

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Sotlar, E., 2016. Možnost uporabe pasivnih oddajnikov pri cestninjenju. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M., somentor Velkavrh, J.): 55 str.

Datum arhiviranja: 01-07-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Sotlar, E., 2016. Možnost uporabe pasivnih oddajnikov pri cestninjenju. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M., co-supervisor Velkavrh, J.): 55 pp.

Archiving Date: 01-07-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
PROMETNOTEHNIČNA  
SMER**

Kandidat:

**ERNEST SOTLAR**

**MOŽNOST UPORABE PASIVNIH ODDAJNIKOV PRI  
CESTNINJENJU**

Diplomska naloga št.: 529/PTS

**USE OF PASSIVE TAGS FOR ELECTRONIC TOLL  
COLLECTION**

Graduation thesis No.: 529/PTS

**Mentor:**

izr. prof. dr. Marijan Žura

**Somentor:**

Jurij Velkavrh

Ljubljana, 22. 06. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

**IZJAVE**

Spodaj podpisani študent **ERNEST SOTLAR**,

vpisna številka 26103941, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom:

**MOŽNOST UPORABE PASIVNIH ODDAJNIKOV PRI CESTNINJENJU****IZJAVLJAM**

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija, ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 6. 6. 2016

Podpis študenta:

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>656.1(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Ernest Sotlar</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Marijan Žura</b>
<b>Somentor:</b>	<b>Jurij Velkavrh, univ. dipl. mat.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Možnost uporabe pasivnih oddajnikov pri cestninjenju</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>55 str., 2 pregl., 25 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>pasivni oddajnik, čitalnik, RFID sistem, cestninjenje, EPCglobal standard</b>

### **IZVLEČEK**

Cilj diplomske naloge je ugotoviti, ali je možno s posebno obliko elektronskih kartic (pasivni RFID-oddajniki) plačevati cestnino, to pomeni, ali je ta elektronski sistem dovolj zanesljiv, uporaben, in primeren za plačevanje cestninskih cest. Cestnina je pristojbina za uporabo cestninskih cest. Načinov plačila cestnin je več. Obstajata gotovinsko plačilo cestnine na cestninski postaji, nato predplačniški sistem z vinjeto, kjer vinjeta prilepljena na vetrobransko steklo služi kot dokaz, v zadnjem času pa se vse bolj uporablja elektronsko cestninjenje, kjer se cestnina plačuje preko uporabe posebnih kartic ali posebnih nalepk, prilepljenih na vetrobransko steklo, ki komunicirajo z elektronskimi napravami postavljenimi ob cestišču. V diplomski nalogi so opisane osnove elektronskega RFID-sistema, nato so povzete trenutne uporabe sistema pasivnih oddajnikov za cestninjenje po svetu, v končnem poglavju pa je opisano testiranje sistema, ki se je izvajalo v okviru Prometnotehniškega inštituta (PTI), ki deluje v okviru Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani. Pri tem testiranju sem tudi sam sodeloval.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 656.1(043.2)  
**Author:** Ernest Sotlar  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Marijan Žura, Ph.D.  
**Cosupervisor:** Jurij Velkavrh, B.Sc.  
**Title:** Use of passive tags for electronic toll collection  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Scope and tools:** 55 p., 2 tab., 25 fig.  
**Keywords:** passive tag, reader, RFID system, electronic toll collection, EPCglobal standard

**ABSTRACT**

The aim of this thesis is to determine, whether it is possible with specific type of electronic cards (passive RFID tags) to pay a toll. This means whether the electronic system is sufficiently reliable, useful and suitable for payment of toll roads. A toll is a fee for use of toll roads. There are several payment methods for toll roads, such as payment with cash at toll stations or a prepaid system with a vignette, where the vignette affixed on the windscreen serves as proof. Electronic toll collection is in rise. Toll is paid through special stickers or devices mounted on the windscreen, which communicate with the electronic devices placed by the road. The thesis describes the basics of the RFID system and describes current use of the system of passive RFID tags for toll collection in the world. The final chapter contains a description of system testing, which was performed through Traffic Technical Institute (PTI), which operates within Faculty of Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana. I also participated in system testing.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se staršem in teti za podporo in spodbudo v času študija, zahvala gre tudi sodelavcem za podporo pri nastanku diplomske naloge.

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri, ter somentorju Juriju Velkavrhju, za nasvete in možnost sodelovanja pri testiranju pasivnega RFID-sistema na terenu.

**KAZALO VSEBINE**

Stran za popravke, Errata	I
Izjave	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract	IV
Zahvala	V
Kazalo vsebine	VI
Kazalo preglednic	VIII
Kazalo slik	IX
Kratice	X
<b>1</b>	<b>UVOD..... 1</b>
<b>2</b>	<b>RFID TEHNOLOGIJA ..... 2</b>
2.1	Zgodovina RFID ..... 2
2.2	Sestava RFID-sistema ..... 4
2.2.1	RFID oddajnik..... 5
2.2.2	Čitalnik..... 7
2.2.3	Računalniški sistem..... 9
2.3	Radijski valovi ..... 9
2.4	Tipi RFID ..... 11
2.4.1	Glede na napajanje ..... 11
2.4.1.1	Pasivni RFID..... 11
2.4.1.2	Pol pasivni RFID..... 12
2.4.1.3	Aktivni RFID ..... 12
2.4.2	Glede na prenos informacij ..... 13
2.4.2.1	Induktivni RFID..... 14
2.4.2.2	Elektromagnetni RFID ..... 14
2.5	RFID razredi ..... 14
2.6	Načini komunikacije v pasivnem RFID sistemu..... 16
2.6.1	TTF protokol (med čitalnikom in oddajnikom) ..... 16
2.6.2	ITF protokol (med čitalnikom in oddajnikom) ..... 17
2.6.3	TTO protokol (med čitalnikom in oddajnikom) ..... 17
2.6.4	Prenos podatkov med čitalnikom in oddajnikom..... 17
2.6.5	Prenos podatkov med čitalnikom in računalniškim sistemom..... 20
2.7	Standardi ..... 21
2.8	Primerjava pasivni RFID in DSRC ..... 23
2.9	Primerjava RFID in črtne kode ..... 24
2.10	Delovanje RFID sistema elektronskega cestninjenja..... 24



<b>3</b>	<b>UPORABA ZA CESTNINJENJE</b> .....	<b>26</b>
3.1	Uporaba po svetu .....	26
<b>4</b>	<b>TESTIRANJE SISTEMA</b> .....	<b>31</b>
4.1	Uvod .....	31
4.2	Testiranje .....	32
4.3	Testirana oprema .....	36
4.3.1.	Sistem IPICO .....	36
4.3.2.	Sistem 3M.....	40
4.4	Rezultati testiranja .....	44
4.4.1.	Sistem Ipico .....	44
4.4.2	Sistem 3M.....	49
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>54</b>
	<b>VIRI</b> .....	<b>56</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1:	Primerjava aktivni / pasivni / polpasivni sistem	13
Preglednica 2:	Primerjava RFID / DSRC sistem	23

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Letalo RAF med 2. svetovno vojno	3
Slika 2:	Osnovni princip delovanja RFID-sistema	4
Slika 3:	Pasivni RFID-oddajniki	5
Slika 4:	Različne oblike RFID-oddajnikov	5
Slika 5:	Integrirano vezje	6
Slika 6:	Natisnjena antena	7
Slika 7:	Ročni RFID čitalnik	8
Slika 8:	Stacionarni RFID čitalnik	8
Slika 9:	Radijske frekvence za RFID uporabo	10
Slika 10:	Primer RFID sistema cestninjenja	25
Slika 11:	Lokacija testiranja (Avtocesta A2, odsek Šentvid - Koseze)	32
Slika 12:	Skica predpostavk v kontroliranem okolju	33
Slika 13:	Testiranje na terenu	35
Slika 14:	Testiranje na terenu	35
Slika 15:	Čitalnik/antena IPICO IP3056	37
Slika 16:	Različni pasivni oddajniki na testiranju	37
Slika 17:	Poseben oddajnik	37
Slika 18:	Možne pozicije namestitve RFID oddajnika na navadnem steklu	38
Slika 19:	Pozicija namestitve RFID oddajnika na atermičnem steklu	39
Slika 20:	Pogovorno okno programskega vmesnika »iPico RFID Tag Display«	39
Slika 21:	Sprejemnik 3M, IR 9000 2	40
Slika 22:	Različni pasivni oddajniki na testiranju	41
Slika 23:	Pogovorno okno programskega vmesnika »idesco demo software«	42
Slika 24:	Pogovorno okno programskega vmesnika za inštalacijo anten	43
Slika 25:	Pogovorno okno dodatnega vmesnika Terminal	43

**KRATICE**

RFID	Radiofrekvenčna identifikacija
DSRC	Tehnologija mikrovalov kratkega dosega
ETC	Elektronski sistem cestninjenja
EM	Elektromagnetni valovi
LF	Nizke frekvence
HF	Visoke frekvence
UHF	Ultravisoke frekvence
SHF	Supervisoke frekvence
MV	Mikrovalovne frekvence
EPCglobal	Mednarodna organizacija za standardizacijo RFID
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo
IEC	Mednarodna komisija za elektrotehniko
ETSI	Evropski inštitut za telekomunikacijske standarde
FCC	Zvezna komisija za komunikacije v ZDA
RAF	Kraljevo vojno letalstvo Združenega kraljestva

## 1 UVOD

Zadnja leta se za cestninjenje vse bolj uveljavlja RFID-tehnologija. To je elektronska tehnologija daljinskega branja, preverjanja in shranjevanja podatkov. Kratica RFID izhaja iz angleščine in pomeni radiofrekvenčna identifikacija (ang. *Radio Frequency IDentification*). Glavni elementi tega sistema so RFID-oddajniki ali elektronske tablice (ang. *tag*), nato čitalniki (ang. *reader*), pripadajoča programska oprema in na koncu še zelo pomembna antena, ki je tako v čitalniku kot v oddajniku. RFID-oddajnik je majhna naprava različnih oblik (pasivni oddajniki so najpogosteje v obliki nalepke), ki se pričvrsti na želen objekt sledenja oz. identifikacije. Najenostavnejši in najcenejši oddajniki vsebujejo samo anteno in čip, drugi imajo tudi baterijo, ki omogoča bolj zanesljiv sprejem in oddajo signala. Antena je potrebna za sprejem in oddajo signala, medtem ko so na čipu shranjeni podatki, ki jih potrebujemo za identifikacijo.

RFID-tehnologija je kot nekakšen naslednik črtne kode. Omogoča cestninjenje, sledenje vozil, živali, tovara, identifikacijo, brezgotovinsko plačevanje, uporablja se pri logistiki, pri sistemih proti kraji v trgovinah itd.

Cilj te diplomske naloge je ugotoviti, ali je možno s posebno obliko elektronskih kartic (pasivni RFID oddajniki) plačevati cestnino, to pomeni, ali je ta elektronski sistem dovolj zanesljiv, uporaben, in primeren za plačevanje cestninskih cest.

Potrebno literaturo sem pridobil večinoma na svetovnem spletu, nakaj tudi od proizvajalcev sistemov za elektronsko cestninjenje.

## 2 RFID TEHNOLOGIJA

RFID je angleška kratica za radiofrekvenčno identifikacijo (ang. *radio frequency identification*). Označuje tehnologijo avtomatske identifikacije, ki uporablja radijske valove za komunikacijo med čitalnikom in oddajnikom. Ta tehnologija je brezžična. Zanimiva je zato, ker je praktično odporna proti prahu, umazaniji, vremenskim vplivom. To ni nova tehnologija, prvič je bila uporabljena konec šestdesetih let prejšnjega stoletja, začetki pa segajo v drugo svetovno vojno.

### 2.1 Zgodovina RFID

Začetki RFID-tehnologije segajo v drugo svetovno vojno. Takrat so že vsi, od Angležev, Nemcev, Japoncev do Američanov, uporabljali radar, ki jih je opozarjal na prihod letal. A nastal je sledeč problem: z radarjem so opazili letala, vendar niso vedeli, ali so sovražna ali domača, ki se vračajo z misije. Nato so Nemci ugotovili, da če zarotirajo letalo, ko se vračajo v bazo, bo to spremenilo radarske valove, ki se odbijajo od letala. To je pomenilo, da je radarska ekipa na tleh po drugače odbijajočih se radarskih valovih ugotovila, da gre za nemška letala. Ta enostavni sistem je prvi pasivni RFID-sistem.

Tudi Angleži so razvili svoj sistem prepoznavanja domačih letal. Pod vodstvom fizika Watson-Watta so razvili sistem identifikacije sovražnih ali domačih letal. To je prvi aktivni sistem RFID. Poimenovali so ga IFF-sistem, po angleško *Identify Friend or Foe system*. Deluje na način, da so v vsako letalo namestili aktivni RFID-oddajnik. Ko so radijski valovi prispeli do letala z nameščenim oddajnikom, so se odbili nazaj, skupaj z informacijo iz oddajnika, da je letalo domače. To je osnovni koncept RFID-sistema; ko signal pošljemo oddajniku, se ta »zbudi« in signal odbije nazaj (pasivni sistem) ali ga pošlje nazaj (aktivni sistem).

Razvoj pri radijskofrekvenčnih sistemih se je nato nadaljeval, znanstveniki in inženirji so ugotavljali, kako bi lahko uporabljali RFID-tehnologijo v vsakdanjem življenju. V šestdesetih letih prejšnjega stoletja se je pojavil sistem proti kraji, elektronski nadzor izdelkov, ki uporablja radijske valove. To je preprost sistem, ki uporablja 1-bitni oddajnik. To je prvi primer razširjene uporabe RFID-tehnologije v komercialne namene.

Prvi patent za pasivni oddajnik, na katerega je mogoče podatke tudi zapisati, je dobil Mario Cardullo leta 1973. To je bil prvi pravi predhodnik današnjih RFID-sistemov. Ta patent je predstavil veliko možnosti uporabe oddajnika, med drugim tudi uporabo za cestninjenje. Sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja pa se je tehnologija RFID začela uporabljati za namene elektronskega cestninjenja. RFID-tehnologija se je počasi razvijala in se širila na nova področja, kot so logistika, oskrbovalna veriga v trgovinah, upravljanje s prtljago na letališčih itd. Z vedno večjim kapitalom, ki prihaja na to področje, je uporaba RFID-tehnologije vse bolj razširjena.

