

# Evaluacija tehnologija za identifikaciju vozila u inteligentnim transportnim sustavima

---

**Krajnović, Branka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:027424>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Branka Krajnović

EVALUACIJA TEHNOLOGIJA ZA IDENTIFIKACIJU  
VOZILA U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM  
SUSTAVIMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 6. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Telematička sučelja**

## **DIPLOMSKI ZADATAK br. 5615**

Pristupnik: **Branka Krajnović (0135231392)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Evaluacija tehnologija za identifikaciju vozila u inteligentnim transportnim sustavima**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno prikazati ulogu identifikacije vozila u Inteligentnim transportnim sustavima. Prikazati postojeće tehnologije za identifikaciju i njihove tehničko-tehnoloških značajke. U cilju definiranja kriterija za evaluaciju identifikacijskih tehnologija potrebno je analizirati tehničko-tehnološke kriterije tehnologija i zahtjeve inteligentnih transportnih sustava. Posebno je potrebno prikazati i diskutirati problematiku privatnosti kod identifikacije vozila. U završnom dijelu rada napraviti argumentiranu evaluaciju tehnologija za identifikaciju po odabranim kriterijima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Niko Jelušić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

EVALUACIJA TEHNOLOGIJA ZA IDENTIFIKACIJU VOZILA U INTELIGENTNIM  
TRANSPORTNIM SUSTAVIMA

EVALUATION OF VEHICLE IDENTIFICATION TECHNOLOGY IN INTELLIGENT  
TRANSPORT SYSTEMS

Mentor: izv. prof. dr. sc. Niko Jelušić

Student: Branka Krajnović

JMBAG: 0135231392

Zagreb, 2020.

## SAŽETAK

### NASLOV: EVALUACIJA TEHNOLOGIJA ZA IDENTIFIKACIJU VOZILA U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM SUSTAVIMA

Inteligentni transportni sustavi razvijaju se kao rješenje za probleme zagušenja, sigurnosti, očuvanja okoliša i druge. Značajan doprinos učinkovitosti ITS sustava pruža identifikacija vozila. U ovom radu prikazana je uloga identifikacije u inteligentnim transportnim sustavima. Opisane su tehnologije koje mogu imati ulogu u identifikaciji vozila poput detektora prometnog toka, RFID (engl. *Radio-Frequency Identification*), NFC (engl. *Near Field Communication*), Bluetooth, Wi-Fi i tehnologija automatskog prepoznavanja registarskih oznaka (engl. *Automatic Number Plate Recognition, ANPR*). Za svaku od navedenih tehnologija prikazane su prednosti i nedostaci, te su odabrani kriteriji za njihovu evaluaciju. Prezentirana je problematika privatnosti i usklađenost sa aktualnom zakonskom regulativom. Prikazani su rezultati evaluacije tehnologija po odabranim kriterijima.

KLJUČNE RIJEČI: identifikacija vozila; RFID; NFC; Bluetooth; Wi-Fi, ANPR

## SUMMARY

**TITLE: EVALUATION OF VEHICLE IDENTIFICATION TECHNOLOGY IN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS**

Intelligent transport systems are developing as a solution for traffic congestions, safety manners, environmental protection, etc. The field of vehicle identification stands out as a part of intelligent transport systems and it is backed by the application of various modern technologies. The role of vehicle identification in intelligent transportation systems is shown in this paper. Technologies such as traffic flow detectors, RFID (Radio-Frequency Identification), NFC (Near Field Communication), Bluetooth, Wi-Fi, and automatic number plate recognition (ANPR) are presented systematically. In this research, all of the advantages and disadvantages of these technologies are presented as the objective criteria for the evaluation is established. The privacy concerns are discussed but the technology can be used responsibly under the current legislation. Results of the evaluation are shown in the end of the paper.

**KEY WORDS:** vehicle identification; RFID; NFC; Bluetooth; Wi-Fi; ANPR

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Uloga identifikacije u inteligentnim transportnim sustavima.....	3
2.1. Uloga identifikacije pri pružanju prioriteta vozilima žurnih službi .....	3
2.2. Uloga identifikacije pri pružanju prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza .....	4
2.3. Uloga identifikacije kod korištenja elektronske naplate cestarina .....	6
2.4. Uloga identifikacije pri korištenju parkirnih površina .....	7
2.5. Represivne mjere.....	8
3. Pregled tehnologija za identifikaciju .....	11
3.1. Detektori prometnog toka.....	11
3.2. Bežične telekomunikacijske tehnologije.....	12
3.2.1. RFID .....	12
3.2.2. NFC.....	15
3.2.3. Bluetooth.....	17
3.2.4. Wi-Fi.....	19
3.3. Računalni vid.....	20
3.3.1. Prepoznavanje znakova.....	21
3.3.2. Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka.....	22
3.3.3. Primjer korištenja automatskog prepoznavanja registarskih oznaka u Hrvatskoj ..	24
4. Problematika privatnosti u identifikaciji za prometne primjene.....	26
5. Evaluacija identifikacijskih tehnologija po kriterijima.....	29
5.1. Tehničko-tehnološki kriteriji za evaluaciju.....	29
5.2. ANPR tehnologija .....	30
5.3. RFID tehnologija.....	33
5.4. NFC tehnologija .....	37
5.5. Wi-Fi tehnologija .....	39
5.6. Bluetooth tehnologija .....	41
6. Usporedba tehnologija za identifikaciju vozila.....	44
6.1. Ekonomski kriteriji.....	44

6.2. Točnost prikupljenih podataka .....	45
6.3. Brzina prijenosa podataka .....	46
6.4. Domet .....	46
6.5. Napajanje.....	48
6.6. Usporedba tehnologija prema kriterijima za evaluaciju.....	49
7. Zaključak.....	51
Literatura.....	53



# 1. Uvod

Suvremeni problemi zahtijevaju suvremena rješenja. Iz tog razloga razvijaju se inteligentni transportni sustavi (u daljnjem tekstu ITS) kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnih sustava (1). ITS kao napredno rješenje prometnih problema koristi postojeću infrastrukturu s ciljevima unapređenja koji su:

1. smanjenje zagušenja u prometu
2. smanjenje štetnog utjecaja na okoliš
3. poboljšani pristup informacijama o putovanju
4. generiranje ušteda za vladine agencije, agencije za naplatu cestarine i za same prijevoznike. (2)

Međunarodna organizacija za normizaciju (engl. *International Organization for Standardization, ISO*) definirala je 11 domena ITS-a:

1. informiranje putnika
2. upravljanje prometom i operacijama
3. vozila
4. prijevoz tereta
5. javni prijevoz
6. hitne službe
7. elektronička plaćanja vezana uz transport
8. sigurnost osoba u cestovnom prijevozu
9. nadzor vremenskih uvjeta i okoliša
10. upravljanje odzivom na velike nesreće
11. nacionalna sigurnost. (1)

Trenutno su u okvirima ITS-a aktualne tematike inteligentna vozila i prometnice, automatsko javljanje i lociranje vozila u nesreći (*eCall*), dinamički navigacijski sustavi, kartice za bežičnu naplatu cestarine i drugi.

Poseban značaj ima i identifikacija vozila. Identifikacija predstavlja sakupljanje podataka i informacija o vozilu korištenjem raznih tehnologija. Prikupljeni podaci mogu pomoći pri davanju prioriteta javnom gradskom prijevozu ili žurnim službama, pri elektronskoj naplati cestarine, naplati zagušenja, saniranju prometnih prekršaja i drugima.

Cilj ovoga rada je prikazati tehnologije koje se koriste pri identifikaciji vozila. Nakon obrade svake od tehnologija, postavit će se kriteriji bitni za evaluaciju te će se prema njima analizirati svaka od tehnologija. Također, u obzir treba uzeti i problematiku privatnosti odnosno usklađenost tehnologije s Općom uredbom o zaštiti podataka (engl. *General Data Protection Regulation, GDPR*) koja također zahvaća i sudionike u prometu.

Ovaj rad podijeljen je u sedam poglavlja. U uvodnom poglavlju objašnjena je primjena inteligentnih transportnih sustava i dana je struktura rada. U drugom poglavlju opisana je uloga identifikacije vozila u inteligentnim transportnim sustavima kroz različite primjere. Zatim su opširnije prikazane tehnologije koje se mogu koristiti za identifikaciju vozila uz primjer korištenja u Republici Hrvatskoj, a u četvrtom poglavlju prikazana je problematika privatnosti u identifikaciji vozila koja se odnosi na Sjedinjene Američke Države i Europsku Uniju. U petom poglavlju prikazani su tehničko-tehnološki kriteriji za evaluaciju. U idućem poglavlju prikazana je usporedba tehnologija po unaprijed postavljenim kriterijima, kao i evaluacija po kriterijima koja se odnosi na odabrane uređaje. U ovome poglavlju nalazi se i osobno razmišljanje o optimalnoj tehnologiji za identifikaciju vozila u inteligentnim transportnim sustavima. Završno poglavlje predstavlja zaključno razmišljanje o prethodnim poglavljima.

## 2. Uloga identifikacije u inteligentnim transportnim sustavima

Identifikacija vozila može znatno doprinijeti učinkovitosti raznih aplikacija inteligentnih transportnih sustava. Suvremenim tehnologijama prikupljaju se podaci i informacije koji pomažu u poboljšanju prometnog sustava u cjelini. Neka od područja u kojima se identifikacija istaknula je pružanje prioriteta vozilima žurnih službi, vozilima javnog gradskog prijevoza, pri korištenju elektronske naplate cestarine, pri naplati zagušenja, te za praćenje prometnog toka i sankcioniranje prometnih prekršaja. Vozila je moguće identificirati raznim tehnologijama i one će biti objašnjene u nastavku rada.

### 2.1. Uloga identifikacije pri pružanju prioriteta vozilima žurnih službi

Uloga identifikacije prilikom pružanja prioriteta vozilima žurnih službi (vatrogasna vozila, vozila hitne pomoći) očituje se u pružanju prvenstva prolaza takvim vozilima na semaforiziranom raskrižju. Iznenadnim uključivanjem vozila žurnih službi u promet zbog intervencije može se dogoditi da se ta vozila nađu u gužvi što im može uvelike otežati prolazak. Od velike je važnosti da vozila žurnih službi što prije dođu do odredišta pa se iz tog razloga mogu postavljati senzori koji omogućavaju identifikaciju i prilaženje vozila žurnih službi te im se tako može omogućiti nesmetan prolazak kroz zeleno svjetlo (dok bi se za to vrijeme konfliktom smjeru onemogućavao prolazak). Također, sama vozila mogu biti opremljena RFID (engl. *Radio Frequency Identification*) tehnologijom kako bi se međusobnom komunikacijom (engl. *Vehicle to Vehicle, V2V*; engl. *Vehicle to Infrastructure, V2I*) ubrzao protok informacija o nadolazećem vozilu žurne službe. (3)

U gradu Torontu (Kanada) implementiran je sustav koji pritiskom gumba omogućava vatrogasnim vozilima da za vrijeme intervencije prilagođavaju signalni plan kako bi što brže i sigurnije sva vozila žurnih službi mogla doći do mjesta nesreće. Nakon što intervencija završi, signalni plan se vraća na prijašnje stanje. (4)



Slika 1. Upotreba RFID tehnologije za pomoć žurnim službama

Izvor: (4)

## 2.2. Uloga identifikacije pri pružanju prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza

Razvijeni gradovi često imaju problem sa zagušenjem na prometnicama. Zagušenje, pogotovo u vrijeme vršnih sati u prometu, može izazvati zastoje i među vozilima javnog gradskog prijevoza, ako grad nema razvijen sustav podzemne željeznice.

S ciljem poboljšanja prometnih sustava, razvijaju se sustavi za adaptivno upravljanje prometom (engl. *Adaptive Traffic Control System, ATCS*). Najpoznatiji komercijalni sustavi su:

1. SCOOT (engl. *Split Cycle and Offset Optimisation Technique*)
2. SCATS (engl. *Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*)
3. UTOPIA (engl. *Urban Traffic Optimisation by Integrated Automation*)
4. RHODES (engl. *Real-time Hierarchical Optimized Distributed Effective System*). (5)

Grad Zagreb, na primjer, temelji svoj javni gradski prijevoz na mreži autobusnih i tramvajskih linija. Zbog stvaranja svakodnevnih gužvi i van vršnog sata, stvorila se potreba za unapređenjem infrastrukture koja bi rezultirala efikasnijim prometovanjem, sa što manje kašnjenja. S ciljem poboljšanja prometovanja javnog gradskog prijevoza uvode se posebne prometne trake rezervirane isključivo za prometovanje vozila javnog gradskog prijevoza, taksi vozila ili vozila žurnih službi. Takozvanim žutim trakama, označeno je 18 kilometara tramvajskih linija i 5 kilometara autobusnih linija. (6)



Slika 2. Traka za vozila JGP-a, žurne službe i taksi vozila, (6)

Naprednije rješavanje problema javnog gradskog prijevoza primjenjeno je u Münchenu (Njemačka). Projekt pod nazivom BALANCE (engl. *Balancing Adaptive Network Control Method*) temelji se na mijenjaju signalnih planova ovisno o potrebama davanja prioriteta javnom gradskom prijevozu. Autobusi u projektu bili su opremljeni transponderima te je tako omogućena njihova identifikacija. U centralnom računalu nalazili su se podaci o voznom redu pojedinog autobusa. Nakon identifikacije vozila javnog gradskog prijevoza u kašnjenju, omogućavalo se otvaranje zelenih svjetala na semaforiziranim raskrižjima kako bi se kašnjenje smanjilo i kako bi vozilo stiglo na vrijeme do odredišta. Ako vozilo javnog gradskog prijevoza nije kasnilo, signal se ne bi slao prema signalnim uređajima i promet bi se nastavio odvijati po planu. Rezultati su pokazali da se ukupno vrijeme kašnjenja smanjilo za 14 %. (7)

Druga metoda dodjeljivanja prioriteta vozilima javnog gradskog prijevoza predstavljena je u Stockholmu, Švedska, početkom 1990.-ih godina. Projekt pod nazivom PRIBUSS (engl. *Prioritizing of Busses in Coordinated Signal systems*) trenutno predstavlja uobičajeni postupak dodjele prioriteta javnom prijevozu u Švedskoj. Može se opisati kao skup alata koji pomažu prometnom inženjeru prilikom projektiranja prometne signalizacije. Ne postoji metoda dodjeljivanja prioriteta između autobusa za javni gradski prijevoz, već se prioritet dodjeljuje autobusu koji prvi zatraži prioritet prolaska na prometnici. Autobusi koji su 2 minute ispred voznog reda (koji ne kasne) nemaju pravo zatražiti dodjelu prioriteta. Dodjela

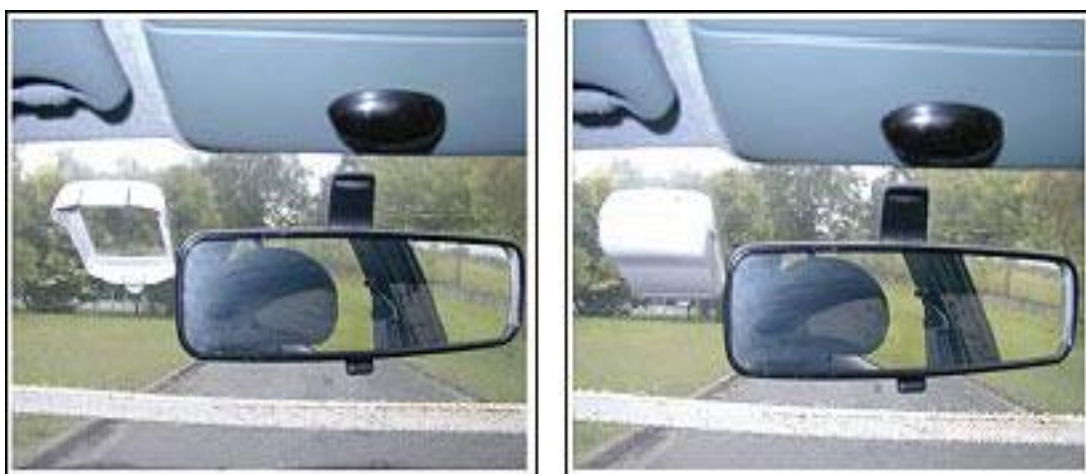
prioriteta može se, na primjer, vršiti produživanjem faze prolaska na semaforu ili ponovnim otvaranjem te faze ukoliko se konfliktnim smjerovima već nije upalilo zeleno svjetlo na semaforu. Istraživanja su pokazala kako se vrijeme putovanja autobusom smanjilo za 11%. (8)

### 2.3. Uloga identifikacije kod korištenja elektronske naplate cestarina

Elektronička naplata cestarine, ili kraće ENC, vrsta je beskontaktna naplata cestarine (bez sudjelovanja blagajnika) koja se koristi u Republici Hrvatskoj. Namijenjena je svim vrstama vozila, a proces naplate odvija se preko ENC uređaja smještenog u vozilu (najčešće vjetrobransko staklo vozila) i antene na naplatnoj stazi. Omogućuje lakši prolazak na naplatnim kućicama zato što su prometne trake za sustave ENC-a odvojene od onih za fizičko plaćanje cestarine te se u njima nije potrebno zaustavljati već samo usporiti kako bi senzor mogao identificirati ENC uređaj u vozilu. ENC se uglavnom koristi pri naplati cestarina na autocestama. Prilikom kupovine ENC paketa korisnik ostvaruje popust od 21,74% u odnosu na klasično plaćanje cestarine. (9,10)

Prednosti korištenja ENC sustava:

1. povećanje kapaciteta prometnice
2. ušteda goriva
3. manje emisije štetnih ispušnih plinova
4. ušteda vremena. (11)



Slika 3. Prikaz ENC uređaja u vozilu; (72)

ENC funkcionira preko RFID tehnologije u kojoj ENC uređaj predstavlja transponder, odnosno nositelj informacija koje se šalju do antene na naplatnoj stazi.

