

2. Podział i rozwój systemów pomiarowych RFID stosowanych w identyfikacji i pomiarach bezprzewodowych

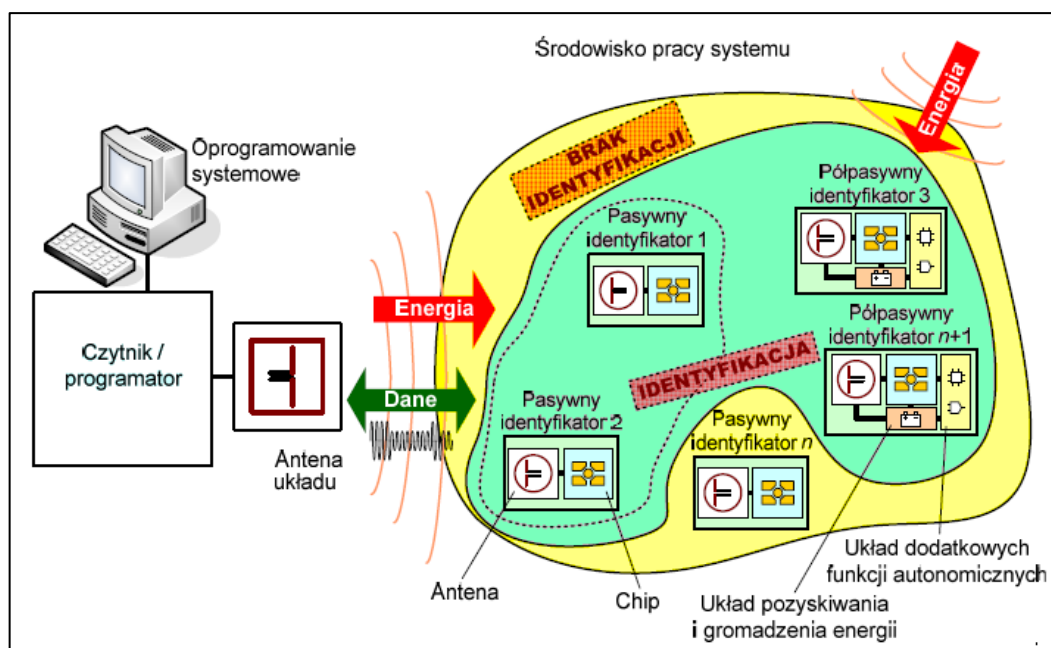
2.1. Technologia radiowych systemów pomiarowych RFID

Technologia RFID jest nowoczesną techniką radiowej identyfikacji obiektów, która do przesyłania danych wykorzystuje fale radiowe. System RFID umożliwia zautomatyzowanie licznych procesów poprzez bezstykową identyfikację przedmiotów, osób oraz zwierząt. System ten składa się z urządzeń nadawczo – odbiorczych oraz znaczników. Część sprzętowa zawiera transponder, czytnik z anteną i oprogramowanie. Czytniki systemu RFID mogą identyfikować obiekty bez bezpośredniej widoczności zakodowanego identyfikatora, co jest wymagane w przypadku czytników kodów kreskowych. Czytniki mogą identyfikować wiele obiektów jednocześnie, nawet jeżeli obiekty te znajdują się w ruchu. Dane zapisane na transponderze są kodowane i mogą być wiele razy odczytywane i zapisywane, przy czym mogą być również zabezpieczone hasłem.

2.1.1. Zasada i działanie systemów RFID

Systemy RFID składają się z urządzeń nadawczo-odbiorczych, czyli czytnika oraz znacznika nazywanego inaczej transponderem. Czytnik jest to układ elektroniczny do którego przyłączona jest antena. Ma za zadanie realizować proces komunikacji z transponderem. Zasilą również znaczniki RFID w układach pasywnych. Znacznik (transponder) jest to obwód elektryczny złożony z układu scalonego oraz anteny. Może on przechowywać, odbierać oraz wysyłać informacje. W pasywnych układach RFID znacznik nie posiada baterii, a zasilany jest poprzez falę elektromagnetyczną, która emitowana jest przez czytnik. Rysunek 2.1. przedstawia zasadę działania oraz elementy składowe systemów RFID.

Zasada działania systemów RFID opiera się na zastosowaniu fal radiowych, które wykorzystywane są do przesyłania danych oraz do zasilania przez czytnik układu elektronicznego w celu identyfikacji obiektu. Dane przechowywane są za pomocą znacznika, który zasilany jest poprzez pole elektromagnetyczne wytwarzane przez antenę czytnika. Dane ze znacznika trafiają do systemu nadrzędnego, co umożliwia odczyt oraz zapis danych. System RFID nie wymaga kontaktu z identyfikowanym przedmiotem, tak jak w przypadku kodów kreskowych, co jest zaletą tych systemów. Etykiety mogą być odczytywane z odległości kilkudziesięciu centymetrów, ale również z odległości kilku metrów w zależności od konstrukcji sprzętu. [4, 8, 16]



Rys. 2.1. Zasada działania i elementy składowe systemu RFID [16]

Tab. 2.1. Wady i zalety technologii RFID [6, 7, 9, 11]

Zalety	Wady
1. Nie wymaga bezpośredniej widoczności między znacznikiem a czytnikiem.	1. Wysokie koszty zakupu urządzeń.
2. Zautomatyzowany odczyt nie wymagający działań operatora.	2. Wysokie koszty napraw i serwisowania.
3. Czytnik może odczytywać dużą liczbę znaczników jednocześnie (system antykolizji).	3. Wpływ warunków środowiska na działanie systemu (zakłócenia elektromagnetyczne, bliskość metali lub cieczy).
4. Możliwość odczytu przez przeszkody takie jak opakowanie obiektu.	4. Wpływ warunków atmosferycznych na działanie systemu (wilgotność, oblodzenie).
5. Możliwość wielokrotnego zapisu i odczytu danych.	5. Brak możliwości określenia dokładnej lokalizacji obiektu.
6. Zapis nie jest jednorazowy, można go wiele razy aktualizować.	6. Problemy społeczne wynikające z redukcji personelu sklepów, magazynów itp.
7. Duża pojemność pamięci.	7. Wykorzystywanie technologii RFID w celu zbierania informacji o preferencjach konsumentów w sieciach handlowych.
8. Mogą stanowić system kradzieżowy.	8. Możliwość cyberataku na sieci RFID.
9. Automatyczne śledzenie przepływu dóbr.	
10. Możliwość umieszczania identyfikatorów bezpośrednio w produkcie lub opakowaniu.	
11. Możliwość pracy w trudnych warunkach (odporność na zabrudzenia, wysokie i niskie temperatury, agresywne chemikalia).	
12. Duże bezpieczeństwo danych (zabezpieczanie dostępu hasłem).	
13. Możliwość integracji z innymi systemami automatycznej identyfikacji (np. kody kreskowe).	

2.1.2. Budowa i podział transponderów

Znaczniki, inaczej tzw. transpondery możemy podzielić ze względu na ich źródła zasilania, wykonanie, częstotliwość oraz zasięg pracy, pamięć, możliwość odczytu lub również zapisu danych. W systemach RFID wykorzystywane są układy pasywne, półpasywne oraz aktywne. Znaczniki w zależności od aplikacji występują w różnych rozmiarach i wykonane są z różnych materiałów. Budowa zależy od częstotliwości i warunków w jakich dany znacznik ma pracować. Są mocowane na konkretnym obiekcie do identyfikacji i służą do emisji danych. Transmisja danych w tych systemach jest obustronna, a więc znacznik odbiera sygnał i wysyła go z powrotem do czytnika.

Tab. 2.2. Klasyfikacja znaczników RFID [11, 12]

Źródło zasilania	Częstotliwość	Funkcjonalność	Protokół	Przesyłanie energii i komunikacja	Czujniki
Aktywne	LF	Klasa 0	Protokół	Sprzężenie	Lokalizacja
Półpasywne	HF	Klasa 1	otwarty.	indukcyjne	Warunki
Pasywne	UHF	Klasa 2		bliskiego pola.	środowiskowe
Bezczipowe	Mikrofale	Klasa 3	Protokół		Temperatura
Czipowe		Klasa 4	prawnie	Rozpraszanie	Wilgotność
		Klasa 5	zastrzeżony.	wsteczne	Wibracje
				dalekiego pola.	Ciśnienie
				Urządzenie nadawcze w znaczniku (znacznik aktywny).	

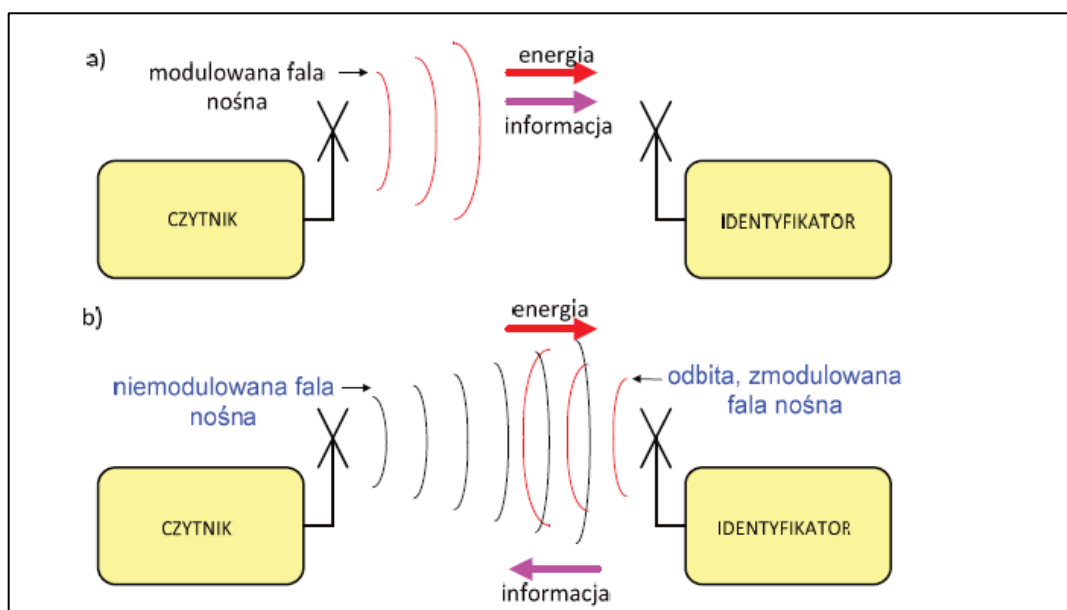
Transponder RFID to radiowe urządzenie nadawcze lub nadawczo-odbiorcze, które poprzez pobudzenie sygnałem radiowym o danej częstotliwości wysyła sygnał z kodowanym danymi identyfikacyjnymi. Budowa transpondera składa się z układu scalonego oraz anteny, które umieszczone są na określonym podłożu lub w określonej obudowie, w której ponadto może znajdować się bateria służąca jako źródło zasilania. Układ scalony składa się z procesora, pamięci oraz nadajnika radiowego. W zależności od zastosowania obudowa transpondera może być różnej postaci. Do identyfikacji osób używane są transpondery zaprasowane wewnątrz plastikowych kart, natomiast przy identyfikacji zwierząt używa się

transponderów w postaci kolczyków. Istnieją również identyfikatory samoprzylepne, które można bezpośrednio mocować do przedmiotu lub jego opakowania. Taki identyfikator można również mocować na paletach, w których znajduje się wiele opakowanych przedmiotów. Transpondery mogą posiadać pamięć tylko do odczytu, które posiadają numer seryjny i niezmiennie dane lub pamięć zapisywania danych, które można ponownie wielokrotnie odczytywać oraz modyfikować. [11, 12]

Transpondery można podzielić na:

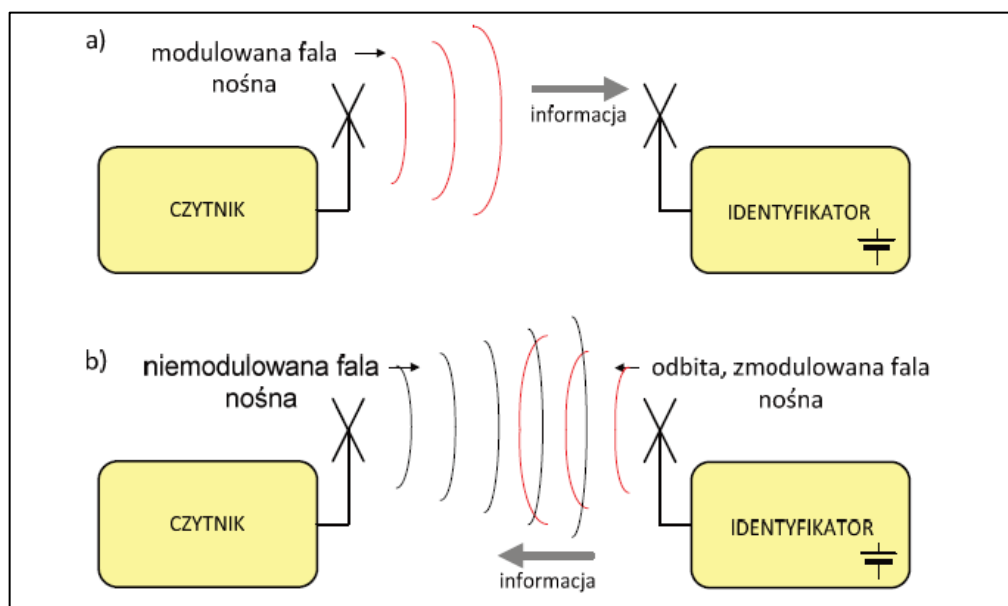
- pasywne – energia uzyskiwana jest tylko z pola elektromagnetycznego, które wytwarzane jest przez czytnik;
- aktywne – nadajnik RF zasilany baterią;
- półpasywne (semi-pasywne) – czujnik zintegrowany z transponderem zasilany jest przez baterie, natomiast bateria ta nie zasila nadajnika RF.

