

Automatsko upravljanje u prometu

Duić, Fran

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:187:753466>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

FRAN DUIĆ

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE U PROMETU

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2023. godina.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**AUTOMATSKO UPRAVLJANJE U PROMETU
AUTOMATIC TRAFFIC MANAGEMENT**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Urbani promet i okoliš

Mentor/komentor: Izv. prof. dr. sc. Siniša Vilke

Student/studentica: Fran Duić

Studijski smjer: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112073735

Rijeka, studeni 2023.

Student/studentica: Fran Duić

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112073735

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom Automatsko upravljanje u prometu

izradio/la samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Siniša Vilke

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 povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica

Fran Duić

(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

Fran Duić

Student/studentica: Fran Duić

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112073735

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/>

Student/studentica - autor

Fran Duić _____

(potpis)

SAŽETAK

U suvremenom svijetu, automatizacija i autonomno upravljanje postaju ključni čimbenici u raznim sektorima, uključujući promet. Pametni i automatizirani prijevoz, zajedno s pametnim upravljanjem gradskim prometom, transformiraju način rješavanja suvremenih prometnih izazova. Ova rješenja, potkrijepljena suvremenom tehnologijom poput umjetne inteligencije, senzora i brzih komunikacijskih tehnologija, smanjuju zagušenja na gradskim cestama i poboljšavaju mobilnost. Uz brz razvoj telekomunikacija, uključujući IoT uređaje i 5G mreže, stvaraju se temelji za učinkovito upravljanje transportom u stvarnom vremenu. Automatsko upravljanje u prometu već je stvarnost u mnogim gradovima, a njihova iskustva koriste se za unaprjeđenje sustava na novim lokacijama. Budući razvoj ovih tehnologija zahtijevat će suradnju između akademskih institucija, poslovnog i privatnog sektora te vlasti kako bi se osiguralo uspješno implementiranje u urbanim okruženjima. Rad istražuje ključne trendove i perspektive automatskog upravljanja u prometu s ciljem oblikovanja boljih prometnih sustava. Upravljanje u prometu, s naglaskom na automatizaciju i autonomno upravljanje, postavlja se kao osnovna tema istraživanja. U ovom se radu analiziraju tehnološke inovacije i koncepti koji oblikuju promet u 21. stoljeću, uključujući različite prometne sektore i primjenu naprednih tehnologija. Pri tome se temeljem iskustva različitih primjera, analize suvremene tehnologije i razvojnih potencijala nastoji napraviti pregled trenutnih mogućnosti i primjena automatiziranih sustava za upravljanje u prometu te prepoznati tendencije budućeg razvoja automatskog upravljanja u prometu. S obzirom na potencijalne prednosti u ekonomskoj efikasnosti, smanjenju onečišćenja i unaprjeđenju mobilnosti, automatsko upravljanje u prometu ostaje ključnim područjem istraživanja i razvoja u budućnosti.

Ključne riječi: automatizirani sustavi za upravljanje prometom, inteligentni transportni sustavi, pametna mobilnost, optimizacija prometa

ABSTRACT

In the modern world, automation and autonomous control are becoming key factors in various sectors, including transportation. Smart and automated transportation, along with smart urban traffic management, are transforming how we address contemporary traffic challenges. These solutions, supported by advanced technologies such as artificial intelligence, sensors, and high-speed communication technologies, reduce congestion on urban roads and enhance mobility. With the rapid development of telecommunications, including IoT devices and 5G networks, the foundation is being laid for efficient real-time transport management. Automated traffic management is already a reality in many cities, and their experiences are being used to improve systems in new locations. The future development of these technologies will require collaboration between academic institutions, industry, and government authorities to ensure successful implementation in urban environments. This paper explores key trends and perspectives in automated traffic management with the aim of shaping better transportation systems. The issue of traffic management, with a focus on automation and autonomous control, is the central theme of this research. This paper encompasses technological innovations and concepts that shape transportation in the 21st century, including various transportation sectors and the application of advanced technologies. Based on the experiences of different examples, analysis of contemporary technology, and developmental potential, an overview of current possibilities and applications of automated traffic management systems is attempted, while also identifying trends in the future development of automated traffic management. Given the potential benefits in economic efficiency, pollution reduction, and mobility enhancement, automated traffic management remains a key area of research and development in the future.

Keywords: automated traffic management systems, intelligent transport systems, smart mobility, traffic optimization

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
ABSTRACT	II
1. UVOD.....	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA.....	2
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	2
1.4. ZNANSTVENE METODE.....	3
1.5. STRUKTURA RADA	4
2. ODREDNICE AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U PROMETU.....	5
2. 1. Osnovne značajke automatskog upravljanja u prometu	5
2. 3. Detektori za automatsko upravljanje prometom	14
2.4. Automatsko upravljanje semaforima pomoću senzora vozila i GSM modela	17
2. 5. BALANCE metoda upravljanja u prometu.....	21
2. 6. IMFLOW sustav upravljanja u prometu	23
3.AUTOMATIZIRANO UPRAVLJANJE U PROMETU KAO DIO KONCEPTA PAMETNIH GRADOVA	27
3. 1. Sustavi upravljanja javnim prijevozom	28
3. 2. Parkirni sustavi informiranja i navođenja	34
3. 3. Pametna mobilnost i potreba za uravnoteženjem mobilnosti u EU.....	39
4. PRIMJENA AUTOMATSKIH PROMETNIH SUSTAVA	42
4. 1. Automatski prometni sustav TRISTAR Gdansk/Gdynia.....	42
4. 2. Automatski prometni sustav Rijeka.....	46
4. 3. Automatski prometni sustav grada Beča.....	49

4. 4. Automatski prometni sustav Singapura	53
5. TENDENCIJE BUDUĆEG RAZVOJA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U PROMETU.....	57
5. 1. Značaj novih tehnologija za poboljšanje automatskog upravljanja u prometu	57
5. 2. SWOT analiza razvojnih mogućnosti automatskog upravljanja u prometu	62
5. 3. Potencijal razvoja automatskog sustava za upravljanje u prometu u Hrvatskoj	66
6. ZAKLJUČAK.....	69
LITERATURA	71
POPIS SLIKA I TABLICA	75

1. UVOD

U suvremenom svijetu, automatizacija i autonomno upravljanje sve su značajniji čimbenici u različitim sektorima. Automatizacija je već neko vrijeme prisutna kao rješenje za pomoć ljudima u izbjegavanju opasnosti i drugih izazova. Automatizacija je prvo obuhvatila proizvodne linije, a danas se proteže na mnoge aspekte naših života, uključujući promet. S obzirom na izazove s kojima se suočavamo, kao što su prometna zagušenja, potreba za smanjenjem emisija štetnih ispušnih plinova, i potreba za boljim iskorištavanjem resursa, automatizacija i autonomno upravljanje postaju ključni čimbenici u oblikovanju budućnosti prometnih sustava.

Unatoč tome što se suvremena prometna perspektiva suočava s mnogim izazovima, razvoj tehnologije i implementacija automatizacije otvaraju vrata novim mogućnostima za poboljšanje prometnih sustava. Stoga će se u ovom radu istražiti ključni trendovi i perspektive daljnjeg razvoja automatskog upravljanja u prometu te kako će ono oblikovati našu svakodnevicu u urbanim i ruralnim područjima. Pri tome će se utvrditi kako se automatizacija i autonomno upravljanje u prometu koriste kako bi se stvorili učinkoviti, sigurni i održivi prometni sustavi za budućnost.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

U svijetu rastuće urbanizacije i prometnih izazova, problemi vezani uz upravljanje u prometu postaju sve složeniji i zahtjevniji za rješavanje. Prometne gužve, nesreće, emisije štetnih plinova te potreba za učinkovitim korištenjem resursa i smanjenjem negativnih utjecaja na okoliš postaju sve važniji aspekti suvremenog društva. Predmet istraživanja ovog rada je upravljanje u prometu s fokusom na automatizaciju i autonomno upravljanje kako bi se poboljšala sigurnost, fluidnost i održivost prometa.

Objekti istraživanja obuhvaćaju širok spektar tehnoloških inovacija i koncepata koji oblikuju promet u 21. stoljeću. To uključuje automatizaciju prometnih sustava, implementaciju inteligentnih transportnih sustava (ITS), primjenu Internet stvari (IoT), upotrebu umjetne inteligencije (AI) te povezane prometne signalizacije.

Također, objekti istraživanja obuhvaćaju različite aspekte prometa, uključujući cestovni, zračni, željeznički i pomorski promet, s naglaskom na primjenu tehnologije u svakom od tih sektora.

Ovako definirani problem, predmet i objekti istraživanja postavljaju temelje za istraživanje automatskog upravljanja u prometu u svrhu unaprjeđenja prometnih sustava i stvaranja održivih i učinkovitih rješenja za prometne izazove koji se suočavaju u suvremenom društvu.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Prilikom pisanja ovog rada polazi se od hipoteze:

"Poboljšanje učinkovitosti i sigurnosti prometnih sustava kroz integraciju automatizacije, umjetne inteligencije i tehnologija Internet stvari (IoT) može znatno doprinijeti smanjenju prometnih gužvi, nesreća te negativnih utjecaja na okoliš u suvremenim urbanim sredinama."

Ova hipoteza sugerira kako korištenje naprednih tehnoloških rješenja u upravljanju prometom može imati pozitivan učinak na različite aspekte prometa te će istraživanje tih tehnologija doprinijeti unaprjeđenju prometnih sustava u gradovima i gusto naseljenim područjima.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha istraživanja je istražiti trenutačne trendove i tehnološke inovacije u području automatskog upravljanja u prometu te analizirati njihov potencijalni utjecaj na učinkovitost, sigurnost i održivost prometnih sustava u suvremenim urbanim okolinama. Osim toga, istraživanje ima za svrhu razumjeti prednosti, izazove i moguće primjene naprednih tehnologija poput umjetne inteligencije, Internet stvari (IoT) i telematike u kontekstu prometa.

Ciljevi istraživanja uključuju:

- Analizu trenutačnih trendova u automatizaciji i upravljanju prometom u urbanim sredinama.
- Istraživanje tehnoloških rješenja kao što su autonomna vozila, pametni prometni znakovi, tehnologija komunikacije između vozila (V2V) i komunikacija vozila s infrastrukturom (V2I).
- Procjenu utjecaja ovih tehnoloških inovacija na smanjenje prometnih gužvi i poboljšanje sigurnosti na cestama.
- Razmatranje ekoloških aspekata primjene automatskog upravljanja u prometu i njihovu ulogu u smanjenju emisija ispušnih plinova i negativnih utjecaja na okoliš.
- Identifikaciju izazova i prepreka koji se mogu pojaviti pri implementaciji novih tehnologija u prometnim sustavima.
- Razmatranje mogućih političkih, zakonodavnih i ekonomskih implikacija automatizacije i upravljanja u prometu.

Istraživanje će pružiti dublje razumijevanje potencijala i ograničenja automatizacije u prometu te pomoći u identifikaciji smjernica za daljnji razvoj i primjenu ovih tehnologija u urbanim sredinama.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Prilikom pisanja rada korištene su znanstvene metode analize, sinteze, deskripcije i metoda komparacije.

1.5. STRUKTURA RADA

Rad započinje uvodom u kojem je predstavljen problem, predmet i objekti istraživanja, radna hipoteza, svrha i ciljevi istraživanja, znanstvene metode i struktura rada.

Sustavi za automatsko upravljanje u prometu prvo je poglavlje u kojem se razmatraju osnovni sustavi i koncepti vezani uz automatsko upravljanje prometom.

Pri tome se analiziraju različite metode detekcije i praćenja vozila u prometu, zatim primjena senzora vozila i GSM modela u upravljanju semaforima, detaljno je opisana BALANCE metoda za upravljanje u prometu te IMFLOW sustav upravljanja prometom.

Sljedeće poglavlje, automatizirano upravljanje u prometu kao dio koncepta pametnih gradova promatra primjenu sustava upravljanja javnim prijevozom, istražuju se primjena i potencijali koje posjeduju sustavi za upravljanje javnim prijevozom u okviru pametnih gradova. U tom poglavlju također su opisani parkirni sustavi koji olakšavaju vozačima pronalaženje parkinga, zatim koncept pametna mobilnost i potreba za uravnoteženjem mobilnosti u EU

Praktična primjena automatiziranih sustava za upravljanje u prometu fokusira se na analizu različitih sustava koji se primjenjuju u svijetu kao što je automatski prometni sustav TRISTAR Gdansk/Gdynia, zatim automatski prometni sustav u gradu Rijeci te sustavi u gradovima Beč i Singapur.

Posljednje poglavlje, tendencije budućeg razvoja automatskog upravljanja u prometu promatra značaj novih tehnologija za poboljšanje automatskog upravljanja u prometu pri čemu se ističe uloga novih tehnologija u unapređenju automatskog upravljanja u prometu te se provodi SWOT analiza razvojnih mogućnosti automatskog upravljanja u prometu kao i prikaz potencijala razvoja automatskog upravljanja u prometu u Republici Hrvatskoj.

Rad završava zaključkom u kojemu su predstavljene najvažnije spoznaje dobivene u radu.

2. ODREDNICE AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U PROMETU

U suvremenom svijetu sve više se u prvi plan stavlja automatizacija i upravljanje koje je autonomno od volje osobe. Pri tome se sve više počinju koristiti strojevi za sektore koji ne zahtijevaju ljudsko sudjelovanje. Automatizacija je dugi niz godina bila rješenje za pomoć ljudima u izbjegavanju opasnosti i smanjenju raznih poteškoća. Stoga je automatizacija u skladu s idejom fizičkog distanciranja. Automatizacija je započela s proizvodnim linijama, a sada se preselila u većinu ljudskih stilova života, uključujući one u kućanstvu. Ljudski život uvijek uključuje selidbu ili putovanje na posao ili drugdje. Tijekom pandemije COVID 19 postavilo se pitanje kako smanjiti broj ljudi u zatvorenoj prostoriji što uključuje i prostor vozila. Posao vozača može se dodijeliti automatskom sustavu. Ova ideja vodi do automatiziranog transportnog sustava za prijevoz ljudi ili robe.

2. 1. Osnovne značajke automatskog upravljanja u prometu

Automatsko upravljanje u prometu je upravljačka funkcija odgovorna za sve aktivnosti koje su izravno povezane s proizvodnjom usluge odnosno kretanja. Osim toga, svaka organizacija, i privatna i javna, proizvodi proizvode, koji mogu biti dobra, usluge ili njihova kombinacija. Usluga mobilnosti pruža se svim sudionicima u prometu (pješačima, biciklistima i vozačima). Štoviše, riječ je o javnoj usluzi koju pruža upravitelj prometa ili njemu podređene odgovarajuće organizacijske jedinice. Korisnik dobiva pristup infrastrukturi i usluzi kretanja gradom prijevoznim sredstvom po vlastitom izboru. Mobilnost je osnovna ljudska potreba. Korisnici cesta imaju različite zahtjeve i očekivanja u pogledu usluga koje im se nude. Kvaliteta ima ključnu ulogu u pružanju kupcu proizvoda koji zadovoljava njegove zahtjeve. U odnosu na mobilnost, kvaliteta je skup kriterija za odgovarajuće mjere za koje je odgovoran pružatelj usluga.¹

Korištenje inteligentnih transportnih sustava (ITS) je isplativija i lakša metoda poboljšanja komunikacijskih uvjeta od širenja komunikacijske infrastrukture u sadašnjem obliku. Svaki podsustav ITS sustava ima specifične zahtjeve za komunikacijske kanale, koji moraju biti odabrani primjereno potrebama pojedinog podsustava, njegovoj topologiji, korisnicima, uzimajući u obzir troškove kako izgradnje tako i rada sustava.

¹ Singh, B., & Gupta, A. (2015). Recent trends in intelligent transportation systems: a review. *Journal of transport literature*, 30-34., str. 31.