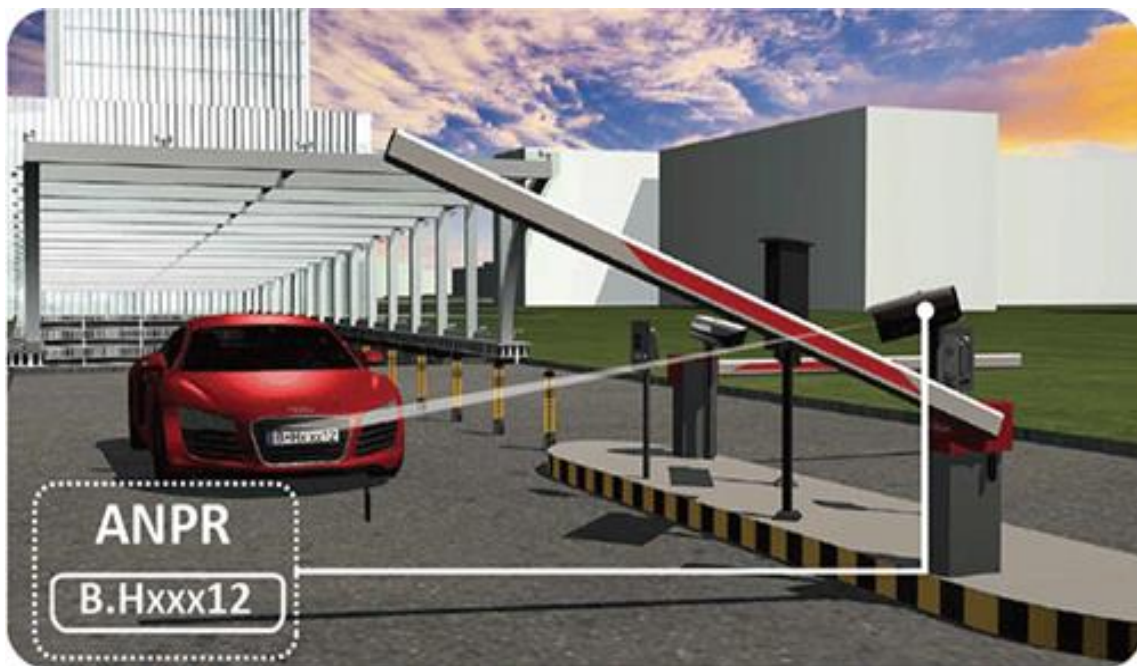
Beskontaktna naplata cestarine, koja radi na isti način kao i ENC, u Italiji je omogućena sustavom pod nazivom Telepass. (12)

U Austriji je implementiran sustav GO-Maut tvrtke ASFiNAG (ger. *Die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft*) namijenjen za sva teretna vozila koja uz uređaj u vozilu dopušta beskontaktnu naplatu cestarine. Cijena cestarine obračunava se po prijeđenim kilometrima. Bitno je naglasiti da sva teretna vozila koja prelaze preko austrijskih autocesta moraju posjedovati ovaj uređaj, neovisno iz koje države dolaze. (13)

## 2.4. Uloga identifikacije pri korištenju parkirnih površina

Prilikom implementacije ITS-a na parkirne površine značajna je tehnologija automatskog prepoznavanja registarskih oznaka.

Ovom tehnologijom, koja je u poglavlju 3.3.2. opisana detaljnije, omogućuje se prikupljanje podataka koji se kasnije mogu koristiti za različite primjene pa tako i za bolje upravljanje prometom na parkirnim površinama.



Slika 4. Skeniranje registarske oznake prilikom izlaska s parkinga, (67)

U Londonu se, na primjer, koriste sustavi automatskog prepoznavanja registarskih oznaka za kontrolu vremena provedenog na parkingu. Ako je parkiranje besplatno 2 sata, a vozilo ostane parkirano duži vremenski period, prilikom izlaska iz garaže registarska oznaka se očitava te se vozaču šalje kazna na kućnu adresu ukoliko prije toga nije podmirio ostatak. Također, koriste ga i u slučaju da postoji privatni parking (npr. radnici, studenti, itd.) na koji može doći neovlašteno vozilo te se vlasniku istoga automatski šalje novčana kazna. (14)

Na našim prostorima primjer korištenja ITS-a u identifikaciji na parkirnim površinama možemo pronaći u Nacionalnom Parku Plitvička jezera. Ulaganjem u parkirne sustave, 2016. godine uveden je sustav za naplatu parkiranja SKIDATA koji omogućuje neposrednu naplatu gotovinom i karticama, a za bolju sigurnost uveden je i sustav automatskog prepoznavanja registarskih oznaka. Identificiranjem vrste vozila odmah se prikazuje tarifni plan za takvu vrstu vozila (npr. osobno vozilo, kamion, autobus) i smanjuje se vrijeme čekanja. Također, unutar parkirne površine instalirani su i RFID čitači koji osoblju i djelatnicima omogućuju nesmetan pristup i nadzor. Rješenje je osmišljeno od tvrtke ECCOS inženjering d.o.o. (15).

Još jedan primjer korištenja ovih sustava može se naći i parkirnim garažama u Zagrebu, poput garaže u trgovačkom centru „Avenue Mall“ i u javnim garažama „Langov trg“, „Rebro“ i „Petrinjska“. Prilikom ulaska u parkirnu garažu, sustav očitava registarsku oznaku i sprema ju u bazu podataka za kasnije korištenje. Garaža u centru „Avenue Mall“ ima besplatno korištenje prva 3 sata i ako vozilo napušta istu u tom vremenskom periodu nije potrebno verificirati karticu dodijeljenu na parkirnom aparatu već će se izlazna rampa sama podići nakon očitavanja registarske oznake na izlazu uspoređivanjem vremena ulaska i vremena izlaska iz garaže. Podaci o registarskoj oznaci i vozilu ostaju samo privremeno u bazi podataka te se pri napuštanju garaže oni miču iz iste. (16)

## 2.5. Represivne mjere

Tehnologije za identifikaciju vozila mogu također poslužiti pri sankcioniranju prometnih prekršaja. Uvođenjem kamera za detekciju brzine, cjelodnevno se nadzire odvijanje prometnog toka te se prepoznaju vozači koji čine prekršaje.

U Republici Hrvatskoj je u 2019. godini objavljeno kako će se instalirati 122 nova kućišta za kamere, a 59 novih kamera će se po potrebi premještati na različita mjesta. One će biti raspoređene na 17 policijskih uprava, osim PU Zagrebačke, Primorsko-goranske i



Karlovačke, gdje su kamere postavljene već prije. Radi se o kamerama švedsko-nizozemske korporacije „Sensys Gatso“. Kamere mogu pokriti 6 prometnih traka i detektirati 32 vozila istodobno. Snima 4 slike u sekundi pri rezoluciji od 20 megapiksela i automatski prepoznaje registarske oznake. (17)

Italija i Slovenija uveli su Tutor sustav nadziranja prometa koji je omogućavao kontrolu brzine naprednom kamerom visoke rezolucije, prepoznavanje registarskih oznaka pri brzinama do 260 km/h i neprekidni nadzor 24 sata tijekom cijele godine. Nakon spora oko vlasništva sustava, u Italiji se gasi čitav Tutor sustav te ga mijenja SICVe PM sustav koji trenutno pokriva samo 46 dionica autoceste u Italiji. (18)

U Finskoj je od 2010. godine implementirana 3D kamera koja provjerava brzinu vožnje, vezanje putnika, valjanost registarske oznake i udaljenost između dva vozila za provjeru dovoljnog razmaka. Nakon implementacije sustava i kamera, dokazano je da se postotak vozača koji voze preko ograničenja brzine smanjio za 50%. (19)

Uz sve mogućnosti kamere i napredne sustave koji se unaprjeđuju svakodnevno, i dalje može doći do problema pri detekciji. Na Slici 4. je nedavni slučaj koji prikazuje vozača u Jinanu (Kina) koji je prelaskom ruke po licu bio detektiran kao osoba koja razgovara na mobilni telefon te mu je na kućnu adresu dostavljena kazna. (20)



Slika 5. Greška u identifikaciji vozača, (20)

Naplata zagušenja podrazumijeva model kojemu je cilj smanjiti prometno opterećenje i usmjeriti vozače na alternativne rute. Visina naknade izračunava se ovisno o potražnji; veća potražnja – veća naknada. (21) Naplata se može primjenjivati na nekoliko načina:

- na fiksnim mjestima naplate
- na temelju dozvole za prolazak kroz određeno područje (npr. vinjete)
- prema području naplate gdje se razlikuju zonska, kordonska i višekordonska naplata
- naplata temeljena na vremenu ili udaljenosti.

Za naplatu zagušenja također se najčešće koristi ANPR tehnologija. (22)

## 3. Pregled tehnologija za identifikaciju

### 3.1. Detektori prometnog toka

Detektori ili senzori prometnog toka su elektronički uređaji koji daju podatke o prometnom toku. Ovisno o njihovoj izvedbi, detektori mogu sadržavati jedan ili više senzorskih elemenata. Postoje dvije osnovne vrste detektora s obzirom na način njihovog postavljanja, a to su intruzivni i neintruzivni detektori prometnog toka. Intruzivni detektori prometnog toka ugrađuju se u prometnu površinu ili u izbušene rupe, dok se neintruzivni detektori postavljaju na stupove pored ili iznad prometnice. Detektori mogu biti postavljeni na površinu prometnice, no tada se radi o detektoru koji služi za privremeno prikupljanje informacija.

U intruzivne detektore prometnog toka spadaju:

1. magnetski detektori
2. induktivna petlja
3. piezoelektrički detektori
4. pneumatske cijevi.

U neintruzivne detektore prometnog toka spadaju:

1. video kamere
2. aktivni i pasivni infracrveni detektori
3. radarski detektori
4. ultrazvučni detektori
5. pasivni zvučni detektori. (23)

Intruzivni detektori zbog načina implementacije predstavljaju skupo rješenje, dok neintruzivni, zbog postavljanja iznad prometnice ili na infrastrukturu u blizini, zahtijevaju konstantno održavanje kako se nebi uništili jer nemaju dobru otpornost na vremenske uvjete.

Većina detektora može prikupljati informacije o prisutnosti vozila, volumenu, zauzeću i brzini vozila. Neki detektori, u posebnim izvedbama, mogu pružati informacije o duljini repa čekanja i klasi vozila. Detektori prometnog toka uglavnom su namijenjeni za detekciju vozila. Nadogradnjom se, kod nekih vrsta, može omogućiti i identifikacija, no ona značajno podiže cijenu uređaja. Na primjer, postavljanje dodatnog odašiljača na vozilo koji emitira

karakteristični signal izmijenit će signalni odziv induktivne petlje i na taj način se može identificirati vozilo. koje prolazi iznad induktivne petlje.

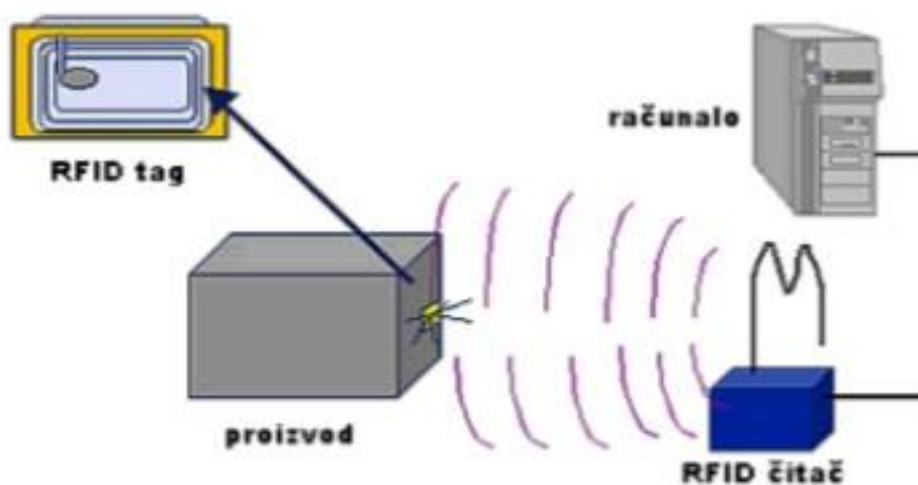
### 3.2. Bežične telekomunikacijske tehnologije

Mnoge moderne telekomunikacijske tehnologije pronašle su primjenu u prometu. U nastavku slijedi pregled najučestalijih bežičnih tehnologija koje pronalaze primjenu i u identifikaciji vozila.

#### 3.2.1. RFID

RFID je tehnologija koja predstavlja bežični senzor baziran na detekciji elektromagnetskih signala. Tehnologija je pronašla primjenu u raznim područjima poput prometa (elektronička naplata cestarine), logistike (primjena u skladištima), praćenje poštanskih pošiljaka ili prtljage, praćenje životinja, vojne operacije i dr. (24)

RFID sustav sastoji se od RFID čitača (engl. *reader*), RFID oznake (engl. *tag*, *transponder*) i računala za prikupljanje i obradu podataka (engl. *host*). Komunikacija između transpondera (*taga*) i čitača obavlja se radiovalovima male snage što i domet čini vrlo malim. Ako se transponder nađe u dometu čitača, informacije i identifikacijski podaci prenose se u sam čitač. (25)



Slika 6. RFID sustav, (27)

RFID uređaji dijele se na aktivne i pasivne. Uređaji s napajanjem koji prenose informacije do čitača (aktivni) poznatiji su kao transponderi, dok su oni bez napajanja (pasivni) poznatiji kao *tagovi*. U posljednje vrijeme ih se češće opisuje kao aktivne i pasivne *tagove*.

Aktivni *tagovi* imaju vlastiti izvor napajanja (bateriju) te zbog toga imaju ograničen vijek trajanja. Ovisno o učestalosti korištenja, predviđeni vijek trajanja je oko 10 godina. Koriste se za prijenos informacija na veće udaljenosti, ali se s obzirom na to da su skuplji koriste rjeđe.

Pasivni *tagovi* nemaju vlastiti izvor napajanja, oni crpe energiju iz emitiranja radiovalova RFID čitača. Zbog izvedbe bez baterije, ovakvi *tagovi* mnogo su manjih dimenzija. Iako je cijena ovakvog uređaja mnogo manja, nedostatak pasivnog *taga* je ograničen prostor za pohranu podataka i ograničenost dometa na nekoliko metara. Imaju neograničen vijek trajanja.

Također, postoje i djelomično aktivni *tagovi* koji sadrže napajanja kao i aktivni, ali za odašiljanje informacija antenom crpe energiju iz čitača. (24)

Ovisno o mogućnostima zapisivanja podataka, možemo ih podijeliti na *read only*, *read/write* i *read/write (disposable) tagove*. Najjednostavniji oblik predstavlja *read only tag* (samo čitanje) i može se koristiti kao zamjena za barkod tehnologiju. Prednost odabira RFID tehnologije naspram barkod tehnologije pronalazi se u točnosti čitanja pri lošim vremenskim uvjetima.

Frekvencije koje RFID sustav koristi mogu se podijeliti na:

1. niske frekvencije (najčešće 125 kHz)
2. visoke frekvencije (HF; 13.56 MHz)
3. ultra visoke frekvencije (UHF; 860-960 MHz)
4. mikrovalne frekvencije (2.45 GHz).

Korištenje određene frekvencije, uz vrstu i jačinu napajanja, određuje domet koji je moguće ostvariti. Uobičajeni domet koji se ostvaruje uz korištenje niske frekvencije iznosi 30 centimetara, domet koji se može ostvariti uz korištenje visoke i mikrovalne frekvencije iznosi 1 metar, dok se uz ultra visoku frekvenciju može ostvariti domet od 6 metara. (26)

U prometu i transportu RFID tehnologija svoju upotrebu pronalazi pri elektroničkoj naplati cestarine (ENC), pri praćenju robe u transportu, pri ulasku i izlasku robe iz skladišta, u naplati javnog gradskog prijevoza, naplati zagušenja i drugima.

Kao što je već navedeno, RFID tehnologija može se primjenjivati prilikom pružanja prioriteta vozilima žurnih službi i kod korištenja elektronske naplate cestarine. Moguća je implementacija u skladišta trgovina kako bi se RFID čitačima omogućilo potpuno praćenje ulaska i izlaska robe iz skladišta. U medicinske svrhe koristi za lakši pristup informacijama o pacijentima koristeći RFID narukvice koje pohranjuju sve podatke o povijesti bolesti. Također, postoje bio čipovi koji rade na principu ove tehnologije, i oni se ugrađuju živim bićima ispod kože. Postojeći bio čipovi veličine su zrna riže i ne omogućuju pohranu velikih podataka. (27)

Vodeća organizacija za standardizaciju RFID tehnologije je EPCglobal. Prema njihovim standardima, RFID uređaji definirani su na 6 klasa. Podjela je prikazana u Tablici ispod:

Tablica 1. Podjela RFID uređaja na klase

<b>EPC klasa</b>	<b>Definicija</b>	<b>Programiranje</b>
Klasa 0	samo čitanje ( <i>read only</i> ), UHF	programira ih proizvođač
Klasa 1	jednostruko programiranje, pasivni transponderi, HF ili UHF	programira ih korisnik
Klasa 2	jednostruko programiranje, pasivni transponderi	programabilni
Klasa 3	pasivni, aktivni i djelomično aktivni transponderi	
Klasa 4	aktivni transponderi, mogu komunicirati s drugim transponderima i čitačima	
Klasa 5	čitači – mogućnosti klase 4 uz dodane funkcionalnosti: napajanje drugih transpondera i komunikacija s drugim uređajima	

Izvor: (26)

### 3.2.2. NFC

Druga bežična tehnologija za identifikaciju je NFC (engl. *Near Field Communication*), kao kratko dosežna tehnologija nastala iz RFID-a. Ova tehnologija dozvoljava komunikaciju između dva uređaja koja omogućavaju korištenje NFC standardom. Osim prislanjanja jednog uređaja na drugi, komunikacija se može odvijati pri dometu koji najčešće iznosi 4 centimetra, a u najboljem slučaju može postići 10 centimetara. Komunikacija se odvija pri frekvenciji od 13.56 MHz i može prenositi datoteke maksimalnom brzinom od 848 kbit/s, iako je uobičajena brzina prijenosa podataka 424 kbit/s. (28)

Princip rada zasniva se na magnetskoj indukciji koja se stvara između dvije antene uređaja koje stvaraju inducirano polje kroz koje se mogu slati podaci. Postoje dva tipa čipa kod NFC-a, a to su prijamnik i predajnik. Predajnik predstavlja aktivni tip i zahtijeva napajanje, dok je prijamnik pasivni i ne zahtijeva napajanje te zbog toga može biti izveden kao naljepnica ili tanki sloj plastike pa može lako biti ugrađen u različite uređaje. (29)

Postoje 3 vrste uređaja koji mogu sudjelovati u prijenosu podataka putem NFC tehnologije, a oni su:

1. NFC čitač – koristi se kao inicijator u NFC komunikaciji
2. NFC mobilni telefon – aktivan ili pasivan uređaj, ovisno o potrebama aplikacije koju koristi
3. NFC *tag* – pasivan uređaj koji može komunicirati s aktivnim uređajem.

