

Nr 102/2017, 44–60
ISSN 1644-1818
e-ISSN 2451-2486

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII RFID W TRANSPORCIE DROGOWYM

ANALYSIS OF APPLICATION POSSIBILITIES OF RFID TECHNOLOGY IN ROAD TRANSPORT

Tomasz Neumann

Akademia Morska w Gdyni, al. Jana Pawła II 3, 81-345 Gdynia, Wydział Nawigacyjny,
Katedra Nawigacji, e-mail: t.neumann@wn.am.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono przykłady praktycznego zastosowania technologii RFID w transporcie drogowym oraz zaproponowano rozwiązania systemowe wspomagające zarządzanie procesem transportu. Omówiono zasady działania tych systemów oraz wykazano korzyści wynikające z ich zastosowania.

Słowa kluczowe: identyfikacja radiowa, kontenery, transport, bezpieczeństwo transportu drogowego.

Abstract: The paper presents examples of practical use of RFID technology in road transport and there are also proposed solutions to help manage the transport process. The principles of operation of these systems have been discussed and the benefits of using them have been demonstrated.

Keywords: radiofrequency identification, containers, transportation, road transport safety.

1. WSTĘP

Ideą działania systemów automatycznej identyfikacji jest zautomatyzowane wprowadzanie danych do systemów informatycznych. Nie jest ważne, czy należy wprowadzić symbol identyfikujący towar opuszczający halę, czy pojazd wjeżdżający na parking. Nie jest również istotne, w jaki sposób jest on oznaczony. Największe znaczenie ma to, że dane zostaną wprowadzone automatycznie. Redukuje to pracochłonność oraz koszty operacji, eliminuje możliwość błędu.

Jednym z częściej wykorzystywanych systemów jest system RFID (*Radiofrequency Identification*), w którym odczyt danych odbywa się za pośrednictwem fal radiowych. W porównaniu do tradycyjnych etykiet z kodem kreskowym stosowane w tym rozwiązaniu etykiety (tagi) wykazują zdecydowanie większą odporność na niekorzystne warunki pracy (np. zabrudzenia, wilgoć, pył czy

negatywny wpływ temperatury). Podczas odczytu danych możliwa jest również opcja odczytania tagów przez inny materiał lub opakowanie, jednorazowy odczyt wielu tagów oraz zabezpieczenie przed fałszerstwami. Technologia ta umożliwia uzyskanie większej prędkości odczytu i poprawienie efektywności systemu.

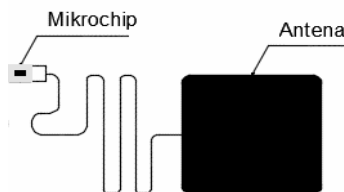
Prawidłowo zaprojektowany system automatycznej identyfikacji znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, począwszy od szeroko pojętej logistyki, poprzez handel i dystrybucję, po procesy związane z dokładnym rozliczaniem produkcji, a także kontrolę dostępu czy rejestrację czasu pracy. Może również pomóc przy próbie odnalezienia towaru w magazynie, samochodu na ogromnym placu, czy też człowieka w zagrożonej strefie.

1.1. Istota RFID

RFID to termin używany do opisania technologii, która umożliwia automatyczną identyfikację, czyli rozpoznanie obiektu przy użyciu fal radiowych.

W skład systemu wchodzi znacznik RFID (zwany też transponderem, etykietą, chipem, tagiem RFID) oraz czytnik RFID z anteną (emitujący pole elektromagnetyczne)). Typowy znacznik RFID to mikrochip (układ scalony), połączony z anteną i umocowany na nośniku (papierze, plastiku).

W mikrochipy wyposażonym w kilkaset bitów pamięci użytkownik może zapisywać dane. Zwykle zapisany jest tylko identyfikator, który odnosi się do określonego rekordu w bazie danych użytkownika. Aby odczytać te dane ze znacznika, potrzebny jest czytnik RFID wraz z anteną. Dane zawarte w znaczniku mogą być odczytane w każdym momencie. Antena odbiera sygnał (energię elektromagnetyczną) od anteny czytnika. Następnie używając tej energii, wysyła sygnał zwrotny w postaci fal radiowych, zawierający informację o zawartości pamięci mikrochipu (Bolic, Simplot-Ryl i Stojmenovic 2010).



Rys. 1. Znacznik RFID wraz z anteną

Fig. 1. RFID tag with antenna

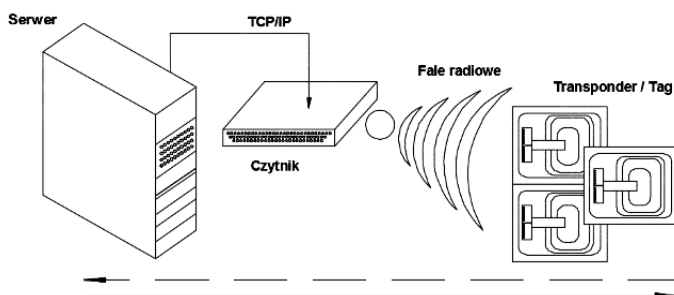
1.2. Działanie systemu

Znacznik RFID jest to element, który przechowuje dane umożliwiające identyfikację oznakowanego przedmiotu. W zależności od rodzaju znacznik może mieć różną budowę, na którą składają się następujące elementy: mikroukład (*microchip*),

antena, układ zasilający (nie występuje w znacznikach pasywnych) oraz dodatkowe układy elektroniczne (nie występują w znacznikach pasywnych).

Znaczniki, jak i czytniki RFID wyposażone są w anteny. W obydwu typach urządzeń anteny służą do odbierania oraz wysyłania danych przesyłanych za pomocą fal radiowych. Te spotykane w znacznikach mają najczęściej kilka centymetrów i są bezpośrednio połączone z mikroukładem znajdującym się w znaczniku, natomiast w przypadku czytników jest to najczęściej osobno podłączone urządzenie. Długość przewodu połączeniowego jest ograniczona od około 2 do 8 metrów. Pojedynczy czytnik może wspierać maksymalnie do czterech anten. Zazwyczaj anteny czytników RFID mają kształt kwadratowy lub prostokątny.

