

Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający bezpieczeństwo i efektywność ich działania – część II

Przemysław BRONA¹, Adam DĄBROWSKI²

Streszczenie

W artykule, będącym drugą częścią artykułu opublikowanego w zeszycie 152 czasopisma „Prace Instytutu Kolejnictwa”, opisano realizację ostatnich dwóch zadań Instytutu Kolejnictwa w ramach projektu budowy demonstratora symulatora dla operatorów pojazdów szynowych (przedsięwzięcie pilotażowe DEMONSTRATOR+ Narodowego Centrum Badań i Rozwoju). Ich przedmiotem było przedstawienie formalnego zakresu metodyki ćwiczeń na symulatorach pojazdów szynowych oraz opracowanie przykładowych scenariuszy szkoleniowych, które mogą być wykorzystane w ćwiczeniach na symulatorach. W zakończeniu artykułu podsumowano całokształt osiągnięć zespołu Instytutu Kolejnictwa w projekcie demonstratora oraz propozycje dalszego wykorzystania uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: lokomotywa, symulator, wirtualna rzeczywistość

1. Wstęp

W zeszycie 152 „Prac Instytutu Kolejnictwa” autorzy wprowadzili Czytelników w tematykę przedsięwzięcia pilotażowego DEMONSTRATOR+ Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) [1]. Od grudnia 2013 r. do listopada 2016 r. Instytut Kolejnictwa był członkiem konsorcjum realizującego projekt NCBiR pt. „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający bezpieczeństwo i efektywność ich działania”. W skład konsorcjum weszły również: firma informatyczna QUMAK S.A. (lider), Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie oraz Centrum Kształcenia i Doradztwa IKKU Sp. z o.o. Zasadniczym celem projektu było wybudowanie demonstratora (tj. wersji demonstracyjnej) symulatora pojazdów trakcyjnych oraz określenie jak najlepszych metod wykorzystania tego typu urządzeń w procesie rekrutacji, szkolenia i egzaminowania maszynistów lub kandydatów na maszynistów.

Zadania realizowane przez konsorcjum w projekcie demonstratora można podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich można roboczo nazwać „zadaniami projektowo-konstrukcyjnymi” – ich celem było zaprojektowanie i budowa demonstratora. Projekt zawierał 25 takich zadań, przy czym Instytut Kolejnictwa realizował dwa zadania, opisane w pierwszej części artykułu:

- **Zadanie 3** polegające na określeniu wymagań formalnych i funkcjonalnych dla demonstratora,

- **Zadanie 7** polegające na opracowaniu wymagań dotyczące importu i przetwarzania danych przestrzennych GIS.

Drugą grupę zadań w projekcie można roboczo nazwać „zadaniami szkoleniowymi”, a ich przedmiotem było określenie podstaw formalnych i proponowanej metodyki wdrożenia technik symulacyjnych do procesu rekrutowania, szkolenia i egzaminowania kandydatów na maszynistów oraz maszynistów. Projekt zawierał 6 zadań z tego zakresu, przy czym Instytut Kolejnictwa zrealizował trzy z nich:

- **Zadanie 8** polegające na opracowaniu założeń dla scenariuszy symulacyjnych (opisane szczegółowo w numerze 152 Prac Instytutu Kolejnictwa).
- **Zadanie 26** polegające na opracowaniu programu szkoleń i słownika pojęć, tzw. sylabusu.
- **Zadanie 27** polegające na określeniu formalnego zakresu metodyki ćwiczeń.

Trzy pozostałe zadania szkoleniowe realizowała firma IKKU we współpracy z Instytutem Kolejnictwa oraz wspólnie utworzonym zespołem ekspertów (maszynistów instruktorów) reprezentujących przewoźników kolejowych: PKP Intercity S.A., Koleje Mazowieckie Sp. z o.o. oraz PKP Cargo S.A. Tym samym od połowy czasu realizacji projektu, ciężar „zadań projektowo-konstrukcyjnych” spoczął na firmie QUMAK S.A. i Wojskowej Akademii Technicznej, ciężar „zadań szkoleniowych” zaś na Instytucie Kolejnictwa i IKKU.

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: pbrona@ikolej.pl.

² Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: adabrowski@ikolej.pl.

2. Opracowanie programu szkoleń i słownika pojęć (Zadanie 26)

Głównym celem Zadania 26 było opracowanie scenariuszy szkoleniowych dla poszczególnych profili jazdy. Wstępne założenia opracowano w ramach Zadania 8, w którym opisano podstawowe parametry definiujące scenariusze. Przed przystąpieniem do opracowania scenariuszy szkoleniowych scharakteryzowano sposób w jaki były budowane, tj.: określono cel scenariusza, przygotowanie osoby szkolonej do sesji symulacyjnej, dobór parametrów definiujących poszczególne scenariusze oraz sposób opisu przebiegu scenariusza i elementy oceny osoby szkolonej.