Vrlo su važne i veze koje utječu na financijske obračune između sudionika u prometu, uprave i vlasnika ceste. Ključni element sustava su informacije koje se šalju različitim vrstama komunikacijskih sredstava. Korištenje telekomunikacijskih i informatičkih uređaja čini sustave zapravo automatiziranim sustavima za upravljanje u prometu. Inteligentni transportni sustavi (ITS) nastaju kroz implementaciju različitih telematskih rješenja koja međusobno surađuju, često pod ljudskom kontrolom, podržana odgovarajućim, specijaliziranim telematskim aplikacijama.²

Danas je teško zamisliti neometano i sigurno kretanje vozila gradskim prometnim arterijama bez korištenja inteligentne infrastrukture. Inteligentni transportni sustavi (ITS) ključan su element inteligentne infrastrukture čija je glavna zadaća povećanje učinkovitosti postojeće infrastrukture bez potrebe za njezinim daljnjim proširenjem. ITS pokriva četiri osnovna pitanja: sustav putnih informacija, inteligentna vozila, inteligentnu prometnu infrastrukturu i centre za kontrolu i upravljanje prometom.³ ITS obavlja mnoge funkcije, od naprednih sustava upravljanja u prometu pomoću semafora do sustava upozorenja na mogućnost nesreće. Odabir strukture sustava upravljanja u prometu u velikoj mjeri ovisi o lokalnim uvjetima, a u slučaju metropolitanskih sustava o organizacijskim strukturama u pojedinim područjima aglomeracije. Proširenjem ITS-a na automatizaciju i primjenu umjetne inteligencije te široke primjene senzora omogućuje sve veću i važniju primjenu ovog koncepta u stvaranju automatskih sustava upravljanja cjelokupnom prometnom mrežom.⁴

Ideja o samohodnom autobusu ili kamionu koji vozi ljude do automobila umjesto ljudskog pogona mogla bi biti stvarnost u današnjoj tehnologiji. Prva primjena može biti prijevoz ili distribucija proizvodne linije od jedne do druge točke u industrijskoj proizvodnji. Ovaj autonomni transportni sustav bio bi bolji od korištenja ljudskih vozača s njihovim ograničenjima. Autonomna tehnologija ima potencijal pomoći u povećanju produktivnosti proizvodne linije i smanjenju transportnih troškova. Takve se tehnologije čine skupima, a što ako se automatizirano vozilo i transportni sustav za vožnju tramvajskih vozila na njegovoj pruzi može konstruirati jednostavnije?

² Vilke, S., & Tadić, F. (2020). Review of Good Practices in the Introduction of Traffic Management Systems and Urban Mobility. Pomorski zbornik, 95-113., str. 95-96.

³ Alam, M., Ferreira, J., & Fonseca, J. (2016). Introduction to intelligent transportation systems. Intelligent transportation systems: Dependable vehicular communications for improved road safety, 1-17., str. 4.

⁴ Bošnjak, I. (2006). Inteligentni transportni sustavi. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu., str. 21.

Automatsko vozilo može biti opremljeno senzorom težine kako bi se znalo koliko je utovareno i koliko je ljudi u njemu. Može se instalirati vremenska odgoda kako bi se neko vrijeme zaustavio na stanici.⁵

Automatski sustavi upravljanja u prometu predstavljaju maksimalno iskorištavanje potencijala suvremenih tehnoloških dostignuća i brzih mreža te njihove implementacije u inteligentne transportne sustave. Struktura inteligentnog sustava sastoji se od sljedećih detaljnih struktura: opće, funkcionalne, logičke, fizičke i tehnološke. Prve tri strukture tiču se definiranja i provedbe općih prometnih ciljeva, a zadaća su prometnih inženjera, inženjera cestovnog prometa, planera itd. Posljednje dvije strukture su alati za postizanje postavljenih prometnih ciljeva, stoga su ove strukture domena stručnjaci za automatiku, elektroniku i informatiku. Opća struktura sustava određuje skup tipova sustava koji će se koristiti u analiziranom području. Opća struktura definira opseg rada svakog od podsustava i specificira koji skupovi podataka trebaju teći između njih kako bi se omogućila koordinacija cijelog sustava radi postizanja željenih učinaka.⁶

Inteligentni transportni sustavi namijenjeni automatskom upravljanju prometom široki su raspon različitih alata temeljenih na informacijskoj tehnologiji, bežičnoj komunikaciji i elektronici vozila. Telematske tehnologije upoznaju se s elementima opreme prometne infrastrukture i vozila. Primarni cilj ovih aktivnosti je tajno upravljanje vozilima, teretima i rutama, što će poboljšati sigurnost, smanjiti gužve, skratiti vrijeme putovanja i smanjiti potrošnju goriva.

Suvremene tehnologije temelje se na primjeni komunikacija, elektronike, senzorske tehnologije i računalnih sustava kako bi se unaprijedila svjetlosna signalizacija u prometu. Ovi sofisticirani sustavi omogućuju koordinaciju i komunikaciju ključnih funkcija u prometnim operacijama. Sustavi upravljanja u prometu kontroliraju prometne signale i promjenjive znakove, pružajući vozačima izravne informacije o zagušenjima na cestama. Uvođenjem inteligentnih sustava za vođenje vozila omogućeno je glatko kretanje prometnih tokova putem elektronski definiranih prometnih traka s konstantnom brzinom.

⁵ Alam, M., Ferreira, J., & Fonseca, J. (2016). Introduction to intelligent transportation systems. op. cit., str. 4.

⁶ Zantalis, F. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. Future Internet, 1-23., str. 3.

Primjena naprednih transportnih telematskih sustava omogućuje integraciju različitih oblika prometa na način koji ranije nije bio moguć bez računalnih i komunikacijskih tehnologija. Ovi suvremeni sustavi su prilagodljivi i otvoreni, omogućujući primjenu različitih tehnologija s interaktivnim i multimedijским značajkama. Istovremeno, osiguravaju cjelovitost djelovanja na razini mikrolokacija, ulica, gradova, regija, nacija i svijeta u cjelini.⁷

Internet stvari (IoT) i umjetna inteligencija (AI) omogućuju novu klasu inteligentnih transportnih sustava (ITS) za cestovni, zračni, željeznički i pomorski promet. Ova rješenja povezuju vozila, semafore, naplatne kućice i drugu infrastrukturu kako bi se smanjile prometne gužve, spriječile nesreće, smanjile emisije i povećala učinkovitost prijevoza. Primjeri uključuju upravljanje voznim parkom, inteligentno upravljanje prometom, V2X komunikaciju, punjenje električnih vozila, elektroničku naplatu cestarine i širok raspon drugih rješenja mobilnosti.⁸

Osnovni koncept IoT-a je povezivanje fizičkih objekata iz okruženja u globalnu mrežu temeljenu na IP protokolu koji može biti temelj za razvoj pametnog prometnog sustava velikih razmjera. Zbog velike količine prometnih podataka koji se mogu prikupiti iz prometa (broj vozila, brzina, vrijeme putovanja itd.), IoT koncept može biti pogodna platforma za razvoj centara za upravljanje prometom. Razvoj IoT koncepta potaknut je istraživanjima unutar određenih područja inženjerskih znanosti kao što su povezivanje entiteta u pokretu, obrada velikih količina podataka o prometu, razvoj i implementacija standarda IPv6, itd. Sva razvijena i neovisna tehnička područja mogu se povezati kroz posrednički programski sloj.⁹

Pametna infrastruktura neophodna je za modernizaciju gradova u smislu izgradnje učinkovitijih cesta i autocesta. Pametne ceste temeljene na Internetu stvari i informacijskim i komunikacijskim tehnologijama (ICT – *information and communication technologies*) mogu omogućiti gradovima i prometnim vlastima prikupljanje i analizu podataka za

⁷ Bombol, K. M., & Kotlovska, D. (2003). Transportna telematika : moderno rješenje starog problema prometa u gradovima. Suvremeni promet, 287-292., str. 287.

⁸ Muthuramalingam, S., Bharathi, A., & Rakesh Kumar, S. (2019). IoT based intelligent transportation system (IoT-ITS) for global perspective: A case study. Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation, 279-300., str. 282.

⁹ 36. Vujić, M., Škorput, P., & Čelić, J. (2015). Wireless communication in cooperative urban traffic management. Pomorstvo, str. 150.

poboljšanje svakodnevnog upravljanja u prometu. Pametna cestovna infrastruktura također može pomoći gradovima u prilagodbi dugoročno održivim prometnim potrebama. Zahvaljujući sensorima, kamerama, radarima i tehnologijama koje koriste 5G IoT povezivost, podaci se mogu analizirati u gotovo stvarnom vremenu i koristiti za nadogradnju zakrčenih cesta, poboljšavajući protok prometa.¹⁰

Rubno računalstvo nudi nebrojene mogućnosti za stvaranje pametnih i povezanih cesta. Navedeni sustavi pružaju nisku latenciju za analitiku i umjetnu inteligenciju (AI) koje pokreću inteligentnu cestovnu infrastrukturu, kao što su prilagodljiva duga svjetla i integrirane ceste. Na primjer, semafori koji se automatski prilagođavaju na temelju podataka senzora mogu poboljšati protok prometa ili promijeniti signale kako bi zaštitili sudionike u prometu od nesigurnih vozača.¹¹

Inteligentni transportni sustavi namijenjeni automatskom upravljanju prometom široki su raspon različitih alata temeljenih na informacijskoj tehnologiji, bežičnoj komunikaciji i elektronici vozila. Telematske tehnologije upoznaju se s elementima opreme prometne infrastrukture i vozila. Primarni cilj ovih aktivnosti je tajno upravljanje vozilima, teretima i rutama, što će poboljšati sigurnost, smanjiti gužve, skratiti vrijeme putovanja i smanjiti potrošnju goriva.

Raznolikost automatiziranih sustava upravljanja u prometu i njihove primjene određuju ne samo poboljšanje protočnosti prometa i povećanje performansi u prometu već prvenstveno i poboljšanje sigurnosti na različite načine. U urbanim sredinama sa značajnom gustoćom cestovne infrastrukture, rješavanje problema sigurnosti cestovnog prometa razvojem infrastrukture je najmanje učinkovita akcija. Puno uočljiviji učinci poboljšanja sigurnosti vidljivi su u neurbanim područjima. Navedeni automatizirani sustavi značajno poboljšavaju upravljanje u prometu na autocestama, funkcioniranju javnog prijevoza itd. Korištenje inteligentnih transportnih sustava (ITS) također omogućuje poboljšanje razmjene informacija između vozača, prijevoznika i logističkih centara.¹²

¹⁰ Zantalis, F. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. op. cit., str. 3.

¹¹ Muthuramalingam, S., Bharathi, A., & Rakesh Kumar, S. (2019). IoT based intelligent transportation system (IoT-ITS) for global perspective: A case study. Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation, op. cit., str. 283.

¹² Bošnjak, I. (2006). Inteligentni transportni sustavi. op. cit., str. 24.

Ovi sustavi se često koriste u većim gradovima i urbanim područjima. Oni obuhvaćaju sustave upravljanja u prometu putem semafora, kao i sustave koji pružaju informacije vozačima o stanju prometa i parkiralištima putem radija, promjenjivih znakova ili unutar vozila. Podaci prikupljeni detektorima mogu se dijeliti s drugim kontrolnim područjima i koristiti u drugim infrastrukturnim sustavima za upravljanje u prometu u urbanoj i gusto naseljenoj okolini.

Semafori koji se koriste u tim sustavima mogu se prilagoditi prometnom opterećenju u mreži ulica i uzeti u obzir prioritete za javni prijevoz i hitne službe. Kontrola pješackog prometa na prijelazima također je važna, bilo putem tipkama ili automatskom detekcijom pješaka. Napredna tehnologija koja se koristi u tim sustavima omogućuje praćenje onečišćenja zraka na određenim područjima. Ako se prekorači dopuštena razina ispušnih plinova ili ako su parkirališta pretrpana, određena područja mogu se zatvoriti za individualni promet. Nadzor brzine i poštivanje prometnih pravila također su važni aspekti sigurnosti prometa, a za to se koriste nadzorne kamere koje otkrivaju vozače koji krše pravila.

Struktura inteligentnog sustava obuhvaća pet detaljnih aspekata: opću, funkcionalnu, logičku, fizičku i tehnološku strukturu. Prve tri strukture usmjerene su na formuliranje i ostvarivanje općih ciljeva u prometnom sektoru, a to su zadaci koji zahtijevaju sudjelovanje stručnjaka za prometno inženjerstvo, cestovni promet i urbanističko planiranje. S druge strane, posljednje dvije strukture predstavljaju alate koji omogućuju postizanje tih prometnih ciljeva i stoga su područje stručnjaka za automatiku, elektroniku i informacijsku tehnologiju.¹³

Opća struktura sustava pruža okvir za definiranje različitih tipova sustava koji se koriste u analiziranom prometnom kontekstu. Unutar inteligentnih prometnih sustava, razmatraju se različite komponente, uključujući podsustave kao što su sustavi upravljanja u prometu, javni prijevoz, teretni promet, hitne službe i informacijski sustavi za promet.

¹³ Saini, S. K., & Ghumman, M. S. (2022). Automated Traffic Management System Using Deep Learning Based Object Detection. 2022 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), str. 4.

Opća struktura precizira opseg odgovornosti svakog od tih podsustava i specificira koji skup podataka treba biti razmijenjen između njih kako bi se omogućila učinkovita koordinacija cijelog sustava, s ciljem postizanja željenih rezultata.¹⁴

Ovi sustavi su u širokoj upotrebi, posebno u velikim gradovima i urbanim središtima. Sustavi upravljanja u prometu omogućuju nadzor i upravljanje u prometu putem semafora, dok drugi sustavi pružaju informacije vozačima, bilo putem radija, promjenjivih znakova s porukama ili ugrađenih informacijskih sustava unutar vozila. Osim toga, podaci prikupljeni detektorima mogu se dijeliti s susjednim kontrolnim područjima i koristiti u drugim urbano-aglomeracijskim sustavima ITS infrastrukture.

Sustavi upravljanja u prometu koji koriste semafore omogućuju prilagodbu parametara prometnog opterećenja unutar gradske mreže, a također mogu uzeti u obzir prioritete vozila javnog prijevoza ili hitnih vozila. Nadalje, sustavi za kontrolu pješackog prometa na prijelazima (putem signalizacije tipkama ili automatskom detekcijom pješaka) od kritične su važnosti za osiguravanje sigurnosti pješaka. Nadalje, moderna tehnologija u naprednim sustavima upravljanja u prometu omogućuje praćenje razine zagađenja zraka na određenom području. U slučaju prekoračenja dopuštenih koncentracija ispušnih plinova ili kada su parkirališni kapaciteti iscrpljeni, postoji mogućnost zatvaranja određenih područja za individualni promet. Važan aspekt sigurnosti u prometu je i nadzor brzine te poštivanje prometnih pravila, a u tu svrhu koriste se nadzorne kamere koje identificiraju vozače koji prekrše prometne propise.¹⁵

Sustavi automatske naplate cestarine mogu se koristiti na cestama i objektima, na ulazima u posebna područja (centri, zaštićene zone) te na mjestima namijenjenim parkiranju. Mogu se razlikovati tri glavna cilja uvođenja naknada za korištenje cesta u urbanim područjima:¹⁶

- smanjenje gužvi u kritičnim dijelovima gradova smanjenjem mobilnosti vozača (povećanje udjela javnog prijevoza u putovanjima), promjenom vremena početka putovanja ili promjenom putne trase, a time i smanjenje intenziteta prometa na ovim prostorima

¹⁴ Gordon, R. (2015). *Intelligent Transportation Systems*. Newark: Springer International Publishing., str. 45.

¹⁵ Ibid. Str. 46.

¹⁶ Saini, S. K., & Ghumman, M. S. (2022). *Automated Traffic Management System Using Deep Learning Based Object Detection*. op. cit., str. 6.

- smanjenje negativnih učinaka zagušenja (buka, emisije)
- dobivanje sredstava za poboljšanje kvalitete života stanovnika (poboljšanje javnog prijevoza, sigurnosti cesta, modernizacija i popravak ceste)

Pitanje naplate cestarine razmatrano je u okviru programa PROGRESS, u kojem je testirana oprema za automatsku naplatu cestarine pomoću GPS tehnologije. Ovaj program također je razmotrio plaćanje cestarine za vožnju kroz urbana područja i njegovu povezanost sa sustavima naplate cestarine za teretna vozila, čije se cestarine određuju na temelju prijedene udaljenosti. Ovi sustavi upravljanja u prometu omogućavaju smanjenje zahtjeva pojedinačnih korisnika za pristupom atraktivnim i gušćim dijelovima grada. To se postiže putem elektroničke identifikacije vozila kojima je dozvoljen ulazak u određena područja te automatskom naplatom naknada za parkiranje ili pristup tim područjima.

