

Primjena RFID tehnologija u sortiranju pošiljaka i prtljage

Matić, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:725678>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-18**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRIMJENA RFID TEHNOLOGIJA U SORTIRANJU POŠILJAKA I PRTLJAGE

APPLICATION OF RFID TECHNOLOGIES IN SORTING OF PARCELS AND LUGGAGE

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

Student: Karlo Matić

JMBAG: 0135250120

Zagreb, rujan 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Komunikacijski, navigacijski i nadzorni sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6313

Pristupnik: **Karlo Matić (0135250120)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Primjena RFID tehnologija u sortiranju pošiljaka i prtljage**

Opis zadatka:

Detaljno opisati principe tehnologije za identifikaciju i razmjenu informacija temeljene na bežičnoj komunikaciji čitača i medija prijenosom elektromagnetske energije. Navesti i opisati osnovne vrste RFID sustava s obzirom na korištenu frekvenciju i posjedovanja vlastitog napajanja medija. Opisati mogućnosti uporabe RFID tehnologija u zračnom prometu uz naglasak na sortiranje prtljage i pošte pomoću te tehnologije. Primjerima pokazati uspješne implementacije primjene RFID tehnologije u zračnom prometu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



izv. prof. dr. sc. Mario Muštra

PRIMJENA RFID TEHNOLOGIJA U SORTIRANJU POŠILJAKA I PRTLJAGE

SAŽETAK

Rastom zračnog prometa povećavaju se i tehnički zahtjevi povezani uz kontrolu svih elemenata uključenih u proces. Kao potencijalno rješenje navedenog problema predstavlja se uporaba sustava temeljenih na RFID tehnologiji. Neki od procesa koji se mogu poboljšati implementacijom RFID sustava su prihvat i otprema tereta, pošte, prtljage, kao i održavanje zrakoplova, te kontrola osoblja. Poboljšanje navedenih procesa rezultira smanjenjem troškova zračnog prometa, naravno samo u slučaju učinkovite implementacije RFID sustava. U ovom završnom radu navedena je i opisana podjela RFID sustava, te princip rada. Također navedeni su procesi koji se mogu poboljšati implementacijom, te je opisan proces sortiranja prtljage i pošte korištenjem RFID sustava. Također navedeni su i opisani koraci za uspješnu implementaciju RFID sustava.

APPLICATION OF RFID TECHNOLOGIES IN SORTING OF PARCELS AND LUGGAGE

SUMMARY

With the growth of air traffic, so arise the challenges regarding the control of all the elements included in the process. Use of systems based on RFID technology is viewed as a potential solution to the mentioned problem. Some of the processes that would benefit from RFID implementation include handling cargo, mail, luggage, as well as aircraft maintenance, and control of personnel. Improving these processes would reduce the expenses for airlines, but only if the RFID system is implemented correctly. In this thesis the work principle and distribution of RFID systems will be explained. Also the processes that could benefit will be mentioned, and RFID implementation in luggage and mail sorting will be explained. The steps for the successful implementation will be listed and explained as well.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Princip rada sustava RFID	2
2.1 Antena	3
2.2 RFID čitač	4
2.3 RFID oznaka	5
3. Vrste RFID sustava	7
3.1 Podjela RFID sustava po frekvenciji.....	7
3.2 Podjela RFID sustava po aktivnosti.....	9
4. Uporaba tehnologije RFID u zračnom prometu	11
5. Sortiranje prtljage pomoću RFID sustava	14
6. Sortiranje pošte pomoću RFID sustava	18
7. Implementacija RFID sustava	20
8. Zaključak	23
Literatura	25
Popis slika	28

1. Uvod

Povećavanjem broja putnika koji se odlučuju za zračni promet kao oblik prijevoza povećava se i mogućnost za pogreške poput gubitka prtljage. Otkrivanje mjesta i otklanjanje pogreške predstavlja bitan korak u ostvarivanju učinkovitog sustava zračnog prometa. Kako bi se postigli ciljevi, odnosno smanjile pogreške i povećala učinkovitost, potrebno je djelovati u skladu s vremenom, te uz razvoj radnog procesa potrebno je razvijati i implementirati nove tehnologije.

Primjena RFID sustava predstavlja potencijalno rješenje za navedene probleme. U ovom završnom radu objasniti će se osnovni dijelovi i princip rada RFID sustava, te njihova primjena za sortiranje prtljage i pošte, kao i mogućnost korištenja u različitim procesima unutar zračnog prometa.

Završni rad se sastoji od osam poglavlja:

1. Uvod
2. Princip rada sustava RFID
3. Vrste RFID sustava
4. Uporaba RFID sustava u zračnom prometu
5. Sortiranje prtljage pomoću RFID sustava
6. Sortiranje pošte pomoću RFID sustava
7. Implementacija RFID sustava i
8. Zaključak.

Kroz sedam poglavlja bit će objašnjena primjena RFID sustava na način da će se prvo objasniti osnovni princip rada RFID sustava te princip rada glavnih dijelova sustava, kao i glavne karakteristike koje su značajne pri odabiru pojedinih elemenata.

U trećem poglavlju bit će navedena i objašnjena podjela RFID sustava po frekvenciji i aktivnosti.

Nakon objašnjenja osnovnog principa rada sustava navest će se i objasniti neke od procesa unutar zračnog prometa kod kojih će se implementacijom RFID sustava ostvariti uvjeti za daljnje povećanje učinkovitosti i sigurnosti procesa. Poput implementacije u rukovanju teretom, održavanju, te upravljanju osobljem.

U petom poglavlju objasniti će se sortiranje prtljage pomoću RFID sustava na način da će se prvo objasniti koje vrste RFID oznaka se koriste te sam proces sortiranja prtljage.

Šesto poglavlje se sastoji od objašnjenja procesa sortiranja pošte, te će se navesti i pojasniti svi dijelovi automatiziranog procesa sortiranja pomoću RFID sustava.

Sedmo poglavlje opisuje proces implementacije RFID sustava kako bi se navedene prednosti mogle ostvariti, te se daje konkretni primjer zračnog prijevoznika koji je implementirao RFID sustav.

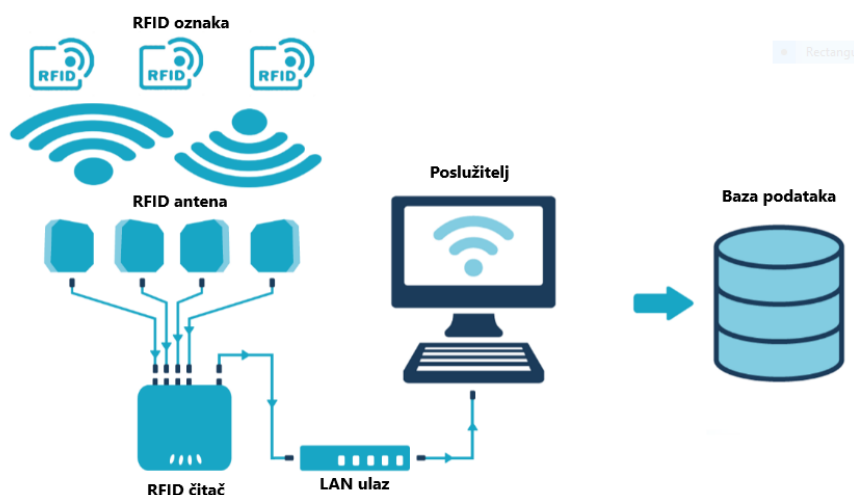
Zaključak donosi pojašnjenja glavnih pojmova iz svih poglavlja, kao i prijedloge mogućnosti daljnje implementacije RFID sustava u zračnom prometu.

2. Princip rada sustava RFID

Princip rada RFID sustava se zasniva na prijenosu informacija putem elektromagnetskih valova emitiranih od strane čitača (*eng. Interrogator*) na RFID oznaku. Čitanje informacija je slično kao i čitanje informacije putem barkoda, samo što u slučaju RFID sustava nije potrebno imati fizički pristup samom RFID oznaci, već se prijenos informacija obavlja putem radio valova čija se frekvencijska područja kreću od niskofrekvencijskog (*eng. Low Frequency*) do ultravisokofrekvencijskog (*eng. Ultra-high frequency*) područja. Izbor frekvencijskog područja će ovisiti o predviđenoj funkciji RFID sustava, odnosno predviđenoj udaljenosti na kojoj će sustav pisati ili očitavati podatke s RFID oznake.

Radijski signal emitiran od strane čitača, u sebi sadrži informaciju moduliranu u val nosilac, koji se emitira putem antene, te se upravo zbog karakteristika antene odlučuje na kojoj udaljenosti će se obavljati čitanje, odnosno pisanje u RFID oznaku. RFID oznaka koji u sebi ima mikročip koji procesira zahtjeve od čitača, te obavlja zadaće poput pojačavanja, demoduliranja, procjenjivanja zahtjeva, i druge, poduzet će radnju ovisno o zahtjevu poslanom od čitača [1].

Osnovni dijelovi radio frekvencijskog identifikacijskog sustava su RFID antena, čitač i RFID oznaka, te će se u nastavku pojasniti način rada navedenih elemenata. Na slici 1. prikazana je pojednostavljena shema RFID sustava, odnosno njegovih elemenata.



Slika 1. Shema RFID sustava.

