

Przemysław Brona, Adam Dąbrowski, Jarosław Koszela, Damian Król, Zbigniew Szafranski, Roman Wantoch-Rekowski

Projekt nowoczesnego demonstratora symulatora dla operatorów pojazdów szynowych

Symulatory pojazdów szynowych odgrywają istotną rolę w procesie szkolenia maszynistów kolejowych. W artykule przedstawiono wybrane symulatory dostępne w Polsce oraz omówiono koncepcję nowego symulatora opracowanego w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Symulatory kolejowe w Polsce i na świecie

Wykorzystanie profesjonalnych symulatorów pojazdów kolejowych przez długi czas było na niskim poziomie. Dopiero od kilkunastu miesięcy – dzięki wprowadzeniu nowych regulacji prawnych, dotyczących uprawnień do kierowania pojazdami kolejowymi (licencja oraz świadectwo maszynisty) – pojawia się zainteresowanie tego typu urządzeniami. Warto jednak wspomnieć, że już w latach międzywojennych Biuro Badań Psychotechnicznych, osadzone w strukturach Polskich Kolei Państwowych, dysponowało specjalnie przygotowaną imitacją budki parowozu do badań psychotechnicznych maszynistów kolejowych (fot. 1).

Pierwszym profesjonalnym symulatorem pojazdu trakcyjnego w Polsce był wybudowany w latach 90. XX wieku symulator lokomotywy EP09 (fot. 2). Urządzenie, używane do dziś, znajduje się pod zarządem wyłonionej z PKP S.A. spółki CS Szkolenie i Doradztwo Sp. z o.o. z siedzibą w Warszawie przy ul. Minerskiej. W pełni zamknięte stanowisko szkoleniowe bardzo dobrze odwzorowuje rzeczywistą kabinę pojazdu, a co więcej – jest wyposażone w mechanizm ruchu. Z kolei stanowisko instruktora pozwala na przygotowanie i nadzorowanie ćwiczeń, m. in. na wybór trasy (w symulatorze odwzorowana jest cała trasa Warszawa Wschodnia–CMK–Kraków Główny), określenie parametrów prowadzonego pociągu, zadanie zdarzeń nietypowych (np. wtargnięcie samochodu na przejazd kolejowy) i utrzymanie stałego kontaktu głosowego (imitacja radiotelefonu) i wizualnego (kamera) z osobą ćwiczącą. Choć symulator lokomotywy EP09 cały czas wywołuje pozytywne wrażenie, to jednak pod względem technologicznym jest już przestarzały. Największe zastrzeżenia budzi słaba jak na obecne czasy jakość grafiki komputerowej, która między innymi wpływa negatywnie na możliwość identyfikacji wskazań sygnalizatorów kolejowych oraz obrazów na wskaźnikach.

O ile w przypadku Polski możemy mówić dopiero o wchodzeniu w fazę rozwoju rynku symulatorów kolejowych pojazdów trakcyjnych, którego głównymi przejawami są zamówienia realizowane dla spółek Koleje Mazowieckie Sp. z o.o. (symulator pulpitowy) i PKP Intercity S.A. (symulator pełnozakresowy), jak również zauważalny wzrost samoświadomości i wzmożone zainteresowanie symulatorami kolejowymi wśród maszynistów oraz instruktorów, o tyle w wielu krajach Europy Zachodniej stosowanie tego typu urządzeń obecnie jest już właściwie standardem. W Niemczech czy Hiszpanii nikt dziś nie pyta, czy warto stosować symulatory kolejowe; trwają raczej poszukiwania rozwiązań, które przy rozsądnych nakładach finansowych pozwalają osiągnąć jak najwyższą efektywność szkoleniową

i organizacyjną. W toku rozwoju symulatorów kolejowych, w zależności od przeznaczenia i grupy odbiorców, wykształciły się pewne ich typy, które można sklasyfikować następująco [3]:

- a) symulatory pełnozakresowe (kabinowe):
 - z mechanizmem ruchowym,
 - bez mechanizmu ruchowego;
- b) symulatory pulpitowe;
- c) symulatory kompaktowe:
 - stałe,
 - mobilne (np. w specjalnych przyczepach);
- d) symulatory desktopowe na komputerach PC (*low cost simulators*).

Autorzy artykułu stoją na stanowisku, że mianem symulatora powinno się określać cały zbiór współpracujących ze sobą urządzeń (stanowisk) i oprogramowania, umożliwiających obsługę symulatora przez administratora lub instruktora, przygotowanie i nadzorowanie ćwiczeń przez instruktora, odbycie sesji symulacyjnej przez osobę szkoloną oraz obserwację sesji przez zainteresowane osoby. Tym samym symulator powinien składać się z następujących elementów:

- ❖ stanowisko administratora (obsługa techniczna urządzenia),
- ❖ stanowisko instruktora (przygotowanie, prowadzenie sesji symulacyjnej i jej ocena),
- ❖ stanowisko szkoleniowe (odwzorowanie kabiny maszynisty lub pulpitu),
- ❖ stanowisko obserwacyjne (obserwacja przebiegu ćwiczenia),
- ❖ oprogramowanie symulatora.

W praktyce stanowisko administratora i instruktora zwykle są ze sobą połączone i obsługiwane przez jedną i tę samą osobę. W zależności od potrzeb i rodzaju symulatora z jednego stanowiska instruktora można nadzorować jedno stanowisko szkoleniowe lub większą ich liczbę. Natomiast stanowisko obserwacyjne jest elementem fakultatywnym – jego istnienie nie jest wymagane do poprawnego działania symulatora, poprawia natomiast jakość szkoleń.



