

## POZIOMY SYMULACJI RZECZYWISTEGO RUCHU POCIĄGÓW

---

**Andrzej Kochan**

dr inż., adiunkt, Zakład Sterownia Ruchem, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska, 00-662 Warszawa, ul. Koszykowa 75, e-mail: ako@it.pw.edu.pl

---

*Streszczenie. Artykuł porusza zagadnienie symulacji komputerowej rzeczywistego ruchu pociągów po sieci kolejowej i jej praktycznego wykorzystania w szkoleniu pracowników kolei. Przytoczone są rozważania na temat zakresu symulacji ruchu rzeczywistego dla różnych podsystemów systemu kierowania i sterowania ruchem kolejowym. W artykule wskazano na różnorodność algorytmów symulacji i konieczność ich doboru do rodzaju szkolenia. Przykładem są rozwiązania zastosowane na stanowisku dydaktyczno-badawczym kierowania i sterowania ruchem w Laboratorium Zakładu Sterowania Ruchem Wydziału Transportu PW.*

*Słowa kluczowe: symulacja ruchu kolejowego, system kierowania i sterowania ruchem kolejowym, stanowisko dydaktyczno-badawcze „Sosna”, ILTOR-2, szkolenia pracowników kolei*

### 1. Wprowadzenie

Transport kolejowy, podobnie jak inne gałęzie przemysłu, podlega technologicznej ewolucji zgodnie z nurtem światowego rozwoju. Takie trendy widoczne są również w Polsce. Istotnym znakiem zachodzących zmian jest zabudowa coraz większej ilości urządzeń komputerowych realizujących funkcje sterowania i kierowania ruchem kolejowym, co jest związane m. in. z realizacją planów wyposażenia polskiej sieci kolejowej w system ERTMS. Stosowanie urządzeń komputerowych prowadzi do zmian w sposobie realizacji funkcji ruchowych i daje coraz większe możliwości integracji. Umożliwienie zdalnego sterowania oddalonymi praktycznie dowolnie daleko posterunkami niesie ze sobą korzystne ze względów ekonomicznych ograniczenie liczby personelu ruchowego. Systemy komputerowe dają się również łatwo rozbudowywać o funkcje odpowiedzialne za kierowanie ruchem na określonym obszarze sieci kolejowej. Funkcje kierowania i sterowania mogą się swobodnie przenikać tworząc konfiguracje optymalne pod kątem zadań stawianych przed konkretnymi stanowiskami. Wszystkie wymienione rozwiązań komputerowych sprawiają, iż są one coraz powszechniej wykorzystywane.

Z drugiej zaś strony budowa, eksploatacja, a w szczególności obsługa komputerowych systemów sterowania i kierowania ruchem wprowadza nowe zagadnienia i problemy w porównaniu do systemów mechanicznych, mechaniczno-elektrycznych czy elektrycznych. Dlatego też istnieje potrzeba badań i rozwoju technik

nowych zasad szkolenia i doszkalania pracowników kolei w zakresie obsługi urządzeń komputerowych i realizacji przy ich pomocy funkcji kierowania i sterowania ruchem kolejowym.

Efektem takiego zapotrzebowania jest stanowisko dydaktyczno-badawcze „Sosna” będące kompletnym komputerowym systemem kierowania i sterowania ruchem zbudowanym w laboratorium Zespołu Sterowania Ruchem Kolejowym Politechniki Warszawskiej. Zostało ono zbudowane na bazie systemu ILTOR-2. Z wykorzystaniem tego stanowiska prowadzone są prace badawcze nad symulacją rzeczywistego ruchu pociągów i jej zastosowaniu w celach szkoleniowych.