Izvor: http://www.schmidt.com.cn/jjfa/info_87_itemid_350.html
(pristupljeno:15.05.2021)

2.1 Antena

Antena RFID sustava je odgovorna za primanje i slanje informacija putem elektromagnetskih valova te će vrsta primijenjene antene ovisiti od predviđenoj funkciji. Same antene RFID sustava mogu biti izvedene kao odvojeni elementi ili mogu biti integrirani u čitač (ako se radi o prijenosnom čitaču). Osnovni kriteriji potrebni za odabir antene su: Frekvencija s obzirom na zemljopisnu regija, domet i veličina, dimenzije antene, dobitak, polarizacija, VSWR, širina snopa, tip konekcije, *Front-to-back* omjer, te zaštita od utjecaja okoliša i zahtijevana robusnost.

Frekvencija antene ovisi o frekvenciji RFID oznake, te se frekvencija kreće od LF do ultravisokofrekvencijskog područja. Zemljopisna regija u kojoj će se RFID sustav primjenjivati je izravno povezana s propisima zemlje u kojoj će se primjenjivati. Većina RFID antena se izvode kao globalne te tako ne moraju udovoljavati konkretnim propisima pojedine zemlje, te kao takva se za UHF RFID sustave proizvodi za rad u frekvencijskom području od 860 MHz do 960 MHz. Ovisno o primjeni odnosno o zahtijevanom dometu čitanja globalne RFID antene neće kao takve biti pogodne.

Domet čitanje je povezan s dimenzijama antene, te se tako usporedbom dvaju antena koje rade na istim frekvencijama antena manje električke duljine će imati manji domet u usporedbi s antenom većih dimenzija. Također dimenzije antene su bitne za pojedinu primjenu, kao i mjesto na kojem se nalazi priključak antene te sam položaj ovisi o zahtijevanoj funkciji antene.

Dobitak antene utječe na domet čitanja te širinu snopa antene, veći dobitak znači veći domet i uži snop. Analogno tome antene s manjim dobitkom imaju manji domet, ali zato širi snop. Izbor antene na osnovi širine snopa ovisi o površini unutar koje će se vršiti čitanje.

Polarizacija antene u RFID sustavima može biti linearna i kružna. Linearna polarizacija će se koristiti tamo gdje je potreban veći domet čitanja te za uži snop, ali ograničavajući faktor pri primjeni linearno polarizirane antene je što RFID oznaka mora biti fiksiran da bi čitanje bilo uspješno. Kružno polarizirane antene imaju manji domet čitanja te širi snop, ali RFID oznaka ne mora biti fiksirana da bi čitanje bilo uspješno.

VSWR (*eng. Voltage standing wave ratio*) je omjer koji opisuje učinkovitost antene te predstavlja refleksiju nastalu kao posljedicu razlike u impedanciji izvora signala, prijenosnog vodiča do antene, te same antene. Zbog te razlike određeni dio signala emitiranog od izvora će se reflektirati povratno k izvoru. Manji VSWR znači manje povratne gubitke, te se može izraziti u decibelima kao povratni gubitak..

Tip konektora ne utječe na performanse sustave te je značajan samo zbog odabira konektora ovisno o mjestu primjene. Veći konektori su pogodni za primjenu na mjestima gdje se zahtjeva izrazita čvrstoća i stabilnost, dok su manji konektori pogodniji za primjenu na mjestima s težim pristupom.

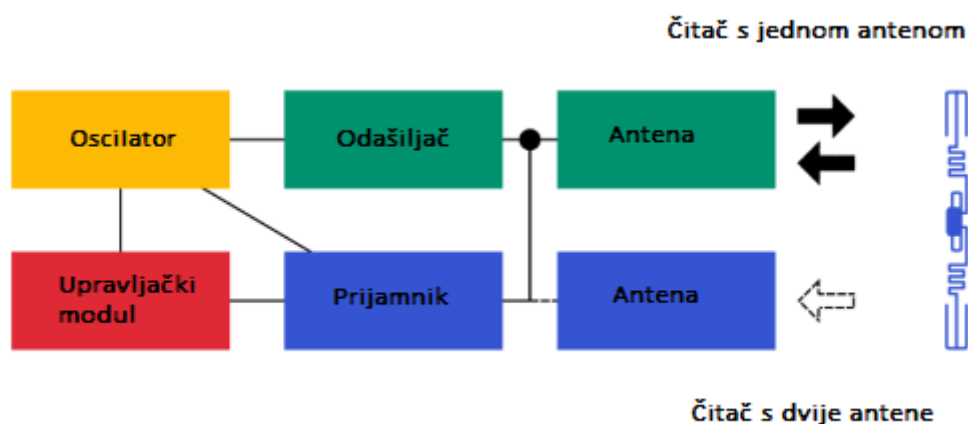
Front-to-back omjer predstavlja odnos snage koju antena zrači u glavnoj latici s prednje strane te snage koju antena zrači s stražnje strane, te se izražava u decibelima [dB]. U pravilu želimo da je ovaj omjer što veći, osim ako ne planiramo iskoristiti i zračenje sa stražnje strane antene.

Pod zahtijevanom zaštitom od utjecaja okoliša na antenu podrazumijeva se primjena onih materijala koji će osigurati dovoljnu razinu zaštite antene od okoliša, te se najčešće izvodi kao omotač od plastike, odnosno gume ako se planira postavljanje u zemlji [2].

2.2 RFID čitač

RFID čitač, odnosno pitač, je uređaj zaslužan za čitanje i pisanje informacija s, odnosno na, RFID oznake. Emitiranje elektromagnetskog vala od strane čitača kroz antenu je zaslužno za napajanje RFID oznake (ovisno radi li se o pasivnoj ili aktivnoj oznaci). Kako bi čitač ispunio svoju funkciju mora informaciju dobivenu od strane RFID oznake prenijeti u sustav, odnosno *back-end* (dio sustava koji je odgovoran za pohranu informacija te nije dostupan za pristup krajnjem korisniku, već se podacima pristupa putem *front-end-a*, odnosno grafičkog sučelja, primjer je *Departure Control System*) [3]. Čitači se mogu podijeliti na 'pametne' (čitač koji u sebi ima elemente pomoću kojih filtrira, sakuplja i analizira podatke dobivene od RFID oznake) i 'glupe' (koji u sebi nemaju elemente pomoću kojih bi vršili analizu primljene informacije, već samo pročitane informaciju prenose na *back-end*).

Kontroliranje samih čitača se najčešće vrši putem grafičkog sučelja, koji je dostupan putem web-servisa ili putem jednostavnog programa. Putem grafičkog sučelja mogu se kontrolirati parametri poput: napona, postavki antene, konfiguracije mreže, čitanje/pisanje na RFID oznaku, te promjena postavki ulaza/izlaza i ažuriranja software-a. Na slici 2. prikazana je shema dijelova RFID čitača.



Slika 2. Shema dijelova RFID čitača.

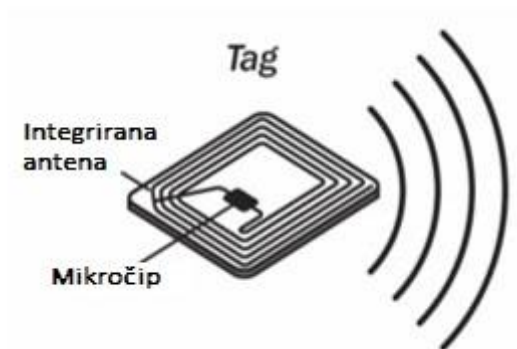
Izvor: <https://rfid4u.com/rfid-reader-interrogation-zone/> (Pristupljeno: 16.05.2021)

RFID čitač se može izvesti s jednom ili dvije antene, ovisno o načinu čitanja i pisanja na RFID oznaku. Ukoliko se izvodi s jednom antenom čitanje i zapisivanje na RFID oznaku se izvodi putem jedne antene. U slučaju dviju antena čitanje i zapisivanje se izvodi različitim antenama.

Oscilator u RFID čitaču je odgovoran za generiranje vala nosioca, odnosno vala u kojeg će se 'upisati' informacija postupkom modulacije za slučaj odašiljanja signala, odnosno demodulacije za slučaj primanja. Odašiljač se sastoji od pojačala signala te modulatora. Prijemnik se sastoji od demodulatora i pojačala koji pojačava slabije signala prije nego što dođu na demodulator. Upravljački modul je odgovoran za kontroliranje komunikacije između čitača i *back-end-a*, kontrolu funkcije čitača, kontrolu memorije unutar sustava čitača, te provođenje primarnih funkcija čitača [4].

2.3 RFID oznaka

Kako bi RFID sustav funkcionirao mora imati RFID oznaku, odnosno tag. RFID oznaka je uređaj malih dimenzija koji se sastoji od mikročipa (integriranog kruga *eng. Integrated circuit - IC*), antene i materijala za zaštitu same RFID oznake (podloga). Služi za primanje, pohranu i emitiranje informacije sadržane u mikročipu. Na slici 3. prikazan je shematski prikaz dijelova RFID oznake.



Slika 3 Shematski prikaz RFID oznake.

Izvor: <https://www.autodesk.com/products/eagle/blog/rfid-works-antenna-design/> (Pristupljeno: 20.05.2021.)

