

Technologia RFID w zarządzaniu i sterowaniu ruchem kolejowym – badania symulacyjne na torze doświadczalnym

Jarosław MOCZARSKI¹

Streszczenie

Technologia RFID jest coraz powszechniej stosowana w różnych gałęziach gospodarki. Umożliwia identyfikację i lokalizację przemieszczających się obiektów, ułatwia automatyzację realizowanych procesów oraz kontrolę ich przebiegu. Cyfryzacja informacji pozwala na ich szybkie przetwarzanie i przesyłanie między różnymi poziomami podejmowania decyzji. Eksperymenty, przeprowadzone przez autora na torze doświadczalnym stanowiska badawczego, potwierdziły celowość wykorzystania technologii RFID (ang. *Radio-Frequency Identification* – identyfikacja za pomocą fal radiowych) w transporcie kolejowym, zarówno w obszarze zarządzania przewozami, jak również w sterowaniu ruchem pociągów. Symulacje wykazały, że system RFID umożliwia wykrywanie poruszającego się taboru, kontrolę ciągłości składu oraz stwierdzanie końca pociągu. Pozwala lokalizować i identyfikować pociągi, wagony oraz przewożone ładunki, umożliwia automatyczne sterowanie ruchem pociągów przez wyświetlanie na sygnalizatorach blokady samoczynnej odpowiednich sygnałów. We współpracy z systemem wizyjnym wykrywa niebezpieczne przesunięcia przewożonych ładunków. Wyniki przeprowadzonych badań mogą stanowić podstawę do eksperymentalnego wdrożenia i weryfikacji zastosowanych rozwiązań w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Słowa kluczowe: technologia RFID, modelowanie i symulacja, lokalizacja i identyfikacja taboru, sterowanie ruchem kolejowym

1. Wprowadzenie

Technologia RFID (ang. *Radio-Frequency Identification* – identyfikacja za pomocą fal radiowych) jest coraz powszechniej wykorzystywana w różnych dziedzinach życia, przede wszystkim w logistyce i magazynowaniu, a także w handlu, procesach przemysłowych i zapewnianiu bezpieczeństwa. Stanowi współczesny standard identyfikacji obiektów z wykorzystaniem komunikacji bezprzewodowej. Stosowane elementy systemów RFID zapewniają zapis, odczyt i przesyłanie danych między znacznikiem (nazywanym również tagiem lub transponderem) i czytnikiem na odległość od kilku centymetrów do kilkunastu metrów. W technologii RFID wykorzystuje się trzy podstawowe standardy częstotliwości: standard LF (niskiej częstotliwości – zakres od 30 do 300 kHz), HF (wysokiej częstotliwości – zakres od 3 do 30 MHz) oraz UHF (ultrawysokiej częstotliwości – zakres od 300 MHz do 3 GHz). W standardzie UHF możliwy jest odczyt i zapis danych na odległość do 15 metrów (przy zastosowaniu technologii

pasywnej) oraz do 30–60 metrów przy wykorzystaniu technologii aktywnej. Technologia pasywna oznacza zastosowanie znaczników bez własnego źródła zasilania. W technologii aktywnej stosowane są znaczniki z wbudowanym źródłem zasilania, które służy zarówno do aktywacji chipa, jak i emisji fal radiowych. Takie znaczniki mają znacznie większą pamięć i generują silny sygnał pozwalający na pracę w trudnych warunkach otoczenia. Żywotność baterii wynosi najczęściej od 2 do 10 lat, chociaż niektórzy producenci znaczników określają czas pracy na jednej baterii na około 20 lat.

Najprostsze znaczniki służą wyłącznie do odczytu danych (typ RO – *Read Only*). Znaczniki typu WORM (*Write Once Read Many*) – pozwalają na jednorazowy zapis danych bez możliwości ich edycji, czy usunięcia. Znaczniki typu RW (*Rewritable*) – umożliwiają wielokrotny zapis, modyfikowanie i odczyt danych. Każdy znacznik RFID jest wyposażony w cztery rodzaje pamięci:

- Pamięć EPC (*EPC Memory*) – edytowalna, przechowująca elektroniczny kod obiektu (zwykle 96 bitów);

¹ Dr hab. inż.; Emerytowany profesor Instytutu Kolejnictwa; e-mail: jmoczarski@gmail.com.

- Pamięć użytkownika (*User Memory*) – pamięć dodatkowa (zwykle dodatkowe 512 bitów);
- Pamięć TID (*TID Memory*) – przechowująca nadawany przez producenta unikalny numer fabryczny danego znacznika (nie podlega zmianie);
- Pamięć bezpieczeństwa – przechowująca dwa hasła: hasło dostępu stosowane w przypadku danych poufnych oraz hasło niszczące (wywołanie tego hasła niszczy znacznik i uniemożliwia jego działanie).

Pozostałe, podstawowe elementy systemu RFID to czytniki i anteny. Anteny RFID emitują fale radiowe oraz odbierają sygnały ze znaczników i przekazują do czytnika. Czytniki RFID mogą być integrowane z antenami. W przypadku gdy czytnik powinien odbierać dane z większej liczby znaczników, można zastosować jeden czytnik i podłączyć do niego kilka anten obniżając w ten sposób koszt budowy systemu. Coraz szersze stosowanie technologii RFID w transporcie kolejowym (przede wszystkim w zakresie identyfikacji jednostek taboru) spowodowało potrzebę standaryzacji numeracji identyfikowanych obiektów.

Międzynarodowa organizacja GS1² zrzesza organizacje członkowskie w 112 krajach. Zajmuje się tworzeniem i wdrażaniem globalnych standardów i rozwiązań podnoszących efektywność łańcuchów dostaw. Organizacja ta opracowała europejskie wytyczne identyfikacji taboru kolejowego z wykorzystaniem standardów GS1 „RFID na kolei” [1, 2]. Wytyczne zawierają wykaz informacji umożliwiających identyfikację taboru kolejowego (wagony towarowe, wagony pasażerskie i lokomotywy) w ramach Systemu GS1, a także części zamiennych niezbędnych do konserwacji, napraw i utrzymania ruchu (MRO – *maintenance, repair & overhaul*). Szczegółowo opisują sposób identyfikacji taboru kolejowego z wykorzystaniem znaczników UHF (ISO 18000-63) w ramach Systemu GS1³. Określają także format danych oraz interfejsy odczytu i zasady odpytywania poszczególnych znaczników.

Parametry techniczne najnowszych elementów systemów RFID, w szczególności znaczników pracujących w standardzie UHF oraz umożliwiających wielokrotny zapis i odczyt danych (typ RW), wskazują na szerokie możliwości zastosowania tej technologii w transporcie kolejowym, zarówno w obszarze zarządzania przewozami, jak również sterowania ruchem pociągów.

