

Učinci inteligentnih transportnih sustava na upravljanje prometom u pametnim gradovima

Brčić, Terezija

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:688071>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

TEREZIJA BRČIĆ

**UČINCI INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA NA
UPRAVLJANJE PROMETOM U PAMETNIM GRADOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**UČINCI INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA NA
UPRAVLJANJE PROMETOM U PAMETNIM GRADOVIMA**

**EFFECTS OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS
ON TRAFFIC MANAGEMENT IN SMART CITIES**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Inteligentni transportni sustavi

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Jasmin Čelić

Studentica: Terezija Brčić

Studijski smjer: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112076508

Rijeka, svibanj, 2023.

Studentica: Terezija Brčić

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112076508

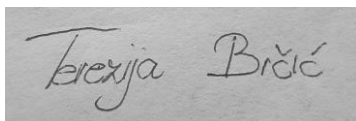
IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom
Učinci inteligentnih transportnih sustava na upravljanje prometom u pametnim gradovima _____
(naslov diplomskog rada)

izradila samostalno pod mentorstvom
izv. prof. dr. sc. Jasmin Čelić _____
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc. Ime i Prezime)

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica



Terezija Brčić

Studentica: Terezija Brčić

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

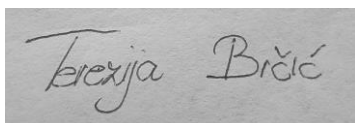
JMBAG: 0112076508

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Studentica – autor

A rectangular box containing a handwritten signature in cursive script that reads "Terezija Brčić".

Terezija Brčić

SAŽETAK

Urbanizacija, povećanje životnog standarda i sve veća potreba za mobilnosti stanovnika u gradovima uzrokovali su veliki broj vozila na cestama. Rezultat toga su zagušenja, prometne nesreće i zabrinjavajuće onečišćenje okoliša. Za rješavanje ovog problema, upravitelji gradskog prometa u pametnim gradovima koriste inteligentne transportne sustave koji, dobro povezani, integrirani sa drugim sustavima i korišteni na način da ispunjavaju svoj puni potencijal, omogućuju optimalno upravljanje prometom. Za njihovu implementaciju i koordinaciju zaslužni su centri za nadzor i upravljanje prometom. Ovaj diplomski rad predstavlja osvrt na prednosti i način funkcioniranja nekih od najpoznatijih naprednih sustava za upravljanje gradskim prometom.

Ključne riječi: pametni gradovi, inteligentni transportni sustavi, optimalno upravljanje prometom, centri za nadzor i upravljanje prometom, napredni sustavi upravljanja gradskim prometom

SUMMARY

Urbanisation, increased standard of living and need for mobility have caused a large number of vehicles on the roads. This has resulted in congestion, traffic accidents and worrying environmental pollution. To address this problem, urban traffic managers in smart cities use intelligent transport systems that, well connected, integrated with other systems and used in a way to fulfill their full potential, allow optimal traffic management. The control centers for traffic management are responsible for their implementation and coordination. This thesis presents an overview of the advantages and functioning of some of the most well-known advanced urban traffic management systems.

Keywords: smart cities, intelligent transport systems, optimal traffic management, control centers, advanced urban traffic management system

SADRŽAJ

| | |
|--|------------|
| SAŽETAK | II |
| SUMMARY | II |
| SADRŽAJ | III |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA | 1 |
| 1.2. RADNA HIPOTEZA..... | 1 |
| 1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA..... | 1 |
| 1.4. ZNANSTVENE METODE..... | 1 |
| 1.5. STRUKTURA RADA | 2 |
| 2. OPĆENITO O AUTOMATSKOM UPRAVLJANJU PROMETOM..... | 3 |
| 2.1. PRIKUPLJANJE INFORMACIJA | 3 |
| 2.1.1. <i>Ručno prikupljanje informacija.....</i> | <i>3</i> |
| 2.1.2. <i>Automatsko prikupljanje informacija</i> | <i>7</i> |
| 2.2. ZADATAK PROMETA | 10 |
| 2.2.1. <i>Model opterećenja mreže</i> | <i>11</i> |
| 2.2.2. <i>Matrice putovanja.....</i> | <i>11</i> |
| 2.2.3. <i>Načelo izbora putovanja</i> | <i>11</i> |
| 2.3. OPTIMIZACIJA PROMETA | 12 |
| 2.3.1. <i>Cestovne mreže</i> | <i>12</i> |
| 2.3.1.1. <i>Kontrola prometne signalizacije</i> | <i>12</i> |
| 2.3.1.2. <i>Koordinacija prometne signalizacije.....</i> | <i>12</i> |
| 2.3.2. <i>Mreža autocesta.....</i> | <i>13</i> |
| 2.4. PREDVIĐANJE PROMETA..... | 14 |
| 2.4.1. <i>Ključni čimbenici prometne potražnje u cestovnom prometu</i> | <i>14</i> |
| 2.4.2. <i>Metode predviđanja prometa</i> | <i>15</i> |
| 3. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U PAMETNIM GRADOVIMA..... | 18 |
| 3.1. PAMETNI GRADOVI | 18 |
| 3.1.1. <i>Pojmovno određenje i značajke pametnih gradova.....</i> | <i>18</i> |
| 3.1.2. <i>Najvažniji elementi pametnih gradova</i> | <i>19</i> |

| | |
|---|-----------|
| 3.2. CENTRI ZA NADZOR I UPRAVLJANJE PAMETNIM GRADOVIMA | 20 |
| 3.2.1. Ustroj centara za upravljanje prometom u gradovima | 21 |
| 3.2.2. Funkcije centara za upravljanje prometom u gradovima..... | 23 |
| 3.3. GRADSKI PROMETNI INFORMACIJSKI SUSTAVI | 24 |
| 3.3.1. <i>ImFlow</i> | 24 |
| 3.3.2. <i>ImCity</i> | 25 |
| 3.3.3. <i>SPECTRA</i> | 26 |
| 3.3.4. <i>ADIMOT</i> | 27 |
| 3.3.5. <i>RMS</i> | 28 |
| 4. PRIMJERI DOBRE PRAKSE | 30 |
| 4.1. PRIMJERI NAPREDNIH SUSTAVA ZA PAMETNO UPRAVLJANJE PROMETOM | 30 |
| 4.1.1. <i>Informacijsko-komunikacijska tehnologija iSMART</i> | 30 |
| 4.1.2. <i>Integracija pametnog sustava za parkiranje u stvarnom vremenu</i> | 34 |
| 4.2. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE PROMETOM U REPUBLICI HRVATSKOJ .. | 41 |
| 4.2.1. <i>Hrvatski Autoklub</i> | 43 |
| 4.2.2. <i>Elektronička naplata cestarine</i> | 44 |
| 4.2.3. <i>Inteligentni transportni sustavi u gradovima Republike Hrvatske</i> | 47 |
| 4.3. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE PROMETOM U EUROPSKIM I SVJETSKIM GRADOVIMA | 54 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 63 |
| LITERATURA | 64 |
| POPIS KRATICA | 69 |
| POPIS TABLICA..... | 70 |
| POPIS SHEMA | 70 |

1. UVOD

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

S obzirom na sve veći problem zagušenja prometa u urbanim sredinama, razvoj pametnih rješenja s vremenom je postao nužnost i neizostavan čimbenik u kontroli, nadzoru i upravljanju prometom. Shodno tome, problem istraživanja ovog diplomskog rada predstavlja utjecaj inteligentnih transportnih sustava na upravljanje prometom u pametnim gradovima. Predmet istraživanja predstavlja elaboriranje sustava za inteligentno upravljanje prometom urbanih gradskih sredina, njihov način rada, prednosti, nedostatke i planove za razvoj u budućnosti. Problem i predmet istraživanja predstavljaju dva međusobno povezana objekta istraživanja: inteligentni transportni sustavi i upravljanje prometom u pametnim gradovima.

1.2. RADNA HIPOTEZA

U skladu sa problemom, predmetom i objektom istraživanja postavljena je sljedeća radna hipoteza:

- Inteligentni transportni sustavi značajno utječu na učinkovitost i optimiziranje prometa u urbanim sredinama.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha i cilj ovog diplomskog rada očituje se u tome da se prikaže način na koji se prikupljaju, obrađuju i koriste informacije ključne za upravljanje prometom u urbanim sredinama te kako se na osnovu tih informacija pomoću naprednih tehnologija stvaraju pametni sustavi za kontrolu i upravljanje prometom.

1.4. ZNANSTVENE METODE

U svrhu pisanja ovog diplomskog rada korištene su sljedeće znanstvene metode: metoda analize i sinteze, induktivna i deduktivna metoda, metoda klasifikacije, metoda deskripcije, metoda kompilacije i povijesna metoda.

1.5. STRUKTURA RADA

Ovaj rad sastoji se od pet poglavlja.

Prvi dio, **Uvod**, sastoji se od potpoglavlja koji detaljnije opisuju problem, predmet i objekt istraživanja, radnu hipotezu, svrhu i ciljeve istraživanja, znanstvene metode i na kraju je navedena struktura rada.

U drugom dijelu rada pod nazivom **Općenito o automatskom upravljanju prometom** analizirane su četiri osnovne komponente naprednog sustava za upravljanje prometom, način na koji se prikupljaju informacije bitne za planiranje i upravljanje prometom, ključni čimbenici koji utječu na potražnju za cestovnim prometom i na kraju metode kojima se predviđa prometna potražnja.

Inteligentni transportni sustavi u pametnim gradovima treći je dio rada koji pobliže analizira pojam pametnih gradova, njihove najvažnije elemente, ulogu i sastavne elemente centara koji upravljaju prometom u pametnim gradovima, te donosi neke od najpoznatijih pametnih sustava koji se koriste za upravljanje urbanim prometom.

Četvri dio rada pod naslovom **Primjeri dobre prakse** elaborira konkretne primjere naprednih sustava za upravljanje prometom u gradovima, gdje su izdvojeni primjeri implementirani u hrvatskim gradovima, a potom i u europskim i svjetskim gradovima.

Posljednji dio, **Zaključak**, donosi sintezu rezultata rada koja dokazuje postavljenu radnu hipotezu.

2. OPĆENITO O AUTOMATSKOM UPRAVLJANJU PROMETOM

Danas se prometna zagušenja smatraju jednim od najvećih čimbenika onečišćenja zraka u svim svjetskim gradovima. Nastojeći smanjiti ovaj problem na što manju razinu, inženjeri i upravitelji gradskog prometa predstavili su tri načina za rješavanje ovog fenomena. Prva metoda uključuje povećanje kapaciteta urbane prometne mreže (engl. Urban Traffic Network - UTN) koja ima nedostatak da se, osim zbog visokih troškova izgradnje, ne može primijeniti u velikom broju urbanih područja zbog gustoće i količine prometa. Druga metoda može se opisati kao zadatak prometa gdje mrežni upravitelji, na temelju informacija koje dobivaju putem softverskih programa o statusu korisnika u mreži, pružaju istima optimalnu putanju. Optimiziranje kapaciteta UTN-a temeljni je dio treće strategije. Ulaganjem napora u regulaciju pokretača prometa korisnicima se pokušava omogućiti što veći kapacitet mreže. Maksimalno iskorištenje kapaciteta mreže znači da je vrijeme gradskog putovanja svedeno na najkraće moguće, ili da je protok u prometu maksimiziran. Stoga se može tvrditi da je napredni sustav upravljanja prometom (engl. Advanced Traffic Management System - ATMS) sastavljen od četiri osnovne komponente: prikupljanja informacija, zadatka prometa, optimizacije prometa i predviđanja prometa [1].

2.1. PRIKUPLJANJE INFORMACIJA

Prikupljanje i prijenos podataka o prometu u stvarnom vremenu postalo je moguće zbog tehnološkog napretka u posljednjih nekoliko godina, koje je zajedno sa povećanjem broja putovanja i zagušenja povećalo interes za prometnim modeliranjem. Trenutno su predložene raznovrsne tehnike za prikupljanje podataka o prometu a mogu se kategorizirati na ručne i automatske [1].

2.1.1. Ručno prikupljanje informacija

Ručne tehnike prikupljanja informacija većinom zahtijevaju male količine podataka na bilo kojoj određenoj lokaciji a najčešće su korištene tehnike za formiranje statistike o prometu. Dvije su najčešće kategorije: ručno brojanje i anketiranje.

Ručno brojanje prometa

Kod ručnog brojanja prometa, sva vozila koja se nalaze u raskrižju ili koja se kreću određenom putanjom pod nadzorom su osobe koja, kroz unaprijed određeni period unosi podatke u odgovarajuće alate. Također se pomoću ove tehnike dobivaju podaci o kategorijama vozila, udjelu skretanja na raskrižjima, popunjenosti vozila ali i pravcima kretanja pješaka. Za bilježenje podataka u ovoj tehnici prikupljanja podataka koriste se tablice, mehaničke ploče za brojanje i elektroničke ploče za brojanje.

- *Tablice*

Bilježenje podataka u tablice najjednostavniji je način ručnog prebrojavanja. Podaci se evidentiraju kvačicom na unaprijed pripremljenim terenskim obrascima a od opreme potreban je sat ili štoperica kako bi se mogao izmjeriti željeni interval.

Intersection Volume Count

Car - passenger cars, delivery vans, sedans, minivans, mopeds, scooters, mopeds, mopeds
Truck - all trucks including school buses and taxis

N/S Street _____ Date _____ Time _____ to _____
EW Street _____ Weather _____

Intersection Control _____ Observer _____

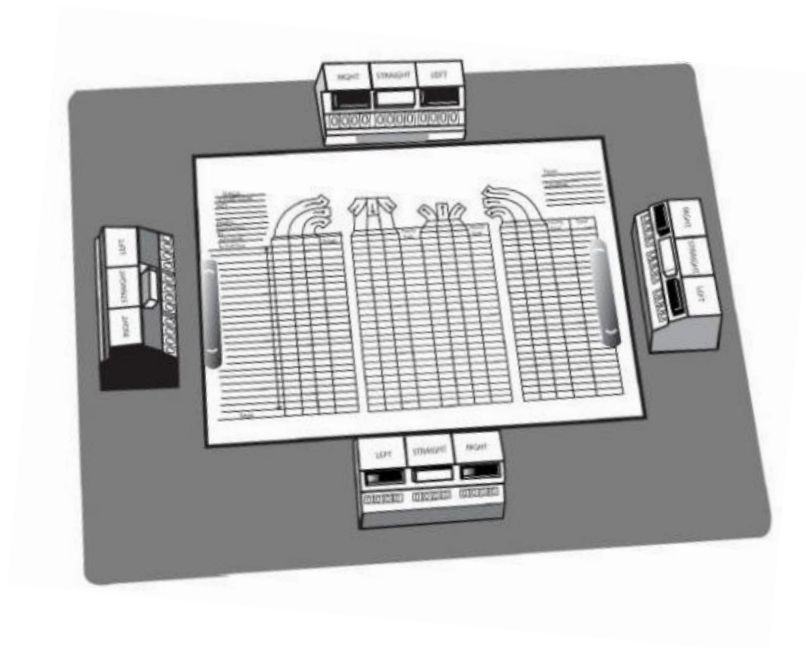
| | | | | | | | |
|--------|--------|------|--------|------|--------|--------|------|
| | Trucks | Cars | | Cars | Trucks | | |
| Cars | Trucks | | | | | Trucks | Cars |
| | | Cars | Trucks | | | | |
| | | | | Cars | Trucks | | |
| Cars | Trucks | | | | | Trucks | Cars |
| | | Cars | Trucks | | | | |
| | | | | Cars | Trucks | | |
| Trucks | Cars | | | Cars | Trucks | | |
| | | | | | | Trucks | Cars |

Slika 1. Obrazac za unošenje podataka o volumenu prometa u raskrižju

Izvor: <https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2002/11/Handbook-of-Simplified-Practice-TrafficStudies.pdf> (4.5.2023.)

- *Mehaničke ploče za brojanje*

Mehaničke ploče za brojanje sastavljene su od brojača koji bilježe svaki smjer kretanja. Obično se prate pješaci, biciklisti, klasificiraju se vozila i mjeri volumen prometa. Tipični brojači su uređaji s tri do pet registara gdje svaki gumb predstavlja različitu vrstu vozila ili pješaka koji se broji. Za mjerenje željenog intervala također je potreban sat ili štoperica.

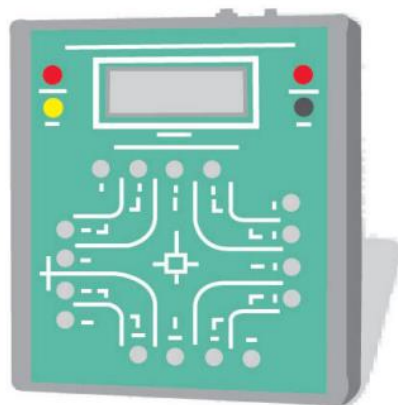


Slika 2. Mehanička ploča za brojanje prometa

Izvor: <https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2002/11/Handbook-of-Simplified-Practice-TrafficStudies.pdf> (4.5.2023.)

- *Elektroničke ploče za brojanje*

Elektroničke ploče za brojanje pripadaju ručnim uređajima na baterije i još su jedna od metoda prikupljanja podataka o prometu. Lakše su, jednostavnije za rukovanje i kompaktnije od mehaničkih ploča. U sebi imaju ugrađeni sat koji automatski razdvaja podatke na temelju vremenskih intervala, imaju mogućnost prenošenja podataka na računalo, štede vrijeme i smanjuju mogućnost ljudske pogreške [2].



Slika 3. Elektronička ploča za brojanje prometa

Izvor: <https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2002/11/Handbook-of-Simplified-Practice-TrafficStudies.pdf> (4.5.2023.)

Gore navedene tehnike brojanja prometa imaju nedostatak što sa sobom nose određene troškove rada u pogledu zapošljavanja ljudi, ali su neizbježne kada ne postoji mogućnost implementacije automatskog brojanja prometa odnosno kada se traže specifični podaci poput kategorizacije vozila.

Ankete

Ishodišno-odredišne matrice (engl. Origin-Destination Matrix - ODM) u pravilu formiraju uprave urbane gradske mreže (u daljnjem tekstu UTM – Urban Traffic Management) na temelju podataka iz upitnika za kućanstva ili raznih anketa koje se tiču ciljanog područja. Za točan izračun ODM-a potrebno je iskustvo i stručnost jer na podatke osim vremenske i financijske ograničenosti, utječu ciljevi i specifičnost tehnike modeliranja matrice.

Jedan od najučinkovitijih načina za dobivanje podataka o trendovima urbanih putovanja je anketiranje kućanstava. U ovoj metodi, u idealnom slučaju, za određivanje odgovarajućeg obrasca moraju se obuhvatiti informacije svakog pojedinca u području istraživanja, što nije moguće zbog prevelikog troška sredstava, vremena i poteškoća s rukovanjem velikom količinom podataka pri fazi modeliranja. Stoga se veličina uzorka određuje na temelju veličine populacije, a ispitanici se odabiru slučajnim odabirom. Tako za populacije koje broje manje od 50,000 ljudi, potrebno je najmanje 10% ispitanih kućanstava, dok za one preko milijun samo 1% populacije [1].