Fot. 1. Budka parowozu do badań psychotechnicznych [16]



Fot. 2. Polski symulator lokomotywy EP09 [5]

Poniżej scharakteryzowane zostały przedstawione wcześniej typy symulatorów [3]:

□ **Symulatory pełnozakresowe (kabinowe)** wyposażone są w całkowicie zamknięte stanowisko szkoleniowe, imitujące wnętrze rzeczywistego kolejowego pojazdu trakcyjnego. Osoba odbywająca sesję symulacyjną jest izolowana wizualnie i akustycznie od otoczenia, co znacznie poprawia poziom realizmu symulacji. Obraz, w zależności od potrzeb, może być:

- ❖ wyświetlany na monitorach imitujących widok przez szyby pojazdu,
- ❖ rzutowany na płaski albo sferyczny/walcowy ekran zewnętrzny, położony poza kabiną symulacyjną,
- ❖ wyświetlany bezpośrednio na szybach kabiny (technologia on-screen).

Kabina może być wyposażona w **mechanizm ruchu**, składający się ze specjalnej platformy na siłownikach (obecnie dominują siłowniki elektryczne), odwzorowujący ruch o trzech lub sześciu stopniach swobody. Przyjmuje się, że – ze względu na bezpieczeństwo osoby szkolonej – na jedno stanowisko instruktora powinno przypadać tylko jedno stanowisko szkoleniowe. Symulatory pełnozakresowe cieszą się uznaniem np. w Niemczech.

□ **Symulatory pulpিতowe** charakteryzują się wiernie odwzorowanym podstawowym wyposażeniem pulpitu maszynisty pojazdu trakcyjnego, z dopuszczalnymi uproszczeniami w zakresie odwzorowania urządzeń mających mniejszy wpływ na technikę i bezpieczeństwo jazdy. Dość często w tego typu rozwiązaniach

stosuje się wymienne wyposażenie pulpitu (szczególnie dla symulatorów pojazdów nowej generacji o standaryzowanym wyposażeniu), co pozwala symulować różne serie lokomotyw i zespołów trakcyjnych. Samo stanowisko szkoleniowe może być odizolowane wizualnie i akustycznie od otoczenia, ale często odstępuje się od takiego rozwiązania. Obraz jest zwykle rzutowany na płaski ekran zewnętrzny. Z jednego stanowiska szkoleniowego może być obsługiwana większa liczba stanowisk szkoleniowych – podstawowym ograniczeniem jest tutaj percepcja i podzielność uwagi instruktora. Symulatory pulpিতowe zdobyły sporą popularność w Hiszpanii. Co ważne, w kraju tym symulatory i współpracujące z nimi serwery tworzą rozbudowaną sieć szkoleniową, pozwalającą na zdalny dostęp do baz scenariuszy szkoleniowych, danych osób szkolonych i wyników sesji symulacyjnych.

□ **Symulatory kompaktowe** to najprostsza forma profesjonalnych symulatorów. Posiadają one wiernie odwzorowane podstawowe wyposażenie pulpitu maszynisty pojazdu trakcyjnego danego typu, z dopuszczalnymi uproszczeniami w zakresie odwzorowania urządzeń mających mniejszy wpływ na technikę i bezpieczeństwo jazdy. Stanowisko szkoleniowe nie jest odizolowane od otoczenia, stanowiąc w praktyce rodzaj specjalistycznego biurka, a obraz wyświetlany jest na monitorach komputerowych. Podobnie jak w przypadku symulatorów pulpিতowych, często stosuje się wymienne wyposażenie pulpitu, dzięki czemu możliwe jest symulowanie na jednym urządzeniu różnych typów



Fot. 3. Niemiecki symulator kabinowy spalinowego zespołu trakcyjnego BR612 dla DB [3]

Tab. 1. Konsorcjum badawcze w projekcie demonstratora

Nazwa podmiotu	Rodzaj działalności	Zadania w projekcie
QUMAK S.A.	Firma informatyczna	Opracowanie wstępnych wymagań funkcjonalnych i formalnych w zakresie platformy sprzętowej, opracowanie wymagań dotyczących platformy sprzętowej modułu wizualizacji, opracowanie wymagań dotyczących platformy sprzętowej trenażera w zakresie technicznym, opracowanie dokumentacji projektowej, opracowanie projektu urządzeń modułu wizualizacji, opracowanie projektu technicznego trenażera, implementacja oprogramowania modułu wizualizacji, implementacja oprogramowania symulacyjnego, opracowanie infrastruktury sprzętowej modułu wizualizacji, opracowanie infrastruktury sprzętowej platformy trenażera, testy urządzeń systemu wizualizacji, testy platformy sprzętowej trenażera, testy integracyjne w zakresie platform sprzętowych modułu wizualizacji i trenażera, testy integracyjne w zakresie oprogramowania modułu wizualizacji i symulacji.
IKKU Sp. z o.o.	Centrum szkoleniowe	Opracowanie metodyki szkolenia, opracowanie wstępnych wymagań funkcjonalnych i formalnych w zakresie wymagań szkoleniowych, opracowanie metodyki ćwiczeń w zakresie organizacji zadań oraz szkolenia.
Wojskowa Akademia Techniczna	Uczelnia	Opracowanie wstępnych wymagań funkcjonalnych i formalnych w zakresie oprogramowania, opracowanie wymagań dotyczących oprogramowania modułu wizualizacji, opracowanie wymagań dotyczących oprogramowania symulacyjnego, opracowanie projektu oprogramowania modułu wizualizacji, opracowanie projektu oprogramowania symulacyjnego, opracowanie technologii i sposobu implementacji oprogramowania symulacyjnego, opracowanie technologii i sposobu implementacji modułu wizualizacji, testy oprogramowania symulacyjnego, testy oprogramowania systemu wizualizacji.
Instytut Kolejnictwa	Instytut badawczy	Opracowanie wstępnych wymagań funkcjonalnych i formalnych w zakresie wymagań formalnych i funkcjonalności, opracowanie wymagań dotyczących importu i przetwarzania danych przestrzennych GIS, opracowanie scenariuszy (założeń do scenariuszy), opracowanie programu szkolenia i sylabusu, opracowanie zakresu formalnego metodyki ćwiczeń.