2. Wykorzystanie technologii RFID na stanowisku badawczym w laboratorium Instytutu Kolejnictwa

2.1. Stanowisko badawcze

Zbudowana w laboratorium Instytutu Kolejnictwa sprzętowo-programowa platforma badawcza składa się z dwóch niezależnych torów pomiarowych. Pierwszy z nich (rys. 1) umożliwia ruch wahadłowy (tam – powrót) jednego wózka przewożącego modele ładunków.



Rys. 1. Prostoliniowy tor pomiarowy z ruchomą płaszczyzną badawczą [fot. J. Moczarski]

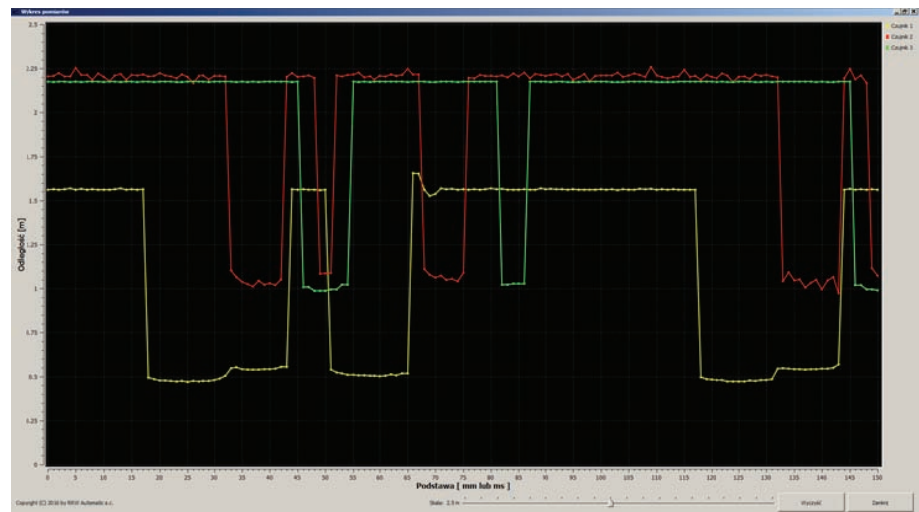
Stanowisko jest wyposażone w zestaw sensorów (dalmierze laserowe i ultradźwiękowe, kurtyna laserowa, skaner) przeznaczonych do bezkontaktowego wykrywania poruszających się obiektów, wyznaczania ich pozycji przestrzennej oraz analizy przemieszczeń [4, 5, 6]. Odczyt danych z poszczególnych sensorów odbywa się w sposób synchroniczny. Moduł przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych umożliwia prezentowanie wyników pomiarów w formie graficznej, w trakcie realizacji eksperymentu (rys. 2).

Do przetwarzania i analizy danych pomiarowych opracowano specjalizowaną aplikację komputerową funkcjonującą w środowisku programistycznym Matlab. Aplikacja służy do tworzenia modeli cyfrowych obiektów obserwowanych przez sensory oraz ich późniejszego wykrywania, a także identyfikacji na torze pomiarowym. Wykorzystuje funkcje projektowania, implementacji, wizualizacji i symulacji sieci neuronowych (realizacja w języku Python z wykorzystaniem biblioteki Keras). Każdy model cyfrowy

² GS1 – międzynarodowa organizacja z siedzibą w Brukseli (Belgia) i w Princeton (USA), która zarządza systemem GS1 w skali świata.

³ Szczegółowe informacje na temat umieszczania danych w znaczniku można znaleźć w wytycznych GS1 EPC Tag Data Standard [3]

Rys. 2. Wyniki pomiarów wizualizowane w trakcie eksperymentów na monitorze ekranowym stanowiska badawczego [fot. J. Moczarski]



objektu stanowi hybrydę sieci CNN (konwolucyjnych), LSTM (*Long-Short Term Memory*) oraz MLP (*Multi Layer Perceptron*).

Dane niezbędne do tworzenia modeli obiektów są zbierane w trakcie wielokrotnie powtarzanych eksperymentów. Zmieniają się przy tym zarówno parametry ruchu obiektów, jak również parametry układu pomiarowego. Następuje „uczenie się” (trening) aplikacji. W efekcie powstają modele cyfrowe obserwowanych obiektów. Tworzone są także modele sekwencji obiektów przemieszczających się w obszarze obserwowanym przez sensory.

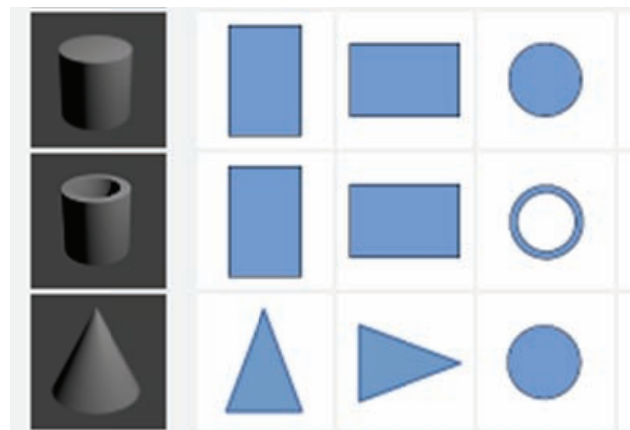
Rozróżnianie i identyfikacja obiektów (lub ich sekwencji) następuje w wyniku porównania wyników obserwacji ze zbiorem, przechowywanych w bazie danych, wzorców – wcześniej utworzonych modeli cyfrowych.

W zmodyfikowanej wersji aplikacji zwiększono efektywność rozróżniania przedmiotów o podobnych kształtach przez wprowadzenie typologizacji obiektów [7, 8]. Jej istotą jest wykorzystanie atrybutów określających podobieństwo obserwowanego obiektu do podstawowych brył geometrycznych w różnych orientacjach przestrzennych (rys. 3). Użytkownik aplikacji ma możliwość zadeklarowania podobieństwa obiektu do jednej z typowych brył, zarówno na etapie tworzenia modelu, jak również późniejszej identyfikacji. Zastosowanie typologizacji wydawnie skraca czas potrzebny do utworzenia modelu oraz zwiększa efektywność i skuteczność identyfikacji.

W opisanym systemie pomiarowym, tworzenie i trenowanie modeli wymaga wielokrotnej obserwacji różnych obiektów. Taka metoda identyfikacji jest skuteczna w zastosowaniu do obiektów o powtarzalnych kształtach (np. wagonów, ich elementów i podzespołów, typowych ładunków).