Uz anketiranje kućanstava, potrebne su i druge studije kako bi se modeli mogli kalibrirati i vrednovati, poput anketa vezanih za ishodište i odredište te intervjuiranje sudionika prometa uz cestu. Dok ankete o putovanju daju iznimno korisne informacije za formaliziranje i procjenu ponašanja, poput izbora destinacije ili načina prijevoza, mnogo su manje korisne za konstruiranje ODM-a zbog neadekvatnog broja putovanja u mnogim elementima matrice. Nadalje, ankete se sve više suočavaju sa problemima već u počecima svog formiranja poput pada stope odgovora ispitanika ili velikog broja neprijavljenih putovanja koji smanjuju kvalitetu procjenjene ishodišno-odredišne matrice. Stoga se za generiranje matrice pristupa drugim vrstama izvora poput brojanja prometa uz cestu ili anketiranja javnog prijevoza. Nakon toga prikupljeni podaci se koriste za poboljšanje kvalitete matrice putovanja, iako ne sadrže uvijek sve potrebne informacije. To se, primjerice, odnosi na brojanje cestovnog prometa, koji daje informacije o količini prometa u određenoj točki, a ne na polazištu i odredištu putovanja. Zaključno, ovaj pristup ima dva glavna nedostatka:

- Kreiranje ishodišno-odredišne matrice od prikupljanja podataka do dobivanja prvih rezultata može potrajati godinama
- Prikupljeni podaci su prostorno i vremenski ograničeni [1].

2.1.2. Automatsko prikupljanje informacija

Automatsko brojanje prometa najčešće se koristi za prikupljanje informacija o ukupnoj godišnjoj količini prometa, dnevnim ili sezonskim promjenama ili za praćenje trendova rasta. Podaci se prikupljaju automatskim sustavima pomoću detektora koji mjere mrežne uvjete. Dvije su kategorije ovih prometnih senzora: Detektori u jednoj točki i intervalni detektori.

- *Detektori u jednoj točki*

Ova vrsta detektora postavljena je na fiksnim točkama u prometu i mjeri tražene informacije na točno određenoj lokaciji. Pouzdani su i otporni na vanjske uvjete, ali njihova instalacija i održavanje zahtijevaju visoke troškove. Upravo iz tog razloga razvila se tehnologija detekcije vozila pomoću video snimke koja je, iako osjetljivija na vremenske uvjete, riješila nedostatke svojih prethodnika u pogledu visokih troškova. Najčešće korištena vrsta ovakvih detektora su induktivne petlje koje se dalje mogu kategorizirati u detektore se jednom ili dvije petlje. Detektori sa jednom petljom sastoje se od indukcijske petlje koja generira magnetsko polje i mjeri broj vozila po satu ili postotak vremena kada je detektor zauzet. S

druge strane, detektori sa dvostrukom petljom sastoje se od para detektora s jednom petljom koji su postavljeni vrlo blizu jedan drugome, a osim protoka i količine prometa, mogu mjeriti brzinu i duljinu vozila koristeći vrijeme putovanja vozila između dva senzora [3].

- *Intervalni detektori*

Ova vrsta detektora omogućava točan izračun vremena putovanja između dvije točke. Dijele se u dvije glavne skupine: plutajuće auto podatke (engl. Floating Car Data – FCD) i automatsku identifikaciju vozila.

- FCD ili vozila za sondiranje

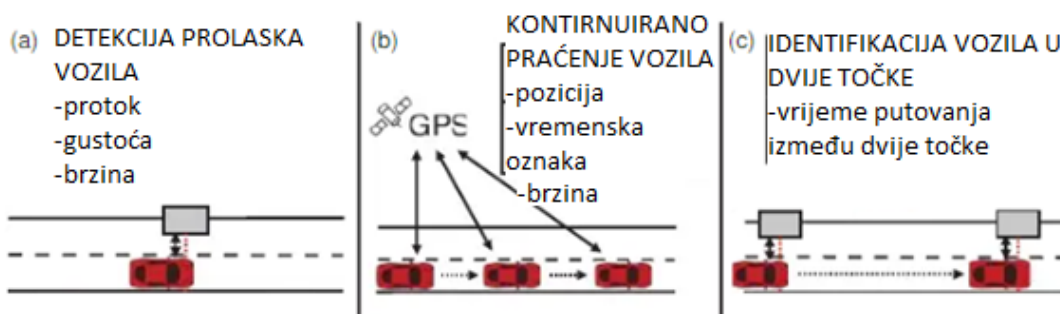
FCD vozila vrsta su vozila koja kruže prometnom mrežom i daju tražene informacije o svojim putanjama. Glavna razlika između njih je u tome što se FCD vozila koriste isključivo za prikupljanje podataka, dok se vozila za sondiranje koriste i za neke druge namjene. Opremljeni su mobilnim i GPS uređajima te svakih nekoliko sekundi šalju centru za upravljanje informacije o svom položaju, smjeru i brzini. S druge strane, široka primjena računalnih uređaja poput pametnih telefona, kamera, GPS uređaja, pametnih kartica itd. omogućila je praćenje. Drugim riječima, načelo FCD-a je prikupljanje informacija u stvarnom vremenu, praćenjem vozila, na temelju podataka koji su primljeni sa mobilnih ili GPS uređaja ugrađenih u vozila. Ovo u osnovi pretpostavlja da svako vozilo ima senzor. Nakon prikupljanja i obrade podataka, upraviteljima i korisnicima dostupne su korisne informacije. Ovisno o vrsti senzora, FCD se može podijeliti na sustave koji se temelje na GPS-u, i na sustave temeljene na mobilnoj mreži [1].

- Automatska identifikacija vozila

Automatska identifikacija vozila odnosi se na identifikaciju određene vrste vozila kada ono prođe određenu točku. Rani razvoj ove tehnologije seže u 1960-te godine kada je u Sjedinjenim Američkim Državama razvijen sustav za identifikaciju teretnih željezničkih vagona. Postoje različite vrste automatske identifikacije vozila, poput sustava automatske naplate, transpondera ugrađenih u vozila, video kamera, i tehnika uspoređivanja registracijskih tablica do novijih sustava za detekciju koje rade na bazi Bluetootha i Wi-fi mreže. Primjena je vrlo široka: naplata za korištenje cesta, predlaganje optimalne rute za vozače, unaprijeđenje UTN menadžmenta, detekcija ukradenih vozila, nadziranje voznog parka kamiona, buseva i taxi vozila. Razvoj ove tehnologije otvorio je i mogućnost

formiranja novih cijena naplate ovisno o dobu dana, vrsti ceste ili tipu vozila što bi značilo veću cijenu za putovanje u vršnim satima ili na posebno zagušenim područjima [1].

Intervalni detektori pružaju visoku točnost i kvalitetan opis situacije u prometu, ali s druge strane mnogi od njih nisu u mogućnosti identificirati sve vrste vozila u UTN-u. Veličina uzorka koju je potrebno uzeti kako bi se dobili što točniji podaci je vrlo velika i teško ostvariva u praksi. Konačno, glavni razlog zašto se u literaturi detektori u jednoj točki češće koriste od intervalnih je taj što su oni već instalirani na mnogim cestama i autocestama, dok intervalni detektori još uvijek nisu prisutni u većini naših cestovnih mreža. U svakom slučaju, u posljednjih nekoliko godina, popularnost intervalnih detektora znatno je porasla s popularizacijom pametnih telefona i očekuje se da će njihova prisutnost u cestovnoj mreži znatno porasti u bliskoj budućnosti.

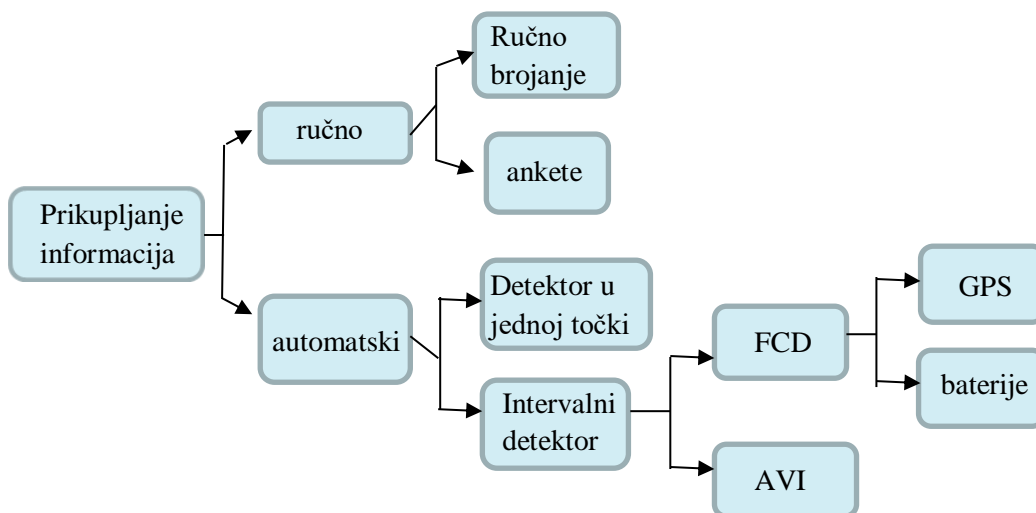


Slika 4. Automatsko prikupljanje informacija pomoću detektora

Izvor: izradila studentica na temelju

https://www.academia.edu/37124082/A_review_of_travel_time_estimation_and_forecasting_for_Advanced_Traveller_Information_Systems_A_review_of_travel_time_estimation_and_forecasting_for_Advanced_Traveller_Information_Systems (5.5.2023.)

Slika 4. prikazuje pod a) detektor u jednoj točki, pod b) vozilo za sondiranje i pod c) detektore za automatsku identifikaciju vozila.



Shema 1. Metode prikupljanja informacija

Izvor: izradila studentica na temelju: <https://arxiv.org/abs/1810.02530> (5.5.2023.)

2.2. ZADATAK PROMETA

Modeli raspodjele prometa ključni su za predviđanje protoka i vremena putovanja u dugoročnom planiranju prometa, kao i u kratkoročnom upravljanju prometnim operacijama. Ovi modeli određuju protok na svakoj prometnici i bilježe podatke o ponudi i potražnji.

Glavni ciljevi su:

- Procjena volumena prometa i dobivanje ukupnih vrijednosti mreže
- Procjena troškova putovanja između zona
- Određivanje obrasca putovanja svakog O-D para
- Identificiranje zagušenih prometnica i prikupljanje korisnih podataka za izgradnju plana kojim će se kontrolirati gradska prometna mreža [1].

S obzirom na gore navedene ciljeve, tri su glavne komponente ovih modela: model opterećenja mreže, matrice putovanja i načela izbora putovanja.

2.2.1. Model opterećenja mreže

Drugim riječima, radi se o komponenti protoka prometa, gdje se modelom opterećenja mreže objašnjava distribucija prometa unutar cestovne mreže. Jedinstveno mapiranje tokova rute predstavlja novi način analize problema raspodjele prometa, a ovaj pristup ima dvije prednosti: prvo, osigurava proporcionalost između vremena putovanja i protoka a kao drugo omogućuje izravan jedinstveni odgovor na problem dodjele prometa jednostavnom provjerom da li je jedinstveno mapiranje kontinuirano ili strogo monotono [1].

2.2.2. Matrice putovanja

Svako kretanje od jedne točke (ishodišta) do druge točke (odredišta) u gradu koje ima neku svrhu naziva se “putovanje”. Imati uvid u količinu generiranih putovanja iz svake zone ključno je za planiranje i upravljanje UTN-ovima. Kako bi se mogla odrediti ishodišno-odredišna matrica potrebno je analizirati različite geografske regije koje predstavljaju zone, a kako bi se modelirao graf prometne mreže, za svaku zonu razmatra se jedan čvor [1].

Tradicionalne metode za procjenu ODM-a koristile su uzorkovana istraživanja velikih razmjera kao što su ankete za kućanstva, intervjui na cesti i metode registarskih tablica koja se provode jednom u svaka 1-2 desetljeća. No, tijekom vremena podaci istraživanja postaju zastarjeli i financijski neisplativi. Posljedično tome, od kasnih 1970-ih predloženi su i naširoko primijenjeni mnogi modeli za procjenu/kalibraciju uzorkovanih/starih matrica korištenjem trenutnih podataka brojanja prometa prikupljenih na skupu veza. Točnost ovih procijenjenih matrica ovisi o pogreškama ulaznih podataka, modelu procjene i korištenoj metodi kalibracije/optimizacije [1].

2.2.3. Načelo izbora putovanja

Načelo izbora putovanja ukazuje na to kako putnici biraju rute, vrijeme polaska, načine i odredišta, tj. modelira sklonost putnika putovanju. Nije lako predvidjeti odabir rute korisnika, a otežavajući čimbenici su:

- Učinak svakog izbora na sljedeće izbore
- Učestalost neočekivanih događaja kao što su prometne nesreće
- Nasumično ponašanje svakog mrežnog korisnika pri izboru rute [1].

S obzirom na ove nedeterminističke parametre, modeli izbora putovanja podijeljeni su u dvije skupine: stohastičke i nestohastičke metode.

2.3. OPTIMIZACIJA PROMETA

Rastući trend urbanizacije i prometnih zagušenja razvio je hitnu potrebu za upravljanjem prometnim sustavima sa maksimalnom učinkovitošću. Jedna od najisplativijih metoda za rješavanje ovog problema je optimizacija gradske prometne mreže. Gradska prometna mreža dinamički je sustav promjenjive prirode koju karakteriziraju međuovisni podustavi, nelinearnost, i veliki broj varijabli poput protoka vozila, redova čekanja i čekanja na semaforima. S obzirom na složenost cjelokupnog sustava, neophodno je razviti inteligentna i ekonomična rješenja kako bi se poboljšala kvaliteta usluge korisnicima. Relativno jeftin način suočavanja sa ovim problemom je osiguravanje optimalne upotrebe već postojeće mreže. S obzirom na infrastrukturu, gradsku prometnu mrežu možemo podijeliti na cestovne mreže i mreže autocesta [1].

2.3.1. Cestovne mreže

Kontrolni alati cestovne mreže dijele se u dvije kategorije i to u prometnu signalizaciju i prometne znakove (npr. znakovi obveze i znakovi zabrane). Kontrola prometne signalizacije smatra se najvažnijom i najučinkovitijom metodom za poboljšanje efikasnosti prometne mreže, a postavlja se u dva koraka: ugradnja signalizacije na svakom pojedinom čvorištu, nakon čega slijedi koordinacija sa mrežom.

2.3.1.1. Kontrola prometne signalizacije

Ovi sustavi mogu učinkovito optimizirati protok uz pomoć dva različita alata: vremensko određivanje trajanja signala i faziranje. Vremensko određivanje trajanja signala znači određivanje trajanja prometnih signalnih parametara. Općenito, tri su glavna izlazna parametra: duljina jednog ciklusa, dodjela i odmak. Duljina jednog ciklusa odgovara jednoj potpunoj rotaciji kroz sve indikacije koje se nalaze na raskrižju, dodjela se odnosi na ukupno vrijeme dodijeljeno svakoj fazi u ciklusu, a odmak predstavlja vremenski odmak zelenog svjetla između uzastopnih raskrižja koji je potreban kako bi se osigurao slobodan protok vozila uz minimalno vrijeme čekanja za određeni smjer.

2.3.1.2. Koordinacija prometne signalizacije

Udaljenost između dva uzastopna raskrižja u cestovnoj mreži u većini slučajeva je dovoljno mala da njihov rad utječe jedan na drugoga. Kako signal na uzastopnim raskrižjima postaje

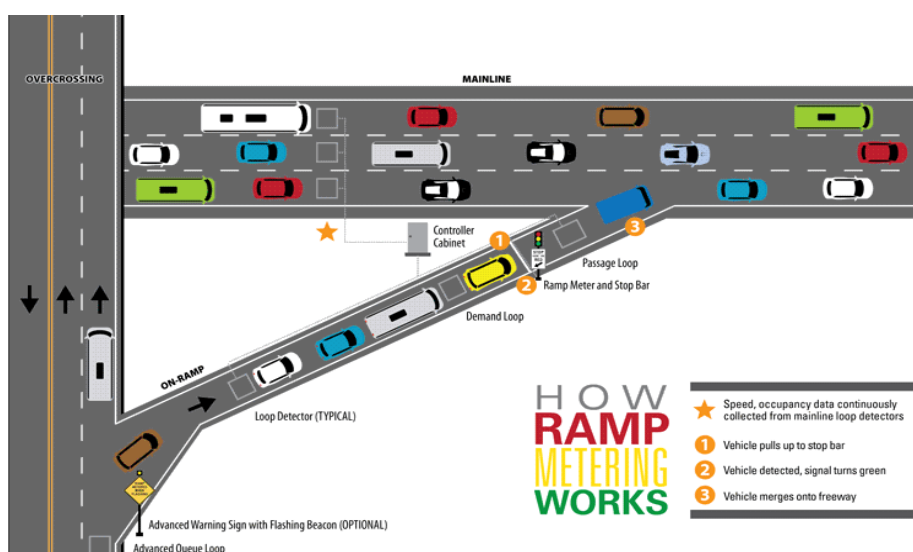
zelen, tako grupa vozila pristiže, i kod usklađenih raskrižja vrijeme kašnjenja i zaustavljanja se smanjuje a efikasnost povećava.

Koordinacijski modeli mogu se podijeliti na strukturu stabla i kružnu strukturu. U strukturi stabla, jedno raskrižje se smatra glavnim čvorom, a ostala su koordinirana s njim na hijerarhijski način. Jednosmjerni i dvosmjerni model zelenog vala dvije su vrste najčešće koordinacije raskrižja ove strukture. Za zeleni val, prometna signalizacija kroz nekoliko raskrižja usklađena je za jedan glavni smjer omogućavajući kontrinuirani promet bez zaustavljanja. U kružnoj strukturi, svaki smjer ima svoj postotak prioriteta s obzirom na gustoću i kapacitet prometnice povezane s raskrižjem.

2.3.2. Mreža autocesta

Mreža autocesta izvorno je zamišljena kako bi korisnicima omogućila gotovo neograničenu mobilnost bez prekida koje stvara prometna signalizacija. Međutim, nagli porast potražnje rezultirao je stvaranjem zagušenja i u ovom dijelu, kako ponavljajućih (koji se stvaraju svakodnevno u vršnim satima) tako i izvanrednih (zbog prometnih nesreća).

U svrhu sprječavanja ili smanjenja zagušenja na autocestama inženjeri mogu poduzeti neke od mjera poput ugradnje signalnih rampi na ulazu autocesta, praćenja stanja i informiranja vozača o prometnoj situaciji, reguliranja brzine ili ugradnje kontrolnog svjetla koji zabranjuje promet o određenoj traci itd.



Slika 5. Signalna rampa na ulazu na autocestu

Izvor: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop14020/sec1.htm> (2.7.2023.)

Ugradnja signalnih rampi najučinkovitiji je način kontrole prometa na autocesti. Defnirana je kao metoda poboljšavanja cjelokupnog rada autoceste ograničavajući vrijeme ulaska vozila na autocestu, a ima dvije svrhe. U slučaju velike gustoće prometa, koristi se održavanje razine ispod kritičnih vrijednosti i smanjivanja mogućnosti stvaranja zagušenja. Druga svrha očituje im se u navođenju vozača na korištenje cestovne mreže. Do sada su predloženi različiti tipovi signalnih rampi a mogu se podijeliti u tri skupine: one sa fiksnom vremenskom odgodom, unaprijed podešenim vremenom signala i na one koje se prilagođavaju trenutnoj situaciji u prometu [1].

Zaključno, inženjeri koje se bave optimizacijom prometa prvo optimiziraju svaki pojedini čvor zasebno. Nakon toga ulažu napore u koordinaciju raskrižja sa ostalim čvorovima u mreži pomoću različitih računalnih, obavještajnih i kontrolnih metoda te izračunavaju najoptimalniji rad signalne opreme za različite periode u danu ovisno o gustoći prometa, paralelno surađujući sa centrima za upravljanje prometom.

2.4. PREDVIĐANJE PROMETA

2.4.1. Ključni čimbenici prometne potražnje u cestovnom prometu

Dosadašnja istraživanja donijela su zaključak da na promjene u intenzitetu prijevozne potražnje cestovnog prometa utječe i trend kretanja prometnih, gospodarskih i demografskih pokazatelja, čije vrijednosti nisu uobičajeno korištene pri predviđanju i izradi prognostičkih modela.

