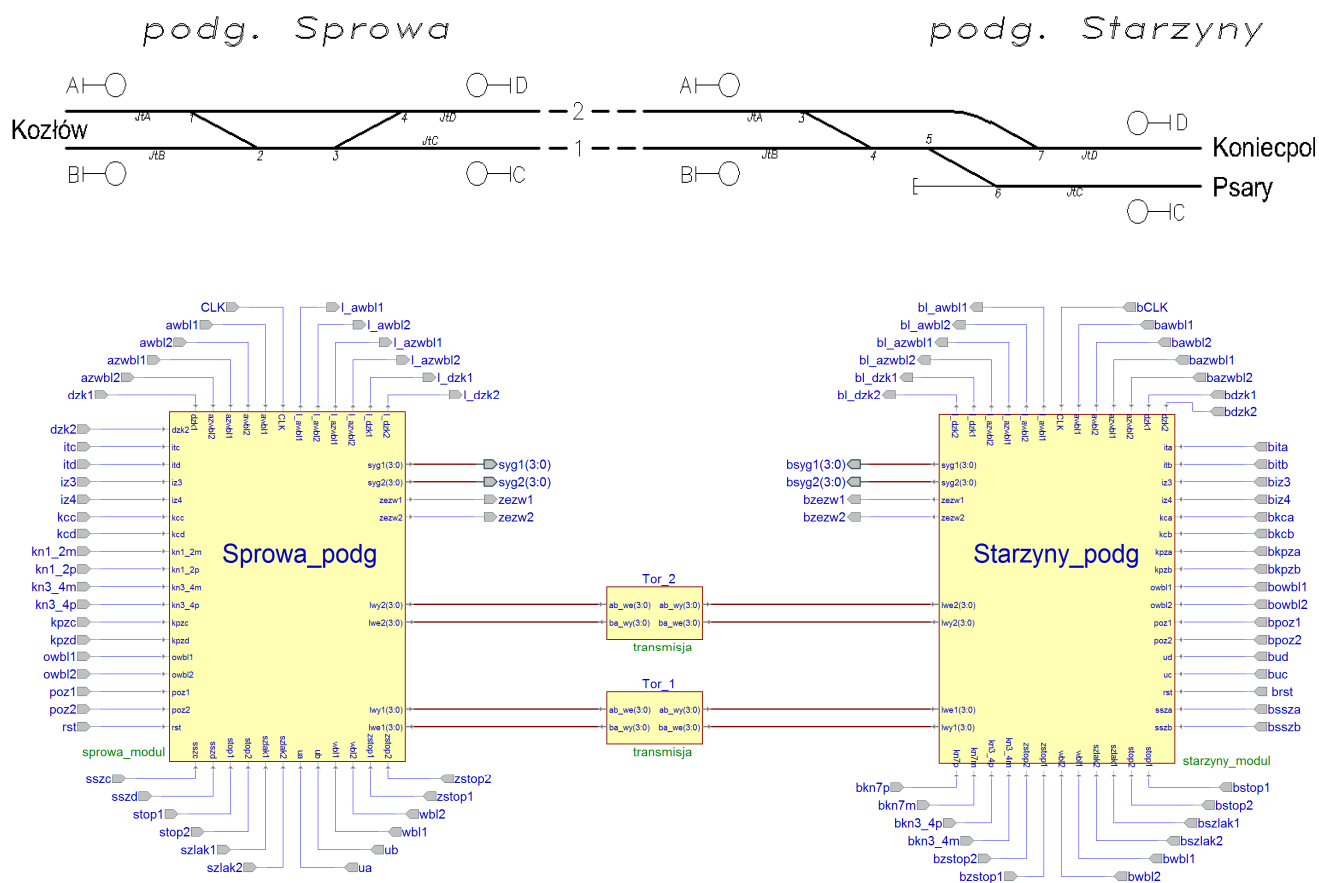
## 6. WERYFIKACJA I BADANIA SYMULACYJNE

Możliwość wykonania symulacji działania wyspecyfikowanego układu jest zasadniczą zaletą zastosowania pakietu wspomaganie komputerowego. Wykorzystanie wbudowanego symulatora logicznego polega na przypisaniu wymuszeń do zmiennych wejściowych (wymuszeniami mogą być między innymi zegary predefiniowane, sygnały losowe, klawisze *Hotkey*) i badaniu odpowiedzi układu. Pracę modelu podczas symulacji obserwować można bezpośrednio na grafach i schematach blokowych (graficznie) oraz na przebiegach symulacji. Pierwsza metoda pozwala weryfikować poprawność sekwencji zmian stanów. Przebiegi czasowe symulacji umożliwiają rejestrowanie stanu każdej zmiennej w dowolnie wybranej chwili.