W Europie moc sygnału emitowanego przez antenę jest mierzona w jednostkach ERP (*Effective Radiated Power*), natomiast w Stanach Zjednoczonych w jednostkach EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*). Maksymalna moc anteny jest regulowana odpowiednimi przepisami prawa.



Rys. 2. Budowa systemu RFID

Fig. 2. RFID system construction

Czytnik RFID jest urządzeniem, które wylapuje fale radiowe, odczytuje określone dane i interpretuje je. Jest w stanie odczytać ponad tysiąc tagów w czasie pojedynczych sekund (dokładna szybkość odczytu zależy od modelu czytnika). Następnie przesyła uzyskane dane do systemu informatycznego. Do czytników zaliczane są również drukarki RFID, pozwalające drukować inteligentne etykiety.

Podstawowymi elementami czytnika RFID są:

- nadajnik;
- odbiornik;
- mikroprocesor;
- pamięć;
- kanały wejścia/wyjścia dla opcjonalnych czujników, elementów wykonawczych i powiadamiaczy;
- kontroler (może być także zewnętrzny);
- interfejs komunikacyjny;
- zasilanie.

Czytniki można podzielić według dwóch kryteriów. Pierwszy podział opiera się na kryterium mobilności czytnika: stacjonarny oraz nareęczny. Do stacjonarnych czytników zalicza się również czytniki umieszczane na ruchomych elementach lub pojazdach (np. czytniki instalowane na wózkach widłowych).

Czytnik stacjonarny może pracować w następujących trybach: autonomicznym i interaktywnym. W trybie autonomicznym czytnik stale odczytuje znaczniki znajdujące się w jego zasięgu, natomiast w trybie interaktywnym czytnik otrzymuje i wykonuje polecenia aplikacji pracującej na serwerze lub aplikacji klienckiej.

Drugi podział czytników opiera się na kryterium oferowanego interfejsu komunikacyjnego. Są to czytniki szeregowo (posiadające port RS - 232 lub RS - 485) oraz sieciowe (posiadające interfejs sieciowy). Warstwa pośrednia (oprogramowanie warstwy pośredniej) może być ogólnie określona jako wszystko to, co znajduje się pomiędzy czytnikami a innymi systemami informatycznymi. Do funkcji oprogramowania warstwy pośredniej zaliczają się: zarządzanie czytnikami i urządzeniami, zarządzanie danymi, integracja aplikacji oraz integracja z partnerami.

Warstwa pośrednia RFID pozwala użytkownikom na konfigurowanie, monitorowanie, uruchamianie oraz wysyłanie rozkazów bezpośrednio do czytników poprzez uniwersalny interfejs. Może także pobierać dane z czytników, inteligentnie filtrować i kierować je do odpowiednich miejsc docelowych. Rozwiązania warstwy pośredniej RFID zapewniają możliwości przesyłania komunikatów, routingu i komunikacji, służące do integracji danych RFID z istniejącymi systemami ERP, zarządzania łańcuchem dostaw (SCM), zarządzania magazynem (WMS) oraz zarządzania relacjami z klientami (CRM). Część pamięci w mikrochipie stanowi TID (*Tag Identification Memory*) – unikatowy numer seryjny identyfikujący tag. Dostęp do pamięci jest zabezpieczony hasłem, które jest wymagane do odczytu, zapisu i zmiany danych znacznika. Odrębne hasło umożliwia zniszczenie danych zawartych w znaczniku (Niemojewski 2007).

2. PRZYKŁADY PRAKTYCZNEGO ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII RFID W TRANSPORCIE LĄDOWYM

Do praktycznych przykładów zastosowania technologii RFID w transporcie lądowym zalicza się system automatycznej identyfikacji środków transportu kolejowego, bilet elektroniczny w transporcie publicznym, system monitorowania opon autobusów i samochodów ciężarowych, monitoring przesyłki w branży farmaceutycznej, a także system poboru opłat za przejazd autostradą.

2.1. Zastosowanie technologii RFID do identyfikacji użytkownika pojazdu

Rozwiązanie polega na umieszczeniu półpasywnej zapisywalnej etykiety RFID w dokumencie prawa jazdy. Przed uruchomieniem pojazdu użytkownik byłby

zobligowany do umieszczenia dokumentu we wbudowanym w deskę rozdzielczą czytniku. Czytnik po odczytaniu i analizie danych wysyłałby do komputera pokładowego komendę. Osoba, która posiadałaby nieważny dokument prawa jazdy lub w ogóle go nie miała, nie mogłaby uruchomić pojazdu. Podczas wydawania prawa jazdy w etykiecie kodowane mogłyby być dane personalne kierowcy, kategoria uzyskanego prawa jazdy, okres ważności i data wydania dokumentu. Patrole policji uzyskałyby możliwość modyfikacji danych zawartych w etykiecie, takich jak liczba punktów karnych czy dezaktywacji prawa jazdy po przekroczeniu liczby punktów. Istniałaby również możliwość kodowania wartości prędkości osiąganych podczas jazdy w zależności od długości okresu posiadania prawa jazdy, co uniemożliwiłoby przekraczanie prędkości młodym kierowcom.

Takie rozwiązanie wprowadzone w życie mogłoby zredukować liczbę kolizji, liczbę wypadków i ich ofiar oraz koszty związane z usuwaniem skutków wypadków. Wiąże się to również z uniemożliwieniem kierowania pojazdem osobom do tego nieuprawnionym, jak i z redukcją kradzieży pojazdów (Waśniewski i in. 2015).