Ovo poglavlje poblize će objasniti ključne čimbenike koji utječu na prometnu potražnju. Prema [29], prometni pokazatelji mogu se svrstati u nekoliko grupa:

- Prometno opterećenje
- Kategorija prometnice
- Geografski položaj
- Motorna vozila
- Prijevoz robe

Također, pri analizi prometnih pokazatelja, pomno se analizira i kolika je stopa promjene za prijevoznom potražnjom kako bi se mogle izračunati statistički veće razlike sredina.

Uzimajući u obzir da su ovi podaci bitni za izradu izradu modela, analiziraju se promjene stopa za godinu, određeno doba godine (pažnja usmjerena na prosječni godišnji dnevni promet - PGDP, prosječni ljetni dnevni promet - PLDP, i prosječni izvanljetni dnevni promet - PiDP), kategoriju prometnice i geografski položaj. Vrijednosti su izražene u postocima [29].

Prometno se opterećenje prati ako bi se utvrdile vremenske neravnomjernosti na stope promjene intenziteta gdje se za željeno razdoblje analiziraju vrijednosti PGDP, PLDP i PiDp. Kategorija prometnice važan je pokazatelj zbog velikih razlika u prometnim opterećenjima i samih prometnih funkcija različitih kategorija prometnica. Pri istraživanju one se dijele na autoceste, županijske i državne ceste. Nadalje, geografski položaj analizira se prema nacionalnoj klasifikaciji prostornih jedinica, trend broja registriranih vozila utječe na prijevoznu potražnju, a analiza za određeni period izvodi se na osnovu stope promjene. Shodno tome da je broj registriranih vozila čimbenik koji utječe na prijevoznu potražnju, potreba za prijevozom robe također je jedan od čimbenika, naročito u zemljama koje nemaju razvijeni željeznički promet [29].

Gospodarski čimbenici koji utječu na prometnu potražnju su: BDP kao pokazatelj ukupne vrijednosti usluga koje su se izvršile u određenoj zemlji kroz neki period; industrija čiji se utjecaj na prijevoznu potražnju računa prema indeksu fizičkog obujma industrijske proizvodnje u određenom periodu; cijene na koje ima utjecaj inflacija i promjene koje se događaju na tržištu; plaća stanovnika koja se gleda kroz nominalni i realni rast neto plaće s ciljem utvrđivanja potrošačke moći stanovništva; gorivo koje ima veliki udio u troškovima cestovnog prometa; zaposlenost jer je potreba za putovanjem na posao jedna od najčešćih razloga putovanja cestovnim prometom i turizam koji ima veliki udio na stopu promjene potrebe potražnje za cestovnim putovanjima.

Demografske čimbenike predstavlja populacija i aktivno stanovništvo.

2.4.2. Metode predviđanja prometa

Predviđanje tokova prometa bitan je element za razvoj naprednog sustava upravljanja prometom (u daljnjem tekstu ATMS – engl. Advanced Traffic Management System). ATMS za procjenu stanja urbane gradske prometne mreže u stvarnom vremenu prvo

prikuplja podatke o prometu, nakon čega primjenom tehnika predviđanja prometa kreira strategiju za poboljšanje i unaprjeđivanje mreže.

Varijable koje se predviđaju su [1] :

- Protok
- Gustoća prometa
- Vrijeme putovanja
- Prosječna brzina svih vozila koji prođu kroz određeno razdoblje

Točnost predviđanja izražava se u smislu vjerojatnosti. Najčešće korištene mjere su korjen srednje kvadratne pogreške (engl. Root mean square error – RMSE) i srednja apsolutna postotna pogreška (engl. Mean absolute percentage error – MAPE). RMSE izražava očekivanu vrijednost pogreške u jedinici koja je ista kao i jedinica podataka, dok MAPE izražava pogrešku kao postotak, što omogućava razumijevanje stope pogreške [1].

Posljednjih nekoliko godina korištene su različite metode za previđanje prometa, a u ovom području mogu se podijeliti na tri glavne:

- Naivne metode
- Parametarski modeli
- Neparametarski modeli

Naivne metode – ove metode ne temelje se na modelima, lako se implementiraju i lako izračunavaju, a karakterizira ih niska točnost. Razvrstavaju se na:

- Trenutne metode – pretpostavlja da su prometni parametri koji se predviđaju konstantne prirode, a njezina točnost je vrlo niska zbog nestabilnosti prometnih uvjeta
- Metoda povijesnih prosjeka – metoda koja računa prosjek s obzirom na prethodne vrijednosti određenih varijabli i u usporedbi sa naprednim tehnikama ove metoda nije konkurentna
- Kombinacija trenutne metode i metode povijesnih prosjeka
- Metoda grupiranja – na temelju sličnih obrazaca koriste prosječne vrijednosti unutar specificirane grupe dana. Mogu se koristiti za pred obradu ulaznih podataka.

Parametarski modeli – poznati model predstavljen na temelju parametarskih metoda naziva se autoregresivni integrirani pomični prosjek (engl. Autoregressive Moving Average – ARIMA). Ova je metoda potpuno rješenje za većinu problema vremenskih serija, a koristi se za kratkoročno predviđanje prometa. Najbolje rezultate daje kada su ulazni parametri stabilni ili kada postoji specifičan vremenski obrazac. Prvi puta korištena je 1979.godine, i od tada predstavlja glavnu metodu za predviđanje vremenskih serija.

Neparametarski modeli – U slučaju neparametarskih modela, najčešće korištena metoda je umjetna neuronska mreža. Nadalje, najpoznatiji modeli umjetne neuronske mreže za kratkoročno predviđanje toka prometa su višeslojni perceptron, neuronska mreža povratnog širenja i neuronska mreža radijalne bazne funkcije [1].

3. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U PAMETNIM GRADOVIMA

Urbani rast i sve veća potreba za mobilizacijom stanovništva uvjetovali su i porast broja vozila na cestama što opterećuje gradsku infrastrukturu a upraviteljima cestovnog prometa donosi brojne izazove u pogledu zagušenja, prometnih nesreća i zagađenja. Razni stručnjaci iz područja prometa kroz godine su svoja istraživanja usmjerili prema otkrivanju prednosti senzorskih i komunikacijskih sustava te adaptivnih dinamičkih tehnologija koje će postojeću mrežu i sustav upravljanja istom učiniti učinkovitijom i kompetentnom za razvoj u pametni grad. Ta transformacija zahtijeva inovacije u planiranju, upravljanju i poslovanju.

3.1. PAMETNI GRADOVI

3.1.1. Pojmovno određenje i značajke pametnih gradova

Pojam ‘pametni grad’ često zamijenjuje koncept grada koji ima sposobnost da u što kraćem vremenu, pomoću najnovije pametne tehnologije optimizira gradske funkcije, podupire gospodarski rast, zadovoljava potrebe građana i poboljšava kvalitetu života u urbanoj sredini. Temeljne odrednice pametnih gradova su infrastruktura koja se temelji na tehnologiji, inicijative za zaštitu okoliša, učinkovit i vrlo funkcionalan javni prijevoz, progresivni gradski planovi, i ljudi koji mogu živjeti i raditi unutar grada, koristeći njegove resurse [4].

Stvaranjem mreže koja je osnovana na bazi interneta stvari u kojoj uređaji poput vozila i senzora komuniciraju i razmjenjuju podatke te integracijom drugih komunikacijskih i raznih softverskih rješenja, pametni gradovi podižu razinu učinkovitosti privatnog i javnog sektora, fizičkih i digitalnih gradskih elementata, ekonomsku korist i bolji način života u urbanom području. Na ovaj način tijela lokalne uprave zajedno sa građanima surađuju u projektima za učinkovitije upravljanje resursima i imovinom.

Porast globalizacije, ubrzani način života i potreba za lakšim i nesmetanim životom dovodi do činjenice da već gotovo 60% ukupnog stanovništva živi u gradovima. Ovaj broj raste svake godine iz čega se da zaključiti da život u urbanoj zoni postaje sve značajniji [4].

3.1.2. Najvažniji elementi pametnih gradova

Kako pametni gradovi sve više postaju potreba današnjice, nužno je da se ispune određeni uvjeti i da postoje elementi koji će ih učiniti pametnim. Potrebno je ispuniti najmanje 5 od ukupno 6 sljedećih elemenata: pametno upravljanje, društvo, infrastruktura i mobilnost, tehnologija, građevine i briga za ljude i okoliš [4].

Pametno upravljanje

Postoje četiri osnovna koncepta pametnog upravljanja gradom:

- Vlada koja zastupa pametni grad
- Pametno donošenje odluka
- Stvaranje pametne administracije
- Pametna urbana suradnja između velikog broja dionika.

Učinkovito i pametno upravljanje gradom pomoću gore navedenih parametara zajedno sa jasnom vizijom, ciljevima, znanjem i voljom za provedbom promjena rezultirat će dugoročnim koristima za cijelu zajednicu. Pametno upravljanje gradom temelji se na inovativnim načinima suradnje, digitalnim prikupljanjem podataka i donošenjem inovativnih rješenja.

Pametno društvo

Pametno društvo predstavlja sustav u kojem građani i čelnici društva na osnovu zajednički donešenih ciljeva provode odluke. Cilj ovakvog sustava je poboljšati rezultate u ekonomskom, ekološkom, društvenom i političkom smislu, a uključuje razna nagrađivanja i poticaje za inovativne pristupe.

Pametna infrastruktura i mobilnost

Mobilnost ljudi je oduvijek predstavljala ključ i pokretač rasta i napretka. Danas, sa sve većom potrebom za mobilnošću zbog povećanja gradova, raste i potražnja za alternativnim načinima prijevoza, novim rutama putovanja, te je sve veći pritisak za optimizacijom sustava. Osobinu mobilnosti pametnog grada predstavlja inteligentno planiranje prometa, proširen javni prijevoz, dobra povezanost svih sudionika u prometu u pogledu komunikacijske infrastrukture (stalno ažuriranje informacija o dostupnosti), protočan središnji dio grada, praćenje tijeka prometa i brzo i učinkovito rješavanje problema.

Pametna tehnologija i energija

Pametnu tehnologiju predstavljaju umreženi uređaji koji prikupljaju i prenose podatke u određena čvorišta. Najčešće su to prijamnici ili senzori koji istovremeno daju povratnu informaciju o količini utrošene energije za svoj rad što vodi ka napretku i održivijoj budućnosti. Sve više se govori o pokušajima smanjivanja globalnog zatopljenja i gospodarskom razvoju društva koji ne šteti istome. Tu imaju važnu ulogu inženjeri, njihova istraživanja i projekti kojima se resursi pametno iskorištavaju, energija koja se pretvara u obnovljivu pomoću pametne tehnologije, i pristupi koji omogućuju integraciju svih tih procesa.

Pametne građevine

Pametnom građevinom može se nazvati zgrada koja automatski kontrolira rad svih svojih elemenata, ima ugrađene senzore za prikupljanje različitih podataka, povećava performanse, svodi potrošnju energije na minimalnu razinu, kao i svoj utjecaj na okoliš te optimizira upotrebu prostora.

Briga za ljude i okoliš

Stvaranje određenog pametnog okruženja putem pametnih tehnologija znači omogućiti svim korisnicima jednostavno i nesmetano komuniciranje sa neposrednim okruženjem u kojem se trenutno nalaze.

3.2. CENTRI ZA NADZOR I UPRAVLJANJE PAMETNIM GRADOVIMA

Infrastrukturni objekti koji su ujedno komunikacijski i telematički, potpuno povezani sa prometnim sustavom određenog grada pomoću senzora, kamera, detektora, i drugih sustava sa dvosmjernom komunikacijom nazivaju se centri za nadzor i upravljanje prometom. Osnovni su dio inteligentnih transportnih sustava a rade prema unaprijed određenim protokolima pružajući informacije u stvarnom vremenu. Upravljaču svim dijelovima prometnog sustava, od protoka i sigurnosti, do preusmjerenja prometa i upravljanja rampama [5].

Nadzorni centri za upravljanje u prometu također komuniciraju sa korisnicima mreže sa [5]:

- Elektronskim znakovima
- Radio vezama
- Mobilnim terminalnim uređajima

Jedna od najbitnijih stavki kojima se nadzorni centri trebaju pozabaviti je procjena točnih informacija koje treba poslati korisniku, kako ne bi došlo zagušenja komunikacijskog kanala, i bespotrebnih informacija koje zbunjuju korisnika. Isto tako važno je pružiti pravovremene i provjerene informacije. Ova vrsta pametnog upravljanja prometom smanjuje mogućnost ljudske pogreške i zbog toga se teži sve većoj automatizaciji istog. Do sada su prometni centri postigli razinu umreženosti samo na lokalnoj razini, a razvitkom tehnologije i pomacima u automatizaciji prometa, planira se razviti do mjere gdje će jedan centar upravljati prometom u cijeloj državi kao bi prometni tok bio što efikasniji i gdje će cijela država biti potpuno umrežena.

Dosadašnja iskustva povezana sa nadzornim centrima pokazala su se vrlo pozitivnim, pogotovo u području brzih odgovora na incidente, kao i povećanja sigurnosti i protočnosti jer se oduzima mogućnost ljudske pogreške ili vanjskih utjecaja na rad sustava. Jedna od mana ovog sustava su početne investicije, koje se uzimajući u obzir sve dobrobiti koje donosi, vrlo brzo pretvore u vrlo isplativu investiciju.

3.2.1. Ustroj centara za upravljanje prometom u gradovima

Pri planiranju izgradnje nadzornog centra u određenom gradu prvi zadatak je procijeniti u kakvom je stanju već korištena oprema kako bi se procijenila mogućnost nadogradnje, popravaka i zamjena dijelova. Neki od osnovnih elemenata su senzori, detektori i druga telematička oprema koja će omogućiti potpunu kontrolu i upravljanje nad prometnim tokom. Isto tako, važno je imati kadar sastavljen od stručnjaka koji će svojim znanjem i vještinama doprinosti što efkasnijem odvijanju prometa u gradu.

Glavni elementi sustava za nadzor su [5]:

- Mjerni dio: kamere koje šalju informacije putem videa, različiti senzori i detektori te induktivne petlje
- Komunikacijski dio: mobilni uređaji, radio veze, bluetooth i WiFi mreža
- Infrastrukturni dio: sam nadzorni centar kao fizički objekt.

Dakle, nadzorni centar kao glavni dio prima i šalje potrebne informacije na osnovu interkacije između korisnika (u ovom slučaju automobila, vlakova, tramvaja i sl.) i prometnica koje predstavljaju prometni znakovi te drugih sudinika u prometu.

Također, sastavni dijelovi nadzornog centra su:

- Poslužiteljska soba: mjesto gdje je pohranjena računalna oprema neophodna za uspostavljanje komunikacije
- Baza podataka: mjesto u kojoj se prikupljaju svi podaci koji se prilažu kao dokaz građanima, istražiteljima ili institucijama koje ih imaju pravo zatražiti
- Upravljačka soba: mjesto rezervirano za operatore, monitore i računala u kojem se odvija nadzor i upravljanje prometom
- Programerska soba: mjesto na kojem informatičari rade na algoritmima i suvremenim softverima
- Mjesto koje služi za sve pogonske strojeve i rezervne generatore
- Skladište u kojem se nalazi sva telematička oprema
- Radionica za servis i popravke opreme
- Ured u kojem se obavlja sav pravni i administrativni rad.



Slika 6. Nadzorni centar za upravljanje prometom

Izvor : <https://www.jpautoceste.ba/kontrola-i-upravljanje-prometom-cokp/> (29.5.2023.)

Slika 6. Prikazuje primjer upravljačke sobe u kojem operater pomoću zaslona, koji prikazuju slike kamera za videodetekciju, svjetosne prometne znakove, brojače prometa, semafore i druge podatke očitane sa prometnica pomoću raznih senzora, prati, rješava administrativne poslove, obrađuje i koristi podatke kako bi mogao informirati korisnike. Također vidljiv je i telefonsko pozivni sistem za komuniciranje sa službama za pružanje pomoći i pružanje drugih informacija putem telefonske veze.

3.2.2. Funkcije centara za upravljanje prometom u gradovima

Centri za upravljanje prometom središte u svih operacija povezanih sa kontrolom, nadzorom i unaprjeđivanjem prometa kako u urbanim sredinama tako i na autocestama i drugim vrstama prometnica. Predstavljaju tehničko i institucionalno središte koje olakšava koordinaciju i integraciju brojnih strategija upravljanja prometom kako bi se postigao zajednički cilj u stvaranju sigurnije, efikasnije i održivije prometne infrastrukture koja zadovoljava potrebu za mobilnošću. Uspjeh ovih centara izravno utječe na efikasnost prometne mreže, gospodarsku konkurentnost regije u premještanju ljudi i dobara i kvalitetu života građana.

Osnovna zadaća nadzornih centara koji upravljaju prometom je ulagati napore u ostvarenje svakodnevnog neometanog prometnog toka. Za to je prvotno bitan kadar stručnjaka, oprema, i mjesta u kojima se pohranjuju podaci.

Dakle, zadatak je centra [5]:

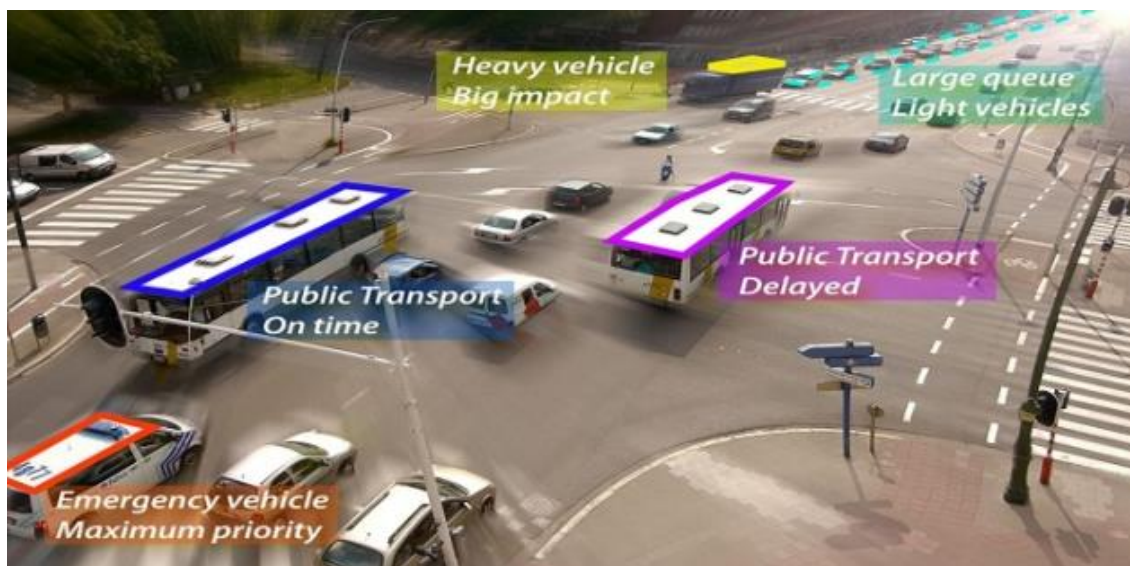
- pružiti informacije o optimalnoj ruti kojom će se korisnici kretati (što rade pomoću algoritama),
- pravovremeno pružanje informacija o trenutnom stanju na cestama,
- detaljna analiza i planiranje daljnjih radnji na osnovu dobivenih podataka prikupljenih pomoću senzora, detektora i drugih tehnologija,
- ručna promjena signalnih planova za prioriteta vozila,
- otvaranje dodatnih trakova u svrhu optimizacije,
- davanje optimalnih ruta, prioriteta i komunikacija sa žurnim službama kada dođe do izvanredne situacije u prometu,
- putno i predputno informiranje putnika i drugih korisnika,
- brojanje prometa na određenim točkama u svrhu povećanja protoka

- analiza meteoroloških uvjeta potrebna za planiranje rute putovanja.