Elektronički i automatizirani sustavi praćenja vozila omogućuju učinkovito korištenje cestovnog prostora za različite vrste aktivnosti poput čekanja, parkiranja ili utovara, a prilagođavaju se promjenjivim zahtjevima korisnika koji se značajno mijenjaju tijekom dana i tjedna.¹⁷

U kontekstu upravljanja u prometu na brzim cestama, često se koriste sljedeći sustavi:¹⁸

- Sustavi upravljanja u prometu na čvorovima, koji uključuju kontrolu ulaska vozila na brze ceste, omogućujući prvenstvo vozilima hitnih službi i automatsku naplatu cestarine za ulazak na glavnu cestu.
- Sustavi upravljanja u prometu na dionicama čvorova s distributivnim usmjeravanjem izvora (DSR - *Distributed Source Routing node*), koji reguliraju promet vozila i pješaka na čvorovima te pomažu u kontroli ulaska vozila na brzu cestu.
- Sustavi upravljanja u prometu u koridorima DSR-a, koji omogućuju učinkovitu koordinaciju prometa na duljim dionicama brze ceste.

¹⁷ Tian, Z., & Urbanik, T. (2019). System partition technique to improve signal coordination and traffic progression. op. cit., str. 121.

¹⁸ Gordon, R. (2015). Intelligent Transportation Systems. op. cit. str 56.

Kontrola na ulazima na brze ceste ima ključnu ulogu u ograničavanju priljeva vozila kako bi se osigurao optimalan prometni protok s optimalnim brzinama i gustoćama, čime se postiže maksimalni kapacitet i sigurnost. Neki od načina kontrole uključuju upotrebu semafora za reguliranje ulaska vozila na brzu cestu tijekom vršnih sati. Važno je napomenuti kako se primjena ovih sustava može suočiti s izazovima, kao što su vozila koja čekaju u koloni kako bi ušla na brzu cestu, blokirajući pritom raskrižje.

Stoga je suradnja s raskrižjima unutar koridora DSR-a i sustavima upravljanja u prometu na tim raskrižjima od ključnog značaja za ispravno funkcioniranje ovih sustava. Nadzor nad prometom na prometnim trakama često je usmjerena na upravljanje situacijama koje uključuju nesreće, incidente i radove na cestama. Ovo zahtijeva privremeno zatvaranje određenih dijelova ceste i nastojanja za bolje iskorištavanje cestovnog kapaciteta. Također, kontrola prometa na trakama može uključivati promjene smjera prometa tijekom jutarnjih i poslijepodnevničkih špica na dionicama gdje postoje značajni nesrazmjeri u prometu.¹⁹

Sustav upravljanja u prometu u lošim vremenskim uvjetima ima za cilj minimizirati utjecaj loših vremenskih uvjeta na promet pružanjem informacija o trenutnim uvjetima i prilagodbom brzina vozila tim uvjetima. Također, brza detekcija ili lokalno predviđanje loših vremenskih uvjeta pomaže u poboljšanju učinkovitosti i brzine održavanja cesta. Rad ovog sustava može se podijeliti u dvije faze: prva faza uključuje detekciju loših vremenskih uvjeta, dok druga faza obuhvaća kontrolu prometa. Trenutne tehnike praćenja atmosferskih i cestovnih uvjeta omogućuju precizna mjerenja, uključujući temperaturu površine ceste, temperaturu i vlažnost zraka, prisutnost leda, magle, jake kiše i snijega te snažnog vjetra.²⁰

Sustavi upravljanja u prometu u koridorima brze ceste uključuju niz elemenata kao što su preusmjeravanje vozila na alternativne rute, upravljanje sigurnošću prometa, upravljanje radovima na cesti, upravljanje u prometu teških vozila i pružanje informacija vozačima i putnicima. Cilj ovih sustava je optimizirati upravljanje u prometu na brzim cestama i pratećim ulicama. Koridor obično obuhvaća brzu cestu, njezine priključke i servisne ceste te ponekad paralelne ceste, alternativne pravce i križne ceste.

¹⁹ Gordon, R. (2015). *Intelligent Transportation Systems*. op. cit., str. 57.

²⁰ Mandhare, P. A., Kharat, V., & Patil, C. Y. (2018). Intelligent road traffic control system for traffic congestion: a perspective. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*., str. 7.

Širina koridora može biti znatna, dosežući nekoliko kilometara. Detektori se koriste za nadzor prometa na kritičnim dijelovima ceste te se podaci kontinuirano prikupljaju i analiziraju. Ako se detektiraju gužve ili prometne smetnje, aktiviraju se procedure za usmjeravanje prometa na alternativne rute ili zaustavljanje vozila koja se približavaju kraju kolone. Sustavi upravljanja sigurnošću prometa aktiviraju se nakon detekcije incidenta na cesti i pružaju informacije službama za spašavanje, dok se odluke o intervenciji donose rukom operatera sustava.²¹

Napredni sustavi upravljanja javnim prijevozom koriste različite komponente sustava inteligentnih prometnih sustava (ITS) kako bi unaprijedili sigurnost i operativnu učinkovitost. Ovi sustavi uključuju nadzor unutar vozila radi poboljšanja sigurnosti putnika, automatsku dijagnozu problema s vozilima radi održavanja i servisiranja te praćenje vozila kako bi se osigurala točnost rasporeda. Također, ti sustavi omogućuju naplatu karata i pružaju informacije putnicima kako bi se poboljšala ukupna usluga javnog prijevoza.

2. 3. Detektori za automatsko upravljanje prometom

Kako bi upravljanje u prometu bilo učinkovito potrebno je pronaći adekvatan spoj senzora i alata za praćenje koji će omogućiti dobivanje dovoljne količine informacija za donošenje odluke automatiziranog sustava. Za učinkovito upravljanje u prometu predloženi su različiti sustavi praćenja prometa putem senzora. Tehnike temeljene na sensorima se preporučuju za praćenje prometa, gdje se senzori pričvršćuju na vozila u pokretu. Ova vozila su u interakciji sa središnjim sustavom za nadzor prometa, omogućujući sustavu preuzimanje kontrolu nad prometom na temelju podataka senzora. Nadalje, *live video streamovi* s kamera na raskrižjima mogu se koristiti za prikupljanje podataka o prometu, a kroz obradu videa i slike može se izračunati gustoća prometa.

Drugi predloženi pristup za otkrivanje gustoće prometa uključuje korištenje višestrukih IR senzora za kategorizaciju gustoće vozila u tri razine na temelju traka. Međutim, ova metoda može unijeti pogreške, posebno kod podjele trakova na blokove i postavljanja senzorskih rešetki ispod ceste, jer svako odstupanje od standarda može dovesti do netočnih rezultata.

²¹ Gordon, R. (2015). Intelligent Transportation Systems. op. cit. str. 59.

Vrijedno je napomenuti kako su loše održavane ceste identificirane kao čimbenik koji doprinosi velikom broju nesreća. Ovisno o mrežama senzora u takvim uvjetima na cesti dolazi do pogrešnog vizualnog prikaza cesta u analizama jer rešetke u virtualnom prikazu ne mogu kvalitetno prikazati stvarno cestovno opterećenje. Pogreške pri prijenosu podataka i analize mogu se dogoditi ukoliko se ne poštuju standardi implementacije. Preinake ovih rešetki izazvale bi značajne troškove održavanja, s obzirom na utjecaj na gornji sloj ceste.²²

Jedna predložena tehnika koristi senzore radio frekvencijske identifikacije (RFID), koji opremaju svako vozilo RFID oznakom. Kada je u dometu RFID čitača, odašilje se signal koji pokazuje prisutnost vozila. To omogućuje sustavu praćenje broja vozila i posljedično određivanje količine zagušenja. Sustav prilagođava semafore na temelju tih izračunatih vrijednosti. Naime, ovo rješenje nudi čišćenje vozila tijekom hitnih slučajeva korištenjem ZigBee odašiljača i prijammnika u vozilima i na prometnim čvorovima.

Osim toga, dizajniran je za identifikaciju ukradenih vozila uspoređivanjem RFID oznaka nestalih vozila s onima na prometnim signalima i upozoravanjem vlasti.²³

Drugo rješenje za upravljanje u prometu temeljeno na IoT-u za pametne gradove uključuje dinamičku kontrolu prometa putem pametnih telefona kojima upravljaju prometni službenici na licu mjesta. Računala s jednom pločom kao što je Raspberry Pi, opremljena mrežnim značajkama, sučeljem s vanjskim krugovima. Daljnja poboljšanja mogu se postići automatskim prosljeđivanjem podataka o prometu jedinici Raspberry Pi, omogućujući vlastima brzo donošenje odluka. Alternativni pristup predlaže korištenje mobilnih agenata unutar Vehicular Ad Hoc mreže (VANET) za automatsku kontrolu prometa kada pametna vozila ulaze u zonu VANET-a. Sustav broji vozila, aktivira alarm ako se prekorači prag i preusmjerava vozila kako bi spriječio zastoje.²⁴

Tradicionalne metode upravljanja u prometu, poput praćenja brzine vozila putem kamera i provjere onečišćenja, suočavaju se s izazovima zbog sve većeg broja vozila.

²² Mandhare, P. A., Kharat, V., & Patil, C. Y. (2018). Intelligent road traffic control system for traffic congestion: a perspective. op. cit., str. 3.

²³ Ravish, R., Shenoy, D. P., & Rangaswamy, S. (2020). Sensor Based Traffic Control System. Proceedings of the Global AI Congress 2019., str. 5.

²⁴ Ibid.

Još jedno predloženo rješenje uključuje sustav upravljanja u prometu temeljen na Internetu vozila (IoV) koji se bavi kontrolom prometa, otkrivanjem nesreća i sprječavanjem krađe. Međutim, autori priznaju nedostatke IoV-a u smislu sigurnosti i pouzdanosti mreže. Senzori su strateški postavljeni za prikupljanje podataka, koji se zatim šalju središnjem poslužitelju za komunikaciju s različitim uređajima. Velika gustoća vozila na jednom području često dovodi do prometnih gužvi. Kako bi se to ublažilo, autori predlažu smanjenje gužvi navođenjem vozila kroz preusmjeravanje. Oni demonstriraju ovaj pristup dijeleći karte ulica u manje odvojene dijelove i primjenjujući algoritam Ant Colony kako bi pronašli optimalne staze. Dodatno, predlaže se funkcija temeljena na neizrazitoj logici za izračunavanje intenziteta prometa u situacijama s velikim prometom.²⁵

Jedno rješenje koristi algoritme učenja pojačanja (RL) za optimizaciju kontrolera semafora, smanjujući ukupno vrijeme čekanja vozila. Ovaj pristup definira red čekanja za vozila na koja trenutno utječe stanje semafora i ima za cilj smanjiti kumulativno vrijeme čekanja. Nudi dva pristupa: kontrolere temeljene na semaforu ili automobilu. RL omogućuje agentu naučiti ponašanje kroz interakcije pokušaja i pogrešaka s okolinom i ažurira funkciju procjene akcije nakon svake akcije. Međutim, izračunavanje ukupnog vremena putovanja za sva vozila i priopćavanje tih informacija predstavljaju izazove.²⁶

Sličan pristup koristi duboko Q učenje za optimizaciju trajanja semafora na temelju informacija o prometu u stvarnom vremenu. Za aproksimaciju Q vrijednosti koristi se konvolucijska neuronska mreža (CNN) zbog velikog broja stanja u sustavu kontrole prometa. Nagrade se temelje na kumulativnoj razlici vremena čekanja između dva ciklusa, s preporukom dvostruke dubinske duboke Q mreže za rješavanje složenih prometnih scenarija. Model se može suočiti s izazovima u odgovoru na nestalne prometne uvjete u stvarnom vremenu unutar propisanog vremena.²⁷

Također u ovom pogledu kao novo područje istraživanja jest upravljanje u prometu vođeno računalnim vidom. Rješenje uključuje vremensko grupiranje značajki optičkog protoka vozila u pokretu pomoću modela Temporal Unknown Incremental Clustering (TUIC).

²⁵ Mandhare, P. A., Kharat, V., & Patil, C. Y. (2018). Intelligent road traffic control system for traffic congestion: a perspective. op. cit., str. 4.

²⁶ Ibid.

²⁷ Ravish, R., Shenoy, D. P., & Rangaswamy, S. (2020). Sensor Based Traffic Control System. Op. ci., str. 6.

Ovaj pristup zahtijeva poboljšane performanse klasteriranja u usporedbi s korištenjem Gibbsovog uzorkovanja u zaključivanju. Razvijeni algoritam, optimizacija prosječnog vremena čekanja protoka, koristi brojanje klastera za predviđanje trajanja faza prometa, maksimizirajući protok i minimalizirajući prosječno vrijeme čekanja.²⁸

2.4. Automatsko upravljanje semaforima pomoću senzora vozila i GSM modela

Regulacija prometnih tokova se prvenstveno odvija putem automatizirane prometne signalizacije. Prilagodljiva i automatizirana prometna signalizacija često se manifestira kroz promjenjive prometne znakove i poruke. Njezina glavna svrha je ispunjavanje dvije ključne funkcije:²⁹

- povećanje razine sigurnosti prometa
- povećanje razine kvalitete prometa

Konvencionalni semafori koji su danas u širokoj upotrebi lišeni su zamršenog razmišljanja za donošenje odluke kada promijeniti svjetla za različite sudionike u prometu koji čekaju u različitim trakama. Nekoliko radova na inteligentnim i dinamičkim sustavima nadzora prometa s ciljem otklanjanja posljedičnih učinaka sustava upravljanja u prometu u fiksnom vremenu provedeno je posljednjih godina.

Dinamička automatizirana prometna signalizacija pruža sudionicima u prometu pravodobne informacije o važnim promjenama i uvjetima u prometu. Također, putem određenih ograničenja i upozorenja pomaže u prevenciji kako bi se poboljšala sigurnost i kvaliteta prometnog toka. Iako su sigurnost i kvaliteta prometa obično međusobno povezani, dinamička signalizacija se često koristi kako bi se prioritetno osigurala sigurnost prometa, što rezultira boljom uslugom na cestama ili drugim prometnim objektima. Sigurnost prometa može biti ugrožena zbog promjena vremenskih uvjeta koji značajno utječu na sigurnost, prometnih procesa koji mogu smanjiti sigurnost ili kombinacijom tih čimbenika. Važno je napomenuti da, osim osnovnih kriterija vidljivosti, čitljivosti i razumljivosti, dinamička signalizacija mora biti i vjerodostojna.

²⁸ Ravish, R., Shenoy, D. P., & Rangaswamy, S. (2020). Sensor Based Traffic Control System. Op. ci., str. 6.

²⁹ Cerovac, V. (2001). Tehnika i sigurnost prometa. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti., str. 43.

To znači kako informacije i upozorenja moraju biti aktualna. Zastarjele ili netočne informacije mogu dovesti do gubitka povjerenja korisnika u dinamičku signalizaciju. Učestalo korištenje dinamičke signalizacije može smanjiti njezinu učinkovitost jer vozači počinju tretirati kao statičku signalizaciju.³⁰

Primjena automatizirane dinamičke prometne signalizacije posebno je značajna kada je vidljivost na cesti ograničena ili loša i kada su vremenski uvjeti nepovoljni za sigurnu vožnju. Ovisno o vidljivosti, promjenjivi prometni znakovi mogu ograničiti brzinu kretanja na razinu koja omogućuje vozilima sigurno zaustavljanje u slučaju naglog kočenja. Na primjer, ako vozilo putuje brzinom od osamdeset kilometara na sat, minimalna vidljivost kako bi bilo moguće sigurno zaustavljanje vozila iznosi sedamdeset metara. Pri toj vidljivosti i mokrom kolniku, zaustavni put osobnog automobila iznosi šezdeset i šest metara.

Suvremene meteorološke stanice su opremljene visokom tehnologijom koja im omogućuje precizno praćenje različitih uvjeta na cestama. Osim standardnih podataka kao što su temperatura i vlažnost zraka, ove stanice mogu identificirati razinu vlažnosti na kolniku, prisutnost snijega, led na cesti ili čak kemikalije koje mogu utjecati na prijanjanje guma na površini kolnika. Kombinirajući te informacije s trenutnim meteorološkim podacima, dinamička signalizacija može prilagoditi poruke vozačima i postaviti ograničenja brzine kako bi se osigurala sigurna vožnja. Treba napomenuti kako su uvjeti s prisutnošću leda često najopasniji, budući da led može dramatično smanjiti kontrolu nad vozilom.³¹

Vjetar je prirodna pojava koja može značajno utjecati na prometne uvjete. Brzina i smjer vjetra mogu se znatno mijenjati, a na primjeru hrvatske obale, bura je posebno poznata po svojim iznenadnim i snažnim udarima koji mogu ozbiljno ometati vožnju. Kako bi se povećala sigurnost, upozorenja i ograničenja vezana uz vjetar često se primjenjuju preventivno. Ako postoji bilo kakva indikacija kritičnih uvjeta vjetra, kao što su smjer i brzina, dinamička signalizacija automatski će upozoriti vozače i postaviti ograničenja brzine kako bi se minimizirao rizik.