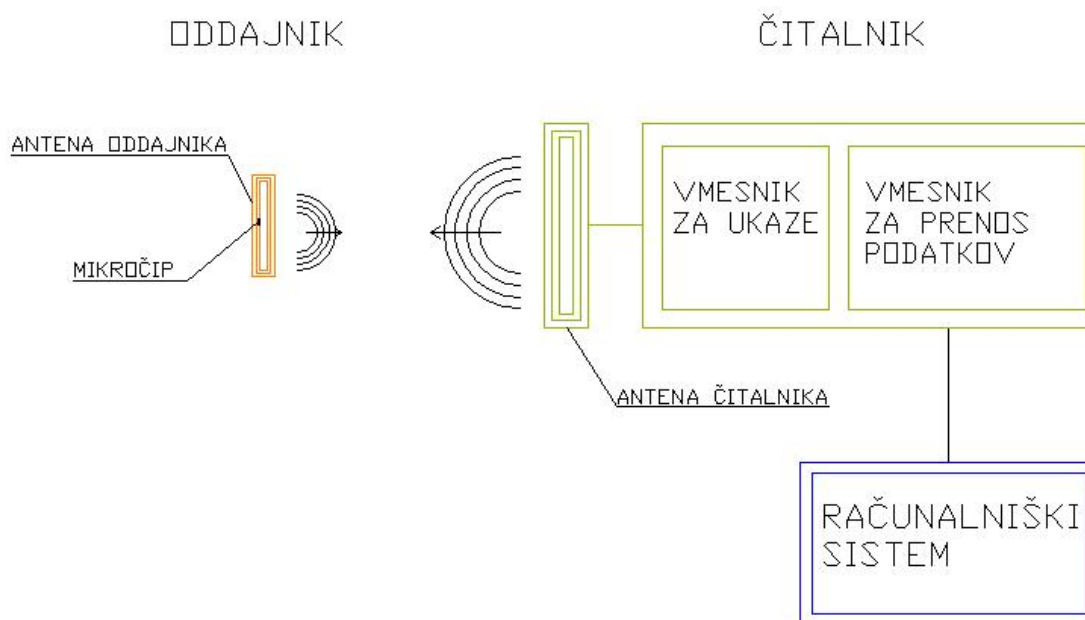


Slika 1 : Letalo RAF med 2. svetovno vojno

(Vir: <http://www.crash-aerien.news/forum/ww2-t20465-375.html>)

## 2.2 Sestava RFID-sistema

RFID-sistem je sestavljen iz več komponent: oddajnika (ang. *tag*), čitalnika (ang. *reader*) in računalniškega sistema, ki je namenjen krmiljenju in obdelavi podatkov. Oddajnik in čitalnik imata tudi anteno, ki igra pomembno vlogo. RFID-oddajnik je sestavljen iz miniaturnega integriranega vezja (mikročipa), povezanega z anteno. Mikročipov je več vrst, imajo lastnost pomnilniške enote. Nekateri hranijo samo identifikacijsko številko, drugi lahko hranijo in procesirajo več podatkov o objektu, na katerem se nahajajo, medtem ko je antena namenjena komunikaciji s čitalnikom. Oddajniki so lahko različnih oblik in velikosti. RFID-čitalnik je naprava, sestavljena iz vmesnika za izvrševanje ukazov, vmesnika za prenos podatkov ter antene. Čitalnik s pomočjo antene komunicira z oddajnikom, komunikacija poteka prek radijskih valov. Čitalnik podatke, ki jih je pridobil z oddajnika, pošilja v ustrezen računalniški sistem za obdelavo podatkov. Čitalniki so lahko stacionarni ali pa mobilni (ročni čitalnik). Potrebna razdalja za komunikacijo med čitalnikom in oddajnikom je odvisna od več dejavnikov, npr. od tipa oddajnika, načina komunikacije med oddajnikom in čitalnikom itd.

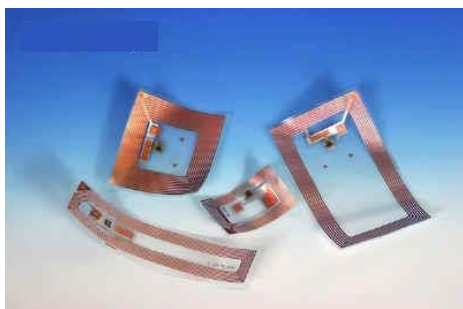


Slika 2: Osnovni princip delovanja RFID-sistema



### 2.2.1 RFID oddajnik

Oddajnik je elektronska naprava, ki je narejena zelo preprosto: sestavljena je iz majhnega integriranega vezja (mikročip), na katerem se nahajajo in procesirajo podatki, ter antene, ki je potrebna za komunikacijo s čitalnikom. Aktivni oddajniki imajo še baterijo. Vse skupaj (mikročip in antena) je prekrito z zaščitnim ovojem, ki je lahko iz različnih materialov in različnih oblik; oblika je odvisna tudi od namena uporabe. Tako je lahko oddajnik v obliki nalepke, kartice, obeska, zapestnice itd. Pasivni oddajnik je po navadi v obliki nalepke. Velikost in oblika oddajnika sta odvisni od tega, ali vsebuje baterijo ali kakšen drug notranji izvor energije (aktivni oddajnik) ali pa je brez notranjega izvora energije (pasivni oddajnik). Oddajniki se delijo tudi po zmožnostih mikročipa, glede na vrsto komunikacije s čitalnikom ter glede na tehnologijo (induktivni ali elektromagnetni).



Slika 3: Pasivni RFID oddajniki



Slika 4: Različne oblike RFID oddajnikov

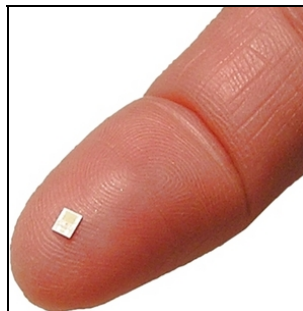
(Vir:[http://www.hightechaid.com/tech/rfid/rfid\\_technology.htm](http://www.hightechaid.com/tech/rfid/rfid_technology.htm))

- Integrirano vezje (mikročip)

Mikročip je najpomembnejši del oddajnika. Mikročipi se razlikujejo med seboj po načinu napajanja, različnih frekvencah delovanja, izvoru energije, sposobnostih hranjenja podatkov, različnih fizičnih oblikah, ceni, različnih spominskih kapacitetah ter po sposobnosti branja in pisanja.

V mikročipu so spravljene informacije, ki jih oddajnik sprejema ali oddaja čitalniku preko radijskih valov. Najdražji oddajniki (aktivni) imajo lahko mikročipe, ki hranijo do en megabajt podatkov (1 Mb = 1.048.576 bajtov). Toda večina oddajnikov je cenejših, to so praviloma pasivni oddajniki, katerih mikročipi lahko hranijo samo od 32 do 128 bitov podatkov. Ti po navadi vsebujejo samo identifikacijsko številko, kar velikokrat zadostuje. Nadaljnji podatki se nahajajo v računalniškem sistemu, ki mu

čitalnik posreduje identifikacijsko številko oddajnika. Leta 2006 je Japonsko podjetje razvilo najmanjši RFID-mikročip z imenom  $\mu$ -Chip in merami 0,15 x 0,15 mm brez antene. Tanjši je celo od lista papirja (7,5 mikrometrov). Ta čip se odziva na 30 cm ali manj. Uporaben je v vojaške namene, logistične namene itd.



Slika 5: Integrirano vezje

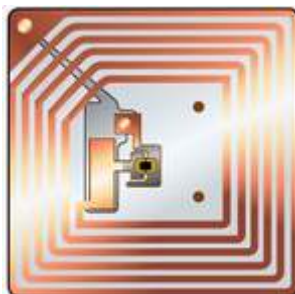
(Vir: [www.phaseivengr.com](http://www.phaseivengr.com))

- Antena

Drugi del oddajnika je antena, ki sprejema in oddaja elektromagnetne valove. Antena je povezana z mikročipom ter omogoča sprejem in pošiljanje informacij čitalniku. Antena je uglašena na frekvenco, na kateri čitalnik oddaja svoje elektromagnetne valove. Antene oddajnikov so lahko sestavljene iz zelo tanke žice, ki je po navadi izdelana iz bakra ali aluminija ter je tesno ovita okoli mikročipa. Nekatere antene pa so kar natisnjene. Zaradi napredka v tehnologiji natisnjene antene dosegajo funkcionalnost klasičnih anten iz tradicionalnih materialov. Natisnjene antene imajo še to prednost, da so cenejše od klasičnih.

Za izdelavo natisnjene antene je več postopkov; najbolj razširjen je postopek, ko na plastično podlago ali papir natisnejo srebrne prevodne črte. Testiranje RFID-antene se izvaja z ohmmetrom, miliohmmetrom, napravo za merjenje električnega upora itd. Domet antene je odvisen od velikosti antene, ki je pritrjena na oddajnik. Na splošno za pasivne oddajnike velja, da večja ko je antena, več energije lahko posreduje mikročipu ter na večji razdalji od čitalnika lahko deluje oddajnik. Manjše antene berejo na kratke razdalje, na nekaj metrov, najmanjše tudi na samo nekaj centimetrov (kadar je antena vgravirana na čip). Večje antene pa omogočajo oddajniku sprejem elektromagnetnih valov tudi iz več kot 100 metrov oddaljenega čitalnika. Antena je tisti faktor, ki določa velikost celotnega RFID-oddajnika. Antene oddajnikov so različnih oblik, s čimer se

dosežejo različne karakteristike delovanja. Nekatere antene pokrivajo široko območje delovanja, druge so oblikovane za bolj ozka območja. Antene oddajnika se lahko optimizirajo na način, da komunicirajo samo z določenimi čitalniki.



Slika 6: Natisnjena antena

(Vir: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility>)

### 2.2.2 Čitalnik

RFID-čitalnik je električna naprava, ki s pomočjo antene pošilja in sprejema radijske valove. Čitalnik je sestavljen iz treh večjih sestavnih elementov, ki so povezani skupaj v enem ohišju. To so antena, vmesnik za ukaze ter vmesnik za prenos podatkov. Obstaja več vrst čitalnikov; lahko je mirujoč ali pa tak, ki se ga drži v roki, s katerim lahko hodimo naokoli in odčitavamo podatke. Delovanje čitalnika je v splošnem sledeče: čitalnik s pomočjo antene pošilja digitalne informacije, kodirane v amplitudno moduliranem signalu. Antena oddajnika prepozna in sprejme te informacije ter jih s pomočjo modulacijskega odboja (pri pasivnih oddajnikih) pošlje nazaj čitalniku. Čitalnik informacije, ki so v obliki radijskih valov, pretvori nazaj v digitalno obliko in jih pošlje v računalniški sistem, ki zbira, obdeluje in preverja podatke. Kako bodo pridobljeni podatki uporabljeni, določa programska oprema v računalniku.

Čitalniki se razlikujejo:

- glede na delovno frekvenco,
- glede na protokol, s katerim komunicirajo z oddajniki,
- glede na različno izhodno moč (različne države imajo različne standarde),
- glede možnosti mrežnega povezovanja (možnost povezovanja več čitalnikov),
- glede na sposobnost nadgradnje in konfiguracije,
- glede na različne antene (možnost povezovanja več anten),
- glede na vmesnik za prenos podatkov.



Slika 7: Ročni RFID čitalnik

(Vir: <http://www.zebra.com>)

Slika 8: Stacionarni RFID čitalnik

(Vir: <http://www.synometrix.com>)

- Antena

Antena je naprava, preko katere se izmenjujejo podatkovne informacije med čitalnikom in oddajnikom, zaradi česar je najpomembnejši del čitalnika. Večinoma je vgrajena v ohišje čitalnika. Antena mora biti pozicionirana na način, da je napajanje oddajnikov optimizirano. Pri RFID-sistemih z majhno močjo sta postavitev in polarizacija antene ključnega pomena za doseganje čim večje zanesljivosti odčitavanja oddajnikov. Obstajata dva tipa anten, linearne in krožno polarizirane. Linearne antene omogočajo daljši doomet, vendar so občutljive na obrnjenost oddajnika, krožno polarizirane pa omogočajo oddajo radijskih valov v več smereh. Slabosti sta manjši doomet in slabša usmerjenost. Odločitev, kakšna bo antena čitalnika v RFID-sistemu, določa tudi zahtevani doomet branja oddajnikov. Antena mora biti nastavljena na frekvenco delovanja sistema. Bistvene zahteve za dobro zaznavanje oddajnikov so naslednje:

- oddajnik mora biti v vplivnem polju antene,
- antena mora imeti zadostno moč signala,
- prava orientacija antene proti oddajniku.

- Vmesnik za ukaze

Vmesnik za ukaze oz. kontrolni vmesnik v čitalniku zagotavlja, da sistem deluje, izvršuje ukaze, da poteka nemoteno delovanje sistema itd. Nadzoruje, da so vsi procesi pravilno izvedeni. Kompleksnost vmesnika je odvisna od področja uporabe čitalnika.

- Vmesnik za prenos podatkov

Ta vmesnik pa zagotavlja povezavo z zunanjim računalniškim sistemom. Za povezavo z računalniškim sistemom se uporabljajo različni načini povezave, od RS-232, TCP/IP do brezžične povezave (wi-fi, bluetooth...)

### 2.2.3 Računalniški sistem

Računalniški sistem zbira, obdeluje in preverja podatke. Kako bodo pridobljeni podatki uporabljeni, določa programska oprema v računalniku. Pri nekaterih pasivnih oddajnikih je na oddajniku samo identifikacijska številka, vsi drugi podatki o objektu, na katerem je oddajnik, pa so v računalniškem sistemu.

## 2.3 Radijski valovi

Radijski valovi so tisti del spektra elektromagnetnega valovanja (EM-valovanje), ki nastanejo, ko skozi anteno teče izmenični električni tok. Električno in magnetno polje valujeta v smeri pravokotno drugo na drugo in vzdržujeta drugo drugo. V prostoru se elektromagnetno valovanje širi s hitrostjo svetlobe v smeri, pravokotni na smer električnega in magnetnega polja, to je transverzalno valovanje. EM-valovanje se meri s številom nihajev na sekundo, kar imenujemo frekvenca. Merska enota je hertz (Hz). Valovna dolžina pa je dolžina med dvema vrhoma vala, označimo jo z  $\lambda$ . Frekvenca in valovna dolžina sta obratno sorazmerni, večja ko je valovna dolžina, manjša je frekvenca in obratno.

Pri RFID-komunikaciji so razdalje med oddajnikom in sprejemnikom relativno majhne. Lastnosti radijskih valov so odvisne od frekvence. Pri oddajanju pri nizkih frekvencah ovire niso toliko moteče, vendar moč z razdaljo strmo upada. Pri visokih frekvencah pa se valovi širijo v ravnih linijah in se od ovir odbijajo.

Sončno sevanje, predvsem pa druge električne naprave motijo radijske valove, s tem pa komunikacijo med posameznimi napravami, ki uporabljajo EM-valovanje za medsebojno komunikacijo. Zato so države uvedle standarde, ki določajo, katere frekvence se lahko uporabljajo za posamezne namene. Na katerih frekvencah lahko delujejo ti sistemi, določajo države s svojimi standardi (ETSI, FCC itd.). Spodaj je seznam elektromagnetnega spektra, ki ga RFID-sistemi lahko uporabljajo:

#### **- nizkofrekvenčni, LF (125–134,2 kHz)**

V uporabi za RFID-sisteme v kontroli dostopa in pri identifikaciji živine. Bralna razdalja je kratka, okoli 10 cm.

**- visokofrekvenčni, HF (13,56 MHz)**

V uporabi za RFID-sisteme pri kontroli vstopov na prireditve, pri plačilih ter pri raznih podatkovnih prenosih. Bralna razdalja je od 10 cm do enega metra.

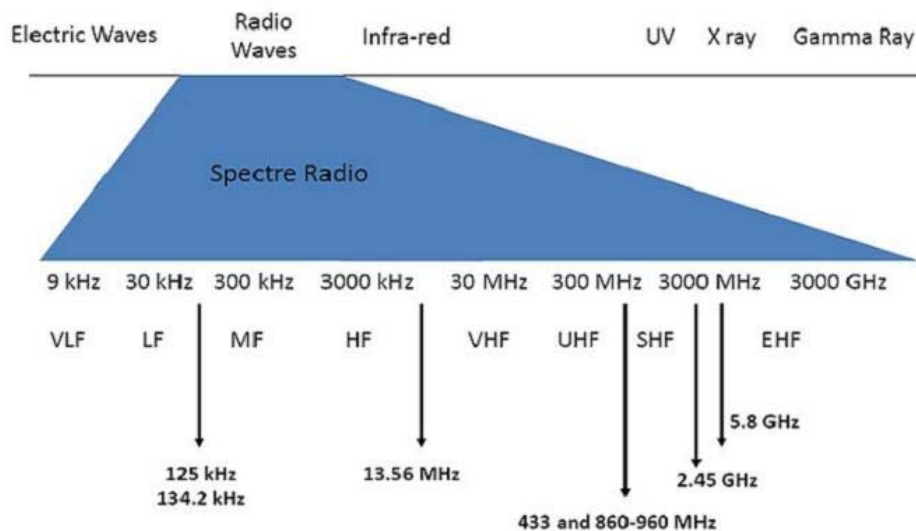
**- ultravisoke frekvence, UHF (860–960 MHz)**

Bralna razdalja je do 12 m. Pasivni UHF-oddajniki so cenejši za izdelavo kot oddajniki LF ali HF ter imajo večjo podatkovno hitrost kot oddajniki LF ali HF. V uporabi so tudi za potrebe elektronskega cestninjenja, vendar večinoma zunaj Evrope.