3.3. GRADSKI PROMETNI INFORMACIJSKI SUSTAVI

3.3.1. ImFlow

Royal Imtech NV (IM-AE, pružatelj tehničkih usluga u Europi i izvan nje) lansirao je na međunarodno prometno tržište sustav ImFlow, koji predstavlja visokotehnoški prilagodljivi sustav kontrole prometa. Imtech je odgovoran za kontrolu prometa u raznim velikim europskim gradovima i ima značajne narudžbe vrijedne desetine milijuna eura. ImFlow fleksibilan je sustav nadzora i upravljanja prometom koji pomoću prilagodljivih algoritama koristi stvarnovremenske informacije i omogućava optimalan tok u prometu. Primjenjiv je na raskrižja, zone i velike gradske mreže. Definirani ciljevi u svrhu optimizacije mogu se provesti na svakoj razini mreže, raskrižja i rute što omogućava utvrđivanje prioriteta u prometnim tokovima poput hitnih službi, javnog prijevoza, automobilskog prijevoza, sporog prometa i prometa koji uključuje teške terete. ImFlow optimizira kontrolu prometa naprednijom upotrebom već postojeće infrastrukture, istovremeno smanjujući zagađenje poboljšavanjem protoka u urbanim zonama. Ovaj sustav osvojio je 2012. godine prestižnu međunarodnu nagradu Intertraffic Innovation Award. Postavke sustava postavljene su tako da javni prijevoz ima pametni prioritet, kao što su biciklistima i pješacima dostupne informacije o vremenu čekanja na semaforu. Također je moguća komunikacija sa vozilima koja koristi najnoviju tehnologiju na način da vozilo prikuplja potrebne informacije, a vozač kao povratnu informaciju dobije podatke o zagušenjima i očekivanom vremenu čekanja, na osnovu čega donosi odluku o svojoj ruti putovanja, a istovremeno pridonosi smanjenju gužvi u urbanim središtima. Još neke od brojnih primjena su: plan cirkulacije prometa, dinamični 'zeleni' valovi, davanje prioriteta hitnim službama i eko-vožnja za teški teretni promet [7].



Slika 7. ImFlow sustav

Izvor: <https://peek.hr/proizvodi/imflow/> (29.5.2023.)

3.3.2. ImCity

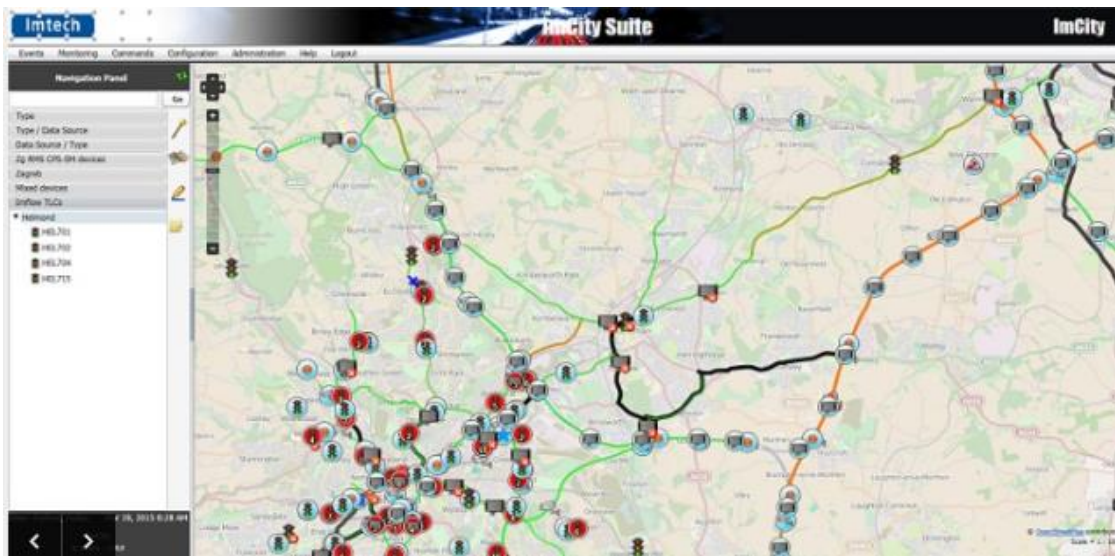
Još jedna od platformi bitna za upravitelje cestovnih mreža je ImCity. Ovaj alat radi na principu da se veliki broj podataka iz drugih podsustava i njihove opreme poveže i pohrani na jedno jedinstveno centralno mjesto. Tako se bitne informacije filtriraju i pomažu u kontroli, automatskom odazivu na incidente i pružanju usluga i informacija.

Prije uvođenja novih tehnologija poput ove, promet u gradskim sredinama bio je kontroliran pomoću određenog broja odvojenih ureda i centara od kojih je svaki imao svoje, drugačije ciljeve i troškove. Kako su se gradovi i urbane sredine sve više širile, stručnjaci su uvidjeli da se međusobnom suradnjom i razmjenjivanjem podataka može povećati efikasnost u njihovom radu. Tako je nastala ideja o stvaranju centralnog sustava koji će povezati već postojeće pojedinačne sustave. Svaki od njih i dalje može imati vlastito sučelje, ali isto tako moraju imati mogućnost uređenja bitnih informacija u jedinstveni oblik koji će ImCity sustav razumijeti i dalje pružiti peraterima mogućnost za razvijanje strategije i odgovora na nastalu situaciju u prometu.

ImCity povećava efikasnost i rezultate upravljanja na način da [8]:

- Smanjuje troškove automatiziranjem
- U korist veće efikasnosti pruža poznato okruženje
- Brzo odgovara na nastale situacije

- Svodi mogućnost ljudske pogreške na minimalnu razinu
- Zahtjeva suradnju i razmjenu informacija između različitih sustava
- Informira putnike i druge sudionike u prometu
- Koristi otvorenu komunikaciju u svrhu omogućavanja interoperabilnosti
- Koristi funkcije inteligentnih transportnih sustava poput kamera, detektora, promjenjivih i drugih prometnih znakova, meteorološke podatke, kontrole pristupa, parkirališta, automatski prepoznaje prometnice, radove na cesti, incidente i druge događaje.



Slika 8. ImCity platforma

Izvor: <https://peek.hr/proizvodi/imcity/> (29.5.2023.)

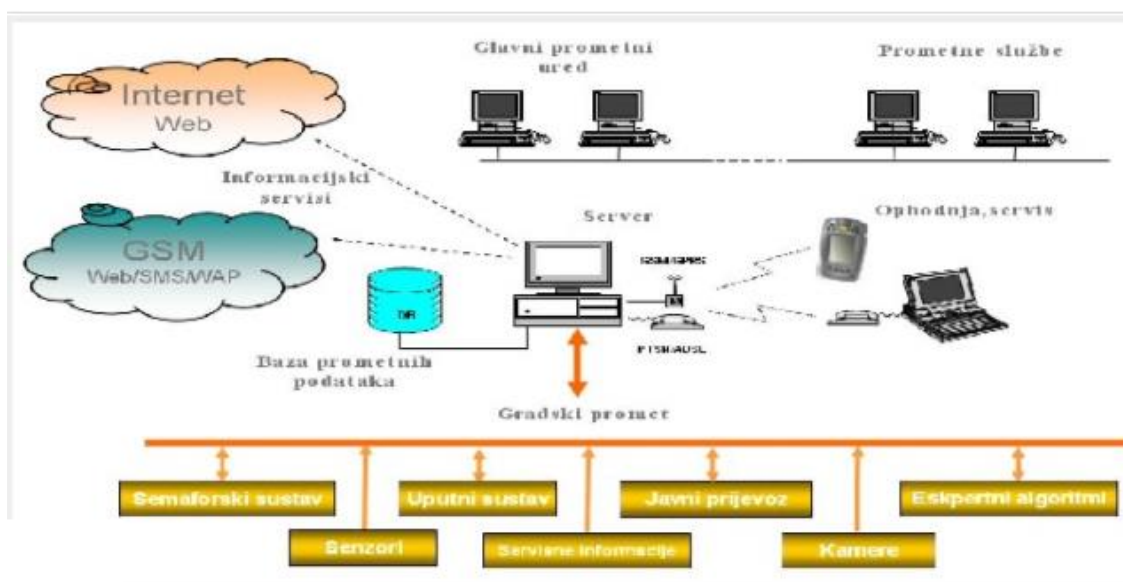
3.3.3. SPECTRA

Gradski prometni informacijski sustav SPECTRA prikuplja i razmjenjuje informacije i prometne parametre različitih prometnih sustava, omogućava centralnu obradu za potrebe prometnih stručnjaka i pruža bitne informacije svim sudionicima u prometu. Podržava kombiniranje funkcijskih modula prema zahtjevima korisnika.

Dvije su verzije ovog sustava: javna i ekspert verzija.

Javna verzija na raspolaganju je svim dionicima prometa. Radi na principu pružanja informacija putem interneta u svrhu planiranja putovanja ili snalaželjja u prometu. Sve je popraćeno interaktivnom kartom grada sa svim potrebnim informacijama koje su dostupne na mobilnim uređajima. To su informacije poput stanja javnog prijevoza, zagušenja u gradu, dostupnosti parkirnih mjesta i brojnih drugih.

Ekspert verziju SPECTRE koriste stručnjaci kojima je potreban nadzor nad cijelom mrežom u svrhu planiranja operacija, izradi prometne statistike, optimizacije sustava te u principu svakodnevnog operativnog rada prometnih službi [9].



Slika 9. Sustav SPECTRA

Izvor: <https://peek.hr/proizvodi/spectra/> (30.5.2023.)

3.3.4. ADIMOT

ADIMOT je sveobuhvatan alat za pametno upravljanje prometom koji koristi najnovije tehnološke i inženjerske norme u ovom području. Uz centralizirano upravljanje semaforima, sustav omogućuje i nadzor nad kontrolom pristupa, otkrivanje prometnih prekršaja, prioritizaciju javnog prijevoza, pružanje informacija korisnicima putem poruka ili video kamera, te doprinosi energetske učinkovitosti i smanjenju kašnjenja.

U skladu je sa svjetskim normama povezanim sa protokolom komunikacije sa različitim dijelovima opreme na licu mjesta: uključuje multi-algoritamski sustav upravljanja koji se može koristiti za uspostavljanje različitih operativnih strategija kao što su vremenski utemeljeni, dinamički odabir, generiranje, adaptivni i mikroregulacijski planovi itd [10].

Grafički zaslone omogućavaju rad sustava sa sljedećim funkcijama [10]:

- Pristup sustavu kroz identifikaciju korisnika sa različitim profila
- Pristup dijelovima sustava sa geolokirane karte
- Lako konfiguriranje – osnovna za male, a napredna konfiguracija za velike objekte

- Pristupanje povijesnim informacijama
- Višejezična podrška
- Različiti formati izvješća: pdf, excel, itd
- Prikaz razine zagušenja, stanja opreme i upozorenja, u stvarnom vremenu na kritičnim točkama
- Prikaz slika kamera i raskrižja u stvarnom vremenu



Slika 10. ADIMOT sustav

Izvor: [https://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/UT_ADIMOT_ENG_\(6\).pdf](https://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/UT_ADIMOT_ENG_(6).pdf) (30.5.2023.)

3.3.5. RMS

RMS (engl. Remote Monitoring System) sustav je nadzora i upravljanja semaforima. Održavanje opreme i semafora znatno je olakšano i pojednostavljeno ovom tehnologijom zbog brzog pristupa istima putem interneta, prikaza sučelja prema specifičnim zahtjevima i definiranja korisničkih prava. Operater je obaviješten o problemu putem SMS ili e-mail poruke. Na prvi pogled, geografska karta RMS-a pruža uvid u stvarnovremenske informacije stanja praćene opreme. Pojedinačnim prijavljivanjem problema, kvarovi se vrlo lako lociraju i specificiraju, a mogućnost izravnog pristupa operatera vlastitim zapisima o kvaru praćene opreme skraćuje vrijeme od dijagnoze kvara do slanja inženjera na teren. Također, ugrađeno je automatsko upozorenje na probleme koje osoblje opet dobiva putem SMS poruke. Informativni podaci u stvarnom vremenu mogu se prikupiti i iz terenskih uređaja što doprinosi razumijevanju obrasca uporabe. Daljinsko upravljanje pojedinačnim, ili grupom uređaja postiže se izdavanjem naredbi od strane ovlaštenih korisnika. Operacije se također mogu odvijati u bilo koje doba dana [11].

RMS unaprijeđuje kontrolu i sustav upravljanja opremom na način da [11]:

- Poboljšava učinkovitost upravljanja greškama omogućavanjem istovremenog pristupa informacijama za više korisnika
- Olakšava identifikaciju kvarova pružanjem informativnih prikaza temeljenih na geografskim kartama
- Omogućava korisnicima pregled potrebnih informacija prilagođavanjem svoje opreme
- Omogućava pristup mnogim korisnicima, ali se dozvole mogu klasificirati na odgovarajuće razine
- Smanjuje vrijeme odgovora na kvar zbog ugrađenih alata za trenutne obavijesti
- Smanjuje vrijeme upozoravanja inženjera na problem putem SMS ili e-mail poruke
- Minimizira napore potrebne za nadzor na opremom
- Poboljšava sigurnost prometa



Slika 11. RMS sustav

Izvor: <https://peek.hr/wp-content/uploads/2017/08/RMS.pdf> (30.5.2023.)

4. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

4.1. PRIMJERI NAPREDNIH SUSTAVA ZA PAMETNO UPRAVLJANJE PROMETOM

4.1.1. Informacijsko-komunikacijska tehnologija iSMART

Bolji ekonomski uvjeti i poboljšanje životnog standarda doveli su do povećanja broja osobnih i teških vozila čije pristustvo na cestama uzrokuje prometne gužve, zastoje i produžuje vrijeme putovanja naročito u urbanim sredinama sa visokom koncentracijom ljudi. Problem ovog tipa rješava se pomoću ulaganja u učinkoviti sustav upravljanja prometom poput sustava iSMART, o kojem će se više govoriti u ovom poglavlju. Baziran na IoT (engl. Internet of Things) senzorima, obradi slike, GPS-u, analizi podataka i sigurnoj komunikaciji, pruža optimizaciju rute temeljenu na podacima u stvarnom vremenu, uzimajući u obzir razne situacije u prometu. Ne samo da je jednostavan za instalaciju, nego je i dokazano učinkovitiji od mnogih drugih tipičnih pametnih sustava upravljanja prometom.

Glavni elementi iSMART sustava su [12]:

- *Poslužitelj pametnog upravljanja prometom*: ovo je središnji poslužitelj dostupan na gradskoj razini i odgovoran za cjelokupnu administraciju i kontrolu gradskog prometa. Podatke prima preko žičanih ili bežičnih veza različitih upravljačkih jedinica, povezanih preko zaštićenih internetskih komunikacijskih kanala velike brzine.
- *Centralna baza podataka*: pouzdana je i sigurna baza podataka koja se koristi za pohranu i preuzimanje informacija o prometnim nezgodama, video zapisa, podataka o analizi prometa i izvješća o stanju u prometu. Izgrađena je na temelju MySQL baze podataka a prima podatke sa centralnog servera. Također pruža relevantne podatke natrag na centralni poslužitelj kada se to zahtijeva.
- *Mrežna kontrolna jedinica* (engl. Node Controller Unit - NCU): predstavlja različita područja raspoređena po gradskoj cestovnoj infrastrukturi. Uobičajeno je da svaka kontrolna jedinica mora biti instalirana na svakih 500 metara ovisno o tipičnim prometnim područjima i cestama koje prolaze kroz gusto naseljena područja. Svaki NCU sastoji se od 32-bitnog ugrađenog kontrolora koji je povezan sa softverom,

algoritmima za prijenos slika i videa te sustavima za upravljanje alarmima i obavijestima. Svrha mu je pratiti gradski promet, prometne gužve i bilježiti hitne slučajeve. Podatke dobiva putem zaštićenih komunikacijskih kanala kroz senzore, signalne kontrolere, dnevne i noćne kamere, termalne prometne kamere, kamere visokih rezolucija i iSMART mobilne aplikacije (koja mora biti upravljana od strane osvlaštenog osoblja poput prometne policije i drugih).

- *Signalna kontrolna jedinica* (engl. Signal Controller Unit - SCU): kako samo ime sugerira, SCU naziv je za upravljačku jedinicu koja kontrolira rad prometne signalizacije za određeno područje. Glavna svrha je upravljanje svjetlima na semaforu prema ishodu koji daje algoritam u stvarnom vremenu. Također u svaki SCU ugrađen je 32-bitni kontrolor. Ova upravljačka jedinica pruža povratne informacije NCU u slučaju bilo kakvog kvara. Dakle, NCU djeluje kao poslužitelj dok SCU predstavlja klijenta.

Još neki od elemenata iSMART sustava su:

- Kontrolni releji
- LED svjetla
- Napajanje
- Kabeli za Ethernet, napajanje i signal
- GPS
- Switch uređaj ili preklopnik
- Razglasni sustav
- Postojeća IT infrastruktura

Tijekom razvoja prototipa iSMART, uzimale su se u obzir najbolje moguće značajke i funkcionalnosti koje može pružiti sustav pametnog upravljanja prometom poput jednostavnog dizajna, lakog upravljanja, učinkovitosti i niskih troškova implementacije, uporabe i održavanja. Sustav je testiran u laboratorijskom okruženju koristeći velike podatke simuliranog prometa, referentne slike i videozapise, GPS koordinate referentne lokacije kao i simulirane incidentne situacije i obavijesti.

Glavne značajke i funkcije koje podržava iSMART [12]:

Kontrola i upravljanje prometom

Mrežne i signalne kontrolne jedinice rade zajedno na temelju strategije koju donosi središnji poslužitelj, a za razliku od uobičajenih algoritama kontrole prometa, iSMART nadzire i upravlja prometom stvarnovremenskim informacijama koje dobiva od IoT senzora i iSMART mobilne aplikacije.

Treba napomenuti da izvanredne situacije poput nailaska konvoja, kretanja vozila hitne medicinske pomoći u suprotnom smjeru, iznenadnog kvara vozila na cesti i slično, dovode do neuobičajene situacije u prometu i one se uzimaju u obzir pri izradi strategije upravljanja i preusmjeravanja prometom. Softver za kontrolni algoritam radi u sklopu NCU-a, dok se stvarna kontrola signalnih svjetla odvija od strane SCU-a. Izlaz kontrolnog algoritma odlučuje o trajanju zelenog i crvenog svjetla. Razdoblje 'ON' izlaznog signala primjenjuje se na zeleno svjetlo, dok je razdoblje 'OFF' primjenjivo na crveno svjetlo. Trajanje žutog svjetla normirano je i može biti konfigurirano unaprijed prema navedenim kategorijama gustoće prometa. Treba napomenuti da SCU olakšava ručni način rada gdje kontrolor prometa ili drugo ovlašteno osoblje može ručno upravljati indikatorima signala uključivanjem ili isključivanjem indikatora na način na koji to situacija zahtjeva. Takav način upravljanja nadjačava automatsku kontrolnu logiku, i u takvim scenarijima SCU postaje operativan u ručnom načinu rada sve dok se ne vrati na automatske postavke.

Na temelju informacija dobivenih iz različitih izvora i obrade tih podataka, NCU klasificira prometne situacije u šest različitih kategorija:

- Prometna gužva
- Vrlo velik promet
- Veliki promet
- Umjereni promet
- Slab promet
- Nema prometa

Upravljanje incidentima i hitnim slučajevima

iSMART POC (engl. Proof of Concept) nema zasebni poslužitelj za upravljanje incidentima, nego se upravljanje incidentima zajedno sa upravljanjem hitnim slučajevima izvodi pomoću iSMART centralnog prometnog upravljačkog poslužitelja i NCU-a. Ovdje nadzor nad incidentima provodi ovlašteno osoblje zajedno sa IoT sensorima. Specijalizirani softver za video obradu kao dio NCU-a pokušava odmah identificirati incidente čim se oni dogode, nakon čega lokaciju potvrđuje ovlašteno osoblje za kontrolu prometa pomoću upozorenja na iSMART mobilnoj aplikaciji. Zatim se obavijest šalje na središnji poslužitelj putem mreže poruka sa točnom lokacijom, snimkom u stvarnom vremenu i kategorijom incidenta. Središnji poslužitelj po primitku poruke ažurira bazu podataka te šalje upozorenja hitnim medicinskim službama, vatrogasnim službama, timovima za hitno spašavanje i sličnima ovisno o tipu izvanredne situacije [12].