Charakterystyka profili jazdy

W poprzedniej części artykułu omówiono profile jazdy zdefiniowane na potrzeby realizacji projektu. Dla każdego z tych profili przyporządkowano scenariusz szkoleniowy. Profile te są następujące:

- rekrutacyjny, dotyczący sprawdzenia predyspozycji kandydatów na stanowisko maszynisty (**R1**),
- edukacyjny na licencję (**EdL**) i świadectwo maszynisty (**EdS**), mający charakter szkoleniowo-egzaminacyjny,
- egzaminacyjny na licencję (**EgL**) i świadectwo maszynisty (**EgS**), okresowy drużyn trakcyjnych (**EgM**) oraz po przerwie w pracy (**EgP**),
- weryfikacyjny, w którym sprawdzane są wiedza i umiejętności dotyczące prowadzenia pojazdów kolejowych w przypadku: osób mających przerwę w pracy maszynisty (**W1**), osób biorących udział w zdarzeniu lub wypadku (**W2**), zmiany przepisów (**W3**), zmiany serii pojazdu trakcyjnego (**W4**) oraz zmiany rodzaju pociągu (**W5**),
- profilaktyczny, zawierający zestaw ćwiczeń dotyczących szkoleń i pouczeń okresowych wynikających z obowiązujących przepisów (**P1**),
- doświadczalny, mający charakter testów badawczych z zakresu nowych rozwiązań konstrukcyjnych taboru (**Dk**), testowania propozycji nowych przepisów (**Dp**), odtworzenia przebiegu zdarzeń (**Dz**) oraz badania cech i reakcji psychofizycznych maszynistów (**Db**).

Każdy z wymienionych profili jazdy charakteryzuje się różnymi warunkami dla których opracowano scenariusze szkoleniowe.

Sposób opisu scenariuszy

Do opracowania poszczególnych scenariuszy szkoleniowych zaproponowano ujednolicony sposób prezentacji, na który składają się trzy grupy informacji:

1. **Informacje wstępne**, zawierające cel sesji symulacyjnej oraz sposób przygotowania osoby szkolonej. W zależności od profilu jazdy pozwalają na dobór scenariusza do zamierzonego rezultatu szkolenia;

2. **Parametry techniczne**, których początkowe wartości mogą być ustawione jako bazowe w scenariuszu lub wprowadzone przez instruktora przed rozpoczęciem sesji symulacyjnej.
3. **Opis przebiegu** sesji szkoleniowej wraz z **oceną postępowania** osoby szkolonej.

Cel sesji symulacyjnej

Cel sesji symulacyjnej zawiera opis, w jaki sposób będzie osiągnięty zakładany rezultat sesji symulacyjnej, dlatego powinno być w nim wskazane, czego chcemy nauczyć osobę szkoloną lub jaki zakres wiedzy należy sprawdzić. Dokładne wskazanie celu sesji symulacyjnej w opisie scenariusza określa dalszy zakres doboru scenerii (np. linii kolejowej, pory roku i doby), rodzaju pociągu i pojazdu trakcyjnego, wyboru zdarzeń (zamierzonych i nietypowych) oraz sposobu oceny osoby szkolonej.

Przygotowanie osoby szkolonej do sesji symulacyjnej

Istotnym elementem w opracowaniu scenariuszy jest określenie warunków dla osoby, która ma odbyć sesję symulacyjną. W szczególności dotyczy to stanu fizycznego i psychicznego, a w dalszej kolejności posiadanych umiejętności i kwalifikacji. Zakłada się, że w większości przypadków będzie to osoba wypoczęta. Jednak w przypadku wybranych sesji symulacyjnych, w celu sprawdzenia sprawności i warunków psychicznych, scenariusze mogą zakładać, aby była to osoba po kilku godzinach pracy, np. pod koniec przewidzianej na dany dzień służby (stan zmęczenia).

Parametry techniczne scenariusza

Podstawą opracowania scenariusza są jego parametry techniczne, których wartości początkowe są ustawiane w systemie informatycznym symulatora. Dobór tych parametrów do poszczególnych scenariuszy powinien odpowiadać zdefiniowanemu wcześniej celowi sesji symulacyjnej. Parametry techniczne podzielono na pięć głównych kategorii:

- 1) parametry scenerii (droga kolejowa, osygnalizowanie linii kolejowej, pora roku, pora doby, warunki atmosferyczne),
- 2) parametry pociągu (rodzaj pojazdu, rodzaj trakcji, rodzaj pociągu, skład pociągu, stan urządzeń w pojeździe),
- 3) rodzaj jazdy (jazda pociągiem pasażerskim lub towarowym po linii kolejowej, jazda manewrowa, jazda mieszana, jazda w trakcji podwójnej ze sterowaniem wielokrotnym),
- 4) warunki ruchu kolejowego (wyposażenie linii w urządzenia srk, operacyjne wykorzystanie urządzeń srk),
- 5) zdarzenia nietypowe (zdarzenia związane z: prowadzonym pojazdem trakcyjnym lub składem pociągu, innymi pojazdami kolejowymi, prowadzeniem ruchu kolejowego, infrastrukturą kolejową oraz inne zdarzenia losowe).