**- supervisoke frekvence, SHF (2,45 GHz)**

**- mikrovalovne frekvence, MV (5,8 GHz)**

V uporabi za cestninjenje DSRC v Evropi.



Slika 9: Radijske frekvence za RFID uporabo

(Vir: <http://www.centrenational-rfid.com>)

## 2.4 Tipi RFID

### 2.4.1 Glede na napajanje

RFID sisteme delimo glede na način napajanja oddajnika (aktivni, pol pasivni in pasivni RFID) ter glede na način prenosa informacij (induktivni in elektromagnetni RFID).

#### 2.4.1.1 Pasivni RFID

Pasivni RFID-sistemi s pasivnimi oddajniki nimajo lastnega vira napajanja, nimajo svoje baterije. Odvisni so od električnega polja, ki nastane v oddajniku, ko sprejme radijske valove (iz elektromagnetnega polja čitalnika). Ta majhni električni tok, induciran v anteni oddajnika, proizvaja dovolj energije, da jo oddajnik lahko uporabi za napajanje mikročipa na oddajniku ter za generiranje povratne informacije čitalniku. Ta odziv je kratek. Večina pasivnih oddajnikov signal, ki ga sprejme, usmeri natančno nazaj proti čitalniku. Ta povratna informacija čitalniku se imenuje povratni odboj (ang. *backscatter*). Podobno deluje tudi radar. Ko mikročip v oddajniku dobi energijo, se »zbudi« ter pošlje povratni odboj čitalniku v obliki amplitudno moduliranega (AM) odziva. Ta signal se lahko interpretira v digitalni obliki kot zaporedje ničel in enic. Povratni odgovor oddajnika ni samo ID (identifikacijska) številka, mikročip lahko vsebuje tudi EEPROM (ang. *Electronically Erasable Programmable Read Only Memory*) za shranjevanje podatkov. EEPROM je čip za shranjevanje majhne količine podatkov.

Leta 2006 je Japonsko podjetje razvilo najmanjši mikročip z imenom  $\mu$ -Chip in merami 0,15 x 0,15 mm brez antene. Tanjši je tudi od lista papirja (7,5 mikrometrov). Ta čip se odziva na oddaljenosti do 30 cm. Več o vrstah mikročipov v RFID-sistemih je v poglavju 2.5 RFID-razredi. RFID-sistemi s pasivnimi oddajniki lahko delujejo na nizkih frekvencah (LF), visokih frekvencah (HF) ter na ultravisokih frekvencah (UHF). Če pasivni oddajnik ni v območju elektromagnetnega polja čitalnika, deluje pasivno, torej ne generira in ne emitira samostojnega radijskega signala. Tako tudi ne povzroča elektromagnetne motnje v okolico.

Pasivni oddajniki so lahko zelo majhni, ker vsebujejo samo anteno in mikročip. Domet imajo do okoli 10 metrov. Ker nimajo baterije, so lažji za izdelavo, zato tudi precej cenejši od aktivnih oddajnikov, vendar imajo krajši domet in so bolj občutljivi na napake od aktivnih

oddajnikov. Največkrat so v obliki nalepke. Življenjska doba pasivnih oddajnikov je praktično neskončna, če se antena in mikročip, ki sestavljata oddajnik, fizično ne poškodujeta.

#### **2.4.1.2 Pol pasivni RFID**

Polpasivni RFID-sistemi s polpasivnimi oddajniki imajo svojo baterijo, a le za napajanje mikročipa. Komunikacija s čitalnikom pa poteka enako kot pri pasivnih oddajnikih, to pomeni s povratnim odbojem (ang. *backscatter*). Tako se lahko vsa sprejeta energija izkoristi za pošiljanje povratnega odboja čitalniku. Polpasivni RFID-sistemi torej sami ne morejo oddajati elektromagnetnih valov, ne morejo komunicirati samostojno, odvisni so od elektromagnetnega polja čitalnika.

#### **2.4.1.3 Aktivni RFID**

Aktivni RFID-sistemi z aktivnimi oddajniki imajo lastni izvor napajanja. Vgrajeno imajo baterijo, ki napaja mikročip ter lahko samostojno generira in emitira radijski signal v okolico. Na mikročip lahko shranijo tudi večjo količino podatkov kot pasivni in polpasivni oddajniki. Po navadi se uporabljajo v aplikacijah, kjer se zahteva dolg doomet, ali tam, kjer je potrebno zanesljivo delovanje, npr. v neugodnem okolju (blizu kovine, tekočine). Z aktivnim oddajnikom je mogoče doseči doomet tudi preko 100 metrov. Baterija, ki je sestavni del tega oddajnika, ponavadi zadostuje za nekaj let delovanja, sicer pa bistveno poveča dimenzije in ceno takega oddajnika. So veliko dražji za izdelavo kot pasivni oddajniki ter zaradi vgrajene baterije posledično večji. RFID-sistemi z aktivnimi oddajniki delujejo na ultravisokih frekvencah (UHF), supervisokih frekvencah (SHF) ter mikrovalovnih frekvencah (MV). Obstajata dve vrsti aktivnih oddajnikov, oddajnik in signalnik. Oddajnik začne oddajati radijski signal, takoj kot pride v elektromagnetno polje čitalnika. Signalnik pa je namenjen signaliziranju neke stvari, objekta ter neodvisno od čitalnika oddaja svoje signale v obliki radijskih valov. V elektronskem cestninjenju se po navadi uporabljajo aktivni oddajniki.



Preglednica 1: Primerjava aktivni / pasivni / polpasivni sistem

	Pasivni RFID sistem	Polpasivni RFID sistem	Aktivni RFID sistem
Izvir napajanja oddajnika	čitalnik	čitalnik za komunikacijo, baterija za mikročip	baterija v oddajniku
Baterija v oddajniku	ne	da	da
Razpoložljivost napajanja oddajnika	samo v območju EM polja čitalnika	samo v območju EM polja čitalnika	nepretrgoma
Potrebna moč signala od čitalnika proti oddajniku	visoka	zmerna	zelo nizka
Razpoložljiva moč signala od oddajnika proti čitalniku	zelo nizka	zmerna	visoka
Domet sistema	kratek (do 10m)	zmeren (do 100m)	dolg (več kot 100m)

#### 2.4.2 Glede na prenos informacij

RFID-sistemi se delijo tudi glede na to, kako poteka komunikacija med čitalnikom in oddajnikom. To pomeni, kakšno metodo uporabljata čitalnik in oddajnik za medsebojen prenos informacij. Metoda povezovanja oz. prenosa informacij je odvisna od tega, za kakšen namen bomo uporabljali sistem, predvsem pa od zahtevane razdalje med oddajnikom in čitalnikom. Obstaja nekaj metod za medsebojno komunikacijo med čitalnikom in oddajnikom. Najbolj uporabljeni sta induktivna metoda ter elektromagnetna metoda prenosa informacij. Metoda prenosa informacij vpliva na domet sistema. Induktivni sistemi imajo kratek domet, do 20 cm, medtem ko imajo elektromagnetni sistemi dolg domet, tudi do 100 metrov in več. Elektromagnetni RFID-sistem je primeren za uporabo v cestninjenju zaradi dolgega dometa.

### 2.4.2.1 Induktivni RFID

Ta sistem uporablja princip magnetne indukcije za prenos informacij in deluje na frekvenci 125 kHz. Čitalnik s tuljavo generira magnetno polje. Ko magnetni pretok, ki ga povzroča tuljava čitalnika, doseže tuljavo oddajnika, se na njegovih priključnih sponkah inducira napetost. Oddajnik informacijo prenese čitalniku z uporabo bremenske modulacije (ang. *load modulation*). Bremenska modulacija pomeni spreminjanje sklopnega faktorja med tuljavama v ritmu podatkov.

Domet induktivnega sistema je nekaj centimetrov, od 2 do 10 cm, in pada z naraščanjem frekvence, to je s krajšanjem valovne dolžine. Induktivni sistem uporabljajo v knjižnicah, pri označevanju živine, identifikaciji avtomobilskih ključev itn.

Od leta 1998 je na voljo nova generacija oddajnikov, ki deluje na visokih frekvencah (29 MHz), z možnostjo branja in pisanja. Ti oddajniki so opremljeni z lastnostmi proti motnjam, ki omogočajo, da je v območju čitalnika lahko več takih oddajnikov. Domet imajo do 20 cm.

### 2.4.2.2 Elektromagnetni RFID

Elektromagnetni RFID-sistem uporablja elektromagnetne (EM) valove za komunikacijo in prenos informacij. Čitalnik oddaja EM-valove, in ko ti dosežejo oddajnik, se od njega odbijejo. Ta odboj se uporabi za prenos informacij od oddajnika do čitalnika. V trenutku, ko se oddajnik zbudi, začne svojo impendanco spreminjati v ritmu podatkov ter na ta način spreminja oscilacijsko frekvenco. Signal, ki se odbije od oddajnika, je moduliran; ta pojav imenujemo modulacijski odboj (ang. *modulation backscatter*).

## 2.5 RFID razredi

RFID-oddajniki se lahko razdelijo v razrede po zmožnostih mikročipa, ki je sestavni del oddajnika. Ti razredi so naslednji:

- **razred 0:** *pasivni oddajniki*, ki imajo samo identifikacijsko številko, ki je določena v procesu izdelave; »*read only*« (samo bralni oddajnik)

- **razred 1:** *pasivni oddajniki*, ki imajo identifikacijsko številko, možnost enega zapisa na mikročip; WORM – »*write once, read many* (piši enkrat, beri večkrat)
- **razred 2:** *pasivni oddajniki* z možnostjo večkratnega zapisa na mikročip; »*read write*« (beri, piši)
- **razred 3:** *polpasivni oddajniki z baterijo in senzorji*
- **razred 4:** *aktivni oddajniki z baterijo*
- **razred 5:** *aktivni oddajniki z dodatnim mikročipom ter možnostjo komunikacije z drugimi aktivnimi oddajniki*

Neodvisno od drugih delitev (frekvenca delovanja, prisotnost baterije) se lahko RFID-sistemi delijo na zmožnosti mikročipa v oddajniku. Namen RFID-sistema je enolična identifikacija objektov, opremljenih z oddajnikom, zato ima vsak mikročip vsaj enolično identifikacijsko oznako, ki je določena v procesu izdelave v tovarni in je ni mogoče več spreminjati. Če tak mikročip nima dodatnega spomina, spada v razred 0, to je med pasivne oddajnike »*read only*«. Vse potrebne informacije o objektu, ki nosi pasivni oddajnik razreda 0, so zapisane v oddaljenem računalniškem sistemu in dostopne z identifikacijo oddajnika. Oddajniki razreda 0 so najcenejši pasivni oddajniki.

V nekaterih primerih samo identifikacijska številka oddajnika ni dovolj. Za take primere so v uporabi mikročipi, ki imajo nekaj spomina na voljo za zapis podatkov. Končni uporabnik lahko le enkrat zapiše svojo številko na tak mikročip, potem je ne more več spreminjati. Taki pasivni oddajniki spadajo v razred 1, imenujejo se tudi »*write once, read many*« (WORM; piši enkrat, beri večkrat).

Naslednji so mikročipi z možnostjo dodajanja in prepisovanja obstoječih podatkov s strani čitalnika. Imajo spomin EEPROM (*Electronically Erasable Programmable Read Only Memory*). V večini primerov taki mikročipi ne premorejo več kot nekaj deset kilobitov spomina, največkrat do 65 kbit. Spadajo v razred 2 pasivnih oddajnikov, imenujejo se tudi bralno-pisalni oddajniki, »*read write*« oddajniki.

V razredu 3 so polpasivni oddajniki. Tudi ti imajo mikročip z možnostjo branja in pisanja. Dodani so baterija, vendar samo za napajanje mikročipa, ter senzorji, ki omogočajo beleženje raznih parametrov, kot so temperatura, hitrost, pritisk itd.

Aktivni oddajniki v razredu 4 imajo poleg bralno-pisalnega mikročipa ter antene tudi baterijo, ki služi za komunikacijo s čitalnikom.

Aktivni oddajniki razreda 5 imajo možnost napajanja oddajnikov razredov 1, 2 in 3 komuniciranja z njimi brez posredovanja čitalnika. Z oddajniki razredov 4 in 5 lahko tvorijo mrežo brez uporabe čitalnika.

## **2.6 Načini komunikacije v pasivnem RFID sistemu**

Pasivni RFID-sistem pomeni, da oddajnik nima svojega vira napajanja, nima baterije. Šele ko tak oddajnik pride v območje, kjer čitalnik preko antene oddajna EM-signal na točno določeni frekvenci, se »zbudi«. Vendar se na tej točki še ne začne izmenjava podatkov med čitalnikom in oddajnikom. Vprašanje, kako poteka komunikacija med čitalnikom in oddajnikom, postane še posebej pomembno, ko se v čitalnikovem polju znajde več oddajnikov, ki niso statični, npr. vozila pri elektronskem cestninjenju.

Torej, da bi vsi ti oddajniki uspešno komunicirali s čitalnikom, je treba imeti posebna pravila za oddajnike in čitalnike. To je t. i. RF-protokol. Ta protokol omogoča, da lahko s čitalnikom naenkrat komunicira tudi do 1000 oddajnikov. V resnici sta to dva protokola: ITF (ang. *interrogator talks first* oz. čitalnik govori prvi) in TTF (ang. *tag talks first* oz. oddajnik govori prvi). V nadaljevanju sta opisana oba protokola.

Podjetje IPICO, katerega pasivni RFID-sistem je bil testiran, pa ima svoj protokol TTO (ang. *tag talks only* oz. samo oddajnik govori), ki je tudi opisan v nadaljevanju.

### **2.6.1 TTF protokol (med čitalnikom in oddajnikom)**

Čitalnik brez prestanka oddaja signal, ki je samo nosilni signal na točno določeni frekvenci. S tem ustvarja vplivno območje čitalnika. Ko pasivni TTF-oddajnik pride v vplivno območje čitalnika, se mu »najavi« z oddajanjem svoje identifikacijske številke. Pomembno je, da se najava identifikacijske številke zgodi na način, ki omogoča, da je v čitalnikovem območju branja lahko več oddajnikov. Čitalnik v nekaterih primerih potrdi oddajniku uspešen sprejem.

Takoj ko oddajnik oz. mikročip v oddajniku dobi napajanje iz vplivnega območja čitalnika, mu pošlje tudi svoje podatke, ki jih potem čitalnik pošlje naprej v računalniški sistem.

### **2.6.2 ITF protokol (med čitalnikom in oddajnikom)**

#### **2.6.2 ITF protokol (med čitalnikom in oddajnikom)**

Čitalnik brez prestanka oddaja signal, ki je moduliran in močnejši kot pri TTF-protokolu. S tem ustvarja vplivno območje čitalnika. Ko pasivni ITF-oddajnik pride v vplivno območje čitalnika, se mu najavi s svojo identifikacijsko številko in čaka na ukaze čitalnika. ITF-protokol torej deluje na način, da pasivni oddajnik ostane tiho, ne oddaja nobenih signalov, dokler ne dobi posebnega ukaza čitalnika. S predpostavko, da se programira standardni budilni signal za oddajnike posameznega proizvajalca, bi se lahko uporabljali oddajniki različnih proizvajalcev, ne da bi motili drug drugega. Slučajen signal iz čitalnika ali iz podobnih naprav ne »zbudi« oddajnika.