Transponder pasywny zbudowany jest z anteny oraz obwodu elektrycznego, czyli odpowiedniego układu scalonego, które wymagają od dziesiątek do setek mikro watów mocy dostarczanej bezprzewodowo. Na odległość odczytu wpływa poziom mocy nadajnika, a także czułość obwodów detekcyjnych czytnika. Identyfikatory pasywne posiadają prostownik napięcia indukowanego w antenie, które zasila układ identyfikatora. Transponder może identyfikować dane przedmioty tylko wtedy gdy znajduje się w polu magnetycznym lub elektromagnetycznym wzbudzonym przez czytnik. [4, 5, 12]



Rys. 2.2. Schemat działania pasywnego systemu RFID: a) zapytanie czytnika, b) odpowiedź identyfikatora [5]

Transponder aktywny składa się z układu antenowego, źródła zasilania w postaci baterii, układu elektronicznego posiadającego dużą pamięć oraz zawierającego odbiornik i nadajnik, a także odpowiedniej obudowy znacznika. Energia z baterii zasila układ elektroniczny. Nie potrzeba zewnętrznego pola elektromagnetycznego, aby nadać sygnał w kierunku odbiornika. Identyfikatory aktywne działają na zasadzie zwrotnej modulacji fali odbitej od anteny. Aktywny transponder posiada czasami inne sensory tj. sensor temperatury lub wilgotności. Znaczniki te są większe i droższe niż znaczniki pasywne. Zaletą tego typu systemów jest wysoki zasięg, który może wynosić do setek metrów. Posiadają również większą niezawodność oraz pojemność pamięci. Wykorzystywane są do identyfikacji samochodów w ruchu. Czas przydatności takiego transpondera z powodu baterii wykorzystywanej do zasilania jest ograniczony i wynosi maksymalnie 5 lat. W okresach kiedy znacznik nie jest odczytywany prąd pobierany z baterii się zmniejsza, co ewentualnie wydłuża żywotność transpondera. [4, 5, 12]



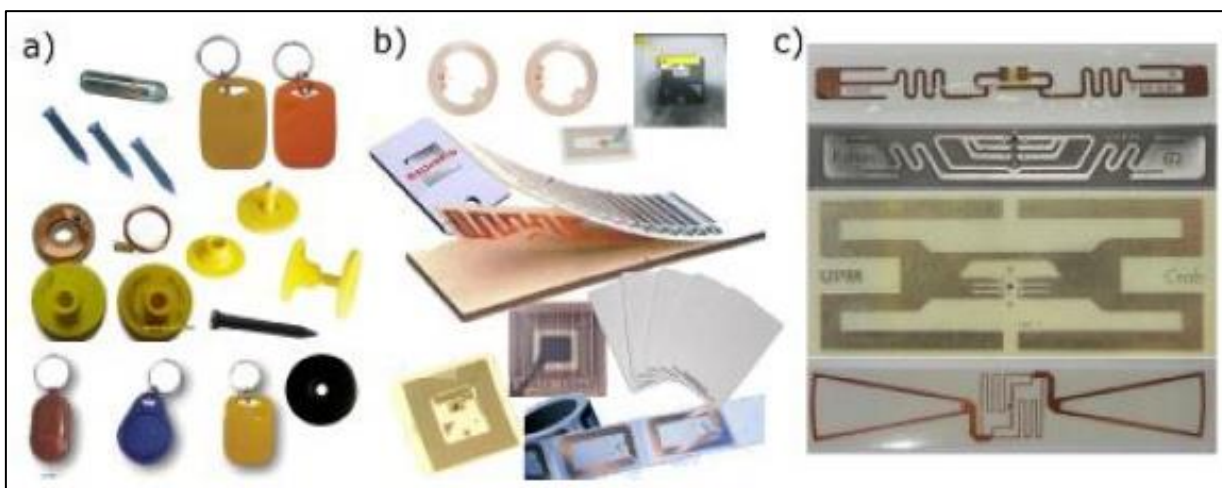
Rys. 2.3. Schemat działania aktywnego identyfikatora RFID: a) zapytanie czytelnika, b) odpowiedź identyfikatora [5]

Transponder semi-pasywny nie posiada radiowej części nadawczej, natomiast posiada baterię, która dostarcza zasilanie do obwodów elektrycznych identyfikatora. Informacja zwrotna przesyłana jest tak samo jak w przypadku transpondera pasywnego, natomiast zasięg odczytów transponderów semi-pasywnych jest większy niż w przypadku transpondera pasywnego i dochodzi nawet do 100m. Zasięgi odczytów ogranicza czułość odbiornika znajdującego się w czytniku. Wyposażony jest w układ pozyskujący energię z otoczenia, która przetwarzana jest w postać elektryczną. Najczęściej energię pozyskuje się z pól

elektromagnetycznych, pochodzących od stacji nadawczych TV, stacji radiofonicznych czy też stacji bazowych telefonii komórkowych GPS. Energia gromadzona jest w kondensatorze o dużej pojemności, który zintegrowany jest z identyfikatorem. Wykorzystywana jest do zasilania układu. Identyfikator semi-pasywny wykorzystywany jest do identyfikacji pojazdów na drogach z płatnymi przejazdami. [4, 5, 12]

Tab. 2.3. Wady i zalety poszczególnych transponderów [4, 12]

Rodzaj transpodnera	Zalety	Wady	Wykorzystanie
Transponder pasywny	<ul style="list-style-type: none"> długi czas życia, wysoka odporność na narażenia środowiskowe, małe wymiary, niski koszt. 	<ul style="list-style-type: none"> ograniczony zasięg odczytu (do kilku metrów). 	<ul style="list-style-type: none"> wykorzystywany w aplikacjach technologii RFID.
Transponder semi-pasywny	<ul style="list-style-type: none"> większy zasięg niż w przypadku znacznika pasywnego, większa moc obliczeniowa układów scalonych, umożliwiają ciągłą pracę dodatkowym układom np. sensorom. 	<ul style="list-style-type: none"> wyższa cena ze względu na zasilanie bateryjne i obudowę, ograniczony czas życia z powodu baterii. 	<ul style="list-style-type: none"> identyfikacja pojazdów na drogach z płatnymi przejazdami, śledzenie towarów i przesyłek wewnątrz fabryk.
Transponder aktywny	<ul style="list-style-type: none"> wysoki zasięg odczytu (do setek metrów), większa niezawodność większa pojemność pamięci. 	<ul style="list-style-type: none"> wyższa cena ze względu na zasilanie bateryjne i obudowę, ograniczony czas życia z powodu baterii. 	<ul style="list-style-type: none"> wykorzystywany w zaawansowanych systemach logistycznych, identyfikacja samochodów w ruchu.



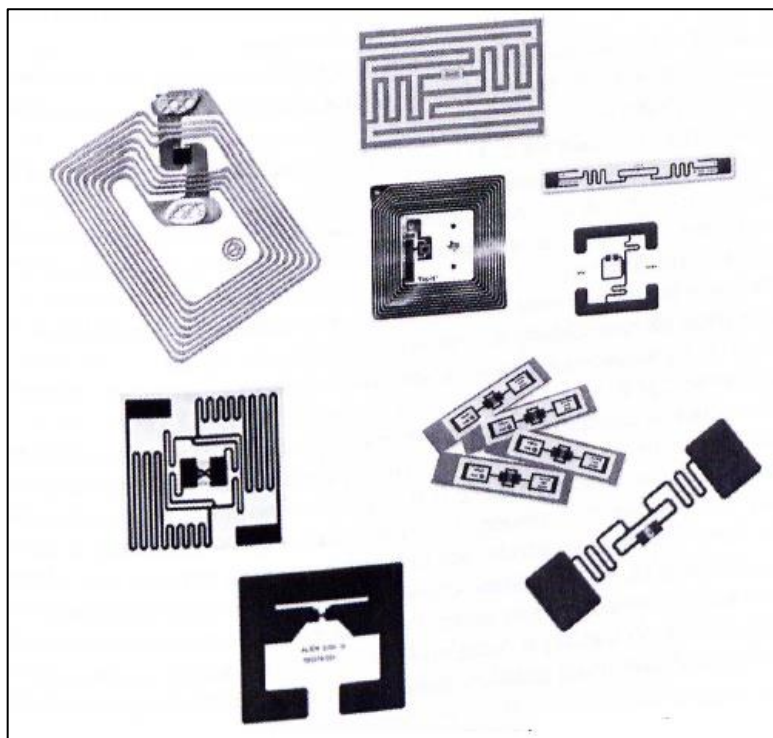
Rys. 2.4. Rodzaje transponderów RFID pracujących w różnych częstotliwościach: a) transpondery LF, b) transpondery HF, c) transpondery UHF [12]

Tab. 2.4. Podział znaczników RFID na klasy [4]

Klasa znacznika	Rodzaj znacznika	Klasyfikacja
klasa 0/1	znaczniki pasywne (z podstawową funkcjonalnością)	<ul style="list-style-type: none"> klasa 0 – znaczniki zaprogramowane fabrycznie, klasa 1 – znaczniki z możliwością programowania przez użytkownika.
klasa 2	znaczniki pasywne (z dodatkową funkcjonalnością)	<ul style="list-style-type: none"> szyfrowanie, pamięć z opcją odczytu i zapisu.
klasa 3	znaczniki półpasywne (z bateryjnie zasilanym obwodem)	<ul style="list-style-type: none"> większy zasięg, możliwa komunikacja szerokopasmowa, proste układy sensorów.
klasa 4	znaczniki aktywne	<ul style="list-style-type: none"> nadajnik aktywny, komunikacja w układzie każdy z każdym, złożone układy sensorów.
klasa 5	moc do zasilania i aktywowania innych znaczników	<ul style="list-style-type: none"> głównie czytniki

Układ scalony znacznika RFID wymaga połączenia z odpowiednim układem antenowym. Układy antenowe różnią się kształtem w zależności od częstotliwości, w których pracuje dany znacznik. W systemach działających w polu bliskim anteną jest długi przewodnik z przerwą

izolacyjną pomiędzy ścieżkami, natomiast w systemach działających w polu dalekim stosuje się różne kształty anten z budową dipolową. [4]



Rys. 2.5. Przykładowe kształty anten znaczników RFID [4]

2.1.3. Czytniki systemów RFID

Czytnik systemów RFID składa się przede wszystkim z obudowy, elektroniki, źródła zasilania oraz anteny. Jest to radiowe urządzenie nadawczo-odbiorcze, którego nadajnik przy pomocy anteny emituje energię do uaktywniania znaczników oraz modyfikacji danych zapisywanych w pamięci. Zadaniem odbiornika jest demodulacja i dekodowanie danych nadawanych przez znacznik.

W przypadku czytników stacjonarnych sygnał dekodowany jest i przesyłany do komputera za pomocą łącza kablowego. Czytniki te są stale w trybie czuwania i wykrywają tylko znaczniki znajdujące się w strefie odczytu, która może sięgać od 3 m do 6 m. Tworzą strefy automatycznej identyfikacji wszystkich znaczników znajdujących się w tej strefie. Stosowane są na przykład w bramach magazynów do identyfikacji przyjmowanych i wydawanych towarów.

Czytniki ruchome można montować na wózkach widłowych do przewozu palet z towarami oznaczonymi znacznikami. Powinny one identyfikować tylko przewożone palety.

Wyróżnia się również czytniki przenośne, które zintegrowane są z anteną oraz zasilane z wbudowanej baterii lub akumulatora. Są one połączone z komputerem drogą radiową. Takie czytniki wykorzystywane są głównie w systemach pasywnych. W celu powiększenia odległości odczytu wyposażone są w anteny kierunkowe. [4, 11]



Rys. 2.6. Przykładowe stacjonarne i przenośne czytniki RFID [4]

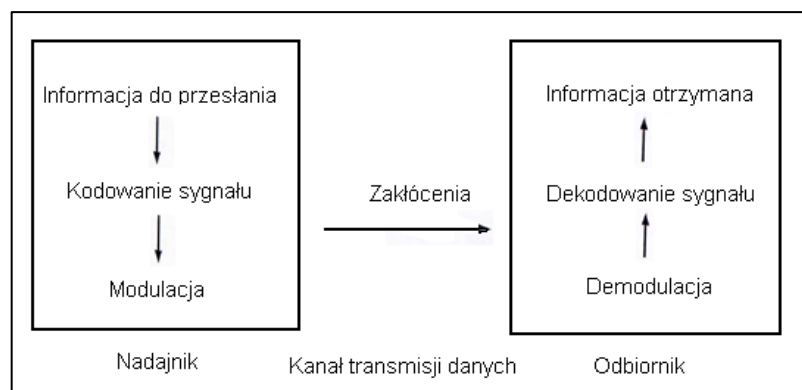
Tab. 2.5. Funkcje czytników RFID [4, 11]

Podstawowe funkcje czytników	Dodatkowe funkcje czytników
<ul style="list-style-type: none"> • zdalne zasilania znaczników (systemy pasywne), • dwukierunkowy proces odczytu i zapisu danych, • inwentaryzacja znaczników, • komunikacja z serwerami sieciowymi. 	<ul style="list-style-type: none"> • filtracja danych poprzez usuwanie zduplikowanych odczytów, • wykorzystywanie protokołów antykolizyjnych w celu odczytywania i zapisywania wielu znaczników jednocześnie, • autoryzacja znaczników w celu uniknięcia niepożądanego dostępu do danych, • szyfrowanie danych.

2.2. Klasyfikacja i podział technik radiowej identyfikacji

Pole magnetyczne jest to obszar w którym występują materiały o właściwościach magnetycznych. Oddziałuje ono na ładunki elektryczne poruszające się w jego obszarze oraz na ciała posiadające moment magnetyczny. Pole elektryczne posiada źródło w ładunkach elektrycznych. Pole elektromagnetyczne jest to układ pola elektrycznego i magnetycznego. Promieniowanie elektromagnetyczne takiego pola posiada własności falowe, które wykorzystywane są w systemach RFID do przesyłania informacji pomiędzy czytnikiem lub programatorem a znacznikiem RFID. W systemach wykorzystujących do przesyłu danych drogę radiową w pierwszej kolejności sygnał jest kodowany, natomiast w drugiej modulowany oraz przesyłany do odbiornika, gdzie z kolei zachodzi proces demodulacji i dekodowania. Parametry charakteryzujące fale radiowe to częstotliwość, amplituda i faza. Częstotliwość fali jest to liczba cykli zjawiska okresowego występującego w jednostce czasu, amplituda fali jest to najwyższe wychylenie od stanu równowagi fali, czy od poziomu zerowego funkcji okresowej, natomiast faza jest to wartość, która określa położenie danego zjawiska okresowego w części okresu fali.