Szczegółowy opis tych parametrów przedstawiono w pierwszej części artykułu.

Przebieg scenariusza i działania osoby szkolonej, podlegające ocenie

Oprócz wymienionych informacji, scenariusz powinien również zawierać opis przebiegu oraz działania osoby szkolonej podlegające ocenie (błędy krytyczne). W opisie przebiegu scenariusza powinny znaleźć się informacje niezbędne do właściwego zrozumienia scenariusza i podjęcia decyzji przez instruktora w trakcie trwania sesji symulacyjnej. Do tych informacji należy zaliczyć:

- 1) miejsce lub sytuacja, w której dochodzi do zdarzenia nietypowego lub mającego istotny wpływ na dalsze postępowanie osoby szkolonej,
- 2) miejsce lub sytuacja, w której niezbędne jest włączenie się instruktora w przebieg sesji, tj. wydanie dalszych poleceń związanych z przebiegiem ćwiczenia (np. in-

struktor pełni rolę dyżurnego ruchu wydającego zezwolenie na kontynuację jazdy),

- 3) sposób postępowania po wystąpieniu zaplanowanego lub nietypowego zdarzenia w zależności od sposobu reakcji osoby szkolonej i rodzaju zdarzenia (zmiana scenariusza, przerwanie lub kontynuowanie sesji szkoleniowej).

Przy opracowywaniu scenariuszy przyjęto zasadę zestawienia wymienionych informacji obok siebie tak, aby dla poszczególnych zdarzeń w przebiegu scenariusza odpowiadały elementy podlegające ocenie (błędy krytyczne).

Przykładowa karta scenariusza

Według przedstawionych założeń, opracowano 11 szczegółowych kart scenariuszy szkoleniowych. Przykładową kartę scenariusza dla profilu egzaminacyjnego na licencję maszynisty (EgL) przedstawia tablica 1.

Tablica 1

Karta scenariusza egzaminacyjnego na licencję maszynisty

Karta scenariusza – scenariusz egzaminacyjny licencja maszynisty (EgL)	
Cele sesji symulacyjnej	
Celem scenariusza jest zweryfikowanie wiedzy i umiejętności osoby egzaminowanej nabytych podczas szkolenia na licencję maszynisty, w zakresie umiejętności rozpoznawania i interpretacji sygnałów na semaforach, sygnałów podawanych przez drużynę konduktorską oraz wskaźników. Osoba egzaminowana powinna wykazać się spostrzegawczością i refleksem oraz prawidłowymi reakcjami w razie wystąpienia zdarzeń losowych i sytuacji nietypowych.	
Przygotowanie osoby szkolonej do sesji symulacyjnej	
Osoba wypoczęta i trzeźwa. Omówienie obsługi pojazdu trakcyjnego oraz przejazd po szlaku bez zadań egzaminacyjnych w celu zapoznania się ze szlakiem.	
Parametry scenarii	
Droga kolejowa:	odcinek linii kolejowej nr 29, szlak Mostówka – Wyszków. Linia jednotorowa, zelektryfikowana, wyposażona w jednodostępową półsamoczną blokadę liniową.
Posterunki ruchu i punkty handlowe:	rozmessezone zgodnie z wyposażeniem technicznym linii kolejowej.
Osygnalizowanie linii kolejowej:	kompletne, rozmessezone zgodnie z wyposażeniem technicznym linii kolejowej.
Prędkość maksymalna jazdy pociągu:	zgodnie z przekazanym rozkładem jazdy.
Doraźne ograniczenia prędkości:	nie przewiduje się.
Pora roku:	wiosna lub lato.
Pora dnia:	dzień.
Warunki atmosferyczne:	pogodnie, słońce z lekkim zachmurzeniem, bez opadów.
Parametry pociągu	
Rodzaj pojazdu:	zespół trakcyjny.
Trakcja:	elektryczna.
Rodzaj pociągu:	pasażerski.
Skład pociągu:	1 jednostka ezt.
Stan urządzeń:	jazda bezawaryjna (bez usterek taboru).