W pierwszej kolejności należy sprawdzić poprawność specyfikacji algorytmu w języku opisu sprzętu. Proces ten nazywany jest weryfikacją modelu. Weryfikacja pozwala na sprawdzenie, czy przejścia pomiędzy stanami zachodzą przy zgodnych z algorytmem wzbudzeniach, oraz czy wartości zmiennych wyjściowych w każdym ze stanów odpowiadają wartościom założonym przez projektanta. Ten etap projektowania pozwala wyeliminować błędy przypadkowe związane z tworzeniem specyfikacji. Pozytywny wynik

weryfikacji modelu stanowi punkt wyjścia do przeprowadzenia symulacji działania założonych funkcji blokady.

Aby symulacja w pełni odzwierciedlała rzeczywiste procedury obsługi, założono, że wykonany model umiejscowiony zostanie na przykładowym fragmencie sieci PKP PLK, w tym przypadku będzie to szlak Sprowa – Starzyny (linia nr 64). Jest to szlak dwutorowy, jego schemat wraz z przyległymi posterunkami odgałęźnymi przedstawiono poniżej. W celu wykonania takiej symulacji stworzony został w edytorze BDE model szlaku pomiędzy dwoma posterunkami, zawierający dwa moduły połączone linią transmisyjną (rys. 4). Szczegółowa budowa modułu przedstawiona została w poprzednim rozdziale, tu odwzorowana jest w postaci jednego bloku. Opóźnienia w przesyłaniu sygnału (zależne od medium transmisyjnego, tu o przykładowej wartości 1 ms) zamodelowane zostały w edytorze HDE jako blok *transmisja*.

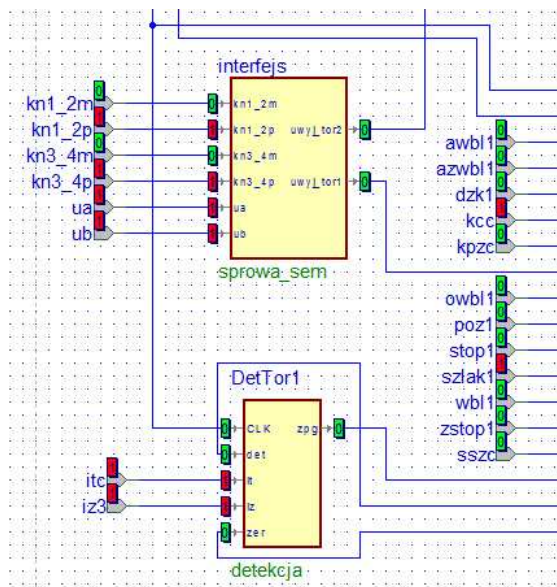


Rys. 5. Model blokady dla szlaku Sprowa-Starzyny (w edytorze BDE)

Źródło: opracowanie własne.