Źródło: oprac. własne.

pojazdów trakcyjnych. Symulatory kompaktowe pełnią najczęściej jedynie rolę uzupełniającą w centrach oraz salach szkoleniowych wyposażonych w urządzenia o wyższym standardzie (symulatory pełnozakresowe lub pulpitowe). Na pojedyncze a, którym może być komputer PC, przypada zwykle większa liczba stanowisk szkoleniowych. Zaletą symulatorów kompaktowych jest mobilność: występują odmiany tych urządzeń przewożone np. w specjalnych naczepach lub kontenerach.

□ **Symulatory desktopowe** na komputerach PC nie są wykorzystywane w profesjonalnym procesie szkoleniowym, ale – z uwagi na pewne cechy charakterystyczne – nie mogą być pominięte w klasyfikacji symulatorów. Istotą tych produktów – mówiąc ściślej: programów komputerowych – jest możliwie wysokie odwzorowanie audiowizualne taboru kolejowego oraz infrastruktury kolejowej, a w niektórych przypadkach również obsługi taboru kolejowego. Znajdziemy wśród nich zarówno produkty komercyjne, tworzone przez profesjonalne firmy specjalizujące się w produkcji oprogramowania (np. Microsoft – *Microsoft Train Simulator*, Auran – *Trainz*), jak i otwarte (*open-source*) produkty niekomercyjne, tworzone zwykle przez społeczności pasjonatów transportu kolejowego (np. *Mechanik*, *Maszyna*, *Loksim 3D*).

Nowoczesny demonstrator symulatora – prezentacja projektu NCBiR

Przedmiotem projektu pn. *Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania*, dofinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) w ramach przedsięwzięcia pilotażowego DEMONSTRATOR+, jest budowa prototypowego

urządzenia, które będzie demonstrowało wybrane istotne cechy i funkcje symulatora kolejowych pojazdów trakcyjnych (pełna wersja urządzenia jest przewidziana do komercyjnego wdrożenia w przyszłości). Innymi słowy: ma to być uproszczony symulator, przy czym stosowane uproszczenia nie mogą w żaden sposób ograniczać możliwości miarodajnej prezentacji potencjału pełnowartościowego symulatora. Dopuszczalne uproszczenia mogą dotyczyć np. liczby odwzorowanych scenarii i ich elementów czy też konstrukcji stanowiska szkoleniowego (kabiny symulacyjnej). Istotną rolą demonstratora jest zaprezentowanie oprogramowania symulacyjnego, a zwłaszcza jego cech, które wniosą nową jakość w stosunku do rozwiązań obecnie oferowanych na rynku.

O ile przewoźnicy kolejowi – zamawiając symulatory – korzystają generalnie z gotowych rozwiązań (określając jedynie wybrane parametry w specyfikacjach istotnych warunków zamówienia), o tyle projekt demonstratora w NCBiR ma charakter naukowy i pozwala na kreowanie nowych rozwiązań. Konstrukcja projektu, dzieląca go aż na 31 różnych zadań, realizowanych przez 4 różne podmioty, stwarza pole do prowadzenia prac badawczych w różnych obszarach związanych z projektowaniem i eksploatacją symulatorów, a także z ich zastosowaniem w istniejących i planowanych procesach kwalifikacyjnych i szkoleniowych.



Fot. 4. Hiszpański symulator pulpitowy (dwa stanowiska szkoleniowe) dla RENFE [12]

W projekcie uczestniczą 4 podmioty, które zostały wymienione w tabeli 1.

Podstawowe założenia demonstratora symulatora pojazdów trakcyjnych

Celem projektu jest stworzenie nowoczesnego demonstratora symulatora kolejowego pojazdu trakcyjnego. Symulator będzie w przyszłości urządzeniem służącym do kwalifikacji i szkolenia kandydatów na maszynistów lub okresowego szkolenia oraz weryfikowania umiejętności maszynistów czynnie wykonujących swój zawód, szczególnie w przypadkach wprowadzania nowych pojazdów trakcyjnych do eksploatacji lub zmiany typu pojazdów prowadzonych przez maszynistę. Konstrukcja symulatora będzie umożliwiała nadzorowanie przebiegu szkolenia na stanowisku (stanowiskach) szkoleniowym z odrębnego stanowiska instruktorskiego, jak również automatyczną rejestrację przebiegu szkolenia i dokonanie wstępnej oceny jazdy uczestnika sesji symulacyjnej. Stanowisko szkoleniowe powinno jak najwierniej imitować wnętrze prawdziwego pojazdu trakcyjnego, przy czym zasadne jest odwzorowanie pojazdów trakcyjnych w ramach jednej platformy produkcyjnej (pojazdów posiadających zunifikowane wnętrza i pulpity, natomiast produkowanych w różnych wersjach: elektrycznej, hybrydowej, spalinowej), co pozwoli stosunkowo łatwo uzyskać wysoki stopień uniwersalizmu.