2.2. RFID w transporcie kolejowym

Następnym przykładem zastosowania technologii RFID jest branża kolejowa. W Chinach wykorzystywana jest w długodystansowym systemie identyfikacyjnym oraz w procesie harmonogramowania. Obecnie wagony i lokomotywy są wyposażone w znaczniki RFID. Czytniki RFID są zlokalizowane w strategicznych punktach, takich jak punkty przeładunku, stacje i węzły kolejowe. Po przejechaniu tych punktów urządzenia zbierają informacje na temat lokomotywy oraz wagonów i ich zawartości. Informacje przekazywane do Centralnego Systemu Obsługi są gromadzone i przetwarzane, obrazując aktualną sytuację w systemie kolejowym.

System umożliwia śledzenie wagonów i lokomotywy w czasie rzeczywistym. W stosunku do manualnej identyfikacji lokalizacja transportu uległa znacznej poprawie. Roczne oszczędności w Chinach, wynikające z zastosowania RFID, według szacunków wynoszą 38 milionów USD. Informacje zawarte w systemie mogłyby dać więcej korzyści, gdyby były przekazywane do innych systemów. Niestety, system ten nie jest oparty na otwartej architekturze i nie może się komunikować z innymi systemami (Lai, Hutchinson i Zhang 2005).

Główne zalety technologii RFID stosowanej w branży kolejowej stanowią:

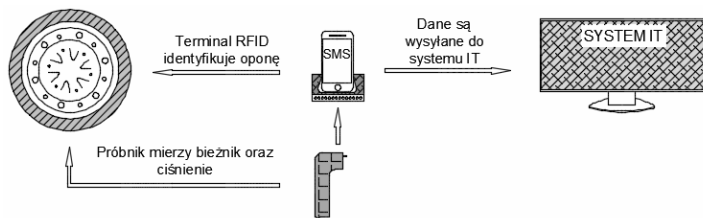
- wiarygodność i dokładność informacji o lokalizacji pociągu (możliwa prezentacja informacji wewnątrz pociągu oraz na wyświetlaczach na stacjach);
- informacja o położeniu wagonów oraz ich konfiguracji;
- ciągła kontrola prędkości z funkcją automatycznego hamowania (w sytuacjach kryzysowych);
- natychmiastowa identyfikacja nieprawidłowo załadowanych wagonów lub przeciążenia.

2.3. Opony z chipem RFID

Technologia RFID znajduje również zastosowanie w monitorowaniu stanu ogumienia pojazdów ciężarowych. W firmie transportowej kontrola stanu ogumienia bywa niezwykle czasochłonna, czasem również niemożliwa ze względu na uszkodzenia mechaniczne oznaczeń bocznych opony. Szybką identyfikację ułatwia technologia RFID, wykorzystując czytnik zbierający informacje z mikrochipu umieszczonego w oponie.

Goodyear był pierwszą firmą, która wprowadziła na rynek oponę z mikrochipem. Układ jest wbudowywany na etapie produkcji do opony Regional RHT II RFID 435/50R19.5 w obwodzie ściany bocznej. Jest programowany niepowtarzalnym kodem identyfikującym oponę. Dla ułatwienia lokalizacji miejsce oznaczone jest odpowiednim logo (ułatwia to odczytanie za pomocą ręcznego czytnika). Pozyskane dane mogą znaleźć się na internetowej platformie do zarządzania oponami Goodyear (system *FleetOnlineSolutions*). Jako dodatek do systemu podłączony jest miernik głębokości bieżnika opony i ciśnienia powietrza.

Rozwiązanie to niesie wiele korzyści, takich jak: poprawa bezpieczeństwa, dokładne i szybkie zbieranie informacji o oponach i dostęp do nich w systemie zarządzania flotą, ułatwienie regularnych kontroli. Usunięcie mikrochipu jest jednoznaczne ze zniszczeniem opony.



Rys. 3. System do zarządzania oponami RFID

Fig. 3. Tire management system with RFID module

Kolejną firmą, wykorzystującą technologię RFID, jest Michelin. Wprowadziła ona najnowszą innowację – „komunikującą się” oponę. Poprzez połączenie chipu RFID w oponach Michelin X inCity z systemem monitorowania ciśnienia w oponach możliwy był odczyt temperatury i ciśnienia w oponie wraz z pobraniem numeru identyfikacyjnego. Przez dostarczenie przejrzystych i rzetelnych danych o stanie ogumienia, np. autobusów, możliwe byłoby zapewnienie bezpieczeństwa przemieszczania się mieszkańców metropolii. Dodatkowym celem zastosowania technologii byłoby szybkie i sprawne przeprowadzanie kontroli ogumienia. Zastosowany chip mierzy 5 centymetrów długości i waży 0,2 grama. W celu potwierdzenia skuteczności działania wprowadzenie do użycia poprzedziło siedem lat testów. Chip nie potrzebuje baterii, gdyż jest zasilany przez fale elektromagnetyczne emitowane podczas zbierania danych. W przeciwieństwie do kodów kreskowych nie ma możliwości usunięcia chipu, a jego trwałość jest większa niż

samej opony. Sprawdzenie stanu opon samochodu ciężarowego lub autobusu według badań wykonanych przez Michelin zajmuje przeciętnie 15 minut. Uzasadnia to wdrażanie kompleksowych systemów, umożliwiających bezbłędną identyfikację.

2.4. Bilet elektroniczny w transporcie publicznym

W środkach komunikacji miejskiej wykorzystywane są karty zbliżeniowe, które zastępują tradycyjne bilety. Są nośnikiem elektronicznego biletu okresowego oraz pełnią funkcję „elektronicznego portfela”. Funkcja ta działa na zasadzie przedpłaty i polega na możliwości wykupienia przejazdu (poprzez przyłożenie karty do kasownika) dzięki pomniejszeniu kapitału wcześniej zgromadzonego. Zawartość karty zbliżeniowej można sprawdzić za pomocą elektronicznych kasowników zamontowanych w środkach transportu miejskiego. Sygnały świetlne lub komunikaty na wyświetlaczu potwierdzają wszelkie wykonywane czynności przy kasowniku z wykorzystaniem karty zbliżeniowej. Karta zbliżeniowa, określana również jako karta miejska, łączy w sobie cechy sieciowego biletu komunikacji miejskiej, karty rabatowej do sklepów czy karty identyfikacyjnej, np. w bibliotece, umożliwiając wstęp do miejskich obiektów kultury i sportu. Może również umożliwiać wnoszenie opłat za parkowanie.