cd. Tablica 1

Rodzaj jazdy	
Jazda pociągiem po szlaku zgodnie z przekazanym rozkładem jazdy, osygnalizowanie pociągu zgodnie z sygnalizacją le-1.	
Warunki ruchu kolejowego	
Jazda w warunkach normalnych bez innych uczestników ruchu kolejowego.	
Parametry zdarzeń nietypowych (nieplanowanych)	
Prowadzony pojazd lub skład prowadzonego pociągu:	brak (bez usterek taboru).
Inne pojazdy kolejowe:	na stacji Wyszków pociąg towarowy oczekujący na torze nr 2 na wyjazd w kierunku przeciwnym (do Mostówki) z prawidłowym osygnalizowaniem czoła pociągu – sygnał Pc1.
Prowadzenie ruchu kolejowego:	podanie przez kierownika pociągu sygnału Rp13 „Gotów do odjazdu”.
Infrastruktura kolejowa:	niezgodność sygnałów na sygnalizatorach (rozbieżność sygnału na semaforze i odnoszącej się do niego tarczy ostrzegawczej), wprowadzenie doraźnego ograniczenia prędkości do 30 km/h zgodnie z wykazem R307 (brak stabilności podtorza) – bez osygnalizowania doraźnego ograniczenia prędkości.
Zdarzenia losowe:	wtargnięcie pojazdu drogowego na przejeździe kat. C w km 15,526.
Przebieg scenariusza	Elementy podlegające ocenie (błędy krytyczne)
1. Wyjazd ze stacji Mostówka zgodnie z założonym rozkładem jazdy dla pociągu (załączyć przykładowy rozkład jazdy dla pociągu). Wyjazd z toru nr 1 zgodnie ze wskazaniem semafora – sygnał S2 na semaforze L oraz po podaniu sygnału od kierownika pociągu Rp13 „gotów do odjazdu pociągu”. Wyjazd na szlak w kierunku Wyszkowa.	1. Przygotowanie pociągu do odjazdu – przeprowadzenie szczegółowej lub uproszczonej próby hamulca, sporządzenie dokumentów pociągu, wprowadzenie danych do rejestratora, prawidłowe osygnalizowanie pociągu.
2. Jazda na szlaku zgodnie z obowiązującą prędkością maksymalną dla pociągów pasażerskich 80 km/h. Postoje na przystankach osobowych Lucynów i Rybienko.	2.1. Jazda z prędkością rozkładową zgodnie z załączonym RJ – przekroczenie prędkości obniża ocenę sesji. 2.2. Prawidłowe zatrzymanie się w peronach – dopuszcza się nieznaczne przejechanie peronu, co wymaga cofnięcia (w sposób uproszczony za zgodą instruktora), całkowite przejechanie peronu znacząco obniża ocenę sesji. 2.3. Właściwa interpretacja sygnałów na semaforach i sygnałów podawanych przez drużynę konduktorską; właściwa reakcja na wskaźniki usytuowane wzdłuż toru.
3. Pomiędzy p.o. Lucynów i p.o. Rybienko doraźne ograniczenie prędkości do 30 km/h na długości 300 m wynikające z R307 – brak osygnalizowania wskaźnikami D6 i W14.	3. Właściwa reakcja na wprowadzone ograniczenie prędkości wynikające z R307 – brak reakcji skutkuje przerwaniem sesji.
4. Podczas zbliżania się do przejazdu kat. C w km 15,526 konieczność nadania sygnału Rp1 z uwagi na zbliżający się do przejazdu pojazd drogowy (np. samochód osobowy).	4. Właściwa reakcja na zbliżający się do przejazdu pojazd drogowy – brak sygnału Rp1 skutkuje wjazdem pojazdu drogowego na przejazd i zakończeniem sesji.
5. Przed wjazdem na stację Wyszków niezgodność sygnałów podanych na tarczy ostrzegawczej odnoszącej się do semafora wjazdowego. Na tarczy ostrzegawczej ToA wyświetlony sygnał Os4. Na semaforze wjazdowym A wyświetlony sygnał S5. Konieczność zatrzymania pociągu przed semaforem wjazdowym i zgłoszenie faktu do dyżurnego ruchu. Po nawiązaniu łączności z dyżurnym ruchem i wyjaśnieniu wątpliwości, wygaszenie semafora i wjazd na stację Mostówka na tor nr 1 po podaniu sygnału zastępczego Sz.	5. Właściwa reakcja na niezgodność sygnałów podanych na tarczy ostrzegawczej odnoszącej się do semafora wjazdowego oraz prawidłowe postępowanie przy wjeździe na Sz – brak prawidłowej reakcji skutkuje obniżeniem oceny sesji.