Do opracowania **stanowiska szkoleniowego** w formie kabiny wybranego kolejowego pojazdu trakcyjnego (lub platformy/serii pojazdów trakcyjnych) zostaną wykorzystane zaawansowane technologie symulacji wirtualnej. Zastosowanie środowiska symulacji wirtualnej umożliwi odwzorowanie świata wirtualnego widzianego przez ćwiczącego, z uwzględnieniem potrzeby zobrazowania obiektów o dużym poziomie szczegółowości. Oprogramowanie silnika symulacyjnego i silnika graficznego będzie umożliwiało odwzorowanie przemieszczania się pojazdu trakcyjnego w świecie wirtualnym, a odczucia osoby szkolonej zostaną wzmocnione poprzez zastosowanie **mechanizmu ruchu o sześciu stopniach swobody** (platforma na siłownikach elektrycznych), naśladującego w pewnym zakresie mechanikę ruchu pociągu. Stanowisko szkoleniowe będzie wyposażone we właściwy dla danej serii pojazdów zestaw manipulatorów odwzorowujących w maksymalnie wierny sposób stanowisko osoby prowadzącej pojazd kolejowy. Zobrazowanie

świata wirtualnego umożliwi również orientację przestrzenną ćwiczącego w takim zakresie, w jakim jest to możliwe w rzeczywistym obiekcie.

Wraz ze stanowiskiem szkoleniowym opracowywane są inne stanowiska:

- ♦ **stanowisko instruktora**,
- ♦ stanowisko administratora (opcjonalnie),
- ♦ stanowisko obserwacyjne (opcjonalnie).

Wszystkie stanowiska będą pracowały z wykorzystaniem jednego środowiska symulacyjnego. Zaproponowana technologia będzie umożliwiała przygotowanie scenariuszy do dedykowanych ćwiczeń wraz z możliwością wykorzystania wybranych typów obiektów (mapy, budynki, inne pojazdy), przygotowanych z wykorzystaniem innych narzędzi zgodnych z formatami dla obiektów wykorzystywanych w środowiskach symulacji wirtualnej. Uwzględniona zostanie również logika działania systemu sterowania ruchem kolejowym.

Zastosowanie symulatorów wirtualnych do szkolenia ma na celu stworzenie – w oparciu o świat wirtualny – takich warunków, które w maksymalnym stopniu odpowiadają warunkom rzeczywistym. Skuteczna realizacja tego założenia dostarcza nowych i niemal nieograniczonych możliwości w zakresie kwalifikacji oraz szkolenia, umożliwiając prowadzenie ćwiczeń w świecie wirtualnym, ale z wykorzystaniem obowiązujących procedur i rzeczywistego (lub zbliżonego do rzeczywistego) wyposażenia. Istotnym ogniwem jest tu oprogramowanie, które w demonstratorze symulatora będzie warunkowało uzyskanie oczekiwanej funkcjonalności poszczególnych stanowisk. Demonstrator będzie korzystał z następujących systemów:

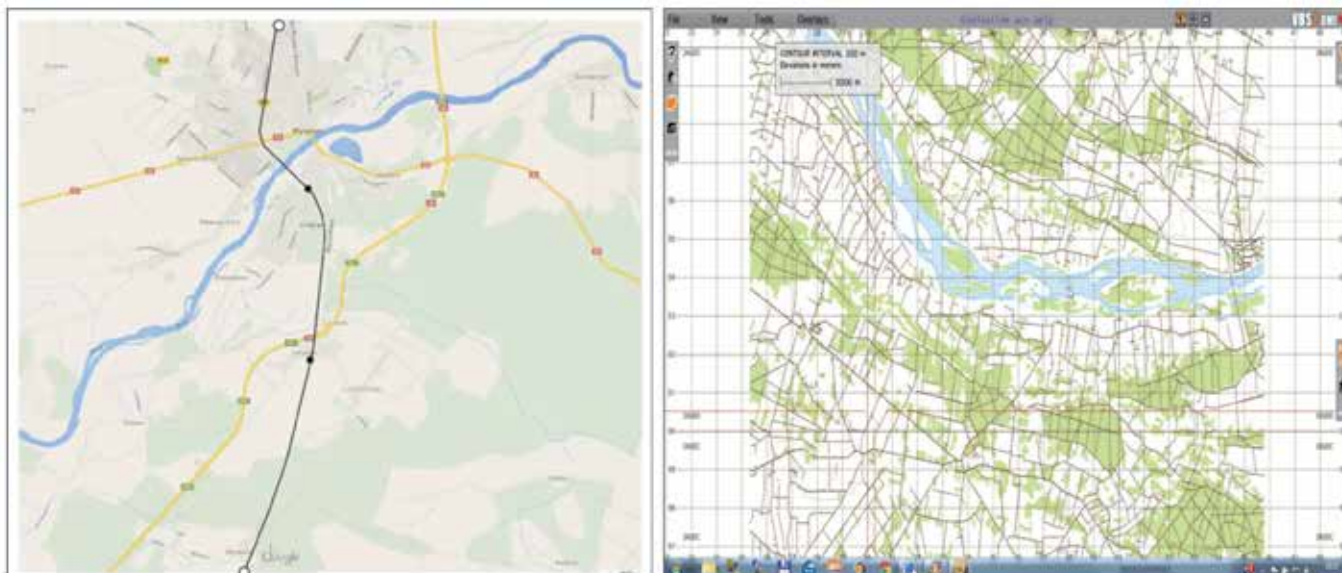
- ❖ **system generowania obrazu** linii kolejowej przed pociągiem wraz z systemem wizualizacji linii kolejowej, jej najbliższego otoczenia, różnorodnych wskazań sygnalizatorów oraz obrazów na wskaźnikach, jak również sytuacji na torze,
- ❖ **system generowania dźwięku** imitujący wrażenia słuchowe występujące podczas pracy w kabinie rzeczywistego pojazdu trakcyjnego,
- ❖ **system generowania mechaniki ruchu pociągu** oddziałujący zarówno na system wizualizacji (prędkość zbliżania się obrazu linii kolejowej na ekranie), jak i na mechanizm ruchu stanowiska (szarpnięcia przy rozruchu i hamowaniu, drgania podczas jazdy, podskakiwanie pojazdu trakcyjnego na rozjazdach i nierównościach),