³⁰ Klarić, M. (2012). Sustavi za kontrolu i upravljanje prometom u Cestovnim Tunelima. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti., str. 31.

³¹ Ibid.

U ekstremnim situacijama, može doći do potpune zabrane prometa za određene kategorije vozila ili čak do privremenog zatvaranja prometa na kritičnim dionicama ceste.³²

Upravljanje u prometu unutar tunela ima poseban značaj jer vožnja unutar tunela donosi jedinstvene izazove i uvjete u usporedbi s vožnjom na otvorenim cestama. Unutar tunela primjenjuju se stroga pravila i ograničenja kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u prometu.

Ova pravila uključuju zabranu vožnje unatrag, okretanja ili parkiranja na prometnim trakama te obaveznu uporabu kratkih svjetala. Prilagodba očiju na promjenu osvijetljenja pri ulasku ili izlasku iz tunela predstavlja poseban izazov, pa je održavanje sigurnog razmaka od vozila ispred i pridržavanje ograničenja brzine od iznimne važnosti. U jednocjevnim tunelima gdje postoji samo jedna prometna traka za svaki smjer, strogo je zabranjeno pretjecanje. U dvosmjernim tunelima s tri prometne trake (2+1), pretjecanje je dozvoljeno samo u smjeru gdje postoje dvije usporedne prometne trake, osim ako prometni znakovi ne nalože drukčije. U tunelima s dvije cijevi, svaka za svoj smjer, u pravilu je dozvoljeno pretjecanje, osim ako prometni znakovi ne nalože drukčije. Sigurnost u tunelima posebno je važna zbog specifičnih uvjeta i potreba vozača unutar tih struktura.³³

Pristup genetskog algoritma uobičajen je pristup koji se koristi kod primjene automatiziranih sustava temeljenih na GSM tehnologiji za procjenu obujma prometa na dionicama cesta bez prometnih informacija o dionicama cesta, gdje se procjena vrši korištenjem poznatih informacija o količini prometa na dionicama cesta.

GSM standard je izvorno opisao digitalnu mrežu s komutiranim krugom optimiziranu za full duplex glasovnu telefoniju. Prijenos paketnih podataka obavlja se putem GPRS-a (General Packet Radio services) i povećava se putem EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) koji se naziva EGPRS.³⁴

³² Cerovac, V. (2001). Tehnika i sigurnost prometa. op. cit., str. 43.

³³ Ibid.

³⁴ Blessy, & Adam. (2013). An Automatic Traffic Light Management Using Vehicle Sensor and GSM Model. International Journal of Scientific & Engineering Research, 23-54., str. 23.

Fokusirajući se na modeliranje raskrižja kontroliranih semaforima, formalizam Timed Colored Petri Net (TCPN) koristi se za simulaciju višefaznog raskrižja kontroliranog semaforima s fiksnim vremenskim planom signala. Inteligentna jedinica za upravljanje u prometu za četverosmjerno križanje traka scenarija u stvarnom vremenu implementirana je pomoću RFID senzora pričvršćenih na ambulanta vozila za automatsku identifikaciju i praćenje.

Osim toga, IR odašiljači i prijammnici koriste se za dinamičku kontrolu prometa, određivanje prioriteta vozila i upravljanje gustoćom prometa, čime se povećava trajanje zelenog svjetla za prometne trake s vozilima visokog prioriteta ili gustoćom prometa, sprječavaju prometne gužve i reguliraju promet.³⁵

Sustavi koji se temelje na videu, za razliku od elektroničkih senzora, potiču razvoj vizualnih alata za kontrolu semafora. Kamere se postavljaju na vrhove stupova za snimanje i analizu prometa, izračunavanje broja vozila i gustoće. Raspberry Pi se koristi kao mikrokontroler za osiguravanje vremena signala na temelju gustoće prometa. Izvještava se o dizajnu i implementaciji sustava upravljanja semaforima u stvarnom vremenu koji se temelji na tehnologiji Field Programmable Gate Array (FPGA). Sustav je dizajniran koristeći VHDL jezik, verificiran kroz simulaciju, a zatim testiran na FPGA hardveru. Korištenje infracrvenih (IR) senzora i mikrokontrolera postalo je trend u inteligentnoj kontroli semafora i gustoće. Sustavi inteligentne komunikacije (IC systems – *Intelligent communication systems*) postavljeni uz rubove prometnica aktiviraju se kada vozila prolaze između IC odašiljača i prijemnika. Mikrokontroleri obrađuju izlaz senzora, broje vozila, pohranjuju broj i ažuriraju kašnjenja semafora na temelju broja vozila. Različite tehnologije poput Arduina, sustava nadzora i bežičnih komunikacija korištene su u razvoju sustava pametne prometne signalizacije. Ovi sustavi i dalje nalaze široku primjenu u upravljanju prometom.³⁶

³⁵ Nwosua, C., Isiorhovoja, A., Ogbuka, C., & Anyaka, B. (2021). Density based auto traffic light control system with GSM based remote override for enugu metropolis. *Journal of applied research and technology.*, str. 3.

³⁶ Ibid.

2. 5. BALANCE metoda upravljanja u prometu

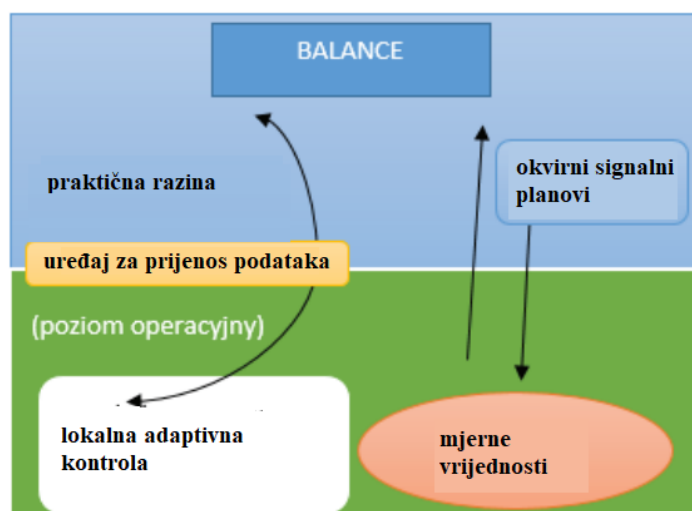
BALANCE (Balancing Adaptive Network Control Method), kao što naziv sugerira, je prilagodljiva mrežna kontrola. Mrežna kontrola uključuje makro ili mezoskopski model kretanja zajedno s algoritmima odgovornim za optimizaciju kontrole. Primjeri modela koji se kombiniraju s BALANCE-om su: OPTIMA, DRIVERS, VISUM, TRELAN, EPICS. Trenutno implementacije proizvoda uključuju u gradovima Dusseldorf, Frankfurt, Gdańsk, Gdynia, Sopot, Salzburg, Regensburg, Beograd.³⁷

Arhitektura BALANCE sustava temelji se na dvorazinskom hijerarhijskom konceptu. Kontrola uključuje lokalnu/operativnu razinu i taktičku razinu. Na lokalnoj razini promjene se provode na temelju mikroskopske kontrole u sekundno dugim vremenskim intervalima prilagođavanjem kontrole situaciji na određenom raskrižju. Ova razina također je odgovorna za dodjelu prioriteta javnom prijevozu. Kontrola se temelji na unošenju izmjena u okvirne planove signalizacije, skraćivanju ili produžavanju signala za pojedine skupine signala. Na taktičkoj razini algoritam BALANCE je makroskopski model koji djeluje u srednjoročnom ili dugoročnom vremenskom okviru, tj. od 5 do 15 minuta. "BALANCE dodjeljuje okvirne planove signala pojedinačnim čvorovima. Okvirni plan signalizacije definira fiksne i varijabilne raspone za svaku fazu lokalnog upravljanja za sve semafore jedne skupine sa zajedničkim vremenom ciklusa.³⁸

³⁷ Ziemska, M., & Śrubka, M. (2021). Analiza porównawcza inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym, metoda balance i metoda scats. Prace wydziału nawigacyjnego akademii morskiej w gdyni., str. 4.

³⁸ Ibid.

Slika 1: Shematski prikaz BALANCE arhitekture



Izvor: vlastita izrada autora prema: Ziemska, M., & Śrubka, M. (2021). Analiza porównawcza inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym, metoda balance i metoda scats. Prace wydziału nawigacyjnego akademii morskiej w gdyni

Unutar varijabilnih opsega, kontroleri čvorova mogu se prilagoditi trenutnom prometu na temelju svojih lokalnih detektora. Međutim, pružanjem okvirnih signalnih planova stvara se osnovna struktura za pojedine signale u kojoj se postavljaju vremena zelenog svjetla za pojedine signalne skupine. Minimiziranje vremena gubitaka međusobnom koordinacijom semafora ovisno o prometu (optimiziranje vremena pomaka, zeleni val) i opća prilagodba vremena zelenog svjetla grupa signala izvodi se centralno na razini mreže, a precizna prilagodba vremena trajanja zelenog svjetla na semaforu. Ako u čvoru nema lokalne detekcije ili kontrole ovisne o prometu, okvirni planovi signala također se mogu implementirati izravno kao program s konstantnim vremenom.³⁹

Primarna prednost prilagodljive kontrole mreže je smanjeno vrijeme putovanja. Vozači osobnih vozila kao i vozila javnog prijevoza skraćuju vrijeme kretanja u kontroliranoj mreži. Skraćenje vremena uzrokovano je koordinacijom semafora, odnosno ograničenim brojem zaustavljanja na crvenom svjetlu, kao i polazak nakon pojave zelenog signala.

³⁹ Ziemska, M., & Śrubka, M. (2021). Analiza porównawcza inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym, metoda balance i metoda scats. op. cit., str. 7.

Ukidanjem pokretanja i zaustavljanja na semaforima, emisije CO₂ su smanjene, čime vozači imaju financijsku korist trošeći manje benzina, dizela, plina i struje.

2. 6. IMFLOW sustav upravljanja u prometu

Tehnologija koju je predstavila nizozemska tvrtka Imtech moderno je i sveobuhvatno rješenje za primjenu od jednog raskrižja do složene urbane cestovne mreže. ImFlow je ITS aplikacija koja može raditi kao izolirani sustav ili kao dio sustava za upravljanje prometom. Njegova konkurentnost proizlazi iz visoke skalabilnosti i fleksibilnosti. Ovaj sustav omogućuje odabir prikladnog i optimalnog rješenja prilagođenog lokalnim uvjetima klijenta. Također se može povezati s drugim ITS aplikacijama. To omogućuje sveobuhvatnu kontrolu i značajno olakšava donošenje odluka u upravljanju gradskim prometom. Učinkovitost prometnog sustava, određena između ostalog i transportnim kapacitetom, utječe na protok ljudi, dobara i informacija u gradu. Opisana tehnologija koristi metodu raspodijeljenog adaptivnog upravljanja u stvarnom vremenu. Sastoji se od izolacije raskrižja i njihovog opremanja vlastitim, inteligentnim modulom koji optimizira promet na temelju konfigurirane strategije. Kao rezultat toga, sustav upravljanja u prometu može brže reagirati na promjene u mreži i dati prednost vozilima javnog prijevoza. Ujedno, aplikacija ImFlow može postati komponenta Sustava za upravljanje u prometu (UTC - Urban Traffic Control). U ovom slučaju koristi se za upravljanje semaforima pomoću odgovarajućih adaptivnih algoritama u ImFlow modulima. Algoritam je strogo definiran računalni postupak koji pretvara ulazne podatke u izlazne podatke.⁴⁰

Centralni sustav ImFlow može se implementirati pomoću jednog ili više servera ovisno o zahtjevima kupca. Također omogućuje pristup povijesnim i statističkim bazama podataka koje se koriste u razvoju relevantnih algoritama. Zahvaljujući ograničenom broju servera i transparentnom korisničkom sučelju aplikacije, moguća je jednostavna interakcija s kontrolorima semafora na raskrižjima.

⁴⁰ Hamilton, A. (2013). The evolution of urban traffic control: changing policy and technology. *Transportation planning and technology*, 24-43., str. 36.

Korisnik koji koristi ImFlow module spojene izravno na centralni sustav može promijeniti postavke kontrolera na svakom raskrižju. Istovremeno, osoba koja koristi aplikaciju ima pristup podacima o npr. obimu prometa u određenom trenutku.⁴¹

Sustav ImFlow može se implementirati u već postojeće pristupe upravljanju prometom ali isto tako i primijeniti prilikom izrade sasvim novih pristupa. To dokazuje fleksibilnost korištenja aplikacije. Semafori spojeni na ImFlow mrežu povezani su s prometnicima. Korisnik opisane tehnologije može kontrolirano prilagoditi algoritam koji se koristi u signalnom uređaju lokalnim uvjetima. Jednako važan element ImFlowa su detektori javnog prijevoza. Sam sustav je usmjeren na davanje prednosti vozilima javnog prijevoza, kao i specijalnim vozilima.⁴²

Osnovna pretpostavka i zadaća sustava je optimizacija načina upravljanja u prometu u naseljenom području. Također je moguće odrediti prioritet korištenja ImFlowa od strane klijenta. Ciljevi proizvoda uključuju:⁴³

- smanjenje broja prometnih gužvi,
- poboljšanje protoka prometa,
- smanjenje zagađenja zraka,
- poboljšanje sigurnosti na cestama,
- poboljšanje funkcioniranja javnog prijevoza,
- rukovanje hitnim slučajevima,
- skraćivanje vremena čekanja,
- poboljšanje protoka informacija.

Osnovni problem razvoja i funkcioniranja gradskog prometa je preveliki broj pojedinačnih vozila koja prometuju cestama u vršnim satima. To dovodi do zagušenja na glavnim komunikacijskim pravcima. Zbog toga se vozila javnog prijevoza (autobusi, tramvaji) ne mogu kretati prema planu, što dovodi do kašnjenja.

⁴¹ Liu, H. X. (2007). Model reference adaptive control framework for real-time traffic management under emergency evacuation. *Journal of urban planning and development*, 43-50., str. 44.

⁴² Hamilton, A. (2013). The evolution of urban traffic control: changing policy and technology. *op. cit.*, str. 26.

⁴³ Ibid.

Povećanje vremena vožnje postaje stalna pojava koja prati gradska putovanja. Sustav ImFlow omogućuje poboljšanje protoka prometa, što zauzvrat dovodi do smanjenja broja zagušenja na cestama. Aplikacija smanjuje broj zaustavljanja vozila zbog prometnih gužvi. Na taj način značajno smanjuje emisiju ispušnih plinova i buku. Premještanjem neizbježnih zagušenja na drugi dio cestovne mreže, ImFlow omogućuje kontrolu lokacije i ozbiljnosti prometnog onečišćenja. Raspršivanjem zagađivača, ImFlow smanjuje utjecaj prometa na urbani okoliš.⁴⁴

Sustav ImFlow također se može koristiti za olakšavanje prolaska vozila javnog prijevoza kroz urbana područja. U hitnim slučajevima koji zahtijevaju intervenciju specijalnih vozila, sustav daje prednost tim prijevoznim sredstvima. Koristeći ImFlow, koji je sastavni dio Sustava za upravljanje prometom, korisnik može slati i primiti detaljne informacije o količini prometa i očekivanom vremenu čekanja. Osoba koja koristi sustav može saznati kašnjenja vozila javnog prijevoza, poput tramvaja ili autobusa.

ITS sustavi predstavljaju značajan element upravljanja u prometu u modernim gradovima. Širenjem urbaniziranih područja povećava se i broj automobila na cestama koje prolaze kroz njih. To dovodi do stvaranja brojnih gužvi na glavnim cestovnim pravcima. Tehnologija ImFlow omogućuje vam smanjenje zagušenja unutar najzakrčenijih koridora. Troškovi uvođenja tehnologije u gradu iznose nekoliko stotina milijuna zlota.

Sustav ImFlow također se može koristiti za olakšavanje prolaska vozila javnog prijevoza kroz urbana područja. U hitnim slučajevima koji zahtijevaju intervenciju specijalnih vozila, sustav daje prednost tim prijevoznim sredstvima.