Dane przesyłane do znaczników oraz odbierane przez czytniki kodowane są za pomocą sygnału binarnego. Kodowanie to odbywa się poprzez zmianę sposobu reprezentacji systemu binarnego w celu ochrony przesyłu danych m.in. przed zakłóceniami. Zakodowane dane poddawane są modulacji. Modulacja sygnału nośnego polega na uzależnieniu wybranego parametru od sygnału modulującego. Przykładami modulacji są modulacje amplitudy AM, modulacje częstotliwości FM i modulacje fazy PM. W technologii RFID do modulacji sygnałów cyfrowych wykorzystuje się m.in. modulację ASK, która polega na kluczkowaniu amplitudy fali, natomiast częstotliwość i faza fali nie ulegają zmianie. Modulacja FSK polega na kluczkowaniu częstotliwości, natomiast modulacja PSK na kluczkowaniu fazy sygnału nośnego. [4]



Rys. 2.7. Proces demodulacji i dekodowania sygnału w systemie RFID [4]

2.2.1. Częstotliwość pracy systemów RFID

Promieniowanie elektromagnetyczne przede wszystkim zależy od długości fali, czyli od częstotliwości promieniowania. Częstotliwość to podstawowy parametr, który wpływa na zasięg systemu, szybkość transmisji danych oraz odporność na zakłócenia. W systemach RFID wykorzystuje się częstotliwości LF, HF, UHF oraz SHF.

Tab. 2.6. Cechy użytkowe znaczników RFID [4, 12]

Częstotliwość	LF	HF	UHF	SHF
Częstotliwość pracy układów RFID	125 kHz, 134,2 kHz	1,95 MHz, 3,25 MHz, 4,75 MHz, 8,2 MHz 13,56 MHz	430 – 460 MHz	5,4 – 5,9 GHz oraz 24,125 GHz
Zasięg pracy	< 1 m	< 0,9 m	< 10–15 m (pasywne) > 2–5 km (aktywne)	< 1 m (pasywne) 2 - 15 m (BAP) < 500 m (aktywne)
Szybkość odczytu	niska	50 szt./s	600 szt./s	brak danych
Szybkość transmisji danych	niska (czytniki kontaktowe)	średnia	wysoka	bardzo wysoka
Pole komunikacji	pole bliskie (za pomocą indukcji magnetycznej)	pole bliskie (za pomocą indukcji magnetycznej)	pole dalekie	pole dalekie
Wpływ obecności cieczy przewodzących na znaczniki	brak	niski	wysoki	bardzo wysoki
Wpływ metalu na znaczniki	średni	wysoki	wysoki (pasywne) średni (aktywne)	wysoki
Dostępne znaczniki	pasywne	pasywne	pasywne, półpasywne, aktywne	pasywne, aktywne
Dostępne pamięci		2 kB	8 kB	

Częstotliwość LF obejmuje obszar od 30 kHz do 300 kHz, są to fale długie. Na takich falach i w takiej częstotliwości pracują stacje radiowe. Częstotliwości pracy układów RFID to 125 kHz oraz 134,2 kHz. Znaczniki działające w paśmie LF są to głównie znaczniki pasywne, które wymagają cewek spełniających układy antenowe. Znaczniki te mogą być umieszczone na obiektach metalowych oraz zawierających ciecze, co nie wpływa na odczyt danych. Odległość odczytu zależy od wielkości anteny czytnika.

Częstotliwość HF obejmuje obszar od 3 MHz do 30 MHz, są to fale krótkie. Częstotliwości pracy układów RFID dzielimy na dwa obszary. Pierwszy z nich wykorzystuje częstotliwość: 1,95 MHz, 3,25 MHz, 4,75 MHz oraz 8,2 MHz. Układy te nie przechowują informacji, ponieważ nie posiadają pamięci. Stosowane są tylko do identyfikacji danego obiektu. Układy, które wykorzystują częstotliwość 13,56 MHz mogą identyfikować obiekt oraz jednocześnie przechowywać informacje we własnej pamięci. Odczyt ze znaczników umieszczonych na obiektach wykonanych z metalu lub posiadających ciecze jest utrudniony. Występują również problemy z odczytem kilku znaczników jednocześnie.

Częstotliwość UHF obejmuje obszar od 300 MHz do 3000 MHz, są to fale decymetrowe. Aktywne systemy RFID działają w paśmie od 430 MHz do 460 MHz. Bez odpowiedniej modyfikacji znacznika w układach pasywnych odczyt znaczników umieszczonych na obiektach metalowych oraz obiektach zawierających ciecze jest niemożliwy.

Częstotliwość SHF obejmuje obszar od 3 GHz do 30 GHz, są to fale centymetrowe. Główna częstotliwość pracy RFID to 5,8 GHz. W zakresie 5,4 – 5,9 GHz fale te stosowane są do pobierania opłat na drogach płatnych takich jak autostrady, gdzie wykorzystuje się bramki automatyczne. Częstotliwość 24,125 GHz wykorzystywana jest do systemów alarmowych, systemów pomiaru prędkości, a także w systemach automatycznego sterowania. W częstotliwości tej mogą pracować znaczniki aktywne, pasywne oraz pasywne BAP, czyli znaczniki z bateriami, które wspierają komunikację poprzez ograniczanie zapotrzebowania na energię z czytnika. Prędkość transmisji jest większa niż w przypadku pasma UHF. Odczyt znaczników umieszczonych na obiektach wykonanych z metalu lub obiektach zawierających ciecze jest utrudniony. [4, 8, 12]

Tab. 2.7. Zastosowanie znaczników RFID działających w danej częstotliwości [4]

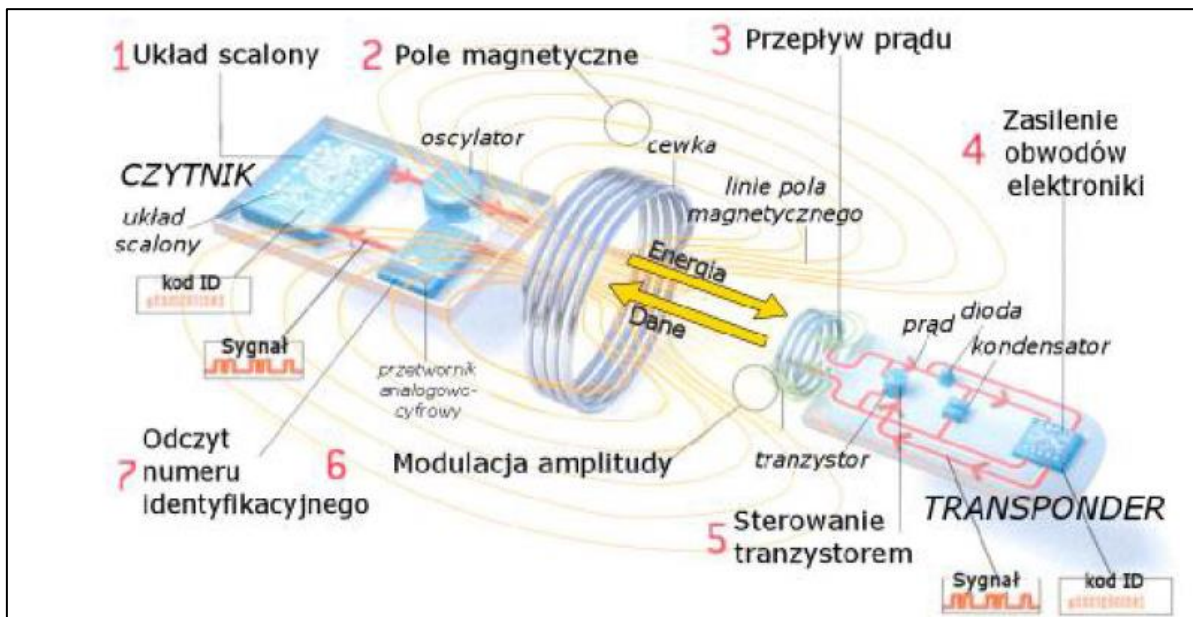
Częstotliwość	LF	HF	UHF	SHF
Sektory zastosowania	<ul style="list-style-type: none"> • hodowla zwierzęca, • przetwórstwo mięsne. 	<ul style="list-style-type: none"> • pory lotnicze, • farmacja, • ochrona zdrowia, • logistyka, • komunikacja zbiorowa. 	<ul style="list-style-type: none"> • logistyka, • produkcja. 	<ul style="list-style-type: none"> • linie lotnicze, • przemysł zbrojeniowy.
Typowe zastosowania	<ul style="list-style-type: none"> • oznakowanie zwierząt (np. pierścienie, kolczyki), • kontrola dostępu, • immobilisery, • aplikacje POS (aplikacje wspierające sprzedaż), • znaczniki SpeedPas (identyfikacja klientów np. na stacjach benzynowych). 	<ul style="list-style-type: none"> • inteligentne karty (karty płatnicze bezstykowe), • kontrola dostępu, • zarządzanie dokumentami, • oznakowanie kontenerów i opakowań zwrotnych, • biblioteki. 	<ul style="list-style-type: none"> • znaczniki pasywne – sektor towarów szybko rotujących, • znaczniki aktywne – identyfikacja, systemy lokalizacji czasu rzeczywistego, sieci sensoryczne. 	<ul style="list-style-type: none"> • logistyka, • identyfikacja i nadzorowanie ruchu pojazdów.

2.2.2. Sprzężenie indukcyjne i sprzężenie elektromagnetyczne

Technologie RFID w zależności od zasady działania możemy podzielić na układy działające na zasadzie sprzężenia indukcyjnego oraz sprzężenia elektromagnetycznego. W sprzężeniu magnetycznym transponder zasilany jest przez indukcję magnetyczną. Transponder ten działający w polu bliskim przesyła sygnał zwrotny z modulacją obciążenia. W sprzężeniu elektromagnetycznym zasilany jest energią odebraną z anteny. Transponder ten działa w polu dalekim i przesyła sygnał zwrotny przez modulację rozproszoną wsteczną.

Pasywne układy pracują w polu bliskim w niższych zakresach częstotliwości, wykorzystując przy tym zasadę sprzężenia indukcyjnego. Energia pomiędzy znacznikiem,

czyli transponderem a czytnikiem przekazywana jest poprzez pole magnetyczne. Wielkość przesyłanej energii zależy od wielkości powierzchni anteny nadawczej oraz odbiorczej i jest wielkością proporcjonalną. Obwód antenowy transpondera jest pobudzany częstotliwością rezonansową, ponieważ w obwodzie antenowym w stanie rezonansu płynie największy prąd. Strumień magnetyczny, który generowany jest przez czytnik przenika przez cewkę transpondera. Napięcie zaindukowane w cewce transpondera zasila elektronikę. Współczynnik sprzężenia określa sprawność przekazywania energii oraz zależy m.in. od częstotliwości generowanego pola magnetycznego, ilości zwojów cewek, odległości między cewkami oraz wzajemnego ułożenia cewek względem siebie. Zakładając, że antena czytnika oraz antena znacznika to dwie osobne cewki, wówczas sprzężenie indukcyjne między nimi występuje wtedy gdy cewka znacznika znajdzie się w pobliżu cewki czytnika oraz przepłynie przez nią strumień magnetyczny, który wytworzony został w cewce czytnika. Napięcie indukowane w cewce jest proporcjonalne do strumienia magnetycznego oraz do częstotliwości pola magnetycznego. Większą ilość energii, przy tej samej wielkości anteny, można przekazać zwiększając częstotliwość pola magnetycznego generowanego przez czytnik. Zgodnie z prawem Faradaya podczas przenikania przez cewkę strumienia magnetycznego na końcach cewki powstaje napięcie, które zasila obwód transpondera. Sprawność układu można zwiększyć poprzez dołączenie kondensatora tworzącego razem z cewką układ rezonansowy. Układ ten należy dostroić do częstotliwości pracy czytnika co poprawia dobroć układu, która jest miarą zdolności do tłumienia przebiegów o częstotliwości różniących się od częstotliwości rezonansowej układu. Dobroć układu jest także miarą szybkości zanikania drgań swobodnych. Wraz z jej wzrostem zmniejsza się szerokość pasma obwodu co utrudnia szybkość komunikacji. Obwód antenowy posiadający dużą dobroć układu podatny jest na rozstrojenia, które mogą być spowodowane bliskością metali oraz zmianą temperatury otoczenia, która wpływa na zmianę indukcji i pojemności obwodu. Układy RFID działające w polu bliskim na zasadzie sprzężenia indukcyjnego mogą identyfikować znaczniki oddalone od anteny o 1 m. [4, 5, 11, 12]



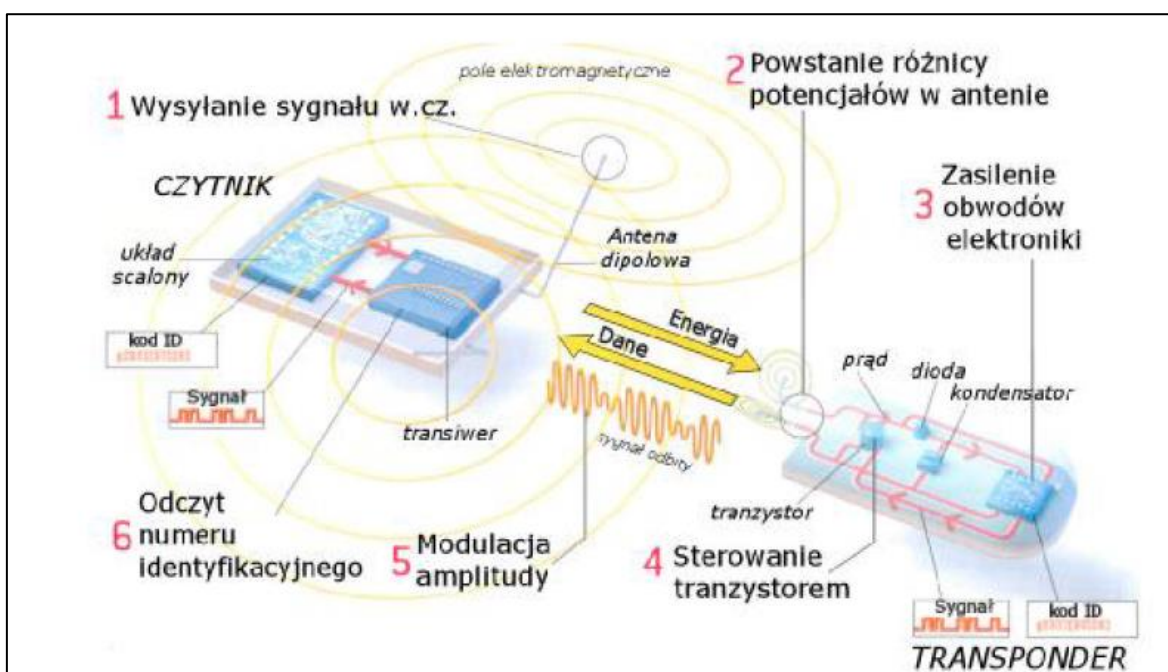
Rys. 2.8. Zasada działania systemu RFID ze sprzężeniem indukcyjnym [12]

Łączność w pasywnych systemach RFID odbywa się poprzez modulację obciążenia, modulację obciążenia z podnośną oraz poprzez wykorzystanie częstotliwości harmoniczných. Metoda modulacji obciążenia polega na załączaniu i wyłączaniu obciążenia, dzięki czemu w układzie transpondera dochodzi do zmiany parametrów układu, co wpływa na wartość napięcia na antenie czytnika. Modulację obciążenia dzieli się na rezystancyjną oraz pojemnościową.