Rys. 1. Typowy symulator kompaktowy [4]



Fot. 5. „Maszyna” – przykład amatorskiego symulatora open-source [13]



Rys. 2. Przykładowa trasa dla symulatora: Mostówka–Wyszków. Podgląd 2D przykładowej mapy w symulatorze wirtualnym
Źródło: oprac. własne.

- ❖ **system rejestracji** postępowania uczestnika sesji symulacyjnej i jego zachowania wraz z systemem generowania automatycznej oceny wstępnej,
- ❖ **narzędzia programowe** do budowy nowych i edycji istniejących scenariuszy treningowych dla konkretnych tras przejazdu wraz z sytuacjami nietypowymi (w tym wdrażanymi doraźnie przez instruktora).

Proces tworzenia scenarii i aspekty wizualizacji

Jednym z głównych zadań związanych z przygotowaniem środowiska wirtualnego na potrzeby symulatora kolejowego pojazdu trakcyjnego jest opracowanie **scenarii**, czyli – innymi słowy – **wirtualnej mapy**. Scenerie przygotowywane są na podstawie wymagań stawianych symulatorowi i wynikają przede wszystkim z celu, jaki ma realizować dany symulator. Zazwyczaj mapa wirtualna odzwierciedla rzeczywisty fragment terenu, umożliwiając prowadzenie ćwiczeń w warunkach zbliżonych do naturalnych (rys. 2). Scenerie budowane są przy wykorzystaniu specjalistycznych narzędzi programowych oraz dostępnych zasobów map cyfrowych. Stosowanie danych cyfrowych umożli-

wia odzwierciedlenie takich elementów mapy jak: ukształtowanie terenu, sieć tras komunikacyjnych (kolejowych, drogowych), sieć hydrologiczna (rzeki, jeziora i inne zbiorniki wodne) i zalesienia, a także rozmieszczenie budynków z ich podstawową charakterystyką (obrys, wysokość).

Możliwe jest także wykorzystanie zasobów elektronicznych specyficznych dla określonego rodzaju danych, np. rozmieszczenia elementów infrastruktury kolejowej. Rys. 3 przedstawia przykładowe zobrazowanie 3D mapy wirtualnej z uwzględnieniem elementów infrastruktury kolejowej – widoczne są nawierzchnia kolejowa, sieć trakcyjna oraz semafony i wskaźniki.

Integralną częścią mapy wirtualnej są obiekty umieszczone w scenerii. Możliwe jest zaprojektowanie i umieszczenie na mapie obiektów charakterystycznych dla odwzorowywanej okolicy, np. znajdujących się tam budynków (rys. 4).

Ze względu na specyfikę projektowanego symulatora wymagane jest opracowanie modeli wirtualnych pojazdów trakcyjnych (rys. 5). Wygląd oraz sposób działania takich pojazdów musi odpowiadać rzeczywistym obiektom – tak, by przebieg ćwiczenia realizowanego z wykorzystaniem symu-



Rys. 3. Przykład zobrazowania 3D elementów infrastruktury kolejowej w symulatorze wirtualnym
Źródło: oprac. własne.

latora odzwierciedlał warunki występujące w świecie rzeczywistym.

Specyficznymi obiektami w symulacji są postacie, które odzwierciedlają wygląd i zachowanie osób (rys. 6). W symulatorach wirtualnych istnieje możliwość zaawansowanego modelowania zachowań takich postaci na potrzeby realizowanego ćwiczenia.

Budowa mapy wirtualnej wraz z obiektami będącymi integralną częścią tej mapy jest jednym z głównych – a jednocześnie najbardziej pracochłonnych i kosztownych – zadań związanych z budową symulatora pojazdu trakcyjnego. Mapa i jej elementy będą podstawą do generowania obrazów widzianych przez maszynistę pojazdu trakcyjnego z kabiny tego pojazdu. Obraz i zachowanie obiektów w symulacji powinny odwzorowywać sytuacje występujące w świecie rzeczywistym i są podstawą do podejmowania decyzji przez ćwiczącego w przypadku, gdy w trakcie przebiegu ćwiczenia będą realizowane różnego typu zdarzenia.