Dokładność modelowania oraz jednoznaczność odwzorowania obiektów rzeczywistych zależy nie tylko od parametrów stosowanych sensorów, ale także

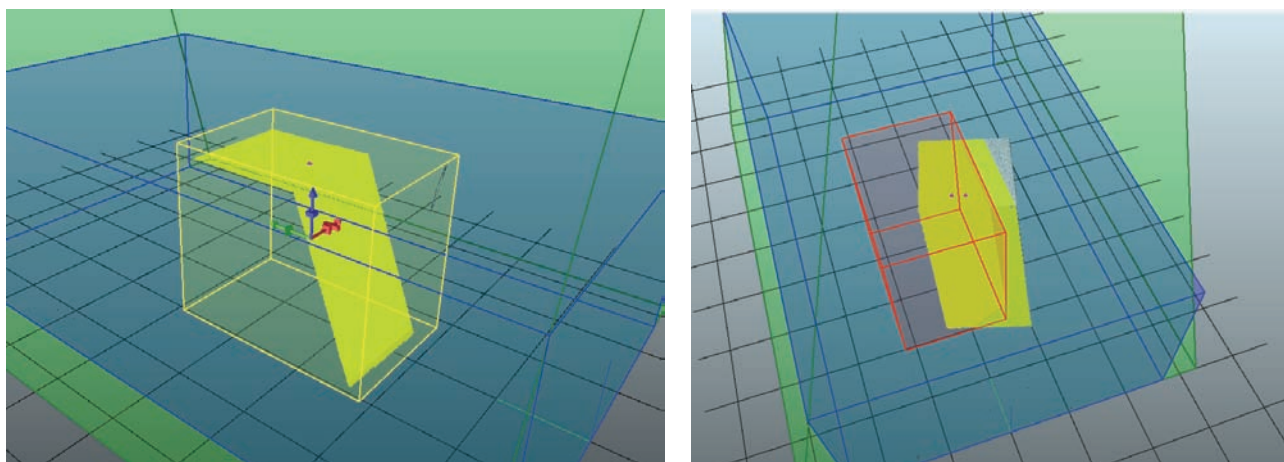
od ich liczby i konfiguracji przestrzennej, jak również położenia względem powierzchni przemieszczających się obiektów. Jak wykazały przeprowadzone eksperymenty, na wyniki realizowanych pomiarów znaczący wpływ także mają takie czynniki, jak m.in. kształt obiektu, rodzaj materiału z którego został wykonany, faktura powierzchni, prędkość przemieszczania i wiele innych.



Rys. 3. Przykład kilku typowych brył geometrycznych oraz ich orientacji przestrzennych [opracowanie J. Moczarski]

Stanowisko badawcze pozwala oceniać przydatność sensorów różnych typów w procesie identyfikacji obiektów, umożliwia określanie zasad ich konfiguracji przestrzennej oraz ułatwia weryfikację stosowanych metod pomiarowych.

Do obserwacji obiektów na stanowisku badawczym zastosowano także, oddzielny i niezależny układ pomiarowy, dwa systemy wizyjne TriSpector 1060 funkcjonujące na zasadzie triangulacji laserowej [9]. Wykorzystanie systemu wizyjnego do identyfikacji obiektów nie wymaga trenowania modelu metodą wielokrotnie powtarzanych obserwacji.



Rys. 4. Obraz powierzchni obiektu obserwowanej przez sensor wizyjny (z lewej) oraz obraz tej powierzchni przesunięty poza zdefiniowany pierwotnie fragment przestrzeni [opracowanie J. Moczarski]

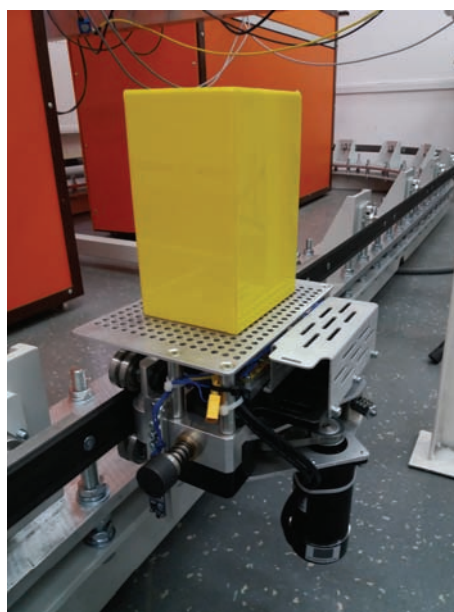
Obraz obiektu (ładunku, wagonu) powstaje w efekcie jednokrotnej obserwacji, po uprzednim zdefiniowaniu przez użytkownika aplikacji wartości istotnych zmiennych i ograniczeń.

System wizyjny jest wyposażony w narzędzia szczególnie przydatne w procesie wykrywania zmian pozycji przestrzennej obiektów (np. uszkodzeń elementów taboru, przesunięć przewożonych ładunków itp.). Na rysunku 4 przedstawiono przykład wykrycia przemieszczenia obserwowanego obiektu (prostokąta), przewożonego na płaszczyźnie pomiarowej stanowiska badawczego, poza zdefiniowany wcześniej fragment przestrzeni, w którym obiekt powinien się znajdować.

W latach 2020–2023, w ramach przeprowadzonej rozbudowy, stanowisko pomiarowe zostało wyposażone w dodatkowy tor jezdny i 5 niezależnych wózków, a także systemy lokalizacji, wizualizacji położenia oraz system sterowania i regulacji prędkości wózków. Tor jezdny zamknięty, o kształcie owalnym (rys. 5) umożliwia (w odróżnieniu od toru prostoliniowego) ciągły ruch wózków oraz ich wielokrotny, powtarzalny przejazd przez strefę pomiarową. Szczegółowy opis nowego toru przedstawiono w [10].

Wózek pomiarowy, podobnie jak tor, jest przystosowany konstrukcyjnie do maksymalnej prędkości ruchu około 10 m/s. Jest napędzany silnikiem bezszczotkowym prądu stałego BLDC (ang. *BrushLess Direct-Current motor*) i może przewozić na platformie roboczej (płyce perforowanej umożliwiającej mocowanie badanych modeli obiektów) przedmioty o masie do 1 kg. Układ sterowania, wykorzystujący informacje z czujników Halla, utrzymuje zadaną przez operatora prędkość wózka. W praktyce, moc zastosowanych silników pozwala na osiąganie prędkości do około 7,5 m/s. Wózki można łączyć w grupy wykorzystując w tym celu ułożyskowane łączniki.