## 2. Symulacja ruchu pociągów – stosowane rozwiązania

Symulacja komputerowa definiowana jest jako „metoda odtwarzania zjawisk zachodzących w świecie rzeczywistym (lub ich niektórych właściwości i parametrów) za pomocą ich zmatematyzowanych modeli, definiowanych i obsługiwanych przy użyciu programów komputerowych; wykorzystywana do wnioskowania o przebiegu tych zjawisk i procesów (np. przyrodniczych, technologicznych, ekonomicznych), których bezpośrednia obserwacja jest niemożliwa lub zbyt kosztowna” [8]. Symulacją komputerową ruchu pociągów jest więc metoda odtwarzania ich ruchu rzeczywistego za pomocą odpowiednio dobranego modelu. Jej zastosowania są bardzo szerokie – od amatorskich (do których należy zaliczyć gry komputerowe i inne symulatory hobbystyczne) po profesjonalne narzędzia wspomagające pracę osób wykonujących zadania badawcze, projektowe i dydaktyczne.

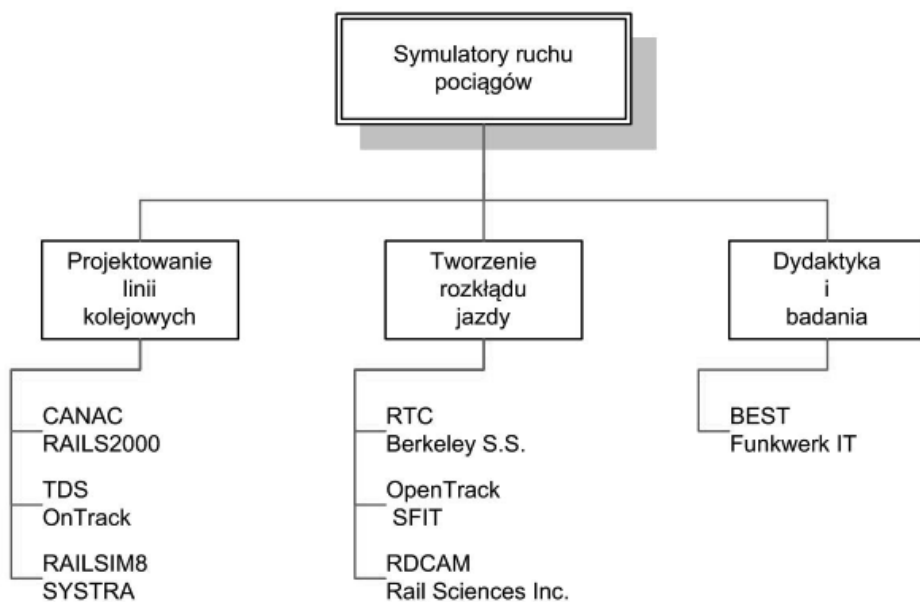
Symulacja ruchu pociągów jest narzędziem o bardzo bogatym wachlarzu zastosowań przy projektowaniu i eksploatacji infrastruktury kolejowej. Ze względu na zastosowania symulatory ruchu można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- projektowanie linii kolejowych,
- tworzenie rozkładu jazdy,
- dydaktyka i badania.

Pierwsza z nich obejmuje symulatory, które są elementami wspomagającymi przy projektowaniu budowy i modernizacji linii kolejowych. Ich najważniejsze zadanie to kalkulacja potrzeb przewozowych, szacowanie potoków pasażerskich generowanych przez otoczenie linii kolejowej, analizowanie przepustowości linii w zależności od zastosowanych rozwiązań, analiza ruchu pociągów z trakcyjnego punktu widzenia (przyspieszanie, hamowanie, zasilanie, itp.). Drugą grupą symulatorów są symulatory mające wspomagać tworzenie rozkładów jazdy. Pozwalają one generować czasy przejazdu, oceniać odporność na zakłócenia ruchu i generować wykresy ruchu. Do trzeciej grupy należą symulatory o zastosowaniach dydaktyczno-badawczych. Są to programy pozwalające (w odróżnieniu od dwóch pierwszych grup) na dynamiczne przedstawienie symulowanego ruchu pociągów. Jednym ze sposobów zastosowania jest generowanie danych wejściowych dla systemu kierowania i sterowania ruchem,

które pozwalają na to, aby w warunkach laboratoryjnych osoba pracująca na stanowisku dyżurnego ruchu czy dyspozytora liniowego miała wrażenie obserwowania i kierowania rzeczywistym ruchem pociągów. Takie właściwości mają zastosowanie w szkoleniu personelu w pracy z użyciem nowego systemu kierowania i sterowania ruchem, gdzie możliwy jest trening bez ryzyka narażenia osób postronnych na niedogodności związane z kierowaniem i sterowaniem rzeczywistym ruchem pociągów przez osobę bez niezbędnego doświadczenia.