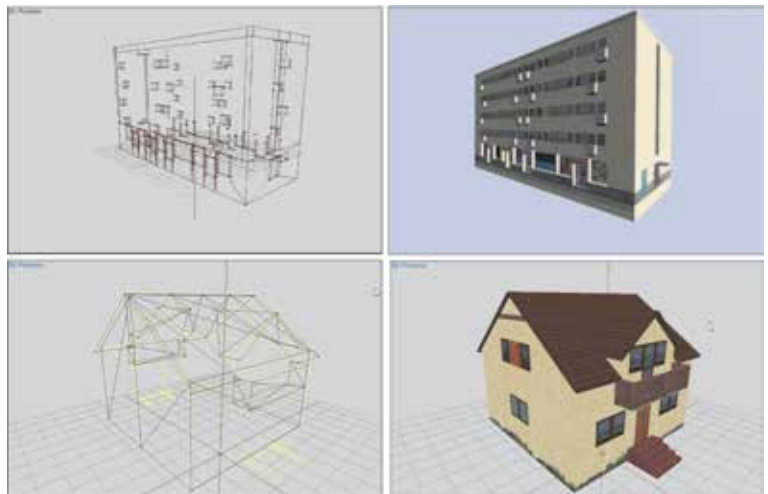
Co ważne, system umożliwi wizualizację na określonym odcinku linii kolejowej różnych warunków atmosferycznych (wschód słońca, zmrok, noc, mgła, opady deszczu lub śniegu). Różnorodność warunków atmosferycznych przedstawiono na rys. 7 i 8.

W ramach projektu demonstratora zostaną odwzorowane trzy odcinki linii kolejowych, cechujące się różnymi parametrami techniczno-eksploatacyjnymi, ukształtowaniem terenu otaczającego linię kolejową, a także dostępnością materiałów źródłowych. Mowa o odcinkach:

- **Katowice–Tychy (17,8 km)** na linii kolejowej nr 139 Katowice–Zwardoń (GP). Jest to odcinek dwutorowy, zelektryfikowany, po modernizacji; spółka PKP PLK S.A. posiada dla niego numeryczny model terenu (NMT). Szczególna uwaga w odwzorowaniu zostanie poświęcona stacji Katowice Osobowa z bezkolizyjną łącznicą i układom torowym posterunków odgałęźnych Brynów i Mąkołowic;
- **Rajcza–Zwardoń–Granica Państwa (16,0 km)** na linii kolejowej nr 139 Katowice–Zwardoń (GP). Jest to odcinek jednotorowy, zelektryfikowany, o skomplikowanym układzie geometrycznym, bez modernizacji i planów przebudowy w następnych latach; spółka PKP PLK S.A. posiada dla niego numeryczny model terenu (NMT). Odcinek umożliwi sprawdzenie metodyki odwzorowania terenu w otoczeniu górskim, z urozmaiconą rzeźbą terenu;
- **Mostówka–Wyszków (11,2 km)** na linii kolejowej nr 29 Tłuszcz–Ostrołęka. To odcinek jednotorowy, zelektryfikowany, po rewitalizacji. W odniesieniu do odcinka można spodziewać się aktualnej dokumentacji powykonawczej; nie opracowano dla niego numerycznego modelu terenu (NMT), a zatem większa liczba danych zostanie pozyskana z terenu. Na odwzorowanie czeka duży most kratowy na Bugu (rys. 9).

Zastosowanie symulatorów w procesach kwalifikacyjnych i szkoleniowych

Symulatory znajdują obecnie coraz szersze zastosowanie w procesach szkoleniowych i kwalifikacyjnych w różnych branżach, co wynika m.in. z następujących własności tych urządzeń:

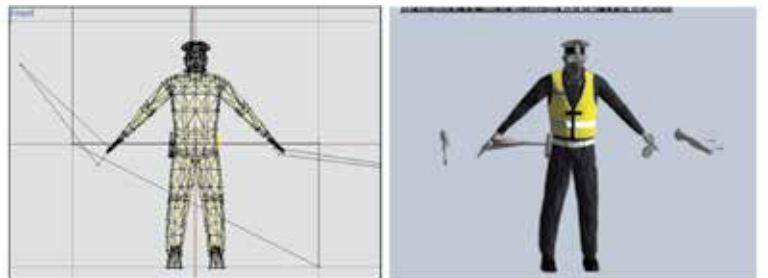


Rys. 4. Przykład projektu budynków w symulatorze wirtualnym [17]



Rys. 5. Przykład projektu pojazdów trakcyjnych EN-57 oraz sygnalizatorów w symulatorze wirtualnym

Źródło: oprac. własne.



Rys. 6. Przykład projektu postaci w symulatorze wirtualnym [17]

- ◆ możliwość budowy i modelowania charakterystycznych obiektów (np. pojazd bojowy, pojazd drogowy, pojazd kolejowy, statek powietrzny, ludzie, budynki),
- ◆ możliwość tworzenia map wirtualnych, które mogą odwzorowywać świat rzeczywisty lub mogą być wymyślone na potrzeby przeprowadzenia konkretnych ćwiczeń,
- ◆ możliwość programowania różnorodnych warunków atmosferycznych i zachowania symulowanego środowiska naturalnego,
- ◆ możliwość opracowania zestawu niezbędnych scenariuszy symulacyjnych,



Rys. 7. Pora dnia [1]



Rys. 8. Warunki pogodowe [1]

- ♦ możliwość ingerencji instruktora w symulację (np. zadanie osobie odbywającej sesję symulacyjną określonego zdarzenia, np. awarii pojazdu),
- ♦ możliwość programowania zachowania obiektów (np. ludzi, pojazdów),
- ♦ możliwość rejestrowania i odtwarzania przebiegu sesji symulacyjnej (ang. *After Action Review* – AAR).

Przykładowe stanowiska symulatora wozu bojowego PSP przedstawia fot. 6.