Źródło: opracowanie własne

Słownik pojęć

W poszczególnych zadaniach, na potrzeby projektu były wprowadzane definicje pojęć stosowanych do opisanego zagadnień związanych z procesem szkolenia i poszczególnymi elementami wyposażenia symulatorów kolejowych. W trakcie realizacji tych zadań w projekcie, te definicje ulegały pewnym modyfikacjom i zmianom. Przykładem może tu być pojęcie ścieżki postępowania, które w pierwszej wersji zdefiniowano jako „ścieżka szkoleniowa”. Definicja tego pojęcia obejmuje zestaw zajęć dotyczących nie tylko przekazania lub poszerzenia wiedzy niezbędnej do wykonywania zawodu maszynisty (cel szkoleniowy), ale również weryfikację tej wiedzy oraz umiejętności prowadzenia pojazdów trakcyjnych (cel egzaminacyjny). Z tego względu zdecydowano o zmianie pojęcia ścieżki szkoleniowej na pojęcie ścieżki postępowania.

Zmiany tego typu zdecydowały o potrzebie ujednoczenia opisów poszczególnych definicji tak, aby były one ze sobą spójne. W ten sposób w Zadaniu 26 zestawiono je w postaci zbioru pojęć – sylabusa.

4. Określenie zakresu formalnego metodyki ćwiczeń (Zadanie 27)

Ogólne omówienie Zadania 27

Zadanie 27 pt. „Opracowanie zakresu formalnego metodyki ćwiczeń” było ostatnim z sześciu „zadań szkoleniowych” projektu, w związku z tym nabrało ono cech zadania podsumowującego i uzupełniającego w stosunku do pozostałych zadań, a przy tym składało się z kilku bloków tematycznych dość luźno ze sobą powiązanych.

Realizację zadania rozpoczęto od przedstawienia krótkiego opisu zakończonych wcześniej „zadań szkoleniowych”, ze wskazaniem najważniejszych ich ustaleń oraz wzajemnych powiązań. Należy podkreślić, że wszystkie „zadania szkoleniowe” w projekcie (jako komplet) zarysowują jeden całkowity i bardzo istotny obszar wiedzy, dotyczący pożądanego kierunku wykorzystania symulatorów pojazdów szynowych w Polsce, zarówno od strony sprzętowej (dostosowanie rodzaju symulatora do jego zastosowania), jak i organizacyjnej (zdefiniowanie ścieżek szkoleniowych oraz ulokowanie sesji symulacyjnych w ich określonych punktach).

Po omówieniu „zadań szkoleniowych” w raporcie, podjęto tematykę związaną z systematyką symulatorów i odwzorowaniem ruchu, co ma istotny wpływ na jakość prowadzonego procesu szkoleniowego. Pomimo faktu, że już we wcześniejszych zadaniach pewne elementy tej wiedzy były przeanalizowane, to jednak było potrzebne sprecyzowanie, jak pod względem technicznym należy odwzorowywać ruch pojazdu szynowego. Ponadto wskazano, jaka powinna być zależność pomiędzy celem i tematyką realizowanej

sesji symulacyjnej i wykorzystywanym rodzajem symulatora oraz zasadnością stosowania mechanizmu ruchu.

Jako końcowy element Zadania 27 opracowano podsumowanie metodyki prowadzenia ćwiczeń, w szczególności wyboru ścieżki szkoleniowej, opracowania i wyboru scenariusza szkoleniowego i realizacji sesji symulacyjnej. W dużej mierze było to uporządkowanie i usystematyzowanie wiedzy wynikającej ze wcześniejszych „zadań szkoleniowych”.

Klasyfikacja symulatorów i ich zastosowanie w kraju i za granicą

Według klasyfikacji opracowanej w projekcie, symulatory pojazdów szynowych podzielono na następujące rodzaje:

- **symulatory kabinowe z mechanizmem ruchu (pełnozakresowe)** – symulatory mające wiernie odwzorowaną kabinę pojazdu szynowego, zapewniającą całkowite wizualne i akustyczne odizolowanie osoby ćwiczącej od otoczenia (tzn. kabina zamknięta od tyłu), umieszczoną na mechanizmie ruchu,
- **symulatory kabinowe bez mechanizmu ruchu** – symulatory z kabiną, jak w przypadku symulatorów pełnozakresowych, ale umieszczoną na nieruchomej podstawie, tzn. niezdolną do imitowania ruchów,
- **symulatory pulpitu** – symulatory charakteryzujące się wiernie odwzorowanym podstawowym wyposażeniem pulpitu maszynisty pojazdu trakcyjnego określonej serii, z dopuszczalnymi uproszczeniami dotyczącymi imitacji urządzeń mających mniejszy wpływ na technikę i bezpieczeństwo jazdy; w tego typu rozwiązaniach można również stosować wymienne wyposażenie pulpitu, dzięki czemu jest możliwe łatwe i efektywne zasymulowanie różnych serii pojazdów trakcyjnych; zakres odwzorowania kabiny pojazdu trakcyjnego obejmuje przede wszystkim jej przednią część, to znaczy znajdującą się w zasięgu ręki maszynisty; stanowisko szkoleniowe może być (lecz nie musi) odizolowane wizualnie i akustycznie od otoczenia,
- **symulatory kompaktowe** – symulatory będące najprostszą formą symulatorów profesjonalnych; cechują się wiernie odwzorowanym podstawowym wyposażeniem pulpitu maszynisty pojazdu trakcyjnego określonej serii, z dopuszczalnymi uproszczeniami w zakresie odwzorowania urządzeń mających mniejszy wpływ na technikę oraz bezpieczeństwo jazdy; jeszcze bardziej zasadne niż w przypadku symulatorów pulpitu jest zastosowanie wymiennych elementów wyposażenia pulpitu, dzięki czemu możliwe jest łatwe i efektywne symulowanie różnych serii pojazdów trakcyjnych; stanowisko szkoleniowe nie jest odizolowane od otoczenia, stanowiąc rodzaj specjalistycznego biurka z pulpitem sterowniczym i kilkoma monitorami,
- **gry symulacyjne PC** – oprogramowanie amatorskie, zasadniczo nie znajdujące oficjalnego zastosowania w profesjonalnym procesie szkoleniowym; można rozważać użycie tego typu programów w szkolnictwie zawodowym i samokształceniu.