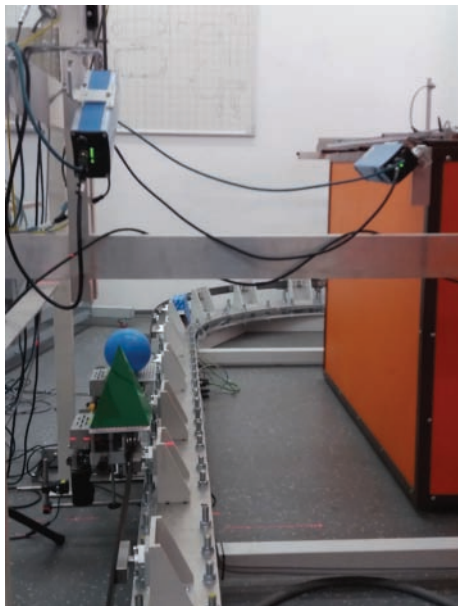
Nowy tor pomiarowy jest wyposażony w konfigurowalne, autonomiczne czujniki laserowe 3D TriSpector 1060 (rys. 6).



Rys. 5. Wózek z ładunkiem na torze pomiarowym [fot. J. Moczarski]

Ze względu na duże prędkości wózków, w trakcie realizacji eksperymentów operatorzy stanowiska badawczego przebywają za osłoną bezpieczeństwa. Zatrzymanie wózków jest realizowane przez wciśnięcie przycisku STOP w głównym oknie aplikacji na ekranie jednostki sterowania lub, w sytuacji awaryjnej, przez wyłączenie zasilania jednostki sterującej lub wciśnięcie przycisku bezpieczeństwa zainstalowanego na stanowisku badawczym. Automatyczne, awaryjne zatrzymanie wózków następuje po wykryciu zderzenia się wózków, a także w przypadku przerwania komunikacji

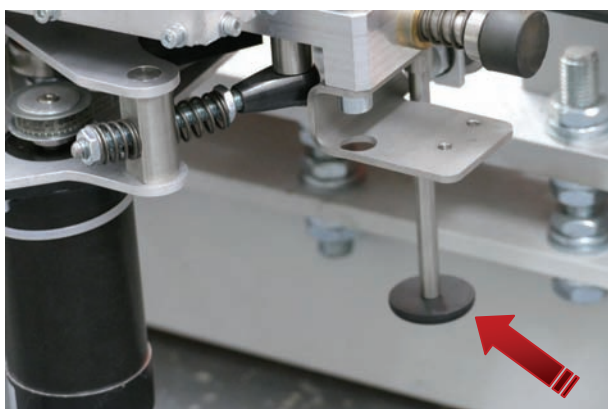
z jednostką sterującą lub po spadku napięcia baterii poniżej wartości dopuszczalnej.



Rys. 6. Modele obiektów umieszczone na dwóch połączonych wózkach, obserwowane przez dwie kamery laserowe 3D TriSpector [fot. J. Moczarski]

2.2. System lokalizacji wózków na torze pomiarowym

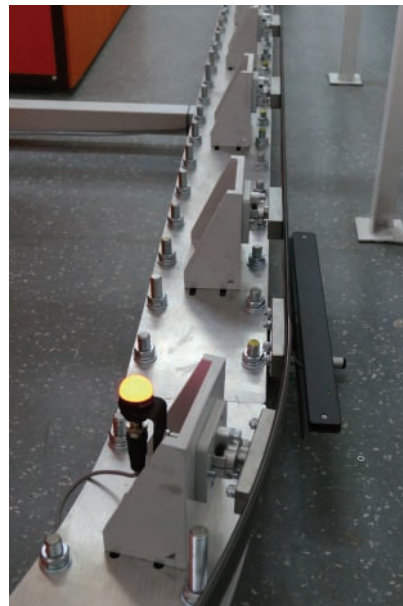
Do lokalizacji oraz identyfikacji poszczególnych wózków (wagonów) oraz zestawów wózków (pociągów) na torze pomiarowym wykorzystano technologię RFID. Zastosowano znaczniki pasywne typu RW (rys. 7) umożliwiające wielokrotny zapis i odczyt niezbędnych informacji. Każdy wózek wyposażono w dwa znaczniki.



Rys. 7. Znacznik pasywny RW zainstalowany na wózku jezdnym [fot. J. Moczarski]

Tor pomiarowy podzielono na cztery odstępy blokowe. Na początku każdego odstępu zainstalowano antenę RFID oraz sygnalizator świetlny, który w zależności

od zajętości kolejnego odstępu (rys. 8), wyświetla odpowiedni sygnał (kolor zielony lub czerwony).

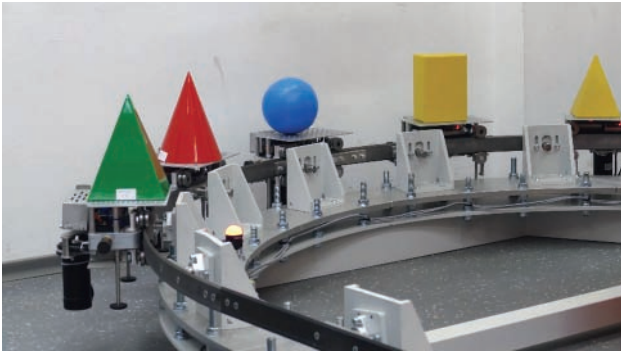


Rys. 8. Sygnalizator (światło czerwone) i antena RFID (z prawej) [fot. J. Moczarski]

Główce RFID są skomunikowane przez interfejs DTE10x z jednostką centralną przetwarzającą rejestrowane dane. Do aplikacji można wprowadzać dane opisujące poszczególne wózki (wagony) oraz ich zestawy (pociągi) znajdujące się na torze, tzn. dla każdego wózka: jego numer identyfikacyjny lub nazwę, dla każdego zestawu wózków – numer identyfikacyjny pociągu lub nazwę. Dodatkowo, do identyfikacji początku i końca pociągu są wprowadzane: dla pierwszego wózka w zestawie – wskaźnik P czoła pociągu, dla ostatniego wózka w zestawie – wskaźnik K końca pociągu.

Sterowanie ruchem wózków na stanowisku badawczym może być wykonane na kilka różnych sposobów. Jedną z dostępnych opcji jest *jazda bezkolizyjna*, zgodnie z którą ruch wózków jest realizowany na podstawie kontroli zajętości poszczególnych odstępów z wykorzystaniem systemu RFID. Jednocześnie, sygnalizatory ustawione na początku każdego odstępu wskazują czy odcinek jest wolny (światło zielone), czy też zajęty (światło czerwone). Wózki są automatycznie zatrzymywane przed wjazdem na zajęty odstęp (rys. 9) oraz ruszają dalej po jego zwolnieniu (rys. 10).