W transporcie kolejowym symulatory przydatne są przede wszystkim w trakcie kwalifikowania i szkolenia osób związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego, tzn. osób prowadzących pojazdy kolejowe (maszyniści) i osób sterujących ruchem kolejowym (dyżurni ruchu). Projektowany demonstrator jest prototypem symulatora, który w przyszłości znajdzie zastosowanie w procesie

szkolenia maszynistów: zarówno na etapie weryfikacji kandydatów na maszynistów, jak i w czasie późniejszego podnoszenia kwalifikacji maszynistów i okresowej weryfikacji ich umiejętności. W szczególności dotyczy to następujących obszarów:

- ♦ wstępna ocena kandydatów na maszynistów (sprawdzenie predyspozycji psychofizycznych), tj. stwierdzenie, w jaki sposób kandydat reaguje na sytuacje nietypowe, czy podejmuje prawidłowe decyzje, czy nie gubi się w nadmiarze informacji itp.,
- ♦ wyćwiczenie określonych procedur wynikających z przepisów kolejowych, w tym sprawnej komunikacji i współdziałania z innymi uczestnikami ruchu kolejowego,
- ♦ wyćwiczenie prawidłowych reakcji w sytuacjach nietypowych (reakcji odruchowych), np. przy pojawieniu się przeszkody na torze,
- ♦ wyćwiczenie sposobów postępowania w przypadku wystąpienia usterki taboru,



Rys. 9. Odcinek Mostówka–Wyszaków dla demonstratora

- ♦ zapoznanie z nowymi systemami sterowania ruchem, np. ETCS,
- ♦ analiza i poprawa techniki jazdy, w szczególności nauka jazdy ekonomicznej, która powoduje mniejsze zużycie energii przy zachowaniu wymaganej płynności i dotrzymaniu rozkładowego czasu jazdy,
- ♦ systemowa analiza oraz eliminacja błędów popełnianych przez maszynistów poprzez określenie ogólnej typologii popełnianych błędów i częstości ich występowania w zależności od wybranych kryteriów.

Spośród wymienionych zastosowań największą wartość dodaną symulatory wnoszą w przypadkach, w których istnieje potrzeba odwzorowania zdarzeń występujących w praktyce bardzo rzadko (ale jednak mogących się pojawić) i stwarzających potencjalne niebezpieczeństwo. Newralgiczne są te zdarzenia, które wymagają od maszynisty błyskawicznej reakcji, tj. reakcji odruchowej. Przed wprowadzeniem symulatorów nie było sposobu, aby przećwiczyć postępowanie w podobnych sytuacjach, teraz taka możliwość istnieje.

W ramach prac nad demonstratorem została wprowadzona (i jest cały czas rozbudowywana) klasyfikacja zdarzeń nietypowych, które należy uwzględnić w scenariuszach szkoleniowych. Ich podział i przykładowe zdarzenia zostały przedstawione poniżej [2]:

- a) prowadzony pojazd trakcyjny lub skład prowadzonego pociągu:
 - awarie i nieprawidłowości w prowadzonym pojeździe trakcyjnym (np. niesprawność czuwaka),
 - awarie i nieprawidłowości w składzie prowadzonego pociągu (np. nieszczelność układu pneumatycznego);
- b) inne pojazdy kolejowe:
 - sygnały podawane przez inne pojazdy (np. sygnał A1 „Alarm” podawany przez pojazd),

- awarie i nieprawidłowości w mijanych pojazdach kolejowych (np. dym wydobywający się z wagonu),
- nieprawidłowości w zakresie ruchu innych pojazdów kolejowych (np. niezatrzymanie pojazdu przed sygnałem „Stój” lub w innym miejscu wymagającym zatrzymania);
- c) prowadzenie ruchu kolejowego:
 - scentralizowane prowadzenie ruchu kolejowego (np. wyprawienie pojazdu kolejowego na niewłaściwy tor po drodze utwierdzonej),
 - sygnały ręczne i dźwiękowe podawane przez pracowników kolejowych (np. podanie przez dróżnika przejazdowego sygnału D7 „Stój” sposobem ręcznym);
- d) infrastruktura kolejowa:
 - uszkodzenia i problemy związane z urządzeniami srk i wskaźnikami (np. zmiana sygnału na sygnalizatorze z zezwalającego na „Stój” przed jazdą pojazdu – wygaszenie sygnału),
 - uszkodzenia i problemy związane z urządzeniami przejazdowymi (np. wyświetlenie stanu awaryjnego lub brak obrazu sygnałowego na tarczy ostrzegawczej przejazdowej),
 - uszkodzenia i problemy związane z urządzeniami łączności (np. brak łączności radiowej – zanik sygnału),
 - uszkodzenia i problemy związane z drogową nawierzchnią kolejową (np. brak przyczepności – oblodzenie szyn),
 - uszkodzenia i problemy związane z infrastrukturą elektroenergetyczną (np. obniżony wysięgnik podwieszenia sieci),
 - roboty kolejowe (np. prowadzenie robót kolejowych w torze jazdy);
- e) zdarzenia losowe:
 - ryzyko kolizji z pojazdem drogowym (np. wjazd pojazdu drogowego na przejazd kat. C),



Fot. 6. Stanowiska kierowcy wozu bojowego PSP (na zdjęciach ćwiczący, instruktor, administrator) [17]

- ryzyko najechania na osobę pieszą (np. upadek podróżnego z peronu na tor),
- obecność przeszkody w torze (np. zwierzę dzikie lub hodowlane),
- pozostałe zdarzenia losowe (np. obrzucenie pociągu kamieniami – akt chuligański).

Opracowywana w ramach projektu demonstratora klasyfikacja zdarzeń nietypowych zawiera wiele przykładowych zdarzeń przypisanych do poszczególnej kategorii. W docelowych symulatorach, w zależności od przeznaczenia poszczególnych urządzeń, wybrane zdarzenia będzie można zaimplementować do tworzenia scenariuszy bądź też z nich zrezygnować.