ImFlow ima tri osnovna načina rada. Prvi je adaptivno upravljanje pomoću adaptivnog algoritma. Cilj algoritma je pronaći i implementirati u stvarnom vremenu najbolju kontrolu za strategiju koju nameće operater. U tu svrhu koriste se podaci detektora kretanja postavljenih unutar raskrižja. Sljedeći način rada je System Activated Plan Selection (SAPS). U tom slučaju SAPS algoritam svakih 15 minuta odabire najbolji program kontrole prometa za određenu prometnu situaciju.

⁴⁴ Liu, H. X. (2007). Model reference adaptive control framework for real-time traffic management under emergency evacuation. op. cit., str. 47.

Treći način rada sustava je kontrola rasporeda. Sastoji se od implementacije unaprijed definiranog programa signalizacije, odabranog na temelju rasporeda, ili pokretanja istog na daljinu od strane korisnika.⁴⁵

⁴⁵ Liu, H. X. (2007). Model reference adaptive control framework for real-time traffic management under emergency evacuation. op. cit., str. 48.

3.AUTOMATIZIRANO UPRAVLJANJE U PROMETU KAO DIO KONCEPTA PAMETNIH GRADOVA

Pametni gradovi predstavljaju budućnost urbanog razvoja, a ključni elementi takvih gradova su pametna infrastruktura i tehnologija koja omogućuje bolje upravljanje gradskim resursima. Jedan od najvažnijih aspekata pametnih gradova je automatizirano upravljanje prometom. Pametni gradovi često koriste pametne sustave za parkiranje koji pomažu vozačima pronaći slobodna parkirna mjesta. Ovi sustavi smanjuju potragu za parkingom, smanjuju emisije ispušnih plinova i olakšavaju kretanje vozila gradskim prometnicama.

Jedna od glavnih prednosti automatiziranog upravljanja u prometu je smanjenje gužvi i vremena putovanja. Dinamičko prilagođavanje semafora i prometnih znakova poboljšava brzinu toka prometa, smanjuje zastoje i skraćuje vrijeme putovanja. Pametni gradovi često koriste sustave za detekciju prometnih nesreća i automatsko obavješćavanje hitnih službi. To brže reagiranje može spasiti živote i smanjiti ozbiljnost prometnih nesreća. Smanjenje gužvi i optimizacija prometnog toka također doprinose smanjenju emisija ispušnih plinova i poboljšavaju kvalitetu zraka u gradu. Pametni gradovi također potiču korištenje električnih i ekološki prihvatljivih vozila. Automatizirano upravljanje u prometu također može doprinijeti uštedi energije. Sustavi za rasvjetu i semafore mogu se prilagoditi kako bi se smanjila potrošnja električne energije tijekom manje prometnih sati.⁴⁶

Automatizirano upravljanje u prometu temeljni je čimbenik u konceptu pametnih gradova. Korištenje senzora, IoT tehnologije i povezanih prometnih signalizacija omogućuje gradovima optimizirati prometne tokove, smanje gužve, poboljšaju sigurnost i smanje onečišćenje zraka. Sve ove prednosti čine gradove ugodnijim za život i doprinose održivom urbanom razvoju. Automatizirano upravljanje u prometu je samo jedan od mnogih elemenata koji čine gradove pametnima, ali je svakako jedan od najvažnijih.⁴⁷

⁴⁶ Kumar, P., & Suman, S. (2009). Public Transportation Systems with ITS Technologies. Conference: Civil Engineering Conference-Innovation Without Limits., str. 3.

⁴⁷ Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. Journal of Advanced Transportation, 325-345., str. 326.

3. 1. Sustavi upravljanja javnim prijevozom

Intenziviranje gospodarskog napretka i industrijalizacije, kao i sve veća mobilnost stanovništva, utječu na povećanje potražnje za teretnim i putničkim prijevozom, a time i na dinamiku kretanja broja vozila prometnom mrežom i pogoršanje njezine propusne moći. Pokušaj rješavanja problema rastućeg gradskog prometa i ograničavanja pojave prometnih zagušenja je implementacija tehnoloških rješenja (telekomunikacija, informatika i mjerenje) koja podržavaju upravljanje cestovnim prometom i javnim prijevozom te provodi implementaciju automatskih sustava upravljanja u prometu. Zajednički nazivnik za implementaciju rješenja u gradskom javnom prijevozu je težnja za višom kvalitetom pružene prijevozne usluge, uglavnom kroz prizmu procjene samih korisnika (putnika). Parametri kvalitete, posebice brzina dolaska na odredište (vrijeme putovanja) i poštivanje rasporeda (točnost), postaju ključni kriteriji ocjenjivanja u ovom pitanju.

Javni prijevoz složena je mreža veza u kojoj sve mora funkcionirati besprijekorno. Kako bi se ispunila sve veća očekivanja putnika i održala konkurentnost na tržištu, potrebno je ponuditi najvišu kvalitetu i optimizirati troškove. Suvremeni sustav upravljanja javnim prijevozom rješenje je za gradove, aglomeracije ili tijela javnog prijevoza koja oni imenuju. Sustav podržava upravu u radu pružanjem integriranih informacija iz više izvora, internih i eksternih, npr. od partnerskih tvrtki, operatera ili prijevoznika.⁴⁸

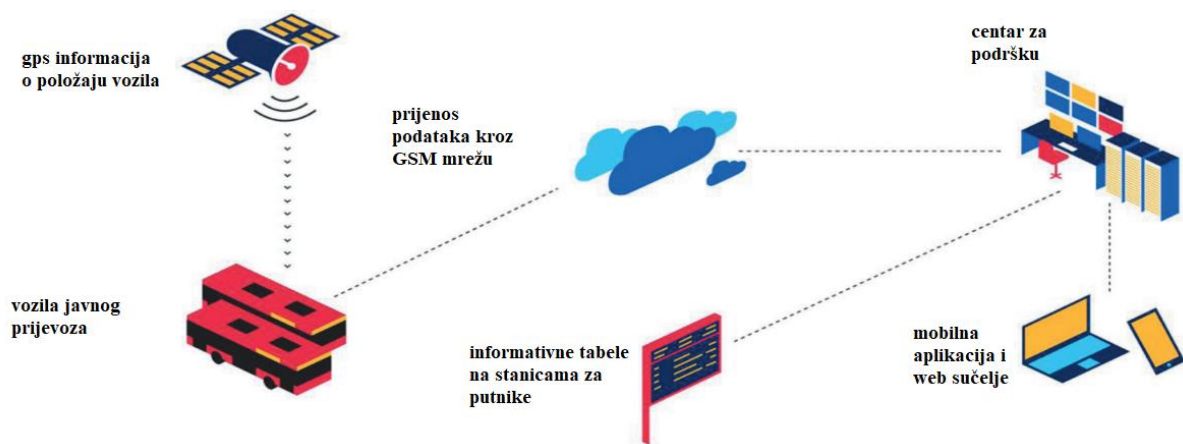
Trenutno je urbanizacija jedan od najvažnijih društvenih procesa iz perspektive urbanog razvoja. To implicira neizbježno širenje i zgušnjavanje urbanog prostora. Gradovi se suočavaju s ekološkim, ekonomskim, društvenim i prostornim problemima. S rastućom globalizacijom, procesima urbanizacije i rastućim gospodarskim razvojem, raste potražnja za visokokvalitetnim uslugama gradskog prijevoza. Popularni koncept pametnog grada kao progresivnog grada budućnosti pretpostavlja održivi urbani razvoj temeljen na inovativnim tehnologijama čijom primjenom treba podržati stanovnike i omogućiti im udoban, ekonomičan i siguran život. Stoga je posljednjih godina zabilježen povećani interes lokalnih vlasti u potrazi za održivim, inovativnim i inteligentnim tehnološkim rješenjima za optimizaciju sustava gradskog prijevoza.

⁴⁸ Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. op. cit., str. 326.

Poboljšanje mobilnosti i prijevoza, osiguravanje pristupačnosti i smanjenje prometnih gužvi značajni su elementi pametnih gradova i neke od najvećih izazova s kojima se danas suočavaju. Organizacija transporta kao osnova za svakodnevno funkcioniranje društva i gospodarstva u gradovima problem je o kojem se naširoko govori u literaturi. Stoga se danas posebna uloga pridaje modernim, inteligentnim tehnološkim rješenjima za olakšavanje upravljanja gradskim prometom, uključujući inteligentne prometne sustave (ITS).⁴⁹

Primjer jednog sustava prikazan je na slici u nastavku:

Slika 2: Shematski prikaz automatskog sustava za upravljanje u prometu javnog prijevoza



Izvor: samostalna izrada autora prema Kumar, P., & Suman, S. (2009). Public Transportation Systems with ITS Technologies. Conference: Civil Engineering Conference-Innovation Without Limits

Da bi se osigurala mogućnost davanja prednosti vozilima javnog prijevoza na raskrižjima sa semaforima, koriste se različiti tipovi sustava detekcije. Postoje glavne vrste detekcije, a to su:⁵⁰

- Induktivna detekcija (induktivne petlje)
- Radio detekcija (Doppler)
- Video detekcija (sustav kamera)
- GPS detekcija (satelitski lokacijski sustav)
- Detekcija pomoću optičkog zračenja (infracrveno)

⁴⁹ Kumar, P., & Suman, S. (2009). Public Transportation Systems with ITS Technologies. op. cit., str. 3.

⁵⁰ Camacho, T. D., Foth, M., & Rakotonirainy, A. (2012). Pervasive technology and public transport: Opportunities beyond telematics. IEEE Pervasive Computing, 18-25., str. 21.

- ITS sustavi nude brojna rješenja za podršku procesu upravljanja transportom. Osnovni uvjet za funkcioniranje takvih sustava je odgovarajuća oprema.

Važno je napomenuti da se u području određivanja prioriteta semafora za vozila javnog prijevoza, korištenje induktivne i radio detekcije ne omogućuje širok spektar opcija za upravljanje prioritetom. Na primjer, nije moguće precizno odrediti slijed odašiljanja signala koji odobravaju prolaz unutar komunikacijskih čvorova.

Dostupnost usluga koje nude inteligentni prometni sustavi ključ je razvoja koncept pametnog grada. Tehnološki napredak i globalna povezanost koju danas pruža Internet uzrokuju duboku transformaciju prometnih sustava koja značajno mijenja način na koji se ljudi i proizvodi kreću kroz gradove. Postojeći i nadolazeći izazovi u prometu potiču traženje načina za prilagodbu modernih tehnologija potrebama korisnika. To je olakšano nizom računalnih alata za prikupljanje i analizu podataka u stvarnom vremenu koji pomažu u predviđanju i optimiziranju performansi usluga gradskog prijevoza u sljedećem koraku. Kao rezultat toga, moguće je poboljšati mobilnost za sve korisnike urbanih usluga, povećati ekonomsku učinkovitost grada i smanjiti razinu zagađenja. Stoga se očekuje kako će u budućnosti pametnija, autonomnija i sigurnija vozila koja komuniciraju s drugim vozilima i gradskim zgradama, prometnim znakovima i ostalom infrastrukturom postati standard. Posljednjih godina povećan je interes za ITS i prednosti povezane s njihovom provedbom bili su očiti u lokalnim vlastima i akademskim krugovima. Sve veći broj istraživača bavi se postojećim i očekivanim implikacijama ICT revolucije za promet. Sve veća globalizacija i tehnološki razvoj također povećavaju broj znanstvenih studija o inteligentnim prometnim sustavima, njihove primjene, koristi, kao i čimbenici koji određuju njihov razvoj.⁵¹

Inteligentni prijevoz značajno utječe na razvoj pametnih gradova. Trenutačno se stabilna urbana mobilnost i učinkovit prijevoz putnika ne mogu jamčiti bez integracije suvremenih tehnoloških i organizacijskih rješenja u prometu s upravljanjem gradskom prometnom mrežom. ITS je rješenje koje može odgovoriti na te izazove, nudeći napredne aplikacije koje imaju za cilj pružiti inovativne usluge povezane s različitim načinima prijevoza i upravljanja u prometu.

⁵¹ Kumar, P., & Suman, S. (2009). Public Transportation Systems with ITS Technologies. op. cit., str. 4.

Ovi sustavi imaju za cilj pružiti bolje informacije i sigurnije, koordiniranije i "pametnije" korištenje mrežnog prijenosa različitim korisnicima. Ovo su trenutno najučinkovitiji instrumenti za poboljšanje učinkovitosti i kvalitete gradskog prometnog sustava, povećavajući sigurnosti putovanja. Omogućuju, između ostalog, kontrolu prometa, stvaranje posebnih zona ograničenog prometa, što, povezano sa smanjenjem broja osobnih automobila u gradskim središtima, pridonosi zaštiti okoliša i niskim emisijama ugljičnog dioksida. U skladu s Direktivom 2010/40/EU, ITS "integrira" telekomunikacije, elektroniku i informacijske tehnologije s prometnim inženjeringom u svrhu planiranja, projektiranja, rada, održavanja i upravljanja prometnim sustavima.⁵²

Primjerna ITS-a u gradovima nije bez izazova. Organizacijske prepreke čine široku kategoriju problema. Ispitanici su naglasili da ITS zahtijeva stručnost u domeni. U slučaju gašenja ITS-a (ili kvara sustava), ljudi će pretrpjeti značajne gubitke u pogledu vremena, zdravlja, mobilnosti itd. Ispitanici su također primijetili velike poteškoće u zapošljavanju stručnjaka sa širokim, multidisciplinarnim znanjem o ovoj vrsti naprednog rada sustava, što je neophodno, posebno u fazi projektiranja ITS-a. Istaknuti i važan problem je pitanje odabira izvođača sustava jer da bi se bilo što promijenilo u sustavu, to se mora učiniti preko dobavljača kao i međuovisnost o dobavljačima sustava. Drugi problem je odabir proizvođača/dobavljača ITS-a i odluka hoće li to biti vodeća strana tvrtka. Lokalne vlasti su svjesne rizika vezanog uz ovisnost o jednom ITS pružatelju, pa se boje takve bliske suradnje, ali s druge strane, prisiljene su prihvatiti određenu razinu rizika. Budući da su to veliki sustavi i ne mogu se uvijek podijeliti na manje jedinice, ključno pitanje je ovisnost o pružatelju sustava koja bi se u budućnosti mogla pokazati problematičnom. Većina analiziranih gradova "osuđena" je na jednog pružatelja usluga, što je nedvojbeno izvjesna prepreka.⁵³

Dakle, njihov se sustav temeljio na potpunoj otvorenosti i pristupu "unutarnjem sloju" tehnologije tako da su bili neovisni o bilo kojem pružatelju sustava.

⁵² Mangiaracina, R., Perego, A., & Salvadori, G. (2021). A comprehensive view of Intelligent Transport Systems (ITS) for urban. Milano: Department of Management, Economics and Industrial Engineering., str. 5.

⁵³ Ibid.

Stoga, imajući pristup svim mogućim slojevima algoritma, ITS-inženjeri su već reprogramirali sva raskrižja sa semaforima. Međutim, većina gradova u razvijenim zemljama ima polu-centralizirane sustave, dok postoje i oni potpuno centralizirani. Nekoliko gradova u svijetu upravlja cijelim sustavom na takvoj razini, postajući praktički samodostatni. Nacionalni i međunarodni interes za ITS raste, odražavajući spremnost vlasti u provedbi i stjecanju opipljive koristi. U pogledu pravnih aspekata i regulative ITS-a poteškoće se odnose na obradu velikih skupova podataka i sigurnost tako velike količine prikupljenih i obrađenih podataka na mreži. Pri tome se koriste rješenja Big Data koja pokazuju pozitivne pomake ali i dalje ne omogućavaju potpuno iskorištavanje potencijala koje nudi analiza golemih skupova podataka.⁵⁴

S obzirom na nove tehnologije, vrijedno je istaknuti dostupnost širokog spektra ITS podsustava koji također otežava odabir najučinkovitijeg rješenja. Često su gore navedeni izbori uvjetovani financijskim sredstvima kojima raspolaže; međutim, primjerice, kupnja opreme niske kvalitete (i povezane financijske uštede) u konačnici rezultira gubitkom tih resursa, a istodobno je povezana s nemogućnošću dobivanja pretpostavljenih ili očekivanih koristi.