Istnieje wiele korzyści wynikających ze stosowania kart RFID w transporcie publicznym. Dla pasażerów jest to na pewno dostępność wszelkiego typu biletów w punkcie doładowań, bezpieczeństwo transakcji, łatwe i szybkie kodowanie biletu oraz łatwość i wygoda jej użytkowania. Karta jest trwała, jej żywotność jest przewidziana do 10 lat. W przypadku zgubienia, zniszczenia lub kradzieży istnieje możliwość odtworzenia karty. Dla przewoźnika takie rozwiązanie również przynosi wiele korzyści. Przede wszystkim koszty dystrybucji biletów elektronicznych są niższe w porównaniu z papierowymi odpowiednikami. Istnieje także możliwość zbierania danych o wielkości potoków pasażerskich i strukturze biletowej, co pomaga zoptymalizować działanie sieci komunikacyjnej.

Weryfikacja biletów odbywa się przy wykorzystaniu dedykowanego urzędnika, co ułatwia i przyspiesza proces kontroli. Na kartach można umieszczać reklamy, co przynosi dodatkowe wpływy finansowe. Można zmieniać ceny i rodzaj biletów, co oznacza możliwość elastycznego kształtowania opłat taryfowych. System umożliwia sprzedaż biletów okresowych z rozpoczęciem w dowolnym dniu miesiąca. Klienci nie są zmuszeni do posiadania gotówki, gdyż mogą zasilić swoje karty odpowiednią ilością pieniędzy, wykorzystując płatności elektroniczne. Kierowca mógłby zostać zwolniony ze sprzedaży biletów pasażerom, co zwiększyłoby jego koncentrację oraz wyeliminowało gotówkę z pojazdu i codzienną jej kalkulację. Automatycznie zbierane dane z kasowników wpływałyby na zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko, pozwalając na efektywne wykorzystanie środków transportu publicznego (Masse 2004).

Szczególnie ważny w systemach transportowych, w których przebieg podróży można sprawdzić tylko wewnątrz pojazdu, jest czas potrzebny do zakupu lub weryfikacji przebiegu. Jest to znaczny problem w autobusach i tramwajach. W podziemnej kolei jest to sprawdzane przez bramkę lub konduktora.

Porównanie różnych metod (tab. 1) pokazuje wyższość systemów RFID pod względem czasu transakcji.

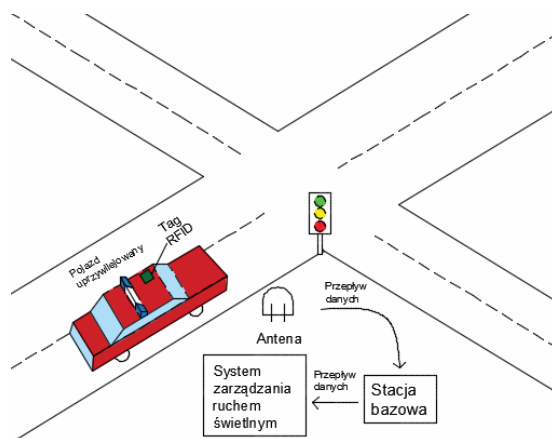
Tabela 1. Porównanie różnych metod płatności pod względem czasu transakcji

Table 1. Comparison of different payment methods in terms of transaction time

Technologia	Czas transakcji
RFID I (zdalne połączenie)	1,7 s
Wizualna weryfikacja przez sterownik	2,0 s
RFID II (połączenie przez zbliżenie)	2,5 s
Inteligentna karta (poprzez kontakt)	3,5 s
Gotówka	> 6 s

2.5. Zastosowanie technologii RFID w pojazdach uprzywilejowanych do sterowania ruchem świetlnym

Użycie technologii RFID w pojazdach uprzywilejowanych stanowi kolejne rozwiązanie zastosowania tej technologii w logistyce miejskiej. Pojazd uprzywilejowany mógłby posiadać etykietę RFID odbijającą sygnał fali radiowej. Antena szczytująca uprzywilejowane tagi na pojazdach specjalnych została by umieszczona przed skrzyżowaniem w celu zmiany sygnalizacji świetlnej, umożliwiając płynny przejazd pojazdu przez skrzyżowanie. Wynika z tego, że głównym zadaniem systemu sterowania ruchem świetlnym byłoby sterowanie ruchem sygnalizacji świetlnej tuż przed wjazdem pojazdu uprzywilejowanego na skrzyżowanie (Szczuka 2015).



Rys. 4. Działanie RFID w pojazdach uprzywilejowanych

Fig. 4. Operation of RFID in emergency vehicles

2.6. Technologia RFID w transporcie kontenerów

Ze względu na korzyści, jakie technologia RFID niesie ze sobą, czyli wysoką wytrzymałość, niezawodność oraz zapewnienie stosunkowo dużej pojemności do przechowywania danych, znalazłaby ona zastosowanie w informatyzacji transportu kontenerów. Technologia RFID pozwala na uzyskanie informacji na temat kontenera w czasie rzeczywistym oraz poprawia wydajność operacji identyfikacji. Spełnia także wymagania inteligentnego zarządzania i bezpieczeństwa przewozów kontenerowych. To właśnie podczas operacji portowych zarządzanie transportem kontenera ma największe znaczenie.

Technologia RFID pozwala na zwiększenie wydajności operacji portu. Dzieje się to przez przyspieszenie procesu sprawdzania i zarządzania pojazdami transportującymi kontenery do czasu, kiedy opuszczą port. Na samochodach ciężarowych oraz kontenerach umieszczane są znaczniki RFID. W znaczniku, który posiada ciężarówka, zakodowane są informacje m.in. o dopuszczalnym obciążeniu. Czytniki, które zbierają informacje ze znaczników, zainstalowane są w bramie wjazdowej portu. Dodatkowo używane są urządzenia mobilne do gromadzenia informacji. Gdy ciężarówka wyposażona w tag RFID wjeżdża do portu, to dane na temat samochodu zapisane w znaczniku RFID są automatycznie rejestrowane i przekazywane do bazy danych.