RFID oznake mogu se podijeliti ovisno o aktivnosti na aktivne i pasivne. Aktivna oznaka u sebi ima vlastiti izvor napajanja i odašiljač koji omogućava prijenos i primanje informacija od i sa RFID čitača. Pasivne oznake za svoj rad zahtijevaju napajanje koje dolazi od RFID čitača odnosno energije emitiranog elektromagnetskog vala. Izbor RFID oznake će uvelike ovisiti o planiranom mjestu uporabe odnosno zahtijevanom dometu čitanja/pisanja,

te naravno o cijeni. Uz aktivnosti i pasivnost RFID oznake se dijele i po frekvencijskom području [5].

Kako bi RFID oznake bila korištena za identifikaciju pojedinog objekta kojeg označava, potrebno je definirati memoriju koja je sadržana unutar integriranog kruga unutar same RFID oznake. Ovisno o aktivnosti i frekvenciji sama količina memorije će varirati, također mjesto uporabe će diktirati potrebnu količinu memorije. Za Gen 2 ultravisokofrekvencijske RFID oznake definirane su četiri vrste memorije:

- rezervirana memorija (eng. *Reserved memory*) u koju se pohranjuju lozinke za brisanje oznake (što se rijetko koristi) i pristupna lozinka (za pisanje/brisanje podataka na oznaci), te je reda veličine 32 bita
- EPC memorija koja se koristi za pohranu broja identifikacije objekta kojeg označavamo RFID oznakom, te je reda veličine 96 bitova
- TID memorija je memorija za pohranu jedinstvenog broja identifikacije RFID oznake koji se dodjeljuje pri proizvodnji RFID oznake te se u pravilu ne može mijenjati i
- korisnička memorija koja se koristi za pohranu dodatnih informacija koje se ne mogu pohraniti unutar EPC memorije, veličina nije definirana te ovisi o mjestu primjene, a najčešće je reda veličine od 512 bitova do 8 KB memorije [6].

3. Vrste RFID sustava

RFID sustav se može podijeliti ovisno o radnoj frekvenciji, te o pasivnosti ili aktivnosti samih RFID oznaka. Ovisno o radnoj frekvenciji sustav može raditi u niskofrekvencijskom području LF, visokofrekvencijskom HF, ultravisokofrekvencijskom području UHF i rjeđe u mikrovalnom području. Odabir sustava ovisno o frekvenciji će utjecati na udaljenost, odnosno domet čitanja ili pisanja na RFID oznaku. Podjela RFID sustava po aktivnosti je podjela ovisna o karakteristikama RFID oznake, te može biti pasivni i aktivni [7].

Ovisno o načinu komunikacije između čitača te oznake RFID sustavi se mogu podijeliti na sustave koji koriste induktivnu spregu i povratnu elektromagnetsku spregu. Razlika između dva navedena načina komunikacije je što induktivna sprega koristi promjenjivo visokofrekvencijsko elektromagnetsko polje, te se rad zasniva na zakonu elektromagnetske indukcije (Faradayev zakon). Rad sustava koji koriste povratnu elektromagnetsku spregu je sličan principu rada sekundarnog radara, jer se val emitira od strane čitača koji dolazi do RFID oznake te se zatim reflektira i reflektirani val u sebi sadrži informaciju koja je zahtijevana od strane čitača.

Kako bi se osigurali uvjeti interoperabilnosti RFID sustava, odnosno kako bi se mogle koristiti RFID komponente proizvedene od različitih proizvođača, uvedeni su različiti ISO (*eng. International Standards organisation*) i EPCglobal (*Electronics Product Code Global Incorporated*) standardi. Uporabom navedenih standarda moguće je korištenje RFID oznake proizvedene od jednog proizvođača, te korištenje čitača proizvedenog od drugog [8].

3.1 Podjela RFID sustava po frekvenciji

Ovisno o frekvenciji koju sustav koristi, RFID sustavi se mogu podijeliti na niskofrekvencijske, visokofrekvencijske, te ultravisokofrekvencijske i mikrovalne sustave. Frekvencija će utjecati na ostale karakteristike sustava kao što su brzina prijenosa, domet čitanja, te otpornost na smetnje.

Niskofrekvencijsko područje se nalazi u rasponu od 30 kHz do 300 kHz u kojem valna duljina iznosi približno 2400 metara, te se RFID u ovom frekvencijskom području najčešće koriste frekvencijama od 125 kHz do 134 kHz, s brzinama prijenosa do 1 kilo bita po sekundi [9]. Razlog korištenja prethodno navedenog frekvencijskog područja je postojanje različitih sustava koji koriste frekvencijski raspon niskofrekvencijskog područja. Niskofrekvencijski sustavi rade na principu povratne elektromagnetske sprege, te sama RFID oznaka nije aktivana što omogućava sustavu dugoročan rad (nema potrebe za baterijom). Standard koji regulira niskofrekvencijske RFID sustave je ISO/IEC 18000-2, te ISO 14223 [10].

Uporaba niskofrekvencijskog LF područja omogućava domet čitanja od nekoliko centimetara do 50 centimetara u idealnim uvjetima. Unatoč malom dometu

niskofrekvencijskog sustava značajna prednost je velika valna duljina koja omogućava navedenom sustavu da ostvaruje čitanje čak i kroz tanji metal, što RFID sustavi u HF i UHF području ne mogu ostvariti, te uz metal mogu ostvariti prijenos podataka u okolni sa značajnim udjelom vode, što omogućava primjenu za označavanje voća, tekućina te životinja. Bitna razlika između stava koji koriste LF frekvencijsko područje je nemogućnost implementacija sigurnosnih standarda, te se zbog tog razloga ne preporuča primjena niskofrekvencijskih RFID sustava na mjestima na kojima se zahtijeva enkripcija podataka.

Visokofrekvencijsko područje se kreće od 3 MHz do 30 MHz, dok je stvarno područje primjene RFID sustava najčešće od 1,75 MHz do 13,56 MHz. Valna duljina je značajno manja u odnosu na LF RFID sustave te iznosi 22 metra. RFID oznake koje se koriste u visokofrekvencijskim sustavima su najčešće pasivni i omogućuju čitanje od 10 centimetara do jednog metra. Čitanje je moguće ostvariti kroz tanje metale, te u okolišu sa srednjom do visokom koncentracijom vode. Visokofrekvencijski RFID sustavi omogućuju čitanje više oznaka istovremeno, te je cijena izvedbe niska [11]. Visokofrekvencijski RFID sustavi se najčešće koriste za NFC (*eng. Near Field Communication*) koji je reguliran ISO 14443 i ISO 18000 standardom [10].

Ultravisokofrekvencijski RFID sustavi su sustavi koji u teoriji koriste raspon frekvencije od 300 MHz do 3 GHz, dok je frekvencijski raspon koji većina RFID sustava koristi od 860 MHz do 960 MHz uz iznimku sustava koji koriste frekvencijsko područje od 433 MHz. Domet čitanja iznosi do 15 metara (50 stopa), te mogu čitati više RFID oznaka od jednom. Uporaba visoke frekvencije omogućava brzo čitanje, ali veća frekvencija ima manju valnu duljinu što predstavlja problem jer nije moguće čitanje kroz metal, vodu te životinje. Prednost navedenog sustava je cijena koja je vrlo niska u usporedbi s ostalim sustavima što ih čini pogodnima za uporabu na mjestima koja zahtijevaju visoku gustoću RFID oznaka [12]. Standard koji regulira proizvodnju dijelova ultravisokofrekvencijskih RFID sustava je EPCglobal class-0, class-1 te ISO 18000-6 [10].

Mikrovalni RFID sustavi su sustavi koji koriste frekvencijski raspon od 2.45 GHz do 5.8 GHz te su poznati pod nazivom Super High Frequency SHF RFID sustavi. Domet čitanja može prelaziti 91 metar (300 feet). Ovisno o primjeni moguće je korištenje kombinacije aktivnih i pasivnih RFID oznaka. Uporaba navedenih frekvencija nije regulirana te to omogućava globalnu uporabu, ali navedeno frekvencijsko područje koriste različiti uređaji zbog čega može doći do interferencije pri komunikaciji. Također bitna negativna značajka navedenog sustava je cijena, koja je znatno veća u usporedbi s ostalim sustavima. Princip rada SHF RFID sustava je povratna elektromagnetska sprega [13]. Standardi koji regulira mikrovalne RFID sustave je ISO/IEC 18000-4 [10].

3.2 Podjela RFID sustava po aktivnosti

Ovisno o aktivnosti RFID sustavi se dijele na pasivne i aktivne sustave. Aktivnost RFID sustava je određena aktivnosti RFID oznake.

Pasivni RFID sustavi se sastoje od čitača, antene i RFID oznake. Navedeni dijelovi su isti i za aktivne sustave jedina razlika je u sastavu RFID oznaka, koje se za slučaj pasivnih sustava sastoji od antene te mikročipa. Čitač odašilje signal kad se RFID oznaka nalazi u zoni čitanja, odaslani val služi za napajanje mikročipa indukcijom u anteni, koja je sastavni dio pasivne RFID oznake. Mikročip u oznaci je odgovoran za generiranje odgovora na upit od čitača, nakon generiranja signala isti se povratno odašilje putem antene. Navedeni princip rada se naziva *Backscatter* [14].