Ze względu na liczbę odstępów blokowych na torze mogą znajdować się maksymalnie 3 pociągi. Na stanowisku zainstalowano łącznie 10 znaczników RW oraz 4 anteny. Budowę oraz zasadę funkcjonowania systemu sterowania i regulacji prędkości wózków, a także uruchamianą w centralnej jednostce sterującej aplikację komputerową Motor Control App umożliwiającą modelowanie i wizualizację sytuacji ruchowych na torze pomiarowym opisano w [10].



Rys. 9. Pociąg (zestaw wózków) oczekujący przed wjazdem na zajęty odstęp (światło czerwone) [fot. J. Moczarski]

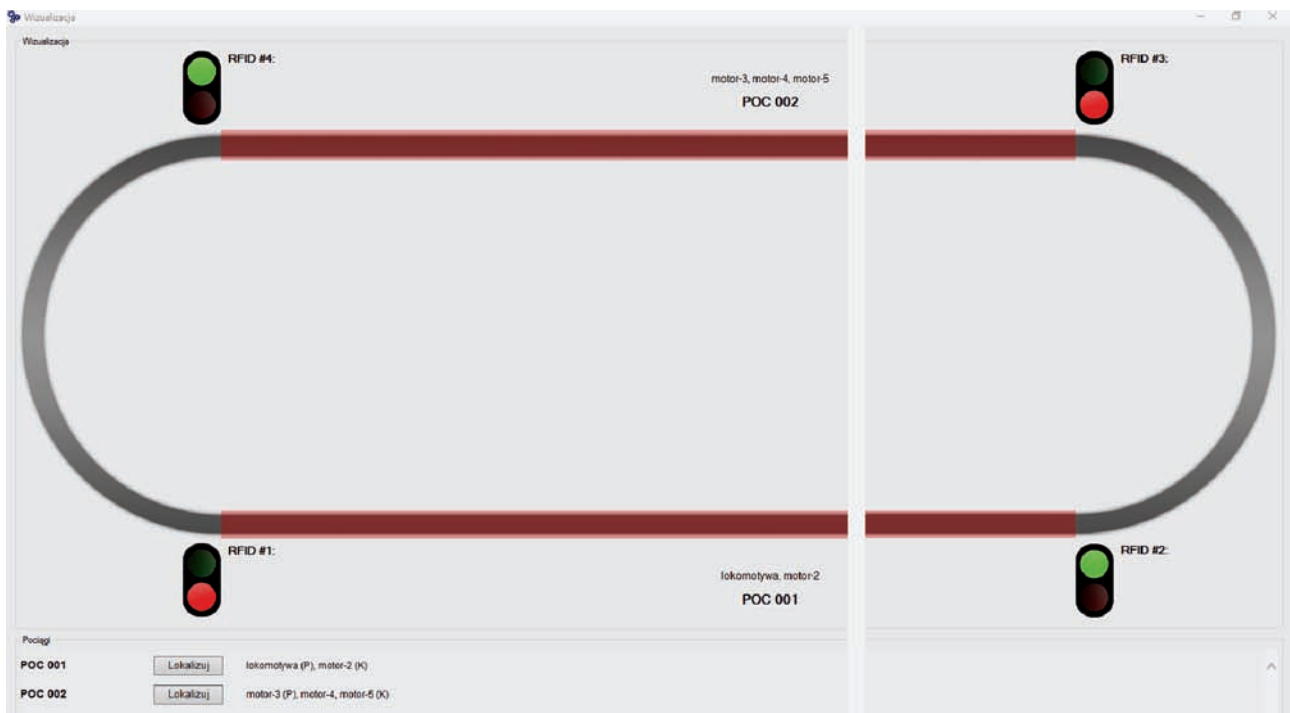


Rys. 10. Kolejny odstęp wolny – sygnał zezwalający na jazdę (światło zielone) [fot. J. Moczarski]

3. Modelowanie i symulacja ruchu pociągów z wykorzystaniem technologii RFID – wyniki badań

Przed realizacją eksperymentu, w systemie są definiowane poszczególne pociągi. Wagonom i pociągom są nadawane numery i nazwy. W trakcie wstępnego przejazdu obok dowolnej anteny, odpowiednie informacje są automatycznie zapisywane w znacznikach poszczególnych wózków (wagonów). W znaczniku pierwszego i ostatniego wózka każdego pociągu są także zapisywane wskaźniki P lub K (oznaczające odpowiednio początek lub koniec pociągu). Poszczególne wózki, połączone w zestawy, są agregowane w układzie sterowania przez przypisanie do wybranego pociągu. Układ sterujący traktuje taki zestaw jako jeden obiekt podlegający regulacji. W zestawie, wszystkim wózkom są zadawane jednakowe parametry pracy (sygnał zezwalający na wjazd na wolny odstęp blokowy, zatrzymanie przed sygnalizatorem wskazującym sygnał „stój”, prędkość ruchu na prostych odcinkach toru, wymagane ograniczenia prędkości na łukach, prędkość przejazdu przez strefę pomiarową itp.).

Na ekranie wizualizacji stanowiska pomiarowego jest przedstawiony w graficznej formie tor jezdny (szara elipsa), podzielony na 4 odstęp (rys. 11). Obok toru, przy granicach odstępów blokowych, są zobrazowane 4 sygnalizatory, a obok poszczególnych sygnalizatorów wskazane identyfikatory



Rys. 11. Dwa odstęp toru pomiarowego zajęte przez pociągi POC-001 i POC-002 [z materiałów J. Moczarski]



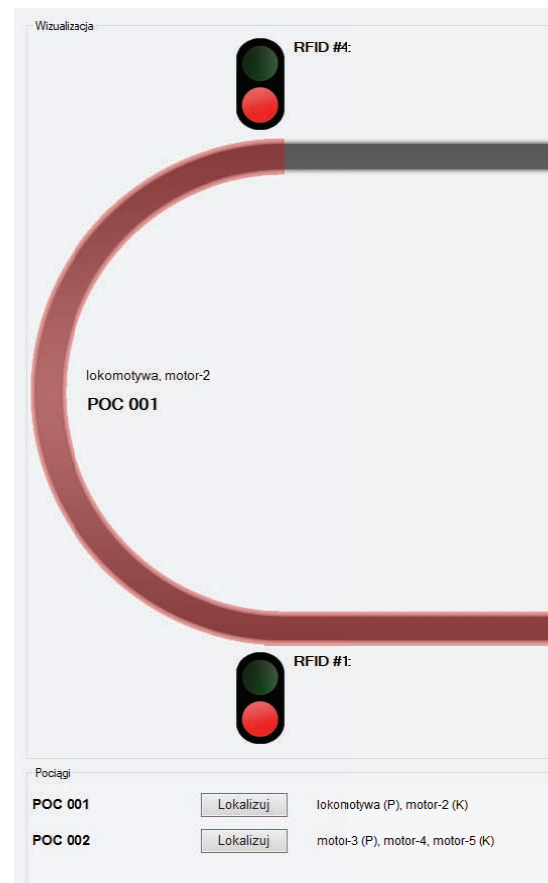
Rys. 12. Trzy odstępy toru pomiarowego zajęte przez pociągi POC-001 i POC-002 [z materiałów J. Moczarski]

zabudowanych anten (np. RFID #1). Odstęp blokowy zajęty aktualnie przez pociąg jest podświetlany kolorem czerwonym. Na sygnalizatorze osłaniającym ten odstęp jest wyświetlany sygnał zabraniający.