Metoda modulacji obciążenia z podnośną oprócz załączania i wyłączania obciążenia wykorzystuje dodatkową, modulowaną sygnałem informacyjnym częstotliwość. Do modulacji wykorzystuje się modulację ASK, FSK lub PSK. Wokół częstotliwości nośnej powstają dwie wstęgi boczne przez które przekazywany jest modulowany sygnał, zamieniający binarny numer identyfikacyjny. W ten sposób można odseparować sygnał informacyjny od sygnału na częstotliwości nośnej i przy pomocy układu demodulatora odczytać przekazywaną informację. Sygnał informacyjny odseparowuje się za pomocą filtra pasmowego.

Metoda z wykorzystaniem częstotliwości harmoniczných polega na modulowaniu sygnału informacyjnego na harmoniczných częstotliwości nośnej. Wykorzystuje się przy tym dzielnik częstotliwości, którym jest liczba 2. W metodzie tej również przesył danych odbywa się na częstotliwościach różnych od częstotliwości nośnej, co ułatwia demodulację sygnału informacyjnego.

W przypadku gdy odległość pomiędzy identyfikowanymi obiektami a czytnikiem nie znajdują się w zasięgu pola bliskiego, wówczas jest to pole które nie ma już charakteru magnetycznego (indukcyjnego), a posiada charakter elektromagnetyczny. Układy RFID działające w paśmie częstotliwości przekraczającym 30 MHz działają na zasadzie sprzężenia elektromagnetycznego. Fala elektromagnetyczna rozchodzi się we wszystkich kierunkach przy czym może zostać odbita, rozproszona lub pochłonięta, jednak część energii dociera do anteny znacznika. Część fali, która zostaje odbita od znacznika wykorzystuje się do przesyłu informacji. Zjawisko to nazywamy modulacją wsteczną. Możliwa jest modulacja wartości lub fazy fali odbitej. Układy RFID działające w polu dalekim na zasadzie sprzężenia elektromagnetycznego mogą identyfikować znaczniki oddalone od anteny o 10-15 m. [4, 5, 10, 11]



Rys. 2.9. Zasada działania systemu RFID ze sprzężeniem elektromagnetycznym [12]

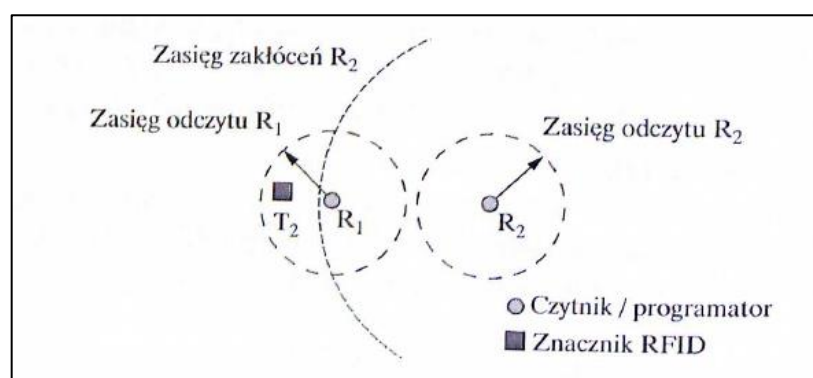
2.2.3. Własności fizyczne systemów RFID

Systemy RFID działają na zasadzie promieniowania elektromagnetycznego, które posiada własności falowe. Fala podlega prawu załamania oraz odbicia, a także może ulec interferencji i dyfrakcji co znacząco wpływa na skuteczność komunikacji pomiędzy czytnikiem a znacznikiem RFID. W systemach bardzo ważny jest także maksymalny zasięg działania pomiędzy anteną, a znacznikiem oraz szybkość działania, czyli szybkość przepływu danych.

Na zasięg działania wpływa m.in. zys energetyczny anteny, czyli stosunek gęstości mocy wypromieniowanej przez antenę do gęstości mocy wypromieniowanej przez antenę

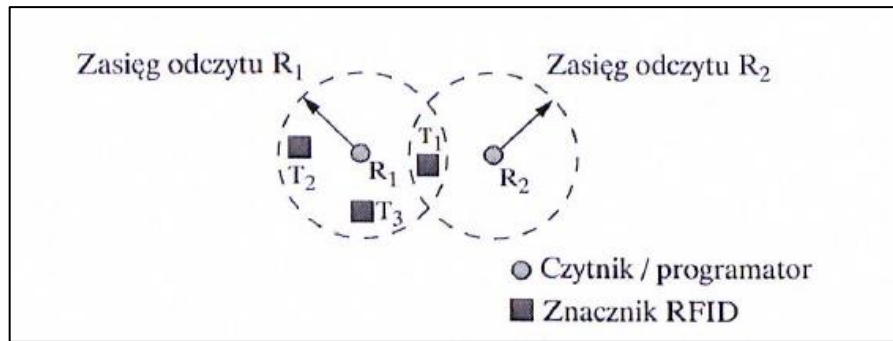
wzorcową, który wyrażany jest w jednostkach dBi oraz dBd. Na zasięg wpływa również rodzaj źródła zasilania znacznika. Najmniejszy zasięg mają znaczniki pasywne, znaczniki półpasywne uzyskują zasięg od 20 do 30 m, natomiast znaczniki aktywne posiadają duże zasięgi nawet do kilku kilometrów. Istotna przy zasięgu działania systemu jest moc czytnika, czyli uproszczona ilość wypromieniowanej z niego energii, która wyrażana jest w watach. Urządzenia muszą być również odporne na różnego typu zakłócenia występujące w otoczeniu. Najbardziej podatne na zakłócenia są systemy pasywne. Systemy aktywne posiadają własne nadajniki oraz źródła baterii, co powoduje mniejszą podatność na zaburzenia zewnętrzne. Na zakłócenia wpływają zjawiska dyfrakcji, załamania oraz odbicia fal. Na skuteczność systemów RFID wpływa również obecność obiektów metalowych oraz zawierających ciecze przewodzące. Systemy wykorzystujące sprzężenie indukcyjne są bardziej odporne na tego typu zakłócenia. Na zasięg działania pomiędzy anteną, a znacznikiem wpływa również orientacja znacznika względem orientacji anteny oraz rodzaj powierzchni, na której umieszczony jest znacznik.

Szybkość działania systemów RFID zależy od długości kodu, który ma zostać zidentyfikowany. Im większa liczba symboli identyfikatora, tym dłuższy czas jego odczytu. Istotne jest to przy realizacji procesu odczytu dużej liczby identyfikatorów będących w ruchu, gdzie czas odczytu powinien być jak najkrótszy. Format danych w znaczniku zależy od standardów. W przypadku dużej liczby znaczników oraz czytników działających blisko siebie występuje duże zagęszczenie urządzeń, które emitują fale elektromagnetyczne, co powoduje zakłócenia nazywane kolizjami. Wyróżnia się trzy typy kolizji: czytnik-czytnik, czytnik-znacznik oraz znacznik-znacznik. [4]



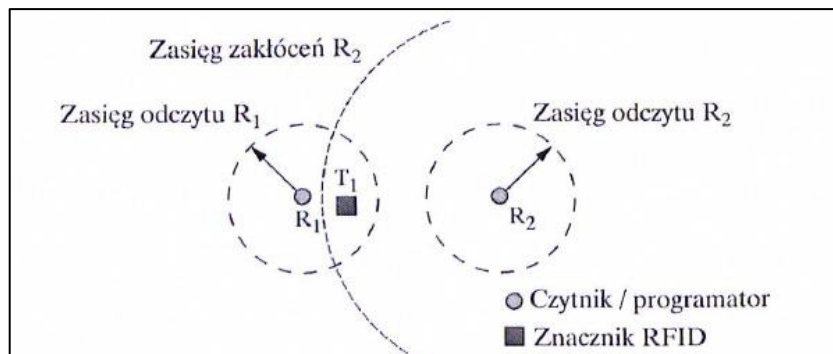
Rys. 2.10. Zakłócenia spowodowane wzajemnym oddziaływaniem na siebie czytników [4]

Czytnik R1 znajduje się poza zasięgiem czytnika R2, natomiast obszar aktywnego oddziaływania czytnika R2 oraz fale radiowe emitowane przez ten czytnik wpływają na skuteczność działania czytnika R1.



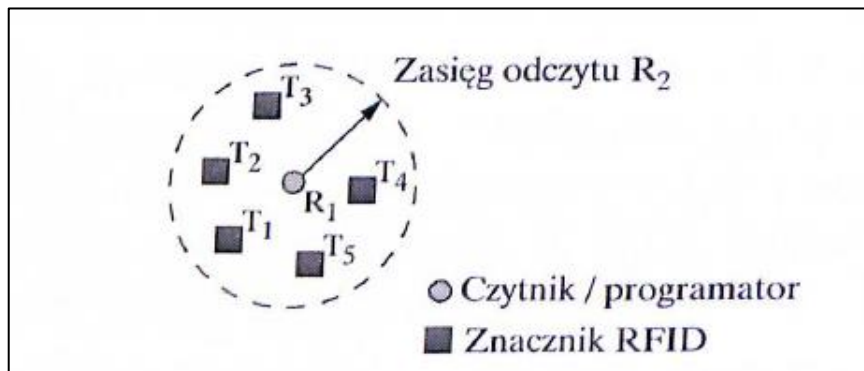
Rys. 2.11. Zakłócenia wywołane położeniem znacznika w zasięgu więcej niż jednego czytnika [4]

Znacznik T1 znajduje się w zasięgu dwóch różnych czytników, oznaczonych jako R1 oraz R2 co przedstawia powyższy schemat. Oba czytniki próbują zidentyfikować ten sam znacznik co wpływa na proces komunikacji pomiędzy znacznikiem, a czytnikiem. W takiej sytuacji odczyt tego znacznika przez oba czytniki jest niemożliwy i niezostanie dokonany. Znacznik T1 może również znajdować się w obszarze aktywnego oddziaływania znacznika R2, a nie bezpośrednio w zasięgu jego odczytu. Wówczas również występują zakłócenia odczytu spowodowane położeniem znacznika, co pokazuje schemat umieszczony poniżej.



Rys. 2.12. Zakłócenie wywołane położeniem znacznika w polu oddziaływania innego czytnika [4]

Zakłócenia mogą również występować z powodu kilku znaczników łączących się z czytnikiem jednocześnie. W tym przypadku znaczniki zakłócają się wzajemnie, a czytnik nie jest w stanie dokonać odczytu wszystkich znaczników w tym samym momencie. Poniższy schemat przedstawia tego typu zakłócenia.



Rys. 2.13. Zakłócenia wywołane obecnością zbyt wielu znaczników w polu odczytu czytnika [4]

3. Analiza obszarów i przykłady zastosowań technologii RFID w transporcie i innych dziedzinach techniki

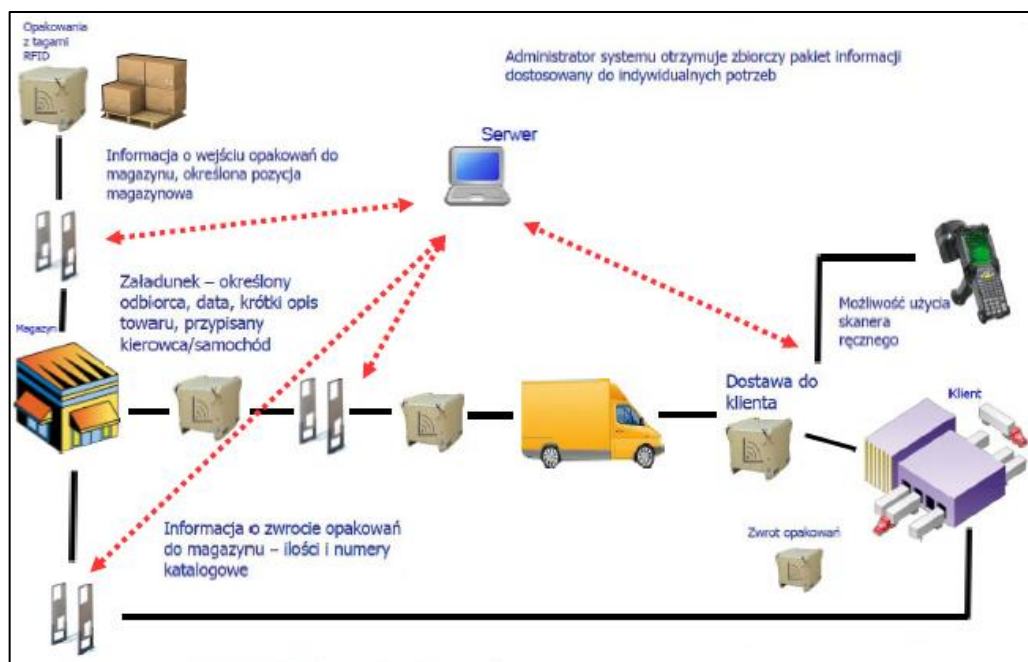
System RFID znalazł zastosowanie w logistyce, transporcie oraz magazynowaniu. Znaczniki wykorzystywane są w przemyśle oraz handlu do znakowania i identyfikacji produktów, półproduktów oraz stanów procesów produkcyjnych. Dzięki rozwojowi technologii automatycznej identyfikacji możliwa jest identyfikacja nie tylko obiektów, ale również zwierząt oraz ludzi. Kontrola dostępu do określonych miejsc realizowana jest przy pomocy systemu RFID oraz znaczników umieszczonych w kartach, breloczkach oraz wielu innych tego typu identyfikatorach. Uniemożliwia to wejścia do zabezpieczonych pomieszczeń osobom niewskazanym oraz pozwala na monitoring czasu pracy u pracowników. Dzięki aktywnym transponderom, które wykorzystywane są m.in. w transporcie, możliwy jest monitoring obiektów drogowych oraz badanie stanu tras drogowych, mostów, natężenie ruchu, a także hałasu. Technologia RFID może mieć zastosowanie w wielu różnych obszarach. Znaczniki możemy podzielić w zależności od zastosowania systemu RFID.