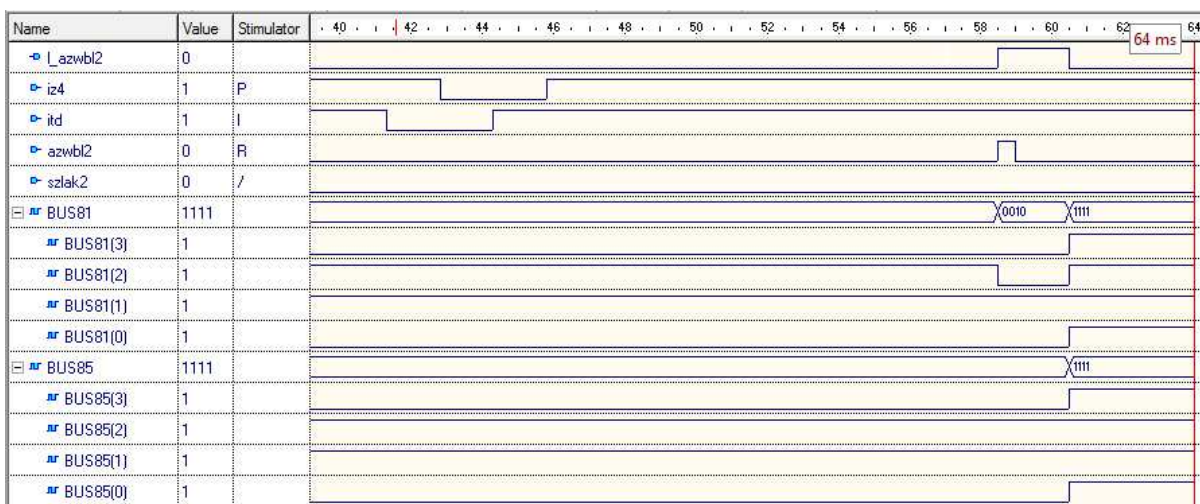
Program badań symulacyjnych powinien obejmować wszystkie funkcje, jakie zostały przewidziane dla urządzenia. Na wykonanym modelu linii zostały więc zasymulowane typowe jazdy pociągów w obu kierunkach (zawierające w sobie procesy ustawienia kierunku, utwierdzenia blokady oraz zwolnienia), oraz wszystkie procedury obsługi awaryjnej (odwołania próby włączenia kierunku, zwolnienia ustawionego kierunku, doraźnego zwolnienia blokady, włączenia oraz wyłączenia przy braku kryterium niezajętości). Podczas symulacji stany zmiennych wejściowych zmieniane były zgodnie z rzeczywistym działaniem urządzeń stacyjnych (odcinki kontrolowane, stany sygnalizatorów świetlnych) za pomocą odpowiednio przypisanych przycisków *Hotkey*. Efektem symulacji są, podobnie jak w przypadku weryfikacji modelu, przebiegi czasowe. Pracę blokady można również obserwować na schematach blokowych i grafach poszczególnych elementów, uzyskując pełny wgląd w zachowanie się urządzenia (rys. 6). Możliwe jest zatem sprawdzenie reakcji blokady na różne kombinacje wymuszeń (odzwierciedlające rzeczywiste przypadki) już na etapie tworzenia projektu.





Rys. 6. Zobrazowanie stanów poszczególnych zmiennych w edytorze BDE.

Jako przykład badania na rys. 7 pokazany został fragment zapisu symulacji. Badanie dotyczyło zachowania się blokady w przypadku braku kryterium niezajętości szlaku po dotarciu pociągu do Sprowy.



Rys. 7. Fragment symulacji – wjazd pociągu. Źródło: opracowanie własne.

Na przebiegach symulacji widać, że pomimo prawidłowej sekwencji zajmowania odcinków kontrolowanych *iz4* i *itd* blokada nie reaguje nadaniem na linię transmisyjną (tu widoczną jako magistrala danych *BUS81*) sygnału zwolnienia kierunku. Dzieje się tak, ponieważ zmienna *szlak2* ma wartość '0', czyli kontrola toru szlakowego 2 wykazuje zajętość. Nie jest więc możliwe samoczynne zwolnienie blokady. Dyżurny ruchu w Sprowie musi użyć polecenia awaryjnego zwolnienia blokady (zmienna *azwbl2*). Wydanie tego polecenia jest rejestrowane, w tym celu na wyjście *l\_azwbl2* (licznik użycia polecenia AZwbl dla toru 2) wysyłany jest impuls. Ponadto po wydaniu polecenia zwolnienia widoczne jest nadanie sygnału zwalniającego do Starzyn (magistralą *BUS81*), oraz odebranie (magistralą *BUS85*) potwierdzenia przejścia do stanu zasadniczego (wartość "1111").

W podobny sposób zasymulowane zostały wszystkie możliwe sytuacje kluczowe z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Ponieważ wszystkie opisane etapy specyfikacji oraz symulacji wykonywane są w jednym środowisku wspomaganie komputerowego, w przypadku wykrycia nieprawidłowości możemy niezwłocznie poprawić specyfikację i powtórnie dokonać weryfikacji, bez potrzeby zmiany platformy projektowania. Dzięki temu możemy mieć pewność, że efekt specyfikacji dokładnie odpowiada zamierzeniom projektanta. Do etapu tworzenia prototypu dociera więc model sprawdzony.