Symulatory ruchu pociągów są narzędziami dość popularnymi na świecie. W Polsce jednak ich zastosowania są nieliczne i ograniczają się do narzędzi wspomagających tworzenie rozkładów jazdy. Z tego też względu w niniejszym opracowaniu podano tylko kilka przykładów. Zgodnie z przedstawionym podziałem symulatory przydzielono do trzech grup. Symulatorami o zadaniach związanych z planowaniem inwestycji są RAILS2000 [11] firmy CANAC Railway Services Inc., OnTrack [12] organizacji Transportation Decision Systems oraz RAILSIM8 firmy SYSTRA. Do drugiej grupy, czyli symulatorów wspomagających tworzenie rozkładów jazdy należą RTC [15] stworzony przez Berkeley Simulation Software, OpenTrack [13] będący projektem szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologicznego, a także RDCAM [14] firmy Rail Sciences Inc. Symulatorem grupy trzeciej, czyli symulatorem nakierowanym na dydaktykę jest BEST [16] firmy Funkwerk Information Technologies.

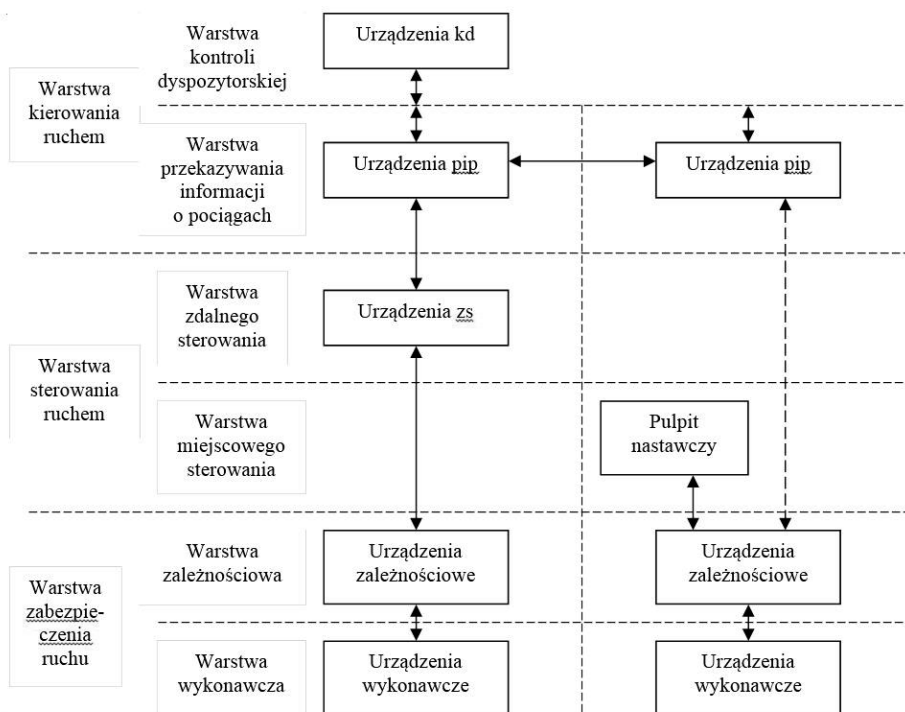


Rys 1. Podział symulatorów ruchu pociągów

### 3. Stanowisko dydaktyczno – badawcze „Sosna” – elementy składowe

#### 3.1. Komputerowe systemy kierowania i sterowania ruchem kolejowym

System kierowania i sterowania ruchem to system składający się z trzech podsystemów: kierowania ruchem, sterowania ruchem i zabezpieczenia ruchu pociągów [2]. Struktura systemu ma charakter hierarchiczny, co obrazuje rys. 2.