Inovativna znanstvena i tehnološka dostignuća osnova su za funkcioniranje ITS-a, npr. percepcija i interakcija prometnih uvjeta, simulacija i kontrola urbanih cestovnih mreža i mreža vozila, koordinacija vozila s infrastrukturom i upravljanje inteligencijom sigurnosti na cestama.⁵⁵

Tehnike računalne inteligencije (CI) pružaju vrhunsku analizu složenih skupova podataka u stvarnom vremenu koji se pojavljuju unutar transportnih sustava. Prema literaturi, poboljšana uporaba postojeće prometne infrastrukture može postići pozitivne održive rezultate, smanjenjem zagušenja, poboljšanjem kvalitete zraka, pružanjem putnih informacija u stvarnom vremenu i podrškom za vozila s niskom emisijom.⁵⁶

⁵⁴ Mangiaracina, R., Perego, A., & Salvadori, G. (2021). A comprehensive view of Intelligent Transport Systems (ITS) for urban. op. cit., str. 6.

⁵⁵ Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. op. cit., str. 327.

⁵⁶ Ibid.

Mnogi veliki gradovi diljem svijeta suočavaju se s raznim problemima kao što su nesreće, degradacija okoliša, zagušenja, prenapučenost i problemi s parkiranjem. Umjetna inteligencija (AI) široko je priznata tehnologija koja se može nositi s tim izazovima rukovanjem kvalitativnim i kvantitativnim podacima. AI aplikacije važan su segment razvoja pametnih sustava javnog prijevoza, nudeći značajke kao što su informacije o javnom prijevozu u stvarnom vremenu, automatsko praćenje vozila, poboljšana sigurnost putovanja i učinkovito upravljanje prihodima. Ovi AI sustavi omogućuju prijevoznim vozilima prijaviti svoje trenutne lokacije, omogućujući prometnim operacijama i upravljanju prihodima stvaranje pregleda prometne mreže u stvarnom vremenu.⁵⁷

Različiti gradovi i regije osmislili su i nastaviti će smišljati vlastite strategije za rješavanje problema u kontekstu društveno-ekonomskog okruženja i politike održivosti svakog grada. U smislu integriranog prijevoza i upravljanja potražnjom, ključni zahtjev je olakšati razmjenu između privatnog i javnog prijevoza. Dok pružanje informacija, kako na putovanju tako i prije putovanja, osigurava mehanizam pomoću kojeg putnik donosi informiranu odluku o načinu, vremenu i ruti.

Upravljanje prometnom infrastrukturom može dovesti do niza sredstava pomoću kojih se vozilima može upravljati, kontrolirati i ako je potrebno, odrediti prioritete. Što se tiče osobnih automobila, to mogu biti sheme kontrole gradskog ili međugradskog prometa te sustavi za navođenje i navigaciju vozila u vozilu i uz cestu. Za javni prijevoz, posebne autobusne trake i druge mjere prioriteta autobusa ključne su za pružanje usluge s pouzdanijim vremenima putovanja i bržom rutom kroz zakrčenu cestovnu mrežu.⁵⁸

Upravljanje voznim parkom javnog prijevoza također se ostvaruje putem sustava za automatsko lociranje vozila (AVL) koji osiguravaju poziciju vozila u stvarnom vremenu. To se može koristiti u svrhe upravljanja (npr. za održavanje pouzdanosti i učestalosti usluge), ali može poslužiti i kao mehanizam za informiranje putnika o vjerojatnim vremenima dolaska.

⁵⁷ Mangiaracina, R., Perego, A., & Salvadori, G. (2021). A comprehensive view of Intelligent Transport Systems (ITS) for urban. op. cit., str. 6.

⁵⁸ Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. op. cit., str. 327.

Pružanje informacija ključno je za uspjeh prometne integracije i razmjene. ITS nudi mnoge nove rute za pružanje tih informacija - i prije nego što korisnik započne svoje putovanje kao i dinamičko pružanje informacija za 5 korisnika, na putovanju, putem dostave informacija u vozilu, VMS-a (*vehicle message system* – sustav za obavještanje vozila) postavljenog uz cestu, osobnih podataka uređaja (*pagera* i SMS-telefona) kao i s interneta, kioska i oglasnih ploča na čvorištima. Posljednji glavni alat je mogućnost ponude prikladnog načina plaćanja za lanac usluga. To može biti naplata cestarine, parkiranje i javni prijevoz - ili može biti parkiraj i vozi se i nekoliko oblika javnog prijevoza. Čini se kako pametno izdavanje karata pomoću pametnih kartica nudi potencijalno rješenje za ovaj problem i poboljšava pogodnost plaćanja (jedna kartica za sve usluge), smanjuje vrijeme ukrcanja, kao i pomaže u povećanju percepcije kvalitete cjelokupne usluge.⁵⁹

Što se tiče prioriteta autobusa, najraširenija i najuspješnija primjena IT-a bila je izmjena vremena prometne signalizacije kako bi se dala prednost vozilima javnog prijevoza na raskrižjima. Sustavi se kreću od jednostavnog prethodnog signala javnog prijevoza koji je uključen u svaku fazu signala bez obzira na stvarni zahtjev, do sustava za detekciju vozila koji identificiraju pojedinačne usluge javnog prijevoza dok se približavaju raskrižju i automatski mijenjaju postavljena vremena signala kako bi smanjili kašnjenje na ove usluge. To se obično postiže produljenjem zelenog vremena ili smanjenjem crvenog vremena i naprednim prisjećanjem aspekta zelenog signala prema trenutnoj fazi signala.

3. 2. Parkirni sustavi informiranja i navođenja

Parkiranje u urbanim središtima predstavlja kompleksan izazov u okviru gradskog prometnog sustava. Čimbenici kao što su cijena, dostupnost i pristupačnost parkirališta mogu značajno utjecati na ponašanje putnika te se stoga parkiranje može iskoristiti za upravljanje potražnjom za putovanjima i za promjenu obrasca putovanja kako bi se ublažili problemi gužvi u prometu.⁶⁰ Kada razmatramo uzroke problema parkiranja, važno je povezati ih s razlozima vožnje, s obzirom na činjenicu kako je svako putovanje uključuje i parkiranje vozila, bilo na privremeno ili dulje vrijeme.

⁵⁹ Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. Op cit., str. 327.

⁶⁰ Qiana, Z., Xiao, F., & Zhang, H. M. (2012). Managing Morning Commute Traffic with Parking. Shanghai: Elsevier., str. 6.

Na primjer, kada osoba ide na posao, njezino vozilo ostaje parkirano dok je na radnom mjestu, a tijekom odlaska u kupovinu, vozilo ostaje parkirano dok traje kupovina, i tako dalje. Očito je kako je parkiranje neodvojivo povezano s aktivnostima koje potiču odluku o vožnji.⁶¹

Potreba za parkiranjem na određenom području usko je povezana s korištenjem zemljišta i vrstom prijevoza. Kada se ruralno zemljište prenamjenjuje u stambeno, industrijsko ili komercijalno, povećava se potražnja za parkiranjem na tom području ili u njegovoj blizini. Problemi s parkiranjem posebno su izraženi u trgovačkim centrima i poslovnim zonama. Vozila za masovni prijevoz i pješaci obično ne uzrokuju izazove s parkiranjem. S povećanjem broja stanovnika, postotak ljudi koji koriste privatna vozila kao sredstvo prijevoza u urbanim sredinama opada. U manjim gradovima, većina stanovništva koje pristupa središnjem poslovnom području koristi privatne automobile, dok se u većim gradovima taj postotak smanjuje za polovicu.⁶²

Rastuća urbana populacija i sve veća prometna gužva čine parkirališna rješenja ključnim. Zahvaljujući informacijsko-komunikacijskim tehnologijama, raznim aplikacijama možemo poboljšati stanje gradskog parkiranja. Prema tome problemi parkiranja se više ne moraju rješavati ne samo izgradnjom novih parkirnih mjesta već i boljim korištenjem postojećih zahvaljujući suvremenim tehnologijama i Internetu stvari (IoT). S razvojem tehnologije pametni uređaji sve su prisutniji u svakodnevnom životu. Čest problem u našim gradovima je teško pronaći slobodna parkirna mjesta.

Danas su gradovi odgovorni za više od 75% proizvodnje otpada, 80% emisija i 75% korištenja energije. Što se tiče Europe, cestovni promet proizvodi oko 20% ukupne emisije CO₂, od čega 40% stvara urbana mobilnost. Procjenjuje se kako vozila koja jure u potrazi za besplatnim parkirnim mjestima uzrokuju 30% dnevnih prometnih gužvi u gradskom središtu. S obzirom na održivu mobilnost, optimalno upravljanje parkirališnim površinama predstavlja temeljni aspekt. Parkirni prostor obično je vrlo ograničen u većim gradovima, što dovodi do prometnih zagušenja, zagađenja zraka i frustracije vozača.

⁶¹ Cerovac, V. (2001). Tehnika i sigurnost prometa. op. cit., str. 55.

⁶² Vasilj, A. (2006). Grad i promet. Osijek: Vlastita naklada., str. 34.

Doista, procijenjeno je da pronalaženje slobodnog parkirnog mjesta u prosjeku može trajati više od 20 minuta. Nadalje, neki vozači, frustrirani nedostatkom parkirnih mjesta, često koriste parkirna mjesta rezervirana za osobe s posebnim potrebama, poput invalida, s negativnim društvenim učincima.⁶³

Inteligentne aplikacije za parkiranje predstavljaju alat koji ima veoma značajnu ulogu u razvoju pametnih gradova. Ovi sustavi mogu značajno poboljšati sustave gradskog prijevoza, potencijalno potičući neke vozače za prijelaz na javni prijevoz zbog poboljšanih usluga parkiranja, kao što su *Park and Ride* ili *Kiss and Ride*.

Parkirališta zauzimaju znatan dio javnih površina, a parkirališta u raznim gradovima zauzimaju značajan postotak njihovih teritorija. Na primjer, Los Angeles izdvaja 81% svoje površine za parkirališta, dok europski gradovi poput Pariza (23%), Münchena (23%), Kopenhagena (19%), Hamburga (18%) i Züricha (18%) imaju relativno niži udio njihovog teritorija namijenjenog parkirnim mjestima. Stoga je optimizacija iskorištenosti ovih površina imperativ za gradove. Inteligentni sustavi parkiranja također imaju potencijal ublažiti prometne gužve omogućujući vozačima brzi pronalazak slobodnih parkirnih mjesta, smanjujući njihovo vrijeme provedeno na cesti.⁶⁴

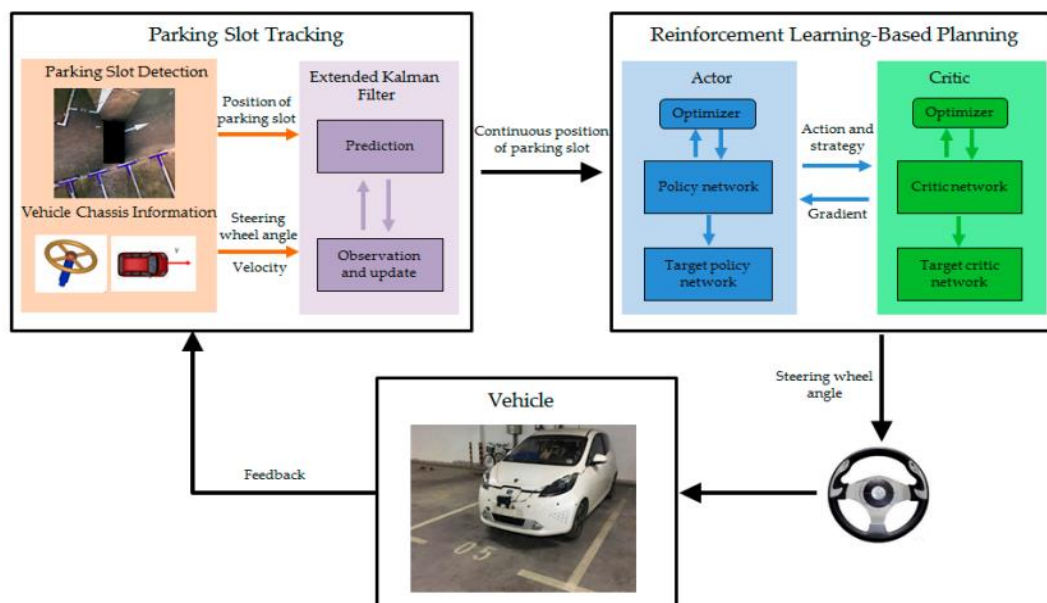
Brojni stručnjaci i dionici koji su uključeni u razvoj tehnologija pametnog parkiranja i predlažu nove sustave, zajedno s njihovim odgovarajućim algoritmima. Pri tome suvremeni pristupi razvoja pametnog parkiranja uključuju tehnologiju radio-frekvencijske identifikacije (RFID), koja ima različite primjene osim parkiranja, uključujući upravljanje logistikom, upravljanje otpadom, uzgoj životinja, praćenje pacijenata i kontrolu kvalitete. Pametni sustavi parkiranja obuhvaćaju različite kategorije, uključujući sustave za navođenje i informacije o parkiranju, informacijske sustave temeljene na prometu, sustave pametnog plaćanja, E-parkiranje i automatizirano parkiranje. Integracija 3G i 4G mreža također je poboljšala inteligentne sustave parkiranja robusnih podatkovnih veza unutar gradova.

⁶³ Kalašová, A., Cul, K., Poliak, M., & Otahálová, Z. (2021). Smart Parking Applications and Its Efficiency. Sustainability, 1-17., str. 3.

⁶⁴ Ibid. str. 5.

Ova povezanost omogućuje vozačima pristup informacijama u stvarnom vremenu o dostupnosti parkirnih mjesta putem aplikacija za pametne telefone, koje također mogu ponuditi usluge navigacije. Posljedično, vozači mogu uštedjeti vrijeme i gorivo, a istovremeno smanjiti utjecaj prijevoza na okoliš.⁶⁵

Slika 3: Shematski prikaz automatskog sustava za informiranje i navođenje kod parkiranja



Izvor: Rashid, M. M., Musa, A., Rahman, M. A., Farahana, N., & Farhana, A. (2012). Automatic parking management system and parking fee collection based on number plate recognition. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 2(2), 94.

Razvoj autonomnih vozila stvara temelj za potencijalnu revoluciju u parkiranju u budućnosti. Ova vozila mogu biti sposobna izvoditi manevre parkiranja bez ljudske intervencije, oslanjajući se na senzore i komunikacijske tehnologije za učinkovito kretanje parkirnim mjestima. Inteligentni sustav parkiranja koji daje smjernice do dostupnih parkirnih mjesta ima potencijal ublažiti probleme gradskog prometa.

⁶⁵ Kalašová, A., Cul, K., Poliak, M., & Otahálová, Z. (2021). Smart Parking Applications and Its Efficiency. *Sustainability*, 1-17., str. 3.

Ovaj sustav omogućuje vozačima učinkovitije locirati slobodna parkirna mjesta, posljedično smanjujući prometne gužve i ublažavajući povezane negativne posljedice. Međutim, bitno je priznati kako implementacija takvog sustava dolazi sa značajnim početnim troškovima.

Tijekom razvoja, implementacije i rada nove telematske aplikacije mogu se pojaviti različiti izazovi. Iako je nepraktično predvidjeti svaki mogući scenarij, primarni problemi uključuju:⁶⁶

- Manjak IT stručnjaka: Jedan potencijalni izazov je nedostatak kvalificiranih stručnjaka u IT području.
- Ekonomska razmatranja: Razvoj i implementacija takvog sustava mogu biti financijski zahtjevni. Projekt stvara troškove i u razvoju i u tekućem radu. Financijski analitičari moraju procijeniti te troškove i usporediti ih s potencijalnim prihodima.
- Integracija u postojeće navigacijske aplikacije: Uključivanje lokalnog parkirnog sustava u uspostavljene navigacijske aplikacije može biti složeno. Zahtijeva besprijekoran rad uz postojeće aplikacije.
- Sigurnosna pitanja: s obzirom na to kako sustav postupa s osjetljivim korisničkim podacima i financijskim transakcijama, osiguravanje sigurnosti podataka je najvažnije. Sustav bi trebao koristiti robusne metode šifriranja za zaštitu korisničkih podataka.

Identifikacija za prepoznavanje registarskih pločica važna je primjena u području inteligentnog transportnog sustava (ITS) i elektroničke naplate cestarine (ETC). Cilj je izdvojiti i prepoznati registarske brojeve vozila sa slika automobila, obraditi slikovne podatke i konačno ih iskoristiti za evidenciju pristupa i pripremiti elektronički račun. Elektronička naplata cestarine (ETC) ili elektroničko plaćanje parkiranja jedna je od glavnih tema istraživanja inteligentnog transportnog sustava (ITS).