Podsumowanie

Projekt NCBiR *Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania* dobrze wpisuje się w trendy panujące obecnie na rynku kolejowym. Należy przypuszczać, że w najbliższej przyszłości popularność symulatorów kolejowych pojazdów trakcyjnych będzie stale wzrastać, a zatem będą pojawiać się kolejne zamówienia na tego typu urządzenia. Realizowany projekt pozwala zbadać zastosowanie współczesnych zaawansowanych środowisk symulacyjnych do budowy symulatorów kolejowych w poszukiwaniu drogi do osiągnięcia określonych korzyści; służy efektywnemu ćwiczeniu sytuacji niemożliwych do odtworzenia w rzeczywistości ze względu na duże koszty lub duże zagrożenia dla ćwiczących, wyćwiczeniu istniejących i weryfikacji nowych procedur, zapoznaniu użytkowników z urządzeniami jeszcze niewyprodukowanymi oraz zwiększeniu intensywności szkoleń i redukcji ich kosztów.

Publikacja finansowana ze środków NCBiR w ramach projektu „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania” – umowa nr UOD-DEM-1-501/001 z dnia 23.12.2013 r.

Bibliografia:

1. Bohemia Interactive Australia Ltd., White Paper: VBS2 Release Version 2.0 January 06, 2012.
2. Brona P., Dąbrowski A., *Symulatory pojazdów kolejowych w procesie kształcenia i kwalifikacji maszynistów i kandydatów na maszynistów*, „Transport i Komunikacja” 2014, nr 2.
3. Brona P., Dąbrowski A., Szafranski Z., *Wpływ stosowania symulatorów pojazdów trakcyjnych na bezpieczeństwo w transporcie szynowym*, Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Niezawodność w transporcie szynowym i możliwości jej zwiększania”, Warszawa, 20–21.11.2013.
4. CORYS Training & Engineering Support Systems: <http://www.corys.com> (dostęp z dnia 14.04.2014 r.).
5. CS Szkolenie i Doradztwo Sp. z o.o. w Warszawie: <http://www.csid.pl/index2.php?p=4> (dostęp z dnia 17.07.2014 r.).
6. Deutsche Bahn: <http://www.bahn.de/dbbahn/view/simulatorfahrt.shtml> (dostęp z dnia 11.05.2014 r.).
7. Instalacja VBS2 VTK 2.0.
8. Koszela J., Drozdowski T., Wantoch-Rekowski R., *Przygotowanie danych terenowych na potrzeby symulacji wielorodzicielskiej*, „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe” 2012, nr 3.
9. Koszela J., Drozdowski T., Wantoch-Rekowski R., *Zaawansowane metody przygotowania danych terenowych do symulatora szczebla taktycznego VBS2*, „Biuletyn Instytutu Systemów Informatycznych” 2013, nr 11.
10. Koszela J., Wantoch-Rekowski R., *Koncepcja symulatora do szkolenia kierowców wozów bojowych PSP w zakresie zadań realizowanych w ramach krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2012, nr 4.
11. Koszela J., Wantoch-Rekowski R., *Zastosowania symulatorów do szkolenia w zakresie sytuacji kryzysowych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2013, nr 1.
12. Lander Simulation & Training Solutions: <http://www.landersimulation.com> (dostęp z dnia 4.04.2014 r.).
13. MPCforum.pl: <http://www.mpcforum.pl/topic/1179597-maszyna-prezentacja-symulatora-oraz-maly-potadnik-jak-ruszyc/> (dostęp z dnia 12.08.2014 r.).
14. Najgebauer A., Antkiewicz R., Pierzchała D., Tarapata Z., Rulka J., Kasprzyk R., Chmielewski M., Koszela J., Wantoch-Rekowski R., *Informatyczne systemy wspomagania decyzji w sytuacjach konfliktowych i kryzysowych*, [w:] A. Najgebauer (red.), *Technologie podwójnego zastosowania*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2012.
15. Najgebauer A. (red.), *Modele zagrożeń aglomeracji miejskiej wraz z systemem zarządzania kryzysowego na przykładzie miasta stołecznego Warszawy*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2009.
16. Narodowe Archiwum Cyfrowe, sygn. 1-G-2901: <http://www.audiovis.nac.gov.pl> (dostęp z dnia 13.06.2014 r.).
17. Raport końcowy projektu pt. „Opracowanie nowoczesnych stanowisk szkoleniowych zwiększających skuteczność działań ratowników KSRG”. Numer projektu OROB000101/ID1/3 finansowany ze środków Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (lata realizacji 2011–2013).
18. Roguski J., Wantoch-Rekowski R., Koszela J., Majka A., *Koncepcja symulatora do szkolenia kierowców wozów bojowych PSP w zakresie zadań realizowanych w ramach krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2012, nr 4.
19. Wantoch-Rekowski R. (red.), *Programowalne środowisko symulacji wirtualnej VBS2*, PWN, Warszawa 2013.

Autorzy:

- Przemysław Brona** – Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów
Adam Dąbrowski – Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów
Jarosław Koszela – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki
Damian Król – Qumak S.A.
Zbigniew Szafranski – Instytut Kolejnictwa, Ośrodek Koordynacji Projektów i Współpracy Międzynarodowej
Roman Wantoch-Rekowski – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki

The project of a modern simulator for operators of rail vehicles

Rail vehicle simulators play an important role in train drivers training. The paper presents selected simulators available in Poland, and explains the concept of a new simulator developed in the framework of a project funded by the National Centre for Research and Development.