Ovisno o potrebnom načinu rada, razvijena su 3 načina funkcioniranja:

1. *peer-to-peer* – predstavlja način komunikacije između dva aktivna NFC mobilna telefona gdje uređaji imaju mogućnost međusobne razmjene podataka; jedan uređaj inicira transakciju dok drugi odgovara na zahtjev
2. *read/write* – NFC mobilni telefon inicira komunikaciju s NFC *tagom*; inicijator može pročitati podatke s *taga* ili ih upisati
3. NFC Card emulacija – oba uređaja su aktivna i kada se mobilni telefon približi NFC čitaču, on reagira kao pasivni uređaj i odgovara na njegov zahtjev (30)

Danas skoro svaki *smartphone* ima mogućnost korištenja NFC-a. Primjenjuje se u prijenosu podataka, prijenosu glazbe ili kao zamjena za kreditnu karticu prilikom plaćanja na različitim POS uređajima preko servisa Google Pay, Apple Pay, Garmin Pay i drugih. Prilikom plaćanja predstavljaju sigurno rješenje zbog kratkog dometa (u prosjeku 4 cm) pa je transakciju

moгуće provesti samo iz sigurne blizine, a prilikom plaćanja većih iznosa transakciju je potrebno i verificirati osobnim identifikacijskim kodom (engl. *Personal Identification Number, PIN*).

Osim navedenih upotreba ove tehnologije, ona se primjenjuje i u poljima vezanim uz tehnologiju prometa.

Kao jedan od primjera opisan je sustav navođenja u parkirnoj garaži. Čitava garaža opremljena je RFID antenama, dok je na ulazu postavljen RFID *tag*. Pri ulasku u parkirnu garažu vozač prislanja svoj mobilni uređaj opremljen NFC standardom te mu se prikazuje slobodno mjesto u garaži. Radi još značajnije uštede vremena prilikom traženja mjesta, garaža je opremljena i sustavom s antenama za unutarnje pozicioniranje (engl. *Indoor Positioning System, IPS*) koje prikazuju vozaču rutu koju treba slijediti kako bi što prije došao do slobodnog mjesta. (31)

Drugi primjeri prikazuju korištenje NFC-a kroz pametne aplikacije koje dozvoljavaju putnicima javnog gradskog prijevoza (u izvoru specifično autobusa) da vide posljednju lokaciju autobusa i vrijeme dolaska na njihovo stajalište (32), te korištenje NFC-a prilikom kupovine digitalnih karata za javni gradski prijevoz (u izvoru specifično željeznički prijevoz) koje se zatim prikazuju na ekranu mobilnog telefona (33).

Kao uloga pri identifikaciji vozila i samih vozača, NFC može poslužiti prilikom korištenja digitalne vozačke dozvole. Dodavanjem NFC čipa u vozačku dozvolu omogućuje se skeniranje iste u pametni mobilni telefon opremljen NFC standardom. Tako prilikom zaustavljanja vozača, policija može pristupiti svim podacima o vozaču, njegovim bivšim prekršajima i podacima o vozilu. Ako vozač dobije kaznu za nepropisnu vožnju, kazna se može automatski naplatiti ponovnim NFC skeniranjem. Uz smanjenje papirologije i vremena obrade zahtjeva, ovim putem se također može smanjiti i korupcija u kojoj nekada, nažalost, sudjeluju i policajci jer direktnom digitalnom naplatom sve ostaje transparentno. (34) Postoje države koje su već uvele digitalne vozačke dozvole, poput Finske, Danske, Norveške, Francuske i Novog Južnog Walesa u Australiji.

Prednost naspram Bluetooth tehnologije je što NFC ne zahtijeva uparivanje uređaja što čini rad s NFC uređajima puno bržim.



### 3.2.3. Bluetooth

Bluetooth je tehnologija temeljena na IEEE 802.11 standardu bežične komunikacije. Uređaji opremljeni ovom tehnologijom koriste MAC (engl. *Media Access Control*) adresu koja predstavlja jedinstveni identifikacijski ključ koji se nalazi u skoro svim mrežnim uređajima. Podaci prikupljeni preko te adrese mogu se koristiti u identifikaciji. (35)

Bluetooth je bežična tehnologija za prijenos podataka na malim udaljenostima koja radi u području mikrovalnih frekvencija od 2.4 GHz koristeći 79 kanala pojasne širine 1 MHz. Trenutna verzija Bluetooth standarda (4.0) omogućuje povezivanje 2 uređaja u manje od 5 ms i veliku brzinu prijenosa podataka. Robusnost Bluetooth komunikacije postiže se učestalim mijenjanjem kanala (engl. *frequency hopping*), do čak 1600 puta u sekundi. Ova tehnologija prvenstveno je zamišljena za bežičnu komunikaciju između dva uređaja kako bi se izbjeglo nepotrebno korištenje kabela. Bluetooth uređaji podijeljeni su u tri klase prema korištenju energije i dometu: kratko dosežna postiže domet do 1 m (*class 3*), srednje dosežna do 10 m (*class 2*), a dugo dosežna do 100 m (*class 1*). Tehnologija se danas koristi za bežičnu identifikaciju, komunikaciju između kućanskih uređaja, prijenos ograničene količine podataka i slično. Jedna od upotreba Bluetooth-a očituje se i u prijenosu podataka u prometu. Neki modeli u verzijama 2.0 i 3.0 mogu imati poboljšanu brzinu prijenosu podataka (engl. *Enhanced Data Rate, EDR*).

Tablica 2. Brzine prijenosa podataka za različite verzije Bluetooth-a

<b>Verzija</b>	<b>Brzina prijenosa</b>
1.2	1 Mbit/s
2.0 + EDR	3 Mbit/s
3.0 + EDR	24 Mbit/s
4.0	24 Mbit/s

Izvor: (35)

Svaki Bluetooth uređaj ima svoju jedinstvenu heksadekadsku dvanaesteroznamenkastu MAC adresu. Kada se uređaj upari s drugim Bluetooth uređajem, šalje svoju MAC adresu. Taj proces počinje procesom upita i opisan je na sljedeći način:

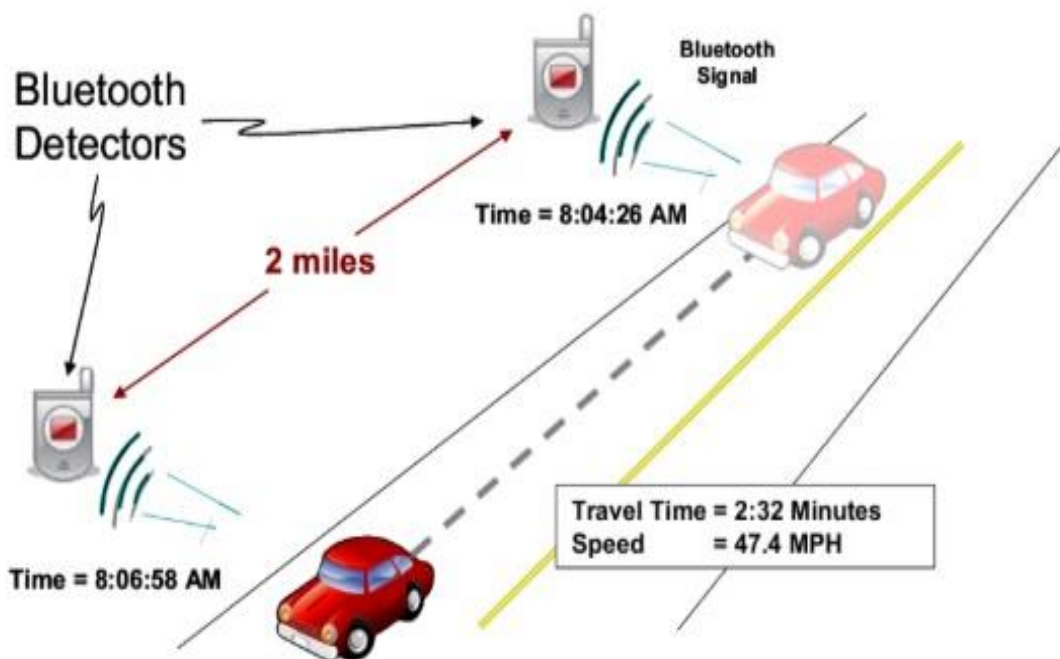
1. Kad je Bluetooth uređaj A spreman za povezivanje s drugim Bluetooth uređajima u obliku pico mreže prebacuje se u stanje skeniranja upita, koje se periodično ponavlja za 1.28 s (zadano).
2. Tijekom nasumice odabranog vremenskog intervala od 11.25 ms (prozor za ispitivanje upita) svakih 1.28 s, uređaj A može primiti upit drugog Bluetooth uređaja. U ostatku vremena A ostaje u stanju mirovanja i ne može primiti upitne pakete od uređaja B.
3. Kada je uređaj A primio upitni paket, šalje odgovor na upitni paket koji uključuje MAC adresu i informacije o periodičnosti komunikacije (engl. *clock frequency*) natrag uređaju B i proces povezivanja se može nastaviti.

Bluetooth tehnologija ima vrlo široku primjenu. Najčešće se primjenjuje prilikom korištenja mobilnih uređaja. Osim uparivanja dva mobilna uređaja, preko Bluetooth tehnologije moguće je upariti i mobilni uređaj s drugim uređajima, poput Bluetooth slušalica ili pametnih satova (engl. *Smart Watch*) koji koriste Bluetooth tehnologiju. Popularna je i prilikom korištenja računalne periferije, poput bežičnog miša i/ili tipkovnice. (36)

U prometu se Bluetooth tehnologija može koristiti za praćenje prometnog zagušenja, procjenu vremena putovanja i upravljanje inteligentnim prometnim sustavom.

Budući da je vremenska oznaka jedna od osnovnih informacija koje Bluetooth šalje, uzevši nju može se lako izračunati vrijeme putovanja od prvog postavljenog Bluetooth detektora do posljednjeg računajući razliku. Bluetooth ne zahtijeva autorizaciju pri uparivanju s nekim vozilom zato što prikuplja samo njegovu MAC adresu i vremensku oznaku. (37)

Na slici 7. prikazano je korištenje Bluetooth tehnologije prilikom izračuna vremena putovanja vozila.



Slika 7. Princip rada, (37)

#### 3.2.4. Wi-Fi

Kao i Bluetooth, Wi-Fi također sadrži dvanaesteroznamenkastu MAC adresu koja je jedinstvena za svaki uređaj. Baziran je na IEEE 802.11 standardu za brzu razmjenu podataka koja koristi Internet konekciju neke računalne mreže. Trenutno postoji više varijacija ovog standarda, a onaj koji se odnosi na promet je 802.11p i odnosi se na V2V i V2I komunikaciju. (38)

Novu generaciju standarda u Wi-Fi tehnologiji predstavlja standard 802.11ax. Ključne prednosti ovog standarda su veće brzine prijenosa podataka, povećan ukupni kapacitet, bolje performanse u okruženjima s velikom količinom korisnika (engl. *High Density*) i visoka efikasnost u korištenju spektra i potrošnji električne energije (engl. *High Efficiency*). (39)

Uvođenjem novog standarda, 802.11ax, neprofitna organizacija Wi-Fi Alliance odlučila je uvesti nove nazive radi jednostavnosti i prepoznatljivosti, pa se ova generacija Wi-Fi standarda naziva i Wi-Fi 6. (40) Tako su podijeljene i starije generacije standarda, a one su:

1. Wi-Fi 1 – standard 802.11b (1999. godina)
2. Wi-Fi 2 – standard 802.11a (1999. godina)
3. Wi-Fi 3 – standard 802.11g (2003. godina)
4. Wi-Fi 4 – standard 802.11n (2009. godina)
5. Wi-Fi 5 – standard 802.11ac (2014. godina)
6. Wi-Fi 6 – standard 802.11ax (2018. godina)

Proces skeniranja kod Wi-Fi uređaja pokreće se svake dvije sekunde, ali se u njima može detektirati maksimalno pet uređaja odjednom. To može predstavljati problem ako se uređaji nalaze na prometnici koja može biti u blizini poslovnih prostora gdje svaka tvrtka može imati svoju mrežu pa tako mogu remetiti rad i potrebna spajanja za sakupljanje informacija. Uređaji s omogućenom Wi-Fi konekcijom mogu biti pasivno otkriveni i primiti zahtjev za spajanje. (35)

Kao identifikacijska tehnologija, Wi-Fi je jeftino rješenje, vrlo uspješno u brojanju vozila i nadziranju prometa. Zbog niske cijene, uređaji mogu biti postavljeni uz bilo koju cestu u gradu, omogućavajući dobar pregled i velik izvor informacija. Istraživanja pokazuju da Wi-Fi na slabo prometnim cestama s lakoćom identificira bicikl, automobil ili kamion, ali na prometnijim i bržim cestama postoji problem s detektiranjem manjih objekata. Pri detekciji, problem može stvarati i slab signal (41).

### 3.3. Računalni vid

Računalni vid (engl. *Computer Vision*) je područje umjetne inteligencije koje pokušava percipirati ljudski vid i tako prepoznavati dvodimenzionalne i/ili trodimenzionalne objekte. Zadaci koje računalni vid obavlja možemo podijeliti na:

1. prepoznavanje
2. analizu pokreta
3. rekonstrukciju događaja i
4. restauraciju slike. (42,36)

Može se primjenjivati u proizvodnoj industriji pri otklanjanju grešaka na strojevima, u medicini nakon implementacije u različite dijagnostičke uređaje, u vojne svrhe za navođenje raketa i mnoge druge. Primjena računalnog vida u prometu ističe se u razvoju autonomnih vozila i u identifikaciji vozila.

Postoje mnogi algoritmi koji se upotrebljavaju za rješavanje zadataka računalnog vida. Na primjer, algoritam SIFT (engl. *Scale-Invariant Feature Transform*) služi za pronalazak i opisivanje lokalnih značajki neke slike. Ima velike mogućnosti pri trodimenzionalnom rekonstruiranju scene i prepoznavanju. Viola-Jones algoritam primarno služi za prepoznavanje ljudskih lica na fotografijama, iako se može koristiti za pronalaženje bilo kakvih drugih objekata, poput prometnih znakova ili samih vozila. Prilikom trodimenzionalne rekonstrukcije slika i praćenja objekata, može se koristiti i SURF (engl. *Speeded Up Robust Features*) algoritam, osmišljen zbog zahtjeva za većom brzinom koji SIFT algoritam nije mogao ispuniti. (43)

### 3.3.1. Prepoznavanje znakova

Prepoznavanje se, kao zadatak računalnog vida, odnosi na prepoznavanje objekata u prostoru, prepoznavanje znakova i prepoznavanje lica (identifikacija). (44)

Optičko prepoznavanje znakova (engl. *Optical Character Recognition, OCR*) temelji se na otkrivanju napisanog teksta, bio on napisan ručno, pisačem ili na nekoj podlozi. Neka od tih podloga može biti i registarska oznaka na vozilu. Ova tehnologija pronašla je značajnu uporabu u pomoći slijepim osobama (prepoznati napisani tekst može se zvučno izvoditi), u pošti pri raspoznavanju ručno napisanih adresa, u različitim tvrtkama za lakše raspoznavanje i razvrstavanje tekstova. (45)

Proces prepoznavanja znakova započinje snimkom kamere. Nakon što se dobije slika iz koje se želi izvući tekst, ona se obrađuje u računalu kroz višestruke procese. U koraku pretprocesiranja slika se boji u različite nijanse sive boje. U ovome koraku se količina neželjenih podataka smanjuje za trećinu. Nakon toga sliku je potrebno pretvoriti u crno bijelu sliku gdje crna vrijednost poprima vrijednost 1, a bijela boja vrijednost 0. U koraku izlučivanja značajki potrebno je prepoznati uzorke na slici. Svaki uzorak na slici dobiva određenu vrijednost i vektor značajki. Tako je u koraku odlučivanja lakše raspoznati uzorak. Evaluacija sustava služi za provjeru točnosti pri raspoznavanju uzoraka (znakova) sa slike. (46,47)

Prva generacija uređaja za OCR, koji su postali dostupni 1960. godine, mogla je prepoznavati znakove određenog fonta i veličine. Kasnijim razvojem uvodi se mogućnost čitanja 10 različitih fontova. Današnji uređaji prepoznaju sve veličine i fontove teksta, no uz sav razvitak tehnologije, većina sustava i dalje ne može bez problema očitavati oštećene dokumente ili rukom pisane tekstove. (46)

### 3.3.2. Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka

Automatsko prepoznavanje registarskih oznaka (engl. *Automatic Number Plate Recognition, ANPR*) predstavlja tehnologiju koja koristi OCR za sakupljanje podataka o lokaciji vozila, za kontrolu prekoračenja brzine, kontrole prilikom prelaska državnih granica, za brže upravljanje prometom na parkiralištima, za veću sigurnost i smanjenje krađe vozila i dr. (48) ANPR je također poznat i pod akronimom LPR (engl. *Licence Plate Recognition*).

Osnovni elementi ANPR sustava su:

1. kamera
2. dodatno osvjetljenje za vozila
3. Analog/Digital oprema za digitalizaciju slike (tzv. *frame grabber*)
4. računalo za obradu slike
5. ulazno/izlazna oprema za vršenje „*trigger*“ funkcije i za kontrolu izlaznih jedinica (npr. dizanje/spuštanje rampe, upravljanje semafora...). (49)

Teškoće s kojima se ANPR sustav nosi:

- loša rezolucija slike uzrokovana udaljenosti vozila ili niskom kvalitetom kamere
- zamućenost slike, slabo osvjetljenje ili predmeti koji zaklanjaju registarsku oznaku (kuke za vuču)
- različita registracijska oznaka na prednjoj i stražnjoj strani vozila (vozila s prikolicama, kamperi)
- izmjena vozne trake prilikom očitavanja registarske oznake
- nedostatak koordinacije između zemalja (jednake registarske oznake s promijenjenom bojom)
- ostalo

Neki od navedenih problema mogu se riješiti softverski, iako je za većinu problema potrebno manevriranjem hardverskom stranom opreme.

ANPR tehnologija može se ugrađivati i u policijska vozila kao mobilni sustav. Od izuzetne je važnosti da kamera i procesor u samome sustavu budu dovoljno brzi kako bi mogli dobiti jasnu i čitljivu sliku prilikom snimanja vozila koja se kreću nedopuštenom brzinom koja nerijetko prelazi i brzinu od 160 km/h. Oprema također mora biti što manjih dimenzija kako ne bi zauzimala previše prostora u policijskom vozilu u kojem se nalazi. (50)

Prvi korak pri radu ANPR tehnologije je očitavanje registarske oznake vozila sa slike snimljene kamerom. Nakon uspješnog očitavanja registarske oznake, dobiveni niz znakova predstavlja ulazni podatak koji se šalje u bazu podataka. Cijela ova obrada gotova je za 250 milisekundi. Ovisno o funkciji baze, podatak o registraciji može se samo spremi u bazu ili se može provjeravati i daljnje alarmirati nadležne službe ovisno o situaciji. Kod jednostavnijih ANPR sustava baza se nalazi na lokalnom računalu, dok se kod složenijih sustava nalazi na središnjem serveru na kojemu se i obavljaju sve potrebne provjere.