Glavna prednost tega protokola je, da začetek komunikacije določa čitalnik. Če je v vplivnem območju več oddajnikov, lahko čitalnik določi vrstni red komuniciranja s posameznimi oddajniki. Slabost pa je, da mora čitalnik neprestano oddajati signale (radijske valove), da bi lahko ugotovil prisotnost oddajnikov v svojem vplivnem območju. To oddajanje signalov je lahko močen izvor motenj.

#### **2.6.3 TTF protokol (med čitalnikom in oddajnikom)**

Ta protokol so razvili v podjetju IPICO. Podoben je TTF-protokolu. Deluje na naslednji način: oddajnik se »najavi« čitalniku s svojo identifikacijsko številko, ko pride v vplivno območje čitalnika. Vendar pa čitalnik ne pošlje nobenega signala nazaj, ne pošlje niti potrdila, da je sprejel signal. Samo sprejema signale in si zapisuje seznam oddajnikov po njihovih identifikacijskih številkah. Ker čitalnik sploh ne pošilja signalov oddajniku, je možnost motnje signala zelo majhna.

#### **2.6.4 Prenos podatkov med čitalnikom in oddajnikom**

Pasivni RFID-sistemi, ki so danes na voljo, omogočajo omejeno število podatkov, ki se prenašajo na oddajnik oz. z oddajnika. Razlog je predvsem v zgradbi in tehnologiji oddajnika, ki zahteva maksimalni izkoristek tistega dela signala, ki ga prejme s strani antene za

generiranje električnega toka. Število podatkov, ki se po navadi prenašajo med čitalnikom in oddajnikom, je od nekaj 100 do nekaj 1000 bitov.

Prenos podatkov med anteno/čitalnikom in oddajnikom poteka brezžično. Prostor med obema elementoma je, kar se tiče elektromagnetnega valovanja, lahko precej onesnažen, saj se elektromagnetno valovanje pojavlja pri vsakem aparatu, ki deluje na električni tok. Prav tako se lastnosti elektromagnetnega valovanja oz. berljivost signala spreminja z vsakim dodatnim elementom, ki lahko povzroča motnje v elektromagnetnem polju. Slabo vreme, npr. dež in sneg, povzroča šibkejši signal, večje površine lahko povzročajo odboj signala in s tem dejanske motnje pri identificiranju posameznih delov signala.

Nekatere od teh »motenj« se lahko uporabljajo celo v prid povečanja zanesljivosti oz. jakosti signala, saj lahko pravilno nameščen oddajnik na vetrobranskem steklu uspešno izkorišča odboj »napajalnega« signala od kovinskega ohišja avtomobila ali celo od vzratnega ogledala. Vendar večina ostalih dejavnikov negativno vpliva na zanesljivost signala.

V ta namen se v večini primerov uveljavlja načelo, da se pri prenosu podatkov upoštevajo mehanizmi za preverjanje, ki lahko na hiter in enostaven način podajo informacijo o tem, ali je bil signal prebran točno tak, kot je bil tudi poslan.

Takšnih mehanizmov je več. Kadar je na voljo dovolj časa, se podatki med anteno/čitalnikom in oddajnikom lahko večkrat prenašajo v obe smeri, to pomeni, da se podatki, ki se sprejmejo, pošljejo nazaj, lahko v drugačni, kodirani ali skrajšani obliki. S tem lahko tisti element, ki je podatke oddal, z zelo veliko verjetnostjo določi, ali so bili podatki pravilno sprejeti ali ne.

V večini RFID-sistemov se uporabljajo še enostavnejši načini preverjanja. Eden takšnih načinov je sistem z uporabo metode LRC-checksum (v nadaljevanju LRC). Ta enostavni sistem deluje na najenostavnejšem sistemu seštevanja bitov.

Sistem z metodo LRC deluje na sledeč način:

- priprava podatkov za prenos,
- pripravi se LRC pripravljenega niza,
- pripravi se nov niz podatkov,
- nov niz podatkov se sestavi iz starega niza in LRC-seštevka,
- po potrebi se doda kontrolni znak,

- nov niz se pošlje.

Na ta način lahko element, ki podatke sprejema, z »obratnim algoritmom« preveri, ali so podatki prebrani tako, kot so poslani;

- prebere se prejeti niz (prejeti niz je lahko vsak niz znakov, ki se nahaja med dvema kontrolnima znakoma ipd.),
- pri branju prejetega niza se seštevajo biti po metodi LRC do dveh znakov pred koncem (v kolikor se LRC predstavi z dvema znakoma),
- ta izračunani LRC se primerja z LRC-podatkom iz prejetega niza,
- v kolikor sta izračunani in prejeti LRC enaka, se prebrani niz obravnava kot pravilen, v nasprotnem primeru pa se obravnava kot slab in se po navadi zavrže.

Ta način je zelo zanesljiv, zato se pogosto uporablja v RFID-sistemih. Hkrati ni časovno zahteven in za delovanje ne porabi veliko dodatne električne moči.

Primer izračuna:

če želimo poslati niz '400000000123450a2a01123018455927', je LRC-checksum enak 'a7';

LRC-checksum opravimo s seštevkom ascii kod vseh znakov v nizu.

'4' = 0 x 34

'0' = 0 x 30

'a' = 0 x 61

...

$0 \times 34 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 30 + 0 \times 31 + 0 \times 32 + 0 \times 33 + 0 \times 34 + 0 \times 35 + 0 \times 30 + 0 \times 61 + 0 \times 32 + 0 \times 61 + 0 \times 30 + 0 \times 31 + 0 \times 31 + 0 \times 32 + 0 \times 33 + 0 \times 30 + 0 \times 31 + 0 \times 38 + 0 \times 34 + 0 \times 35 + 0 \times 35 + 0 \times 39 + 0 \times 32 + 0 \times 37 = 0 \times 06a7$

Za LRC-checksum je dovolj, če se upoštevata le zadnja dva znaka, torej 'a7'.

Če predpostavimo še, da kot kontrolni znak uporabljamo znaka <CR><LF>, bo poslani niz '400000000123450a2a01123018455927a7<CR><LF>'.

Podobno hiter in učinkovit je tudi sistem, v katerem so nizi ravno tako ločeni s kontrolnim znakom, pri čemer je prvih nekaj znakov (v odvisnosti od sistema je to lahko en znak, lahko pa več) rezerviranih za informacijo o dolžini pošiljanega niza, ostali del pa je pošiljani niz.

Ta način deluje takole:

- priprava podatkov,
- preštejejo se znaki niza,
- pripravi se nov niz podatkov,
- nov niz se sestavi iz znaka oz. znakov, ki predstavljajo dolžino niza, ki sledi,
- novemu nizu se doda niz podatkov, ki jih želimo poslati,
- nov niz se pošlje.

Branje poteka takole:

- branje signala (bere se signal od kontrolnega znaka naprej),
- branje števila znakov, ki predstavljajo dolžino niza, ki sledi,
- branje ustreznega števila znakov.

Ta način komunikacije brez dodatnih kontrol se izkaže kot dovolj zanesljiv in hiter način ne glede na to, kakšen je namen uporabe takšnega sistema. Lahko pa se v takšen način komunikacije kot dodaten varnostni mehanizem uvedejo dodatne kontrole.

### **2.6.5 Prenos podatkov med čitalnikom in računalniškim sistemom**

Prenos podatkov med čitalnikom in računalniškim sistemom poteka preko različnih komunikacijskih kanalov. Dva najpogosteje uporabljana načina sta preko povezav RS-232 ter TCP/IP.

V telekomunikacijah je RS-232 standardni protokol za serijski prenos binarnih podatkov med datotečno opremo DTE (ang. *Data Terminal Equipment*) in datotečno komunikacijsko opremo DCE (ang. *Data Communication Equipment*). Standard RS-232 se pogosto uporablja pri računalniških serijskih povezavah, čeprav ga v zadnjem času vse bolj izriva USB-povezava. Povezava RS-232 je omejena z razdaljo med pošiljateljem in sprejemnikom podatkov. Pri veliki oddaljenosti sprejemnika od sistema za shranjevanje podatkov lahko pride do napak pri prenosu podatkov. Zato je primernejši TCP/IP-protokol za prenos podatkov, ki ga večina RFID-sistemov tudi omogoča.

TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) je množica protokolov, ki izvaja protokolski sklad, prek katerega teče internet. Sporočila preko protokola TCP se zaradi vzpostavljene povezave med odjemalcem in servisom zanesljivo prenašajo v obe smeri, brez



napak, podvojevanj in v pravem vrstnem redu. Hkrati protokol TCP/IP poskrbi za to, da se že ob samem prenosu podatkov identificirajo tisti podatki, ki so prebrani drugače, kot so bili oddani.

Prenos podatkov običajno poteka v enaki obliki, kot so bili podatki sprejeti na čitalnik. Izvedba RFID-sistema omogoča naslednje variante:

- čitalnik sprejme podatke in jih razkodira oz. preveri, ali so podatki v ustrezni obliki, jih pošlje zunanjemu sistemu, ta pa te podatke le še zapiše;
- čitalnik podatke le preveri, ali so prave oblike, nato pa jih pošlje zunanjemu sistemu (ta podatke naprej procesira in razkodira, nato pa jih zapiše);
- čitalnik sprejme podatke in jih neobdelane pošlje zunanjemu sistemu, ta pa podatke preveri, procesira, razkodira in jih zapiše v odvisnosti od njihove ustreznosti.

Največkrat uporabljen v RFID-sistemih je zadnji način, torej čitalnik neobdelane podatke pošlje zunanjemu računalniškemu sistemu, ta pa jih naprej obdeluje. Tak način omogoča največjo fleksibilnost pri obdelavi podatkov.

## 2.7 Standardi

Standardi za RFID-sisteme predpisujejo, kako sistem deluje, na katerih frekvencah lahko deluje ter na kakšne načine se lahko vrši izmenjava podatkov med čitalnikom in oddajnikom. Standardi podajajo tudi usmeritve, na podlagi katerih podjetja razvijajo različne vrste čitalnikov, oddajnikov, opreme za različne države in regije sveta. Standarde lahko razvijajo in izdajajo posamezne države, regijske, mednarodne institucije, lahko pa razvija standard tudi sama industrija. Zaradi nenehnega razvoja se standardi posodablajo. RFID standarde razvija več institucij:

- EPCglobal (Electronics Product Code Global Incorporated)
- ISO (International Standards Organisation)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
- FCC (Federal Communication Commission)

Leta 1999 se je veliko proizvajalcev iz različnih gospodarskih sektorjev združilo v konzorcij z namenom raziskovati in standardizirati naslednika črtne kode, RFID-sistem. EPCglobal je

nastal leta 2003, ko se je konzorcij razdelil na dva dela, na standardizacijo (EPCglobal) ter na raziskave (Auto-ID Labs).

Medtem je mednarodna institucija ISO že dalj časa prisotna kot organizacija, ki skrbi za standarde. Organizacija je volonterska, sestavljena je iz mednarodno povezanih tehnoloških komitejev, podkomitejev, delovnih skupin in nacionalnih teles za standardizacijo. V Sloveniji tako poznamo SIST – Slovenski inštitut za standardizacijo, Nemčija ima DIN (nem. *Deutsche Institut für Normung*) itd.

Ti dve instituciji (EPCglobal in ISO) sta tudi glavni v svetu za standarde na področju RFID-tehnologije. ETSI je Evropska institucija za standarde v telekomunikaciji, ki jo je potrdila tudi EU kot evropska organizacija za standarde. Aktivni sistem RFID, pasivni sistem LF RFID, pasivni sistem HF RFID in pasivni sistem UHF RFID imajo vsi svoje standarde. Pasivni RFID-sistemi v uporabi za cestninjenje delujejo na UHF-frekvencah, zato so v nadaljevanju opisani standardi za te sisteme. Standardi, ki se nanašajo na pasivni UHF RFID-sistem, so naslednji:

- EPCglobal (*EPC Radio-Frequency Identify Protocols Gen-2 UHF RFID, v2.0.1*)  
To je trenutno edini RFID sistem, ki je reguliran z enim svetovnim standardom. Nastal je leta 2013, definira pasivne RFID sisteme na frekvencah od 860 MHz do 960 MHz. Je podlaga za ISO standard na področju pasivnih RFID sistemov.
- ISO/IEC (*standard ISO/IEC 18000-6:2013*)  
Na splošno je standard ISO/IEC 18000 mednarodni standard, ki opisuje različne tipe RFID-sistemov, ki delujejo na različnih frekvencah. Ima šest delov. Za pasivni RFID-sistem je odgovoren del 6, ki opisuje delovanje na frekvencah od 860 do 960 MHz. Standard ISO/IEC 18000-6:2013 je bil razvit s pomočjo standarda EPCglobal. Razdeljen je na štiri tipe, A, B, C, D. Tipi A, B in C uporabljajo ITF-protokole, razlikujejo se v algoritmih povezave med čitalnikom in oddajnikom. Tip D uporablja TTO-protokol.
- ETSI (*standard ETSI EN 302 208-2 v2.1.1 (2014-12)*)  
To je Evropski standard za pasivne RFID sisteme. Glavne značilnosti standarda so:
  - frekvenčno območje delovanja med 865 in 868 MHz (2 W e.r.p)

- frekvenčno območje delovanja med 915 in 921 MHz (4 W e.r.p)
- v uporabi je »ITF protokol«

## 2.8 Primerjava pasivni RFID in DSRC

Sistem DSRC (ang. *dedicated short-range communication*) je podvrsta RFID-sistema, ki deluje na mikrovalovnih frekvencah (5,8 GHz). DSRC je aktivni RFID-sistem, ki uporablja aktivne oddajnike; to so oddajniki, ki imajo baterijo za napajanje mikročipa ter omogočajo velike razdalje med čitalnikom in oddajnikom, tudi preko 100 metrov. Mikročipi takih oddajnikov omogočajo hrambo več informacij kot mikročipi pri pasivnih oddajnikih. DSRC-sistem in pasivni RFID-sistem imata v osnovi podoben način delovanja sistema kot celote. Pri obeh čitalnik komunicira z oddajnikom, ki je nameščen na vozilu, medtem ko so oddajniki drugačni (eni pasivni, drugi aktivni), sistem deluje na drugih frekvencah, cene oddajnikov pa so različne.

V večini evropskih držav se sistem DSRC uporablja za potrebe elektronskega cestninjenja. Vendar pa ti sistemi niso usklajeni med seboj (oddajniki delujejo samo v posameznih državah). Za vsako državo je treba imeti svoj aktivni oddajnik. Tudi znotraj posameznih držav se lahko zgodi, da oddajniki več koncesijskih družb za cestnine niso usklajeni. Sicer pa je sistem DSRC za elektronsko cestninjenje v Evropi že preizkušena tehnologija, začetek uporabe sega v konec osemdesetih let prejšnjega stoletja. Pasivnih RFID-sistemov za cestninjenje v Evropi ni, najbližja država, ki uporablja pasivni RFID-sistem cestninjenja, je Turčija.