Na podstawie danych dotyczących kontenerów i ich zawartości system informatyczny portu przyporządkowuje odpowiednie środki transportu. System na bieżąco rejestruje stosowne dane, które dotyczą tego, gdzie i kiedy kontenery są umieszczane, transportowane, oraz kiedy wjeżdżają i wyjeżdżają z terenu portu (Wang i Fan 2009).

2.7. RFID w branży farmaceutycznej

Nowoczesna technologia monitorowania transportu przeznaczona dla przemysłu farmaceutycznego została opracowana przez firmę DHL przy współpracy IBM i firm farmaceutycznych. Polega ona na wykorzystaniu etykiety RFID, która posiada czujnik umożliwiający kontrolowanie i dokumentowanie temperatury w czasie transportu. Dla firm farmaceutycznych kontrola temperatury ma kluczowe znaczenie, gdyż produkty medyczne, takie jak szczepionki, muszą być transportowane w określonych warunkach. Etykieta jest połączeniem czujnika temperatury z tagiem RFID. Odczyt parametrów może odbywać się na każdym etapie procesu transportowego. Rozwiązanie to pozwoli na ocenę stanu transportowanej zawartości bez potrzeby otwierania przesyłki (Bentyn 2014).

3. INNE PROPONOWANE ZASTOSOWANIA RFID W TRANSPORCIE DROGOWYM

Istnienie na całym globie tych samych struktur („globalna wioska”), wysoki stopień rozwoju cywilizacyjnego, zacieranie granic pomiędzy państwami oraz działalność wielkich korporacji o zasięgu ogólnosiwiatowym spowodowały, że techniki identyfikacji obiektów wkroczyły na zupełnie nowe obszary, czyli transport pasażerski, transport towarów, systemy zarządzania ruchem w miastach, monitoring ruchu czy pobór opłat za poruszanie się po autostradach. Wzrastający popyt na wyspecjalizowane sposoby identyfikacji obiektów był przyczyną „przeplatania się” różnych systemów, przez co zwiększyły się również koszty ich implementacji. Dobrym przykładem jest wytwarzanie i obsługa samochodu, którego każda część jest ewidencjonowana i opatrzona kodem kreskowym podczas produkcji. Następnie produkt finalny otrzymuje identyfikator producenta, kolejno sprzedawcy, organu rejestrującego, ubezpieczyciela, serwisu i na koniec identyfikator w postaci winiety uprawniającej się do poruszania się po drogach płatnych.

Korzystanie z tej technologii jest niejako „wymuszone” przez międzynarodowe systemy komputerowej ewidencji w prawie wszystkich dziedzinach wymiany gospodarczej, bezpieczeństwa oraz nadzoru celno-podatkowego. Jest więc tylko kwestią czasu, kiedy korzystanie z RFID stanie się ogólną koniecznością.

3.1. System poboru opłat i rozładowania korków

Dzięki wykorzystaniu technologii RFID można pobrać opłaty za postój na parkingu, przejazd przez autostradę czy usprawnić transport publiczny. Przykładem jest elektroniczny system poboru opłat E-Zpass, wykorzystywany w Stanach Zjednoczonych.

System ten zawiera trzy elementy: tag RFID, który znajduje się we wnętrzu pojazdu, oraz antenę i kamery, które mają na celu zidentyfikowanie oszustwa. Tag RFID, zamontowany na przedniej szybie, jest odczytywany przez antenę, gdy pojazd znajdzie się w obszarze automatycznego poboru opłat. Konto użytkownika zostaje wtedy obciążone odpowiednią sumą. Wyświetlany jest automatycznie elektroniczny komunikat o tym zdarzeniu na wyświetlaczu w obszarze automatycznego poboru opłat. Gdyby pojazd nie posiadał znacznika RFID, system zidentyfikowałby numer rejestracyjny pojazdu i zarejestrował naruszenie zasad.

Na Manhattanie, w największej i najważniejszej dzielnicy Nowego Jorku, nakładem 1,6 miliona dolarów został wdrożony system do poprawy płynności ruchu. Wykorzystuje on transpondery E-Zpass, a tagi RFID są odczytywane na określonych skrzyżowaniach. Informacja na temat prędkości pojazdów jest uzyskiwana dzięki oprogramowaniu w Centrum Zarządzania Ruchem (*Traffic Management Center*). W celu potwierdzenia danych RFID system dodatkowo wykorzystuje czujniki mikrofalowe zainstalowane na niektórych ulicach.

Operatorzy systemu korzystają z elektronicznej mapy. Ulice zaznaczone kolorem zielonym charakteryzują się akceptowalną prędkością pojazdów, natomiast ulice oznaczone kolorem czerwonym odzwierciedlają prędkość pojazdów poniżej akceptowalnego poziomu. Gdy operator widzi ulicę zaznaczoną kolorem czerwonym, sprawdza sytuację na drodze, wykorzystując kamery w celu określenia problemu. W niektórych przypadkach w celu wyeliminowania zatorów wystarczy odpowiednie dostosowanie czasu sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu (Kathawala i Tueck 2008).

3.2. System lokalizacji autobusów na miejscach parkingowych

Firma Kowloon Motor Bus Company to największy dostawca usług transportu publicznego w Hongkongu. Dysponuje 3933 autobusami i wykorzystuje technologię RFID do lokalizacji autobusów na parkingach. Ewidencjonowanie z użyciem papieru przy tak dużej flocie było pracochłonne i podatne na błędy ludzkie. Autobusy nie posiadały stałych miejsc postoju, stąd decyzja o wdrożeniu systemu. Zastosowanie kodu kreskowego zostało odrzucone ze względu na trudności z odczytaniem etykiety kodu w nocy i podczas deszczu. Celem wdrożenia technologii RFID jest określanie lokalizacji i zarządzanie autobusami. Dzięki zastosowaniu nowego rozwiązania uproszczono sposób przepływu informacji, zwiększyła się dokładność danych, a czasochłonne ich gromadzenie na papierze zostało drastycznie zmniejszone.