Wykaz profesjonalnych symulatorów kolejowych stosowanych w Polsce przedstawiono w tablicy 2.

Jeśli chodzi o doświadczenia zagraniczne, to w Zadaniu 27 opisano wykorzystanie symulatorów kolejowych w następujących firmach lub zarządach kolejowych:

- Deutsche Bahn (Niemcy),
- Société Nationale des Chemins de Fer Belges – SNCB (Belgia),
- Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles – RENFE (Hiszpania),
- Rail Training International (Wielka Brytania),
- First Scot Rail (Wielka Brytania),
- Southern Railway (Wielka Brytania),
- South West Trains (Wielka Brytania),
- Norges Statsbaner – NSB (Norwegia),
- Société Nationale des Chemins de Fer Français – SNCF (Francja).

Odwzorowanie ruchu taboru kolejowego w symulatorze

Ruch pojazdu trakcyjnego, mimo że odbywa się po ustalonej trajektorii, jest ruchem złożonym. W dużej mie-

rze wynika to z konstrukcji samych pojazdów kolejowych, które – przyjmując najprostszy przypadek – składają się z dwóch zasadniczych części (mas) [2]:

- 1) **części (masy) nieodsprężynowanej**, do której wlicza się masę zestawów kołowych, łożysk oraz w przybliżeniu 2/3 masy resorów,
- 2) **części (masy) odsprężynowanej**, do której wlicza się całą masę nadwozia (pułdo, rama) oraz około 1/3 masy resorów.

Podstawowymi oddziaływaniami, którym ulega pojazd kolejowy, są:

- **przyspieszenia podłużne:** przyspieszenie rozruchu (od siły pociągowej) oraz opóźnienie hamowania (od siły hamującej),
- **przyspieszenia boczne:** dośrodkowe (przyspieszenie „wywracające” stojący pojazd do środka łuku, składowa przyspieszenia ziemskiego) i odśrodkowe (przyspieszenie „wywrzucające” pojazd znajdujący się w ruchu na zewnątrz łuku).

W sytuacji, gdy faktyczne warunki ruchu odbiegają od idealnych, pojawiają się dodatkowe oddziaływania na pojazd, które można uznać za zaburzenia. Podstawowymi czynnikami powodującymi takie ruchy pojazdu są:

Tablica 2

Zestawienie profesjonalnych symulatorów użytkowanych przez przewoźników kolejowych do szkolenia maszynistów w Polsce (według stanu na grudzień 2016 r.)

Rodzaj symulatora	Producent	Rok budowy	Stanowiska szkolenia	Ruch	Układ	Trasy	Właściciel	Lokalizacja
Pulpitowy	LANDER	2016	Lok. elektr. E6ACT Lok. spalin. 6Dg	Nie	1:2 ³	Kraków Płaszów – Skawina – Leńcze	Stanisław Głowacz F.H.U. JMS	Kraków
Kabinowy	AC-M Szczecin	2016	EZT EN57AL	Nie	1:1	Warszawa Zach. – Poznań Gł.	Przewozy Regionalne Sp. z o.o.	Idzikowice
Kabinowy (pełnozakresowy)	AC-M Szczecin	2015	Lok. elektr. EP09 Lok. elektr. EU44	Elektr.	1:1 ⁴	Olszarnowice – Kraków Gł. (CMK) Tczew – Łębork (w tym układ „SKM”) Boczów – (granica) – Frankfurt Oder Warszawa Rembertów – Grodzisk Mazowiecki (układy „D” i „P”)	PKP Intercity S.A.	Warszawa (Olszynka Gr.)
Pulpitowy	AC-M Szczecin	2014	EZT EN76	Nie	1:1	Legionowo – Warszawa Wsch. Sulejówek Mił. – Warszawa Wsch. Warszawa Wsch. – Warszawa Centr./Śródm. – Warszawa Zach. (układy „D” i „P”) Warszawa Zach. – Piaseczno	Koleje Mazowieckie Sp. z o.o.	Warszawa (Ochota)
Kabinowy (pełnozakresowy)	ETC-PZL	1996	Lok. elektr. EP09	Hydr.	1:1	Warszawa Wsch. – Kraków Gł. (CMK)	CS Szkolenie i Doradztwo Sp. z o.o.	Warszawa (Wawer)