Preglednica 2: Primerjava pasivni RFID / DSRC sistem

Tehnologija	Frekvenca delovanja	Uspešnost branja oddajnikov	Občutljivost na vremenske pogoje	Cena oddajnika
pasivni RFID	UHF (860-960 MHz)	več kot 99%	ni občutljiv	od 10€
DSRC	MV (5,8 GHz)	več kot 99%	ni občutljiv	cca 1€

## 2.9 Primerjava RFID in črtne kode

□ RFID-tehnologija in črna koda sta podobno zamišljeni, ampak imata različne metode branja podatkov. RFID bere podatke preko radijskih valov in ne potrebuje direktne povezave med čitalnikom in oddajnikom, za prenos informacije med njima ni potrebna vidna linija, kar prinaša številne prednosti, kot je branje na fizično nedostopnih mestih (npr. znotraj škatel), medtem ko črna koda uporablja optiko za branje in potrebuje vidno linijo branja. To pomeni, da ne sme biti nič na poti, ko optični čitalnik bere črtno kodo.

Prednosti RFID:

- informacije na oddajniku so lahko ponovno zapisane,
- skoraj 100 odstotkov RFID-oddajnikov je berljivih, medtem ko se črna koda lahko poškoduje z neustreznim ravnanjem,
- potencialni problemi s slabo natisnjenimi črtnimi kodami tukaj odpadejo, ker so vsi oddajniki kvalitetno narejeni.

Slabosti RFID:

- RFID-tehnologija je dražja od črtne kode, ki je zelo poceni in enostavna za uporabo.

## 2.10 Delovanje RFID sistema elektronskega cestninjenja

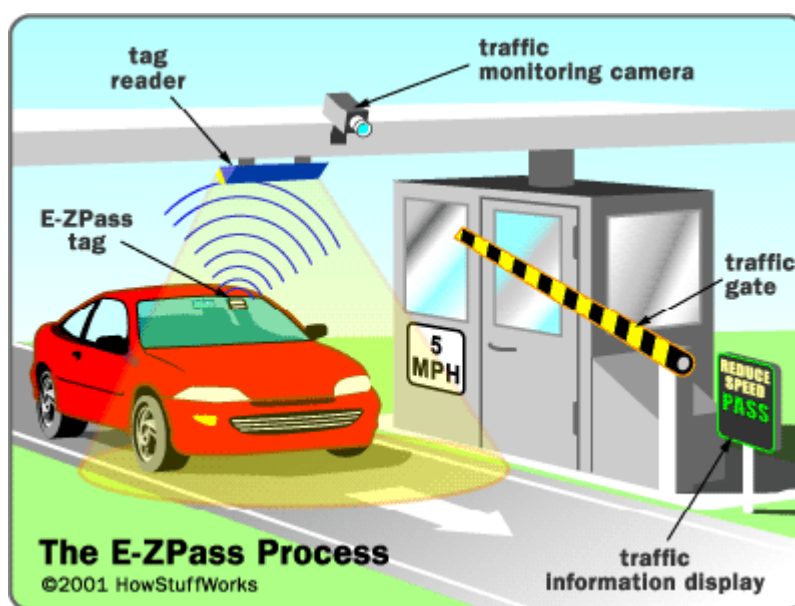
RFID-sistem omogoča elektronsko cestninjenje. To pomeni, da se cestnina plačuje elektronsko, brez denarja v fizični obliki. Prav tako v RFID-sistemu cestninjenja ni treba zaustavljati vozil, cestnina se izvrši v prostem prometnem toku. To je v primeru, da je čitalnik nameščen na portalu nad voziščem in je v vozilu ustrezen oddajnik. RFID-sistem je lahko nameščen tudi na cestninskih postajah. V tem primeru se zapornica ob uspešno opravljeni transakciji cestnine odpre, hitrost prehoda cestninske postaje je omejena. Dodatna prednost elektronskega cestninjenja v prostem prometnem toku je tudi zmanjšanje negativnega vpliva na okolje, ker ni čakanja vozil pred cestninskimi postajami.

RFID-sistem elektronskega cestninjenja deluje na naslednji način:

- ko vozilo pripelje v območje čitalnika (območje elektromagnetnega polja čitalnika), ki je nameščen nad voziščem, se oddajnik v vozilu »zbudi«;
- oddajnik v vozilu pošlje čitalniku nazaj osnovno informacijo, največkrat samo identifikacijsko številko, sicer še druge podatke, če je take vrste oddajnik;

- čitalnik pošlje to informacijo v centralni računalniški sistem;
- če je vse v redu, se z uporabniškega računa odtegne potreben znesek za cestnino;
- na cestninski postaji se nato odpre zapornica, po navadi je v bližini informacijski zaslon, na katerem se izpišejo osnovne informacije o cestnini (cena, ali je vse v redu ...)
- če je čitalnik na portalu nad voziščem, po navadi ni takega zaslona;
- če pa oddajnika ni mogoče prebrati oz. ni v centralnem sistemu ali oddajnik ni veljaven, potem kamera posname registrsko označbo vozila, ko prečka portal. Uporabnik takrat dobi račun za plačilo cestnine na svoj naslov.

Celoten proces se izvede v nekaj sekundah, v območju portala nad voziščem še prej. Takšen sistem elektronskega cestninjenja je po navadi predplačniški.



Slika 10: Primer RFID sistema cestninjenja

(Vir: <http://auto.howstuffworks.com/e-zpass2.htm>)

### 3 UPORABA ZA CESTNINJENJE

Cestnina je pristojbina za uporabo cestninskih cest. Obstajata tudi mostnina in tunelnina; to je podobno kot cestnina, plača se uporaba mostu oz. predora. Cestninske ceste so po navadi ceste, ki nudijo višji standard prometnih uslug, to je večje udobje potovanja, hitrejše potovanje, po navadi so štiri- ali večpasovne. Sem sodijo avtoceste in hitre ceste.

Načinov plačila cestnine je več. Sprva je bilo gotovinsko plačilo cestnine, ki se ponekod še izvaja, to je plačilo z gotovino na cestninski postaji. Drugi način je plačilo cestnine vnaprej, to je predplačniški sistem z vinjeto, kjer vinjeta, prilepljena na vetrobransko steklo, služi kot dokaz. V uporabi pa je tudi elektronsko cestninjenje, kjer se cestnina plačuje preko uporabe posebnih kartic ali posebnih nalepk, ki so prilepljene na vetrobransko steklo. V tem poglavju je opisana uporaba pasivnih RFID-oddajnikov za potrebe elektronskega cestninjenja po svetu.

Večina pasivnih RFID-oddajnikov, ki so v uporabi za potrebe cestninjenja, je zunaj Evrope. Tako so pasivni oddajniki za potrebe elektronskega cestninjenja v uporabi v Indiji, na Tajvanu, v Združenih državah Amerike, na Filipinih, v Dubaju itd. V bližini Evrope je le Turčija uvedla sistem cestninjenja s pasivnimi RFID-oddajniki.

#### 3.1 Uporaba po svetu

##### Turčija

Turčija je leta 2012, kot prva v Evropi uvedla cestninjenje v prostem prometnem toku s tehnologijo pasivnih RFID-oddajnikov. Sistem je razvilo domače podjetje, najprej so ga namestili na Bosporski most. Pred tem so imeli na mostu sistem plačevanja s karticami (aktivni RFID-sistem). Uporabnik je moral skoraj ustaviti vozilo, da je plačal mostnino s posebno kartico, kar je povzročalo zastoje, ter aktivni oddajniki so bili dragi. Novi pasivni RFID-sistem pa omogoča prehod cestninskega mesta brez ustavljanja, ker so čitalniki nameščeni na portalih nad voziščem. Velika prednost novega sistema je tudi cena, saj so cene pasivnih oznak bistveno nižje, in sicer v povprečju za 20-krat v primerjavi s prejšnjimi aktivnimi karticami.

Novi pasivni RFID-sistem so uvedli tudi na turških avtocestah. Sistem z imenom HGS je nadgradnja sistema, ki so ga imeli že prej v uporabi, in sicer sistema z aktivnimi RFID-oddajniki. Novi sistem temelji na standardu ISO 18000-6C. Nova tehnologija omogoča prehod preko cestninskega mesta (po navadi portal s pritrjenimi čitalniki, kamerami ...) brez ustavljanja, kar je tudi eden od razlogov za uvedbo tega sistema cestninjenja. Cestninsko mesto je del vozišča, ki ga prevozijo uporabniki plačljivih cest. Vsako tako cestninsko mesto je opremljeno z induktivno zanko za promet, čitalnikom, kamero, prometno signalizacijo in informacijsko tablo.

Prednost tega sistema cestninjenja je tudi cena, predvsem za uporabnike, ker ni potreben nakup dragega aktivnega oddajnika za v avto. Zadošča nalepka s čipom in anteno, ki je nekajkrat cenejša od aktivnih kartic. Zanesljivost sistema je 99,7-odstotna, kar pomeni, da čitalnik v toliko primerih prebere pasivno nalepko na vetrobranskem steklu vozila in podatke pošlje v računalniški sistem v obravnavo.

## Indija

V Indiji so leta 2013 začeli pilotni projekt plačevanja cestnin na avtocestah z uporabo pasivnih RFID-oddajnikov. To je bilo na odseku avtoceste Ahmedabad–Mumbaj. Po uspelem projektu so leta 2015 razširili sistem na odseku Delhi–Mumbaj. Sistem se bo postopoma uvedel tudi po drugih avtocestnih odsekih v Indiji.

Sistem se imenuje FASTag. Deluje tako, da uporabnik sistema odpre svoj račun, dobi pasivni oddajnik z edinstveno identifikacijsko številko in ga prilepi na vetrobransko steklo. Na dosedanjih cestninskih postajah je ena ali več stez opremljenih s sistemom za uporabo pasivnih oddajnikov. Ko uporabnik prevozi tako stezo, ga RF-čitalnik zazna, pošlje podatke v sistem, kjer se z uporabnikovega računa odtegne primerna vsota za cestnino.

Oddajnika ni mogoče prenašati med vozili, ker je narejen tako, da ni več uporaben, če se odstrani, potem ko je enkrat nalepljen na vetrobransko steklo. Hitrost vozila pri prehodu skozi območje čitalnika je lahko do 150 km/h.

## Dubaj

V Dubaju so sredi leta 2007 začeli uporabljati pasivne RFID-oddajnike za cestninjenje. Sistem se imenuje Salik in je bil prvi pasivni RFID-sistem cestninjenja na Bližnjem vzhodu. Sistem deluje na način cestninjenja v prostem prometnem toku, kar pomeni, da se lahko mimo portala, kjer so nameščeni čitalniki za cestninjenje, vozijo z avtocestnimi hitrostmi. Uporabnik kupi pasivni RFID-oddajnik, naloži dobroimetje na svoj račun ter vsakokrat, ko se pelje mimo portala za cestninjenje, se mu z računa odtegne ustrezen znesek cestnine. Sistem je bil med drugim postavljen, da bi zmanjšal in preusmeril promet na manj obremenjene prometnice, kjer ni treba plačevati cestnine. Sistem cestninjenja je skrajšal čas potovanja na cesti Shaikh Zayed Road tudi za 44 odstotkov.

## Tajvan

Na Tajvanu so leta 2006 poleg ročnega pobiranja cestnin uvedli elektronsko plačevanje cestnin na državnih avtocestah, brez popolnega ustavljanja. Uporabniki so morali kupiti posebno napravo za v avto, aktivni RFID-sistem, ki je omogočal plačevanje brez ustavljanja. Sistem je bil dobro sprejet, toda čez nekaj časa, po približno petih letih, je prišlo do točke, ko se je število uporabnikov sistema ustalilo, se ni več večalo. Upravljalci tajvanskih avtocest (Taiwan Area National Freeway Bureau) so se odločili preveriti možnost kakšnega podobnega sistema cestninjenja. Prišli so do zaključka, da bi bil najustreznejši sistem pasivnih RFID-oddajnikov, ki temelji na standardu ISO 18000-6C. Tako so sredi leta 2012 začeli vpeljevati sistem cestninjenja s pasivnimi RFID-oddajniki. Nove pasivne oddajnike, ki so v obliki nalepk, so brezplačno posredovali uporabnikom, ki pa so dobili tudi popust na cestnino. V letu in pol se je na ta način število uporabnikov tega novega sistema na avtocestah povečalo na 85 odstotkov, kar je hitreje kot v katerikoli drugi državi, kjer so vpeljali sistem pasivnih RFID-oddajnikov.

V začetku leta 2014 so na avtocestah popolnoma odstranili cestninske postaje ter s tem prenehali plačevati cestnine s fizičnim denarjem. Do sredine leta 2014 je s pasivnim RFID-oddajnikom, v obliki nalepke, opremljenih 78 odstotkov vozil v vsej državi. Prednosti novega sistema so cestninjenje popolnoma brez ustavljanja, skrajšanje časa potovanja, zmanjšanje onesnaževanja zraka itn.



## Filipini

Na Filipinih so uvedli cestninjenje s pasivnimi RFID-oddajniki nedavno, in sicer aprila 2016. Pred tem so imeli sistem DSRC (aktivni RFDI-oddajniki) in ročno plačevanje cestnin. Pri postavitvi in vodenju sistema cestnin s pasivnimi RFID-oddajniki jim je z izkušnjami in znanjem pomagalo turško podjetje, ki je v svoji državi pred tem že uspešno uvedlo ta sistem.

## Argentina

V argentinski pokrajini Neuquen so imeli za plačilo mostnine preko mostu Neuquén–Cipoletti v uporabi sistem z aktivnimi RFID-oddajniki. Poleti leta 2006 so prešli na sistem s pasivnimi RFID-oddajniki. Aktivni RFID-sistem je bil drag, ker je vključeval nakup oddajnika za približno 50 dolarjev, poleg tega je bilo treba na nekaj časa zamenjati baterijo. Novi pasivni RFID-oddajniki so v obliki nalepke, ki se prilepi na vetrobransko steklo. Družba, ki upravlja most, uporabnikom zastoj ponudi pasivne oddajnike, le vnaprej je treba naložiti denar na svoj račun. Na pasivnem oddajniku je le enolična identifikacijska številka, ki jo preko računalniškega sistema povežejo s posameznim uporabniškim računom. Prednost novega sistema je tudi vožnja brez ustavljanja. Čitalnik je nameščen na portalu nad voznim pasom in beleži edinstvene identifikacijske številke oddajnikov, ki so v obliki nalepk nalepljene na vetrobranskem steklu. Čitalnik lahko bere pasivne oddajnike, oddaljene največ pet metrov, vozila pa lahko vozijo mimo čitalnika s hitrostjo čez 200 km/h. Cestninsko postajo, kjer je nameščen RFID-sistem, lahko prečka 1200 vozil na uro, medtem ko na cestninski postaji, kjer je treba ročno plačati cestnino, lahko prečka samo 300 vozil v eni uri.

Prehod z aktivnega RFID-sistema na pasivni RFID-sistem je zahteval, da sta bila oba sistema istočasno v uporabi še približno tri mesece. Še pred uveljavitvijo je bil dve leti na tem mostu testiran pasivni RFID-sistem. Za časa testiranja je sistem prebral vse pasivne oddajnike, torej je bil 100-odstotno uspešen. Ta sistem elektronskega cestninjenja je bil prvi pasivni RFID-sistem za cestninjenje v Južni Ameriki.

## ZDA

V ZDA elektronsko cestninjenje sega v leto 1989, ko so v mestu Dallas kot prvi v Združenih državah Amerike uvedli elektronsko plačevanje cestnine. V ZDA ceste, mostove in predore vodijo različna podjetja, ki skrbijo za vzdrževanje in s tem tudi za pobiranje cestnin. Ta podjetja so imela oz. še imajo prosto izbiro načina cestninjenja. Najbolj pogosta načina cestninjenja sta z aktivnim in pasivnim RFID-sistemom. Vendar načini cestninjenja v posameznih zveznih državah niso kompatibilni med seboj. Cestninjenje s pasivnimi RFID-oddajniki v prostem prometnem toku uspešno uporabljajo med drugim na Floridi. Komercialni imeni sta Sunpass in Epass. Sistem uporabljajo od sredine leta 2008.