Identyfikacja dużej liczby różnych obiektów w szybkim czasie jest przydatna między innymi w magazynach do przyjmowania i wydawania towarów oraz inwentaryzacji. System wykorzystywany jest do ewidencji bagażu na lotniskach. W transporcie i handlu system pomaga w weryfikacji dostawy bez potrzeby jej rozładowania i rozpakowania. Automatyczna identyfikacja RFID może dotyczyć pojazdów, naczep, a także kierowców i pracowników. [15]

3.1. Zastosowanie technologii RFID w logistyce i magazynowaniu

System RFID w łańcuchu dostaw umożliwia usprawnienie procesów produkcyjnych poprzez monitoring ładunków i poziomu zapasów w magazynach przedsiębiorstwa. Dostarcza precyzyjne dane o lokalizacji, charakterystyce i poziomie stanów magazynowych danego produktu. Umożliwia eliminację ręcznego monitorowania zapasów oraz uniknięcia błędów podczas obsługi zleceń. W zarządzaniu łańcuchem dostaw technologia RFID znalazła zastosowanie w identyfikacji i śledzeniu floty pojazdów, identyfikacji kontenerów, kontroli dostępu, rejestracji czasu pracy, przesyłaniu paczek i towarów oraz kontroli i rejestracji procesów produkcyjnych. Technologia ta dostarcza i udostępnia informacje w łańcuchu dostaw dzięki automatycznemu przechwytywaniu danych, informacji oraz systemu lokalizacji w czasie rzeczywistym. Otrzymywane w czasie rzeczywistym informacje pozwalają na

szybsze oraz skuteczniejsze podejmowanie odpowiednich decyzji związanych zarówno z procesem produkcyjnym jak i logistycznym. Zastosowanie technologii RFID w magazynowaniu pozwala na zautomatyzowanie procesów, co wpływa na niższe koszty obsługi oraz na skrócenie czasu procesu. Dzięki możliwości skanowania towarów hurtowo ułatwia inwentaryzację. System usprawnia składowanie towarów, które wymagają specjalnych warunków przechowywania, uniemożliwia fałszowanie produktów oraz ich kradzież oraz ułatwia przepływ towarów w magazynie, ich kontrolę i wydawanie. Każde przesunięcie, wydanie czy zniszczenie towaru jest automatycznie zapisywane w bazie danych, gdzie generowane są raporty. Podczas inwentaryzacji wystarczy wydrukować raporty z danego okresu i porównać je ze stanem faktycznym.



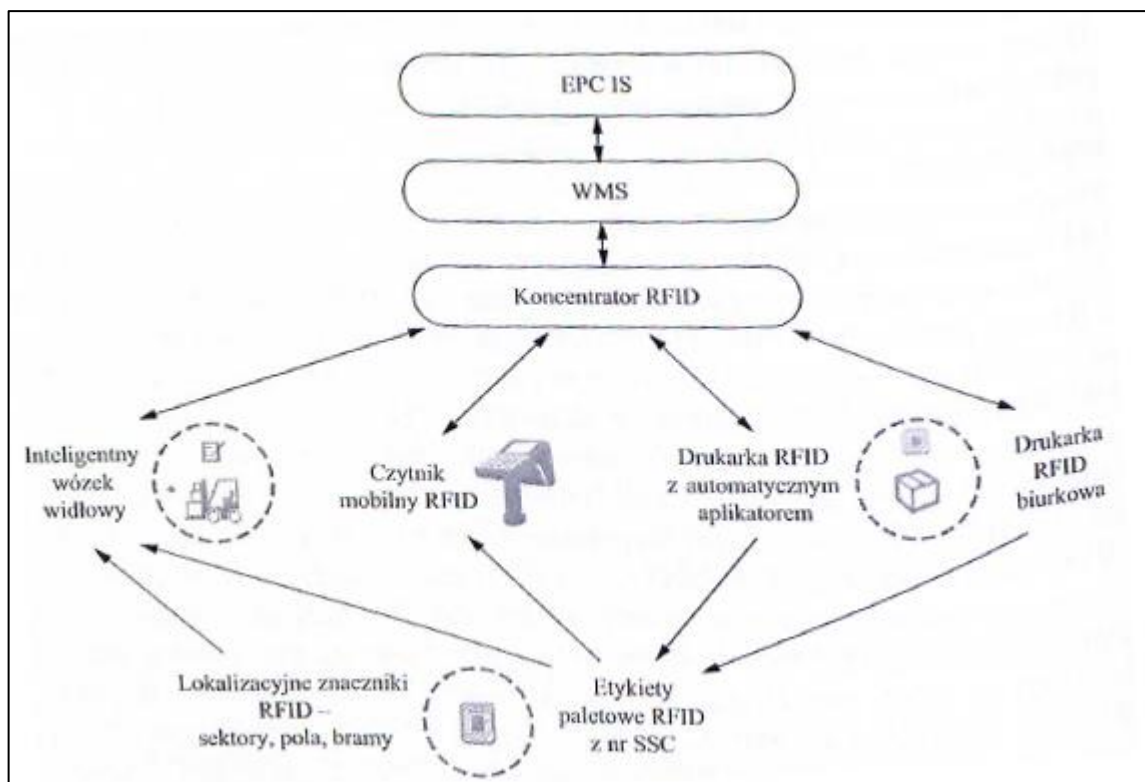
Rys. 3.1. Technologia RFID w łańcuchu dostaw [17]

Wykorzystując technologię RFID możliwe jest śledzenie wysyłki przez nadawcę i odbiorcę, co pozwala na optymalizację trasy poprzez zmianę trasy lub zmianę środka transportu. Zaletą systemu RFID jest bezpieczeństwo dostawy. Transpondery zaopatrzone w sensory pozwalają monitorować parametry otoczenia, dzięki czemu możliwe jest obserwowanie warunków w jakich transportowane są produkty spożywcze czy też produkty wrażliwe na zmiany warunków transportu. Technologia RFID poprawia przepływ w łańcuchu dostaw dzięki możliwości obiegu informacji o towarach od produkcji przez dystrybucję, aż po klienta. Pomaga w procesie realizacji zamówienia, przygotowaniu zamówienia, przygotowaniu dokumentacji przewozowej, przekazaniu ładunku dostawcy, transportu dostawy oraz dostarczeniu towaru do punktu wyładunkowego. [7]

Magazyn wyrobów gotowych

Technologię RFID można wykorzystywać w produkcji oraz magazynowaniu wyrobów gotowych do rejestracji przyjęć wyrobów gotowych z produkcji, rejestracji miejsca składowania wyrobu gotowego, rejestracji wydań z magazynu wyrobów gotowych oraz do kontroli pobranych wyrobów. System RFID wykorzystywany w magazynowaniu działa z częstotliwością UHF. Elementami takiego systemu są dwa czytniki RFID znajdujące się na wózku widłowym. Pierwszy z nich służy do identyfikacji przewożonej palety, natomiast drugi do odczytu znaczników lokalizacyjnych RFID umieszczonych pod sufitem w magazynie, dzięki którym możliwe jest określenie lokalizacji wózka. Czytniki zabezpieczone są przed uszkodzeniami mechanicznymi. Do wyświetlania zleceń magazynowych oraz ostrzeżeń o źle wykonanym zleceniu na bazie odczytów RFID służą terminale umieszczone na wózkach widłowych. Oprogramowanie przygotowane na wózek widłowy wstępnie filtruje i grupuje odczyty z czytników, a także wysyła do systemu nadrzędnego informacje o pobraniu lub odstawieniu palety. Oprogramowanie ma za zadanie automatycznie identyfikować pobraną i odłożoną paletę oraz automatycznie identyfikować położenie wózka. [4, 7]

W firmach magazyn wyrobów gotowych najczęściej znajduje się w sąsiedztwie linii produkcyjnej. Automatyczna paletyzacja wyrobów gotowych to ostatni etap procesu produkcyjnego. Znakowanie takiej palety odbywa się w sposób zautomatyzowany poprzez automatyczny aplikator znaczników RFID zintegrowany z automatycznym przenośnikiem rolkowym. Znacznik jest zakodowany identyfikatorem RFID oraz zadrukowany dla zakładów, które nie posiadają czytników RFID. Oznakowane palety rozwożone są w odpowiednie miejsca w magazynie za pomocą wózków widłowych, które wyposażone są w czytnik oraz terminal dla operatora. Operator uzyskuje z odczytu znaczników informacje gdzie dana paleta na zostać odstawią. Na terenie magazynu umieszone są znaczniki lokalizacyjne, które mogą być odczytywane poprzez wózek widłowy z dokładności co do sektora magazynowego dzięki czytnikom RFID montowanym na dachu takiego wózka. Na terminalu wyświetlane są ostrzeżenia dla operatora w przypadku gdy paleta zostanie odstawią w niewłaściwe miejsce. Przy wydawaniu palet z magazynu operator odczytuje na terminalu, którą paletę na pobrać oraz numer sektora magazynowego, w którym ta paleta się znajduje. Jeśli operator pobierze złą paletę jest ostrzegany i musi dokonać korekty, co pozwala uniknąć błędów w załadunku. [4, 13]



Rys. 3.2. System RFID wykorzystywany w magazynowaniu wyrobów gotowych [4]

System RFID umożliwia pozyskiwanie informacji o lokalizacji wyrobów gotowych w czasie rzeczywistym. Odbiorcy mogą otrzymywać informacje o wysyłce oraz śledzić produkty w całym łańcuchu dostaw dzięki systemowi magazynowemu WMS, który zintegrowany jest z systemem RFID. Odczyt RFID trafia do odbiorcy poprzez udostępnienie go w serwisie EPC.

Monitoring wózków widłowych

Technologię RFID często wykorzystuje się w przedsiębiorstwach do monitorowania pracy wózków widłowych oraz śledzenia ich ruchu w magazynie w czasie rzeczywistym. Dzięki systemowi RFID możliwe jest generowanie raportów z ruchu wózków widłowych, który rozumiany jest w magazynie jako ruch wyrobu, półwyrobu lub materiału. Za pomocą takich raportów można wyeliminować zbędny transport oraz usprawnić prędkość przepływu, czas realizacji oraz długość trasy wózka widłowego pracującego w magazynie. Wykorzystując tego rodzaju system można generować również raporty wykorzystania wózka, raporty wykorzystania doków załadunkowych, stanu realizacji zlecenia załadunku lub rozładunku oraz monitorowania temperatury.



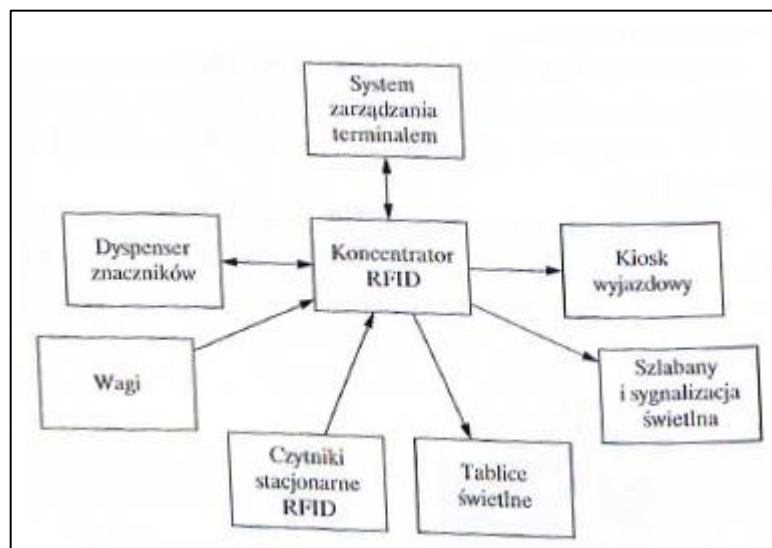
Rys. 3.3. Technologia RFID w monitorowaniu wózków widłowych [19]

System składa się ze znaczników aktywnych, stacji lokalizacyjnych, punktów dostępowych przechowujących dane ze stacji lokalizacyjnych oraz oprogramowania lokalizacyjnego. W każdym wózku widłowym umieszczony jest znacznik zasilany z instalacji elektrycznej wózka oraz znacznik z czujnikiem temperatury. Punkty dostępowe rozmieszczone są w magazynie co ok. 30 m i bezprzewodowo komunikują się ze stacjami lokalizacyjnymi, które dokonują pomiarów lokalizacyjnych wózka. Dane z punktów dostępowych przekazywane są do oprogramowania lokalizacyjnego, natomiast oprogramowanie to zajmuje się obliczeniem i wyznaczeniem lokalizacji znacznika umieszczonego w wózku widłowym. Dzięki oprogramowaniu systemu RFID można identyfikować naczepy przy dokach załadowniczych, monitorować stan realizacji zlecenia załadunku lub rozładunku oraz automatycznie identyfikować naczepy przy bramie wjazdowej lub wyjazdowej. Oprogramowanie posiada alarmy, które włączają się w przypadku przekroczenia dozwolonej wartości temperatury oraz pozwala wizualizować temperaturę w naczepie i w magazynie podczas pracy, a także monitorować temperaturę w trakcie transportu ładunku. [4]

Terminal przeładunkowy

Technologia RFID wykorzystywana jest również w procesach przeładunkowych. Za pomocą systemu RFID można skrócić cykl przejazdu pojazdu przez terminal oraz wyeliminować tworzenie się korków przy wjeździe do terminala. System RFID umożliwia automatyczną identyfikację pojazdu na każdym etapie począwszy od wjazdu, ważenia pojazdu, załadunku lub rozładunku, ważenia na wyjeździe, aż do wydania dokumentów przewozowych. Umożliwia przyspieszenie załadunku i rozładunku oraz eliminację błędów załadunkowych, a także dzięki automatyzacji przyspiesza proces wydawania dokumentów.