Slika 8. Princip rada ANPR sustava

Izvor: (59)

### 3.3.3. Primjer korištenja automatskog prepoznavanja registarskih oznaka u Hrvatskoj

Autoceste u Hrvatskoj čine mrežu autocesta koje povezuju Republiku Hrvatsku u europski prometni sustav i prometno povezuju regije Republike Hrvatske. U sklopu Autocesta Republike Hrvatske postoji 11 odvojenih autocesta, a one su upravljane od strane tvrtki Autocesta Rijeka-Zagreb d.d., Hrvatske autoceste d.o.o., Bina-Istra d.d. i Autocesta Zagreb-Macelj d.o.o.. (58)

Kao primjer korištenja tehnologija za identifikaciju vozila uzete su dvije naplatne postaje u Republici Hrvatskoj. Naplatna postaja Zagreb (Lučko) i Naplatna postaja Zagreb istok koriste kamere za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka kako bi se identificirala vozila koja prolaze kroz naplatne postaje. Brojanjem i identifikacijom vozila koja prolaze naplatnim postajama omogućuje se, između ostalog, i bolja prognoza prometa te se putnicima omogućuje predodžba o mogućim gužvama kada planiraju putovanje.

Naplatna postaja Zagreb (Lučko) je pod ingerencijom tvrtke Autocesta Rijeka-Zagreb d.d.. Postaja sadrži dvije kamere. FXCAM IBW 2000 proizvođača Adaptive Recognition Hungary predstavlja rješenje za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka. Prema podacima koje je ustupila tvrtka Autocesta Rijeka-Zagreb d.d., kamera uspješno prepoznaje registarske oznake pri točnosti od 95%, ovisno o vremenskim uvjetima. Zbog loših vremenskih uvjeta i snimanja noću, kamera je opremljena infracrvenim reflektorom. Domet prepoznavanja kamere u rasponu je od 3 do 13 metara. Također, radna temperatura na kojoj može vršiti prepoznavanje u rasponu je od -20°C do +65°C (uvjeti na otvorenom) i opremljena je stupnjem zaštite IP65. Cijena jedne ove kamere kreće se oko 600 € i u tu cijenu potrebno je uračunati i troškove kabela, instalacija i druge. Druga kamera, IQ701 proizvođača IQinvision, služi kao dodatni element pri stvaranju kompletne informacije o vozilu na ulazno/izlaznoj traci. Ta verifikacijska kamera pruža informacije poput tipa vozila, boje vozila, opisa vozača i eventualnih putnika u vozilu. Bitno je naglasiti da ima mogućnost digitalnog potpisivanja slike što omogućuje dokazivanje autentičnosti iste. Ima 1.3 MP i rezolucija snimanja joj je 1280 (H) × 1024 (W).

Naplatna postaja Zagreb istok (prijašnja Ivanja Reka) u nadležnosti je tvrtke Hrvatske Autoceste d.o.o.. Na izlaznoj stazi ove postaje nalaze se dvije kamere. Jedna od njih snima cijelo vozilo kako bi se mogla odrediti skupina vozila, dok druga kamera snima registarsku oznaku vozila. Dok se na izlaznim stazama prilikom plaćanja cestarine određuje i provjerava



skupina vozila, na ulaznoj postaji određuje se samo broj vozila koja su prošla. Na izlaznoj postaji koristi se kamera T14755 REV 1 proizvođača Tattile, dok se na ulaznoj postaji koristi model LTC0498/51 proizvođača Bosch. Prema podacima ustupljenima od tvrtke Hrvatske Autoceste d.o.o. vidljivo je da je točnost prepoznavanja prilikom očitavanja registarske oznake na izlaznoj stazi oko 75%, a na ulaznoj oko 80%. Drastično smanjenje točnosti prepoznavanja vidljivo je prilikom čitanja registracijske oznake u skupini vozila I.A (motorna vozila s karakteristikama motocikla, motornog tricikla i četverocikla).

U svibnju 2019. godine kroz naplatnu postaju Zagreb (Lučko) prošlo je 551807 vozila. Uzevši dane podatke o točnosti od 95% prepoznavanja kamerom, uspješno je očitano 524216 registarskih oznaka. U lipnju 2019. godine na naplatnoj postaji Zagreb istok prošlo je 442304 vozila, a uzevši točnost prepoznavanja od 75% uspješno je očitano 331728 registarskih oznaka.

## 4. Problematika privatnosti u identifikaciji za prometne primjene

Osim tehničko-tehnoloških kriterija pri odabiru tehnologije za identifikaciju vozila, u obzir treba uvesti i pitanje privatnosti prilikom upotrebe istih.

U Sjedinjenim Američkim Državama zakoni se jedva dotiču zaštite podataka. Uz sve prednosti koje sakupljanje podataka donosi poput efikasnosti, sigurnosti i zaštite ljudi, društvo je i dalje zabrinuto. Problemi s kojima se društvo nosi tiču se:

1. ljudskih prava
2. prikupljenih podataka koji mogu biti tajni
3. mogućnosti da se kršitelja zakona prebace na prometnice gdje identifikacija vozila nije moguća
4. cijena implementacije tehnologije zbog razmišljanja da postoje druge stvari u koje bi trebalo uložiti novac. (51)

U Europskoj Uniji u svibnju 2018. godine na snagu stupa novi zakon koji se dotiče i identifikacije vozila. GDPR je Opća uredba o zaštiti osobnih podataka koja zahvaća sve članice Europske Unije.

Odnosi se na voditelje i izvršitelje obrade osobnih podataka. Voditelj predstavlja osobu koja prikuplja osobne podatke od korisnika dok izvršitelj predstavlja osobu koja daje naredbe za obradu. Često jedna tvrtka može biti i voditelj i izvršitelj prikupljenih podataka, a dobar primjer vanjskog izvršitelja predstavlja pružatelj usluge u oblaku (engl. *Cloud Computing*).

GDPR je zasnovan na 6 principa koji zahtijevaju da su osobni podaci:

1. obrađeni pošteno i u skladu sa zakonom
2. korišteni samo za jednu svrhu i ništa drugo
3. ograničeni samo na neophodno korištenje vezano uz svrhu prikupljanja
4. točni i ažurni
5. sačuvani samo onoliko vremena koliko je potrebno
6. zaštićeni od gubitka, mijenjanja, oštećenja i neovlaštene obrade.

Prilikom snimanja vozila zbog identifikacije vrste vozila ili očitavanja registarske oznake može doći do snimanja profila osobe koja upravlja vozilom ili suvozača. Time se može doći do svih podataka o osobi. Takvi podaci predstavljaju osobne podatke te se mora upravljati po zakonima GDPR-a. Ako tvrtka koja sadrži te podatke ne postupa po principima GDPR-a, može snositi visoke kazne i potencijalne tužbe.

Kao primjer dano je korištenje parkirne garaže u trgovačkom centru Avenue Mall u Zagrebu. Prilikom ulaska u prostore garaže odvija se prepoznavanje registarskih oznaka vozila te su uvjeti i odredbe označeni u Općim uvjetima korištenja podzemne garaže Avenue Mall na njihovoj web stranici. Njome je određeno:

1. „Automatsko prepoznavanje registarske oznake (APRO) koristi se za nadzor Parkirališta te kontrolu ulaza i izlaza vozila iz Parkirališta.
2. Korisnik Parkirališta svojim ulaskom prihvaća da Avenue Mall koristi podatke dobivene APRO sustavom u svrhu naplate parkinga, utvrđivanja krivnje prilikom štetnih događaja i drugih svrha prema potrebi.
3. Avenue Mall će podatke dobivene na osnovi rada APRO sustava koristiti isključivo u svrhu kontrole sigurnosti, poštivanja ovih Uvjeta i važećih zakonskih odredbi.“ (16)

Europski odbor za zaštitu podataka (EDPS) 17. ožujka 2010. godine donosi smjernice o korištenju videonadzora i o baratanju podacima sakupljenih s istih. Po njihovom tumačenju, „sustav videonadzora koji nadzire registarske oznake vozila za ulaz u neki prostor i spojen je na bazu podataka registarskih oznaka korisnika vozila također predstavlja podatak o korisniku iako se on na snimci ne vidi“. Također, sugerira se da pohrana snimki bude kraća od 7 dana te da se nakon tog vremena snimke brišu. Trebalo bi što prije utvrditi da li je neku snimku potrebno izdvojiti zbog zakonski opravdanih razloga, a njihovo mišljenje je da je za to dovoljno i 48 sati. (52)

Detektori prometnog toka ne sakupljaju osobne informacije o vozaču i putnicima u vozilu tako da se problematika privatnosti ne dotiče ove tehnologije. (53)

Bluetooth tehnologija prilikom identifikacije vozila čita MAC adresu svih Bluetooth uređaja koji su u dometu čitanja. Nema direktnog načina za povezivanje MAC adrese s vlasnikom uređaja/vozila, ali u situacijama gdje se krši zakon, policija je u mogućnosti doći do takvih podataka preko MAC adrese. (53)

Prilikom korištenja RFID tehnologije dolazi do pitanja o sigurnosti i privatnosti koja se odnose na:

1. privatnost lokacije
2. informacije o korisnicima
3. korporativne špijunaže
4. nesigurna radna okruženja
5. odbijanje usluge
6. razne napade
7. kompromitirane sustave podrške (24)

Iako postoje sve gore navedene prijetnje, RFID se i dalje smatra jednom od sigurnijih tehnologija jer je kopiranje RFID podataka gotovo nemoguće.

Najveći problem i dalje predstavlja društvo koje nije dovoljno upoznato sa samim GDPR-om, tako ni s identifikacijom vozila i što ona omogućuje, pa tako ni ne prepoznaju prednosti koje ovakve tehnologije donose. U načelu, sve tehnologije za identifikaciju vozila i tvrtke nadležne za upotrebu istih moraju postupati po pravilima GDPR-a zato što uvijek postoji mogućnost identifikacije vozača koji upravlja identificiranim vozilom. (54)

## 5. Evaluacija identifikacijskih tehnologija po kriterijima

Nakon prikaza tehničko-tehnoloških kriterija za evaluaciju i osvrta na problematiku privatnosti, potrebno je napraviti evaluaciju. S obzirom na to da detektori prometnog toka nisu toliko zastupljeni u identifikaciji vozila, oni neće biti uzeti u obzir pri odabiru optimalne tehnologije za identifikaciju. Za svaku od tehnologija uspoređivane su specifikacije više uređaja kako bi se dobila bolja analiza. Prezentirani podaci na osnovu kojih su napravljene slike mogu se pronaći na stranicama proizvođača. Karakteristike nekih uređaja nisu bile javno dostupne te su proizvođači na zahtjev ustupili informacije potrebne za izradu ovoga rada.

### 5.1. Tehničko-tehnološki kriteriji za evaluaciju

Svaka od opisanih tehnologija za identifikaciju vozila u inteligentnim transportnim sustavima ima svoje prednosti i nedostatke. Tehničko-tehnološki kriteriji po kojima će se vršiti evaluacija tehnologija su ekonomski kriteriji, točnost, brzina prijenosa, domet i napajanje.

Ekonomski kriteriji podrazumijevaju cijenu uređaja, troškove održavanja tehnologije i jednostavnost implementacije iste. Cijena pojedinih komponenata za svaku tehnologiju može ovisiti o kvaliteti, a cijena čitavog sustava može varirati prema vrsti zaštite potrebne zbog utjecaja vremenskih prilika.

Točnost prikupljenih podataka odnosi se na postotak ispravno identificiranih vozila prilikom korištenja određene tehnologije. Detektori prometnog toka uglavnom nisu namijenjeni za identifikaciju već za detekciju vozila, dok drugim tehnologijama prilikom identifikacije problem može stvarati velika gustoća prometa ili pogrešno pozicioniranje uređaja (na primjer kamere).

Brzina prijenosa podataka predstavlja količinu podataka koji se prenose pri nekoj frekvenciji u određenom vremenu i izražena je kbit/s ili Mbit/s. Detektori prometnog toka i kamere za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka nisu ograničeni brzinom prijenosa podataka jer su najčešće fizički povezani s poslužiteljem pa je ograničavajući čimbenik tih tehnologija maksimalna frekvencija prikupljanja podataka.

Dometa se odnosi na najveću udaljenost od uređaja do vozila u kojoj je moguće ostvariti identifikaciju. Dometa tehnologija može ovisiti o radnoj frekvenciji, klasi uređaja ili o postavljanju uređaja.

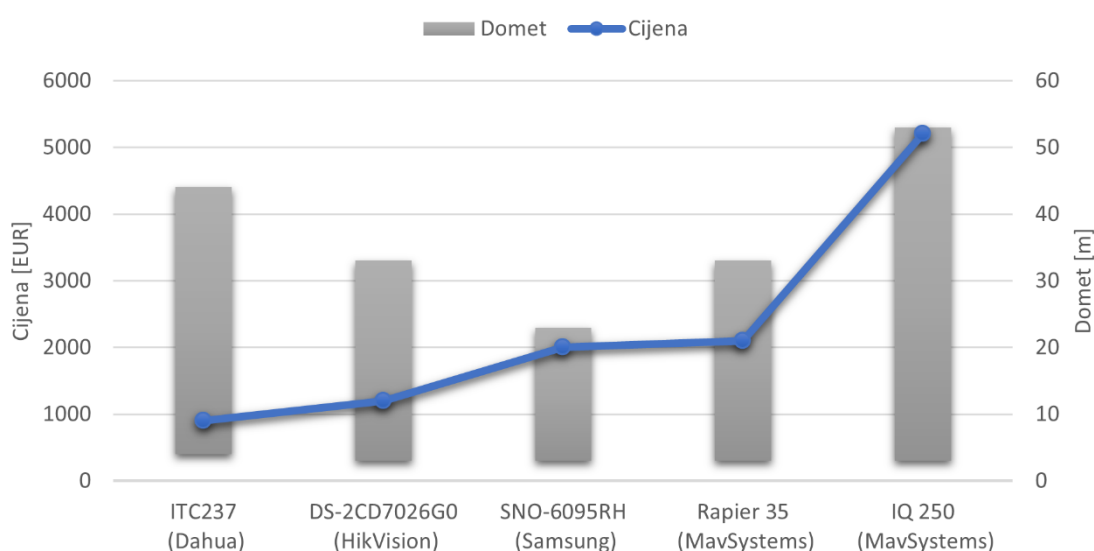
Kriterij napajanje odnosi se na potrošnju električne energije. Napajanje načelno može biti izvedeno putem električne mreže ili raznim vrstama baterija. Može biti ograničavajući faktor primjene na nekim lokacijama, ako je identifikacijski sustav „veliki potrošač“, kao na primjer prilikom korištenja kamera. Također, povećani zahtjevi za napajanjem identifikacijskih uređaja vode prema uporabi baterija s većim kapacitetom i manjom masom što znatno poskupljuje sustave identifikacije.

## 5.2. ANPR tehnologija

Prilikom evaluacije ANPR tehnologije uzete su specifikacije pet različitih kamera:

- model ITC237 proizvođača Dahua,
- model DS-2CD7026G0 proizvođača HikVision,
- model SNO-6095RH proizvođača Samsung i
- modeli Rapier 35 i IQ250 proizvođača MavSystems.

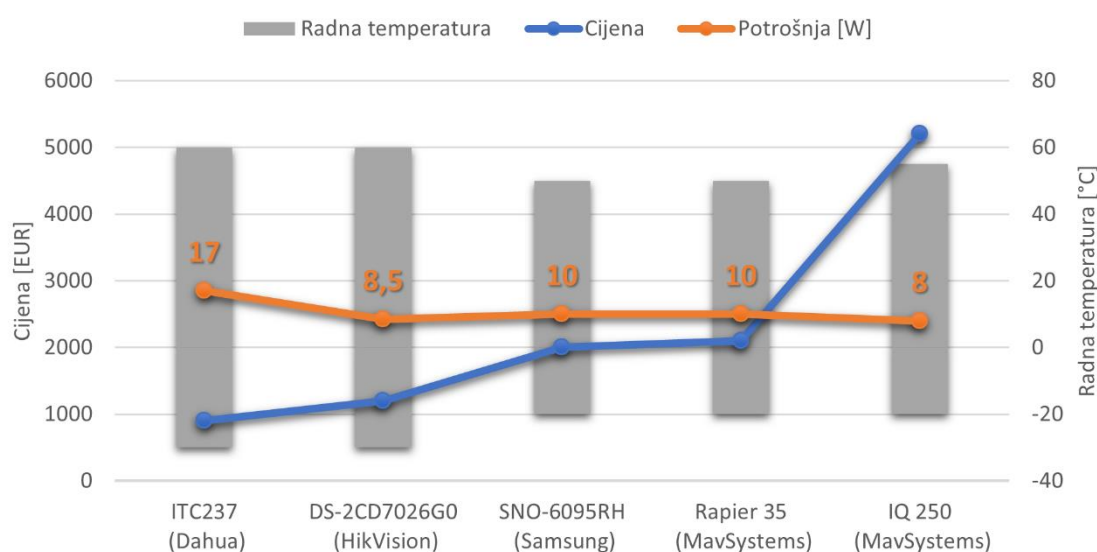
Sve odabrane kamere koriste se za nadzor prometa, a razlikuju se po karakteristikama poput dometa i rezolucije snimanja.



Slika 9. Odnos dometa prepoznavanja i cijene (ANPR)

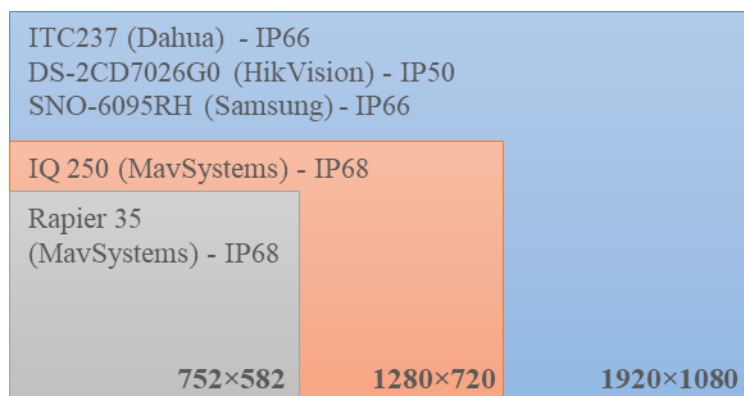
Na Slici 9. prikazane su cijene i dometi u kojima je moguće ostvariti identifikaciju, tj. udaljenost pri kojoj sustav može očitati registarsku oznaku vozila u dolasku. Cijene se kreću od 900 do 5200 €, ovisno o točnosti i maksimalnoj brzini prepoznavanja vozila. U cijenu je također uračunata i sva dodatna oprema. Konkretno, za promatrane sustave, maksimalne brzine do kojih je sustav u mogućnosti prepoznati vozilo kreću se od 80 km/h (ITC237) do „neograničene“ brzine kretanja vozila (Rapier 35, IQ 250), kakva je navedena u tehničkim specifikacijama sustava. Točnost sustava nije posebno istaknut parametar jer je ona za svaki sustav u rasponu od 95 do 98%.