Rys 2. Struktura systemu kierowania i sterowania ruchem

W warstwie zabezpieczenia ruchu realizowane są działania operacyjne, a także funkcje i działania techniczne mające na celu bezpieczny ruch pojazdów kolejowych. Można w niej 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 zabezpieczenia ruchu jest warstwa zależnościowa obejmująca urządzenia automatyki kolejowej zapewniające uzależnienie poleceń nastawczych od warunków ich realizacji.

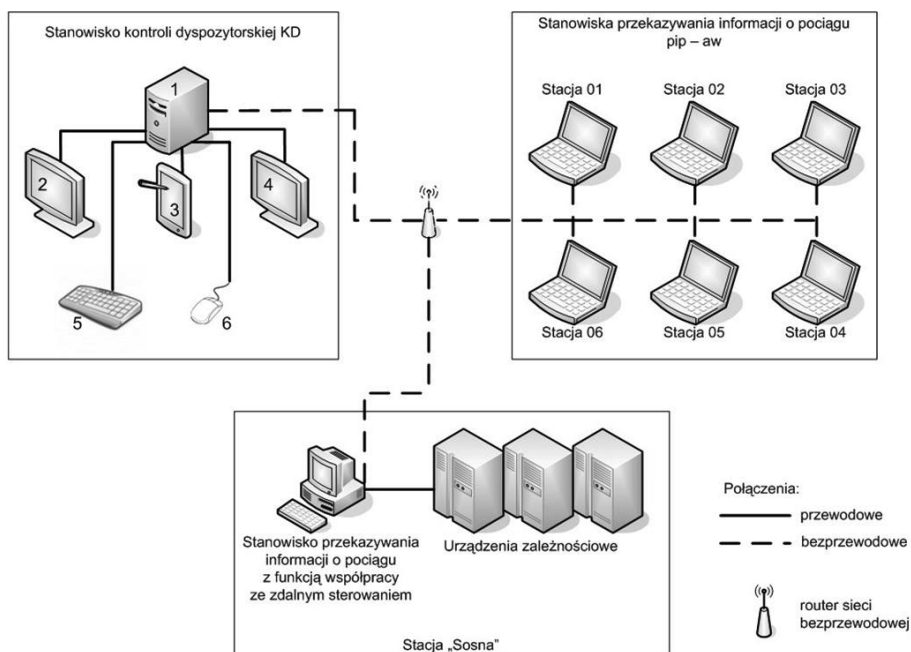
Kolejną warstwą jest warstwa sterowania ruchem umożliwiającą podejmowanie i realizowanie decyzji wynikających z planowanego lub rzeczywistego ruchu pojazdów kolejowych. Obejmuje ona warstwę sterowania miejscowego (ms), czyli „sterowania ruchem poprzez oddziaływanie na urządzenia zewnętrzne z wykorzystaniem urządzeń sterowania zlokalizowanych na sterowanym posterunku, prze-

widujące 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”. W tym przypadku sterowaniem można objąć kilka posterunków.

Warstwa kierowania ruchem (kr) to warstwa zapewniająca 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 warstwie 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. Warstwa kr obejmuje również warstwę kontroli dyspozytorskiej zapewniającą scentralizowane kierowanie ruchem pociągów na odcinku dyspozytorskim przez dyspozytora liniowego z użyciem urządzeń kontroli dyspozytorskiej.