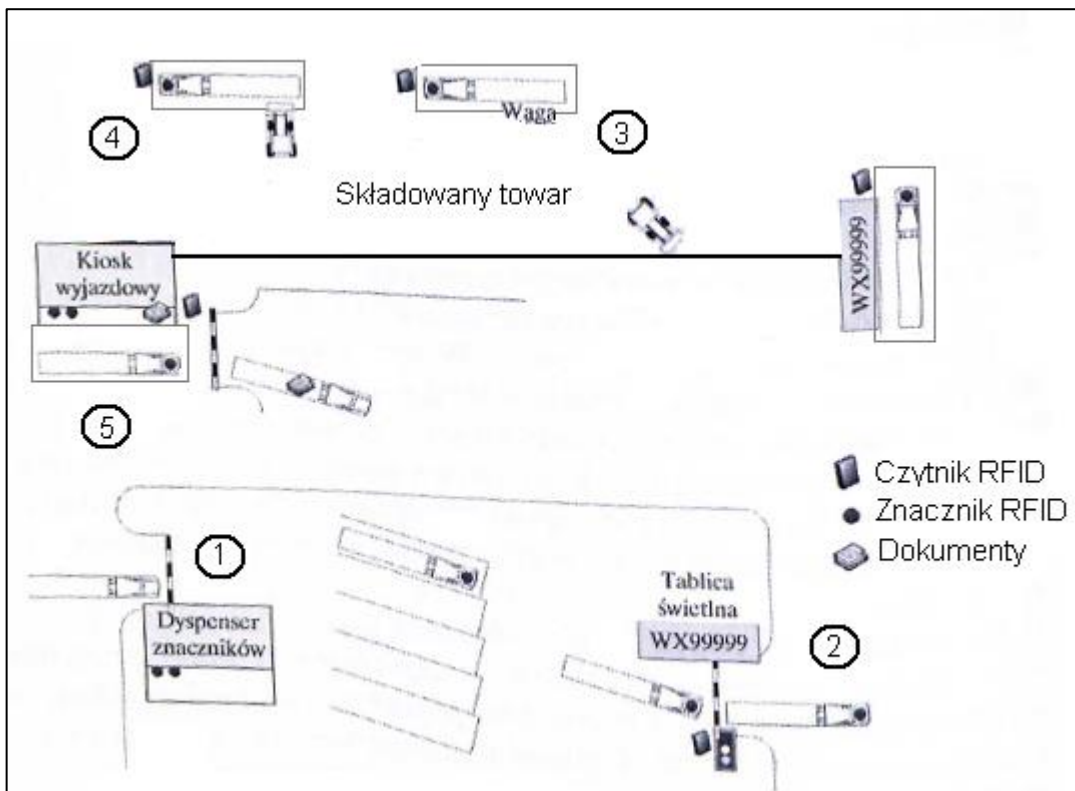
System RFID składa się z dyspenserów znaczników RFID, kiosków do zwrotu znaczników, czytników stacjonarnych oraz mobilnych RFID. Czytniki stacjonarne RFID w celu identyfikacji pojazdu zostały umieszczone w szlabanach, węgach i stanowiskach załadunku i rozładunku. Do pracy na terminalach przeładunkowych wykorzystuje się znaczniki pasywne zasilane bateryjnie działające z częstotliwością UHF. Oprogramowanie wykorzystywane w procesach przeładunkowych składa się z systemu RFID oraz systemu nadrzędnego, pomiędzy którymi znajduje się koncentrator RFID przez który przechodzą lub wracają każde informacje przesyłane dalej w systemie. [4]



Rys. 3.4. Schemat działania systemu RFID w terminalu przeładunkowym [4]

Przed wjazdem pojazdu na terminal przeładunkowy kierowca musi udać się do dyspensera znaczników RFID, gdzie wydawany jest mu unikalny znacznik RFID niezbędny do identyfikacji pojazdu na kolejnych etapach. Innym rodzajem znaczników RFID są znaczniki naklejane na przednią szybę pojazdu. Zidentyfikowany pojazd przejeżdża po wcześniejszej weryfikacji przez szlaban bramy wjazdowej do terminala. Pojazd zostaje

zważony na wadze zintegrowanej z czytnikiem RFID. Pomiar wagowy wraz z identyfikatorem pojazdu przesyłany jest do systemu informatycznego. Tablica świetlna znajdująca się przy stanowisku wagowym wyświetla kierowcy komunikaty dotyczące załadunku lub rozładunku oraz informacje związane z ważeniem pojazdu. Na każdym stanowisku załadunkowym lub rozładunkowym znajduje się czytnik RFID, dzięki któremu kierowca posiada informacje o właściwym stanowisku rozładunku, w przypadku załadunku dzięki identyfikacji towar ładowany wraz z wagą przypisany jest do konkretnego pojazdu. Załadowany lub rozładowany pojazd kieruje się na wagę wyjazdową, w kiosku wyjazdowym zwraca czytnik RFID. W kiosku znajduje się zidentyfikowany z drukarką czytnik RFID, dzięki któremu automatycznie drukowane są dla kierowcy dokumenty przewozowe. Po odebraniu dokumentów pojazd opuszcza terminal. [4]

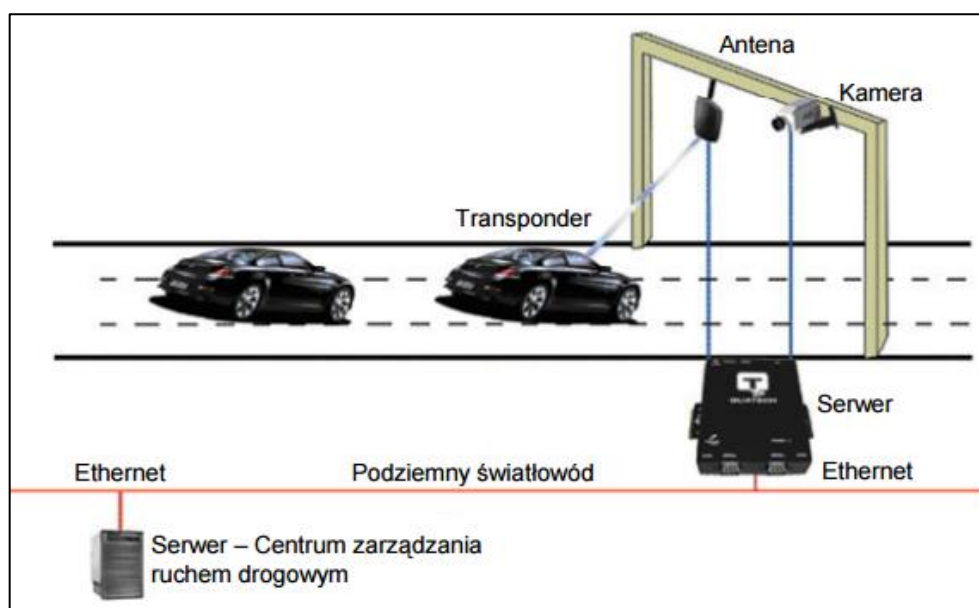


Rys. 3.5. Technologia RFID w terminalu przeładunkowym: 1 – dyspenser znaczników, 2 – szlaban bramy wjazdowej do terminala, 3 – pomiar wagowy, 4 – załadunek/rozładunek towaru, 5 – kiosk wyjazdowy [4]

3.2. Zastosowanie technologii RFID w transporcie

System automatycznego poboru opłat i rozładowania korków

Technologia RFID w wielu krajach stosowana jest do automatycznego poboru opłat na drogach płatnych i autostradach. System składa się z czytników oraz transponderów. Czytniki umieszczone na bramkach lub słupkach i odpowiadają za rejestrację fal radiowych krótkiej długości, nazywanych także mikrofalami. Transpondery umieszczone wewnątrz pojazdu na przedniej szybie mają za zadanie wysyłać dane i informacje o pojeździe do czytników. System działa z częstotliwością 5,8 GHz. Dzięki niemu kierowca nie musi zatrzymywać pojazdu w celu dokonania opłaty za przejazd przez drogę płatną, autostradę, most czy też tunel, ponieważ opłata pobierana jest automatycznie. System usprawnia płynność ruchu pojazdów na drogach płatnych oraz zarządzanie drogami, dzięki danym dotyczącym natężenia ruchu na danych odcinkach. Podczas przekroczenia linii kontrolnej poruszający się pojazd zostaje wykryty przez czujnik. Na otwartych pasach ruchu pojazd nie ma ograniczeń prędkości, natomiast w przypadku przejść zamkniętych musi zwolnić prędkość. Anteny rejestrują sygnał transpondera umieszczonym w pojeździe. Pojazd przekraczający bramkę kontrolną poddany jest elektronicznej klasyfikacji według kategorii na podstawie nacisku osi na rolkę najazdową, a dane przesyłane są do bazy danych. Opłata potwierdzana jest elektronicznie na wyświetlaczu oraz sygnałem dźwiękowym wydawanym przez urządzenie znajdujące się w pojeździe. W przypadku gdy pojazd nie posiada odpowiedniego urządzenia umieszczonego wewnątrz wówczas system dokonuje klasyfikacji za pomocą kamery i wykonuje zdjęcie pojazdu wraz z rejestracją. [6, 9]



Rys. 3.6. System automatycznego poboru opłat na otwartym pasie ruchu [9]

System ten pozwala również na elektroniczną kontrolę prędkości pojazdów na ruchliwych i niebezpiecznych drogach. Transpondery RFID mogą być odczytywane na skrzyżowaniach monitorując natężenie ruchu oraz prędkość pojazdów na poszczególnych drogach. Dane wysyłane są do centrum zarządzania ruchem, gdzie operatorzy na elektronicznej mapie mogą odczytać czy prędkość pojazdów zostaje przekroczona oraz monitorować zatory w ruchu. Ulice oznaczone kolorem zielonym oznaczają prawidłową prędkość, natomiast ulice oznaczone kolorem czerwonym prędkość przekraczającą normę. Wówczas dana ulica jest sprawdzana przez operatorów. Odpowiednie dostosowanie czasu sygnalizacji świetlnej lub zmiana znaków obowiązujących na danym odcinku drogi może wyeliminować problem. Dzięki zainstalowanym identyfikatorom RFID w pojeździe można również lokalizować skradzione pojazdy. [10]

Bilet elektroniczny w transporcie publicznym

Karty zbliżeniowe posiadające znaczniki RFID są wykorzystywane w środkach komunikacji miejskiej jako elektroniczne bilety. Przyłożenie karty do kasownika umożliwia opłatę za przejazd, pobierając kwotę z wcześniej załadowanego konta. Czynności wykonywane przy kasowniku potwierdzone są sygnałami świetlnymi bądź komunikatami na wyświetlaczu. W przypadku zmiany taryfy karta miejska pozostaje ważna. Miesięczny bilet elektroniczny można wykupić w dowolnym dniu miesiąca. Zastosowanie biletów RFID nie daje możliwości podrobienia biletu. Karta miejska może być biletem komunikacji miejskiej, a także kartą rabatową do sklepów, kartą identyfikacyjną w bibliotece oraz obiektach kultury i sportu. [2, 6]



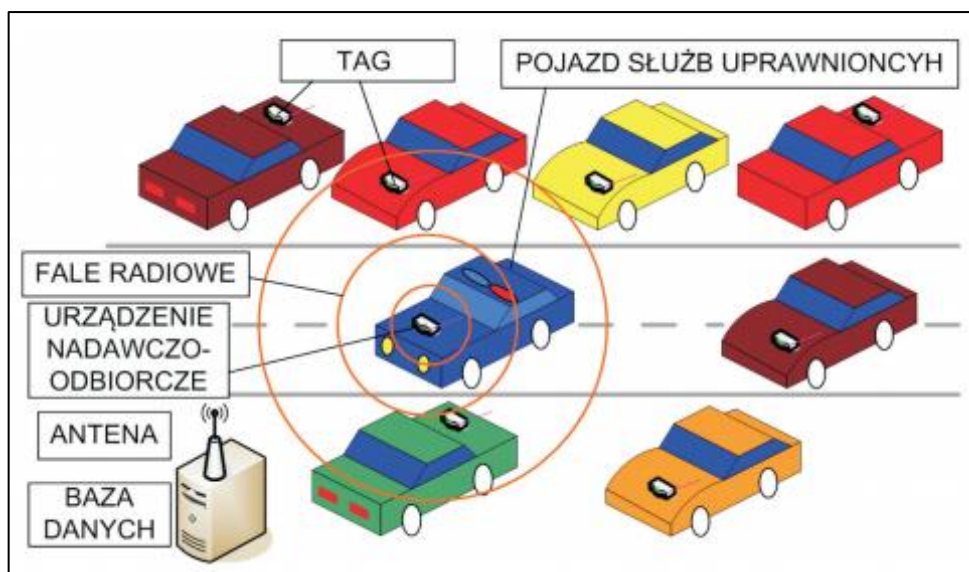
Rys. 3.7. Kasownik z kartą zbliżeniową komunikacji miejskiej Rys. 3.8. Przenośny czytnik kart miejskich [6]

Tab. 3.1. Korzyści stosowania kart RFID w transporcie publicznym [6]

Korzyści dla pasażerów	Korzyści dla przewoźnika
<ol style="list-style-type: none"> 1. Dostępność wszelkiego rodzaju biletów w punkcie doładowań. 2. Łatwe i szybkie doładowanie biletu. 3. Bezpieczeństwo transakcji. 4. Trwałość karty (karta wielokrotnego użytku). 5. Łatwość i wygoda użytkowania. 6. Możliwość wdrażania na karcie innych usług. 7. Możliwość odtworzenia karty w przypadku zgubienia, zniszczenia lub kradzieży. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Niższe koszty dystrybucji, niż w przypadku biletów papierowych. 2. Możliwość elastycznego kształtowania opłat. 3. Możliwość zbierania danych o wielkości potoków pasażerskich (optymalizowanie sieci komunikacyjnej). 4. Łatwiejszy i szybszy proces kontroli. 5. Możliwość tworzenia analiz napełnień pojazdów oraz przychodów ze sprzedaży biletów.