Na rysunkach 11 i 12 zaprezentowano wizualizację na ekranie monitora dwóch przykładowych sytuacji ruchowych. Ruch pojazdów na torze pomiarowym odbywa się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. W obydwu przypadkach, przedstawionych na rysunkach 11 i 12, na torze znajdują się dwa pociągi. Pociąg o nazwie POC-001 (zestawiony z dwóch wózków: *lokomotywa* oraz *motor-2*) i pociąg POC-002 (zestawiony z trzech wózków: *motor-3*, *motor-4* i *motor-5*).

Obok każdego zajętego odstępu jest wyświetlana lista aktualnie znajdujących się na nim wózków (mała czcionka) i pociągów (duża czcionka). Na rysunku 13 zobrazowano fragment toru obejmujący odstęp osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID #4, na którym znajduje się pociąg POC-001 złożony z wózków oznaczonych jako: *lokomotywa* oraz *motor-2*.

Sytuacja ruchowa na torze (zajętość odstępu, lokalizacja wagonów i pociągów) jest obrazowana na ekranie w trybie on-line. Po opuszczeniu przez wózek/pociąg odstępu, wyświetlane numery i nazwy pojazdów automatycznie znikają i pojawiają się, w ślad za przemieszczającymi się pojazdami, przy kolejnym zajmowanym odstępie. W dolnej części okna (rys. 13) jest wyświetlona lista pociągów znajdujących się na torze. Są także widoczne przyciski inicjujące funkcję



Rys. 13. Lokalizacja pociągów i wagonów na torze pomiarowym [z materiałów J. Moczarski]

lokalizacji wybranego pociągu lub wagonu. Po naciśnięciu przycisku *Lokalizuj* następuje kilkukrotne mignięcie wyświetlanego na ekranie odstępu (lub odstępu) toru, zajmowanego aktualnie przez poszukiwany pociąg. Lokalizacja wybranego wózka/wagonu jest realizowana przez kliknięcie jego nazwy (obok przycisku *Lokalizuj*). Wagony stanowiące początek lub koniec pociągu są oznaczone odpowiednio literami P lub K. Każdy wózek jest wyposażony w dwa znaczniki (zainstalowane na początku i końcu wózka) więc na ekranie jest obrazowane odpowiednio położenie czołowego znacznika pierwszego wózka (P) lub końcowego znacznika ostatniego wózka w zestawie (K).

Zgodnie z wizualizacją przedstawioną na rysunku 11, pociąg POC-001 zajmuje odstęp osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID #1, a pociąg POC-002 odstęp osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID #3. W sytuacji ruchowej przedstawionej na rysunku 12, pociąg POC-001 znajduje się na odstępie osłoniętym sygnalizatorem z anteną RFID #4. Natomiast pociąg POC-002 zajmuje chwilowo dwa odstępy: osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID #1 (na którym znajduje się ostatni wagon tego pociągu *motor-5*) oraz osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID#2 (wagony *motor-3* i *motor-4*). Odstęp osłonięty sygnalizatorem z anteną RFID #3 jest niezajęty (sygnał zezwalający na wjazd).

W trakcie eksperymentów pociągi automatycznie przemieszczały się po torze pomiarowym, zatrzymując się przed sygnalizatorami wskazującymi zajętość kolejnego odstępu oraz kontynuując jazdę na odstępy niezajęte. Sygnalizatory wskazywały odpowiednio sygnały zezwalające lub zabraniające zgodnie z sytuacją ruchową na osłanianych odstępach.

Operator systemu (w warunkach rzeczywistych kierujący ruchem pociągów na linii, obszarze sterowania lub sieci), na ekranie wizualizacji może obserwować zajętość poszczególnych odstępu, aktualne położenie pociągów i wagonów (a także przewożonych ładunków) oraz kontrolować położenie czoła i końca każdego pociągu. W przypadku dużej liczby przemieszczających się pociągów i wagonów może lokalizować wybrane jednostki taboru z wykorzystaniem funkcji *Lokalizuj*. Odczyt, przetwarzanie i wizualizacja niezbędnych informacji są realizowane w sposób automatyczny, bez udziału człowieka. Dane o pociągu (i ewentualnie przewożonych ładunkach) są wprowadzane do systemu tylko raz, podczas zestawiania pociągu.

4. Zastosowanie technologii RFID w zarządzaniu i sterowaniu ruchem kolejowym

Rozwiązania wykorzystujące technologię RFID są coraz powszechniej stosowane w różnych gałęziach

gospodarki światowej. Jednocześnie należy odnotować próby wdrażania tej technologii w obszarze transportu.

W Stanach Zjednoczonych czytniki RFID są od wielu lat stosowane na autostradach w ramach systemu poboru opłat. Identyfikacja samochodów wyposażonych w znaczniki (najczęściej pasywne) jest realizowana w trakcie ruchu pojazdów [11]. W Chinach technologię RFID wykorzystano w procesie identyfikacji taboru na długich dystansach. W ciągu około 20 lat w znaczniki wyposażono ponad 600 tys. wagonów i lokomotyw. Czytniki zainstalowano na wybranych węzłach kolejowych, stacjach i punktach przeładunkowych. System umożliwi lokalizację w czasie rzeczywistym zarówno taboru, jak też przewożonych ładunków. Roczne oszczędności wynikające z zastosowania RFID są szacowane na około 38 milionów dolarów [11, 12, 13].

W Polsce firma Orlen wdrożyła innowacyjny system lokalizacji cystern kolejowych [14]. Na terenie całej Polski zainstalowano 101 bramek RFID. Dodatkowo, pracowników wyposażono w 64 mobilne czytniki umożliwiające odczytywanie danych ze znaczników. Każdy wagon i lokomotywę wyposażono w dwa znaczniki RFID. Łącznie wykorzystano około 11 000 znaczników. Do identyfikacji cystern zastosowano numerację zgodną ze standardem GS1. System pozwala zlokalizować tabor na sieci oraz w obszarze bocznicy, a także śledzić pociągi na trasie przejazdu. Przekazuje także informację, czy cysterna jest załadowana, próżna lub np. wyłączona z eksploatacji.