Domat promatranih sustava je u rasponu od 3 do 50 metara. Ipak, ističe se sustav SNO-6095RH (Samsung) sa značajnom manjim rasponom dometa što nadoknađuje umjerenom potrošnjom električne energije i većom rezolucijom snimanja, prikazanom u nastavku. Također, na slici 9. je vidljivo da domat sustava ne ovisi o cijeni – domat ostaje približno isti dok se cijena promatranih sustava razlikuje za faktor 5.



Slika 10. Prikaz ostalih tehničkih karakteristika (ANPR)

Na Slici 10. prikazani su podaci o potrošnji električne energije za svaki od sustava te radna temperatura na kojoj svaki od sustava može raditi. Potrošnja električne energije ovisna je o cijeni sustava i vidljivo je da manju potrošnju imaju skuplji sustavi. Najmanju potrošnju ima model IQ 250 (MavSystems), ali je znatno skuplji od svih drugih sustava. Model DS-2CD7026G0 (Dahua) predstavlja mnogo jeftinije rješenje, a troši približno jednako električne energije. Radna temperatura u prosjeku se proteže od -20 °C do +50 °C (uvjeti na otvorenom).



Slika 11. Vizualni prikaz rezolucije snimanja (ANPR)

Slika 11. daje vizualni prikaz rezolucije snimanja koju koriste spomenute kamere. Također, na slici su navedeni i IP (engl. *Ingress Protection*) standardi zaštite. Prva brojka u standardu odnosi se na zaštitu od doticanja i stranih tijela, dok se druga brojka odnosi na zaštitu od vode. Na primjer, model kamere SNO-6095RH ima stupanj zaštite IP66. Prva brojka, 6, znači da je uređaj otporan na prašinu, dok druga brojka 6 znači da je uređaj zaštićen od snažnog mlaza vode.

Objašnjenje za svaki stupanj standarda zaštite nalazi se u Tablici 3.

Tablica 3. IP standardi zaštite

Stupanj	Prva brojka	Druga brojka
<b>0</b>	nema zaštite	nema zaštite
<b>1</b>	zaštićeno od krutih tijela promjera većeg od 50 mm	zaštićeno od kapi koje padaju okomito na uređaj
<b>2</b>	zaštićeno od krutih tijela promjera većeg od 12.5 mm	zaštićeno od okomitih kapi ako je kućište uređaja nagnuto za kut do 15°
<b>3</b>	zaštićeno od krutih tijela promjera većeg od 2.5 mm	zaštićeno od vode koja pršti za kut do 60°
<b>4</b>	zaštićeno od krutih tijela promjera većeg od 1.0 mm	zaštićeno od vode koja pršti
<b>5</b>	zaštićeno od prašine	zaštićeno od mlaza vode
<b>6</b>	nema propuštanja prašine	zaštićeno od snažnog mlaza vode
<b>7</b>		zaštićeno od privremenog uranjanja u vodu
<b>8</b>		zaštićeno od dužeg uranjanja u vodu
<b>9k</b>		zaštićeno od vode pri visokom tlaku i visokoj temperaturi

Izvor: (55)





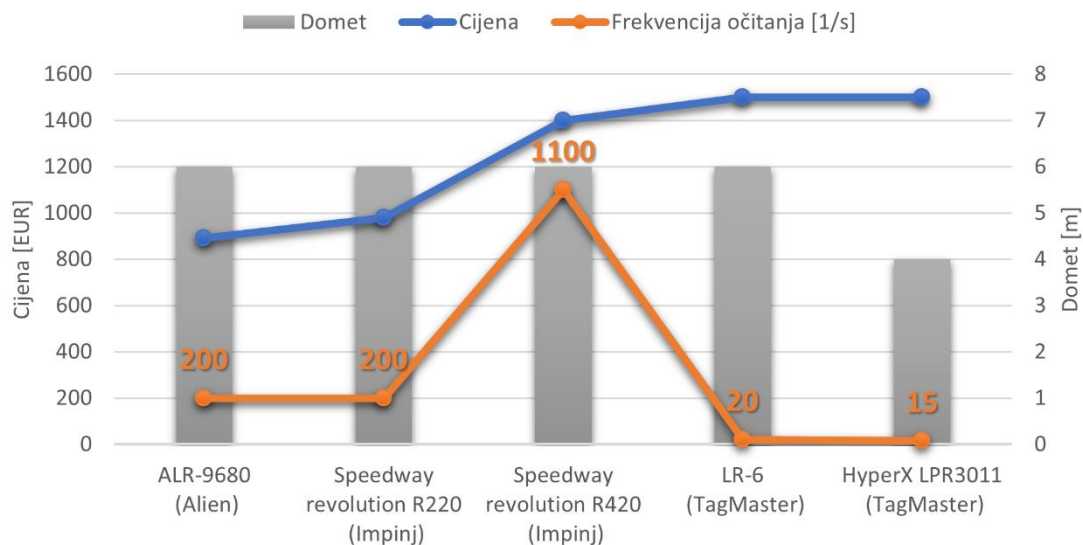
Slika 12. Rapier 35 ANPR kamera, (78)

### 5.3. RFID tehnologija

Prilikom evaluacije RFID tehnologije analizirani su slijedeći uređaji:

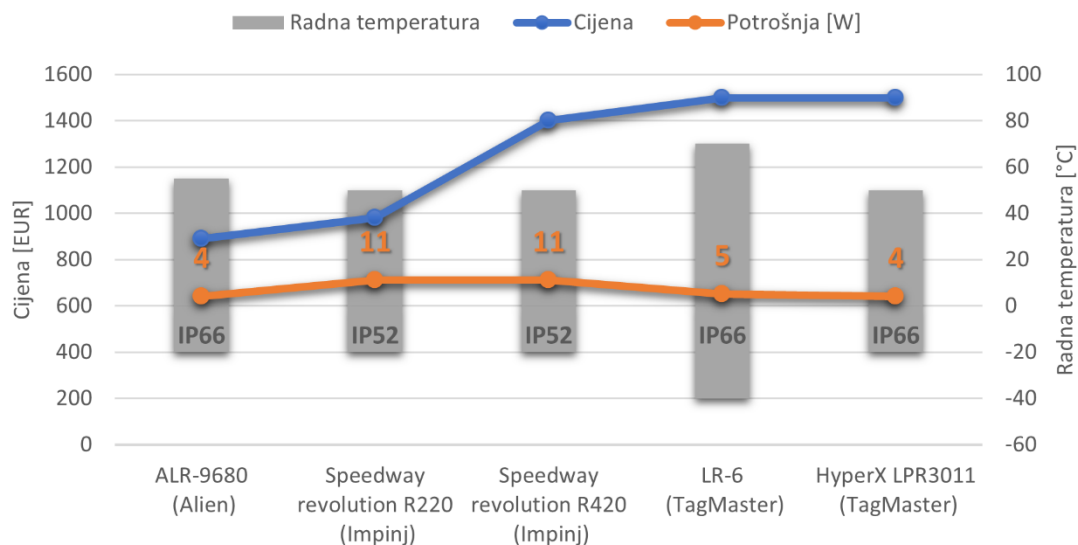
- čitač ALR-9680 proizvođača Alien
- čitači Speedway revolution R220 i Speedway revolution R420 proizvođača Impinj
- čitači LR-6 i HyperX LPR3011 proizvođača TagMaster
- *tag* R6 Dogbone Wet Inlay proizvođača Impinj
- *tag* G-RFID Wet Inlay proizvođača Alien
- *tag* MarkTag Classic proizvođača TagMaster
- antena ALR-8698 proizvođača Alien
- antena MT-242025 proizvođača MTI i
- antena AN480 proizvođača Zebra.

Težnja je bila odabrati uređaje širokog raspona karakteristika kako bi se uočila njihova povezanost i utjecaj na konačnu cijenu. Odabrani uređaji predstavljaju RFID sustave široke primjene poput sustava za naplatu parkinga i sustava za praćenje rezultata automobilističkih i motociklističkih utrka.



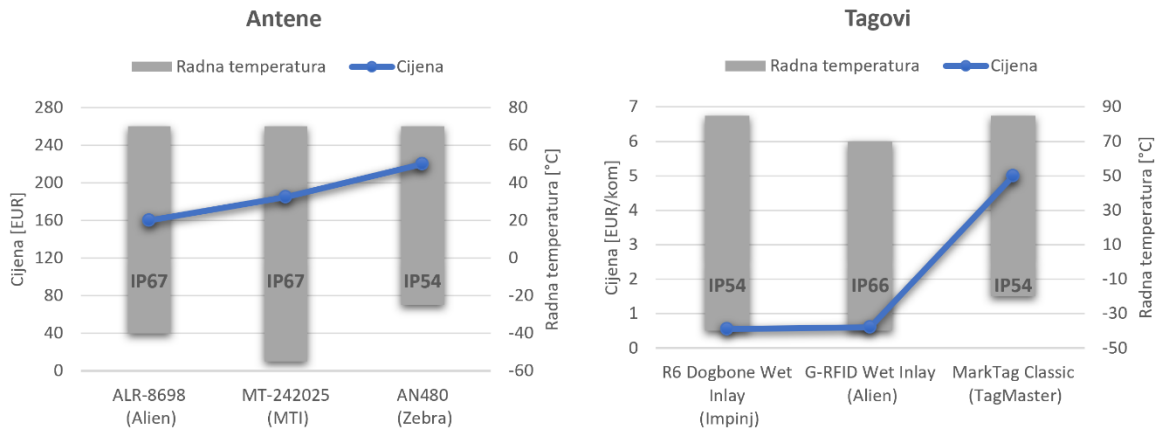
Slika 13. Karakteristike čitača (RFID)

Slika 13. prikazuje maksimalni domet koji mogu ostvariti analizirani RFID čitači. Dok većina ostvaruje domet od 6 metara, ističe se model HyperX LPR3011 proizvođača TagMaster koji ostvaruje domet do maksimalno 4 metra što je dovoljno tek za registraciju mirujućih vozila. Također, vidljivo je da ostvaruje i najnižu frekvenciju očitavanja podataka u sekundi, dok model Speedway Revolution R420 najviše odskoče s najvišom frekvencijom očitavanja. Ne čudi stoga da je upravo taj uređaj namijenjen za motociklističke utrke gdje se može očekivati mnogo uzastopnih očitavanja. Cijena se proteže od 890 € do 1500 € ovisno o karakteristikama. Ipak, nije uočena povezanost cijene s dometom ili frekvencijom očitavanja za odabrane uređaje. Promatrajući samo karakteristike čitača prikazane na ovoj slici, Speedway Revolution R420 daje najbolje rezultate, no uz nešto veću cijenu.



Slika 14. Karakteristike čitača 2 (RFID)

Na Slici 14. prikazana je potrošnja električne energije i radna temperaturu čitača. Čitači proizvođača Impinj troše dva puta više električne energije u odnosu na čitače drugih proizvođača, no to je opravdano frekvencijom očitavanja i specifičnom namjenom. Ostali uređaji troše oko 5 W što je uobičajeno za radiovalne uređaje kratkog dometa. Radna temperatura približno je jednaka za sve, osim modela LR-6 koji ima nešto veći raspon. Ovo nije značajna karakteristika uređaja jer su svi certificirani unutar raspona temperatura karakterističnom za rad na otvorenom. Prikazani su i IP stupnjevi zaštite na čitačima.



Slika 15. Omjer radne temperature i cijene antena (lijevo) i tagova (desno) (RFID)

Osim čitača ključan dio RFID sustava su *tagovi* i antene. *Tagovi* i antene prodaju se neovisno od čitača i njihove karakteristike uvelike ovise o planiranoj primjeni sustava. Slika 15. odnosi se na antene i *tagove* za RFID sustave. Prilikom odabira antene, najbolje rezultate daje model MT-242025 (MTI) s najvećim rasponom radne temperature, srednjom cijenom i visokim stupnjem zaštite.

*Tag* MarkTag Classic predstavlja neisplativo rješenje zbog visoke cijene *taga* po komadu. Očigledno postoje bolja rješenja istih karakteristika poput G-RFID Wet Inlay (Alien) *taga* koji ima nešto manji raspon radne temperature. Stupanj zaštite kojim je opremljen model R6 Dogbone Wet Inlay (Impinj), IP66, upućuje na njegovu primjenu – motociklističke utrke – pri čemu je *tag* izložen velikoj količini vlage i prašine.



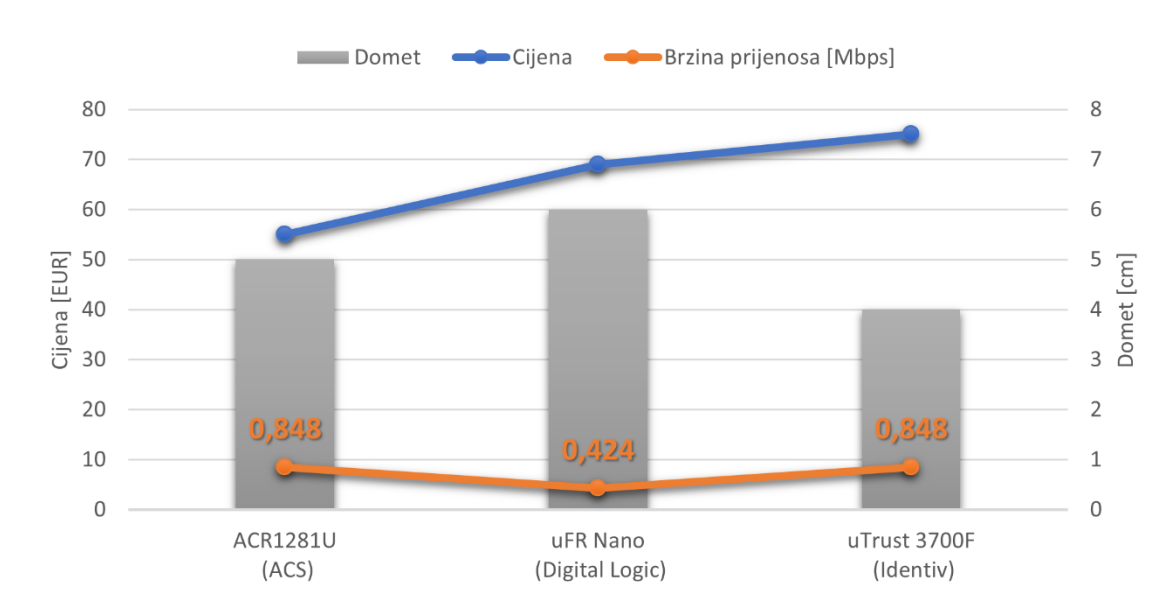
Slika 16. ALR-9680 RFID čitač, (76)

## 5.4. NFC tehnologija

Za evaluaciju NFC tehnologije analizirani su slijedeći uređaji:

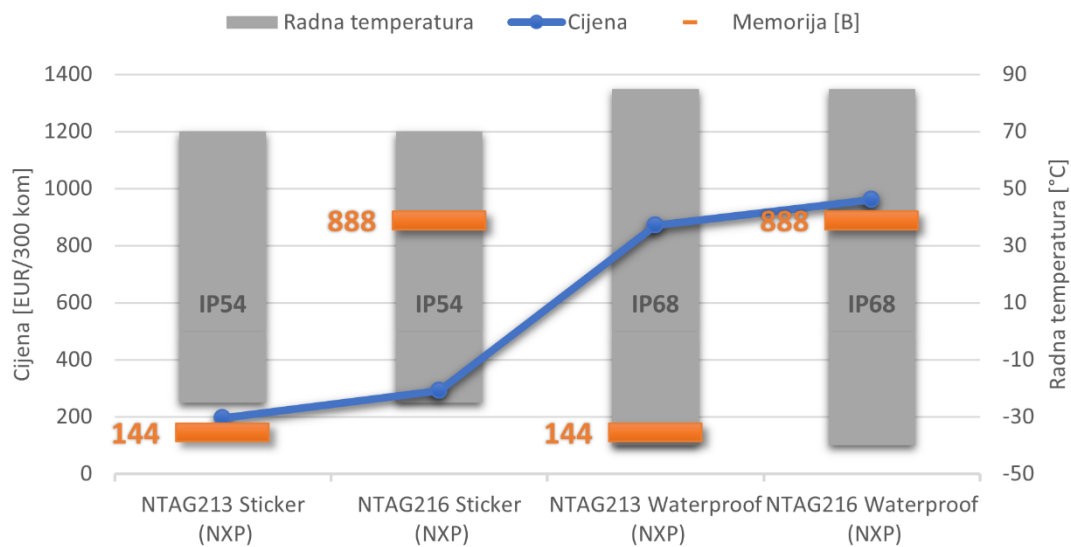
- čitač uFR Nano proizvođača Digital Logic
- čitač uTrust 3700F
- čitač ACR1281U i
- *tagovi* NTAG213 Sticker, NTAG216 Sticker, NTAG213 Waterproof i NTAG216 Waterproof proizvođača NXP.

Poput prethodno izloženih RFID sustava odabrano je i nekoliko NFC sustava različitih primjena. NFC sustav sastoji se od čitača i *taga*. Kako se radi o iznimno kratkom dometu komunikacije antena nije potrebna.



Slika 17. Odnos cijene, dometa i brzine prijenosa čitača (NFC)

Na Slici 17. prikazani su dometi koje postižu NFC čitači kao i njihove brzine prijenosa. Vidljivo je da brzina prijenosa, kao ni domet, ne ovise direktno o cijeni. Čitač uFR Nano (Digital Logic) ostvaruje najveći mogući domet od analiziranih čitača, ali ima najmanju brzinu prijenosa.



Slika 18. Tehničke karakteristike tagova (NFC)

Slika 18. prikazuje radne temperature na kojima je moguć rad NFC tagova i one su približno jednake za svaki. Cijena je skoro 5 puta veća za tagove koji su vodonepropusni, a memorija ovisi o modelu, pa tako NTAG213 model ima memoriju od 144 B, a NTAG216 memoriju od 888 B. Ovdje se jasno može uočiti linearna povezanost cijena s karakteristikom taga. Na slici su označeni i IP stupnjevi zaštite koji potvrđuju da skuplji modeli uistinu opravdavaju svoju cijenu.