3.3. System monitorowania transportu publicznego

Technologia RFID jest wykorzystywana przy tworzeniu platformy dla użytkowników miejskich. Dostarcza informacji w czasie rzeczywistym zarówno osobom zarządzającym transportem publicznym, jak i pasażerom. W praktyce znaczniki RFID są umieszczane na wszystkich autobusach, a czytniki umieszczane na przystankach. Autobus, przyjeżdżając na przystanek, jest automatycznie identyfikowany. Odbywa się to przez pobranie informacji ze znacznika RFID, które są następnie wysyłane z wykorzystaniem bezprzewodowej sieci lokalnej do bazy danych. Pozwala to na ustalenie dokładnej lokalizacji autobusu. Komunikaty wysyłane pasażerom informują o realnych godzinach przyjazdu autobusu na dany przystanek. Operatorzy systemu otrzymują informację, gdzie dokładnie znajduje się obiekt w przypadku, gdy autobus będzie miał problemy techniczne lub będzie opóźniony. Informacje pozyskiwane są przez pasażerów z elektronicznych tablic. Komunikaty przekazywane są automatycznie na podstawie danych gromadzonych w systemie ze znaczników RFID umieszczonych na autobusach, a więc mają charakter dynamiczny (Assaf i Williams 2011).

3.4. System optymalizujący procesy transportowe oraz wspomagający bezpieczeństwo w ruchu drogowym

Przez rosnące natężenie ruchu na drogach wzrasta zapotrzebowanie na inteligentne systemy, które optymalizowałyby transport towarowy. Głównym punktem powinno być zminimalizowanie niewydajnych czynności, takich jak transport pojazdu bez ładunku czy zmniejszenie kosztów energii.

Do takich procesów korzystne byłoby zastosowanie systemu RFID, który umożliwiłby np. lepsze wykorzystanie istniejącej pojemności samochodu. Pojazdy byłyby wyposażone w specjalne systemy telematyczne, które zbierają, zapisują i przetwarzają dane oraz komunikują się ze sobą za pomocą sieci telekomunikacyjnych. Dostarczanie danych odbywałoby się w sposób ciągły, a system byłby niezawodny. Generowanie i przekazywanie danych w opłacalny sposób jest w tej sytuacji istotne. Udoskonalone powinny być także skomplikowane procesy w biurach odbioru i wysyłki, a także w punktach załadowań pojazdów towarem. Technologia przesyłania danych drogą radiową mogłaby zautomatyzować kontrole wyjazdu pojazdów. System RFID byłby połączony z systemem czujników zamontowanych w naczepie z towarem, w celu automatycznej identyfikacji danych, takich jak status otwartych/zamkniętych drzwi i otworów wentylacyjnych, monitorowanie temperatury, a także stan hamulców. Czytniki zamontowane na drodze byłyby w stanie przechwytywać dane z tagów RFID, zamontowanych na dnie naczepy przejeżdżającego pojazdu. Użycie czujników w każdym pojeździe pozwoliłoby na ich śledzenie. Oprócz tej funkcji, czujniki mogą monitorować obciążenie, a tym samym zwiększać korzyści i zapewniać bezpieczeństwo firmom transportowym. Ich dodatkowym atutem jest ochrona przed kradzieżą (Surmacz 2017).

System mógłby być przydatny również w portach, gdyż od 1 lipca 2016 roku weszły w życie nowe postanowienia Konwencji o bezpieczeństwie życia na morzu (SOLAS), zgodnie z którymi na nadawcy ładunku spoczywa obowiązek weryfikacji wagi kontenerów przeznaczonych do transportu drogą morską. Kontenery muszą być zważone przed załadowaniem ich na statek. Nowelizacja konkretyzuje również sposób, w jaki następować ma weryfikacja wagi kontenerów, proponując tu do wyboru dwie następujące metody:

- ważenie zapełnionego kontenera przy użyciu certyfikowanego i skalibrowanego sprzętu;
- ważenie wszystkich przedmiotów ładowanych do kontenera i dodanie do obliczonej w ten sposób wagi masy pustego kontenera, przy użyciu metody zaaprobowanej przez prawo kraju, w którym dokonuje się załadunku kontenera.

System RFID mógłby umożliwić kontenerom ominięcie stanowisk wagowych w terminalach. Kontener mógłby być obsługiwany przez system ważenia w ruchu, czyli będąc cały czas na naczepie. Wystarczyłoby, by ciężarówka przejechała po czujnikach umieszczonych w jezdni przy bramie wjazdowej do

terminalu. Tag zamontowany w kontenerze byłby czytany przez czytnik i tym samym jego istotne dane byłyby przejrzane. Jeżeli kontener spełniałby wszystkie wymagane normy, mógłby mieć zgodę na załadowanie go na statek. Mimo że dzięki temu rozwiązaniu tylko kilka minut oszczędzono by przy ważeniu, to skumulowane oszczędności byłyby znaczące.

Zagadnienie weryfikacji wagi kontenerów wprowadzanych na statki ma niebagatelne znaczenie także dla bezpieczeństwa życia na morzu. Średniej wielkości kontenerowiec może bowiem jednorazowo załadować około 8000 kontenerów. Przy tej liczbie nawet niewielkie nieprawidłowości w wadze zadeklarowanej mogą doprowadzić do tragedii. W przeszłości niedoważenie lub przeładowanie kontenerów wielokrotnie powodowało zapadanie się całych stosów kontenerów, problemy ze stabilnością i sterownością statku, przekraczanie dopuszczalnych naprężeń kadłuba oraz obrażenia i śmierć członków załogi przebywających na pokładzie (Neumann 2016).