Do bezpiecznej i efektywnej realizacji zadań przewozowych w transporcie kolejowym niezbędne są rozwiązania umożliwiające:

- wykrywanie taboru,
- kontrolę ciągłości składu,
- stwierdzanie końca pociągu,
- identyfikację i lokalizację taboru oraz przewożonych ładunków,
- wykrywanie przesunięć ładunków na pojeździe,
- przekazywanie informacji o stanie technicznym taboru i elementów infrastruktury.

Aktualnie, urządzenia i systemy srk różnych typów umożliwiają stwierdzanie zajętości odcinków torów i rozjazdów. Do punktowej kontroli obecności zestawów kołowych są wykorzystywane różnego rodzaju czujniki (najczęściej indukcyjne). Pozostałe, istotne informacje o przemieszczającym się taborze i przewożonych ładunkach są uzyskiwane drogą obserwacji wzrokowej i analizy dokumentów przewozowych.

W warunkach rosnącego natężenia ruchu pociągów i wzrostu ich prędkości coraz większym wyzwaniem staje się zapewnienie bezpieczeństwa i punktualności przewozów oraz niezawodności funkcjonowania systemu transportowego. Ze względu na

wysokie koszty budowy i eksploatacji, znaczącym problemem staje się efektywne wykorzystanie taboru oraz elementów infrastruktury. Do tego niezbędna jest optymalizacja procesów transportowych na dużych obszarach, automatyzacja procesów decyzyjnych lub wykorzystanie automatycznych systemów doradczych. Takie podejście wymusza integrację struktur lokalnych obejmującą między innymi pozyskiwanie i wymianę niezbędnych informacji.

Eksperymenty przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych potwierdziły możliwość wykorzystania technologii RFID zarówno w obszarze organizacji i zarządzania przewozami kolejowymi, jak również w sterowaniu ruchem pociągów. System sterowania ruchem wózków na torze pomiarowym poprawnie wykrywał ich obecność na poszczególnych odstępach blokowych, powodował wyświetlanie na sygnalizatorach odpowiednich sygnałów (zezwalających lub zabraniających), zatrzymywał wózki przed wjazdem na zajęty odstęp oraz kontynuował ich ruch na odstępy niezajęte, kontrolował ciągłość pociągu (zestawu połączonych wózków) oraz wykrywał pierwszy i ostatni wózek (stwierdzanie początku i końca pociągu), odczytywał i wizualizował informacje zapisane w znacznikach zainstalowanych na poszczególnych wózkach (np. numer/nazwa pociągu, numer wagonu), a wraz z systemem wizyjnym TriSpector wykrywał wprowadzane celowo przesunięcia ładunków (brył geometrycznych przewożonych na platformach roboczych poszczególnych wózków).

Technologia RFID umożliwia nie tylko automatyczne zbieranie informacji niezbędnych do zarządzania procesem transportowym, ale także ich cyfryzację. Pozwala tym samym na ich automatyczne przetwarzanie na różnych poziomach podejmowania decyzji.

Ze względu na niewielki koszt znaczników, każda lokomotywa i wagon (a także inne pojazdy kolejowe) mogą być standardowo wyposażane w te elementy, niosące zarówno informacje stałe dotyczące taboru, jak również zmienne. Wśród przykładowych można wskazać: numer ewidencyjny, prędkość dopuszczalną, parametry skrajni, datę przeglądu rewizyjnego, a także numer pociągu, numer wagonu w pociągu, wskaźnik początku lub końca pociągu, nazwę stacji docelowej itp.

Anteny zabudowane w pobliżu sygnalizatorów samoczynnej blokady liniowej (tak jak na stanowisku badawczym) umożliwią wykrywanie obecności taboru na poszczególnych odstępach blokowych i jego identyfikację oraz weryfikację danych zapisanych w znacznikach. Informacja z systemu RFID pozwoli na bezpośrednie sterowanie sygnalizatorami niezależnie od przyjętej stawności blokady.

Należy zwrócić uwagę, że takie rozwiązanie dostarcza informację o zajętości odstępu przez tabor wyposażony w znaczniki. Dlatego do realizacji funkcji

sterowania każdy pojazd/pociąg dopuszczony do ruchu na szlaku musi być wyposażony w co najmniej dwa znaczniki zawierające informację o jego początku (wskaźnik P) oraz końcu (K). Informacje z anten zabudowanych w pobliżu sygnalizatorów sbl pozwolą śledzić położenie pociągów, lokomotyw i poszczególnych wagonów oraz przewożonych ładunków na sieci linii kolejowych z dokładnością do długości odstępu blokowego. Badania przeprowadzone w ramach projektu realizowanego przez szwedzki zarząd transportu wykazały, że czytniki RFID umożliwiają odczyt danych ze znaczników zainstalowanych na taborze kolejowym przy prędkości > 200 km/h [15]. Także eksperymenty przeprowadzone z wykorzystaniem samochodów sportowych [16] potwierdziły niezawodny odczyt danych przy prędkości 200 km/h.

Na liniach niewyposażonych w samoczynną blokadę liniową wystarczy umiejscowienie anten i czytników w pobliżu stacyjnych sygnalizatorów wjazdowych i wyjazdowych oraz, co jest istotne dla ruchu pasażerskiego i jednocześnie zapewni większą dokładność lokalizacji, na poszczególnych przystankach osobowych i posterunkach odgałęźnych. W przypadku dużych stacji pasażerskich można umiejscowić anteny przy każdej krawędzi peronowej.

Wykorzystanie technologii RFID do sterowania ruchem kolejowym wymaga zwrócenia szczególnej uwagi na kwestię bezpieczeństwa przechowywania i przesyłania danych zapisanych w znacznikach. Na wagę tego zagadnienia zwracają uwagę autorzy publikacji dotyczących zastosowania RFID w transporcie. Na przykład w [17] dokonano identyfikacji istniejących zagrożeń oraz przedstawiono metody przeciwdziałania ich występowaniu, a także zaproponowano rozwiązania pozwalające na uniknięcie wystąpienia sytuacji niebezpiecznych. W [18] przedstawiono w szczególności rozważania dotyczące bezpieczeństwa procesu transmisji danych pomiędzy znacznikiem a anteną.