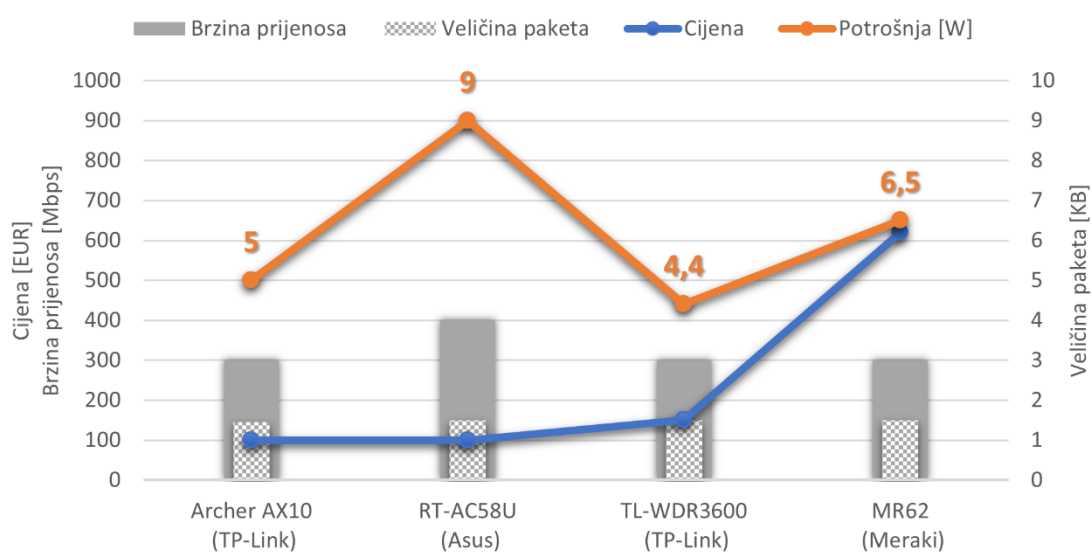


Slika 19. uTrust 3700F NFC čitač, (77)

## 5.5. Wi-Fi tehnologija

Wi-Fi sustav sastoji se od komercijalno dostupnog modema i specifičnih uređaja koji imaju mogućnost Wi-Fi komunikacije pri čemu isključivo prate statistiku uspostavljene veze (brzinu prijenosa, broj izgubljenih paketa). Prilikom evaluacije Wi-Fi tehnologije analizirani su sljedeći uređaji:

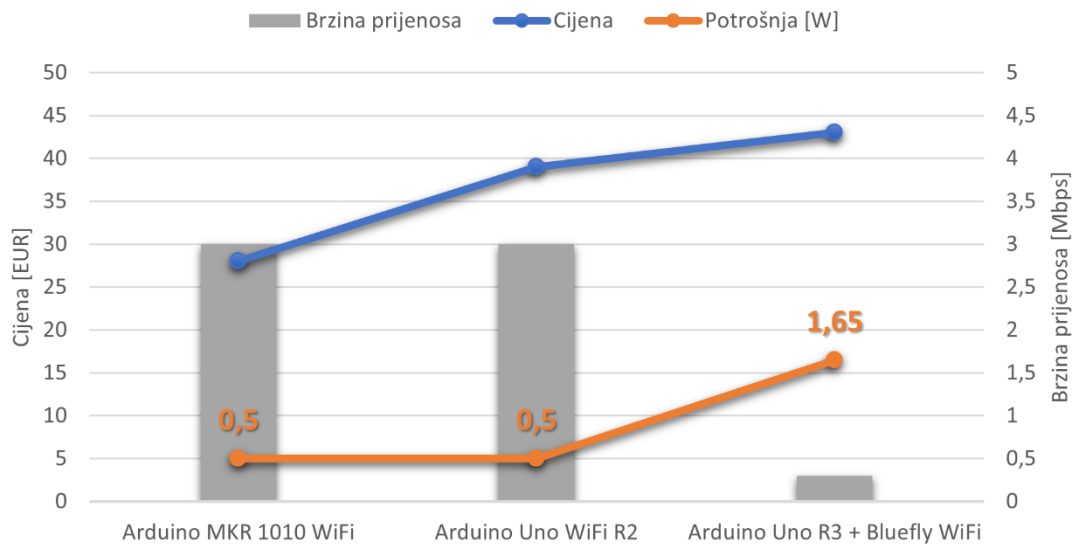
- Archer AX10 i TL-WDR3600 transmiteri proizvođača TP-Link
- RT-AC58U transmitter proizvođača Asus
- MR62 transmitter proizvođača Meraki i
- Arduino MKR 1010 WiFi, Uno WiFi R2 i Uno R3 (s BlueFly Wifi modulom) *receiveri*



Slika 20. Tehničke karakteristike transmitera (Wi-Fi)

Po uzoru na rad koji je testiranja vršio na modelu TL-WDR3600 (41), ostali uređaji uzeti su kao primjer jer su po mnogim karakteristikama slični navedenome. Svi uređaji rade na frekvenciji od 2.4 GHz. (56)

Na Slici 20. vidljivo je da su svi uređaji u istom cjenovnom rangu, osim modela MR62 proizvođača Meraki. Brzina prijenosa je, kao i veličina paketa, u svim analiziranim sustavima približno ista. Jedina značajka koja odskaka je potrošnja električne energije, koja za model RT-AC58U proizvođača Asus iznosi 9 W, što ne opravdava brzinu prijenosa od 400 Mbit/s, koja je za samo 100 Mbit/s veća od svih drugih.



Slika 21. Tehničke karakteristike Arduino receivera (Wi-Fi)

Slika 21. prikazuje karakteristike koje se odnose na Arduino *receivere* (57). Modeli MKR 1010 WiFi i Uno WiFi R2 dosežu jednaku brzinu prijenosa podataka i zahtijevaju jednaku količinu električne energije. Iako i između njih postoji razlika u cijeni, najskuplje rješenje predstavlja model Uno R3. S obzirom na to da on nema već ugrađen Wi-Fi modul, na njega je potrebno implementirati BlueFly WiFi modul pa je zato skuplji od drugih. Električna energija koju ovaj uređaj troši tri puta je veća od druga dva analizirana uređaja, a brzina prijenosa je čak 6 puta manja. Prema analizi prikazanoj na slici, od ponuđenih uređaja, Arduino MKR 1010 WiFi zasigurno je najbolje rješenje.



Slika 22. TL-WDR3600 transmiter (lijevo) i Arduino UNO WiFi R2 (desno), (56,57)

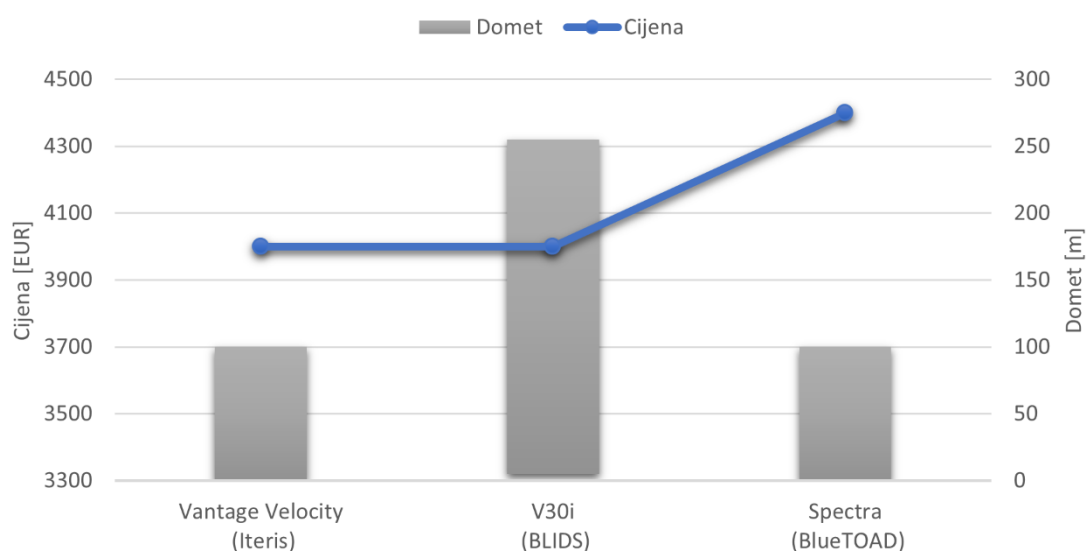


## 5.6. Bluetooth tehnologija

Prilikom evaluacije Bluetooth tehnologije korišteni su slijedeći sustavi:

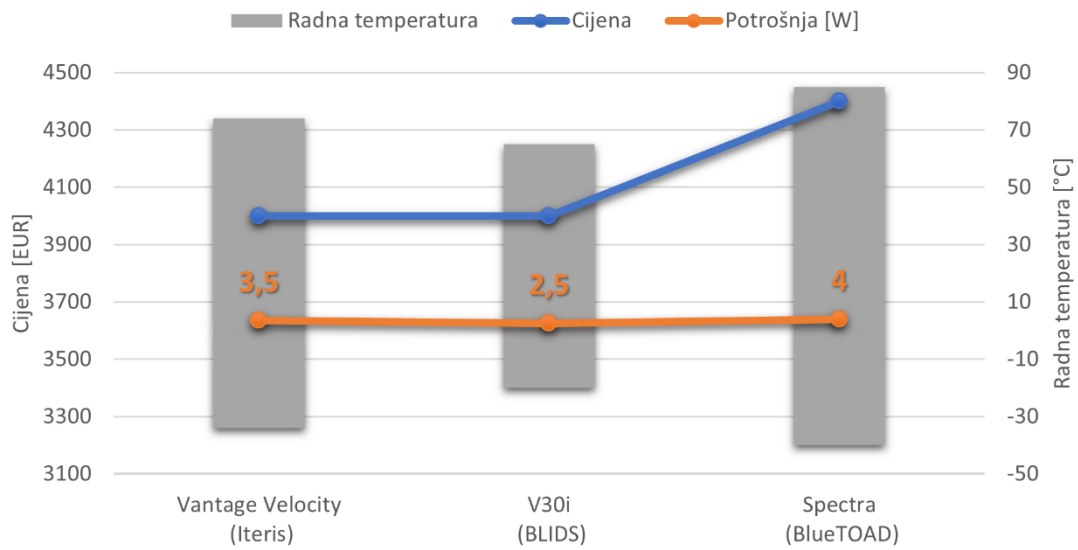
- Vantage Velocity tvrtke Iteris,
- V30I tvrtke BLIDS i
- Spectra tvrtke BlueTOAD.

Bluetooth sustavi specifični za korištenje u kontroli prometa te su dostupni samo po narudžbi. Proizvođači obično nude nadogradnje ovih sustava što povećava njihovu cijenu. Promatrani su osnovni modeli sustava za koje je bilo moguće dobiti podatke od proizvođača.



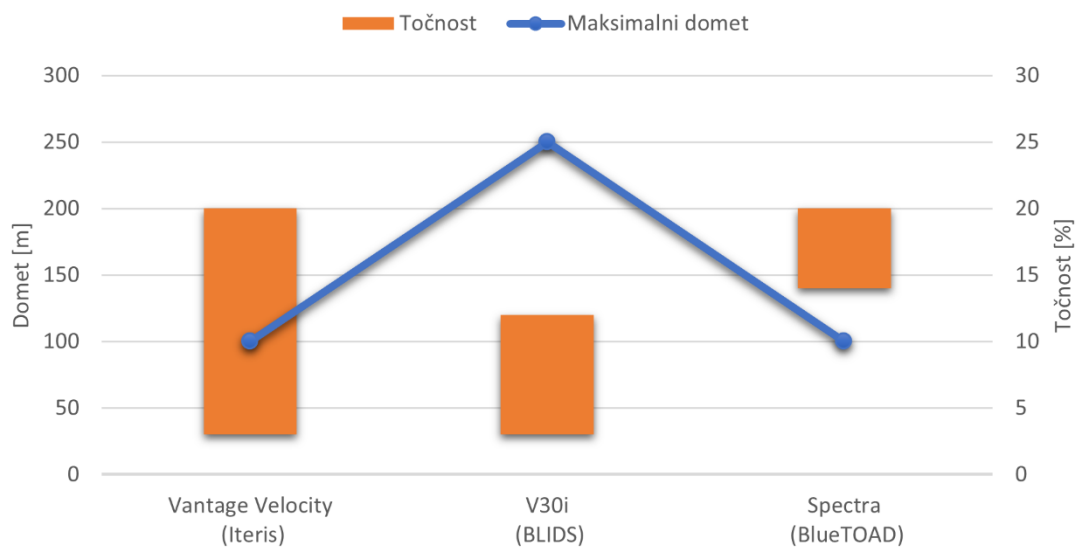
Slika 23. Grafički prikaz cijene i dometa prepoznavanja (Bluetooth)

Slika 23. prikazuje omjer cijene i maksimalnog dometa prepoznavanja prilikom korištenja Bluetooth sustava. Iako model V30i odskoče od druga dva modela po maksimalnom dometu prepoznavanja, uobičajeno je da svi Bluetooth modeli klase 1 omogućuju domet prepoznavanja od 100 metara.



Slika 24. Tehničke karakteristike uređaja (Bluetooth)

Uz prikaz radne temperature Bluetooth sustava, na ovoj slici prikazana je i potrošnja električne energije za svaki od sustava. Iako pokriva najmanji raspon radne temperature, model V30i zbog svoje cijene i najniže potrošnje električne energije, predstavlja najbolji odabir između analiziranih modela.



Slika 25. Grafički prikaz točnosti prepoznavanja i maksimalnog dometa (Bluetooth)

Slika 25. predstavlja grafički prikaz raspona točnosti prepoznavanja korištenjem različitih Bluetooth sustava. Model V30i, iako i postiže najveći domet prepoznavanja, može točno identificirati maksimalno 12% vozila. Raspon točne identifikacije vozila za Vantage Velocity tvrtke Iteris proteže se od 3 do 20%, dok se za BlueTOAD Spectra sustav on proteže od 14 do 20%, te ga taj raspon točnosti po ovim karakteristikama čini najboljim sustavom. Ova analiza potvrđuje kako Bluetooth sustavi imaju vrlo nisku točnost prilikom identifikacije što ih čini pogodnima samo u vrlo specifičnim situacijama.



Slika 26. BlueTOAD Spectra, (79)

## 6. Usporedba tehnologija za identifikaciju vozila

U ovome poglavlju prikazana je usporedba tehnologija prema odabranim tehničko-tehnološkim kriterijima.

### 6.1. Ekonomski kriteriji

Prvi postavljeni kriterij za evaluaciju tehnologija bio je cijena. Intruzivni detektori predstavljaju skupo rješenje jer njihova implementacija i održavanje zahtijevaju zatvaranje prometnice i kopanje. Neintruzivni detektori ne zahtijevaju posebne radove prilikom implementacije, ali na neke vrste utječu vremenske prilike(23). Iako su uglavnom namijenjeni za detekciju vozila, identifikacija je kod nekih vrsta omogućena nadogradnjama, što značajno podiže cijenu.

Cijena RFID sustava odnosi se na ukupnu cijenu čitača, antene i *taga*. Dok su RFID *tagovi* jeftini i u prosjeku koštaju oko 0.50 €, cijena čitača uglavnom se kreće od 800 € do 1500 € (51). Antene se otprilike koštaju 200 €. (52)

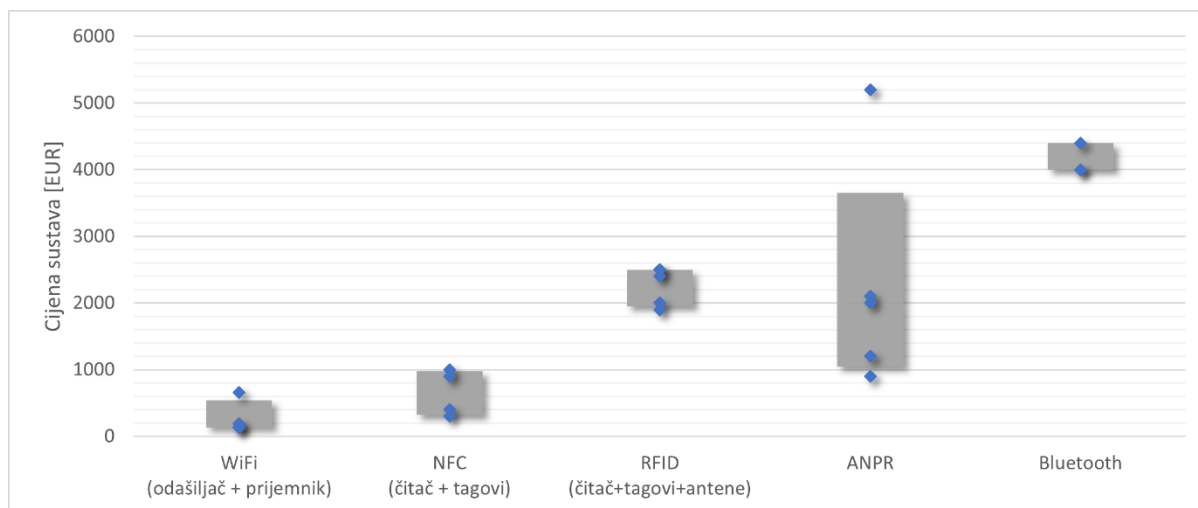
NFC tehnologija predstavlja jeftinije rješenje od RFID tehnologije jer njihovi čitači koštaju otprilike od 55 € do 75 €. *Tagovi* ovisno o kvaliteti, stupnju zaštite (vodonepropusnosti) i drugim karakteristikama koštaju od 0.50 € do 3.50 €. (53)

Cijena Wi-Fi opreme uglavnom se odnosi na cijenu transmitera. Iako oni mogu koštati i preko 600 €, cijene se uglavnom kreću oko 100 €. Jeftinije rješenje predstavlja upotreba *Arduino receivera*. Neki od njih već dolaze s ugrađenim Wi-Fi modulom i njih se može kupiti za otprilike 30 €. Oni bez Wi-Fi modula koštaju otprilike 20 €, ali im je potrebna ugradnja tog modula pa cijena „sustava“ bude oko 45 €. Ograničavajući faktor kod upotrebe *Arduino receivera* predstavlja baterija koja traje 24-48 sati. (54,55)

Bluetooth standard predstavlja poprilično skupo rješenje s obzirom na razvijenost sustava i široku upotrebu. Tvrtka Iteris, nakon upita o cijenama Bluetooth sustava, tvrdi da se cijene svih sustava kreću između 3000 i 5000 €.

Cijene kamera za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka ovise o kvaliteti i mogućnostima kamera. U prosjeku se cijene kreću od 800 € do 3000 €, ali postoje i kamere čije se cijene kreću i do 20000 € (56). Implementacija kamera je relativno jednostavna zato što

se osim postavljanja kamere ne zahtijeva ugradnja dodatnih uređaja i nisu potrebni nikakvi zahvati na vozilu. U cijenu same kamere potrebno je uračunati i svu dodatnu opremu, kabele i zaštitu koju je potrebno postaviti. Na primjer, model Rapier 35 proizvođača MavSystems košta 1840 € dok dodatna oprema košta približno 280 € (57).