Tudi v Kaliforniji so v uporabi pasivni RFID-oddajniki za potrebe elektronskega cestninjenja. Sistem se imenuje FasTrak. Uporablja pasivne oddajnike na frekvenci 915 MHz. Pasivne RFID-oddajnike v obliki nalepk uporabljajo še v Kansasu (K-Tag), Teksasu (TxTag) ter nekaterih drugih zveznih državah.

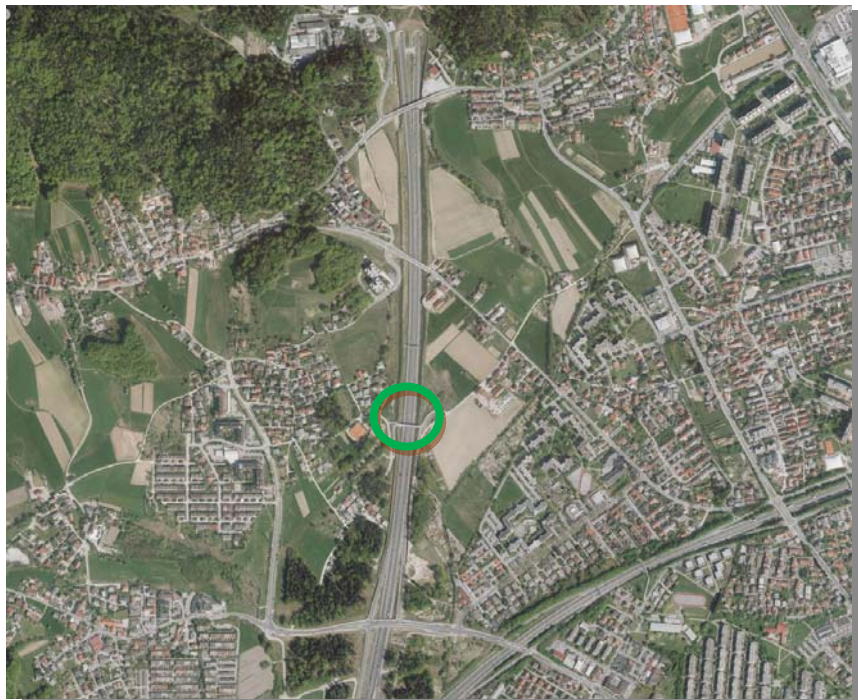
## **4 TESTIRANJE SISTEMA**

V tem poglavju je opisano testiranje sistema RFID s pasivnimi oddajniki. Testiranje je bilo izvedeno s strani Prometnotehniškega inštituta (PTI), ki deluje v okviru Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani; pri njem sem tudi sam sodeloval. Testirala sta se dva sistema. To sta pasivna RFID-sistema dveh podjetij, in sicer podjetij IPICO in 3M.

### **4.1 Uvod**

Namen testiranja je bil preizkusiti pasivni RFID-sistem in ugotavljati lastnosti in zanesljivosti sistema pri različnih hitrostih vozil in pri različnih pozicijah vozila na cestišču glede na anteno. Sistem smo testirali pri visokih hitrostih in zanimalo nas je, kako se sistem obnaša pri identifikaciji vozil v prostem prometnem toku. Testirana sta bila dva sistema. Sistem podjetja 3M (čitalnik tipa 6300, antena G900) ter sistem podjetja IPICO (IP3056), oba z močjo 2 W.

Testiranje takega sistema vključuje visoke hitrosti mimovozečih vozil (čez 100 km/h), zato je bilo treba najti ustrezno mesto za tako testiranje. Na obstoječih odprtih odsekih avtocest je tako testiranje težavno zaradi potrebnih delnih zapor cest ter varnosti, zato je bil izbran takrat novozgrajeni odsek avtoceste A1 Karavanke–Bregana, in sicer odsek Šentvid–Koseze. Testiranje sistemov za branje pasivnih oddajnikov je bilo izvedeno v juniju 2007. Za potrebe testiranja je bila na voljo vzhodna stran avtocestnega odseka, s čimer so bili zagotovljeni maksimalni varnostni pogoji za vozila, ki so testirala sistem, za udeležence pri testiranju in za samo kalibriranje antene, ki se je nahajala na nadvozu neposredno nad voziščem.



Slika 11: Lokacija testiranja (Avtocesta A2, odsek Šentvid - Koseze)

## 4.2 Testiranje

### Kontrolirano okolje

Oba pasivna RFID-sistema sta bila najprej preizkušena v kontroliranem okolju, v zaprtem prostoru, brez uporabe vozil. Postavljena je bila vsa računalniška, programska in komunikacijska oprema. Testiranje je bilo namenjeno spoznavanju osnovnih zakonitosti sistema, predvsem obnašanju elektromagnetnega polja, ki ga oddaja antena čitalnika za napajanje oddajnikov. Treba je bilo tudi ugotoviti učinkovitost sistema pri različnih kotih med anteno in oddajnikom.

Ustreznost sistema je bila testirana z naslednjimi predpostavkami:

- antena in čitalnik sta postavljena nad vozišče, obrnjena pravokotno na podlago,
- oddajnik na vozilu bi se v primeru, ko je H metrov pod anteno, vozil v območju delovanja antene – L metrov (Slika 12).

Predpostavljen je bil primer, ko bi se oddajnik na vozilu premikal direktno pod anteno in ne odmaknjen v levo ali desno stran. Tak način testiranja je bil določen predvsem zato, ker je

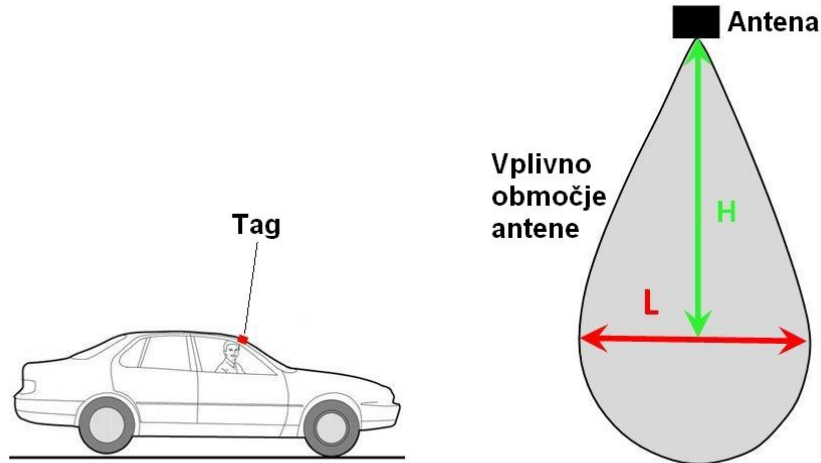
dejansko obnašanje celotnega sistema zelo močno pogojeno z določenimi dejavniki v okolici sistema, kot so npr.:

- bližina kovinskega stebra,
- bližina asfaltne podlage,
- druge elektronske naprave idr.,

kot tudi s samo prostorsko postavitvijo anten in čitalca.

Dolžina poti, ki jo opravi vozilo skozi vplivno območje antene, se s poševno usmeritvijo antene podaljša, hkrati pa je ravno zaradi poševne usmerjenosti potrebna manjša vertikalna razdalja med vozilom in anteno.

Vsak od teh dejavnikov bistveno vpliva na učinkovitost sistema. Sistem je pokazal zadovoljive rezultate pri usmeritvi oddajnika proti anteni na način, kot se oddajnik dejansko nahaja na vozilu pri vožnji pod ali mimo antene.



Slika 12: Skica predpostavk v kontroliranem okolju

## Na terenu

Za potrebe testiranja so bila uporabljena štiri osebna vozila, za testiranje delovanja sistema IPICO pri višjih hitrostih pa še dodatni vozili, eno za hitrosti do 160 km/h in drugo za hitrosti do 200 km/h. Oddajnike v obliki nalepk so imela vozila pritrjena na notranji strani vetrobranskega stekla.

Testiranje se je izvajalo v serijah, kjer je bilo za posamezno nastavitev antene in čitalnika izvedeno testiranje pri posameznih hitrostih, največkrat v precejšnjem razmaku, saj so prvotni testi, ki tu niso evidentirani, pokazali ob enaki poziciji oddajnika v vozilu glede na anteno konstantno dobre rezultate, ne glede na hitrost vozila.

V času testiranja je bila dodatna antena na višini od 4,3 do 4,7 m nad voziščem, pritrjena na nosilec na nadvozu preko avtoceste. Čitalnik je bil pritrjen ob anteni na nadvozu ter povezan z računalniškim sistemom za neposredno preverjanje podatkov o prehodih vozil. Nastavljanje višine in usmeritve antene ter čitalnika je potekalo ročno, po navadi za vsako serijo testiranja posebej.

Kalibriranje lokacije in usmeritve antene je v času testiranja potekalo glede na sprotne rezultate, namen testiranja je bilo spoznati uspešnost delovanja sistema v odvisnosti od usmeritve antene (kot antene glede na podlago) in pozicije oddajnika v vozilih glede na anteno (vožnja direktno pod anteno, vožnja levo/desno od antene ...).



Slika 13: Testiranje na terenu

Skupaj je bilo evidentiranih 80 prevozov skozi sistem identifikacije, več kot 200 dodatnih prevozov pa je bilo opravljenih za potrebe iskanja ustrezne usmeritve antene, ob testih za iskanje najustrežnejšega oddajnika in ob testih, ki niso podali nobenih identifikacij sistema (npr. ob vožnji po sosednjem voznem pasu). Rezultati so podani v poglavju 4.4 Rezultati testiranja.



Slika 14: Testiranje na terenu

### 4.3 Testirana oprema

Izbira testirane opreme je bila določena na podlagi zakonskih osnov, ki izhajajo iz evropskih standardov, ki jih za področje telekomunikacij pripravlja ETSI Technical Committee. V standardu z oznako ETSI EN 302 208-2 V2.1.1 (2014-12) je opredeljeno, da so v evropskem prostoru dovoljeni RFID-sistemi, za katere velja:

- frekvenčno območje delovanja je med 865 in 868 MHz (2 W po ERP-metodi) ali
- frekvenčno območje delovanja je med 915 in 921 MHz (4 W po ERP-metodi);
- za oddajnike velja načelo »listen before talk«.

Oddajniki, ki so bili testirani s sistemom IPICO, oddajajo signal ne glede na to, ali so prejeli zahtevo po oddaji signala ali ne. Signal oddajajo takoj, ko oddajnik iz okolice prejme dovolj napajanja elektromagnetnega izvora. S tem omenjeni sistem oddajnikov in antene/čitalnika sicer ne ustreza popolnoma osnovnim načelom omenjenega standarda, vendar se sistem lahko enostavno nadgradi tako, da bi ga bilo mogoče uporabljati tudi znotraj Evropske unije.

#### 4.3.1. Sistem IPICO

##### Antena in čitalnik

Testirani čitalnik podjetja IPICO z oznako IP 3056 je sestavljen iz ene enote, ki v ohišju vsebuje hkrati anteno in čitalnik. Sistem sicer omogoča poljubno nastavitve antene za generiranje elektromagnetnega polja, vendar je enota že optimizirana za identifikacijo vozil s strani proizvajalca opreme.

Tehnične lastnosti sistema so naslednje:

- dimenzije elementa (D x V x G) 805 x 305 x 60 mm,
- delovna frekvenca: stalna je na 869.4-869.65 MHz in na 915.3 MHz,
- izhodna moč 2 W,
- delovna napetost 90–264 V,
- temperatura delovanja med –10 in +60 °C,
- temperatura skladiščenja med –20 in +85 °C,
- delovanje pri relativni vlažnosti med 5 in 95 %,
- teža 6,5 kg.





Slika 15: Čitalnik/antena IPICO IP3056

## Oddajniki

V kompletu proizvajalca opreme je bilo poslano več različnih oblik pasivnih RFID oddajnikov. To pomeni, da je oddajnik brez lastnega vira napajanja, brez baterije, na oddajniku v obliki nalepke sta nameščena samo mikročip in antena. Območje delovanja oddajnikov je odvisno od velikosti antene oddajnika ter od moči in nastavitvev čitalnika z anteno. Po preizkusih se je za najustrežnejšega izkazal oddajnik IP3230, ki je na sliki 16 prvi od zgoraj.



Slika 16: Različni pasivni oddajniki na testiranju

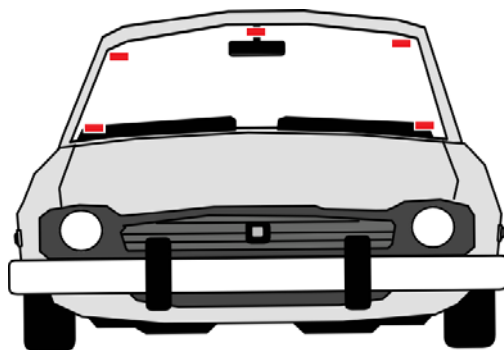


Slika 17: Poseben oddajnik

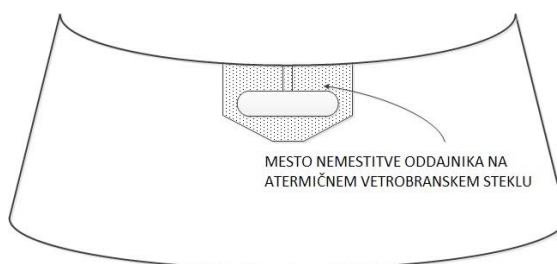
Za potrebe testiranja, predvsem za potrebe iskanja optimalne nastavitve antene in čitalnika glede na pozicijo oddajnika v vozilu, je bil v uporabi poseben oddajnik, ki je na Sliki 17. Ta oddajnik je v večjem ohišju od ostalih, zaščiten je z robustno plastiko, ki je odporna na vremenske vplive. Velikost oddajnika je 235 x 45 x 30 mm. Namenjen je uporabi v industrijske namene, na kontejnerjih, tovornih vozilih, tovornih ladjah itd. Lokacija oddajnika v ohišju je optimizirana za postavitvev na kovinsko površino, saj je razdalja med spodnjim robom plastike in oddajnikom takšna, da se signali, ki jih oddaja antena, in signali, ki jih oddaja oddajnik, preko odboja od kovinske podlage ojačajo. Oddajnik se lahko privijači na podlago.

Oddajniki za potrebe identifikacije vozil so nameščeni oz. nalepljeni na notranjo stran vetrobranskega stekla vozila. Na Sliki 18 so prikazane možne pozicije namestitve pasivnega RFID-oddajnika na vetrobransko steklo osebnega vozila. Paziti je treba pri namestitvi oddajnika na vozila z atermičnimi stekli. To so stekla, ki imajo poseben tanek kovinski premaz ter ne prepuščajo določenih frekvenc elektromagnetnega valovanja, zato ni vseeno, kam na takem vetrobranskem steklu nalepimo oddajnik. Atermična stekla imajo po navadi poseben pas okoli notranjega ogledala na srednjem delu stekla, kjer ni kovinskega premaza in kamor je mogoče prilepiti oddajnik, da ga bo čitalnik zaznal.

Tudi pri motornih kolesih je potrebna pazljivost pri namestitvi oddajnika. Oddajnik je lahko enak kot za osebna vozila, torej mora biti nameščen na vetrobransko steklo motornega kolesa. Če motorno kolo nima stekla, pa je na voljo poseben oddajnik s pleksi prevleko optimalne debeline, tako da je tudi pri takih motornih kolesih omogočen učinek vetrobranskega stekla. To pomeni, da se lahko motorna kolesa obravnavajo enako kot ostala vozila.