Źródło: opracowanie własne

³ Zapis 1:n należy interpretować jako liczbę stanowisk szkoleniowych nie obsługiwanych ze wspólnego stanowiska instruktora.

⁴ Kabiny EP09 i EU44 funkcjonują zamiennie, tzn. są osadzone na platformie ruchomej za pomocą suwnic.

- **czynniki związane z drogą kolejową:** nierówności w położeniu toru w płaszczyźnie poziomej, nierówności w położeniu toru w płaszczyźnie pionowej,
- **czynniki związane z taborem kolejowym:** nierówności na powierzchni tocznej kół, wartość oraz sposób przyłożenia siły pociągowej i hamowania, w szczególności jej zmienność,
- **zmienne opory ruchu.**

Czynnikami dodatkowo wpływającymi (eskalująco lub tłumiąco) na ruchy taboru są:

- **czynniki związane z drogą kolejową:** zmienność elastyczności toru (np. złącza szynowe), sprężystość podłoża kolejowego (w szczególności jej nierównomierność),
- **czynniki związane z taborem kolejowym:** tarcie elementów odsprężynowania i łożysk, nadmierne luzy w konstrukcji części biegowych, oddziaływanie urządzeń ciągowych i zderznych taboru.

Ruchy wykonywane przez pojazdy kolejowe można sklasyfikować. Jedną z takich klasyfikacji przedstawił M.A. Friszman [2]. Autor wyróżnił następujące rodzaje ruchów taboru:

- **kołysanie poprzeczne (tzw. ruch kaczkowy)** – odsprężynowana część pojazdu obraca się wokół jego osi podłużnej,
- **podskakiwanie** – odsprężynowana część pojazdu przemieszcza się liniowo w górę i w dół,
- **ruch podłużny (tzw. galopowanie)** – odsprężynowana część pojazdu obraca się wokół osi poprzecznej przechodzącej przez środek masy pojazdu,
- **szarpanie** – pojazd wykonuje liniowe ruchy wzdłuż osi toru,
- **drżania poprzeczne (przesuwanie boczne)** – cały pojazd zmienia liniowo położenie poprzecznie względem toru,
- **wężykowanie** – cały pojazd, poszczególne zestawy kołowe lub wózki pojazdu obracają się wokół pionowej osi pojazdu, zestawu lub wózka.

Wszystkie opisywane rodzaje ruchów z mniejszym lub większym nasileniem oddziałują na maszynistę znajdującego się w kabinie pojazdu trakcyjnego. Właściwe odwzorowanie tych ruchów w symulatorze, z uwzględnieniem cech indywidualnych odwzorowanego taboru oraz cech konstrukcyjnych, a także stanu technicznego szlaku kolejowego odwzorowanego w scenarii, w znacznym stopniu zwiększa realizm symulacji i odczuć uczestnika sesji symulacyjnej. Możliwość odwzorowania wymienionych ruchów w symulatorach pojazdów szynowych zależy przede wszystkim od dwóch zasadniczych czynników:

- 1) **liczby stopni swobody zastosowanych w mechanizmie ruchu** – najpopularniejsze standardy to 6 stopni swobody (6DOF⁵, odwzorowanie bliskie rzeczywistości) oraz 3 stopnie swobody (3DOF, odwzorowanie uproszczone); systematykę ruchów w systemie 6DOF przedstawiono na rysunku 1,
- 2) **parametrów urządzeń tworzących mechanizm ruchu** – w szczególności istotny jest rodzaj zastosowanego na-

pędu (najpopularniejsze są napędy elektryczne i hydrauliczne, ale można również wymienić elektropneumatyczne, elektryczne z przekładniami mechanicznymi, elektrohydrauliczne i elektromagnetyczne) [3].



Rys. 1. Odzworowanie ruchu o 6 stopniach swobody (6DOF) [4]

Zależność między liczbą zastosowanych stopni swobody i możliwością odwzorowania wymienionych wcześniej ruchów taboru kolejowego określono w tablicy 3.