Osnovna podjela RFID oznaka je na čvrste i oznake u ulošcima. Izbor RFID oznake će ovisiti o radnim uvjetima unutar pojedinog sustava, te se tako može zahtijevati:

- otpornost na visoke temperature,
- čvrstoća izrade (od značajne važnosti ako se oznaka nalazi u okruženju gdje može doći u kontakt s snijegom, ledom, prašinom i krhotinama, te je potrebno da je oznaka sposobna podnijeti i veća mehanička opterećenja),
- dimenzije (same dimenzije ovise mjestu primjene),
- materijala izrade i
- integracija u elemente (kako bi se smanjila potreba za zamjenom oznake uslijed oštećenja, isti se mogu ugraditi u elemente koje prate i na taj način zaštititi od utjecaja okoline).

RFID oznake u ulošcima se mogu podijeliti na mokre i suhe uloške. Osnovna razlika između mokrih i suhih RFID oznaka je u procesu proizvodnje. Suha RFID oznaka se proizvodi na način da se antena i mikročip laminiraju na pozadinski materijal koji na sebi nema ljepljivi sloj kojim bi se pričvrstila na objekt kojeg prati, dok se mokri izvode na način da se pozadina izvodi od PET (Polietilentereftalat) ili PVT (Polivinil touljen) koji imaju ljepljivu pozadinu, te se navedene RFID oznake mogu svrstati u kategoriju naljepnica. Frekvencijska područja koja se koriste u pasivnim RFID oznakama su niskofrekvencijsko LF, visokofrekvencijsko HF, te ultravisokofrekvencijsko UHF.

Najveća prednost pasivnih RFID oznaka je u njihovoj cijeni, radnom vijeku, te dimenzijama koje omogućuju široku primjenu [15].

Aktivni RFID sustavi se sastoje od oznaka napajanih od baterija najčešće integriranih u samu konstrukciju oznake. Primjena aktivnih RFID sustava je većinom za praćenje lokacije objekta u stvarnom vremenu. Ovisno o načinu rada aktivni RFID sustavi se mogu podijeliti na sustave koji prijenose podatke procesom transponiranja, beaconinga i kombinacije prethodno navedenih.

Transponiranje u sustavu podrazumijeva slanje odgovora RFID oznake nakon primanja signala upita od čitača. Navedeni princip rada čini ovaj sustav čini iznimno sličnim pasivnom sustavu jer oznaka ne odašilje nikakav signal sve dok ne dođe upit od čitača. Razlika je u snazi signala odgovora koji je višestruko jači od signala odgovora kod pasivnih RFID sustava. Navedene radnje nisu energetske zahtjevne što omogućava dug radni vijek RFID oznake.

Beaconing je postupak koji podrazumijeva odašiljanje odgovora bez potrebe za primitkom signala upita. RFID oznaka navedenog sustava odašilje odgovor cijelo vrijeme, čak i kad se ne nalazi u zoni čitanja. Signal odgovora se odašilje u periodu od svakih 100 milisekundi do 5 sekundi, te radi na frekvencijama od 433 MHz ili 900 MHz, odnosno 868 MHz za Europsku zemljopisnu regiju. Najčešći načina na koji se informacije prijenose je Bluetooth Low Energy BLE zbog male cijene izvedbe i značajne energetske učinkovitosti. Beaconing sustav najbolje radi kad je moguće održati stanje, odnosno kad je moguće cijelo vrijeme pratiti lokaciju oznake. Praćenje lokacije podrazumijeva jedno čitanje, kad oznaka uđe u nadzirano područje te je tad čitač detektira i smatra da je unutar nadziranog područje sve dok ne dođe do novog čitanja.

Kombinacije transponiranja i beaconing stvara inteligentni aktivni RFID sustav kod kojeg oznaka sama određuje svoju poziciju te je prenosi čitaču. Navedeni sustav radi na način da se RFID oznaka 'budi' u određenim intervalima, te skenira svoje okruženje za postojanjem signala od fiksnih stanica koji rade na principu beaconinga, te odabire najbližu pomoću koje određuje svoju lokaciju. Na osnovu dobivene informacije RFID oznaka precizno proračunava svoj položaj te ga prosljeđuje čitaču. Prednost sustava je što je za praćenje lokacije potreban samo jedan čitač koji prima informaciju od RFID oznake, dok je za slučaj beaconinga potreban zaseban čitač za pojedini prostor unutar kojeg je smješten objekt čiju lokaciju pratimo [16].

4. Uporaba tehnologije RFID u zračnom prometu

Uporaba RFID sustava u zračnom prometu ima značajne prednosti, a najistaknutija je eliminacija ljudske greške pri rukovanju s prtljagom, dijelovima za zrakoplove, teretom, poštom, te na taj način značajno poboljšava sigurnost zračnog prometa [17].

Uporabom RFID tehnologija se povećava sigurnost, povećava učinkovitost cjelokupnog sustava zračnog prometa, smanjuju se pogreške, te poboljšava prikupljanje podataka. Uporaba RFID tehnologija omogućava i značajno pojednostavljenje procesa poput pregleda inventara koja se uporabom RFID tehnologija obavlja u značajno kraćem vremenu.

Rukovanje s teretom je značajno olakšano, ali još nije u potpunosti primijenjeno zbog troška povezanog uz implementaciju RFID sustava ponajviše oznaka. Kako bi se postigla zahtijevana razina učinkovitosti smještanje RFID oznaka se planira na same kontejnere ili palete, odnosno ULD-ove. Uporaba pametnih RFID oznaka bi omogućila identifikaciju robe unutar kontejnera, ali bi omogućila i praćenje i detektiranje potencijalnih oštećenja robe mjerenjem vibracija tijekom leta, kao i temperaturne uvijete, vlažnost, te detekciju nezakonitog ometanja (poput neautoriziranog otvaranja vrata i ULD-a).

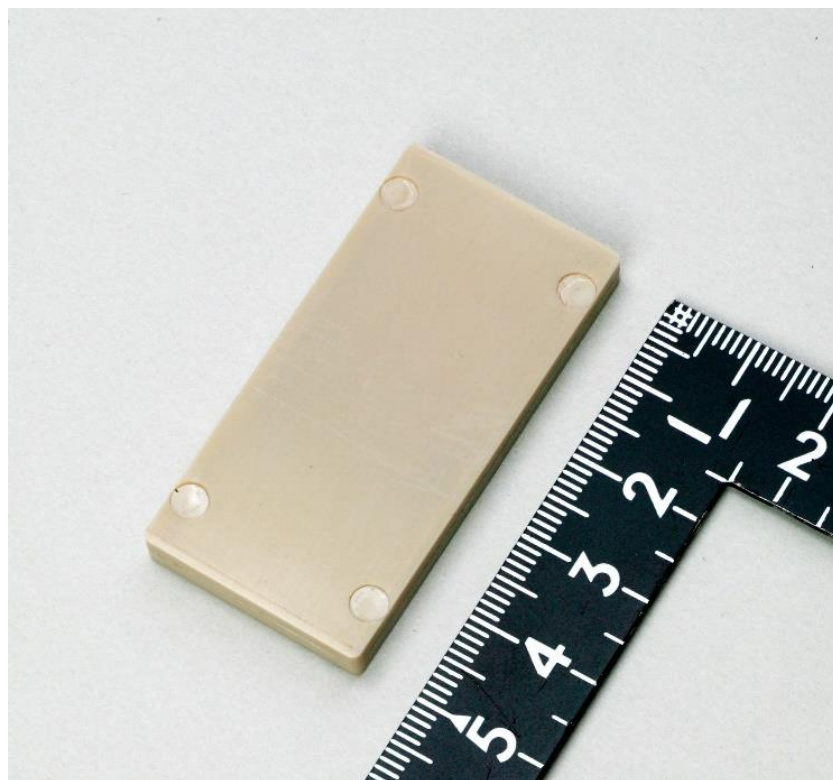
Primjena RFID tehnologija u rukovanju s teretom bi omogućila detaljno praćenje svih uvjeta tijekom prijevoza kako bi se dokazala odgovornost za nestanak robe, odnosno oštećenja, tijekom prijevoza. Također uporaba bi ubrzala određene procese poput carinjenja robe, ali tek ako bi se RFID sustav implementirao u cijelom prijevozom procesu [18].

Primjena RFID tehnologija u održavanju zrakoplova omogućava osoblju zaduženom za održavanje pregled svih dijelova u zrakoplovu. Omogućava pregled značajnih komponenti zrakoplova odnosno njihove povijesti. Proces praćenja dijelova zrakoplova se do sad obavljao ručno ili elektronički, što je povećavalo mogućnost za eventualnu pogrešku, ali je i zahtijevalo dodatno vrijeme za unošenje svih relevantnih informacija u sustav što je imalo negativan utjecaj na efikasnost procesa. Zbog navedenog razloga sve više proizvođača trupa zrakoplova, odnosno konstrukcije trupa, upotrebljava RFID tehnologije. Uporabom RFID tehnologija omogućava se spremanje relevantnih informacija o dijelovima u RFID oznaku koja je pričvršćena na sam dio kojeg prati, te se očitavanje podataka značajno pojednostavilo. Podatci koji se upisuju u oznaku sadrže informacije poput: serijskog broja i informacija o proizvodnji, trenutno stanje dijela, informacije o održavanju, te dodatne informacije od tehničara zaduženog za održavanje. RFID oznaka će varirati od proizvođača do proizvođača, te može biti pasivan i aktivan. Na slici 4. prikazana je pasivna RFID oznaka u obliku naljepnice, a na slici 5. prikazana je oznaka korištena od strane Boeing-a (proizveden od Fujitsu-a).



Slika 4. RFID oznaka u obliku naljepnice za dijelove zrakoplova.