Inteligentny system drogowy, wykorzystujący technologię RFID, mógłby zostać wykorzystany również przez pojazdy bezzałogowe. Kosztowo nierozsądne byłoby budowanie dedykowanych dróg dla takich pojazdów, gdyż jest to nieopłacalne, a zdolność przystosowania się do nich byłaby niska. Ponadto dodanie do aktualnych dróg osobnego pasa dla autonomicznych pojazdów mogłoby zmniejszyć ruch. Jednak w niedalekiej przyszłości elastyczny system, który dostarczałby dokładnych informacji drogowych, mógłby być istotnym elementem infrastruktury dla pojazdów autonomicznych (Neumann 2017).

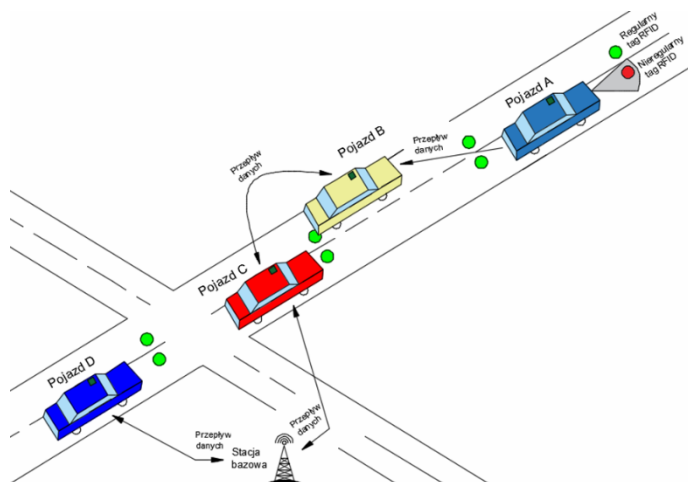
System RFID jest doskonałą technologią do obsługi pojazdów autonomicznych na drogach z następujących powodów:

- jest mniej kosztownym systemem zapewniającym podobne funkcje aniżeli kontrola fizyczna;
- jest skalowalny – zarówno rozmieszczenie, jak i przesunięcie elementów systemu jest łatwe;
- jest elastyczny, a znaczniki są przeprogramowalne – w związku z tym informacje mogą być aktualizowane zgodnie z potrzebami;
- kierowcy również mogliby korzystać z bezzałogowych pasów, jeśli czuliby się bezpiecznie;
- system RFID w transporcie drogowym zawierałby zestaw systemów wspomagających zarówno pojazdy załogowe jak i bezzałogowe, takich jak: nawigacja, znaki drogowe, pomoc przy parkowaniu, kontrola dostępu i oszacowanie odległości;
- system RFID mógłby dostarczać informacje pomocne przy patrolach, np. śledziłby pojazdy na drodze wraz z zaznaczaniem godziny, co pomogłoby w identyfikacji osoby popełniającej wykroczenie, które spowodowało wypadek. System informowałby także, czy został on spowodowany przez autonomiczny pojazd, czy też przez pojazd kierowany przez człowieka. Problem ten z pewnością będzie nasilał się z biegiem czasu;

- system RFID jest solidny, a dzięki temu, że znaczniki RFID są tanie, możliwe jest stosunkowo gęste ich rozmieszczenie. W wyniku tego, awaria jednego taga nie ma wpływu na system, a takie uszkodzenie mogłoby być łatwo namierzone.

System RFID mógłby także wspierać przyszłe inteligentne aplikacje drogowe. Składałby się z czytników i tagów RFID oraz jednostek wymiany i przetwarzania informacji. Tagi RFID mogłyby być rozmieszczone na powierzchni drogi, a czytniki zainstalowane w pojazdach. Informacje byłyby pozyskiwane przez samochód z osadzonych czujników oraz tagów RFID, następnie przetwarzane i transmitowane do innych pojazdów oraz stacji bazowych za pomocą komunikacji RFID. Występowałyby dwa rodzaje znaczników, czyli te, które zawierałyby regularne informacje drogowe (np. określanie pozycji – tagi oznaczone kolorem zielonym na rys. 5), oraz te zawierające wyjątkowe (nieregularne) informacje, np. odległość od dziury na drodze (kolor czerwony na rys. 5). Informacje wyjątkowe byłyby udostępniane zbliżającym się pojazdom.

Jak widać na rysunku 5, pojazd A odczytał czerwony znacznik z nieregularną informacją. Następnie wysłał odczytane informacje do pojazdu B, a pojazd B podzielił się nimi z pojazdem C, który wysłał je do stacji bazowej. Teraz stacja bazowa może powiadomić pozostałe pojazdy (np. pojazd D), że zbliżają się do obszaru, gdzie występują wyjątkowe informacje (Surmacz 2017).



Rys. 5. Przykładowy schemat pracy systemu RFID wykorzystywanego na drogach

Fig. 5. An example of how the RFID system works on roads

Technologia RFID mogłaby być wykorzystywana również w systemie śledzenia pojazdów jadących pod prąd. Liczba zdarzeń jazdy w kierunku przeciwnym do toru ruchu wzrasta. Wysokie natężenie ruchu oraz szybka jazda kierowców sprawiają, że pojazd wjeżdżający na autostradę ze złego kierunku ma dużą szansę

na poważny i śmiertelny wypadek. W środowisku miejskim prędkość jest mniejsza, jednak kolizji nie zawsze da się uniknąć ze względu na brak miejsca. Główne przyczyny jazdy w złym kierunku stanowią:

- próby samobójcze;
- ignorowanie znaków;
- zmęczenie kierowcy;
- złe warunki pogodowe;
- zła widoczność;
- zamierzone wjazdy, aby skrócić drogę.