Planovi za budućnost

Ideja o posjedovanju iSMART pametnog sustava upravljanja prometom nedvojbeno je dokazala brojne koristi. Gradovi koji žele iskoristiti puni potencijal ovog sustava trebali bi posjedovati sve elemente sustava, a za budućnost je predviđeno poboljšanje u sljedećim značajkama:

- Optimizacija rute sa dodatnim značajkama poput najbližeg parkinga, procjena naknada za cestarinu i točno vrijeme dolaska na odredište
- Osim Androida, iSMART aplikacija dostupna i za IOS uređaje
- Pristup nadzornoj ploči prometa putem centralnog servera za stanovnike pametnog grada
- Prometna upozorenja i obavijesti za veći broj dionika u prometu ovisno o području u prometu kojim se kreću

Zaključno, pilot projekt 'iSMART' dizajniran je da uključuje neke od najvažnijih značajki pametnog upravljanja prometom, testiran u laboratorijskom okruženju sa simuliranim podacima, videosnimcima snimljenim u stvarnim prometnim situacijama, i kartama dobivenim pomoću aplikacija poput Google Maps i sl. Ovakav sustav predstavlja praktičan alat za vozače i putnike, koji može podržati još brojna poboljšanja a dosadašnja istraživanja dala su ohrabrujuće rezultate. Radi brze povratne informacije, testiran je na određenom broju

korisnika koji su bili zadovoljni sa brzim razvojem, dostupnosti besplatnih licencnih softverskih alata, i nižih troškova izgradnje cjelokupnog sustava.

4.1.2. Integracija pametnog sustava za parkiranje u stvarnom vremenu

Razvoj gradskih središta i sve veći broj vozila na cestama diljem svijeta dovode do evidentnog porasta potražnje za parkiralištima u urbanim središtima, što ozbiljno utječe na kvalitetu prometa. Potraga za slobodnim parkirnim mjestom povećava volumen prometa, a procjenjuje se da više od 70% europskog stanovništva živi u urbanim središtima pod gotovo stalnim utjecajem zagađenog zraka i buke uzrokovane prometom na cestama. Ali, pored onečišćenja, problem potrage za slobodnim parkirnim mjestom uzrokuje više od 30% uobičajenih ukupnih prometnih zagušenja koji su rezultat svakodnevnih putovanja i zastoja u prometu zbog radova na cestama, prometnih nesreća i povezanih prometnih problema. Prosjek traženja slobodnog parkirnog mjesta je do 20 minuta [31].

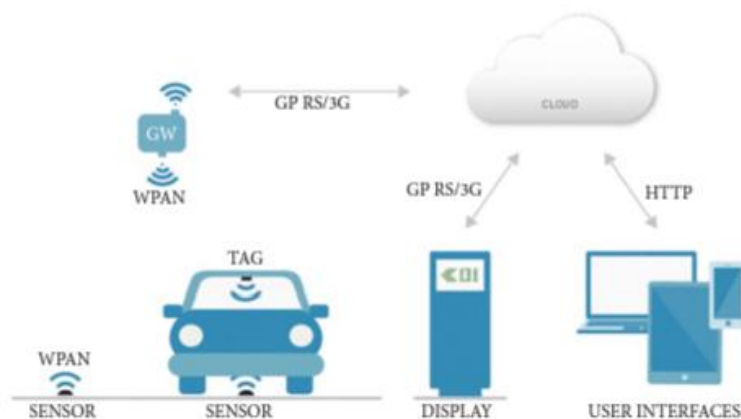
S ekonomskog stajališta, u 2010. godini zagušenja nastala zbog traženja parkinga prouzročili su u Americi 4,8 milijardi sati kašnjenja, 7,2 milijarde litara dodatne potrošnje goriva i trošak od 101 milijardu dolara. Samo u Los Angelesu u potrazi za slobodnim parkirnim mjestima 2010. godine potrošeno je 178 000 litara goriva i proizvelo se čak 730 tona ugljičnog dioksida [31]. Ponašanje vozača pri odabiru vrste i lokacije parkirališnog mjesta, kao i donošenje konačne odluke, ovisi o mnogim čimbenicima i predstavlja znatno složeniji proces, kojem treba posvetiti mnogo više pozornosti.

Zahtjev za raspoloživim parkirnim mjestom je dinamička vrijednost, tj. vrijednost koja se mijenja tijekom vremena, tako da postoji potreba da se vozačima osobnih automobila u stvarnom vremenu pruže informacije o lokaciji i stanju parkiranja. Sustavi za pružanje informacija o parkiranju koji se nude korisnicima već su se počeli koristiti u nekim svjetskim gradovima prije više od 20 godina i mogu se pronaći pod nazivima poput „A Guided Parking System” ili “Dynamic Parking Guidance System”. Upotrebom sustava za navođenje i informiranja o parkiranju (engl. Parking Guidance and Information system – PGI) moguće je u određenoj mjeri poboljšati proces parkiranja i povećati njegovu uspješnost i učinkovitost.

Obično se PGI sastoji od 4 komponente: nadzora parkirališta, širenja informacija, komunikacijske tehnologije i kontrolnog sustava. Sustavi PGI koriste ili pametne senzore ili

kamere za nadzor popunjenosti parcela. Taj nadzor temeljen na sensorima dalje se klasificira kao "na cesti" ili "izvan ceste". Sensori na cesti su ugrađeni su u ceste (magnetski senzori i akustički senzori). Sensori za vožnju izvan ceste postavljeni su iznad površine ceste (pametne kamere za nadzor) [31].

U nastavku je prikazan konkretan primjer pametnog sustava za parkiranje razvijenog od strane inovativne tvrtke u području informacijskih sustava i elektronike – Micro I/O.



Slika 12: Senzorski utemeljen sustav pametnog parkiranja

Izvor: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (4.7.2023.)

Prikladan i za vanjska i unutarnja okruženja, sustav se temelji na bežičnim magnetskim sensorima kao što je prikazano na slici ispod, postavljenih na tlo svakog parkirnog mjesta kako bi detektirali stanje zauzetosti. Sustav je kompatibilan s više korisničkih platformi, upravlja i navodi vozača do dostupnoga prostora i interoperabilan je s nekoliko komplementarnih sustava, kao što su LED paneli, oznake, indikatori, alarmi i barijere. U okviru arhitekture, sustav se sastoji od tri glavna sloja:

- Sloj krajnjih točaka, koji obuhvaća senzore za parkiranje i aktuatore.
- Komunikacijski sloj, koji obuhvaća pristupnike i repetitore, za premošćivanje komunikacija između krajnjih točaka i ostatka sustava.
- Softverski sloj koji se sastoji od svih komponenti temeljenih na oblaku odgovornih za prikupljanje podataka, raščlanjivanje, pohranjivanje i pružanje, od web-usluga i baza podataka, do platformi za više korisnika [31].



Slika 13: Bežični magnetski senzori koji se ugrađuju ispod parkirnih mjesta

Izvor: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (4.7.2023.)

Značajke i specifikacije sustava [31]:

- *Enkapsulacija*: senzor ne zahtijeva kabliranje, budući da ima bežičnu komunikaciju i interne baterije za napajanje. Uređaj je instaliran unutar plastične kapsule, koja je zatim napunjena epoksi smolom, a nakon što se epoksid stvrdne, uređaj se potpuno izolira. Enkapsulacija omogućuje potpunu nepropusnost i sposobnost podnošenja ekstremnog pritiska (kao što je težina vozila).
- *Postavljanje*: nakon enkapsuliranja, senzor se postavlja lako i brzo. Zahtijeva samo nanošenje asfaltnog ljepljiva ispod senzora i mali pritisak nakon njegovog postavljanja na tlo, nakon čega slijedi nekoliko minuta čekanja da se ljepljivo osuši i postigne čvrsta fiksacija za tlo.
- *Programiranje i ažuriranje firmvera*: firmver senzora može se daljinski prenijeti na uređaj.
- *Detekcija*: senzor ima digitalni magnetometar s 3 osi (FreescaleMAG3110) za detekciju vozila, kroz percepciju varijacija Zemljinog magnetskog polja, uzrokovanih prolaskom/prisutnošću vozila iznad njega. Senzor ima određenu stopu uzorkovanja, i ako veličina očitavanja prelazi pragove definirane algoritmom, promjena statusa se priopćava sustavu.
- *Temperaturna kompenzacija*: osjetljivost magnetometra varira s temperaturom, na što utječu i temperatura okoline i izloženost sunčevoj svjetlosti. Za ispravan rad, senzor zahtijeva kalibraciju i temperaturnu kompenzaciju.
- *Komunikacija*: u skladu sa zahtjevima aplikacije, među komunikacijskim rasponom i autonomijom uređaja, odabrana komunikacijska tehnologija bila je preko 868MHz. Ova tehnologija omogućuje komunikacijski raspon do 200 metara i nisku potrošnju energije.

- *Upravljanje napajanjem i autonomija*: autonomija uređaja predstavlja njegov životni vijek. Senzori mogu imati do 4 baterije sa samopražnjenjem koje ne mogu zamijeniti niti puniti, stoga je upravljanje napajanjem od velike važnosti. U svrhu produženja životnog vijeka uređaja, doprinosi optimiziranje procesa uzorkovanja, obrade podataka i komunikacije.
 - Uzorkovanje: kako bi se skratilo vrijeme aktivnog rada mikroprocesora, ali ne i ugrozila razina kvalitete usluge, osiguravanjem brzih ažuriranja statusa, definirana periodičnost uzorkovanja je 4 sekunde. Nakon što se uređaj aktivira, svake 4 sekunde mikroprocesor će se probuditi iz stanja mirovanja, uzeti uzorak i, ako se ne otkrije promjena, vratiti se u stanje mirovanja;
 - Obrada podataka: kako bi se smanjila potrošnja energije, odabrani mikroprocesor ima nisku potrošnju energije u stanju mirovanja (u kojem je najčešće) od otprilike $1\mu A$.
 - Komunikacije: ovo su procesi koji troše najviše energije. Odabrana komunikacijska tehnologija, LoRa na pojasu od 868 MHz, omogućuje komunikacije koje troše nisku razinu energije, ali je za još veće uštede energije, optimizirana i periodičnost i trajanje (veličina) komunikacija. Senzori mogu postići autonomiju i preko 8 godina.

U kontekstu sustava sa pametno parkiranje predstavljen je prototip pametne kamere temeljen na viziji. Prototip se temelji na već provedenim istraživanjima, a glavni naglasak je stavljen na vizijsku ploču, prilagođenu tiskanu pločicu proizvedenu posebno za senzore. Također su ukratko obrađene i kamere, bežični modul, baterije, fotonaponske ploče i kućišta.



Slika 14: Vizijska pločica

Izvor: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (4.7.2023.)

Vizijska pločica dizajnirana je da ima maksimalnu fleksibilnost upotrebe uz maksimiziranje omjera performansi i potrošnje.

Kamera

Za integraciju senzora kamere na vizijsku ploču, u fazi dizajna definirani su neki specifični zahtjevi za pružanje jednostavnosti povezivanja sa samom pločom i upravljanja preko nje, te sposobnost da ima najmanje minimalne performanse u uvjetima teške vidljivosti, npr. u uvjetima slabog svjetla. Stoga su postavljena neka minimalna ograničenja:

- Klasa USB video uređaj
- Mogućnost uklanjanja infracrvenog filtra

Modul za bežičnu komunikaciju

Pametna kamera je opremljena odgovarajućim sučeljima za umrežavanje kako bi se povezala sa distribuiranom IT arhitekturom. Slijeđen je pristup u skladu s modernim trendovima Interneta stvari (IoT) kako bi se mogla izgraditi mreža u kojoj svaki senzor pruža vlastitu interpretaciju scena.

Prikupljanje energije i kućište

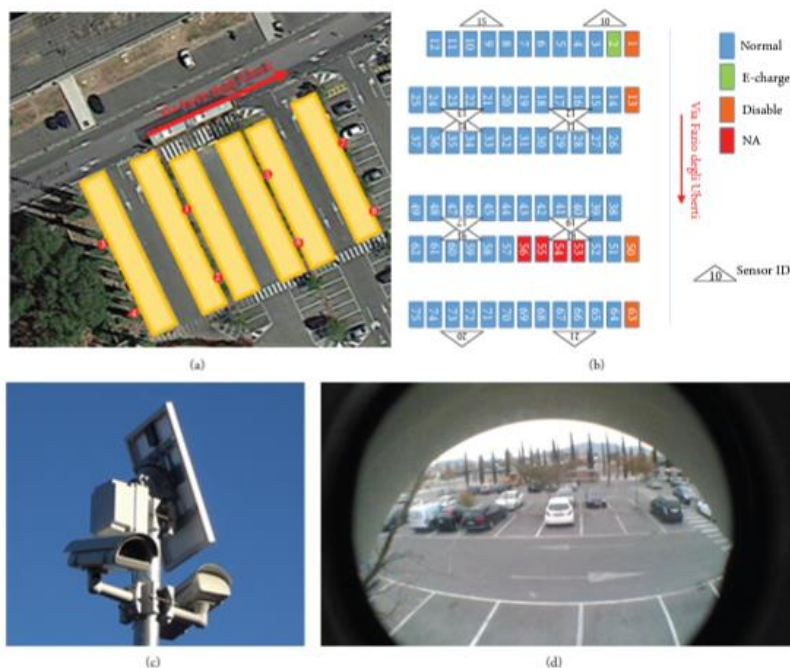
Druga važna komponenta pametne kamere je sustav napajanja i prikupljanja energije koji kontrolira punjenje i dopušta odabir optimalnih politika uštede energije. Sustav napajanja uključuje paket baterija s olovnom (Pb) kiselinom i modul za prikupljanje energije putem fotonaponske ploče. Može se integrirati širok raspon fotonaponskih panela čime je moguće odgovoriti na energetske zahtjeve u bilo kojem scenariju primjene.

Rezultati provedenog istraživanja [31]:

Ispitivanja su provedena na sjeverozapadnoj granici grada Pise u Italiji. Područje parkiranja je vrlo blizu glavne turističke atrakcije Pise, uključujući Kosi toranj, bolničke prostorije i nekoliko zgrada i odjela lokalnog sveučilišta. Eksperimentalno područje uključivalo je dvije podregije koje se sastoje od glavne pristupne ceste (na kojoj se provodi analiza toka) i podregije parkirališta, na kojoj je postavljen kooperativni nadzor parkiranja.

Ukupno 12 senzora postavljeno je na 8 stupova prikazanih na slici 17(a). Ovi senzori su nadzirali ukupno 75 parkirališta koja se sastoje od 1 mjesta za električne automobile, 4

mjesta za invalide i 70 običnih mjesta. Shema ovih parkirnih mjesta s njihovim ID-ovima prikazana je na slici 17 (b), a postavljene senzori prikazani su na slici 17 (c).

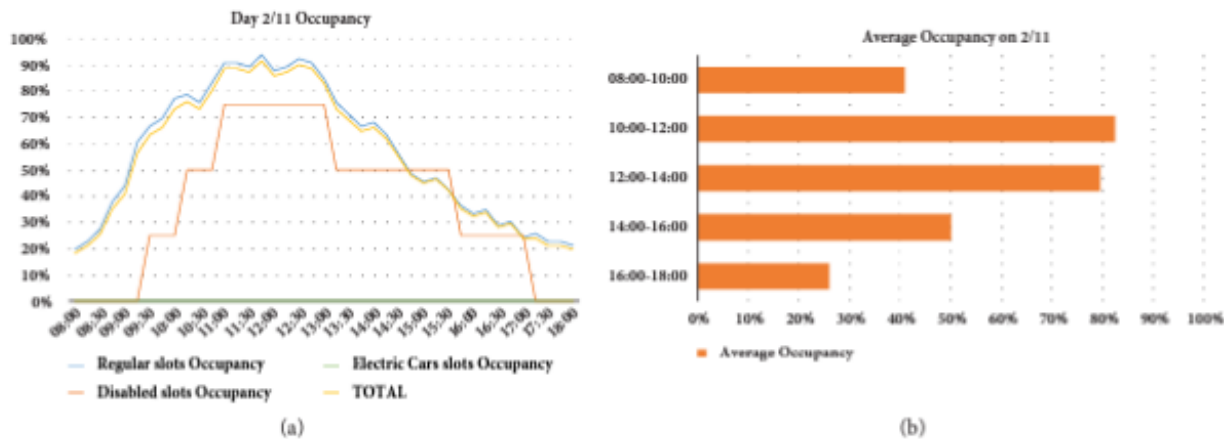


Slika 15: Istraživanje provedeno u Pisi

Izvor: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (3.7.2023.)

Rezultati praćenja tipičnog scenarija tijekom radnog dana (2. studenog 2015.) prikazani su na slici 18(a). Praćenje se, zbog zimskog vremena (tj. skraćenog dnevnog svjetla) i potrebe za štednjom baterije noću, odvijalo počevši od 8:00 sati do 18:00 sati svakoga dana. Status popunjenosti detektirao je stanje svakih 15 minuta. Podaci su mjereni prema vremenskim okvirima od 2 sata, a vrhunac popunjenosti za taj dan bio je 92% kapaciteta zabilježenog u 11:45. Iz ovog razloga, upravitelj je ranije odlučio smanjiti dostupne utore za električne automobile s dva na samo jedan.

Detaljnija procjena rezultata dana je mjesečnim pregledom agregiranih podataka. Dobiveni rezultati potvrđuju da se korištenje parkirališta Via Pietrasantina osim kao tipičnog dugotrajnog parkiranja također koristi za promjenu načina putovanja (npr. veza brze autobusne stanice do centra i željeznički kolodvor). Ustvari, omjer popunjenosti doseže svoje najveće vrijednosti rano ujutro i polako se smanjuje tek poslijepodne kako bi dostigao svoj minimum pred zatvaranje ureda. Još jedna relevantna informacija odnosi se na slabo korištenje parkirališta vikendom (tj. nikad ne prelazi 35% kapaciteta).



Grafikon 1. Dnevna (a) i prosječna (b) popunjenost parkirališta

Izvor: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (3.7.2023.)

4.2. AUTOMATSKO UPRAVLJANJE PROMETOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Transformacija u pametne gradove postaje sve popularnija tema i u Hrvatskoj. Već dugi niz godina ruralna područja Republike Hrvatske karakterizira depopulacija, dok s druge strane urbane sredine bilježe sve veću koncentraciju ljudi pa se s toga moraju okretati digitalizaciji i modernizaciji usluga koje pružaju građanima. Od ukupno 128 gradova, nešto više od 40 ih se odlučilo na korak bliže postajanju pametnim gradom. Neki od njih su još u procesu razvijanja određenih pametnih rješenja, dok su neki već ta rješenja implementirali.

Fakultet za prometne znanosti u Zagrebu proveo je istraživanje čiji su rezultati pokazali kako je 51,7% gradova u Hrvatskoj djelom ili potpuno angažirano u provedbi projekata koji se tiču pametnih gradova, koji također izdvajaju financijska sredstva za provedbu koncepta pametnog grada. Dobiven je i podatak o postotku gradova koji u budućnosti planiraju na inteligentni način koristiti informacijsko-komunikacijske tehnologije – njih 60,7%, pametni parking – 50%, nadzor i upravljanje cjelokupnim prometom – 39,3%, i zadnja ali vrlo bitna stavka - pametni javni gradski prijevoz – 32,1% [4].