Izvor: <https://barcodenews.com/201404222493/new-rfid-printing-solution-for-aircraft-parts.html> (Pristupljeno 01.07.2021.)



Slika 5. RFID oznaka za dijelove zrakoplova proizvođača Boeing u partnerstvu s Fujitsu Japan

Izvor: <https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2012-01-03/boeing-introduce-rfid-based-parts-tracking> (Pristupljeno: 01.07.2021.)

Pregled i dodavanje informacije u sustav se obavlja ručnim čitačem koji čita podatke s oznake te ih automatski dodaje u sustav. Također bitna prednost je što za čitanje podataka s oznake nije potrebna direktna vidljivost dijela, posebno dijelova koji nisu lako dostupni, i mogućnost čitanja više oznaka istovremeno [19] .

Bitna prednost uporabe RFID tehnologija bi bila i u pogledu autorizacije osoblja. Pristup zračnoj strani je strogo reguliran i omogućen je ulaz samo autoriziranim osobama uporabom identifikacijskih iskaznica, odnosno bedževa. Kako svaki zaposlenik ima identifikacijsku iskaznicu integracija RFID oznake u samu iskaznicu bi omogućila lakšu autorizaciju te tako eliminirala potrebu za zaštitarom koji provjerava sve osobe koje ulaze u štićena područja zračne luke. RFID čitač bi brzo i jednostavno očitao informacije s oznake te omogućio ili onemogućio ulazak [20].

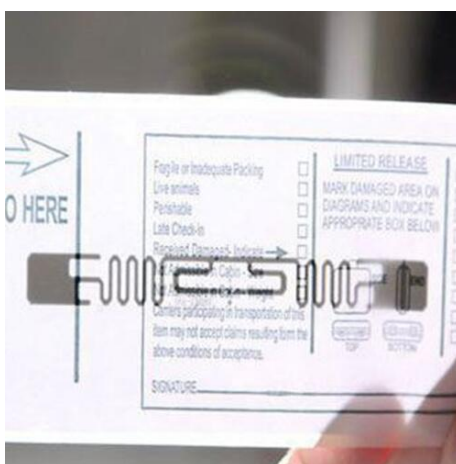
Također upravljanje ostalim osobljem bi također bilo lakše uporabom RFID tehnologije koja bi pratila lokaciju pojedinih zaposlenika te bi tako omogućilo upravitelju, odnosno voditelju smjene, da u bilo kojem trenutku zna točnu lokaciju zaposlenika. Poznavanje točne lokacije je bitno jer zaposlenik u bilo kojem trenutku može biti potreban na drugom radnom mjestu, pa bi njegovo lociranje značajno smanjilo vrijeme potrebno da se radnika locira i obavijesti [21].

5. Sortiranje prtljage pomoću RFID sustava

Uporaba RFID sustava omogućava praćenje lokacije prtljage u stvarnom vremenu, te je upravo zbog navedenog razloga data prednost RFID sustavima u IATA 753 rezoluciji. Rezolucija obvezuje zračne prijevoznike, članove IATA-e, da zamjene identifikaciju prtljage s sustava koji koriste barkod, na RFID sustave [22].

Proces prihvata i otpreme prtljage se sastoji od primanja prtljage od putnika, sigurnosne provjere prtljage, skladištenja prtljage do vremena ukrcaja na let, sortiranja prtljage kako bi se ista ukrcala na pravi let, potvrde da se putnik i prtljaga nalaze na istom letu, osiguravanja uvjeta transfera prtljage ako je isti predviđen, osiguravanja brzog istovara prtljage i brzog prijenosa do pokretne trake za preuzimanje prtljage [23].

Za praćenje i sortiranje prtljage u zračnom prometu koriste se pasivni sustavi koji rade u ultravisokofrekvencijskom području, frekvencijskog raspona od 860 do 960 MHz. RFID oznake koje se koriste mogu biti jednokratne i višekratne. Jednokratne se izvode u obliku naljepnica koji su izgledom isti prtljažnim privjescima koji koriste barkod, te se također printaju pri prijavi prtljage na let, naravno razlika je što RFID prtljažni privjesak u sebi ima pasivnu RFID oznaku. Jednokratni prtljažni privjesak prikazan je na slici 6.



Slika 6. Jednokratni RFID prtljažni privjesak.

Izvor: http://rfidtagworld.com/products/Airport-Bag-Tag-RFID-Luggage-Baggage-Tag_1791.html (Pristupljeno 02.07.2021)

Višekratni prtljažni privjesci mogu biti trajni i elektronički. Trajni prtljažni privjesci spadaju u kategoriju pasivnih RFID oznaka koji se najčešće koriste za *frequent flyer* putnike te za putnike koji su članovi programa lojalnosti. Prtljažni privjesak se izvodi u obliku kartice u vlasništvu putnika, te se koristi više puta. Na slici 7. prikazan je trajni prtljažni privjesak. Zračni prijevoznik ažurira podatke na prtljažnom privjesku svaki put kad se putnik prijavi na let.



Slika 7. Trajni RFID prtljažni privjesak zračnog prijevoznika Qantas

Izvor: <https://www.qantas.com/au/en/travel-info/baggage/permanent-bag-tags.html>
(Pristupljeno: 02.07.2021)

Elektronički prtljažni privjesci spadaju u aktivne prtljažne privjeske, te je RFID oznaka napajana baterijom. Kako bi putnici mogli pratiti lokaciju svoje prtljage u stvarnom vremenu potreban je prijenos informacija najčešće putem Bluetooth-a (Bluetooth Low Energy BLE). Također elektronički prtljažni privjesci na sebi imaju zaslon na kojem mogu prikazati barkod prtljažnog privjeska i informacije o letu. Elektronički prtljažni privjesci mogu raditi s RFID čitačima na zračnoj luci, te mogu biti očitane na isti način kao i jednokratni RFID prtljažni privjesci. Na slici 8. prikazan je elektronički prtljažni privjesak.



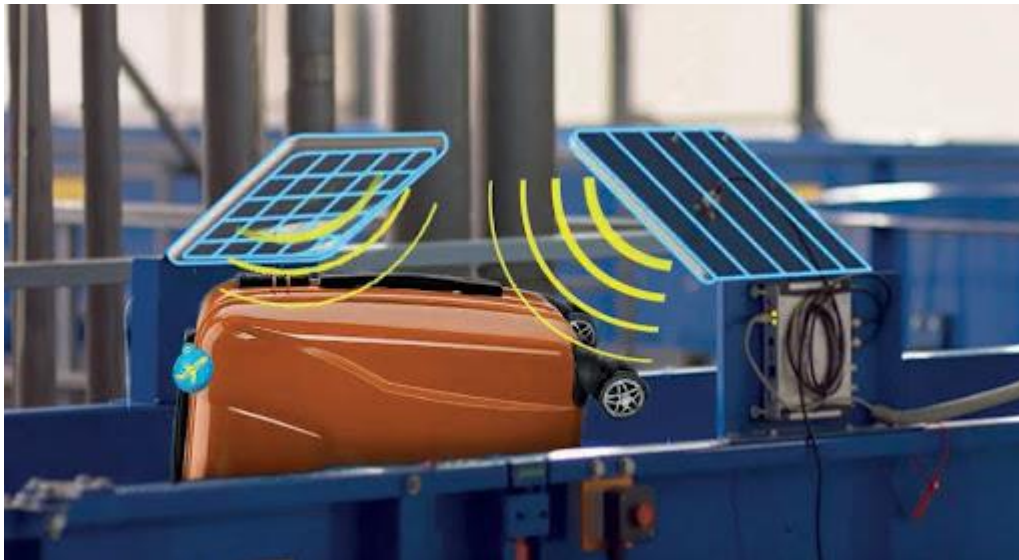
Slika 8. Elektronički prtljažni privjesak.

Preuzeto sa: <https://www.futuretravelexperience.com/2019/07/british-airways-introduce-reusable-rfid-bag-tags/> (Pristupljeno: 02.07.2021)

Čitanje RFID oznaka se odvija pomoću RFID čitača koji se nalazi na ključnim točkama, te se postavlja na mjestima za registraciju prtljage, pokretnoj traci, utovarivaču prtljage i sl. Čitač je reguliran s ISO 18000-6C standardom (koji regulira UHF područje RFID sustava), dok se ostatak sustava sastoji od više fiksiranih antena, te pripadajuće programske podrške.

Kako bi se osigurala zahtijevana učinkovitost sustava, potrebna je sposobnost čitača da istovremeno očitava podatke s više RFID oznaka, odnosno prtljažnih privjesaka. Podatak

koji čitač očitava s oznake je identifikacijski broj RFID oznake (*eng. Tag Information Number TIG*), te je uz TIG potrebno znati EPC standard u kojem je definirana vrsta podataka koja se nalazi u RFID oznaci, te je moguće spremanje podataka o težini prtljage, klasi prijevoza i ostalih. Za prijenos podataka koje čitač očitava u sustav koriste se različiti oblici prijenosa informacija te su najčešće LAN, WiFi, 3G ili 4G i ostali. Nakon očitavanja podatci se prenose na back-end odnosno upisuju u DCS (Departure Control System), BRS (Baggage Reconciliation System), BHS (Baggage Handling System), i druge. Na slici 9. prikazan je primjer očitavanja podataka s RFID oznake, za slučaj trajnog RFID prtljažnog privjeska.



Slika 9. Detekcija i očitavanje RFID prtljažnog privjeska.