Celem systemu sterowania pojazdami jadącymi pod prąd jest jak najszybsze ostrzeżenie pozostałych użytkowników dróg o samochodzie jadącym wprost na nich. Taki system wczesnego wykrywania mógłby być wspierany przez technologię RFID poprzez wdrożenie czytników RFID na poboczu drogi. Drogowe czytniki skanowałyby ruch na skrzyżowaniach. Pojazd poruszający się w złym kierunku musiałby minąć przynajmniej dwa detektory, gdyż system na podstawie kolejności wykrywania mógłby stwierdzić, czy kierunek jest prawidłowy, czy nie. Używanie dużych zasięgów aktywnych tagów RFID (do 100 m) mogłoby pozwolić także na uzyskanie informacji dotyczących kierunku podróży pojazdów oraz wykrycia kierowców jadących w niewłaściwym kierunku nawet przy dużych prędkościach, w środowisku autostradowym.

4. PODSUMOWANIE

Technologia RFID coraz częściej znajduje zastosowanie w transporcie lądowym, niosąc za sobą szereg korzyści specyficznych dla danego obszaru. Automatyzacja danego procesu, przekładająca się na oszczędność czasu, zalicza się do jednej z najważniejszych zalet. Dane gromadzone są szybko, z wysoką jakością, umożliwiając szybki dostęp do zasobów danych, co jest dodatkowym plusem. Na niezawodność rozwiązań wskazuje szerokie zastosowanie tej technologii przez komunikację miejską.

Nowe technologie wprowadzane w życie rozwijają się bardzo szybko wraz z postępem techniki. Technologia RFID znalazła do tej pory wiele różnorodnych zastosowań w niemalże wszystkich dziedzinach życia. Wiele korzyści przynosi jej zastosowanie w rozwiązaniach logistyki miejskiej. Przykładowe przedstawione rozwiązania pozwoliłyby m.in. oszczędzić miliardy złotych z budżetu państwa, które mogłyby być przeznaczone na inne cele. Pozwalałyby również ocalić życie wielu osób, zwiększyć bezpieczeństwo na drogach oraz ułatwić pracę służb, takich jak Ratownictwo Drogowe, Straż Pożarna czy Inspekcja Transportu Drogowego.

Wzrost popytu na technologię RFID jest naturalną konsekwencją rozwoju społeczeństwa oczekującego dostępu do bieżącej informacji. Początkowo techno-

logia była opracowana w celu identyfikacji obiektów i zwierząt. Teraz może być wykorzystywana w celach lokalizacji pojazdów, gdzie gwarantuje wysoką dokładność pomiarów, niespotykaną choćby w systemie GPS.

RFID jest nowoczesną technologią efektywnie wspierającą logistyczny system informacyjny. To stabilna technologia, która niesie ze sobą udowodnione korzyści biznesowe. Powinna być wykorzystywana wszędzie tam, gdzie istotny jest wzrost efektywności, poprawa obsługi czy zmniejszenie strat. Mając na uwadze globalny charakter procesów zachodzących w branży transportu, firmy powinny zadbać o to, by móc działać globalnie z wykorzystaniem nowoczesnych technologii informacyjnych. Etykiety RFID są wykorzystywane wielokrotnie, mogą być czytane i zapisywane, więc w wielu przypadkach są nawet tańsze niż technologia kodów kreskowych. Ograniczony zostaje nakład pracy i materiałów wykorzystanych do oznakowania. Korzyści należy zatem rozpatrywać długofalowo, a nie na podstawie porównania jednostkowych czytników i etykiet.

Systemy informatyczne wspomagane tą technologią umożliwiają sprawowanie pełnej kontroli nad większością procesów zachodzących w systemach transportowych. Główną zaletą zastosowania technologii RFID w obszarach transportu drogowego jest automatyzacja procesów. Przyczynia się do obniżenia kosztów obsługi oraz skrócenia czasu jej trwania, co wpływa na zmniejszenie lub eliminację kolejek pojazdów, które są częstą cechą systemów obsługiwanych ręcznie.

LITERATURA

- Assaf, M.H., Williams, K.M., 2011, *RFID for Optimisation of Public Transportation System*, 2011 Seventh International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, s. 407–412.
- Bentyn, Z., 2014, *Odporność globalnych łańcuchów dostaw na zmiany otoczenia gospodarczego*, *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, nr 5, s. 44–56.
- Bolic, M., Simplot-Ryl, D., Stojmenovic, I., 2010, *RFID Systems: Research Trends and Challenges*, John Wiley & Sons.
- Kathawala, Y., Tueck, B., 2008, *The Use of RFID for Traffic Management*, *International Journal of Technology, Policy and Management*, no. 8.
- Lai, F., Hutchinson, J., Zhang, G., 2005, *Radio Frequency Identification (RFID) in China: Opportunities and Challenges*, *International Journal of Retail & Distribution Management*, no. 33(12), s. 905–916.
- Masse, D., 2004, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification Second Edition*, *Microwave Journal*, no. 47(10), s. 168–169.
- Neumann, T., 2016, *The Shortest Path Problem with Uncertain Information in Transport Networks*, w: *Challenge of Transport Telematics*, Mikulski, J. (ed), *Communications in Computer and Information Science*, Springer International Publishing, Katowice – Ustroń, s. 475–486.
- Neumann, T., 2017, *Fuzzy Routing Algorithm in Telematics Transportation Systems*, w: *Smart Solutions in Today's Transport*, Mikulski, J. (ed.), *Communications in Computer and Information Science*, Springer International Publishing, Katowice – Ustroń, s. 494–505.

- Niemojewski, P., 2007, *Wprowadzenie do technologii RFID. Płatności bezstykowe – dziś i jutro*, Medien Service, Warszawa.
- Surmacz, N., 2017, *Technologia RFID w transporcie drogowym*, praca inżynierska, Akademia Morska w Gdyni.
- Szczuka, M., 2015, *RFID Technology, as Object of Researches in a Group of Young People*, Research in Logistics & Production, no. 5(2), s. 201–209.
- Wang, W., Fan, S., 2009, *RFID Technology Application in Container Transportation*, Joint Conferences on Pervasive Computing (JCPC), s. 639–642.
- Waśniewski, T., Czarnecki, M., Marcinkowska, A., Szymańska, M., 2015, *Zastosowanie technologii RFID w logistyce miejskiej*, Systemy Logistyczne Wojsk, nr 42, s. 204–220.