Tablica 3
Możliwość odwzorowania ruchów taboru kolejowego w 6 DOF, 4 DOF i 3 DOF

Rodzaj ruchu	6 DOF	4 DOF	3 DOF
Przesunięcie	x, y, z	x, y, z	x, y, z
Obrót	wokół 3 osi	wokół osi wzdłużnej	brak
Przyspieszenie rozruchu	TAK	TAK	TAK
Opóźnienie hamowania	TAK	TAK	TAK
Jazda po torze z przechyłką	TAK	TAK	NIE
Jazda po nierównościach toru	TAK	OGRANICZONE	OGRANICZONE
Kołysanie	TAK	TAK	NIE
Podskakiwanie	TAK	TAK	TAK
Galopowanie	TAK	NIE	NIE
Szarpanie	TAK	TAK	TAK
Przesuwanie poprzeczne	TAK	TAK	TAK
Wężykowanie	TAK	NIE	NIE

Źródło: opracowanie własne

⁵ DOF (Degree of Freedom) – stopień swobody.

Kierując się przytoczoną wiedzą, w Zadaniu 27 przedstawiono rekomendacje dotyczące zastosowania mechanizmu ruchu w zależności od rodzaju sesji symulacyjnej, wskazując czy jest to wymagane, zalecane, opcjonalne, czy nie jest wymagane. Przedstawiono również kompleksowe rekomendacje dotyczące stosowania konkretnych rodzajów symulatorów (kabinowe z mechanizmem ruchu, tzn. pełnozakresowe, kabinowe bez mechanizmu ruchu, pulpitowe lub kompaktowe) w zależności od rodzaju sesji symulacyjnej.

5. Podsumowanie

Projekt „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający bezpieczeństwo i efektywność ich działania” zakończono w listopadzie 2016 roku. Wspólnym wysiłkiem wszystkich uczestników konsorcjum pod przewodnictwem QUMAK S.A., wybudowano zarówno działający demonstrator symulatora, zaprezentowany m.in. w 2016 roku na targach InnoTrans w Berlinie, jak również opracowano systemowe założenia dotyczące sposobu praktycznego wykorzystania symulatorów w procesie rekrutacji, szkolenia i egzaminowania kandydatów na maszynistów i maszynistów. Znaczny udział miał w tym zespół pracowników Instytutu Kolejnictwa, który od chwili rozpoczęcia projektu do jego zakończenia, dostarczał wiedzę z zakresu kolejnictwa (techniczną oraz inżynierską, np. określenie wymagań dla demonstratora, ocena możliwości wykorzystania danych z PKP PLK S.A.) oraz wiedzę z zakresu organizacji i przebiegu procesu szkoleniowego (wykorzystanie symulatora w procesie szkoleniowym – opracowanie założeń dla scenariuszy). Ponadto, zespół Instytutu Kolejnictwa udzielał konsorcjantom bieżącego wsparcia w problemach dotyczących taboru i procedur (np. uzyskanie informacji o procedurze występowania o zezwolenia na wstęp na

teren kolejowy, co jest niezbędne przy wykonywaniu wizji lokalnych), a także odegrał wiodącą rolę w utworzeniu zespołu eksperckiego maszynistów instruktorów, co w zakresie „zadań szkoleniowych” umożliwiło nadanie pracom konsorcjum wymiaru praktycznego, a nie tylko teoretycznego. Warto również podkreślić nawiązanie współpracy Instytutu z PKP PLK S.A. w zakresie efektywnego powiązania systemów informatycznych zarządcy infrastruktury z oprogramowaniem odpowiedzialnym za tworzenie wirtualnych scenarii w symulatorach oraz powiązania symulatorów pojazdów trakcyjnych z symulatorami dla dyżurnych ruchu.

W realizacji pracy pt. „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający bezpieczeństwo i efektywność ich działania” udział wzięli: mgr inż. Adam Dąbrowski (Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów, koordynator), mgr inż. Ewa Bargiel (Dział Biuro Dyrekcji), mgr inż. Przemysław Brona (Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów), mgr inż. Krzysztof Ochociński (Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów) oraz mgr inż. Zbigniew Szafranski (Ośrodek Koordynacji Projektów i Współpracy Międzynarodowej); Instytut Kolejnictwa, 2016 r.

Bibliografia

1. Brona P., Dąbrowski A.: *Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający bezpieczeństwo i efektywność ich działania – część I*, Prace Instytutu Kolejnictwa, zeszyt 152, Warszawa 2016.
2. Friszman M.A.: *Tor kolejowy i jego współpraca z pojazdami*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1983.
3. Grabania M.Ł.: *Platformy ruchowe w urządzeniach treningowych*, Szybkobieżne pojazdy gąsienicowe, nr 3 (31), 2012.
4. *Six degrees of freedom*. Dostępny na WWW https://en.wikipedia.org/wiki/Six_degrees_of_freedom, [dostęp 12.02.2017].