Izvor: <http://www.longestchance.com/> (Pristupljeno: 05.07.2021)

Praćenje lokacije prtljage u stvarnom vremenu predstavlja značajnu prednost putnicima, te na taj način poboljšava kvalitetu usluge. Uz putnike značajnu prednost ima i osoblje zračne luke, koje uz pomoć praćenja u stvarnom vremenu može definirati uska grla u mreži i djelovati na ista [24].

Prije ukrcaja prtljage u zrakoplov istu je potrebno sortirati. Uporaba RFID sustava omogućuje da se proces sortiranja automatizira. Automatiziranje procesa omogućava da se prtljaga sigurnosno skladišti do vremena ukrcaja u zrakoplov, sortira na točnu lokaciju ukrcaja, te je moguće potvrditi da se prtljaga nalazi na pravom letu. Na slici 10. prikazan je automatiziran sustav sortiranja prtljage na novom terminalu zračne luke Bergen u Fleslandu u Norveškoj [23].



Slika 10. Sustav sortiranja prtljage na zračnoj luci Bergen u Flenslandu, Norveška.

Izvor: <https://www.airport-suppliers.com/supplier-press-release/airport-baggage-handling-systems-and-sorting-2-2/> (Pristupljeno 12.07.2021.)

Kako se identifikacija obavlja putem RFID prtljažnog privjeska moguće je prtljagu sortirati po težini, odnosno po prioritetu, ovisno radi li se o prtljazi putnika poslovne ili ekonomske klase. Ukoliko na letu postoje posebne kategorije putnika čija prtljaga mora biti iskrcana prije ostale prtljage potrebno ju je sortirati na način da se može prva istovariti, te zadnja utovariti u prtljažno-teretne prostore zrakoplova [25].

6. Sortiranje pošte pomoću RFID sustava

Slično problemima u prihvat i otpremi prtljage poštanski sustav je u novije vrijeme suočen sa značajnim problemima zbog broja i intenziteta pošiljaka, te po procesu prijevoza postaje sve sličniji teretnom prometu. Kako bi se smanjili troškovi, bitna je implementacija novih tehnologija u praćenju pošiljaka. Zamjena identifikacije pošiljaka barkodom s RFID oznakama smanjuje broj osoblja potrebnog za ažuriranje lokacije pošiljke, te slično kao i u procesu prijehata i otpreme prtljage omogućuje praćenje u stvarnom vremenu i automatizaciju cjelokupnog procesa.

Zamjena identifikacije barkodom na RFID sustave bi značajno utjecalo na sigurnost cjelokupnog procesa, te bi se također smanjio broj izgubljenih pošiljaka, kao i vrijeme potrebno za registraciju zaprimljene pošte. Eliminacijom potencijalne ljudske pogreške prilikom unošenja barkodova u sustav povećava je učinkovitost sustava [26].

Korištenje RFID sustava prije spoznavanja potencijalnih prednosti bilo je ograničeno samo na uporabu za otkrivanje uskih grla u mreži, te se danas sve više kompanija odlučuje za primjenu RFID sustava.

Kako bi se omogućila široka primjena RFID sustava u različitim državama, potrebna je implementacija različitih standarda. Standardi su objavljeni od strane Međunarodne poštanske korporacije (*eng. International Post Corporation*) koja objedinjuje 25 državnih poštanskih službi iz vodećih zemalja Europe, Azije i Pacifika, te Sjeverne Amerike. Navedene standarde koristi preko 190 poštanskih službi diljem svijeta kako bi se poboljšala kvaliteta i učinkovitost poštanskog sustava, te ostvarili okviri za razvoj rješenja za poboljšanje međunarodnog prometa pošiljaka [27].

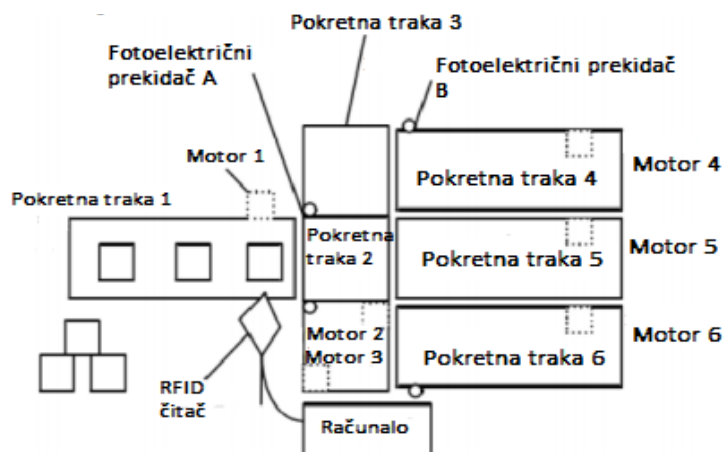
Agencija odgovorna za donošenje standarda na osnovu kojih Međunarodna poštanska korporacija donosi svoja rješenja je Svjetska poštanska unija koja je tijelo Ujedinjenih naroda osnovana s ciljem koordiniranja poštanske politike i pravila između zemalja članica [28].

Relevantni standardi predstavljeni od strane Međunarodne poštanske korporacije tiču se reguliranja prijenosa informacija, odnosno kodiranja, uporabom pasivnih ultravisokofrekvencijskih RFID sustava. Svi elementi RFID sustava su regulirani od strane ISO/IEC 18000-63 standarda dok su pravila kodiranja zasnovana na ISO/IEC 15962 standarda definira pravila prijenosa informacije unutar RFID sustava, odnosno definira protokole za komunikaciju između RFID oznake i čitača, te definira način pohranjivanja informacije unutar RFID oznake.

Prethodno navedeni standardi omogućuju uporabu čitača proizvedenih od jednog proizvođača s RFID oznakom proizvedenom od strane drugog.

Smanjenje broja radnika potrebnih za rad sustava omogućuje značajne uštede zbog smanjenja troškova osoblja kao i povećanje učinkovitosti cjelokupnog procesa. Osnovni

automatizirani sustav se sastoji od kontrolnog uređaja, sustava klasifikacije, dostavnog sustava te sortiranja prijelaza. Shematski prikaz dijelova sustava je na slici 11.



Slika 11. Shematski prikaz dijelova automatiziranog sustava sortiranja pošiljaka.

Izvor: [29] (pristupljeno: 06.07.2021)

Kontrolni uređaj se sastoji od RFID čitača, računala i mikrokontrolera. Po dolasku pošiljke RFID čitač očitava oznaku, te prenosi očitane informacije do računala koje kontrolira motor odgovoran za pokretnu traku koja nadalje sortira pošiljku. Sortiranje pošiljki se obavlja na način da se pošiljke odvajaju ovisno o masi, dimenzijama, obliku pakiranja te destinaciji. Ovisno o masi pošiljke se mogu podijeliti na male, mase do 10 kilograma, te velike čija masa prelazi 10 kilograma. Velike pošiljke se skeniraju na način da se izračuna njihov obujam kako bi se optimizirao proces sortiranja, odnosno pripreme za prijevoz. Bitna uloga RFID sustava je da on uz što očitava podatke o pojedinoj pošiljki također prenosi podatke o lokaciji pošiljke u sustav odgovoran za praćenje, te nadalje iste podatke prenosi u sustav koji omogućava krajnjem korisniku da prati lokaciju svoje pošiljke. Podatci se prenose žičanim putem, putem LAN veze [30].

Sustav kojem računalo šalje signal se naziva klasifikacijski sustav, te je upravo klasifikacijski sustav odgovoran za kontroliranje motora u pokretnoj traci. Dostavni sustav se sastoji od više prijenosnih traka koje prevozi pošiljku do ispravne pozicije predodređene od strane računala. Sortiranje prijelaza (eng. *Sorting Crossing*) je dio u sustavu koji ažurira pošiljke koje su ispravno sortirane. Fotoelektrični prekidači su odgovorni za zaustavljanje rada elektromotora koji pokreću pokretnu traku.

Postavljanje RFID čitača na ključnim pozicijama omogućuje praćenje pošiljke u stvarnom vremenu. Na zračnoj luci RFID čitači se najčešće postavljaju na mjestima kroz koja pošiljke prolaze prije ukrcaja na zrakoplov, odnosno na vratim skladišta u kojem je smješten poštanski terminal [29].

7. Implementacija RFID sustava

Implementacija RFID sustava u različite dijelove zračnog prometa pridonijela bi ostvarivanju različitih prednosti, te bi značajno utjecala na učinkovitost cjelokupnog sustava. Praćenje objekta u stvarnom vremenu značajno utječe na sigurnost u sustavu te smanjuje mogućnost gubitka objekta kojeg pratimo, što je od iznimnog značaja u procesu prihvata i otpreme prtljage.

Općenito, implementacija RFID sustava se odvija kroz 8 koraka. Prvi korak je definiranje problema koji uzrokuju smanjenje učinkovitosti i stvaranje dodatnih troškova. Također bino je definirati uska grla u sustavu. U rukovanju prtljagom značajan problem predstavlja izgubljena prtljaga. Izgubljena prtljaga značajno utječe na isplativost cjelokupnog zračnog prometa, uglavnom jer se troškovi za izgubljenu prtljagu kreću u milijardama dolara godišnje.

Troškovi zbog izgubljene prtljage su za 2007. godinu iznosili čak 4,69 milijardi američkih dolara, te se ukupan trošak značajno smanjio, te je za 2019. godinu iznosio 2,5 milijardi američkih dolara, dok je za 2020. godinu iznosio 0,6 milijardi dolara (što je rezultat restrikcija potaknutih epidemijom) [31].