## 7. PODSUMOWANIE

Zaproponowana w artykule metoda specyfikacji urządzeń srk posiada szereg cech, które decydują o jej przewadze nad metodami stosowanymi obecnie. Projektowanie odbywa się tu z wykorzystaniem wygodnych edytorów, pozwalających w pełni wykorzystać możliwości wspomaganie komputerowego. Dzięki tak wykonywanej specyfikacji można zdecydowanie skrócić czas opracowywania modelu, poświęcając więcej czasu na dopracowanie koncepcji. Zastosowanie symulatorów logicznych pozwala już na etapie projektu przetestować działanie układu w dowolnie wybranych warunkach. Po zbadaniu poprawności wykonania specyfikacji możliwa jest dalsza praca nad modelem, prowadząca do powstania prototypu. Wszystkie te etapy mogą być przeprowadzone w jednym środowisku wspomaganie komputerowego, co sprawia, że zaproponowana metoda specyfikacji urządzeń srk spełnia wymagania stawiane poszukiwanej platformie opisowej systemów przeznaczonych dla kolei.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia wspomaganie komputerowo specyfikacji urządzeń srk z wykorzystaniem języków opisu sprzętu. Przegląd stosowanych obecnie metod opisu urządzeń i systemów srk wskazuje, że nie istnieje metoda, która mogłaby zapewnić jednolitą platformę opisu wszelkiego rodzaju dyskretnych układów sterowania. Dodatkowo większość stosowanych metod opisu nie pozwala na wykorzystanie wspomaganie komputerowego na etapie specyfikacji i weryfikacji algorytmów działania tego typu układów. Zostało pokazane, że zastosowanie do tego celu języków opisu sprzętu tworzy jednolitą platformę specyfikacji i weryfikacji urządzeń srk, pozwalając dodatkowo na statyczną i dynamiczną weryfikację poprawności opisu, z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego w postaci symulatorów logicznych. Na przykładzie specyfikacji algorytmu działania jednodostępnej blokady liniowej w języku VHDL zaprezentowane zostały zarówno możliwości pakietu Active-HDL, jak i proces wspomaganie komputerowo specyfikacji i weryfikacji projektowanego specjalizowanego układu.

Słowa kluczowe: blokada liniowa, język VHDL, specyfikacja, sterowanie ruchem kolejowym.

### Application of hardware description languages in specification of railway traffic control devices

#### Abstract

The article presents several issues concerning computer aided specification of railway traffic control devices using hardware description languages. The review of currently used description methods of railway traffic control devices and systems indicates that the method which could ensure a uniform platform for description of all kinds of discrete control systems does not exist. In addition, the majority of description methods currently used do not allow the use of computer support at the stage of specification and verification of operation algorithms of this type of systems. It is shown that application of hardware description languages for this purpose comprises a uniform platform for specification and verification of railway traffic control devices, which additionally allows static and dynamic verification of correctness of this description with the use of computer support in the form of logic simulators. On the example of specification of one-section line block operation algorithm in VHDL, both the possibilities of Active-HDL package as well as the process of computer supported specification and verification of the designed specialized system are presented.

Key words: line block, railway signaling, specification, VHDL.

#### LITERATURA

- [1] Dąbrowa-Bajon M.: Podstawy sterowania ruchem kolejowym. OWPW, Warszawa 2007.
- [2] Kalisz J. (red.): Język VHDL w praktyce. WKiŁ, Warszawa 2002.
- [3] Kawalec P., Koliński D.: Zastosowanie języka VHDL do badania złożonych sieci zestykowych. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 8/2008, Wydawnictwo PAK, Warszawa, 2008, s. 529–531.
- [4] Kawalec P., Koliński D.: Modelowanie interlocking'u z zastosowaniem języka opisu sprzętu. *Logistyka*, 6/2010, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2010.
- [5] Mikulski M.: Mechaniczne urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego. WKiŁ, Warszawa 1983.
- [6] Zajączkowski A., Kalicińska K., Olendrzyński W.: Elektryczne urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego. Urządzenia stacyjne. WKiŁ, Warszawa 1976.