S obzirom na druge europske i svjetske države, može se reći da Hrvatska zaostaje u pogledu primjene inovativnih tehnoloških rješenja, ali se kreće u pozitivnom smjeru. Primjer je donošenje strateškog dokumenta “Nacionalna razvojna strategija do 2030. godine“, kojim ističe razvoj pametnih gradova i otoka, dok se za drugi primjer može uzeti postotak izdvajanja EU fondova za regionalni razvoj koji je prešao sa 5% na 6% [4]. U svakom slučaju Hrvatska mora početi ulagati veće napore i veća financijska sredstva u modernizaciju usluga i tehnološka rješenja u svim segmentima.

Ono što Hrvatsku posebno izdvaja od drugih članica Europske Unije su nove autoceste koje imaju status jednih od modernijih i sigurnijih u Europi. Ovaj uspjeh postigao se ugradnjom inteligentnih transportnih sustava pri izgradnji novih, ali i implementacija istih u već postojeću infrastrukturu kako bi ih učinila modernijim [13].

Korist implementacije inteligentnih transportnih sustava u prometnice najviše dolazi do izražaja u pogledu povećanja sigurnosti u upravljanju incidentima u tunelima, na autocestama i općenito u upravljanju prometom. S druge strane, županijske i državne ceste i dalje su ostale manje razvijene od onih u kojih se najviše ulaže u pogledu ITS-a.

Treba uzeti u obzir i da je neuravnotežena organizacija tijela koja se bave prometom u Hrvatskoj velikim dijelom unazadila razvoj, počevši od činjenice da nije definirana jasna politika i strategija razvoja ITS-a, do ulaganja u aplikacije nižih razina što je dovelo do većih troškova održavanja a manje integracije cjelokupnog sustava.

Ipak, vođena potrebom za razvojem gospodarstva i industrije Republika Hrvatska donosi strateške ciljeve uvođenja ITS-a, u dokumentu “Nacionalni program za razvoj i uvođenje ITS-a u cestovnom prometu 2014-2018” [13].

Program donosi 4 glavna strateška cilja [14] :

- Sigurnost i zaštita cestovnog prometa
- Podizanje učinkovitosti cestovnog prometnog sustava
- Održiva mobilnost u gradovima
- Razvoj ITS industrije

Sigurnost i zaštita cestovnog prometa

Donošenjem ove odluke cilj je smanjenje sljedećih segmenata za 50%: nesreće u prometu sa smrtno stradanim i ozlijeđenim osobama i troškovi incidenata, a povećanje mobilnosti, kvalitete života i uvođenje rezervacija za sigurna parkirna mjesta teretnih vozila u svrhu zaštite korisnika.

Podizanje učinkovitosti cestovnog prometnog sustava

Istraživanja o učinkovitosti cestovnog sustava se u Hrvatskoj nisu provodila, i puno su manje razvijena nego u drugim državama članicama, što je došlo do izražaja kada se Europska Unija počela više baviti razvojem ITS-a. Dakle, prije implementacije ITS-a uvjet je provjera razine učinkovitosti istih.

Održiva mobilnost u gradovima

Ovaj strateški cilj ima ulogu smanjenja gužvi u gradovima na najmanju moguću razinu, a samim time i smanjenje emisije štetnih plinova, u čemu rješenje vidi u modernizaciji javnog gradskog prijevoza. Ova tema je vrlo važna posebno za turističke gradove u vrijeme ljetnih mjeseci koji predstavljaju kritične točke.

Razvoj ITS industrije

Osnovni cilj je integracija industrije zajedno sa institutima i drugim visokim učilištima koji nude istraživačko – razvojne mogućnosti. ITS industrija ima ulogu u industrijskom sektoru jer su cestovni telematički sustavi, elektronika i softverska industrija dio iste.



Shema 2. Nacionalni strateški ciljevi, nacionalna prioritetna područja i njihova veza s EU prioritetnim područjima

Izvor: <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=2207> (17.6.2023.)

Sljedeće o čemu će se u radu govoriti su primjeri dobre prakse u primjeni inteligentnih transportnih sustava u Republici Hrvatskoj.

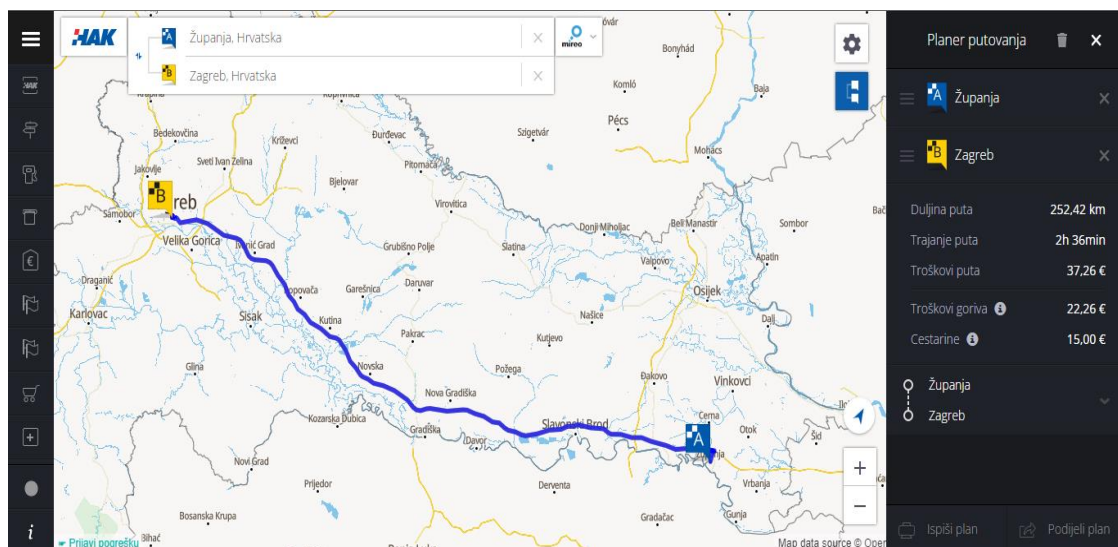
4.2.1. Hrvatski Autoklub

Hrvatski Autoklub (HAK) tijelo je odgovorno za informiranje sudionika u prometu. Svi podaci koje objavljuju vidljivi su na službenim internetskim stranicama kao i na mobilnoj aplikaciji. Na njihovim platformama nalazi se mnogo više od samih informacija o stanju na prometnicama, pa su tako javno dostupne cijene goriva, cestarina i vremenska prognoza. Pružaju i uslugu tehničke pomoći te izdaju određene dozvole.

Također, HAK u sklopu svoje aplikacije posjeduje i interaktivnu mapu koja ima mogućnost planiranja putovanja, odnosno optimizacije rute umjesto vozača/korisnika. Jedino što se od

korisnika zahtijeva je upisivanje polazišne i odredišne točke te načina putovanja, na osnovu čega može dobiti informacije poput lokacije kamera koje mjere brzinu kretanja, stanica za tehnički pregled vozila, autoservisne radionice itd.

Na slici 14. prikazana je interaktivna mapa koja je dostupna korisnicima HAK-ove aplikacije. Na primjeru putovanja relacije Županja-Zagreb, dobivene su informacije o optimalnoj ruti kretanja, duljini puta koja iznosi 252,42 km, trajanju putovanja od 2 h i 36 min, te troškovima putovanja koji iznose 37,26 €, a uključuju troškove goriva (22,26 €) i troškove cestarine (15 €).



Slika 16. Interaktivna mapa HAK aplikacije

Izvor: izradila studentica na temelju:

<https://map.hak.hr/?lang=hr&s=mireo;roadmap;mid;I;6;2;0;1&z=8&c=45.61856875490133,18.08616146822851&r=45.07207344026177,18.69450330734253;45.81302286138666,15.97788691520691&rv=-1#route> (18.6.2023.)

4.2.2. Elektronička naplata cestarine

Republika Hrvatska je od svoje neovisnosti uložila u autoceste čak 62 milijarde kuna i time postigla da danas ima 1300 km autocesta koje spadaju u kategoriju jednih od najkvalitetnijih. Istraživanje koje je proveo Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu pokazalo je da čak 96% autocesta ima nisku i srednje nisku stopu prometnih nesreća, a u izvješću Svjetskog ekonomskog foruma iz 2018. godine na ljestvici poretka po kvaliteti cestovne infrastrukture, Hrvatska se nalazi na 13-om od ukuno 137 mjesta [16]. One predstavljaju jedan od pokretača

gospodarskog razvoja, razvoja brojnih djelatnosti (značajne za turizam jer 85% svih turista u Hrvatsku dolaze cestovnim putem) i neizostavno uvelike doprinose sigurnosti u prometu.

Tri trgovačka društva zadužena za upravljanjem autocestama su:

- Hrvatske autoceste (HAC)
- Autocesta Zagreb - Macelj (AZM, privatni koncesionar)
- Bina-Istra (privatni koncesionar)

Postojeći sustav naplate cestarine nailazi na izazove i nedostake poput tehničkih poteškoća zbog nekih dijelova zastarjelog sustava, stvaranja gužvi u ljetnim mjesecima zbog turističke sezone i visokih operativnih troškova neophodnih resursa - angažman blagajnika, gotovinski platni promet, mogućnost manipulacije prilikom naplate transakcija i složeni procesi u post obradi [16].

Današnji sustav naplate Stop&GO HAC je uveo još 2006. godine. On uključuje brklje i blagajnike, udio brzih staza za korisnike ENC-a iznosi tek 2% dok je udio korisnika ENC prometa u postojećem sustava čak 42%.

Novi sustav naplate cestarine

U pokušaju rješavanja ovog problema donesena je odluka u uvođenju novog sustava elektroničke naplate cestarine sa iznosom od gotovo 100 milijuna €. Temeljen je na slobodnom protoku vozila kojima će biti dostupno više trakova (multi lane free flow - MLFF) s kombinacijom DSRC-a (namjenska kratkodometna komunikacija, frekvencija 5,8 GHz - ENC) i ALPR-a (automatsko prepoznavanje registarskih pločica kamerama) [17]. Koristi stvarno vremenske podatke koje razmjenjuje kroz cijelu mrežu, a centralna jedinica obrade podataka i cjelokupnog nadzora biti će smještena u HAC-U.

Novi sustav kombinirati će dvije suvremene tehnologije:

- ENC – naplata pomoću suvremenijeg modela uređaja koji će biti ugrađen u vozila (obavezan za teška vozila)
- Naplata pomoću automatskog sustava očitavanja registarskih oznaka.

Osnovne karakteristike:

- 208 naplatnih točaka na svim autocestama
- 74 mobilne jedinice

- 140 brzih staza za registraciju

Slika 17. prikazuje kako su u sklopu novog sustava uključene i jedinice za mobilni nadzor koje imaju za cilj detektirati a s time i smanjiti broj prekršitelja. Vozila imaju suvremenu opremu koja se sastoji od kamera, antene, te računala za detektiranje i zaustavljanje prekršitelja.



Slika 17. Mobilni nadzor registriranih korisnika

Izvor:

<https://www.hac.hr/files/shares/1.%20Odnosi%20s%20javnoscu/publikacije/Novi%20sustav%20naplate%20cestarine.pdf> (19.6.2023.)

SWOT ANALIZA novog sustava za elektroničku naplatu cestarine:

| SNAGE | PRIJETNJE |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Smanjenje gužvi • Implementacija u postojeću infrastrukturu • U skladu sa zakonom • Jednaka prava za povremene korisnike autocesta poput turista • Tehnološko rješenje u skladu a već postojećim (ENC/DSRC) • Potpuna kontrola nad zlouporabom gotovinskog plaćanja • Konkurentnost | <ul style="list-style-type: none"> • Mogućnost stvaranja gužvi radi registracije za ALPR ili nadoplate ENC-a • Mogućnost neprihvatanja od strane korisnika • Povećanje operativnih troškova • Potreba eventualne izmjene pravnog okvira |
| <ul style="list-style-type: none"> • Visoki troškovi investiranja | <ul style="list-style-type: none"> • Bolja kvaliteta usluge koja se pruža korisnicima • Slična rješenja koja koriste druge države služe kao primjer iz prakse pružajući iskustvo • Već postoji potreba sa modernizacijom i obnovom postojećeg sustava za naplatu cestarine • Tarife usklađene sa europskim standardima |
| SLABOSTI | PRILIKE |

Izvor: izradio autor prema

https://www.hac.hr/files/shares/Brosura_novi%20sustav%20naplate%20cestarine%20u%20RH_F.pdf
(19.6.2023.)

Zaključno, sustav će donijeti brojne prednosti jer osim visoke pouzdanosti i točnosti detekcije vozila koja se procjenjuje na veću od 99,9%, donosi i protočan, beskontaktni i ekološki prihvaljiv način putovanja. Smanjuje operativne troškove, vrijeme putovanja, potrošnju goriva, a povećava fleksibilnost u kreiranju tarifa za naplatu cestarine i u potpunosti digitalizira sustav pri čemu je jednostavan za korištenje.

4.2.3. Inteligentni transportni sustavi u gradovima Republike Hrvatske

Koncept pametne mobilnosti još je u fazi razvoja u RH, pa je većina pametnih rješenja implementirana u glavnom gradu Zagrebu i glavnim regionalnim gradovima kojima ćemo se baviti u ovom poglavlju. Zavod za gradski promet na Fakultetu prometnih znanosti u Zagrebu proveo je istraživanje o upućenosti u značaj i provedbu pametne mobilnosti i pametnih gradova u 128 hrvatskih gradova. Rezultati istraživanja su sljedeći [18]:

- 32% gradova su uključeni u implementaciju pametnih rješenja; 64% ih planira implementirati u budućnosti
- Tri ključne komponente pametne mobilnosti su informacijsko-komunikacijska tehnologija, pametan javni prijevoz i pametni parking
- Već implementirana pametna rješenja su kontrola kvalitete zraka (33%), kontrola prometa (22%) i pametno parkiranje (11%)
- Rješenja koja promatrani gradovi planiraju implementirati u budućnosti su: informacijsko-komunikacijska tehnologija (60,7%), pametan parking (50%), kontrola prometa (39,3%) i pametan javni prijevoz (32,1%)
- 51,7% gradova spremno je izdvojiti određena financijska sredstva za implementaciju pametnih rješenja koja će ih učiniti pametnim gradom

Zaključno, rezultati istraživanja su pokazali da za pokazatelje razine pametne mobilnosti ne postoji sustavno prikupljanje podataka te da postojeći podaci nisu usklađeni na nacionalnoj razini. Za potrebe mjerenja razine mobilnosti, učinkovitosti ili održivosti potrebno je prikupljene podatke normirati u sveobuhvatan indeks pokazatelja na razini Republike Hrvatske prema vodećim europskim i svjetskim trendovima [19].

Sljedeća tablica prikazuje implementirana pametna rješenja po gradovima: Zagreb, Split, Rijeka, Zadar, Osijek, Pula i Dubrovnik.

Tablica 1. Pametna tehnološka rješenja po gradovima RH

| Tehnologija | Grad | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-----------|
| | Zagreb | Rijeka | Split | Osijek | Zadar | Pula | Dubrovnik |
| Pametni parking | X | X | ✓ | X | X | X | ✓ |
| Pametne autobusne stanice | X | ✓ | X | X | X | X | X |
| Električni bicikli | ✓ | ✓ | ✓ | X | ✓ | ✓ | ✓ |
| Električni skuteri | ✓ | ✓ | ✓ | X | ✓ | ✓ | ✓ |
| EV punionice | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Carsharing | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Park and Ride | ✓ | X | X | X | X | X | X |
| Automatsko upravljanje prometom | X | ✓ | X | X | X | X | X |
| Aplikacije za putovanja | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Izvor: izradila studentica prema: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:800824> (21.6.2023.)

Grad Zagreb

Zagreb kao glavni grad Republike Hrvatske jedini je u državi koji posjeduje Park&Ride sustav. Smješten je u blizini glavnog željezničkog kolodvora i građanima nudi mogućnost kombiniranja parkinga i korištenja javnog prijevoza. Funkcionira na način da građani putem karte imaju pravo na neograničeni parking i nadalje prijevoz tramvajem ili autobusom. Također, ima jednu od najrazvijenijih mreža punionica za električna vozila, a posjeduju i 30 automobila koji služe za carsharing. Otključavaju se putem Spin City aplikacije i ekološki su prihvatljivi. Također, pripremili su strategiju pametnog grada do 2030. godine “Zagreb Smart City” koja uz održivu urbanu mobilnost uključuje i:

- Integrirani prijevoz putnika u jedinstvenom prometnom sustavu uz beskontaktno plaćanje
- Sustav informiranja putnika, planiranja putovanja i nadzora javnog prijevoza
- Informiranje o slobodnim parkirnim mjestima kao i navigacija te daljinska rezervacija
- Razvoj Park&Ride sustava posebno za građane koji žive izvan grada
- Razvoj sustava za bicikliste [19].

Kao primjer sustava za informiranje putnika koji koriste javni prijevoz vrijedi spomenuti zagrebački sustav javnog gradskog prijevoza koji se sastoji od ZETA-a (tramvaji, autobusi i uspinjača), prigradske željeznice i TAXI službe.

Sustav se sastoji od:

- Zaslona smještenih u tramvaju radi pružanja informacija o polazištu, odredištu i nadolazećoj stanici
- Voznog reda dostupnog na mobilnoj aplikaciji, obavještajnim pločama svake stanice kao i na internetskim stranicama
- Obavještajnog digitalog zaslona na kolodvorima
- Službe za pružanje pomoći korisnicima javnog prijevoza

Nadalje, implementacijom znatnog broja pametnih terminala za naplatu parkinga, Zagreb se približio još korak unaprijed prema razvoju u pametni grad. Ovaj projekt omogućio je Hrvatski telekom kao vodeći telekom operater, zajedno sa partnerskom tvrtkom Eccos-inženjering. Riječ je o sofisticiranim uređajima koji imaju mogućnost kartičnog plaćanja i pružanja raznih informacija posebno za turiste (kulturna događanja u gradu, lokacije

turističkih ureda, kupnja servisa Zagrebačkog holdinga poput ulaznica za kazalište i koncerte, karata za javni prijevoz, plaćanja računa itd.)

Rad ovih terminala zasnovan je na informacijskim sustavima sa otvorenim kodom (open source), čime se omogućila integracija sa raznim drugim informacijskim sustavima koji imaju drugačije namjene. Sve to odvija se putem digitalnih zaslona jednostavog grafičkog sučelja koji mijenja izgled ovisno u traženoj usluzi. Također, ugrađen je i sustav koji neprestano nadzire rad pametnih terminala i omogućuje jednostavno upravljanje cjelokupnim sustavom u realnom vremenu a ima potencijala i razviti se u budućnosti (punionice za električna vozila, kontrola kvaliteta zraka itd.) [20].

Grad Rijeka

Grad Rijeka glasi za najtransparentniji grad u RH zbog načina na koji je implementirala određena pametna rješenja poput dostupnosti informacija i dokumenata samim građanima putem internetskih stranica, što je uvelike olakšalo rad nekim službenicima. Tako građani imaju pravo pristupiti velikom broju e-uluga i jednim dijelom sudjelovati u raspoređivanju proračunskih sredstava grada.

Primjeri pametnih rješenja:

- „Rijeka City Card“ kartica je koja osigurava građanima bolju uslugu vezanu za komunalna poduzeća i ostale gradske ustanove
- „Gradsko oko“ aplikacija osmišljena je kako bi građani mogli iskomunicirati komunalne gradske probleme sa upravom
- “Ricikleta” – aplikacija koja služi za najam električnih bicikala
- „Smartica“ – aplikacija za plaćanje karata javnog prijevoza
- „RijekaBus“ – aplikacija za praćenje lokacija autobusa u stvarnom vremenu.