ETC je implementacija koncepta cijena cesta kako bi se stvorile prednosti kao što su povećanje kapaciteta naplatnih postaja, smanjenje vremena plaćanja cestarine, povećanje udobnosti i sigurnosti putnika te smanjenje zagađenja zraka i potrošnje goriva.

⁶⁶ Singh, B., & Gupta, A. (2015). Recent trends in intelligent transportation systems: a review. op. cit., str. 33.

Naj taj će način ETC omogućiti operaterima autoceste upravljanje do parkirališta, naplatnih postaja i mostova, tunela i okretnica i samim time uštedu na troškovima osoblja dok smanjuju kašnjenja za putnike i poboljšavaju cjelokupnu prometnu izvedbu i sustav parkiranja. Štoviše, praćenje prometa vozila i upravljanje parkiralištima najzahtjevniji su poslovi. Stoga se predlaže istraživanje sustavnog potpuno automatskog sustava parkiranja. Razlikuje se od konvencionalnog sustava parkiranja jer se ne koristi magnetska kartica za bilježenje vremena ulaska i izlaska.⁶⁷

3. 3. Pametna mobilnost i potreba za uravnoteženjem mobilnosti u EU

Mobilnost i prijevoz temeljni su aspekti našeg svakodnevnog života, koji utječu na različite segmente poput putovanja na posao, posjeta obitelji i prijateljima, turizma i nesmetanog rada globalnih opskrbnih lanaca koji opskrbljuju naše trgovine i pokreću industrijsku proizvodnju. Mobilnost služi kao katalizator za gospodarske i društvene aktivnosti. Unutar Europske unije (EU), sloboda ljudi i dobara te neometano kretanje preko njezinih unutarnjih granica temeljno je pravo koje podržava osjećaj jedinstva i jača europski identitet. Kao drugi najveći trošak za europska kućanstva, prometni sektor značajno doprinosi europskom gospodarstvu, čineći 5% BDP-a i osiguravajući zaposlenje za približno 10 milijuna pojedinaca.⁶⁸

Međutim, iako mobilnost donosi brojne prednosti, ona također dolazi s društvenim troškovima. To uključuje emisije stakleničkih plinova, onečišćenje zraka, buku i vodu, kao i nesreće, zagušenja cesta i gubitak bioraznolikosti, a sve to može utjecati na naše zdravlje i opću dobrobit. Prethodne inicijative i politike nisu se na odgovarajući način bavile ovim izazovima. Emisije stakleničkih plinova iz transportnog sektora nastavile su rasti i sada čine četvrtinu ukupnih emisija EU-a.

⁶⁷ Kalašová, A., Cul, K., Poliak, M., & Otahálová, Z. (2021). Smart Parking Applications and Its Efficiency. op. cit., str. 14.

⁶⁸ European Commission. (09. 12 2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. Preuzeto 13. 08 2023 iz European Commission: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0789>

Najhitniji izazov s kojim se prometni sektor suočava je hitna potreba znatnog smanjenja emisije ispušnih plinova iz prometnog sektora. Ova transformacija također predstavlja značajne prilike za poboljšanje naše kvalitete života i unapređenje europske industrije u lancima vrijednosti poticanjem modernizacije, stvaranjem visokokvalitetnih prilika za zapošljavanje, razvojem inovativnih proizvoda i usluga, povećanjem konkurentnosti i težnjom ka globalnom vodstvu dok se druga tržišta brzo mijenjaju na mobilnost s nultom emisijom. Postizanje ambicioznog cilja EU-a za smanjenje stakleničkih plinova od najmanje 55% do 2030. i klimatske neutralnosti do 2050. zahtijeva brzu provedbu ambicioznijih politika za smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima u prometnom sektoru, u skladu s naporima u borbi protiv onečišćenja. Europska Unija nastoji ostvariti značajno smanjenje emisija ispušnih plinova kroz Europski zeleni plan.⁶⁹

Europski zeleni plan, također poznat kao Europski zeleni sporazum, ambiciozna je inicijativa Europske unije koja je pokrenuta s ciljem da Europska unija postane prva klimatski neutralna regija na svijetu do 2050. godine. Ovaj plan predstavlja sveobuhvatnu strategiju za postizanje održivog i ekološki prihvatljivog društva putem smanjenja emisija stakleničkih plinova, obnove prirodne infrastrukture i promicanja ekološke tranzicije u raznim sektorima ekonomije. Temeljni ciljevi koji čine Europski zeleni plan su:⁷⁰

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova: Smanjenje emisija za najmanje 55% do 2030. godine u usporedbi s razinama iz 1990. godine.
- Obnova prirodne infrastrukture: Povećanje zaštićenih područja, obnovu ekosustava i poticanje održivog korištenja resursa.
- Obnovljiva energija: Povećanje udjela obnovljive energije i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima.

⁶⁹ European Commission. (09. 12. 2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. Preuzeto 13. 08. 2023 iz European Commission: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0789>

⁷⁰ European Commission (01. 05. 2023) Europski zeleni plan. Preuzeto 25. 10. 2023. iz European Commission: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hr

- Održiva mobilnost: Poticanje na korištenje javnog prijevoza, električnih vozila i pješaćenja radi smanjenja onečišćenja zraka.
- Kreiranje "pravedne tranzicije": Osiguranje da tranzicija prema zelenijoj ekonomiji neće izazvati socijalne i ekonomske nejednakosti, posebno u regijama koje su tradicionalno ovisile o industriji temeljenoj na fosilnim gorivima.

Europski zeleni plan ima širok spektar inicijativa i politika koje su usmjerene na postizanje ovih ciljeva, a uključuju reforme u sektorima kao što su energetika, poljoprivreda, promet i zaštita okoliša. Ovaj plan predstavlja ključni korak u borbi protiv klimatskih promjena i promicanju održive budućnosti za Europu.

Prema tome, pametna mobilnost predstavlja ključni element budućnosti europskog prometnog sustava. Potreba za uravnoteženjem mobilnosti unutar Europske unije postaje sve važnija kako bi se zadovoljile ekonomske, ekološke i društvene potrebe društva. Inovacije u tehnologiji i prometnom planiranju otvaraju vrata za održivu, učinkovitu i pristupačnu mobilnost za sve građane. Stvaranje pametnijeg i integriranog prometnog sustava zahtijeva suradnju između javnog sektora, privatnih tvrtki i civilnog društva, a EU ima ključnu ulogu u usmjeravanju ovog napretka. Kroz promicanje inovacija, investicije u infrastrukturu i politike koje potiču održivu mobilnost, EU može ostvariti svoju viziju uravnotežene i pametne mobilnosti koja će koristiti svima i doprinijeti boljoj budućnosti za europsko društvo.

4. PRIMJENA AUTOMATSKIH PROMETNIH SUSTAVA

Suvremeni svijet prometnih sustava svakodnevno se suočava s izazovima povezanim s rastućim brojem vozila, prometnim zagušenjima, sigurnosnim pitanjima i zahtjevima za učinkovitijim korištenjem resursa. U potrazi za rješenjima koja će unaprijediti sigurnost, fluidnost i održivost prometa, automatizacija se nameće kao ključni element budućnosti prometnih sustava. Poglavlje "Primjena automatskih prometnih sustava" istražuje širok spektar tehnoloških inovacija i koncepta koji oblikuju promet u 21. stoljeću. Automatski prometni sustavi predstavljaju paradigmu koja uključuje različite tehnologije, od autonomnih vozila i pametnih prometnih znakova do naprednih komunikacijskih mreža i umjetne inteligencije.

4. 1. Automatski prometni sustav TRISTAR Gdansk/Gdynia

Sustav TRISTAR predstavlja ambiciozan projekt usmjeren prema modernizaciji i unapređenju prometnih sustava u aglomeraciji Tromjesta odnosno područja na sjeveru Poljske koji čine gradovi Gdansk, Gdynia i Sopot. Ovaj sustav se temelji na četverorazinskoj hijerarhijskoj funkcionalnoj strukturi, koja obuhvaća gradske, urbane, područne i lokalne razine upravljanja u prometu. Faze implementacije projekta obuhvaćaju izgradnju operativnih centara za upravljanje prometom, operatorskih stanica s potrebnim softverom te različite komponente kao što su sustav planiranja prometa, sustav upravljanja gradskim prometom i sustav videonadzora.

Dijagnoza funkcioniranja transportnih sustava u aglomeraciji Tromjesta pokazala je kako postoje mnogi problemi koje je moguće riješiti primjenom sustava inteligentnog upravljanja prometom (ITS). Među takvim problemima ubrajaju se:⁷¹

- Visoka razina zagušenja cestovne mreže, posebno tijekom prometnih špica, što negativno utječe na uvjete i kvalitetu putovanja korisnika osobnih i javnih prijevoznih sredstava, uzrokujući gubitak vremena i štetne učinke na okoliš.

⁷¹ Jamroz, K., & Oskarbski, J. (2006). TRISTAR-Trójmiejski Inteligentny System Transportu Aglomeracyjnego. *Transport Miejski i Regionalny*, 7, 08., str. 2.

- Nedostatak parkirališnih mjesta, osobito u centralnim područjima, što dovodi do povećanja gužvi uslijed traženja mjesta za parkiranje.
- Visoki troškovi prometnih nesreća i visoki troškovi nastali zbog prometnih zastoja uzrokovanih prometnim nesrećama.
- Poteškoće u hitnim intervencijama koje su povezane s identifikacijom i dolaskom na mjesto nesreće te provođenjem hitnih mjera.
- Nedostatak informacija o prometnim uvjetima i uvjetima putovanja prije i tijekom putovanja.

Stoga su gradovi u aglomeraciji Tromjesta poduzeli akcije s ciljem razvoja zajedničke koncepcije aglomeracijskog ITS-a i postupnog njegovog uvođenja. Ove akcije trebaju se poduzeti ne samo zbog nacionalnih i svjetskih tendencija, već i zbog trenutačnih prometnih uvjeta u aglomeraciji Tromjesta, pri čemu je vidljivo kako je integrirani sustav upravljanja prometom sve potrebniji. Razlozi za to uključuju:⁷²

- Povećanje ekonomske i društvene aktivnosti dovodi do povećanja prometa i mobilnosti stanovništva u aglomeraciji Tromjesta, što rezultira pogoršanjem prometnih uvjeta, a postojeća prometna infrastruktura, organizacija i upravljanje nisu prilagođeni trenutačnoj strukturi vrsta prometa, smjerovima i gustoći prometa.
- Uvođenje integriranog sustava upravljanja prometom jedan je od načina poboljšanja prometnih uvjeta i optimalnog korištenja kapaciteta postojeće cestovne mreže aglomeracije Tromjesta. Međutim, izgradnja takvog sustava ne znači zaustavljanje širenja cestovne mreže, već se aktivnosti vezane uz izgradnju sustava i infrastrukture trebaju provoditi paralelno.
- U Pomeranskom vojvodstvu uvode se principi održive prometne politike koji uključuju smanjenje uporabe osobnih automobila uz istovremeno povećanje korištenja javnog prijevoza. Takav smjer zahtijeva odlučnije akcije usmjerene prema povećanju učinkovitosti i udobnosti javnog prijevoza.

Aglomeracija Tromjesta s brojnim morskim lukama i poduzećima za pomorski promet značajno je čvorište teretnog prometa, što rezultira velikim teretnim prometom na cestama.

⁷² Jamroz, K., & Oskarbski, J. (2006). TRISTAR-Trójmiejski Inteligentny System Transportu Aglomeracyjnego. op. cit., str. 3.

Rast logističkih funkcija od nacionalnog i međunarodnog značaja, uključujući izgradnju Pomorskog logističkog centra, zahtijeva primjenu telematike u upravljanju teretnim prometom.

Prve dvije faze implementacije, usmjerene su na izgradnju centara za upravljanje u prometu i operatorskih stanica te implementaciju sustava upravljanja gradskim prometom i videonadzora na kritičnim prometnim dionicama. Treća faza implementacije obuhvatila je izgradnju infrastrukture za povezivanje sustava, uključujući optičku kabelsku kanalizaciju, postavljanje kamera za identifikaciju vozila, informativnih ploča o stajalištima i druge komponente. Ukupno će se sustav implementirati na oko 150 raskrižja i pješačkih prijelaza opremljenih semaforima.⁷³

Nadalje, projekt TRISTAR pokriva sve dionice Tromjesta opremljene semaforima i bit će integriran s drugim prometnim sustavima, brzim cestama te zračnim, željezničkim i morskim lukama u Tromjestu. Središnji sustav ima ključnu ulogu u integraciji svih tih podsustava i modula. Hijerarhijska i modularna struktura sustava omogućava njegovo buduće proširenje i nadogradnju kako bi se prilagodio promjenjivim potrebama prometnog sektora. Sustav TRISTAR predstavlja značajan korak prema modernizaciji prometnih sustava, poboljšanju sigurnosti i optimizaciji prometnog toka u aglomeraciji Tromjesta, a njegova kompleksna arhitektura omogućit će daljnji razvoj i prilagodbu budućim izazovima u prometu.⁷⁴

TRISTAR prema tome predstavlja skup alata koji omogućuje učinkovito i efikasno upravljanje transportnom infrastrukturom te pružanje učinkovite usluge putnicima na području čitave aglomeracije Tromjesta. S obzirom na nedostatak nacionalnih smjernica za arhitekturu sustava, razvijeno je vlastito rješenje temeljeno na europskim, japanskim i američkim pristupima. Planira se da će TRISTAR sustav u konačnici uključivati sljedeće podsustave:⁷⁵

- Integrirani sustav upravljanja cestovnim prometom

⁷³ Gdyna city authority. (2023). TRISTAR - podstawowe informacje. Preuzeto 23. 08 2023 iz Gdyna city authority: <https://www.zdiz.gdynia.pl/images/tristaropis.pdf>

⁷⁴ Ibid.

⁷⁵ Jamroz, K., & Oskarbski, J. (2006). TRISTAR-Trójmiejski Inteligentny System Transportu Aglomeracyjnego. op. cit., str. 4.

- Integrirani sustav upravljanja javnim prijevozom putnika
- Integrirani sustav upravljanja teretnim prometom (uključujući logističke centre)
- Integrirani sustav upravljanja hitnim službama (integrirani sustav hitne pomoći)
- Integrirani sustav informacija o prometu

Sustav upravljanja cestovnim prometom (SSRD) je dio Sustava upravljanja gradskim prometom (SZRM). SSRD kontrolira semafore na raskrižjima u Gdyniji, Sopotu i Gdanjsku te omogućuje prilagodbu kontrole prometa. Kontrola je podijeljena u područja koja se mogu konfigurirati od strane operatera. SSRD automatski određuje parametre kontrole prometa za svako područje, a na prometno opterećenim raskrižjima se prilagođava duljina zelenog svjetla. Sustav omogućuje različite kriterije optimizacije kontrole prometa i koristi informacije o prometu pri donošenju odluka. Pri tome uzima u obzir prioritete za vozila javnog prijevoza i implementaciju strategije za upravljanje u prometu u hitnim situacijama. SSRD detektira prometne događaje i šalje obavijesti operatera o njima, pružajući informacije o njihovoj lokaciji. Ovaj sustav je stoga zahtijevao izgradnju komunikacijske mreže, zamjenu signalne opreme i ugradnju sustava detekcije na raskrižjima.⁷⁶

Sustav za praćenje i nadzor prometa vozila (SMNR) ima glavnu svrhu prikupljanja detaljnih podataka o broju i vrsti vozila koja se kreću na određenom području. Koristi postaje za mjerenje prometa na raskrižjima sa semaforima (modul MPRD) i senzore vozila na semaforima (MPRD-SSRD). Mjerenje prometa obavlja se na svim trakama i smjerovima na raskrižjima. Sustav će pružati podatke o brzini prometa, vremenu putovanja po cestama i ulicama te prosječnoj brzini na međuprostornim dionicama ulica. Za utvrđivanje prosječnih brzina i vremena putovanja koristi se Modul za identifikaciju vozila (MIPK), koji koristi kamere za čitanje registarskih oznaka vozila. Također, podaci o prometnim uvjetima dobivaju se iz Modula lokacije vozila javnog prijevoza i Modula kontrole vremena vožnje vozila javnog prijevoza na temelju promjena položaja vozila između stajališta. Algoritmi za obradu podataka omogućuju filtriranje brzina vozila i minimiziranje pogrešaka u procjeni prometnih uvjeta. Osim toga, sustav omogućuje praćenje vozila koja ulaze i izlaze iz posebnih prometnih zona, poput autobusnih traka s ograničenim pristupom.