Slika 27. Usporedba ukupnih cijena identifikacijskih tehnologija

Slika 27. prikazuje cijene sustava u ovisnosti o odabranim uređajima za evaluaciju. Sivi stupci označavaju prosječan raspon cijena za svaku od tehnologija dok plave točke označavaju cijene svih odabranih uređaja. Iako ANPR tehnologija ima najskuplji uređaj među svim identifikacijskim tehnologijama, izračunom prosjeka cijena za sve tehnologije, Bluetooth zauzima prvo mjesto po skupoći sustava.

## 6.2. Točnost prikupljenih podataka

Točnost detektora varira između različitih vrsta, ali uglavnom pokazuju visoku točnost pri pozicioniranju vozila, podacima o volumenu, zauzeću i brzini vozila na presjeku. Na većinu detektora utječe velika gustoća prometa.

RFID i NFC tehnologije mogu postići točnost čitanja i identifikacije od 98% (58), dok se u različitim izvorima mogu naći i podaci i mjerenja koji ukazuju na 99% ili čak 100%.

Bluetooth i Wi-Fi sustavi na otvorenim cestama pokazuju visoku točnost pri detekciji vozila, ali unutar urbanog područja s velikom količinom prometa dolazi do detekcije svih uređaja u tom području (mobilni uređaji, pametni satovi, GPS uređaji,...). Dok je točnost prikupljenih podataka neupitna, njihova svrhovitost je diskutabilna. Zbog velike

rasprostranjenosti ovih tehnologija njihova točnost prilikom identifikacije vozila može biti umanjena do svega 3%.

Ako se radi o kvalitetnim kamerama, točnost ANPR sustava iznosi između 95 i 98%. Točnost identifikacije može biti značajno smanjena ako kamere nisu pravilno pozicionirane.

### 6.3. Brzina prijenosa podataka

Treći kriterij je brzina prijenosa podataka. Kao što je već navedeno, detektori prometnog toka i ANPR kamere nisu ograničene brzinom prijenosa podataka jer su fizički povezane s poslužiteljem. Ovo vrijedi uz pretpostavku da je propusnost (engl. *bandwidth*) povezujuće infrastrukture prilagođena frekvenciji akvizicije i količini prikupljenih podataka.

Brzina prijenosa podataka u RFID tehnologiji ovisi o radnoj frekvenciji i veličini međuspremnik podataka (najčešće 32 ili 16 bita). Primjerice, niskofrekventni (engl. *low frequency*) RFID standard koji koristi frekvenciju od 125 kHz ima brzinu prijenosa podataka od 4 kbit/s.

NFC standard radi na frekvenciji od 13.56 MHz i brzina prijenosa podataka proteže se od 106 do 848 kbit/s.

Bluetooth tehnologija je u verzijama 1.2 i 2.0 + EDR imao brzine od 1 i 3 Mbit/s, a nakon verzije 3.0, Bluetooth je postigao brzinu prijenosa od 24 Mbit/s koja se održala i u verziji 4.0.

Uređaji korišteni za identifikaciju preko Wi-Fi tehnologije razlikuju se u brzini prijenosa podataka ovisno o tome radi li se o klasičnim transponderima ili izvedbi *receivera*. Transponderi postižu brzinu prijenosa od otprilike 300 Mbit/s, dok se, na primjer, brzina prijenosa kod Arduino *receivera* kreće oko 3 Mbit/s.

### 6.4. Dometa

S obzirom na dometa, detektori prometnog toka mogu se podijeliti na detektore kratkog i dugog dometa. Detektori kratkog dometa tako detektiraju vozilo u blizini zaustavne crte dok detektori dugog dometa mogu detektirati vozilo pri udaljenosti od 80 do 200 m (59). Međutim, nadogradnjama omogućena identifikacija vozila ima veoma mali dometa. Kod induktivne petlje

domet je u stvari veličina petlje, dok je kod kamera vidno polje kamere dakle cca desetak do nekoliko desetaka metara.

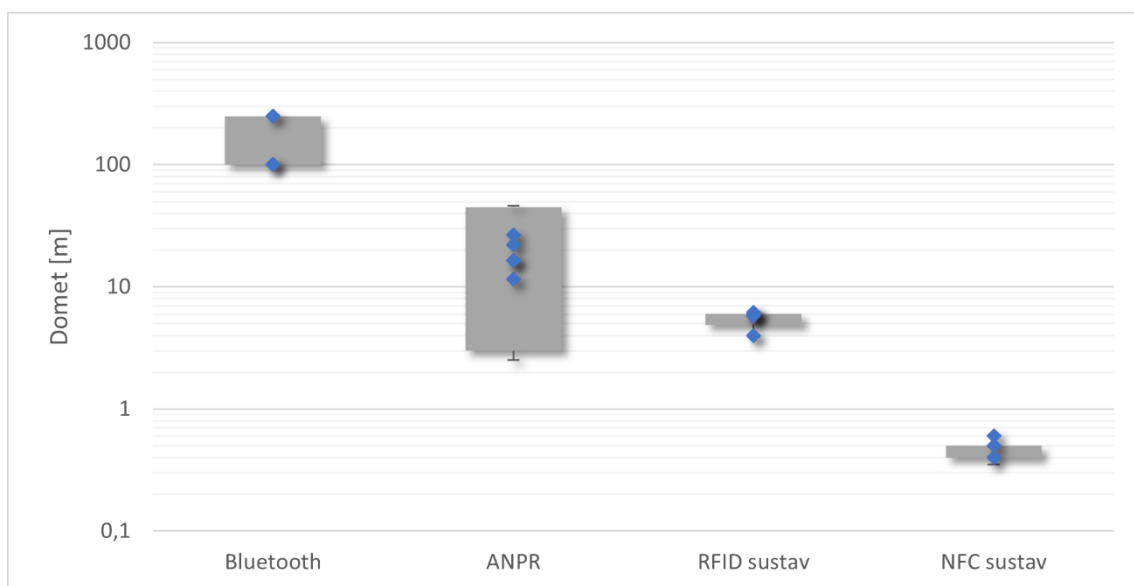
Domest RFID tehnologije, kao što je već navedeno, ovisi o korištenju različitih frekvencija. Tako je za korištenje niske frekvencije domest 30 cm, visoke i mikrovalne frekvencije 1 m i ultra visoke frekvencije 6 m. (26)

Jedina vrijedna razlika između NFC i RFID standarda je domest. Dok pod nekom frekvencijom RFID tehnologija može doseći domest od 6 m, u najboljim uvjetima domest NFC tehnologije ne prelazi 10 cm.

Bluetooth uređaji dijele se u tri klase prema najvećem mogućem domestu. Klasa 1 omogućuje domest od 100 m, klasa 2 10 m, a klasa 3 domest do 1 m (60).

Domest Wi-Fi mreže ovisi o popunjenosti i mjestu na kojem se nalazi. Na otvorenom, Wi-Fi može postići domest preko 300 m (61), ali uobičajeno je domest ove mreže do 100 m.

Ovisno o instalaciji kamere, ANPR tehnologija postiže drugačiji domest. U idealnim uvjetima, maksimalni domest koji ANPR može ostvariti je 35 metara. (62)



Slika 28. Usporedba dometa prepoznavanja identifikacijskih tehnologija

Kao što je navedeno u radu (41), domest Wi-Fi tehnologije nije karakteristika koja se koristi prilikom identifikacije zato što vozilo mora proći između postavljenog Wi-Fi transmitera (spomenutog TL-WDR3600) i Arduino *receivera* (Uno R3 s BlueFly Wifi modulom). Iz tog razloga nije uvršten u ukupnu usporedbu dometa prepoznavanja. Slika 28.

prikazuje odabrane analizirane uređaje za ostale identifikacijske tehnologije. ANPR tehnologija ima širok raspon dometa prepoznavanja koje može ostvariti, no maksimalni domet koji analizirani sustavi mogu ostvariti je 50 metara. RFID se u prosjeku nalazi na 6 metara, dok domet NFC sustava doseže do 6 centimetara. Iako Bluetooth tehnologija pruža najveći domet prepoznavanja, identifikaciju vozila moguće je ostvariti isključivo ako je vozilo opremljeno istom.

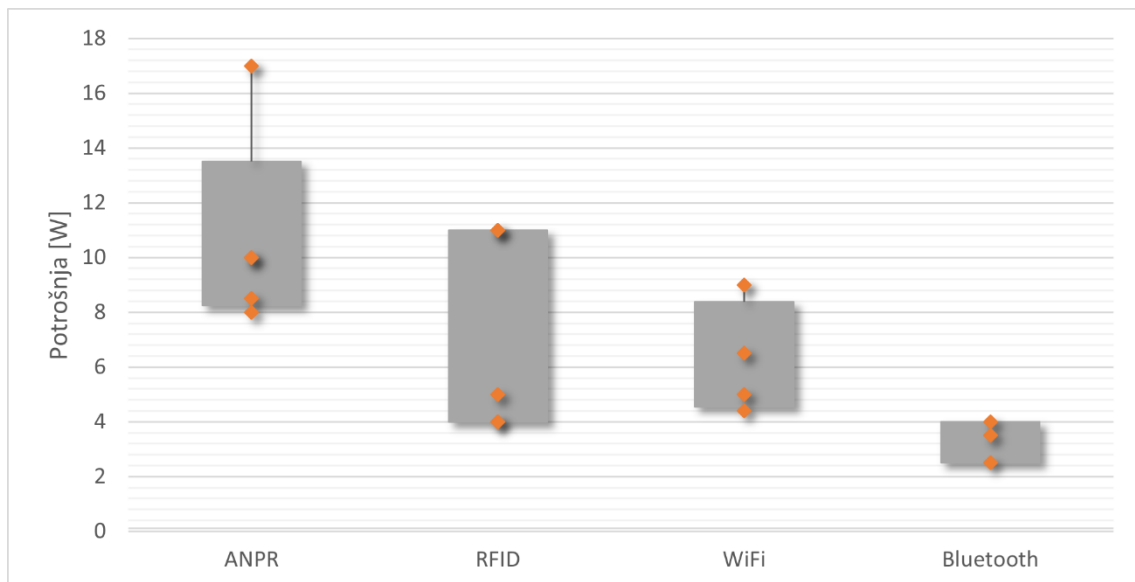
## 6.5. Napajanje

Što se tiče kriterija napajanja, ANPR tehnologija prilikom rada ima najveću potrošnju električne energije. U prosjeku se potrošnja kreće oko 10 W, dok kod jeftinijih sustava potrošnja može biti i veća.

RFID tehnologija ovisno o proizvođaču zahtijeva i različito napajanje. Od analiziranih uređaja, čitači proizvođača Impinj troše 11 W, dok se ostali u prosjeku kreću oko 4 W.

Wi-Fi transmiteri variraju po potrošnji električne energije i protežu se od 4 do 9 W, dok se potrošnja kod *recevera* uglavnom nalazi u rasponu od 0.5 do 2 W (54,55).

Bluetooth tehnologija prema kriteriju napajanja ima najbolje rezultate. Raspon potrošnje električne nalazi se u rasponu od 2.5 do 4 W.



Slika 29. Grafički prikaz električne potrošnje identifikacijskih tehnologija



S obzirom na manjak podataka za analizirane uređaje, iz usporedbe vezane uz potrošnju električne energije izuzeti su podaci vezani uz NFC tehnologiju. RFID tehnologija obuhvaća najširi raspon potrošnje električne energije među analiziranim uređajima, ali najveću potrošnju imaju ANPR sustavi. Treba imati na umu da je prikazana potrošnja jednog uređaja što ovisno o primjeni ne mora biti jednako potrošni cijelog sustava.

## 6.6. Usporedba tehnologija prema kriterijima za evaluaciju

ANPR tehnologija, usprkos visokoj cijeni sustava, predstavlja jedno od najpopularnijih rješenja za identifikaciju vozila. Domet prepoznavanja koji ova tehnologija pruža dovoljan je za identifikaciju vozila koja se gibaju velikim brzinama. Ovisno o modelu kamere, postoje i one koje pokrivaju više prometnih traka te mogu vršiti identifikaciju više vozila u isto vrijeme. Točnost prepoznavanja vozila korištenjem ove tehnologije u teoriji se kreće u rasponu od 95% do 98% što ju čini izuzetno preciznom tehnologijom, ukoliko je sam sustav pravilno instaliran kako bi mogao biti najbolje iskorišten. Bitna stavka koja uključuje odabir identifikacijske tehnologije je i privatnost prikupljenih podataka. Privatnost prilikom korištenja ANPR tehnologije definirana je zakonom i vozači znaju što se točno obrađuje i koliko dugo snimke njihovih vozila ostaju spremljene. Kao što je već navedeno, prema Europskom odboru za zaštitu podataka, preporuča se da pohrana snimki bude kraća od 7 dana jer je u tom periodu dovoljno vremena za obradu. Na taj način smanjuje se nepovjerenje i strah o napadu na osobne podatke. Ukoliko vozač nije napravio prekršaj, u zadanom vremenskom roku koji je unaprijed definiran i dostupan javnosti, snimka njegovog prolaska vozilom bit će obrisana. ANPR tehnologija koristi se u mnoge svrhe, a jedna od njih je i identifikacija vozila na naplatnim postajama u Republici Hrvatskoj.

Na temelju izloženog izrađena je Tablica 4. koja prikazuje komparaciju tehnologija za identifikaciju prema kriterijima. Za orijentaciju glede značenja pridjeva (niska, mala, srednja itd.) ispod tablice navedena je legenda s približnim rasponima.

Tablica 4. Usporedba tehnologija prema općenitim karakteristikama

	<b>Cijena</b>	<b>Točnost</b>	<b>Brzina</b>	<b>Domet</b>	<b>Potrošnja energije</b>
<b>Detektori</b>	srednja/visoka	visoka	/	mali/srednji	srednja
<b>RFID</b>	srednja	visoka	mala	mali/srednji	srednja
<b>NFC</b>	niska	visoka	mala	mali	niska
<b>Bluetooth</b>	srednja/visoka	niska	velika	veliki	niska
<b>Wi-Fi</b>	niska	niska	srednja/velika	veliki	srednja
<b>ANPR</b>	srednja/visoka	visoka	/	srednji/veliki	visoka

Cijena – niska [55 € - 100 €]; srednja [800 € - 2500 €]; visoka [3000 € - 5000 €]  
 Točnost prepoznavanja – niska [3% - 50%]; srednja [51% - 96%]; visoka [97%-100%]  
 Brzina – mala [4 kbit/s – 848 kbit/s]; srednja [1 Mbit/s – 23 Mbit/s]; velika [24 Mbit/s – 300 Mbit/s]  
 Domet – mali [6 cm – 30 cm]; srednji [6 m – 35 m]; veliki [35 m – 100 m]  
 Potrošnja energije – niska [0.5 W – 4 W]; srednja [4 W – 8 W]; velika [8 W – 17 W]

## 7. Zaključak

Inteligentni transportni sustavi predstavljaju napredno rješavanje prometnih problema. Identifikacija vozila, u okvirima inteligentnih transportnih sustava, prikuplja podatke o vozilu tehnologijama poput detektora prometnog toka, RFID, NFC, Bluetooth i Wi-Fi tehnologije, te sustavima za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka.

U inteligentnim transportnim sustavima, uloga identifikacije očituje se u raznim primjenama poput pružanja prioriteta vozilima žurnih službi i vozilima javnog gradskog prijevoza kako bi vozila što prije došla do odredišta. U cilju poboljšanja prometnog sustava razvijaju se i sustavi za adaptivno upravljanje prometom. Identifikacija se u ITS-u koristi i pri elektronskoj naplati cestarine, pri korištenju parkirnih površina i sankcioniranju prometnih nesreća.

Detektori prometnog toka su uređaji koji daju podatke o prometnom toku. Uglavnom su namijenjeni za detekciju vozila, a kod nekih vrsta identifikacija je omogućena nadogradnjama. Obzirom na način postavljanja, dijele se na intruzivne i neintruzivne detektore. Većina ih može prikupljati informacije o prisutnosti, volumenu, zauzeću i brzini kretanja vozila. Identifikacija vozila detektorima zahtijeva nadogradnje koje danas nisu isplative.

Za razliku od detektora prometnog toka, bežičnim tehnologijama koje se koriste u prometu lakše je ostvariti identifikaciju vozila. RFID i NFC sustavi komuniciraju pri određenim frekvencijama i udaljenostima, a zasnivaju se na magnetskoj indukciji. Poznatiji bežični sustavi koji se koriste su Bluetooth i Wi-Fi, bazirani na IEEE 802.11 standardu koji omogućuje brzu razmjenu podataka.

Razvojem umjetne inteligencije razvio se i računalni vid, kao područje koje pokušava oponašati ljudski vid. Razvija se i tehnologija automatskog prepoznavanja registarskih oznaka iz optičkog prepoznavanja znakova za prepoznavanje registarskih oznaka na vozilu. U RH se na naplatnim postajama kao identifikacijska tehnologija koristi ANPR, a točnosti variraju od 75% (Zagreb istok) do 98% (Zagreb Lučko).

Važno je napomenuti problem privatnosti podataka koji se prikupljaju navedenim tehnologijama. Svi prikupljeni podaci smatraju se osobnim podacima i potrebno je upravljati njima u skladu s Općom uredbom o zaštiti osobnih podataka. Ukoliko vozač postupa u skladu sa zakonom, njegovi osobni podaci biti će izbrisani u unaprijed definiranom vremenskom roku.

Analizom tehnologija, utvrđeno je da je najsigurnija tehnologija za očuvanje osobnih podataka RFID tehnologija.

Kriteriji prema kojima su se analizirale tehnologije bili su ekonomski kriteriji, točnost prikupljenih podataka, brzina prijenosa podataka, domet prepoznavanja i napajanje. Na osnovu navedenih kriterija, napravljena je evaluacija za svaku od tehnologija.

Evaluacijom po kriterijima vidljivo je kako je Wi-Fi tehnologija cjenovno najisplativija i da prosječna cijena analiziranih uređaja iznosi 280 €. Bluetooth tehnologija, prema skupini analiziranih uređaja, rezultira kao najskuplja (u prosjeku od 4100 €). Ipak, zbog raznovrsnosti karakteristika ANPR sustava, njihove cijene mogu biti značajno veće od sustava baziranih na Bluetooth tehnologiji (5200 €). Bluetooth tehnologija ostvaruje najveći maksimalni domet za prepoznavanje vozila koji uobičajeno iznosi 100 metara. S druge strane, NFC sustavi zbog svoje karakteristične primjene imaju domet do 6 centimetara. U skupini analiziranih uređaja, ANPR sustavi zahtijevaju najviše električne energije (u prosjeku od 11 W), dok Bluetooth sustavi zahtijevaju najmanje (u prosjeku od 3 W).