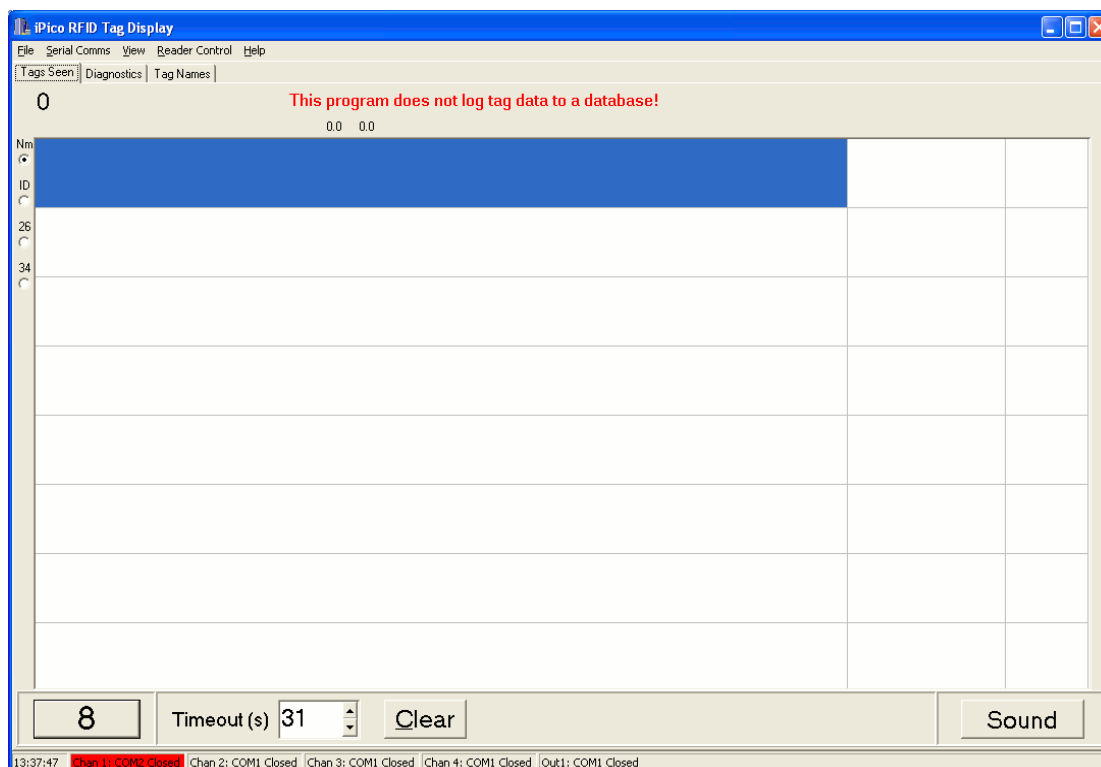
Slika 18: Možne pozicije namestitve RFID oddajnika na navadnem vetrobranskem steklu



Slika 19: Pozicija namestitve RFID oddajnika na atermičnem steklu

## Programska oprema

Programska oprema, priložena RFID-sistemu, je od istega podjetja kot čitalnik in oddajniki. Programska oprema iPico RFID Tag Display omogoča vzpostavitev sistema, branje oddajnikov, dodatne nastavitve sistema (nastavitve antene, načina prenašanja podatkov ...). Obravnavani čitalnik sam ne shranjuje pridobljenih podatkov o identifikaciji, temveč podatke pošilja skozi izhode na opremo, ki te podatke bere oz. hrani. V konkretnem primeru so se podatki pošiljali preko izhoda RS232 na računalnik, pri čemer je bil računalnik opremljen z ustrežno programsko opremo za branje prispelih podatkov.



Slika 20: Pogovorno okno programskega vmesnika »iPico RFID Tag Display«

#### 4.3.2. Sistem 3M

##### Antena in čitalnik

Testirani čitalnik podjetja 3M z oznako IR 9000 2 je sestavljen iz enote, ki v ohišju vsebuje hkrati anteno in čitalnik ter dodatne štiri antene. Namen dodatnih anten je predvsem pokritje prostora z enakomernim in dovolj močnim elektromagnetnim poljem za napajanje oddajnikov. Tehnične lastnosti sistema so naslednje:

- dimenzije elementa (Š x V x G) 190 x 224 x 53 mm,
- delovna frekvenca 865.0–868.0 MHz,
- izhodna moč 2 W,
- delovna napetost 10–30 V,
- nazivna napetost 24 V,
- največja »poraba« toka 1 A, nominalno 500 mA,
- temperatura delovanja med –30 in +60 °C,
- temperatura skladiščenja med –50 in +85 °C.



Slika 21: Sprejemnik 3M, IR 9000 2

## Oddajniki

Tudi v kompletu proizvajalca opreme 3M je bilo poslano več različnih oblik pasivnih RFID oddajnikov. To pomeni, da je oddajnik brez lastnega vira napajanja, brez baterije, na oddajniku v obliki nalepke sta nameščena samo mikročip in antena. Območje delovanja je odvisno od velikosti antene oddajnika ter od moči in nastavitve čitalnika z anteno. Po preizkusih v kontroliranih pogojih se je za najustreznejšega pokazal oddajnik z oznako »WSTAG« (na Sliki 22 v sredini).



Slika 22: Različni pasivni oddajniki na testiranju

Pasivni oddajniki za potrebe identifikacije vozil so nameščeni oz. nalepljeni na notranjo stran vetrobranskega stekla vozila. Na Sliki 18 so prikazane možne pozicije namestitve pasivnega RFID-oddajnika na vetrobransko steklo osebnega vozila. Ob nameščanju oddajnika moramo biti pozorni pri vozilih z atermičnimi stekli. To so stekla, ki imajo poseben tanek kovinski premaz ter ne prepuščajo določenih frekvenc elektromagnetnega valovanja, zato ni vseeno, kam na takem vetrobranskem steklu nalepimo oddajnik. Atermična stekla imajo po navadi poseben pas okoli notranjega ogledala na srednjem delu stekla, kjer ni kovinskega premaza in kamor je mogoče prilepiti oddajnik, da ga bo čitalnik zaznal.

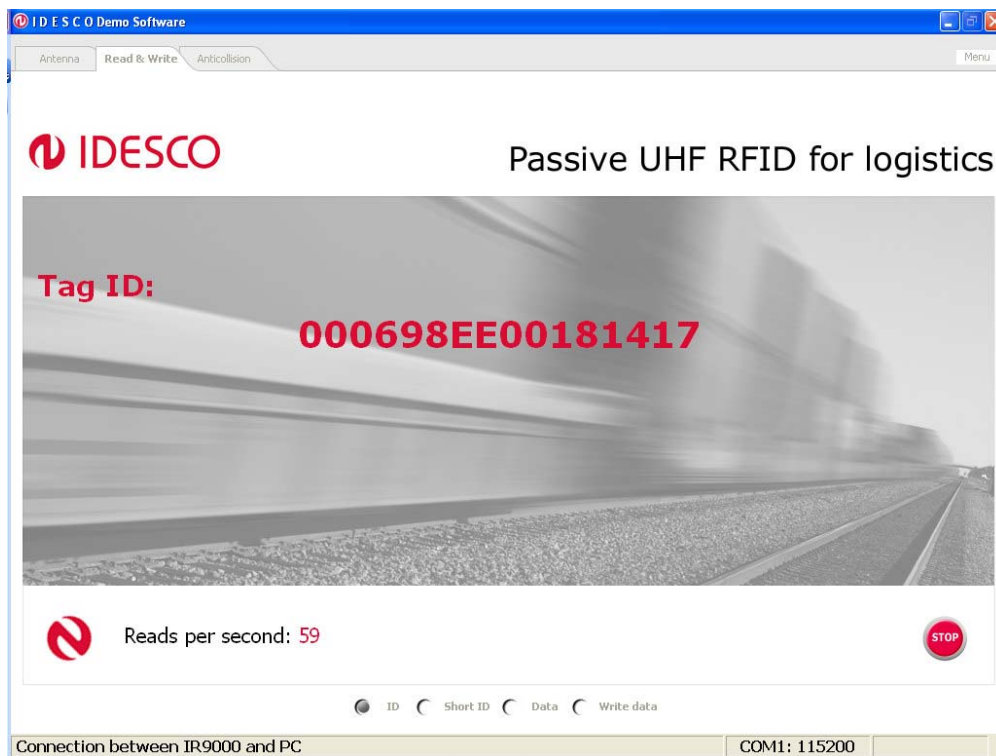
Tudi pri motornih kolesih je potrebna pazljivost pri namestitvi oddajnika. Oddajnik je lahko enak kot za osebna vozila, torej mora biti nameščen na vetrobranskem steklu motornega

kolesa. Če motorno kolo nima stekla, pa je na voljo poseben oddajnik s pleksi prevleko optimalne debeline, tako da je tudi pri takih motornih kolesih omogočen učinek vetrobranskega stekla.

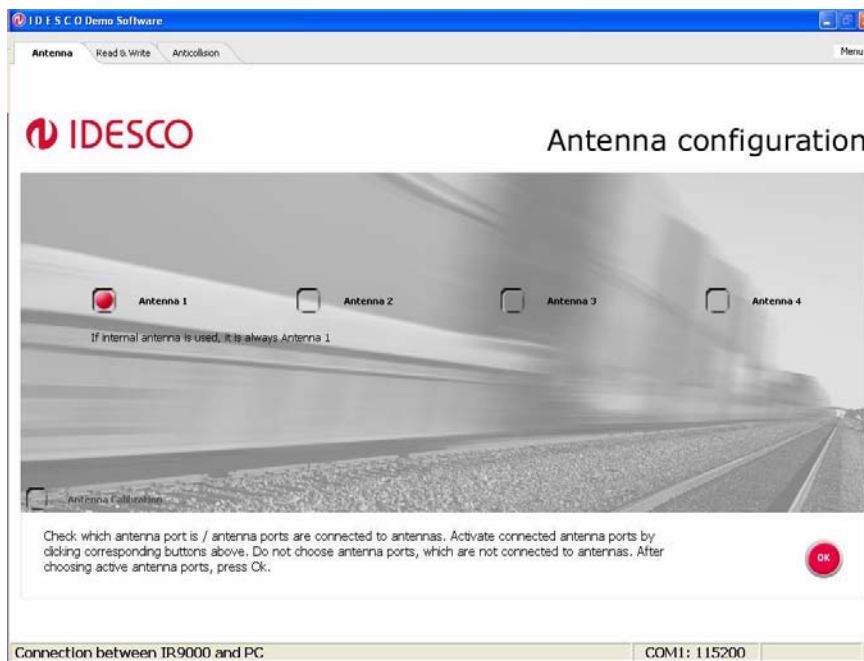
To pomeni, da se lahko motorna kolesa obravnavajo enako kot ostala vozila.

## Programska oprema

Programska oprema, priložena RFID-sistemu, je od istega podjetja kot čitalnik in oddajniki. Programska oprema Idesco demo software omogoča vzpostavitev sistema, detekcijo dodatnih anten ter inštalacijo dodatnih anten (Slika 23). Delovanje celotnega sistema je odvisno od števila anten, ki so vključene v sistem.



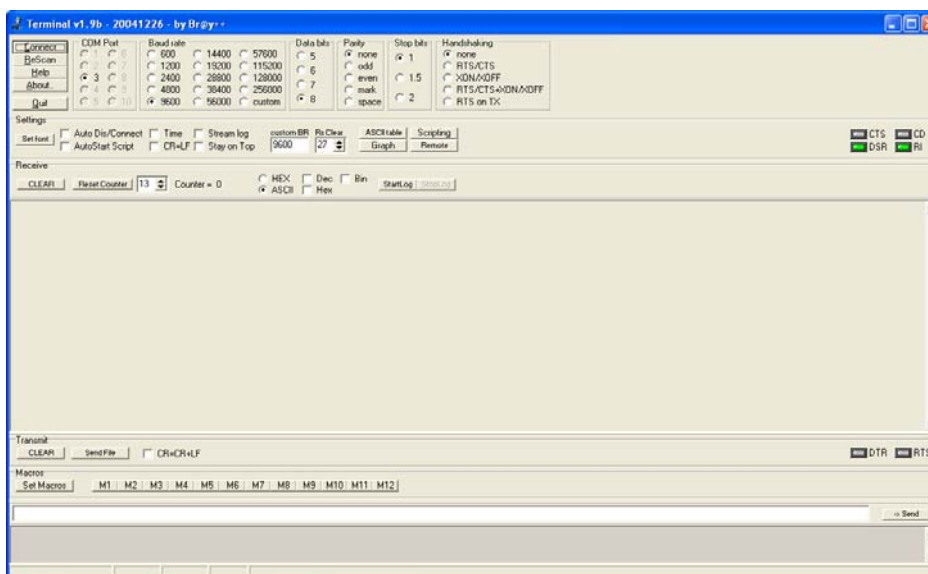
Slika 23: Pogovorno okno programskega vmesnika »idesco demo software«



Slika 24: Pogovorno okno programskega vmesnika za inštalacijo anten

Dodatna programska oprema (terminal.exe) omogoča:

- številne dodatne nastavitve sistema,
- pregled vseh podatkov, ki jih je ob identifikaciji oddajnikov prejel čitalnik,
- pošiljanje najrazličnejših ukazov sistemu (čitalniku in antenam), kar omogoča kalibracijo vseh možnih parametrov, ki jih sistem IR 9000 2 premore.



Slika 25: Pogovorno okno dodatnega vmesnika Terminal

## 4.4 Rezultati testiranja

### 4.4.1. Sistem Ipico

Testiranje pasivnega RFID-sistema IP 3056 je pokazalo ustreznost takega sistema za identifikacijo vozil v prostem prometnem toku. Rezultati so bili zadovoljivi tudi pri hitrosti 200 km/h, v vožnji po sredini voznega pasu oz. direktno pod anteno, in to ne glede na postavitev oddajnika na vozilu. Zelo dobre rezultate je sistem prikazal tudi pri hitrostih med 140 in 170 km/h, medtem ko so bila pri avtocestnih hitrostih do 120 km/h z vožnjo direktno pod anteno identificirana praktično vsa vozila v vseh testih. Slabši rezultati so bili le pri vožnji levo oz. desno od antene in čitalnika. To pomeni, da ima testirani sistem dokaj ozko območje, v katerem identificira oddajnike. Območje branja oddajnikov je okoli 2,2 m na vsako stran antene.

Za bolj verodostojne informacije bi bila potrebna še nadaljnja testiranja, pri katerih bi bilo treba posebno pozornost nameniti:

- postavitvi (višini) in usmeritvi anten (naklon, usmeritev glede na smer vozil),
- ugotavljanju lastnosti sistema v slabših vremenskih razmerah (megla, dež, sneg ...),
- testiranju z antenami/čitalniki večjih moči (npr. 4 W),
- ugotavljanju odzivnosti sistema pri več vozilih z atermičnimi vetrobranskimi stekli.

V nadaljevanju so podane preglednice rezultatov testiranja na terenu. Čitalnik oz. antena večkrat prebere oddajnik, ko se ta nahaja v njegovem elektromagnetnem polju. Lahko pa čitalnik oddajnika tudi ne zazna. Posamezna številka v preglednici pomeni število uspešnih branj posameznega oddajnika na vozilu ob enem prehodu pod anteno/čitalnikom. Če oddajnika na vozilu čitalnik ni zaznal, je številka 0. V nekaterih sklopih testiranja posamezna vozila niso sodelovala zaradi optimizacije postavitve oddajnika na vozilu. V preglednicah rezultatov je to označeno z »ne vozi«.