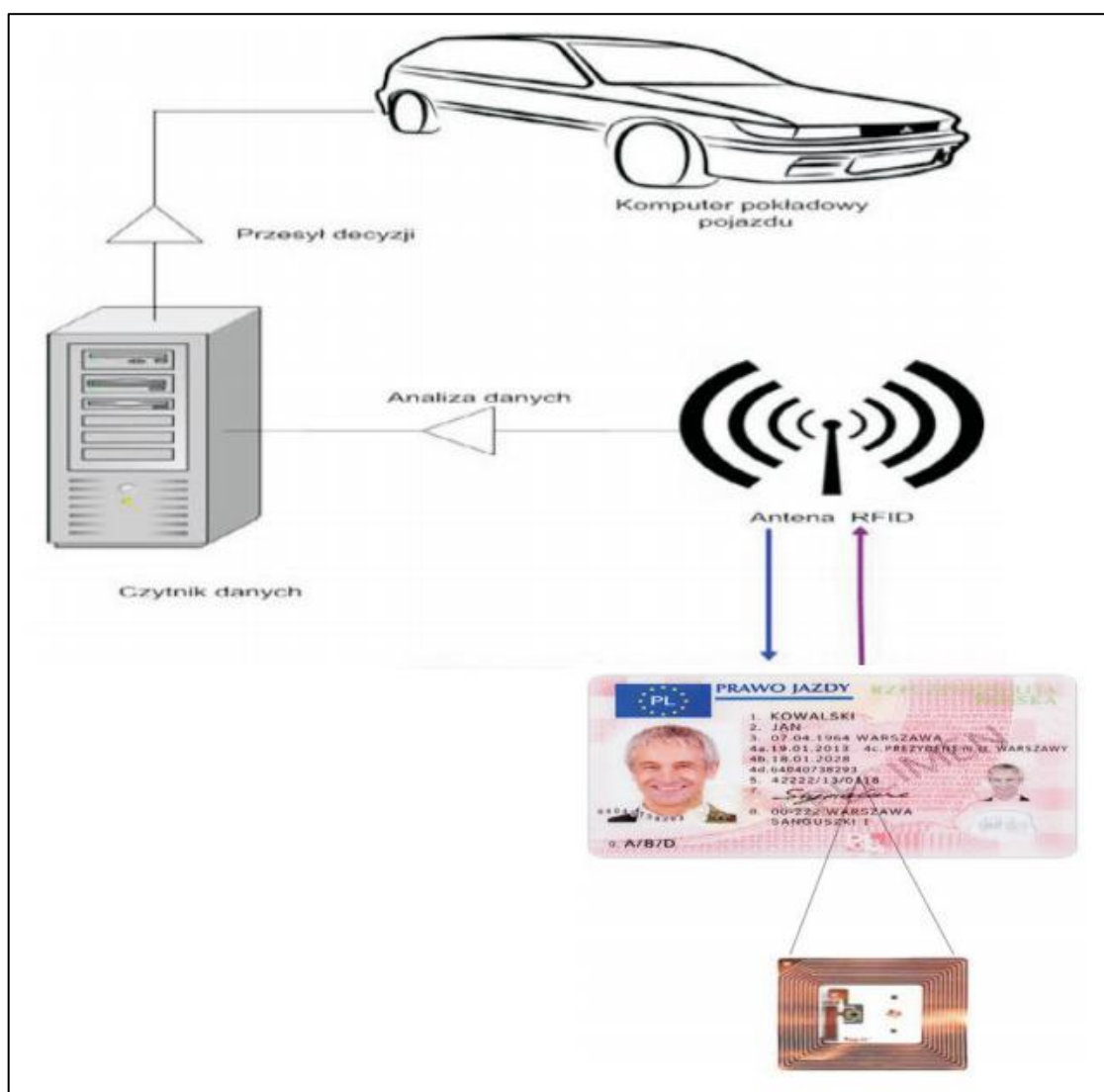
Identyfikacja pojazdów oraz ich użytkowników za pomocą systemu RFID w logistyce miejskiej.

Technologię RFID może wykorzystywać również Inspekcja Ruchu Drogowego w celu poprawy poziomu weryfikacji pojazdów pod względem stanu technicznego. Ułatwiłoby to kontrolę pojazdów przez odpowiednie służby. Pojazd posiadający transponder RFID zostaje zidentyfikowany automatycznie, gdy znajdzie się w zasięgu pojazdu służb upoważnionych wyposażonego w urządzenie nadawczo-odbiorcze. Na monitorze znajdującym się w pojeździe służb upoważnionych wyświetlą się informacje o konkretnym pojeździe i jego właścicielu. Dzięki temu odpowiednie służby w przypadku takiej potrzeby będą mogły podjąć stosowne działania. System daje możliwość szybkiego i skutecznego monitorowania zarejestrowanych pojazdów bez konieczności ich zatrzymywania do kontroli drogowej. [14]



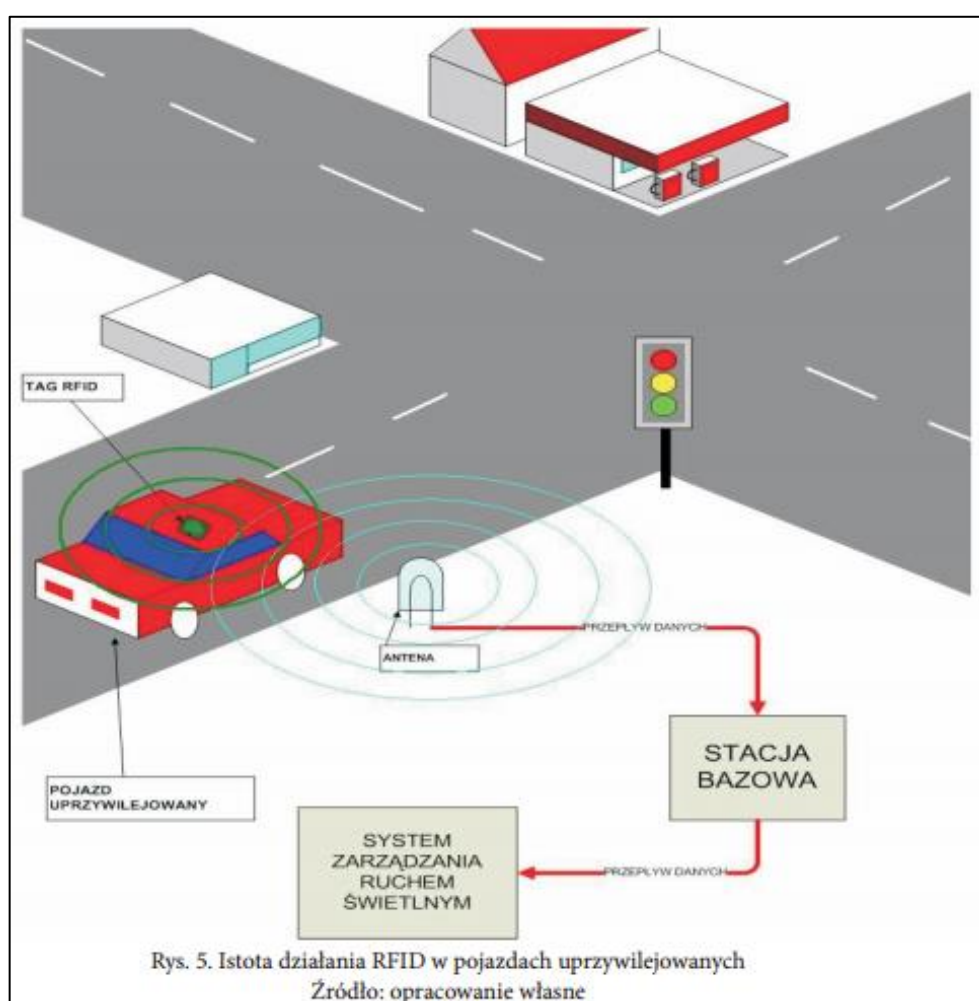
Rys. 3.9. Schemat systemu automatycznej kontroli przez służby uprzywilejowane [14]

Do identyfikacji użytkownika pojazdu za pomocą technologii RFID można wykorzystać półpasywne znaczniki umieszczone w dokumencie prawa jazdy. Kierowca przed uruchomieniem pojazdu miałby obowiązek umieścić dokument prawa jazdy w czytniku, który byłby wbudowany w desce rozdzielczej pojazdu. Czytnik przesyłałby komendę o uruchomieniu pojazdu do komputera pokładowego. Osoba, która nie posiada dokumentu lub jest on nieaktywny nie miałaby możliwości uruchomienia pojazdu. Dzięki możliwości zaprogramowania liczby użytkowników pojazdu system chroniłby także pojazd przed kradzieżą. Zastosowanie systemu RFID do kontroli użytkowników pojazdu mogłoby zredukować liczbę wypadków i kolizji oraz ich ofiar, poprzez uniemożliwienie osobą bez uprawnień korzystać z pojazdów. System może także zredukować liczbę kradzieży pojazdów. [14]



Rys. 3.10. Pomysł umieszczenia znacznika RFID w dokumencie prawa jazdy i zasada działania systemu [14]

Technologię RFID można również zastosować w pojazdach uprzywilejowanych poruszających się po drogach w przypadku wezwania i interwencji. System sterowania ruchem świetlnym na skrzyżowaniach mógłby zwiększyć bezpieczeństwo użytkowników ruchu drogowego oraz pojazdu uprzywilejowanego i zmniejszyłyby liczbę wypadków. System działałby na podstawie technologii RFID. Pojazd uprzywilejowany byłby wyposażony w transponder RFID, natomiast nad skrzyżowaniem umieszczona zostałaby antena czytująca dane z transponderów. Dawałoby to możliwość zmiany sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu i umożliwiło płynny przejazd pojazdu uprzywilejowanego przez skrzyżowanie. [14]



Rys. 3.11. Schemat działanie systemu RFID w pojazdach uprzywilejowanych [14]

Technologia radiowej identyfikacji RFID znalazła wiele zastosowań w transporcie oraz logistyce transportu. Wiele korzyści mogłoby przynieść zastosowanie tej technologii w logistyce miejskiej. System mógłby zwiększyć bezpieczeństwo na drogach oraz ułatwić pracę służbą uprzywilejowanym takim jak Ratownictwo Drogowe, Straż Pożarna czy Inspekcja Transportu Drogowego.

System RFID Airport

System RFID Airport jest to system wykorzystujący rozwiązania identyfikacji radiowej dalekiego i bliskiego zasięgu. Umożliwia zarządzanie sprzętem lotniskowym oraz personelem, a także umożliwia optymalizację procesu logistyki bagażu co pozwala zminimalizować błędy przy odprawie bagażowej. System stale monitoruje urządzenia lotniskowe, pojazdy oraz bagaże przypisane do konkretnego pasażera.

Każdy bagaż podczas odprawy bagażowej otrzymuje specjalny numer identyfikacyjny na znaczniku samoprzylepnym. System RFID umożliwia odczyt znaczników do 10 metrów. Znaczniki te działają w paśmie częstotliwości UHF. Znacznik umieszcza się na uchwycie bagażu. Na terenie lotniska znajdują się bramki i tunele wyposażone w czytniki oraz anteny RFID automatycznie odczytujące dane ze znaczników umieszczonych na bagażach. Dzięki temu system może monitorować poruszanie się bagażu po terenie lotniska i interweniować w przypadku błędu załadunku np. na pokład innego samolotu. W przypadku zgubienia się takiego bagażu system automatycznie zweryfikuje jego lokalizację. Oprogramowanie systemu zapisuje statystyki i historię przemieszczania się bagażu. Pozwala zoptymalizować procesy nadawania, wyszukiwania oraz odbioru bagażu.

Każdy pracownik lotniska posiada identyfikator RFID w plastikowej karcie działający w paśmie UHF. Dzięki czytnikom z antenami umieszczonym w ścianach, sufitach oraz słupach możliwe jest dokładne lokalizowanie personelu na całym terytorium portu lotniczego. Za pomocą systemu RFID możliwe jest również śledzenie oraz identyfikacja każdego pojazdu i urządzenia znajdującego się na terenie lotniska. Do lokalizacji pojazdów i obiektów w czasie rzeczywistym wykorzystuje się aktywne znaczniki RFID. Monitoring obiektów w czasie i przestrzeni pozwala na stworzenie analiz i raportów, dzięki którym możliwa jest poprawa i optymalizacja procesów obsługi lotniskowej.

Do ochrony terenów lotniskowych przed wtargnięciem zwierząt lub nieuprawnionych osób na teren pasa startowego wykorzystuje się naziemne bariery mikrofalowe wykorzystujące technologię RFID. Urządzenia te montowane są na słupach i elewacjach na obwodzie całego obiektu. [3]

Identyfikacja pojazdów szynowych za pomocą technologii RFID

Technologia RFID znajduje także zastosowanie w transporcie kolejowym do identyfikacji w czasie rzeczywistym pojazdów szynowych. Transpondery pasywne posiadające unikalny numer pojazdu, wagonu lub lokomotywy mocowane są po oby stronach pojazdu szynowego. Transpondery można odczytywać nawet przy prędkościach 240 km/h. Dzięki temu możliwa jest identyfikacja wagonów czy też lokomotyw pomiędzy stacjami na których pojazd szynowy się nie zatrzymuje. [6, 18]



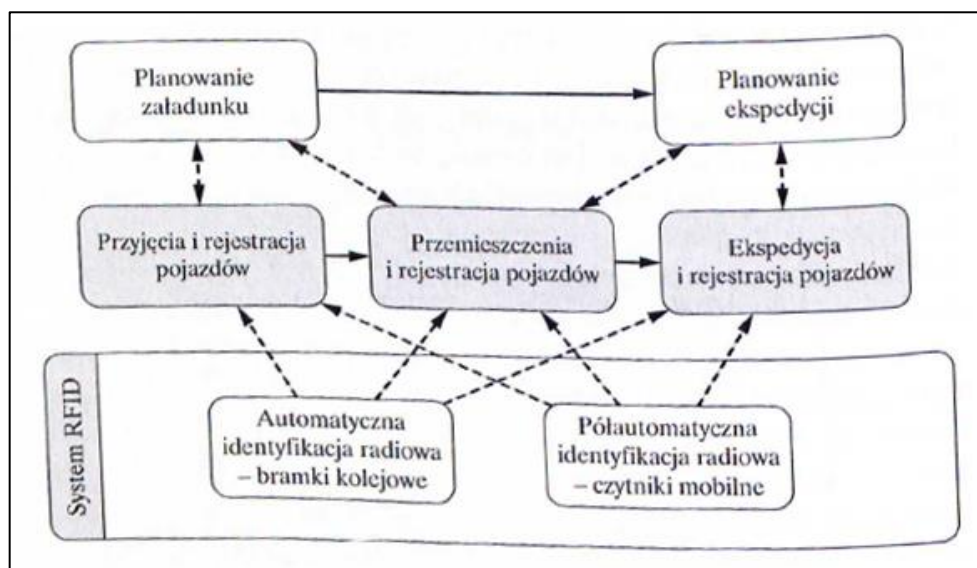
Rys. 3.12. Mocowanie transpondera pasywnego do pojazdu szynowego [18]

Czytniki RFID umieszczane są po wewnętrznej stronie torów kolejowych w takiej odległości, aby identyfikacja i przesyłanie danych o poruszającym się składzie były dostarczane do systemów i pracowników na bieżąco. Czytniki dostarczają informację nie tylko o lokalizacji poruszającego się składu, ale także o jego dotarciu do stacji pośrednich i stacji docelowej oraz o jego kompletowaniu i rozkompletowaniu.