Drugi korak implementacije je postavljanje mjerljivih ciljeva. Postavljanjem ciljeva moguće je potvrđivanje da radnje koje se provode imaju utjecaja.

Treći bitan korak je da se definiraju troškovi implementacije cijelog sustava prije nego što se započne s procesom implementiranja RFID sustava. Trošak ugradnje RFID sustava bit će određen cijenom komponenti obzirom da se svaki RFID sustav sastoji od tri komponente bitno je da se troškovi definiraju u ranijoj fazi. Ranije definiranje troškova uz određivanje iznosa ulaganja u sustav također definira mogući povrat investicije (*eng. Return of investment ROI*).

Četvrti korak se sastoji od mapiranja poslovnog procesa, odnosno definiranja toka. Kako bi dobili čistu sliku o procesu potrebno je definirati sam proces, od kojih se elemenata sastoji te koji su od elemenata međusobno povezani. U slučaju zračnog promet definiranje procesa predstavlja dijagram toka koji se može za putnike definirati kao radnje od dolaska putnika na odlaznu zračnu luku do njihovog dolaska na odredište.

Peti korak predstavlja odabir odgovarajuće tehnologije koja će se koristiti. Odabir komponenti RFID sustava ovisi o primjeni sustava. Ovisno o zahtjevima za praćenje robe može se započeti odabirom aktivnih ili pasivnih oznaka, odabirom odgovarajućeg frekvencijskog područja, odabirom čitača ovisno traži li se da mogu istovremeno očitavati više RFID oznaka, odabirom fiksiranih ili prijenosnih RFID čitača. Također mjesto primjene odgovarajućeg tipa RFID čitača je od bitnog značaja kako se isti ne bi postavili na mjesto gdje bi moglo doći do njihovog oštećenja.

Kako bi sustav bio operabilan potrebno je izvršiti edukaciju osoblja, te je edukacija osoblja predstavlja šesti korak u implementaciji. U slučaju smanjenja učinkovitosti sustava, greški u sustav, potrebno je da radnici pravovremeno i adekvatno reagiraju kako bi se poteškoće uklonile. Zbog toga je edukacija od iznimne važnosti.

Pilot projekt je sedmi korak implementacije koji predstavlja puštanje u rad RFID sustava u manjem udjelu u stvarnom sustavu kako bi se bolje izvršila procjena troškova, izvedivosti i trajanja sustava, te se na taj način spoznajama iz pilot projekta vrše promjene u dizajnu kako bi se isti poboljšao [32]. Pilot projekt je korak prije implementacije sustava.

Osmi korak predstavlja implementaciju stava koja se pokreće tak nakon potvrde o isplativosti sustava iz pilot projekta, odnosno proširenje primjene sustava. Nakon proširenja sustava moguće je primjećivanje stvarnih prednosti i postizanje postavljenih ciljeva [33].

Na osnovi prethodno navedenih koraka, definiranje problema u zračnom prometu, poput rješavanja problema izgubljene prtljage, je od velikog značaja. Broj izgubljene prtljage se od 2007. godine smanjio za čak 70 %, dok je 99 % prtljage vraćeno vlasnicima u roku od dva dana. Iako se broj izgubljene prtljage smanjuje uporaba RFID sustava u kombinaciji s provođenjem modernih standarda obavješćivanja moguće je dodatno smanjenje postotka izgubljene prtljage za 25 %.

Također bitna prednost implementacije RFID sustava je poboljšanje iskustva putnicima, koji bi pomoću RFID sustava imali mogućnost provjere lokacije svoje prtljage ako ista ne bi došla na istom letu kao i putnici [22].

Reakcija međunarodne udruge zračnih prijevoznika IATA je problem odlučila riješiti uporabom RFID sustava. U korist RFID sustava je odlučeno na 75. godišnjem generalnom sastanku 2019. godine održanom u Seoulu. Sastanak je bio predvođen od strane Korean Air najvećeg zračnog prijevoznika iz Južne Koreje. Zbog očitih prednosti uporabe RFID sustava jednoglasno je odlučeno u korist primjene. U donesenoj rezoluciji nisu navedeni vremenski okviri unutar kojih su zračni prijevoznici obvezni implementirati donesene izmjene.

Kako bi se definirala potencijalna mjesta u kojima može doći do gubitka prtljage IATA-ina rezolucija 753 obvezuje zračne prijevoznike da njeni članovi moraju pribaviti informacije o:

- prihvatu prtljage od putnika, od strane prijevoznika člana IATA-e ili njegovog agenta
- prijevozu prtljage do zrakoplova
- dostavi i prijenosu prtljage između prijevoznika članova IATA-e ili njihovih agenata i
- dostavljanju prtljage putniku na odredištu.

Mapiranje procesa prihvata i otpreme prtljage se sastoji od definiranja koraka pri registraciji putnika i predane prtljage, odnosno definiranja toka kako bi dobili pregled nad cjelokupnim procesom. Registracijom putnika na let prenose se informacije koje se sastoje od

naziva zračnog prijevoznika, broja leta, opisa prtljage i telefonskog broja putnika zajedno s identifikacijskim brojem koji je jedinstven za svakog putnika, te se šalje putniku putem SMS poruke. Upravo se taj identifikacijski broj pohranjuje u RFID oznaku koja je pričvršćena na prtljagu.

Dolaskom u odredišnu zračnu luku prtljaga se šalje na sortiranje, te se njena lokacija očitava pomoću RFID čitača koji su postavljeni na istovarivaču. Nakon što se skenira RFID oznaku šalje se obavijest putniku da je prtljaga došla u odredišnu zračnu luku. Nadalje, prtljaga se prevozi do sortirnice kako bi se sortirala do vremena preuzimanja prtljage. Putnik po dolasku u odredišnu zračnu luku dolazi do šaltera za preuzimanje prtljage i upisuje identifikacijski kod kojeg je dobio putem SMS poruke.

Nakon upisivanja identifikacijskog koda prtljaga se šalje iz sortirnice na način da se očita RFID oznaka na prtljazi, te se prtljaga prevozi do odgovarajućeg mjesta za preuzimanje pomoću pokretnih traka. Cjelokupan proces se prati pomoću RFID čitača postavljenih na relevantnim pozicijama [34].

Kako bi se svi elementi RFID sustava prilagodili prije potpune implementacije IATA od svojih prijevoznika zahtijeva da se RFID sustav postupno implementira, odnosno da se identifikacija RFID oznakom koristi zajedno s identifikacijom barkodom.

Nakon uspješne implementacije RFID sustava moguće je uočiti prednosti uporabe. Sve više i više zračnih prijevoznika implementira RFID sustave u procese rukovanja prtljagom, te se prednosti uporabe mogu vidjeti po primjeru zračnog prijevoznika Delta Airlines.

Zračni prijevoznik Delta Airlines je u svoj sustav rukovanja prtljagom implementirao RFID sustav te je na taj način postigla smanjenje vremena ukrcaja prtljaga za prosječno tri minute, također uz smanjenje vremena ukrcaja smanjen je i broj osoblja koje je potrebno sa četiri na tri radnika. Smanjenje potrebnog broja radnike je smanjilo ozljede radnika za 21 posto. Naravno zbog lakšeg lociranja izgubljene prtljage samo vrijeme potrebno za pronalazak je značajno smanjeno [35].

8. Zaključak

RFID sustavi omogućavaju automatizaciju i praćenje lokacije dijelova unutar procesa u različitim industrijama. RFID sustav određuje lokaciju na osnovi informacija koje se prenose elektromagnetskim valovima u radiovalnom spektru.

Sustav se sastoji od čitača, antene i oznake. RFID čitač, odnosno interrogator, je odgovoran za očitavanja i upisivanje informacija u RFID oznaku. Prijenos informacije se odvija procesom modulacije, odnosno upisivanja informacije u elektromagnetski val. Kako bi se modulirani elektromagnetski val prenio do RFID oznake kroz prostor, potrebna je antena koja predstavlja prijelazni element. Ovisno o karakteristikama antene odredit će se površina unutar koje se vrši čitanje, te udaljenost na kojoj će prijenos biti moguć. RFID oznaka predstavlja bitan element u sustavu jer upravo RFID oznaka služi za obilježavanje objekta čiju lokaciju pratimo. RFID oznaka se sastoji od antene i mikročipa, i podloge na kojoj se elementi nalaze. U mikročipu se pohranjuju informacije koje identificiraju navedeni objekt. Ovisno o frekvenciji, RFID sustavi mogu biti niskofrekvencijski, visokofrekvencijski, te ultravisokofrekvencijski i mikrovalni. Ovisno o aktivnosti, koja je određena RFID oznakom, sustavi mogu biti aktivni i pasivni.

Zbog svoje kompleksnosti i osjetljivosti na nezakonite radnje zračni promet može ostvariti značajne prednosti korištenjem RFID sustava. Automatizacija procesa poput rukovanja teretom i poštom, prihvata i otpreme putnika i prtljage je od velikog značaja. Također moguća je bolja preglednost nad procesima poput održavanja zrakoplova, sigurnosnog pregleda osoblja i boljeg praćenja lokacije osoblja.