Još jedan primjer dobre prakse u ovom gradu je automatsko upravljanje prometom (AUP) koji je ključan za optimiziranje prometa u različitim, promjenjivim uvjetima. Nova tehnologija upravljanja prometom omogućila je pomoću svjetlosne prometne signalizacije, ovisno o stvarnim prometnim opterećenjima, kontrolirati stanje u prometu. Od sveukupno 80 semaforiziranih raskrižja, automatski se upravlja pametnim, modernim ITS semaforima sa njih 44 (55%). Radi postizanja što optimalnijeg sustava upravljanja i kontrole povezana su raskrižja, gradski prometni centar i dežurna služba prometne policije. Tri su subjekta koji financiraju ovakvu vrstu sustava: najveći udio imaju Hrvatske ceste (42%), zatim Županijske

uprave za ceste (27%) i naposljetku sam grad Rijeka sa udjelom od 31% [21]. Sustav čini glavno prometno računalo smješteno u Gradskom prometnom centru i lokalni upravljački uređaji na raskrižjima. Središnje računalo povezano je sa mrežom raskrižja, a svako pojedino raskrižje ima ugrađene detekore za mjerenje protoka vozila. Računalo u 15-minutnim intervalima obrađuje podatke, te šalje natrag naredbu kao povratnu informaciju lokalnim uređajima na raskrižjima o optimalnom signalnom planu po kojem će semafori raditi. Također, glavno računalo ima ulogu i koordinacije između svih raskrižja u mreži. Kada dođe do prekida komunikacije sa prometnim centrom, lokalni uređaji rade samostalno, a upravljanje njima preuzima jedan od uređaja na terenu. Svaka nepravilnost u radu automatski je vidljiva prometnom centru, nakon čega serviseri dobivaju automatsku GSM poruku za potrebnom intervencijom. Nekoliko ključnih lokacija u gradu, točnije njih 14, opremljeno je video sustavom kako bi operateri imali nadzor nad prometom 24 sata.

Brojne su prednosti koje je sustav donio poput prometne mreže koja je sada maksimalno iskorištena, povećana je protočnost, promet se konstantno nadzire, automatski se upravlja semaforiziranim raskrižjima, kvarovi se rješavaju u kraćem roku, a ušteda u električnoj energiji je iznosi oko 51%.

Prema analizi koju su izradili stručnjaci Fakulteta prometnih znanosti 2006. godine, ukupne koristi zbog izgradnje sustava AUP-RI od 2003. godine procjenjuju se na razini 51.595.462,96 kn. Drugim riječima, da nije pokrenut i realiziran projekt sustava AUP-RI koncem 2002. godine, promet u centru grada na početku 2006. godine pretrpio bi gubitke od oko 51,5 milijuna, a na početku 2008. godine gubitak bi iznosio 55,7 milijuna kuna. [21].

Grad Rijeka 2015. godine osnovao je SmartRi centar koji ima ulogu povezivanja poslovnih subjekata i istraživačkih institucija koje zajedno rade na razvoju projekata vezanih za pametne gradove. Provedeno je 6 istraživanja i dva projekta: SmartCity.Trans koji je usmjeren na povećavanje sigurnosti te detekcije incidenata i opasnih situacija u prometu, i SmartCity.Surinmo koji razvija platformu za učinkovitu urbanu mobilnost. Konkretno, kroz projekt će se razvijati e-roaming platforma za naplatu e-vozila, carsharing, digitalizirano parkiranje i javni prijevoz. Sustav e-znakova će omogućavati veću razinu sigurnosti, informiranja i preusmjeravanja prometa. Rijeka je kao prvi grad u RH, 2017. godine dobila prve pametne autobusne stanice. Suvremena tehnologija automatiziranog upravljanja prometom optimizira rad, omogućava upravljanja svjetlosnom signalizacijom ovisno o prometnim opterećenjima a sustav se lako prilagođava novim uvjetima u prometu [19].

Grad Split

Grad Split jedan je od prvih gradova u RH koji je implementirao sustav pametnog parkiranja. Građanima je na raspolaganju mobilna aplikacija “Split Parking” koja pomoću senzora detektira slobodna parkirna mjesta, što je popraćeno mogućnošću satelitske navigacije do izabranog slobodnog parkirnog mjesta. Ova aplikacija smatra se jednom od boljih svoje vrste, a njome se postiže smanjenje gužve i štetnih plinova.

Projekt koji je još u fazi provedbe, a kojemu je očekivani datum završetka krajem 2023. godine konkretno radi na rješavanju zagušenja u prometu, povećavanju razine sigurnosti i kontrole prometa kroz interoperabilnost ITS podsustava i smanjenju zagađenja okoliša.

Projektom je predviđena nadzorna i ICT dogradnja konvencionalnog prometnog sustava u funkcionalnom prometnom području grada Splita. Srž novog inteligentnog prometnog sustava je sustav videonadzora s integriranom videoanalitikom koji će biti postavljen na 28 signaliziranih raskrižja. Ostali elementi projekta uključuju adaptivni sustav kontrole prometa, mobilnu aplikaciju za informacije putnicima, sustav nadzemnih znakova s promjenjivim porukama na 2 ključne lokacije, prioritet prolaza za javni prijevoz i hitne službe, sustave za praćenje okoliša i vremena te uspostavu Centar za upravljanje prometom. Svi ITS podsustavi povezani su s Centrom za upravljanje prometom koji se nalazi u sjedištu Prometne policije u Dubrovačkoj ulici – središnjoj kontrolnoj sobi za upravljanje mobilnošću [32].

Grad Osijek

Grad Osijek za svoje je građane izgradio punionice za električna vozila, razne aplikacije za informiranje o putovanju i carsharing. U budućnosti će Osijek imati puno više pametnih rješenja u prometu s obzirom da su trenutno razni sustavi i tehnologije u procesu razvoja. Primjer je sustav za dijeljenje električnih automobila u sklopu EU projekta I-SharE LIFE čime se želi postići smanjenje broja vozila na prometnicama [19].

Grad Zadar

Grad Zadar posebno razvija sustav za najam e-bicikala ponajviše radi turističke sezone, putem Nextbike Smart Bike Renting System sustava. Nakon jedne registracije u sustav, moguće je bicikl iznajmiti na različitim lokacijama putem poziva, mreže ili terminala.

Projekt “Razvoj koncepta pametnog grada” uprava grada želi provesti nekoliko manjih projekata u području inteligentnog prometnog sustava.

Neki od tih projekata su:

- Portal i City Card aplikacije namjenjene pametnim telefonima pomoću kojih će korisnici moći platiti određene komunalne usluge poput parkinga i gradskog prijevoza, te će im na raspolaganju biti i stanje u prometu, gužavama, slobodnim parkirnim mjestima itd.
- Inteligentni razvoj javnog prijevoza (razvoj sustava za prodaju karata, pametni autobusni kolodvor sa implementiranim sustavom za informiranje putnika i Wi-fi mrežom
- Kontrola i upravljanje raskrižjima (sophisticirane kamere, brojači prometa i senzori)
- Sustav daljinskog upravljanja javnom rasvjetom, koji će osim velikih ušteda omogućiti i nadogradnju sustava javne rasvjete koja će se moći integrirati sa drugim sustavima poput kamera za nadzor, senzora i Wi-fi komunikacijskih točaka [33].

Grad Dubrovnik

Grad Dubrovnik vodeći je grad u Hrvatskoj kada se govori o pametnom parkiranju ulažući u nove tehnologije i postavljanjem dodatne mreže senzora. Također, posjeduje prvu pametnu ulicu u Hrvatskoj surađujući sa telekomunikacijskim operaterom T-com, koji su u ulicu implementirali višenamjensku senzorsku mrežu za javnu rasvjetu, bežičnu internetsku mrežu velike brzine, kamere za bilježenje prometnih prekršaja, beskontaktno plaćanje parkinga i nadzor nad okolišem [19].

4.3.AUTOMATSKO UPRAVLJANJE PROMETOM U EUROPSKIM I SVJETSKIM GRADOVIMA

Istraživanje koje je proveo Juniper Research pokazalo je da će do 2025. godine, automatsko upravljanje prometom smanjiti troškove gradovima od čak 277 milijardi dolara smanjenjem zagušenja i emisija. Kao ključni faktor naveli su pametna raskrižja koja mogu omogućiti smanjenje od više od 33 sata po pojedinom vozaču provedenih u prometu do 2025.godine. Novo izvješće, “Pametno upravljanje prometom: tehnologije, slučajevi upotrebe i tržišne prognoze 2021. – 2025.”, predviđa da će se više od 95% od 277 milijardi dolara uštede moći pripisati smanjenju zagušenja. Predviđa se da će Sjeverna Amerika i Europa činiti više od 75% svih ušteta, zahvaljujući sve većem ulaganju u pametno upravljanje prometom i velikoj upotrebi vozila u tim regijama [22].

Singapur

Grad-država Singapur već dugu period jedan je od vodećih pametnih gradova čija je uprava 2014. godine imenovala ministra za pametnu naciju, što ga čini prvim na svijetu. Nadalje, 2018. godine uložili su čak 12 milijardi dolara u razvoj prometa poput izgradnje pametne infrastrukture popraćene senzorima i održavanju već postojećih objekata. Ono što čini glavnu okosnicu inteligentnog transportnog sustava Singapura su stvarnovremenske integrirane prometne informacije.

Za razliku od većine gradova koji koriste podatke u stvarnom vremenu izričito za interno donošenje odluka, ovaj pametni grad te podatke dijeli među dionicima prometa. Grad je među prvima kada je u pitanju uvođenje novih tehnologija, poput sustava za elektroničku naplatu cesta (engl. ERP – Electronic Road Pricing) koji je uveo 1998. godine. Cijene se formiraju ovisno o tokovima u prometu, a istovremeno predstavljaju plaćanje naknade za doprinos zagušenju. ERP koristi sustav radiokomunikacije kratkog dometa za naplatutroškova s pametnih kartica umetnutih u vozila. Neki od ostalih inteligentnih elemenata uključuju sustav nadzora i savjetovanja za brze ceste, koji radi na način da upozorava vozače na prometne nesreće na glavnim cestama i GPS sustav instaliran na gradskim taksijima, koji pomaže i olakšava praćenje i prikupljanje podataka o prometnim uvjetima u gradu. Sve informacije iz sustava unesene su u Centar za upravljanje operacijama inteligentnih transportnih sustava, koji pomaže u konsolidaciji podataka i javnosti daje informacije o prometu u stvarnom vremenu.

Kada je riječ o vlasništvu automobila, samo 15% građana Singapura posjeduje vozilo što je rezultat donošenja odluke Vlade o stavljanju velikih premija na vlasništvo osobnog vozila [23].

Mobilne aplikacije za planiranje putovanja konstantno se unaprijeđuju i trenutno omogućuju svojim korisnicima izraditi plan putovanja od vrata do vrata kombiniranjem različitih načina prijevoza kako bi zadovoljili svoje potrebe na najbolji mogući način.

Razni su primjeri tehnologija koje se koriste za poboljšavanje učinkovitosti prometa u Singapuru, a neke od njih su [23]:

- Uređaji za nadzor stanja željeznice – ugradnjom ovih uređaja u nove vlakove, LTA (eng. Land Transport Authority) ima bolje uvjete za prikupljanje informacija o stanju željeznice u stvarnom vremenu
- Automatski nadzor nad kolosijecima – održavanje kolosijeka puno je efektivnije pomoću senzora i laserskih skenera koji ugrađeni ispod određenih vagona šalju povratnu informaciju o potrebnim intervencijama
- Rail Enterprise Asset Management System (REAMS): Konsolidacijom i integracijom informacija prikupljenih od svih vlakova i drugih kritičnih sustava, REAMS može bolje procijeniti i predvidjeti stanje cijele mreže i njenih komponenti.
- Dronovi: Pregled tunela u budućnosti će biti obavljen pomoću dronova radi brzine i sigurnosti što će inženjerima dati više vremena za identifikaciju rješavanje problema.

Kada je riječ o autonomnim vozilima LTA je potpisala ugovore koji rješavaju pitanje autonomnog upravljanja kamionima koji prevoze k ontajnere između lučkih terminala, a također je izdala i zahtjev za razvoj autonomnih vozila za prikupljanje otpada i čišćenje prometnica. ST Kinetics, singapurska je tvrtka koja planira implementirati tehnologiju autonomnih vozila u dva električna autobusa sa 40 sjedala, koji će pomoću GPS-a i senzora, radara i sonara slati svoju lokaciju i prepoznavati neposrednu okolinu. Predviđeno vrijeme trajanja za provedbu ovog projekta je tri i pol godine, a autobusi će biti testirani u različitim situacijama, okruženjima i lokacijama [23].

Master plan za kopneni promet do 2040. godine – Korak u novi svijet

Singapur je razvio glavni plan razvoja kopenog prometa do 2040. godine koji mora biti dobro povezan i brz, a karakterizira ga iskustvo putovanja koje doprinosi zdravlju i sigurnosti za sve.

Neki od ciljeva master plana:

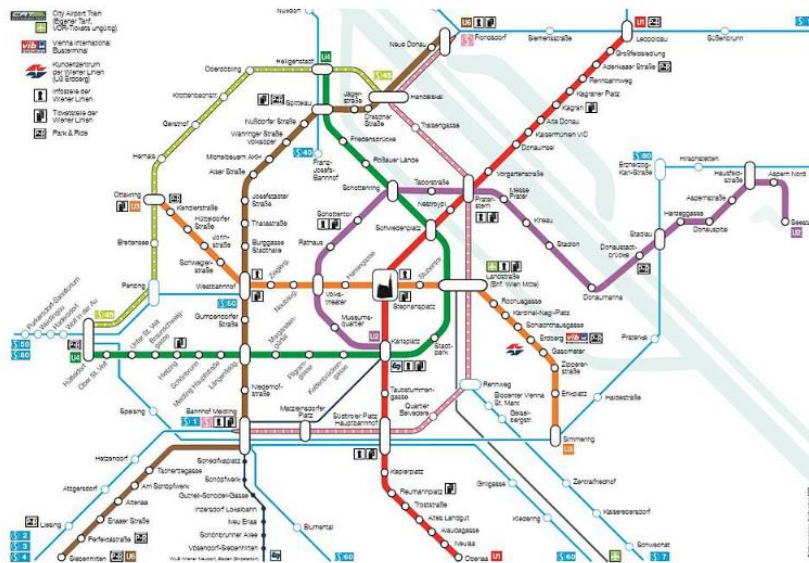
- Dolazak do prvog najbližeg centra u roku 20 minuta koristeći javni prijevoz
- Putovanje od radnog mjesta do doma u doba najveće gužve ne bi trebalo biti više od 45 minuta
- Putovanja bez prepreka i prilagođavanje infratrakture za bolju pristupačnost svima
- Zdraviji život i sigurna putovanja [23].

Zaključno, Singapur se sve više približava potpunom ispunjavanju cilja da stvori pristupačan, održiv i dobro organiziran sustav masovnog prijevoza putnika jer ulaže velike napore i financijska sredstva u sofisticirane uređaje i izgradnju visoko integriranog prometnog sustava. Već uvelike ispunjava potrebe stanovništva, ali u budućnosti se želi još više unaprijediti i rasti. Donošenjem odluke o visokim troškovima za posjedovanje osobnih automobila smanjili su zagušenja, a s druge strane mobilnost svojih građana riješili su zavidnom razinom organizacije javnog prijevoza putnika.

Beč

S obzirom na već ostvarene ali i buduće ciljeve i projekte, vidljivo je da čelnici Beča ulažu velike napore i financijska sredstva kako bi svojim građanima osigurali učinkovitu mobilnost i efektivno korištenje prometne mreže.

Smart City Wien razvija strategije za mobilnost stanovništva i zalaže se za korištenje javnog prijevoza jer, ovaj grad se bori sa velikim udjelom osobnih automobila koji su najveći uzrok onečišćenja okoliša, buke i zahtjevaju veliki udio javnog prostora. Suočivši se s ovim problemima, Beč se okreće razvijanju pametnih tehnoloških rješenja i svoju prometnu politiku usmjerava ka “pametnoj mobilnosti”.



Shema 3. Mreža javnog prijevoza u Beču

Izvor: <https://www.viennapass.de/generelles/fahrscheine> (30.6.2023.)

Beč ima sveukupno pet linija podzemnih željeznica koje povezuju 109 stanica u razmaku od 83 kilometra, 131 autobusnu i 28 tramvajskih linija. Mreža je duga 1,150 kilometara i preveze otprilike milijardu putnika godišnje. Konstantan porast broja stanovnika u ovome gradu zahtjeva uvođenje promjena i efektivnijih rješenja u željezničkom prometu i povezivanju centra grada sa periferijom. Wiener Linien, tvrtka koja upravlja većinom mreže javnog prijevoza u Beču, povećala je upotrebu e-autobusa i na taj način modernizirala svoj rad. Korisnicima javnog prijevoza na mobilnoj aplikaciji dostupni su stvarnovremenski podaci o voznom redu za svako pojedino stajalište što uvelike pojednostavljuje kretanje gradom i vožnju javnim prijevozom [24].



Slika 18. Autonomni električni autobus u Beču

Izvor:<https://www.ekovjesnik.hr/clanak/3979/nakon-vise-od-dvije-godine-završava-testiranje-autonomnih-e-autobusa-u-beču> (5.7.2023.)

Sredinom 2019. godine glavni grad Austrije pustio je u promet prve autonomne električne autobuse. Dio su projekta „**auto.Bus – Seestadt**” koji ima za cilj povećanje učinkovitosti sigurnosti autonomnih vozila.

Također, od 2020. godine Beč posjeduje i pametne semafore koji pomoću novog sustava kamere predviđaju žele li pješaci prijeći preko pješačkog prijelaza. Sustav je poznat pod nazivom “Bečka svjetla” a razvijen je od strane Tehnološkog sveučilišta Graz.

Novi sustav koristi optičku detekciju na visini od oko četiri metra za prepoznavanje pješaka koji se približavaju i može ih otkriti na udaljenosti od oko osam metara. Na temelju smjera kretanja softverski algoritam izračunava vjerojatnu daljnju rutu i te podatke prosljeđuje u krug semafora. Kad prolaznici dođu do semafora, odmah im se upali zeleno. Stanovništvo ne treba brinuti o zaštiti podataka, jer sustav radi offline i podaci se ne mogu očitati izvana [25].

London

London je vrlo dobro razvijen pametni grad u mnogim područjima. Gledajući njegov napredak u razdoblju od 2018.-2021. godine, vidljivo je koliko su ambiciozni u integraciji naprednih tehnologija u svoje gradsko planiranje.

U smislu upravljanja prometom, London ima za cilj [28]:

- Uvesti novije generacije pametne ulične infrastrukture za bolje prikupljanje podataka.
- Promicati korištenje pametne infrastrukture kao i pametne tehnologije u planiranju i analitici.
- Omogućiti mrežne opcije u cijelom gradu (WiFi i 5G) kako bi omogućili stalnu, neometanu komunikaciju na gradskim ulicama.

Transport for London (TfL) trenutno radi na proširenju upotrebe prometnih senzora koristeći umjetnu inteligenciju. Cilj je identificirati vozače i vozila kojima upravljaju pomoću senzora čije podatke obrađuje AI. Glavne prednosti korištenja senzora umjesto ručnih metoda za ovu vrstu rada su [28]:

- Bolja produktivnost: Senzori mogu raditi i prikupljati podatke 24/7. Ljudi mogu raditi samo 8 sati u najboljem slučaju.
- Preciznost : Senzori korišteni tijekom ispitivanja 2018. godine pokazali su točnost od 98%.
- Privatnost: Podaci se obrađuju trenutno i odbacuju se odmah nakon završetka obrade; osobni podaci vozača nikada se ne čuvaju.