Komparacija tehnologija pokazuje kako tehnologija za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka ima visoku cijenu sustava i prilikom usporedbe po ekonomskim kriterijima zauzela je drugo mjesto (Bluetooth tehnologija zauzima prvo mjesto). Unatoč tome, i dalje je jedno od popularnijih rješenja. Točnost tehnologije za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka prilikom identifikacije u rasponu je od 95 do 98%, a domet prepoznavanja proteže se od 3 do 50 metara. Također, postupanje podacima koje kamere za ANPR prikupljaju uređeno je zakonom i osobni podaci se, ako se ne radi o prekršaju, ne pohranjuju.

Komparativnom analizom prikazane su specifikacije svih tehnologija prema unaprijed postavljenim kriterijima. Na temelju analiziranih podataka izrađena je tablica za lakši pregled i odabir optimalne tehnologije. Kriteriji su prikazani pridjevima, a za orijentaciju je navedena legenda s pojašnjenjima raspona. Na temelju odabranih kriterija, grafički je prikazana evaluacija tehnologija koja se odnosi na analizirane uređaje.

Daljnijim razvijanjem identifikacijskih tehnologija omogućit će se poboljšanje svake od njih kako bi prema analiziranim kriterijima mogle ostvarivati bolje rezultate. Većom proizvodnjom i konkurencijom na tržištu, tehnologije će postajati isplativije i više će se primjenjivati. Primjena identifikacije u inteligentnim transportnim sustavima rezultira učinkovitim i sigurnijim prometnim sustavom.

## Literatura

1. Bošnjak I. Inteligentni transportni sustavi I Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2006.
2. Mimbela. LEY, Klein LA. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems.: The Vehicle Clearinghouse; 2000..
3. Guo P, Wang M, Rong H, Wang W. Intelligent Traffic Control Method for Emergency Vehicles Prioritization Based on DSRC Transportation System: SAE International; 2018.
4. Traffic Signal Prioritization. [Online]. [cited 2019. svibanj 16. Available from: <https://www.toronto.ca/services-payments/streets-parking-transportation/traffic-management/traffic-signals-street-signs/traffic-signal-operations/traffic-signal-prioritization/>.
5. Oremović I. Mogućnosti primjene neizrazite logike za određivanje produljenja vremena pojedine faze kod semaforiziranih raskrižja. Zagreb;; 2018.
6. T-Portal. [Online]. [cited 2020. kolovoz 31. Available from: <https://www.tportal.hr/vijesti/clanak/ovako-izgleda-zagrebacka-prometna-dzungla-spremaju-se-drasticne-kazne-za-dva-prekrsaja-foto-20181118/>.
7. Selected Vehicle Priority in the UTMC Environment. [Online]. [cited 2019. svibanj 14. Available from: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/spruce/utmc1rev.pdf>.
8. Al-Mudhaffar A, Bang KL. Impacts of Coordinated Traffic Signal Control Strategies and Bus Priority. In Transportation Research Board 85th Annual Meeting; 2006.
9. Hensher DA. Electronic toll collection. ; 2006.
10. Higuchi T, Kitajima K, Terasaka K, Oshima K, Masumoto S, Sato M. Application of Radio Frequency Identification Technology to Toll Collection System.: Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 53 No 3.; 2016..

11. Sustavi elektroničke naplate cestarina. [Online]. [cited 2019. svibanj 18. Available from: <http://intrasus.eu/sustavi-elektronicke-naplate-cestarina/>.
12. Telepass. [Online]. [cited 2020. ožujak 11. Available from: <https://www.telepass.com/it/privati>.
13. ASFINAG. [Online]. [cited 2020. ožujak 11. Available from: <https://www.asfinag.at/>.
14. ANPR-based Parking Control. [Online]. [cited 2020. siječanj 15. Available from: <http://www.anprparkingcontrol.co.uk/anpr-based-parking-control.html>.
15. ANPR do besprijekornog parkirališnog rješenja. [Online].; 2020.. Available from: <https://www.parkingsustavi.hr/>.
16. Opći uvjeti korištenja podzemne garaže Avenue Mall. [Online]. [cited 2020. siječanj 16. Available from: [https://avenuemall.hr/UserDocsImages/promocije/promocije\\_studeni2018/pravilnik-parkiranja-avenue-malla.pdf](https://avenuemall.hr/UserDocsImages/promocije/promocije_studeni2018/pravilnik-parkiranja-avenue-malla.pdf).
17. Na ceste stigle najmodernije kamere. [Online]. [cited 2020. srpanj 03. Available from: <https://podravski.hr/na-ceste-stigle-najmodernije-kamere-brzina-nije-jedino-sto-ce-nadzirati/>.
18. Ukidanje Tutora za nadzor brzine. [Online].; 2019. [cited 2020. siječanj 11. Available from: <https://revijahak.hr/2019/07/19/nema-vise-tutora-talijanska-policija-ima-novi-sustav-za-nadzor-brzine-na-autocestama-pogledajte-nove-lokacije/>.
19. Speed camera checks wearing seatbelt. [Online].; 2010. [cited 2019. lipanj 23. Available from: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1326035/Speed-camera-checks-insurance-tax-wearing-seatbelt.html>.
20. Chinese driver gets ticket for scratching his face. [Online]. [cited 2019. svibanj 11. Available from: <https://www.bbc.com/news/blogs-news-from-elsewhere-48401901>.
21. Golić N. Naplata ulaska prometa u centar grada. Gospić;; 2016.
22. Brčić D, Šimunović L, Slavulj M. Upravljanje prijevoznom potražnjom u gradovima Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2016.

23. Guerrero-Ibanez J, Zeadally S, Contreras-Castillo J. Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems.: Sensors; 2018..
24. Roberts CM. Radio frequency identification (RFID). Department of Information Sciences, Otago University, New Zealand: Elsevier Ltd.; 2006..
25. Domdouzis K, Kumar B, Anumb C. Radio-Frequency Identification (RFID) applications: A brief introduction.: Elsevier Ltd.; 2006..
26. RFID identifikacija. [Online]. [cited 2019. svibanj 15. Available from: <https://www.cis.hr/www.edicija/RFIDidentifikacija.html>].
27. Žubrinić K. Korištenje sustava za radiofrekvencijsku identifikaciju u poslovanju.: Laus novosti; 2004..
28. Nejati O, Suraki MY. NFC : Smart Recording Of Traffic Violation System. In The 6th International Conference on Application of Information and Communication Technologies; 2015.
29. Što je i kako radi NFC? [Online]. [cited 2020. siječanj 30. Available from: <https://mob.hr/sto-je-i-kako-radi-nfc/>].
30. Vasković J. Primena NFC tehnologije u sistemima plaćanja. 2012..
31. Kim MS, Kim KJ, Lee DH. A Study on the NFC-Based Mobile Parking Management System. In Information Science and Applications (ICISA); 2013.
32. Gandhi BMK. A Prototype for IoT based Car Parking Management system for Smart cities. Indian Journal of Science and Technology. 2016.
33. Nasution SM, Husni EM, Wuryandari AI. Prototype of train ticketing application using Near Field Communication (NFC) technology on Android device. In 2012 International Conference on System Engineering and Technology (ICSET); 2012.
34. Yadav R, Korgaonkar A, Yadav S, Yadav P. Traffic rules violation system using NFC card. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2018. travanj 20.

35. Luber A, Junghans M, Bauer S, Schulz J. On Measuring Traffic with Wi-Fi and Bluetooth. Berlin;; 2011.
36. Srećić A. Komunikacijske sposobnosti i primjena Bluetooth tehnologije. Zagreb;; 2018.
37. Ayodele EG. Using Bluetooth to Estimate Traffic Metrics for Traffic Management Applications. ; 2017.
38. Jaekel E. BLIDS - A Bluetooth/WiFi based traffic data collection system for use in urban and interurban roads. Grambach, Austria;; 2013.
39. WiFi 6 – Revolucija u svijetu bežičnih mreža. [Online]. [cited 2020. kolovoz 30. Available from: <https://veracompadria.com/hr/wifi-6-revolucija-u-svijetu-bezicnih-mreza/>.
40. Wi-Fi Alliance. [Online]. [cited 2020. kolovoz 31. Available from: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>.
41. Gupta S, Hamzin A, Degbelo A. A Low-Cost Open Hardware System for Collecting Traffic Data Using Wi-Fi Signal Strength. Muenster, Germany;; 2018.
42. Krajnović B. Navigacija autonomnih vozila. Zagreb;; 2017.
43. Hrga M. Računalni vid. Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku. 2018.
44. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications: Springer; 2010.
45. Govindan VK, Shivaprasad AP. Character recognition - A review India; 1989.
46. Cheriet M, Karma N, Liu CL, Suen CY. Character Recognition Systems: A Guide for Students and Practitioners: Wiley; 2007.
47. Papac A. Analiza sustava identifikacije i informiranja korisnika temeljenih na primjeni tehnologije AIDC. Zagreb;; 2016.
48. Automatic Number Plate Recognition. [Online]. [cited 2019. svibanj 12. Available from: [http://www.arhungary.hu/101125/doc/arh\\_anpr12\\_flyer.pdf](http://www.arhungary.hu/101125/doc/arh_anpr12_flyer.pdf).



49. Dobar ANPR sustav. [Online]. [cited 2019. svibanj 10. Available from: <http://www.gradimo.hr/clanak/dobar-anpr-sustav-nema-ga-bez-infra-red-rasvjete/7760>.
50. Tomić A. Automatsko prepoznavanje registarskih pločica. Krapina;; 2016.
51. Persad K, Walton CM, Hussain S. Electronic Vehicle Identification: Industry standards, Performance and Privacy Issues. Austin, Texas;; 2007.
52. Videonadzor smije vidjeti samo ono za što je namijenjen. [Online]. [cited 2020. siječanj 10. Available from: <http://zastita.info/hr/clanak/2018/2/videonadzor-smije-vidjeti-samo-ono-za-sto-je-namijenjen,1655,22387.html>.
53. Travel Time on Arterials and Rural Highways: State-of-the-Practice Synthesis on Rural Data Collection Technology. [Online]. [cited 2020. siječanj 22. Available from: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop13029/ch2.htm>.
54. Harrison N. What is General Data Protection Regulation and why does it matter? [Online]. [cited 2019. svibanj. Available from: <https://knect365.com/connected-cars/article/95a27b99-97f9-4830-aecd-4fc17b0ef610/what-is-the-general-data-protection-regulation-gdpr-and-why-does-it-matter>.
55. IP ratings. [Online]. [cited 2020. kolovoz 31. Available from: <https://www.mpl.ch/info/IPratings.html>.
56. TP-Link. [Online]. [cited 2020. svibanj 10. Available from: <https://www.tp-link.com/us/>.
57. Arduino. [Online]. [cited 2020. svibanj 12. Available from: <https://www.arduino.cc/>.
58. Zakon o cestama. [Online]. [cited 2020. rujan 1. Available from: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011\\_07\\_84\\_1790.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011_07_84_1790.html).
59. Shinde AB, Anande RS, Shah SS. Real time number plate recognition for Indian vehicles. Budhgaon, India;; 2015.
60. Liu X, Chien S, Kim K. Evaluation of floating car technologies for travel time estimation. ; 2012.

61. Daniel V, Puglia A, Puglia M. RFID-A Guide to Radio Frequency Identification: Wiley; 2006.
62. Automotive Radar Basics. [Online]. [cited 2020. siječanj 01. Available from: <https://www.everythingrf.com/community/automotive-radar-basics>.
63. Goodall NJ. Fundamental characteristics of Wi-Fi and wireless local area network re-identification for transportation. IET Intelligent Transport Systems. 2016..
64. Guidelines for ANPR Camera positioning & set up. [Online]. [cited 2020. siječanj 15. Available from: <https://static1.squarespace.com/static/5a62285ff9a61e755f2d9f9b/t/5a96e4e753450a754a7981cb/1519838439799/Camera+Set+up+Guideline.pdf>.
65. Bilgin BE, Gungor VC. Performance Comparison of IEEE 802.11p and IEEE 802.11b for Vehicle-to-Vehicle Communications in Highway, Rural, and Urban Areas. International Journal of Vehicular Technology. 2013..
66. 6 Misconceptions About NFC, Explained. [Online]. [cited 2019. rujanj 11. Available from: <https://medium.com/blue-bite/your-questions-answered-7-common-misconceptions-about-nfc-9c580fd66635>.
67. AutoVu SharpX, the fastest ANPR camera in the world! [Online]. [cited 2020. siječanj 03. Available from: <https://resources.genetec.com/blog/autovu-sharpx-the-fastest-anpr-camera-in-the-world>.
68. Comparison of RFID, NFC and Barcode for Inventory Tracking – Part 2 – NFC & Barcode. [Online]. [cited 2019. travanj 04. Available from: <https://rfid4u.com/comparison-of-rfid-nfc-and-barcode-for-inventory-tracking-part-2-nfc-barcode/>.
69. Dedicated Short Range Communications. [Online]. [cited 2019. svibanj 15. Available from: <https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/systems/DSRC.html>.
70. Diljem Hrvatske stižu nove kamere za nadzor brzine. [Online]. [cited 2019. ožujak 26. Available from: <https://net.hr/danas/hrvatska/diljem-hrvatske-stizu-nove-kamere-za-nadzor-brzine-evo-na-koje-ce-122-lokacije-biti-postavljene/>.

71. Smart Parking Management. [Online]. [cited 2019. svibanj 11. Available from:  
<https://www.parking-net.com/parking-industry/dahua-technology#company-products>.
72. Uputa za postavljanje ENC uređaja. [Online]. [cited 2019. svibanj 12. Available from:  
<http://hac.hr/hr/enc/upute-za-koristenje>.
73. Altintasi O, Tuydes-Yaman H, Tuncay K. Detection of urban traffic patterns from Floating Car Data (FCD) Istanbul, Turkey: Elsevier Ltd.; 2016.
74. Boldrini S. Recognition of Bluetooth Signals Based on Feature Detection. ; 2010.
75. TagMaster. [Online]. [cited 2020. srpanj 1. Available from:  
<https://www.tagmaster.com/>.
76. Atlas RFID Store. [Online]. [cited 2020 lipanj 20. Available from:  
<https://www.atlasrfidstore.com/>.
77. Shop NFC. [Online]. [cited 2020. srpanj 1. Available from:  
<https://www.shopnfc.com/en/>.
78. ANPR Cameras. [Online]. [cited 2020. srpanj 1. Available from:  
<https://www.anprcameras.com/>.
79. BlueTOAD. [Online]. [cited 2020. lipanj 15. Available from:  
<https://www.bluetoad.com/>.
80. Haghani A, Hamed M, Sadabadi KF. Data Collection of Freeway Travel Time Ground Truth with Bluetooth Sensors. 2010..

## Popis slika

Slika 1. Upotreba RFID tehnologije za pomoć žurnim službama	4
Slika 2. Traka za vozila JGP-a, žurne službe i taksi vozila, (6)	5
Slika 3. Prikaz ENC uređaja u vozilu; (72)	6
Slika 4. Skeniranje registarske oznake prilikom izlaska s parkinga, (67)	7
Slika 5. Greška u identifikaciji vozača, (20)	9
Slika 6. RFID sustav, (27)	12
Slika 7. Princip rada, (37)	19
Slika 8. Princip rada ANPR sustava	23
Slika 9. Odnos dometa prepoznavanja i cijene (ANPR)	30
Slika 10. Prikaz ostalih tehničkih karakteristika (ANPR)	31
Slika 11. Vizualni prikaz rezolucije snimanja (ANPR)	32
Slika 12. Rapier 35 ANPR kamera, (78)	33
Slika 13. Karakteristike čitača (RFID)	34
Slika 14. Karakteristike čitača 2 (RFID)	35
Slika 15. Omjer radne temperature i cijene antena (lijevo) i tagova (desno) (RFID)	36
Slika 16. ALR-9680 RFID čitač, (76)	36
Slika 17. Odnos cijene, dometa i brzine prijenosa čitača (NFC)	37
Slika 18. Tehničke karakteristike tagova (NFC)	38
Slika 19. uTrust 3700F NFC čitač, (77)	38
Slika 20. Tehničke karakteristike transmitera (Wi-Fi)	39
Slika 21. Tehničke karakteristike Arduino receivera (Wi-Fi)	40
Slika 22. TL-WDR3600 transponder (lijevo) i Arduino UNO WiFi R2 (desno), (56,57)	40
Slika 23. Grafički prikaz cijene i dometa prepoznavanja (Bluetooth)	41
Slika 24. Tehničke karakteristike uređaja (Bluetooth)	42
Slika 25. Grafički prikaz točnosti prepoznavanja i maksimalnog dometa (Bluetooth)	42
Slika 26. BlueTOAD Spectra, (79)	43
Slika 27. Usporedba ukupnih cijena identifikacijskih tehnologija	45
Slika 28. Usporedba dometa prepoznavanja identifikacijskih tehnologija	47
Slika 29. Grafički prikaz električne potrošnje identifikacijskih tehnologija	48

## **Popis tablica**

Tablica 1. Podjela RFID uređaja na klase	14
Tablica 2. Brzine prijenosa podataka za različite verzije Bluetooth-a	17
Tablica 3. IP standardi zaštite	32
Tablica 4. Usporedba tehnologija prema općenitim karakteristikama	50

## **Popis kratica**

ISO – engl. *International Organization for Standardization*

GDPR – engl. *General Data Protection Regulation*

RFID - engl. *Radio-frequency Identification*

V2V – engl. *Vehicle to Vehicle*

V2I – engl. *Vehicle to Infrastructure*

ATCS - engl. *Adaptive Traffic Control System*

SCOOT - engl. *Split Cycle and Offset Optimisation Technique*

SCATS - engl. *Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*

UTOPIA - engl. *Urban Traffic Optimisation by Integrated Automation*

RHODES - engl. *Real-time Hierarchical Optimized Distributed Effective System*

BALANCE – engl. *Balancing Adaptive Network Control Method*

PRIBUSS - engl. *Prioritizing of Busses in Coordinated Signal systems*

ASFINAG – ger. *Die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft*

NFC – engl. *Near Field Communication*

PIN – engl. *Personal Identification Number*

IPS – engl. *Indoor Positioning System*

MAC – engl. *Media Access Control*

EDR – engl. *Enhanced Data Rate*

SIFT - engl. *Scale-Invariant Feature Transform*

SURF - engl. *Speeded Up Robust Features*

OCR – engl. *Optical Character Recognition*

ANPR – engl. *Automatic Number Plate Recognition*

LPR – engl. *Licence Plate Recognition*

IP - engl. *Ingress Protection*



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada

pod naslovom **Evaluacija tehnologija za identifikaciju vozila u inteligentnim transportnim sustavima**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 2.9.2020

\_\_\_\_\_  
(potpis)