W warunkach dużego natężenia ruchu (np. w przewozach aglomeracyjnych) dla efektywnej i bezpiecznej organizacji ruchu niezbędna jest wiedza dotycząca położenia każdego pociągu oraz kolejności pociągów na linii. Codziennym obrazkiem na dużych dworcach kolejowych jest chaotyczne przemieszczanie się dużych grup pasażerów z bagażami wzdłuż peronu (a nierzadko – między peronami) w poszukiwaniu „swojego” pociągu i wagonu. Stosowane systemy informacji pasażerskiej, szczególnie w przypadku nietypowych sytuacji ruchowych (np. opóźnień i zmiany kolejności przybywających pociągów) powodują generowanie błędnych komunikatów dla podróżnych. Nagłaśniane w środkach masowego przekazu przypadki kierowania pociągu na niewłaściwy tor wskazują, że stanowi to także problem dla pracowników nastawni i centrów sterowania ruchem. Aktualną

strukturę i zasady funkcjonowania systemów kolejowej informacji pasażerskiej opisano w [19].

Zastosowanie znaczników RFID oraz umiejscowienie anteny w odpowiedniej odległości przed stacją lub przystankiem pozwoli na przekazanie zainteresowanym osobom precyzyjnej, zgodnej z rzeczywistością informacji o zbliżającym się pociągu: numer (nazwa), relacja, sekwencja wagonów w składzie, przewidywane miejsce zatrzymania wagonu o odpowiednim numerze (zgodnie z rezerwacją). Możliwość uzyskiwania takich informacji potwierdziły wyniki eksperymentów przeprowadzonych na torze badawczym w laboratorium.

Wyposażenie w anteny i czytniki torów stacji rozrządowych, manewrowych i bocznic kolejowych oraz torów postojowych umożliwi lokalizację poszczególnych wagonów i przewożonych ładunków. Pozwoli także na precyzyjne pozycjonowanie wagonów na bocznicach przemysłowych, w terminalach kontenerowych, centrach logistycznych, punktach naładunku, przeładunku i wyładunku [13].

W przypadku przewozów pasażerskich, zastosowanie znaczników RFID do lokalizacji elementów taboru (np. drzwi wejściowych do wagonów) umożliwi precyzyjne pozycjonowanie pociągu przy krawędzi peronowej wyposażonej w drzwi otwierane jednocześnie z drzwiami w składzie, szczególnie w przypadku wdrażania automatycznych pociągów poruszających się bez udziału maszynisty (np. pociągów metra).

5. Podsumowanie

Tendencje rozwojowe transportu kolejowego wskazują na konieczność wdrażania zautomatyzowanych lub w pełni automatycznych systemów sterowania i zarządzania przewozami. Skuteczność podejmowanych decyzji zależy od ciągłego dostępu do aktualnych i wiarygodnych informacji, w szczególności o przemieszczającym się taborze i przewożonych ładunkach. Istotnym czynnikiem wpływającym na efektywność funkcjonowania takich systemów jest cyfryzacja informacji umożliwiająca ich automatyczne przetwarzanie i szybkie przesyłanie między różnymi szczeblami zarządzania.

Zaprezentowane stanowisko badawcze pozwala modelować i symulować ruch pociągów na odcinku linii kolejowej podzielonym na odstępy blokowe. Zastosowany system RFID skutecznie lokalizuje i identyfikuje pociągi, pojedyncze wagony oraz przewożone ładunki. Wykrywa zajętość poszczególnych odcinków, wyświetla na sygnalizatorach odpowiednie sygnały oraz w sposób automatyczny steruje ruchem pociągów znajdujących się na torze pomiarowym. System wizyjny umożliwia także wykrywanie przesunięcia ładunków przewożonych na platformach roboczych wagonów.

Symulacje przeprowadzone przez autora na torze doświadczalnym stanowiska badawczego w pełni potwierdziły możliwość i przydatność praktycznego wykorzystania technologii RFID w transporcie kolejowym. Ukazały szerokie spektrum zastosowań, możliwość szybkiego pozyskiwania i przetwarzania różnorodnych informacji istotnych zarówno dla klientów, jak też dla zarządzających procesem przewozowym. Wyniki badań mogą być podstawą do pilotowego, próbnego wdrożenia zastosowanych rozwiązań, przez wybranych przewoźników pasażerskich i towarowych we współpracy z PKP PLK S.A., w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Literatura

1. https://gs1pl.org/app/uploads/2022/01/RFID_na_kolei_PL_19.10.pdf [dostęp 15.02.2024].
2. Frąckowiak P.: *RFID w kolejnictwie*, Logistyka, 2012, nr 2.
3. <http://www.gs1.org/gsm/kc/epcglobal/tds/> [dostęp 26.02.2024].
4. Moczarski J.: *Stanowisko badawcze przeznaczone do weryfikacji metod identyfikacji ruchomych obiektów*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2020, z. 165.
5. Moczarski J.: *Sensory laserowe w identyfikacji ruchomych obiektów*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2020, z. 166.
6. Moczarski J.: *Identyfikacja elementów taboru kolejowego z wykorzystaniem sensorów laserowych*, TTS Technika Transportu Szynowego, 12/2017.
7. Moczarski J.: *Identyfikacja taboru w zarządzaniu transportem kolejowym*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2018, nr 6.
8. Moczarski J.: *Typologizacja modeli elementów taboru kolejowego w procesie ich identyfikacji*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2018, nr 12.
9. Moczarski J.: *Detection of railway cargo shifts using laser triangulation*, Proceedings of 23rd International Scientific Conference, Transport Means 2019.
10. Moczarski J.: *Stanowisko badawcze do symulacji przemieszczeń taboru i ładunków na sieci kolejowej*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2023, z. 174.
11. Pinkas A.: *RFID w logistyce i transporcie*, MM Magazyn Przemysłowy (wersja elektroniczna: <https://magazynprzemyslowy.pl/artykuly/rfid-w-logistyce-i-transporcie/>) [dostęp 22.01.2024].
12. Kanicki T.: *Wykorzystanie technologii RFID w transporcie lądowym*, Logistyka 2012, nr 5.
13. Neumann T.: *Koncepcja zastosowania technologii RFID w transporcie drogowym*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, 2017, nr 102.
14. <https://www.hadatap.pl/blog/wdrozenia/wdrozenie-rfid-identyfikacja-cystern-kolejowych/> [dostęp 10.01.2024].

15. <https://iautomatyka.pl/rfid-na-szynach/> [dostęp 03.01.2024].
16. <https://automatykab2b.pl/prezentacje/44089-wyscig-z-rfid> [dostęp 21.05.2024].
17. Ulatowski B., Łukasik Z.: *Bezpieczeństwo technologii RFID w transporcie*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2017, nr 12.
18. Sumiła M: *Ground-Based Localization of Means of Municipal Transport with Use of Long-Range RFID*, Logistics and Transport, 2012, nr 1(14).
19. Jasiak M., Kulinicz M.: *Nowoczesne systemy informacji podróżnych w transporcie kolejowym*, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, 2011, nr 158.