### 3.2. Realizacja systemu kierowania i sterowania ruchem na stanowisku „Sosna”



Rys. 3. Struktura stanowiska dydaktyczno – badawczego „Sosna”

Stanowisko dydaktyczno – badawcze „Sosna” zbudowane jest w oparciu o system ILTOR-2 [6] i komputerowe urządzenia zależnościowe WT UZ [7]. Stanowisko realizuje praktycznie wszystkie elementy systemu ksr przedstawione powyżej. Warstwa zależnościowa została zrealizowana dla stacji Sosna, dla której istnieje możliwość sterowania miejscowego lub zdalnego. Warstwa przekazywania informacji o pociągu zrealizowana jest z użyciem komputerów stanowiska KSR-EDU wykorzystujących podsystem ILTOR2-PIOP [4]. Dane z powyższych źródeł gromadzone są na stanowisku kontroli dyspozytorskiej zrealizowanym w oparciu o podsystem ILTOR2-CKR. Całość systemu przedstawia rys. 3.

#### 4. Realizacja symulacji rzeczywistego ruchu pociągów

##### 4.1. Wybór poziomu symulacji

Realizacja symulacji polega na przesyłaniu do systemu ksr sztucznie wygenerowanych danych opisujących działanie symulowanych elementów tego systemu oraz odbieraniu i interpretacji danych do nich przesyłanych. Pozostałe (niesymulowane) elementy systemu przetwarzając dane pracują w taki sam sposób jak w warunkach rzeczywistego działania.

Biorąc pod uwagę warstwowe ujęcie systemu ksr opisane w pkt. 3, jako miejsca wprowadzania sztucznych danych można przyjąć interfejsy pomiędzy różnymi podsystemami. Przy takim podejściu symulowanymi elementami stają się podsystemy znajdujące się poniżej wybranego miejsca. Miejsce wprowadzania danych będzie nazywane poziomem symulacji.

Z technicznego punktu widzenia w systemie kierowania i sterowania ruchem występuje przepływ danych od najniższej do najwyższej warstwy. Istotne etapy tego przepływu w systemie ILTOR-2 pokazuje rys. 4.



Rys. 4. Przepływ informacji o zdarzeniu ruchowym w systemie ILTOR2

System ksr może przyjąć sztuczne dane na różnych etapach tego przepływu. Wśród nich można wyszczególnić:

- sygnały urządzeń przytorowych i wykonawczych,
- stany sterowników obiektowych,
- telegramy programu przesyłającego stany urządzeń,
- dane wejściowe programu analizującego stany urządzeń,
- dane wejściowe programu analizujący aktualną sytuację ruchową,
- dane wyjściowe programu analizujący aktualną sytuację ruchową.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania można wskazać kilka możliwych poziomów symulacji rozumianych jako miejsce wprowadzania danych:

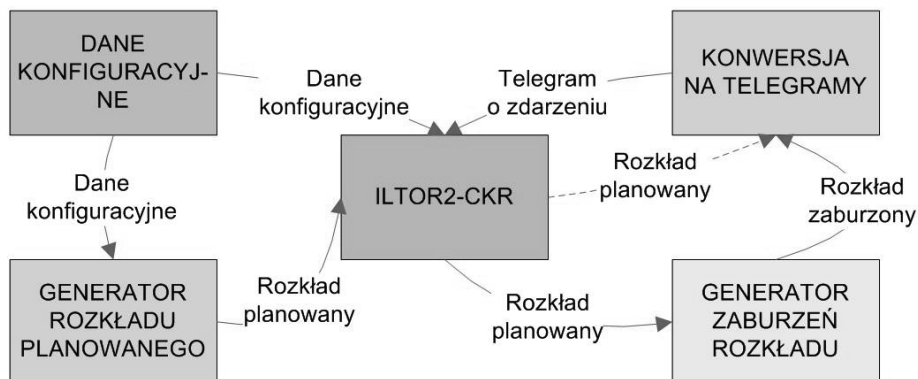
- Poziom 1 (najniższy): symulacja stanów logicznych urządzeń wykonawczych i przytorowych.
- Poziom 2: symulacja stanów logicznych przetwarzanych przez sterownik obiektowy.
- Poziom 3: symulacja telegramów nadawanych przez sterownik obiektowy i przesyłanych za pomocą programu przesyłającego stany urządzeń.
- Poziom 4: symulacja stanów sytuacji ruchowej w podsystemie sterowania ruchem.
- Poziom 5: symulacja telegramów o zdarzeniach ruchowych odbieranych przez podsystem kierowania ruchem.
- Poziom 6: symulacja stanów sytuacji ruchowej w podsystemie kierowania ruchem.