Primjenom RFID sustava u rukovanju prtljagom moguće je u potpunosti automatizirati proces, te na taj način potencijalno smanjiti broj osoblja potrebnog za rukovanje, kao i smanjiti troškove koji nastaju izgubljenom prtljagom. Iako se postotak izgubljene prtljage značajno smanjio posljednjih godina još postoji prostor za poboljšanje. Uz smanjenje izgubljene prtljage, moguće je ostvariti poboljšanje putničkog iskustva putnicima jer primjenom RFID sustava putnici mogu pratiti lokaciju svoje predane prtljage. RFID oznake mogu biti u obliku naljepnica koje se printaju pri registraciji putnik na šalteru, do višekratnih, koje putnik može koristiti na različitim letovima. Sam proces sortiranja je u potpunosti automatiziran te se sortiranje vrši pomoću pokretnih traka. Ovakav način sortiranja prtljage omogućava bolju preglednost nad svim fazama u procesu prihvata i otpreme prtljage.

Sortiranje pošte je također automatizirano, i omogućava slične prednosti kao i sortiranje prtljage. Sustav sortiranja pošte, odnosno pošiljki, se sastoji od kontrolnog uređaja, sustava klasifikacije, dostavnog sustava te sortiranja prijelaza. Lokacija pošiljke se prati pomoću RFID čitača postavljenih na ključnim lokacijama u sustavu, te je cijeli sustav kontroliran putem kontrolnog uređaja koji se sastoji od RFID čitača, računala i mikro kontrolera.

Kako bi se prednosti uporabe RFID sustava u potpunosti postigle, potrebno je navedeni sustav implementirati. Postupak implementacije se sastoji od osam koraka. Prvi je definiranje problema zbog kojeg se implementira RFID sustav. Zatim slijedi postavljanje mjerljivih ciljeva kojima će se dokazati da je implementacija RFID sustava uspješna. Zatim slijedi definiranje troškova implementacije. Četvrti korak je mapiranje radnog procesa odnosno toka u kojeg želimo implementirati RFID sustav. Nakon provođenje prethodnih koraka potrebno je odrediti tehnologiju koja će se koristiti, odnosno koju vrsta RFID sustava će se primijeniti. Nakon definiranje tehničkog djela sustava potrebno je educirati osoblje, te pilot projektom implementirati manji dio RFID sustava. Tek nakon analize pilot projekta moguće je u potpunosti implementirati RFID sustav.

Povećanje implementacije RFID sustava se očekuje u nadolazećim godinama. Smanjenje cijene sustava ga čini jednim od atraktivnih rješenja za povećanje učinkovitosti, sigurnosti i troškova.

Literatura

- [1] Nieto L., RFID Design Fundamentals and Applications, New York : Taylor & Francis group LLC; 2010.
- [2] RFID 4 U store. Preuzeto sa: <https://rfid4ustore.com/blog/how-to-select-an-rfid-antenna/>. [Pristupljeno: svibanj 2021.].
- [3] Zeki. M. A. Abdullah M. H., Frontend and Backend Web Technologies in Social Networking Sites: Facebook as an Example, u 3rd International Conference on Advanced Computer Science applications and Technologies, Amman, Jordan, 2014.
- [4] RFID4U. Preuzeto sa: <https://rfid4u.com/rfid-reader-interrogation-zone/>. [Pristupljeno : svibanj 2021.].
- [5] Goh Khan C., Chen Ning Z., Qing X. Impedance Characterization of RFID Tag Antennas and Applications in Tag Co-Design IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES. 2009; 57 (5): 1268-1269.
- [6] Atlas RFID store. Preuzeto sa: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/types-of-memory-in-gen-2-uhf-rfid-tags>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [7] Ward R. , Kranenburg van M. RFID: Frequency, standards, adoptation and innovation - the 2006 report.
- [8] Ustudag A. Korkmaz E. Standards, Security & Privacy Issues about Radio Frequency Identification (RFID) Department of Industrial Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul , 2007.
- [9] Kumar B., Anumba C. Domdouzius K., Radio-Frequency Identification (RFID) applications:A brief introduction- Elsevier Ltd. 2006; 21(1): 352-353.
- [10] Dong Sam H., Chawla V. AN OVERVIEW OF PASSIVE RFID - IEEE Applications & Practice, 2004; 1(1): 14-15.
- [11] Everything RFID. Preuzeto sa: <https://www.everythingrf.com/community/high-frequency-hf-rfid-tags-systems>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [12] Everything RFID. Preuzeto sa: <https://www.everythingrf.com/community/ultra-high-frequency-uhf-rfid-tags-systems>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [13] Everything RFID. Preuzeto sa: <https://www.everythingrf.com/community/microwave-frequency-shf-rfid-tags-systems>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [14] Boyer C. Backscatter Communication and RFID. IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 2014; 62(3): 770-771.
- [15] Atlas RFID Store. Preuzeto sa: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/active-rfid-vs-passive-rfid>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].

- [16] Air Finder. Preuzeto sa: <https://www.airfinder.com/blog/active-rfid>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [17] SKYbrary. Preuzeto sa: [https://www.skybrary.aero/index.php/Radio_Frequency_Identification_\(RFID\)_in_Airline_Operations_and_Maintenance](https://www.skybrary.aero/index.php/Radio_Frequency_Identification_(RFID)_in_Airline_Operations_and_Maintenance). [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [18] Gyu Son Y. C. Heng Oh C. Seok Chang Y. Design and implementation of RFID based air-cargo monitoring system - ELSEVIER, 2010; 1(1): 41-52.
- [19] VIZINEX. Preuzeto sa: <https://www.vizinexrfid.com/rfid-used-aerospace-aviation/>. [Pristupljeno: srpanj 2021].
- [20] Bite Emese K. Staff access control at airports - Periodica polytechnica. 2010; 38(1): 10-12.
- [21] Esker F. White paper Three Benefits for RFID implementation. 2012.
- [22] Joseph B., Muruganantham A. Smart Airline Baggage Tracking and Theft Prevention with Blockchain Technology. TEST Engineering & Management. 2020; 83(1): 3436-3437.
- [23] SITA. Preuzeto sa: <https://www.sita.aero/pressroom/blog/rfid-a-vital-variable-in-the-baggage-equation/>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [24] Ouyang Y. He Y. Zhang T. Traceable Air Baggage Handling System Based on RFID Tags in the Airport. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research , 2008; 3(1): 108-111.
- [25] World Maritime University. Transport 2040: Automation in airports: Automatic Baggage Handling Systems - Technology and transformation - 2019 report. World Maritime University London, 2019.
- [26] Beumer Group. Preuzeto sa: <https://knowledge.beumergroup.com/cep/automated-parcel-sorting-introduction>. [Pristupljeno: srpanj 2021].
- [27] International postal corporation. Preuzeto sa: <https://www.ipc.be/about-ipc>. [Pristupljeno: srpanj 2021.].
- [28] Kilfoyle E., Richardson J. A. Governance and control in networks: a case study of the Universal Postal Union. Emerald Group publishing. 2015; 28(4): 551-552.
- [29] Xue R., Wang S., Zeng S. Research on Automatic Sorting System Based on RFID. Atlantis press, 2017; 81(1): 216-218.
- [30] SNBC. Preuzeto sa: <https://www.snbc.com.cn/index.php?s=news/786/cid/10.html>. [Pristupljeno: kolovoz 2021].
- [31] Statista. Preuzeto sa: <https://www.statista.com/statistics/862388/average-rate-of-mishandled-bags-worldwide-airline-industry/>. [Pristupljeno: kolovoz 2021.].
- [32] Associated Project Management. Preuzeto sa: <https://www.apm.org.uk/resources/find-a-resource/what-is-the-difference-between-a-trial-and-a-pilot/>. [Pristupljeno: kolovoz 2021.].

- [33] IoT Lab. Preuzeto sa: <https://iotlab.tertiumcloud.com/2019/04/16/8-steps-for-a-successful-rfid-system-implementation/>. [Pristupljeno: kolovoz 2021.].
- [34] Sinha K. Godara P. Malhotra S., et al. Airport Baggage Handling Using RFID and Cloud Technology. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)* 2018; 6(4): 30-33.
- [35] Wyld C. D., Jones A. M., Totten W. J. Where is my suitcase? RFID and airline customer service. *The Emerald Research Register*, 2005; 23(4): 386-391.

Popis slika

Slika 1. Shema RFID sustava.....	2
Slika 2. Shema dijelova RFID čitača.....	4
Slika 3. Shematski prikaz RFID oznake.....	5
Slika 4. RFID oznaka u obliku naljepnice za dijelove zrakoplova.....	12
Slika 5. RFID oznaka za dijelove zrakoplova proizvođača Boeing u partnerstvu s Fujitsu Japan.....	12
Slika 6. Jednokratni RFID prtljažni privjesak.....	14
Slika 7. Trajni RFID prtljažni privjesak zračnog prijevoznika Qantas.....	15
Slika 8. Elektronički prtljažni privjesak.....	15
Slika 9. Detekcija i očitavanja RFID prtljažnog privjeska.....	16
Slika 10. Sustav sortiranja prtljage na zračnoj luci Bergen u Flenslandu, Norveška.....	17
Slika 11. Shematski prikaz dijelova automatiziranog sustava sortiranja pošiljaka.....	19



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **PRIMJENA RFID TEHNOLOGIJA U SORTIRANJU**

POŠILJAKA I PRTLJAGE

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 06.09.2021 _____

Student/ica:

Karlo Matić

(potpis)