Također, u suradnji sa gradskim prijevoznikom TfL, jedna od tvrtki u Londonu započela je pružanje usluge pametnog autobusa. Ovaj smartbus konstantno šalje podatke u stvarnom vremenu, kreira optimalnu rutu putovanja sukladno potražnji, te pruža besplatnu Wi-fi mrežu i punjenje mobilnih uređaja.

London posjeduje i inteligentne pješačke prijelaze koji rade na temelju detektiranja gustoće pješaka pomoću video kamera i na osnovu toga mijenjaju svjetla na semaforu. Ovaj sustav smanjio je vrijeme čekanja vozila za 12,5%, a broj vozila koja se moraju zaustaviti radi crvenog svjetla za prelazak pješaka smanjio se za 4,6% [34].

Barcelona

Barcelona je europski pametni grad koji je 2012. godine započeo sa usvajanjem pametnih tehnoloških rješenja kako bi svojim građanima omogućio kvalitetniji život. Implementaciju

novih tehnologija posvetili su većim dijelom razvoju javnog prijevoza, gospodarenju otpadom, pametnom parkiranju i sensorima buke.

Prometni sustav Barcelone sastoji se i od hibridnih autobusa, nadstrešnica na koje su postavljene solarne ploče, te mreže vodoravnih, okomitih i dijagonalnih autobusnih ruta čija je dobra organizacija učinila javni prijevoz učinkovitijim, bržim i manje štetnim za okoliš. Što bi značilo da putnici u 95% slučajeva moraju presjesti barem jednom do dolaska na odredište [26].

Kao i u većini velikih gradova, i Barcelona se suočava sa problemima u nalaženju slobodnih parkirnih mjesta. Za rješavanje ovog problema koriste senzore za parkiranje koji postavljeni ispod prometnice, detektiraju zauzeto/slobodno parkirno mjesto i dalje mogu poslati povratnu informaciju vozaču putem aplikacije. Isto tako moguće je i platiti parkirnu kartu putem interneta. Ovaj naizgled jednostvan sustav zahtjeva puno tehnoloških integracija jer sa sobom nosi više razina komunikacije. Prvo, senzori šalju prikupljene podatke u stvarnom vremenu u čvorište koje ih obrađuje opomoću softvera temeljenog na umjetnoj inteligenciji. Zatim se novoobrađeni podaci iz čvorišta, kroz oblak, šalju na uređaje vozača kako bi ih mogli ispravno navoditi. Ovo je tipičan primjer za ciklus podataka koji ide od ulice do čvorišta i na kraju do krajnjeg korisnika.

Barcelona je za sada vrlo uspješna u implementaciji ove vrste pametnih rješenja, jer ne samo da je olakšano pronalaženje slobodnog parkirnog mjesta, nego se cjelokupan sustav počeo gotovo odmah sam isplaćivati. U 2019. godini, nakon manje od pola godine postojanja, aplikaciju Smou koristilo je više od 100.000 registriranih korisnika [28].

Los Angeles

Los Angeles je kalifornijski grad koji se uvijek nalazi visoko pozicioniran na Forbesovoj listi gradova sa najvećim prometnim zagušenjima na svijetu, i stoga je morao razviti sustav za upravljanje velikim podacima u prometu. Magnetski senzori ugrađeni u prometnice svakog raskrižja, kroz optičke kabele prosljeđuju ažurirane informacije o protoku u prometu u stvarnom vremenu do bunkera ispod centra Los Angelesa. Grad je sam razvio i softver za rad računalnog sustava koji analizira podatke i automatski vrši prilagodbe iz sekunde u sekundu, prilagođavajući se promjenjivim uvjetima i koristeći stare podatke na osnovu kojih može predvidjeti gdje bi se promet mogao zagušiti, i to sve bez ikakvog ljudskog angažmana. Sustav je inteligentan po tome što može automatski prilagoditi i vremenski razmak između

promjene svjetala kad god se pojave određeni problemi. Tako na primjer, ako dođe do nesreće koja uzrokuje zatvaranje jedne ili više traka na bilo kojoj cesti u gradu (što uzrokuje usko grlo), može prilagoditi svjetla i dati više vremena da prođu automobili koji su ostali zatočeni u njoj. Alternativno, može se koristiti i za održavanje javnog prijevoza – u slučaju kašnjenja autobusa, sustav je tu da im pomogne kako bi brže prošli kroz neke dijelove grada i vratili se u prvobitni raspored vožnje. Sustav je poboljšao situaciju sa prometom u gradu, a dokaz je da je prije uvođenja ovog sustava vrijeme za prelazak udaljenosti od 8 kilometara trebalo 20 minuta, dok su pametni semafori to vrijeme skratili u prosjeku na 7,2 minute [27].

San Francisco

San Francisco nalazi se u središtu tehnoloških inovacija i zbog toga ga vrijedi spomenuti. Glavni gradski prioritet u implementaciji pametnih rješenja je bio smanjivanje potrošnje energije. Velik dio tih napora uložen je u promicanje obnovljivih izvora energije ili u uspostavljanje strožih građevinskih propisa. Unatoč svemu, svaki pametni gradski planer zna da ogromnu ulogu u potrošnji energije, zagađivanju okoliša i stvaranju zagušenja imaju neučinkovite ceste jer vozila koja se kreću sporo, ili su zaglavljena u kolonama troše puno više goriva od vozila koja se kreću gradskim ulicama bez zastoja. Stoga je San Francisco rješenje za veliku potrošnju energije pronašao u autonomnoj vožnji. Počeli su ulagati velika financijska sredstva kako bi autonomnim vozilima omogućili svu potrebnu infrastrukturu za slobodno kretanje gradom: V2V mreže kako bi omogućili komunikaciju između vozila, kao i prometne kamere i senzore za napajanje sustava navođenja kako bi mogli informirati autonomna vozila dok se nalaze u prometu [28].

Također su pokrenuli pilot program Connected Corridor koji koristi podatke prometnih senzora (veličinu, brzinu i smjer) za dvije stvari:

- Davanje prioriteta javnom prijevozu, pješacima i kolima hitne medicinske službe
- Izradu nadzornih ploča za daljnju integraciju donešenih odluka temeljenih na dobivenim podacima u proces planiranja grada

Connected Corridor omogućit će umjetnoj inteligenciji kontrolu prometnih signala pomoću malih prilagodbi na temelju podataka u stvarnom vremenu. Dajući prioritet javnom prijevozu i mobilnosti pješaka, uz pametniju prometnu signalizaciju, San Francisco nastoji učiniti svoje ceste učinkovitijima uz ograničavanje utjecaja prometa na okoliš.

Stockholm

Kako bi riješili problem zagušenja prometa na glavnim prometnicama u gradu, uveli su sustav naplate za ulazak u kritične dijelove grada. Ulaz u zonu zagušenja okružen je sa 18 elektroničkih točaka, a naknada se plaća i za ulaz i za izlaz iz tog specifičnog područja. Strategija je dovela do smanjenja prometa od 20% (što je otprilike 100.000 prolazaka preko naplatne zone). Glavne prometnice ostvarile su manju zagušenost od 30-50%, a emisija štetnih plinova je umanjena za 10-14%. Također, smanjilo se i vrijeme putovanja, povećao trend upotrebe javnog prijevoza, a povećani su i pozitivni učinci na okoliš, zdravlje i sigurnost u prometu [34].

5. ZAKLJUČAK

Veliki broj vozila na prometnicama, koji se iz godine u godinu sve više povećava, osim što zagađuje okoliš, stvara i gužve, nezgode i razne druge probleme u prometu. Ovaj problem očituje se naročito u urbanim gradskim sredinama koje zbog urbanizacije postaju s vremenom sve kritičnije, zahtijevajući brza, pametna i učinkovita rješenja. U tu svrhu, upravitelji gradskog prometa, inženjeri i ostali stručni kadar ulažu napore u proizvodnju i implementaciju inteligentnih transportnih rješenja. Razni su načini suočavanja s ovim problemom, od povećavanja kapaciteta urbane prometne mreže, optimiziranja već postojeće infrastrukture pomoću softverskih programa do regulacije pokretača prometa kojima se nastoji omogućiti što veći kapacitet mreže.

Ulaganjem i implementacijom suvremenih tehnologija u prometni sustav, značajan broj gradova diljem svijeta počeo se razvijati u pametne gradove. Njihova je mreža zasnovana na uređajima povezanim putem interneta, koji, integrirajući se sa raznim drugim komunikacijskim i softverskim rješenjima podižu razinu usluge i poboljšavaju svakodnevni život svojih građana. Primjeri dobre prakse u raznim hrvatskim, europskim i svjetskim gradovima dokaz su važnosti u napretku i implementaciji inteligentnih rješenja za upravljanje prometom.

Sustavi za automatsko upravljanje prometom koje karakterizira visoka pouzdanost i točnost, sustav pametnog parkiranja koji ujedno smanjuje zagušenja, optimiziranje i promicanje putovanja javnim prijevozom, pravovremeno putno i predputno informiranje vozača, putnika i drugih sudionika u prometu u svrhu planiranja putovanja, uvođenje autonomnih električnih vozila, pametna infrastruktura (prometnice, semafori, znakovi, nadzorne ploče itd.) i ekološki prihvatljivi načini putovanja koji smanjuju štetne utjecaje na okoliš samo su neki od čimbenika koji urbane sredine polako transformiraju u pametne gradove sa sve zadovoljnijim građanima.

S obzirom da već gotovo 60% stanovništva živi u urbanim sredinama, i činjenica da će se taj broj samo još više povećavati dovode do zaključka da će pametni gradovi sa svim svojim elementima postati nužnost za sve koji se žele razvijati i ići u korak sa onime što budućnost nosi.

LITERATURA

- [1] M. Shahgholian, D. Gharavian, 2018, '*Advanced Traffic Management Systems: An Overview and A Development Strategy*', Department of Electrical and Computer Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, online:
<https://arxiv.org/abs/1810.02530>
- [2] D. Smith, 2002., '*Handbook of Simplified Practice for Traffic Studies*', Center for Transportation Research and Education Iowa State University, online:
<https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2002/11/Handbook-of-Simplified-Practice-TrafficStudies.pdf>
- [3] U. Mori, A. Mendiburu, M. Álvarez, and J. A. Lozano, 2015, 'A review of travel time estimation and forecasting for Advanced Traveller Information Systems,' *Transp. Transp. Sci.*, vol. 11, no. 2, online:
https://www.academia.edu/37124082/A_review_of_travel_time_estimation_and_forecasting_for_Advanced_Traveller_Information_Systems
- [4] Milanović Glavan, Lj. i Filić, N. 2021., 'Razvoj pametnih gradova u Republici Hrvatskoj'. *Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku*, 15 (3-4), 101-108., online:
<https://doi.org/10.51650/ezrvs.15.3-4.8>
- [5] Vidaković, F., 2017. 'Koncept razvoja centara za nadzor i upravljanje prometom u gradovima', Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, citirano: 25.05.2023., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:026628>
- [6] <https://www.jpautoceste.ba/kontrola-i-upravljanje-prometom-cokp/>
- [7] <https://www.pressebox.com/inactive/imtech-nv/Imtech-breakthrough-for-ImFlow-a-new-generation-adaptive-traffic-control-system/boxid/506750> (29.5.2023.)
- [8] <https://peek.hr/proizvodi/imcity/> (29.5.2023.)

- [9] <https://peek.hr/proizvodi/spectra/> (29.5.2023.)
- [10] Sociedad Ibérica de Construcciones Eléctricas, S.A, SICE, URBAN TRAFFIC CONTROL SYSTEM – ADIMOT, online: [https://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/UT_ADIMOT_ENG_\(6\).pdf](https://www.sice.com/sites/Sice/files/2016-10/UT_ADIMOT_ENG_(6).pdf) (29.5.2023.)
- [11] Peek by Dynniq, Urban Traffic Management, ‘Remote Monitoring System’, online: <https://peek.hr/wp-content/uploads/2017/08/RMS.pdf> (29.5.2023.)
- [12] International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), ICT based Smart Traffic Management System “iSMART” for Smart Cities,ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, September 2019, online: https://www.academia.edu/81948939/ICT_based_Smart_Traffic_Management_System_iSMART_for_Smart_Cities (14.6.2023.)
- [13] Radan, D. (2022). *Primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu Republike Hrvatske* (Diplomski rad). Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:899815>
- [14] NACIONALNI PROGRAM ZA RAZVOJ I UVOĐENJE ITS-A U CESTOVNOM PROMETU 2014-2018 - (PRIJEDLOG), Vlada Republike Hrvatske, NN 82/14 od 09.07.2014., online: <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=2207> (17.6.2023.)
- [15] <https://www.hac.hr/hr/cestarina/enc?etc=1> (19.6.2023.)
- [16] PROJEKT MODERNIZACIJE I RESTRUKTURIRANJA CESTOVNOG SEKTORA RH Novi sustav elektroničke naplate cestarine na autocestama u Republici Hrvatskoj PREZENTACIJA KONCEPTA, Republika Hrvatska, Ministratsvo mora, prometa I infrastrukture
- [17] Novi sustav naplate cestarine, Ministarstvo mora, prometa i infrastructure, online: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.hac.hr/files/shares/1.%20Odn>

osi%20s%20javnoscu/publikacije/Novi%20sustav%20naplate%20cestarine.pdf
(19.6.2023.)

[18] Brčić, D. et al.: The Role of Smart mobility in Smart Cities, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Zadar, Croatia, 2018, pp. 1601-1606 online: <https://cetra.grad.hr/ocs/index.php/cetra5/cetra2018/paper/view/812> (20.6.2023.)

[19] Maglić, L., et al. (2019) 'Intelligent transportation systems in croatian smart cities', in Koboević, Ž. (ed.), *Naše more 2019 ; Conference proceedings*, University of Dubrovnik, Maritime Department, Dubrovnik, pp. 308-317. Available at: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:800824> (20.6.2023.)

[20] <https://www.tportal.hr/biznis/clanak/zagreb-postaje-pametniji-grad-uz-pametne-terminale-za-naplata-parkiralista-ht-a-i-eccos-inzenjeringa-foto-20180911> (25.6.2023.)

[21] <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/> (26.6.2023.)

[22] <https://www.juniperresearch.com/press/smart-traffic-management-to-significantly-reduce> (30.6.2023.)

[23] <https://cec-iitr.medium.com/singapores-transportation-system-4a414caf7b34>
(30.6.2023.)

[24] <https://www.wien.info/de/lebenswertes-wien/smart-city/smarte-mobilitaet-359184>
(30.6.2023.)

[25] <https://smartcity.wien.gv.at/ampeln-die-mitdenken/> (1.7.2023.)

[26] <https://bcn-advisors.com/barcelona-una-ciudad-inteligente-lider> (1.7.2023.)

[27] Lakshminarasimhan M., 2016, "Advanced Traffic Management System Using Internet of Things", Department of Computer Science and Engineering, Sri Krishna College of Engineering & Technology, Coimbatore, Tamil Nadu, India, online:

https://www.researchgate.net/publication/310036684_IoT_Based_Traffic_Management_System (1.7.2023.)

[28] <https://blog.goodvisionlive.com/6-smart-cities-that-get-traffic-control-right> (1.7.2023.)

[29] Jakovljević, M. (2020). 'Model vrednovanja rezultata prognoza prijevozne potražnje u cestovnom prometu', Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, citirano: 03.07.2023., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:084819> (3.7.2023.)

[30] V.M. Vishnevsky, R.N. Minnikhanov, I.V. Barsky, A.A. Larionov, "Development of a hybrid vehicle identification system based on video recognition and RFID", 2022 *International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT)*, pp.1-7, 2022, online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8289907> (3.7.2023.)

[31] M. Alam, D. Moroni, G. Pieri, M. Tampucci, M. Gomes, J. Fonseca, J. Ferreira, G. R. Leone, "Real-Time Smart Parking Systems Integration in Distributed ITS for Smart Cities", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2018, Article ID 1485652, 13 pages, 2018., online: <https://doi.org/10.1155/2018/148565> (3.7.2023.)

[32] <https://povezanahrvatska.eu/en/projekti/pametni-sustav-upravljanja-prometom-u-gradu-splitu/> (5.7.2023.)

[33] <https://inzad.hr/en/projects-4/zadar-urban-mobility-40-30/> (5.7.2023.)

[34] <https://smart-ri.hr/primjeri-dobrih-praksi-upravljanja-prometom-u-gradovima/> (5.7.2023.)

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Obrazac za unošenje podataka o volumenu prometa u raskrižju | 4 |
| Slika 2. Mehanička ploča za brojanje | 5 |
| Slika 3. Elektronička ploča za brojanje | 6 |
| Slika 4. Automatsko prikupljanje informacija pomoću detektora | 9 |
| Slika 5. Signalna rampa na ulazu na autocestu | 13 |
| Slika 6. Nadzorni centar za upravljanje prometom | 22 |
| Slika 7. ImFlow sustav | 24 |
| Slika 8. ImCity platforma | 26 |
| Slika 9. Sustav SPECTRA | 27 |
| Slika 10. ADIMOT sustav | 28 |
| Slika 11. RMS sustav | 29 |
| Slika 12. Senzorski temeljen sustav pametnog parkiranja | 35 |
| Slika 13. Bežični magnetski senzori ispod parkirnih mjesta | 36 |
| Slika 14. Vizijska pločica | 38 |
| Slika 15. Istraživanje provedeno u Pisi | 39 |
| Slika 16. Interaktivna mapa HAK aplikacije | 44 |
| Slika 17. Mobilni nadzor registriranih korisnika | 46 |
| Slika 18. Autonomni električni autobus u Beču | 57 |

POPIS KRATICA

| Kratika | Puni naziv na stranom jeziku | Tumačenje na hrvatskom jeziku |
|---------|---|--|
| ALPR | Automatic License Plate Recognition | Automatsko prepoznavanje registarskih pločica kamerama |
| ARIMA) | Autoregressive Moving Average | autoregresivni integrirani pomični prosjek |
| ATMS | Advanced Traffic Management System | Napredni sustav upravljanja prometom |
| DSRC | Dedicated Short Range Communications | Namjenska kratkodometna komunikacija |
| ERP | Electronic Road Pricing | Sustav za elektroničku naplatu cesta |
| FCD | Floating Car Data | Plutajući auto podaci |
| GPS | Global Positioning System | Globalni položajni sustav |
| IoT | Internet of Things | Internet stvari |
| ITS | Intelligent Transport System | Inteligentni transportni sustav |
| MAPE | Mean absolute percentage error | srednja apsolutna postotna pogreška |
| NCU | Node Controller Unit | Mrežna kontrolna jedinica |
| ODM | Origin-Destination Matrix | Ishodišno-odredišna matrica |
| PGDP | | Prosječni godišnji dnevni promet |
| PGI | Parking Guidance and Information system | Sustav za navođenje i informiranje o parkiranju |
| PiDP | | Prosječni izvanljetni dnevni promet |

| | | |
|-------|---|--|
| PLDP | | Prosječni ljetni dnevni promet |
| REAMS | Rail Enterprise Asset Management System | Sustav upravljanja željeznicom |
| RMS | Remote Monitoring System | Sustav nadzora i upravljanja semaforima. |
| RMSE | Root mean square error | Korjen srednje kvadratne pogreške |
| SCU | Signal Controller Unit | Signalna kontrolna jedinica |
| TfL | Transport for London | Prijevoz za London |
| UTM | Urban Traffic Management | Uprava urbane gradske mreže |
| UTN | Urban Traffic Network | Urbana prometna mreža |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Pametna tehnološka rješenja po gradovima RH | 48 |
|--|----|

POPIS SHEMA

| | |
|--|----|
| Shema 1. Metode prikupljanja informacija | 10 |
| Shema 2. Nacionalni strateški ciljevi, nacionalna prioritetna područja i njihova veza s EU prioritetnim područjima | 43 |
| Shema 3. Mreža javnog prijevoza u Beču | 57 |

POPIS GRAFIKONA

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Dnevna (a) i prosječna (b) popunjenost parkirališta | 40 |
|---|----|