Wybór poziomu symulacji zależy od celu zastosowania symulacji, np. w przypadku prowadzenia szkoleń mających na celu doskonalenie obsługi stacji operatorskich wystarczy symulacja stanów logicznych sytuacji ruchowej, natomiast w przypadku potrzeby przetestowania pracy całego systemu potrzebna jest symulacja na poziomie stanów logicznych urządzeń wykonawczych. Ogólnie można stwierdzić, że im niższy poziom symulacji tym bardziej symulacja jest skomplikowana. Przyczynia się do tego większa liczba zdarzeń niezbędnych do zasymulowania oraz ich bardziej elementarny charakter.

#### *4.2. Mechanizm działania symulatora dla podsystemu ILTOR2-CKR*

Jako przykład działania symulatora opisane zostanie rozwiązanie dla podsystemu kontroli dyspozytorskiej. Symulacja dla podsystemu ILTOR2-CKR składa się z dwóch części. Pierwszą jest układ pozwalający na generowanie rozkładu teoretycznego dla określonego obszaru sieci kolejowej. Dane konfiguracyjne o tym obszarze muszą zostać wprowadzone do podsystemu kontroli dyspozytorskiej celem jego przygotowania na przyjęcie rozkładu. Te same dane należy wprowadzić do generatora rozkładu planowanego, który na podstawie informacji takich, jak liczba posterunków i szlaków, ich wzajemne położenie, długość szlaków, rozwijane na nich prędkości średnie (z rozłożeniem na typy pociągów), liczba odstępów blokowych, założona gęstość ruchu, itp. automatycznie wygeneruje godziny przyjazdów i odjazdów pociągów dla posterunków. Druga część symulatora to system

zaburzający rozkład jazdy planowany, a następnie przesyłający informacje o zdarzeniach ruchowych w postaci telegramów z powrotem do systemu (konwersja na telegramy). Działanie całości przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Schemat działania symulatora dla podsystemu ILTOR2-CKR

## 5. Zróżnicowanie realizmu sytuacji

Symulacja może zapewniać realizm rzeczywistości ruchu pociągów w różnym stopniu. Takie zróżnicowanie jest potrzebne np. w szkoleniach pracowników kolei mających na celu podniesienie umiejętności obsługi pulpitów nastawczych w różnych warunkach oraz ćwiczenie poprawnych reakcji w sytuacjach nietypowych. Potrzeby te wymuszają stosowanie różnych technik symulacji. Z tego względu możemy wyróżnić symulacje:

- schematyczne,
- stochastyczne,
- wariantowe.

Symulacje schematyczne przeprowadzane są według określonego scenariusza i zakładają określone reakcje operatora. Realizm rzeczywistości przejawia się tutaj w postaci symulacji występowania zdarzeń ruchowych w czasie rzeczywistym. Mają one zastosowanie w szkoleniach o charakterze podstawowym.. Szkolenia takie mają cel typowo poznawczy i potrzebne są tutaj powtarzalne schematy działań, które zapewniają przekazanie określonej, tej samej wiedzy osobom szkolonym.

Symulacje stochastyczne (losowe) wprowadzają element braku powtarzalności. Do przyjętych scenariuszy zdarzeń wprowadzane są zaburzenia, które powodują unikalność ćwiczonych sytuacji. Wielkość zaburzeń można regulować poprzez określanie ich prawdopodobieństw. Symulacje stochastyczne mają zastosowanie w przypadku szkoleń bardziej zaawansowanych, które wymagają wprowadzenia pewnego zakresu losowości. Mają one na celu zwykle ćwiczenie pewnych odruchów nie do końca powtarzalnych. Wprowadzenie losowości zwiększa uwagę szkolonego i zmniejsza możliwość mechanicznego (bezmysłnego) powtarzania operacji.