Rys. 3.13. Rozmieszczenie czytników RFID na torach kolejowych [18]

Wiele przedsiębiorstw posiadających w swojej firmie bocznicę kolejową decyduje się na wdrożenie technologii RFID w celu usprawnienia pracy na torowisku. System ułatwia przekazanie składu pomiędzy przewoźnikiem, a przedsiębiorcą, pomaga w formowaniu składu, sprawdzaniu stanu technicznego wagonów oraz rejestracji torów na których stoją wagony. Wprowadzenie technologii radiowej identyfikacji ma na celu zautomatyzowanie identyfikacji wagonów w momencie wjazdu i wyjazdu z terenu przedsiębiorstwa. System lokalizuje i podaje informacje o torze, na którym znajduje się wagon z towarem do przyjęcia lub wydania. Dokumenty przekazania pociągu, transakcji przekazania składu, formowania składu bądź rejestracji toru generowane są z wykorzystaniem czytników mobilnych, a następnie automatycznie przekazywane do systemu spedycyjnego firmy. Wagony lokalizowane są poprzez odczyty z bramek RFID umieszczonych w pobliżu torów. System logistyczny otrzymuje informacje o numerach wagonów i torów. Aplikacja RFID do formowania składu pociągu pozwalają na określenie statusu wagonu, czy jest on załadowany, pusty, uszkodzony, czy sprawny. Pozwala na rejestrację usterek wagonu, wyświetla informacje o wagonie, weryfikuje skład po przybyciu, sumuje wagi wagonów, długość składu i ciężaru hamowania oraz pomaga w przygotowaniu protokołu zdawczo – odbiorczego. [4]



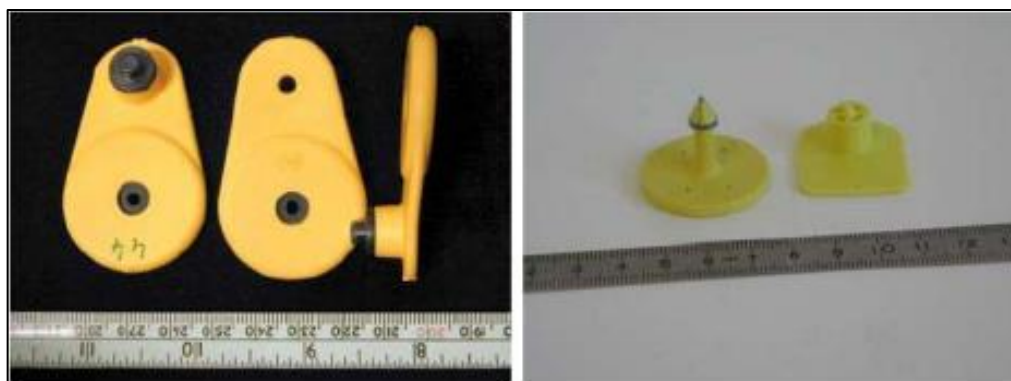
Rys. 3.14. Schemat procesów na bocznicach kolejowych po wdrożeniu technologii RFID [4]

3.3. Wykorzystanie technologii RFID do identyfikacji zwierząt

Technologię RFID wykorzystuje do identyfikacji przedmiotów i ludzi, ale także zwierząt. Systemy RFID w identyfikacji zwierząt pozwalają uzyskać szczegółowe informacje o zwierzęciu, jego właścicielu, przebytych przez zwierze chorobach, operacjach oraz szczepieniach, a w przypadku zwierząt domowych pozwalają na zapobieganie nielegalnej hodowli i handlu. Uniemożliwiają również przemyt przez granice państwa oraz zapobiegają porzuceniu zwierząt i ułatwiają ich znalezienie w przypadku zgubienia. W przypadku zwierząt hodowlanych identyfikator w formie transpondera mocowany jest najczęściej na uchu jako kolczyk, natomiast w przypadku zwierząt domowych identyfikator umieszczany jest pod skórą na karku zwierzęcia. Konstrukcja identyfikatora zapewnia trwałość i funkcjonalność transpondera przez cały okres życia zwierzęcia oraz nie powoduje dla niego uszczerbku na zdrowiu.

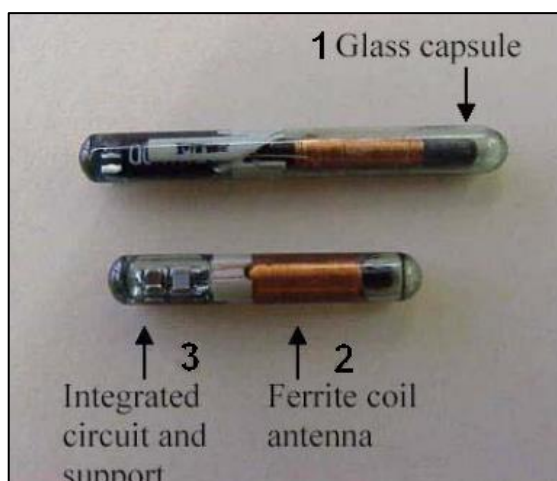
Do identyfikacji zwierząt stosowane są transpondery pasywne działające w paśmie LF. Transpondery te nie mają wbudowanego źródła zasilania i przeznaczone są tylko do odczytu. Ich obudowa jest wodoszczelna. Minimalna obowiązująca odległość odczytu dla identyfikatorów noszonych w przypadku kolczyków wynosi 12cm, a w przypadku pigułek 20cm. Dla identyfikatorów stacjonarnych minimalna obowiązująca odległość odczytu wynosi 50cm. Zasadniczo wyróżnia się trzy rodzaje transponderów stosowanych do identyfikacji zwierząt:

- 1) Transpondery jako kolczyki do ucha – są transpondery w plastikowej obudowie, które mocowane są za pomocą mechanizmu blokującego w uchu zwierzęcia jako kolczyk.



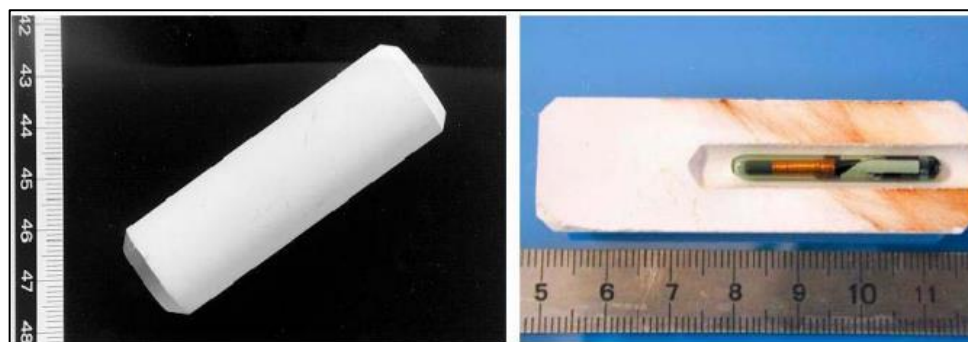
Rys. 3.15. Przykłady konstrukcji transpondera w kolczyki [11]

- 2) Transpondery wstrzykiwane – są to transpondery o małych wielkościach i wstrzykiwane są do ciała zwierzęcia. Ich obudowa wykonana jest z gładkiego materiału obojętnego biologicznie.



Rys. 3.16. Przykłady konstrukcji transpondera wstrzykiwanego: 1 – szklana kapsułka, 2 – cewka ferrytowa anteny, 3 – układ scalony [11]

- 3) Transpondery jako doustne pigułki dla zwierząt – są to transpondery wprowadzane do organizmu zwierząt drogą doustną. Umieszczone są w obudowie o dużej masie, co powoduje że poprzez swój kształt, masę i rozmiar zostają w organizmie na stałe.



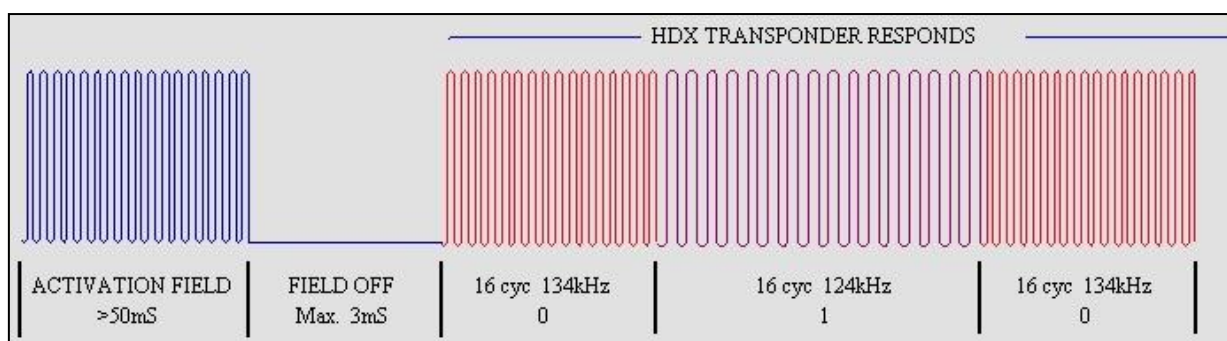
Rys. 3.17. Przykład konstrukcji transpondera w formie piguły [11]

Do identyfikacji zwierząt różni się dwa systemy RFID różniące się sposobem działania interfejsu radiowego: FDX i HDX. Protokół FDX jest to system pracujący w trybie dwukierunkowym, gdzie transmisja transpondera do czytnika następuje w czasie, gdy czytnik wytwarza pole aktywujące. Protokół HDX jest to system pracujący w trybie półdwukierunkowym, gdzie transmisja transpondera RFID do czytnika następuje w czasie, gdy czytnik przerywa nadawanie pola aktywującego. Transpondery stosowane w obu systemach są to transpondery biernie zasilane, których komunikacja z czytnikiem opiera się na sprzężeniu indukcyjnych w polu o częstotliwości 134,2 kHz. [11]

Protokoły HDX i FDX jest powszechnym formatem stosowanym w transponderach w aplikacjach wymagających identyfikacji zwierząt, ale jest również często wykorzystywany w identyfikacji przemysłowej nie pochodzącej od zwierząt. Transponder FDX przekazuje swoje informacje, podczas gdy czytnik RFID transmituje pole magnetyczne z jego anteny.

Umożliwia to ciągłe zasilanie tranzystorów FDX w obecności pola. Transpondery HDX różnią się od transponderów FDX tym, że będą czekać, aż pole magnetyczne z czytnika RFID zostanie wyłączone przed przesłaniem ich informacji. Oznacza to, że czytnik wykryje transponder w większej odległości, ponieważ sygnał nie jest nakładany na znacznie większe pole RF z czytnika RFID. Transpondery oparte na protokole HDX są zdefiniowane jako działające w paśmie 134,2 kHz i wykorzystują metodę FRS (Frequency Shift Keying) do przesyłania danych. Aby przesłać logikę 1, transponder HDX wyda 16 cykli przy 124 kHz, a aby przesłać logikę 0, wyda 16 cykli przy 134 kHz. Transpondery oparte na protokole FDX są zdefiniowane jako działające w paśmie 134,2 kHz i wykorzystują schemat kodowania dwufazowego do przesyłania ich informacji. Schematy kodowania dwufazowego modulują pole RF tak, że istnieje przejście na początku każdej granicy bitu. Stan logiczny 0 ma przejście w środku okresu bitowego, podczas gdy stan logiczny 1 nie ma przejścia podczas całego okresu bitowego. Dla FDX 1 bitowa długość odpowiada 32 cyklom aktywowanego pola czytnika. [20]

Pole aktywacyjne tworzone przez czytnik RFID zazwyczaj trwa 50 ms. W tym czasie czytnik RFID będzie szukał obecności jakichkolwiek transponderów protokołu FDX, a jeśli żadne z nich nie zostanie wykryte, pole aktywacji zostanie wyłączone, aby umożliwić wszystkim transponderom HDX odpowiedzieć. Czytnik RFID będzie czekał maksymalnie 3ms dla transpondera HDX, aby rozpocząć transmisję. Jeśli nic nie zostanie wykryte w tym czasie, czytnik RFID ponownie włączy pole aktywacji i powtórzy ten cykl. Zostało to zilustrowane na rysunku 3.17.



Rys. 3.18. Przykład protokołu HDX [20]

Literatura

- [1] Długosz J.: *Nowoczesne technologie w logistyce*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2009.
- [2] Dobrzański P., Dobrzańska M.: *RFID w zastosowaniach transportowych*. Czasopismo Logistyka, 3/2012.
- [3] EC News: *System RFID Airport – testy na lotnisku w Łodzi*. Czasopismo, Wrzesień 2017, Nr 24.
- [4] Gładysz B., Grabia M., Santarek K.: *RFID od koncepcji do wdrożenia*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2017.
- [5] Gotfryd M., Pawłowicz B., Pitera G.: *Aktywne, pasywne i półpasywne systemy RFID*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 292, Rzeszów, Kwiecień 2/2015.
- [6] Kanicki T.: *Wykorzystanie technologii RFID w transporcie lądowym*. Czasopismo Logistyka, 5/2012.
- [7] Kocot K., Łazarowicz O., Witkowski P.: *Wykorzystanie technologii RFID w budowaniu przewagi konkurencyjnej*. Czasopismo Logistyka, 3/2012.
- [8] Kwaśniewski S., Zajac P.: *Automatyczna Identyfikacja w Systemach Logistycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2004.
- [9] Mazur Z., Mazur H., Mendyk – Krajewska T.: *Automatyczna identyfikacja obiektów w technologii RFID*. Czasopismo Logistyka, 3/2012.
- [10] Nowacki G.: *Analiza możliwości implementacji europejskiej usługi opłaty elektronicznej w Polsce*. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa, 2009.
- [11] Orłowski A., Kaczan K., Staszak A., Tomaszuk E.: *Analiza tendencji rozwoju technik RFID oraz laboratorium badawcze technik RFID*. Instytut Łączności – PIB, Warszawa, Grudzień, 2008.
- [12] Szczurkowski M.: *Wytwarzanie i sterowanie polami magnetycznymi dla radiowej identyfikacji obiektu RFID oraz indukcyjnego przekazu energii*. Rozprawa doktorska, Kraków, 2010.
- [13] Szynszal J., Furman J., Kaczmarczyk G.: *Analiza możliwości wykorzystania systemu RFID w usprawnieniu zarządzania wybranym magazynem przemysłowym*. Politechnika Śląska, Katowice.
- [14] Waśniewski T.R., Czarnecki M., Marcinowska A., Szymańska M.: *Zastosowanie technologii RFID w logistyce miejskiej*. Systemy Logistyczne Wojsk, Nr 42/2015.

- [15] Witczyńska K.: *Innowacyjna identyfikacja na bazie systemu RFID w logistyce międzynarodowej*. Wrocław.
- [16] Ziółkowski B., Piecuch T., Jankowska – Miśkiewicz M., Chudy – Laskowska K.: *Rozwój systemów RFID w przedsiębiorstwach: wyniki badań metodą delficką*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.

Strony internetowe:

- [17] www.aquano.com.pl
- [18] www.hadatap.pl
- [19] www.rfid-lab.pl
- [20] www.priority1design.com.au
- [21] www.idetechex.com