Rezultati testiranja so podani po sklopih, znotraj katerih so posamezne hitrosti prehodov vozil pod anteno/čitalnikom razdeljene na štiri vozila. Sklopi testiranja se razlikujejo po polarizaciji antene (horizontalna, vertikalna), po kotu med anteno in vertikalo (25–45°), po višini antene nad voziščem (4,3–4,7 m) ter po tem, kje v odvisnosti od antene so vozila prehajala sistem



identifikacije. Antena/čitalnik je bil vedno pozicioniran na sredini, nad voznim pasom širine 3,9 m. Testirani so bili trije načini prehoda pod anteno/čitalnikom:

- vozilo vozi po sredini voznega pasu,
- vozilo vozi po robu voznega pasu z gumo po črti (vendar je še vedno znotraj pasu),
- vozilo vozi po robu voznega pasu z gumo po črti (vendar je na sosednjem pasu).

Vsa testiranja so potekala ob sončnem vremenu, v juniju 2007, s štirimi različnimi avtomobili ter s športnim avtomobilom za hitrosti do 200 km/h.

### SKLOP 1

#### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 25°

višina antene: 4,5 m

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]			
	60	100	100	150
1	22	14	ne vozi	11
2	19	18	5	12
3	ne vozi	ne vozi	ne vozi	ne vozi
4	ne vozi	ne vozi	ne vozi	ne vozi

### SKLOP 2

#### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 25°

višina antene: 4,5 m

prehod vozila: guma po črti (vozilo na voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]				
	60	60	60	100	100
1	23	12	9	10	16
2	7	22	7	10	8
3	27	11	22	18	20
4	5	0	21	18	7

**SKLOP 3**

## VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 25°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: guma po črti (vozilo na voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]
	40
1	11
2	9
3	21
4	14

**SKLOP 4**

## VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 25°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: guma po črti (vozilo na sosednjem voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]
	40
1	0
2	6
3	14
4	0

**SKLOP 5**

## VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 25°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: vozilo pol na enem, pol na drugem voznem pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]
	40
1	0
2	15
3	23
4	0

## SKLOP 6

### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]	
	100	140-150
1	16	12
2	6	14
3	35	29
4	6	6

## SKLOP 7

### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: guma po črti (vozilo na sosednjem voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]	
	20	20
1	0	12
2	0	13
3	54	52
4	0	0

## SKLOP 8

### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,3 m

prehod vozila: vozilo pol na enem, pol na drugem voznem pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]
	20
1	0
2	31
3	42
4	0



#### 4.4.2 Sistem 3M

Testiranje pasivnega RFID-sistema 3M IR 9000 2 je prav tako pokazalo ustreznost takega sistema za identifikacijo vozil v prostem prometnem toku. Rezultati pri avtocestni hitrosti, okoli 120 km/h, so bili zadovoljivi v primerih vožnje direktno pod anteno/čitalnikom ter po sredini voznega pasu. Testirani sistem ima pomanjkljivost, in sicer preozko območje, v katerem identificira oddajnike. Toda ker čitalnik omogoča priključitev štirih dodatnih anten, se ta pomanjkljivost izkaže za odpravljivo.

Za bolj verodostojne informacije bi bila potrebna še nadaljnja testiranja, pri katerih bi bilo treba posebno pozornost nameniti:

- postavitvi (višini) in usmeritvi anten (naklon, usmeritev glede na smer vozil),
- ugotavljanju lastnosti sistema v slabših vremenskih razmerah (megla, dež, sneg ...),
- testiranju z antenami/čitalniki večjih moči (npr. 4 W),
- ugotavljanju odzivnosti sistema pri več vozilih z atermičnimi vetrobranskimi stekli.

V nadaljevanju so podane preglednice rezultatov testiranj na terenu. Čitalnik oz. antena večkrat prebere oddajnik, ko se ta nahaja v njegovem elektromagnetnem polju, lahko pa se tudi zgodi, da čitalnik oddajnika ne zazna. Posamezna številka v preglednici pomeni število uspešnih branj posameznega oddajnika na vozilu ob enem prehodu pod anteno/čitalnikom. Če oddajnika na vozilu čitalnik ni zaznal, je številka 0. V nekaterih sklopih testiranj posamezna vozila niso sodelovala zaradi optimizacije postavitve oddajnika na vozilu. V preglednicah rezultatov je to označeno z »ne vozi«. Pri posameznih sklopih je bilo mogoče ugotoviti samo, da je bila identifikacija oddajnika izvedena, ni pa pisalo točnega števila, tako da je to v preglednicah označeno z »OK«.

Rezultati testiranj so podani po sklopih, znotraj katerih so posamezne hitrosti prehodov vozil pod anteno/čitalnikom razdeljene na štiri vozila. Sklopi testiranj se razlikujejo po polarizaciji antene (horizontalna, vertikalna), po kotu med anteno in vertikalo (30–56°), po višini antene nad voziščem (4,2–4,5 m) ter po tem, kje v odvisnosti od antene so vozila prehajala sistem identifikacije.

Antena/čitalnik je bil vedno pozicioniran na sredini, nad voznim pasom širine 3,9 m. Testirani so bili trije načini prehoda pod anteno/čitalnikom:

- vozilo vozi po sredini voznega pasu,
- vozilo vozi po robu voznega pasu z gumo po črti (vendar je še vedno znotraj pasu),
- vozilo vozi po robu voznega pasu z gumo po črti (vendar je na sosednjem pasu).

Vsa testiranja so potekala ob sončnem vremenu, v juniju 2007, s štirimi različnimi avtomobili.

## SKLOP 1

### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalo: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini, razen vozilo št. 4 na desni

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]							
	60	60	80	90	95	100	110	120
1	7	5	4	1	0	2	2	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	8	6	5	3	3	4	1	0
4	12	11	4	4	8	5	2	2

## SKLOP 2

### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalo: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na desni

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]		
	80	115	120
1	7	2	OK
2	ne vozi	0	ne vozi
3	4	1	1
4	6	3	6

### SKLOP 3

#### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini, razen vozilo št. 4 na desni

prehod vozila: guma po črti (vozilo na voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]				
	80	80	80	90	100
1	0	0	0	0	0
2	ne vozi	ne vozi	ne vozi	ne vozi	ne vozi
3	1	0	0	0	0
4	3	6	3	2	4

### SKLOP 4

#### VERTIKALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 50°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini, razen vozilo št. 4 na desni

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]		
	80	100	120
1	5	2	0
2	ne vozi	ne vozi	ne vozi
3	2	1	0
4	3	1	1

### SKLOP 5

#### HORIZONTALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na desni, razen vozilo št. 2 na sredini

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]			
	60	80	90	100
1	6	0	0	0
2	9	2	1	2
3	1	0	0	0
4	2	2	0	0

**SKLOP 6****HORIZONTALNA POLARIZACIJA**

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]							
	60	80	90	100	110	110	120	120
1	16	3	5	6	5	OK	4	OK
2	4	2	2	2	2	4	0	1
3	8	2	6	2	0	2	2	2
4	10	1	4	3	0	0	4	0

**SKLOP 7****HORIZONTALNA POLARIZACIJA**

kot med anteno in vertikalno: 45°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini

prehod vozila: guma po črti (vozilo na voznem pasu)

vozilo št.	hitrost [km/h]			
	80	80	90	100
1	8	0	0	0
2	3	0	0	0
3	7	0	0	2
4	6	0	0	0

**SKLOP 8****HORIZONTALNA POLARIZACIJA**

kot med anteno in vertikalno: 30°

višina antene: 4,2 m

pozicija nalepke: na sredini

prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]		
	90	100	110
1	OK	4	3
2	1	2	0
3	4	6	0
4	4	1	0



## SKLOP 9

### HORIZONTALNA POLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 56°  
višina antene: 4,2 m  
pozicija nalepke: na sredini  
prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]						
	80	90	100	110	120	130	140
1	10	11	7	9	7	2	OK
2	6	6	4	4	3	1	OK
3	3	3	3	4	5	2	ne vozi
4	5	4	5	3	4	2	ne vozi

## SKLOP 10

### HORIZONTALNAPOLARIZACIJA

kot med anteno in vertikalno: 56°  
višina antene: 4,5 m  
pozicija nalepke: na sredini  
prehod vozila: po sredini pasu

vozilo št.	hitrost [km/h]					
	90	100	110	120	130	160
1	8	6	8	4	4	OK
2	8	4	1	2	2	ne vozi
3	1	2	3	4	2	ne vozi
4	7	4	5	5	1	ne vozi

## 5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je bila preverjena ustreznost pasivnih RFID-oddajnikov za potrebe cestninjenja. Izkazalo se je, da imajo sisteme cestninjenja s pasivnimi RFID-oddajniki v uporabi že ponekod po svetu. Na evropskih cestninskih cestah se sicer sistem RFID s pasivnimi oddajniki ne uporablja, v uporabi so večinoma sistemi RFID z aktivnimi oddajniki. Zakonska podlaga za pasivne RFID-sisteme v Evropi sicer obstaja. Turčija ima, kot najbližja Evropi, v uporabi pasivni RFID-sistem na avtocestah v celotni državi. Sistem je uspešno v uporabi že od leta 2012. Pasivne RFID-sisteme za potrebe cestninjenja imajo tudi drugod po svetu, npr. v Indiji, Dubaju, na Tajvanu, na Filipinih, v ZDA, kjer jih uspešno uporabljajo. Torej je sistem dovolj dobro razvit ter uporaben za potrebe cestninjenja.

Testiranje pasivnega RFID-sistema s strani Prometnotehniškega inštituta, ki deluje v okviru Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, pri njem sem tudi sam sodeloval, je pokazalo ustreznost takega sistema za identifikacijo vozil v prostem prometnem toku. Testirana sta bila dva sistema različnih podjetij. Prvi sistem je zelo dobre rezultate prikazal pri hitrostih med 140 in 170 km/h, medtem ko so bila pri avtocestnih hitrostih do 120 km/h z vožnjo direktno pod anteno identificirana praktično vsa vozila v vseh testih. Slabši rezultati so bili le pri vožnji levo oz. desno od antene in čitalnika. Drugi sistem je prav tako uspešno beležil oddajnike pri vožnji direktno pod čitalnikom. Oba sistema sta pokazala pomanjkljivosti pri preozkem območju, v katerem čitalnik bere oddajnike. To bi se najverjetneje lahko odpravilo s čitalnikom z večjo močjo delovanja. Testirana sistema sta imela moč 2 W e.r.p, medtem ko evropski standard dopušča čitalnike z močjo 4 W e.r.p.

Pasivne oddajnike bi bilo mogoče uporabiti tudi namesto vinjete. Za letne vinjete bi se lahko uporabili pasivni oddajniki tipa 0. Ti imajo na mikročipu vpisano samo identifikacijsko številko, ki je določena v procesu izdelave »*read only*« (samo bralni oddajnik). Taki oddajniki bi se morali vsako leto menjati, ker nimajo možnosti ponovnega pisanja na mikročip.

Za tedenske oz. mesečne vinjete bi se lahko uporabili oddajniki tipa 1. Ti imajo na mikročipu vpisano identifikacijsko številko ter možnost enega zapisa na mikročip WORM (*Write Once, Read Many* oz. piši enkrat, beri večkrat). To bi prišlo najbolj v poštev pri tistih, ki ne potrebujejo letne vinjete, največkrat pri tujcih, ki se samo nekajkrat na leto vozijo po

avtocestah, ali na hitrih cestah. Ob nakupu bi se na mikročip zapisal datum, do kdaj tak oddajnik velja.

Za cestninjenje po prevoženi razdalji pa bi se lahko uporabili pasivni oddajniki z mikročipom tipa 2. Ti imajo možnost večkratnega zapisa na mikročip *read write* (beri, piši). To pomeni, da bi bili lahko čitalniki postavljeni na portalih nad vsakim uvozom oz. izvozom s cestninske ceste. Ko bi uporabnik z vozilom zapeljal na cestninsko cesto, bi ga sistem zaznal, in ko bi se izključil s cestninske ceste, bi ga prav tako zaznal. Torej bi plačal glede na to, koliko kilometrov je prevozil po cestninski cesti.

Pri vseh RFID-sistemih je pomembna tudi varnost osebnih podatkov, saj se vsako prečkanje polja čitalnika z oddajnikom, bodisi pasivnim bodisi aktivnim, zabeleži v računalniškem sistemu. Treba je ustrezno urediti zakonodajo, da ti podatki ne bi prišli v roke nepooblaščenim osebam.

**VIRI**

Ogrinc B. 2006. Rfid v sistemih sledenja proizvodov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 62 str.

Žura, M. 2008. Izvedba testiranja RFID tehnologije sistema IPICO. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 44 str.

Žura, M. 2008. Izvedba testiranja RFID tehnologije sistema 3M. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 44 str.

Impinj. 2016.

<http://www.impinj.com/resources/about-rfid> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Radio-electronics. 2016.

<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/technology-tutorial-basics.php> (Pridobljeno 25. 4. 2016.)

French National RFID Center. 2016.

<http://www.centrenational-rfid.com/introduction-to-the-rfid-article-15-gb-ruid-202.html> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Hitachi. 2006.

<http://www.hitachi.com/New/cnews/060206.html> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Transponder News. 2011.

<http://transpondernews.com/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

RFIDinsider. 2011.

<http://blog.atlasrfidstore.com/rfid-tag-basics> (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

EPC-RFID INFO. 2016.

[http://www.epc-rfid.info/rfid\\_tags](http://www.epc-rfid.info/rfid_tags) (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

HOW STUFF WORKS. 2016.

<http://auto.howstuffworks.com/e-zpass.htm> (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

ITS International. 2013.

<http://www.itsinternational.com/categories/charging-tolling/features/upgrading-turkeys-tolling-system/> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

VENDEKA. 2012.

<http://vendeka.com.tr/en/news/5-hgsprojesibasariylatamamlandi?q=tr%2Fhaberler%2F5-hgsprojesibasariylatamamlandi> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

ITS International. 2012.

<http://www.itsinternational.com/event-news/its-world-congress-2012/news/vendeka-seeks-expansion-after-european-passive-rfid-based-tolling-project/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Indian highway management company limited. 2016.

<http://www.ihmcl.com/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Quora. 2016.

<https://www.quora.com/How-will-electronic-toll-collection-work-in-India> (Pridobljeno 22. 4. 2016.)

Salik. 2016.

<http://www.salik.gov.ae/en/home> India (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Pollution Free Cities. 2014.

<http://pollutionfreecities.blogspot.si/2014/01/dubais-efficient-approach-to-road.html>  
(Pridobljeno 27. 4. 2016.)

FETC. 2016.

<http://www.fetc.net.tw/en/OurOperations/ETCUtilization.html> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Taiwan Area National Freeway Bureau. 2016.

<http://www.freeway.gov.tw/english/Publish.aspx?cnid=1112> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Intertraffic. 2014.

<http://www.itsinternational.com/event-news/intertraffic-2014/news/vendeka-signs-philippines-deal-at-intertraffic/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

RFID journal. 2006.

<http://www.rfidjournal.com/articles/view?2641> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

RFID journal. 2012.

<http://www.rfidjournal.com/articles/view?10038/> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

Wikipedia. 2016.

<https://en.wikipedia.org/wiki/TxTag> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

Wikipedia. 2016.

<https://en.wikipedia.org/wiki/SunPass> (Pridobljeno 27. 4. 2016.)

RFID journal. 2005.

<http://www.rfidjournal.com/articles/view?1338> (Pridobljeno 15. 4. 2016.)

#### Standardi:

EPC Radio-Frequency Identify Protocols Generation-2 UHF RFID, v2.0.1, Bruselj, EPCglobal.

ISO/IEC 18000-6:2013, Information technology – Radio frequency identification for item management – Part 6: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz General, Paris, ISO.

ETSI EN 302 208-2 v2.1.1 (2014-12), Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM), Sophia Antipolis, ETSI.