Symulacje wariantowe wprowadzają największy poziom zróżnicowania przebiegu zdarzeń. Dla takiej symulacji tworzonych jest wiele schematów. W czasie przebiegu symulacji warianty wybierane są w sposób losowy. Takie podejście daje efekt zupełnego braku przewidywalności i największy poziomu realizmu. Symulacja taka ma ograniczone zastosowanie w przypadku szkoleń mających na celu przekazanie ściśle określonej wiedzy. Jest natomiast dobrym rozwiązaniem w przypadku szkoleń o charakterze treningowym. Symulacje wariantowe można łączyć z symulacjami stochastycznymi wzmacniając ich możliwości treningowe i ich efekty.

## 6. Podsumowanie

Zalety wykorzystania symulacji rzeczywistego ruchu pociągów są niepodważalne. W przypadku potrzeby prowadzenia badań stanowisk operatora czy też szkoleń samych operatorów (np. dyżurnych ruchu, dyspozytorów) jest to wręcz konieczność. Zastosowanie symulacji w szkoleniach bez wątpienia podnosi ich jakość i efektywność. Dzięki możliwości współpracy symulatora przez interfejsy programowe z urządzeniami wykorzystywanymi w codziennej pracy osiągnięty jest odpowiedni realizm działań na stanowisku pracy.

Prace i badania prowadzone w Laboratorium Sterowania Ruchem Kolejowym Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej mają bardzo szeroki zakres. W artykule poruszono kilka z nich. Ponadto prowadzone są badania nad algorytmami wariantowania i wprowadzania losowości. We wszystkich pracach wykorzystywane są podsystemy systemy kierowania i sterowania ruchem ILTOR-2, którego Wydział Transportu jest współautorem. System został zbudowany przez konsorcjum złożone z Politechniki Warszawskiej, firm KONTRON i SIEMENS i jest dalej udoskonalany i rozbudowywany.

## Literatura

- [1] Dąbrowa – Bajon M., Podstawy sterowania ruchem kolejowym. Funkcje, wymagania, zarys techniki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 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.
- [3] Kochan A., Model informacyjny systemu kierowania ruchem kolejowym. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport z.61, Warszawa 2007.
- [4] Kochan A., Elementy kierowania ruchem kolejowym na stanowisku dydaktycznym – badawczym KSR-EDU. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI wieku”, Stare Jabłonki 18-21 września 2007 r.

- 
- [5] Toruń A., Zintegrowane systemy sterowania ruchem kolejowym w obszarowych centrach sterowania w zastosowaniach na PKP. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI wieku” Warszawa 19-21 września 2001 r.
- [6] Grochowski K., Jasiński S., Maciejewski M., Sitek I., Nastawnica WT UZm sposobem na niezawodne sterowanie ruchem kolejowym. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 11/2008.
- [7] Zakrzewski K., Kochan A., Symulacja komputerowa rzeczywistych zdarzeń ruchowych. Konferencja „Transport XXI wieku” Białowieża 2010.
- [8] Encyklopedia PWN – wersja internetowa, <http://encyklopedia.pwn.pl/>
- [9] <http://www.jbss.de/>
- [10] <http://www.kolej.pl/software/nastawnia.html>
- [11] <http://www.canac.com/index.php?page=products-rail2000>
- [12] <http://www.transdecsys.com/overview.htm>
- [13] <http://www.opentrack.ch/>
- [14] [http://www.railsciences.com/pages\\_products/products\\_RDCAM.html](http://www.railsciences.com/pages_products/products_RDCAM.html)
- [15] <http://berkeleysimulation.com/rtc/rtc.html>
- [16] [http://www.funkwerk.it.com/wEnglisch/downloads/prospekte/prospekt\\_best\\_0408e\\_einzel.pdf](http://www.funkwerk.it.com/wEnglisch/downloads/prospekte/prospekt_best_0408e_einzel.pdf)