⁷⁶ Gdyna city authority. (2023). TRISTAR - podstawowe informacje. Preuzeto 23. 08 2023 iz Gdyna city authority: <https://www.zdiz.gdynia.pl/images/tristaropis.pdf>

Ova rješenja omogućuju procjenu prometnih uvjeta na područjima koja nisu pokrivena sustavom, a na kojima se kreću vozila javnog prijevoza. Sustav koristi napredne tehnologije poput automatskog prepoznavanja registarskih oznaka vozila kako bi osigurao precizne i pouzdane podatke o prometu na cestama.⁷⁷

Sustav za planiranje prometa (SPR) je alat koji podržava planiranje, analizu i testiranje prometnih rješenja na području koje sustav pokriva. Svi programi unutar ovog sustava koriste podatke pohranjene u skladištu podataka. SPR podržava strateško upravljanje u prometu i dispečersko upravljanje javnim prijevozom. Kroz ovaj sustav se planira implementacija višerazinskog modela prometnih sustava, što omogućava analizu i prognozu prometa te olakšava planiranje i upravljanje prometom. Višerazinski model obuhvaća različite razine i slojeve prometnih analiza i procesa upravljanja u prometu. Na strateškoj razini, koristi se makroskopski model za razvoj prometne politike, planske radove i analizu ulične mreže. Taktička razina uključuje mezoskopski model za analizu prometnih promjena i studije izvodljivosti. Operativna razina koristi mikroskopski model za vizualizaciju i provjeru učinkovitosti projekata organizacije prometa i nadzora prometa. U okviru implementacije sustava TRISTAR, planira se izgradnja i korištenje makroskopskog modela za upravljanje u prometu u raznim situacijama, poput incidenata, radova na cestama i masovnih događaja. Također će se koristiti mikroskopski model za simulaciju planiranih prometnih promjena i analizu strategija upravljanja. Ovaj integrirani sustav modela omogućava temeljito planiranje i analizu prometnih rješenja na različitim razinama, od strateške do operativne, kako bi se unaprijedila učinkovitost prometnih sustava i donošenje informiranih odluka u prometnom planiranju.⁷⁸

4. 2. Automatski prometni sustav Rijeka

Problemi u prometu koji se javljaju u europskim gradovima slični su izazovima koji se suočavaju i u Rijeci. Ovo je djelomično posljedica brdovitog terena na kojem je grad smješten, što ograničava raspoloživu površinu za izgradnju parkirališta, a također i gustoće

⁷⁷ Gdyna city authority. (2023). TRISTAR - podstawowe informacje. Preuzeto 23. 08 2023 iz Gdyna city authority: <https://www.zdiz.gdynia.pl/images/tristaropis.pdf>

⁷⁸ Ibid.

izgradnje u središtu grada. Sustav automatskog upravljanja u prometu (AUP) u Gradu Rijeci koristi suvremene tehnologije kako bi optimalno regulirao promet u različitim uvjetima. Ova tehnološki napredna platforma omogućuje dinamičko upravljanje prometnim svjetlima na temelju stvarnih prometnih opterećenja u trenutačnom trenutku. Ovaj modularni sustav je prilagodljiv i lako se može prilagoditi novim situacijama, kao što je otvaranje ceste D-403 i sličnih prometnih promjena.⁷⁹

Stručni tim, koji uključuje predstavnike Grada, Hrvatskih cesta, Županijske uprave za ceste, Fakulteta prometnih znanosti iz Zagreba, Prometne policije i Rijeka prometa, ima odgovornost za projektiranje automatiziranih sustava za upravljanje prometom i nadzor njegove izgradnje te implementacije inteligentnih rješenja u prometni sustav.

Grad Rijeka je podijeljen na pet prometnih zona, u kojima se nalazi ukupno 80 semaforiziranih raskrižja. Trenutno je u sustav automatskog upravljanja u prometu (AUP) uključeno 44 raskrižja diljem grada, opremljenih najnovijom tehnologijom inteligentnih transportnih sustava (ITS), a svi su povezani s Gradskim prometnim centrom. Svaka od tih prometnih zona direktno je povezana s Gradskim prometnim centrom, koji ima aktivnu vezu s dežurnom prometnom policijom. Ova integracija omogućuje svim nadležnim tijelima praćenje istih informacija u stvarnom vremenu, što je ključno za efikasno nadziranje i koordinaciju upravljanja u prometu. Izgradnja sustava AUP financira se sufinanciranjem od strane Hrvatskih cesta (42%), Županijske uprave za ceste (27%) i Grada Rijeke (31%).⁸⁰

U upotrebi je u gradu Rijeci prometni sustav pod komercijalnim nazivom "EC Trak" koji pri tome predstavlja proizvod renomirane tvrtke *Peek* sa sjedištem u Nizozemskoj i smatra se jednim od najnaprednijih tehnoloških dostignuća u području automatizacije prometa. Ovaj sustav omogućuje vrhunsku automatsku kontrolu prometa, temeljenu na stvarnim prometnim uvjetima. Njegova infrastruktura obuhvaća glavno prometno računalo smješteno u Gradskom prometnom centru, povezano s lokalnim upravljačkim uređajima na raskrižjima. Svako raskrižje je opremljeno detektorima (induktivnim petljama) u kolniku, koji neprestano prate protok vozila na svakom pristupu raskrižju.

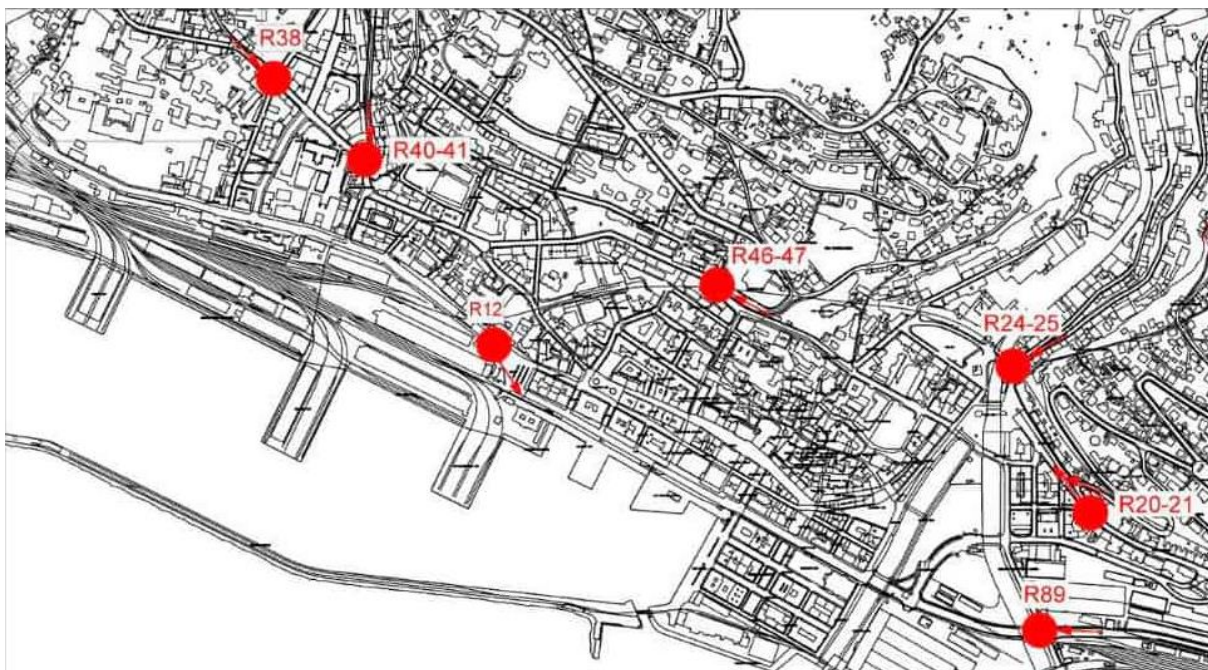
⁷⁹ Rijeka plus. (2023). Automatsko upravljanje prometom. Preuzeto 03. 09 2023 iz Rijeka plus: <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/?cookie-state-change=1694035469242>

⁸⁰ Ibid.

Podaci o broju vozila na svim raskrižjima kontinuirano se šalju u prometni centar putem lokalnih upravljačkih uređaja, gdje računalni sustav analizira pristigle podatke u 15-minutnim intervalima.

Zatim se odabire optimalni plan za upravljanje semaforima i šalje odgovarajuća naredba lokalnim uređajima. Prometno računalo također osigurava koordinaciju između svih raskrižja. U slučaju prekida veze s prometnim centrom, lokalni upravljački uređaji prelaze na autonomni rad, a koordinaciju preuzima jedan od uređaja na terenu. Svaki kvar na semaforima, svjetiljkama i mreži automatski se prijavljuje prometnom centru, a tim servisera održava sustav i reagira na te probleme.⁸¹

Slika 4: prikaz lokacija za brojanje prometa uživo u Rijeci



Izvor: <https://www.rijeka-plus.hr/promet/prometno-opterecenje/> (pristup: 18. 09. 2023.)

Neke od lokacija za brojanje prometa u gradu Rijeci su prikazane na slici 4. Dobiveni podaci o prometnom opterećenju dostupni su u realnom vremenu te se temeljem tih podataka preusmjerava promet i određuje prednost u prometnoj signalizaciji u gradu.

⁸¹ Rijeka plus. (2023). Automatsko upravljanje prometom. Preuzeto 03. 09 2023 iz Rijeka plus: <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/?cookie-state-change=1694035469242>

Kao dodatak nadzornom sustavu, razvijen je i implementiran poseban video nadzorni sustav s kamerama postavljenim na 14 ključnih lokacija. Ovaj sustav omogućuje operaterima u prometnom centru izravan nadzor nad prometom.

Svi aspekti sustava funkcionalni su 24 sata dnevno, a do danas nisu zabilježeni ozbiljniji kvarovi ili prekidi rada. Gradski prometni centar, smješten na adresi Blaža Polića 2, ima tri prometna inženjera i stručno je opremljen za nadzor i upravljanje prometnim sustavom, kao i za izradu prometnih planova i projekata. Operateri su dežurni od 06:30 do 15:30 sati, dok AUP radi samostalno tijekom poslijepodneva i noći. Korištenjem podataka prikupljenih putem sustava AUP, provodi se praćenje i analiza opterećenja prometom na gradskoj mreži, a Služba prometa priprema mjesečno izvješće o prometnim opterećenjima koje se dostavlja relevantnim službama i institucijama. Također je dostupan centar za informacije o prometu koji prikuplja i distribuira podatke o trenutnom stanju prometa u gradu, popunjenosti parkirališta te je uspostavljen i info-telefon 352 500. Sustav AUP automatski ažurira bazu podataka o broju i vrstama vozila koja prolaze kroz središte grada na temelju podataka dobivenih putem strateških detektora prometa.⁸²

4. 3. Automatski prometni sustav grada Beča

Grad Beč se trenutno suočava s izazovom modernizacije grada kako bi ostvario svoju dugoročnu viziju razvoja pametnog grada. Austrijska tehnološka platforma pametnih gradova osnovana je 2011. godine kako bi zastupala interese austrijske industrije i dionika iz istraživanja u okviru Inicijative "SET Plan Industry Initiative" za Pametne gradove i zajednice, kao i u Europskoj inicijativi za pametne gradove i zajednice (EIP SCC) koja je iz nje proizašla. Godine 2013., Austrijsko savezno ministarstvo prometa, inovacija i tehnologije (BMVIT) zajedno s Fondom za klimu i energiju, Austrijskim savezom gradova i mjesta pokrenulo je Platformu pametnih gradova i regija 2013.

⁸² Rijeka plus. (2023). Automatsko upravljanje prometom. Preuzeto 03. 09 2023 iz Rijeka plus: <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/?cookie-state-change=1694035469242>

Ova platforma surađuje s dionicima iz istraživanja i industrije kako bi istraživala pitanja od zajedničkog interesa za austrijske općine u području pametnih gradova, uključujući i razvoj automatskih prometnih sustava.⁸³

Fokus razvoja Beča jest prema pametnom prometnom sustavu koji je orijentiran prema održivosti i maksimalnoj protočnosti prometnih tokova. Pametna mobilnost ima važnu ulogu u pretvaranju Beča u klimatski neutralan grad. Barokna metropola već poduzima korake kako bi osigurala da vozila na njezinim cestama budu što održivija, počevši od svojih gradskih voznih parkova, koji uključuju kamione za smeće, čistače cesta i vozila hitne pomoći. Grad je pustio u promet prva vozila za e-otpad u Austriji, koja ne proizvode emisije i stvaraju manje buke od svojih pandana s motorima s unutarnjim izgaranjem. Sva komunalna vozila bit će električna od 2025. godine u sklopu nastojanja grada u ostvarivanju klimatske neutralnosti.

Ali održiva mobilnost ne znači samo učiniti vozila čistijima. Također se radi o poticanju promjene ponašanja među ljudima i poticanju putovanja gradom na ekološki prihvatljivije načine. Kako bi povećao korištenje javnog prijevoza, Beč je razvio opsežan i pristupačan sustav u kojem godišnja karta za javni prijevoz košta samo 365 eura odnosno jedan euro dnevno. Javni prijevoz samo je jedan od mnogih doprinosa čistijem prijevozu.⁸⁴

Tijekom 2020. godine, Beč je implementirao napredne inteligentne semafore. Ovaj inovativni sustav, poznat kao "Bečka svjetla," razvijen je u suradnji s Tehnološkim sveučilištem u Grazu i ima sposobnost predviđanja namjere pješaka koji žele prijeći cestu. Ovaj sustav, nazvan "Bečka svjetla," znatno se razlikuje od jednostavnih senzora pokreta. Dok bi tradicionalni senzor samo reagirao na prisustvo objekata i prebacio svjetlo u zelenu fazu, kamere na semaforima u Beču mogu ne samo prepoznati ljude, već i razumjeti njihovu namjeru da prijeđu cestu. Sustav Bečka svjetla može otkriti je li osoba stala čekajući semafor ili stvarno planira preći ulicu.

⁸³ Trafimenko, K. (02. 07 2020). Developing smart mobility for smart cities. Preuzeto 05. 09 2023 iz Intelligent transport: <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/101242/developing-smart-mobility-for-smart-cities/>

⁸⁴ Ibid.

Tehnička oprema se koristi isključivo za prepoznavanje obrasca kretanja i ne prati osobne podatke. Važno je napomenuti kako se svi prikupljeni podaci obrađuju lokalno i odmah se brišu.⁸⁵

Kako bi dodatno unaprijedio održivost u prijevozu, grad se također usredotočuje na "još bolje povezivanje javnog prijevoza s ponudama najma za daljnju mobilnost.

U 2019. jedno od svaka tri putovanja u Beču obavljeno je pješice ili biciklom, što je postignuto zahvaljujući sustavu dijeljenja bicikala koji djeluje više od 15 godina i koji se postupno etablirao kao primarni način prijevoza. Ne samo što su bicikli koje koristi sustav, poznat kao WienMobil, opremljeni sa sedam stupnjeva prijenosa i elektroničkim zaključavanjem okvira, već ih se također može locirati pomoću GPS-a, što stanovnicima olakšava pronalaženje i vraćanje. A vožnja bicikla nije samo individualno iskustvo, to je i iskustvo za obitelji, budući da neki bicikli dolaze s dječjim sjedalicama, što roditeljima omogućuje da lako i čisto prevoze svoje dijete do i iz škole. Za veće „shoppinge“ ili izlete ljudi mogu posuditi teretne bicikle Grätzl-fahrrad koji mogu nositi do 350 kg robe. Troškovi također nisu problem: zbog velike potražnje, grad će financirati pojedince koji žele kupiti teretne bicikle u iznosu od 1000 eura po komadu. Tijekom pandemije velik dio kupnje prešao je na internet, a porast e-trgovine utjecao je na okoliš.

Uz sve više dostavnih kamiona koji idu od kuće do kuće kako bi isporučili pakete, emisije ugljika iz sektora su u porastu. Ali Beč ima rješenje: Remihub, inicijativu koja smanjuje ovisnost o kamionima za dostavu. Remihub prenamjenjuje autobusne ili tramvajske garaže u gradu koje se ne koriste tijekom dana u privremena dostavna čvorišta. Budući da se glavna središta za distribuciju paketa često nalaze izvan grada, paketi moraju prijeći velike udaljenosti kako bi došli do kućnih pragova ljudi, zahtijevajući kamione i kombije koji obično rade na fosilna goriva. Ali ako se paketi mogu ostaviti na raznim dostavnim čvorištima unutar grada, lokalni dostavljači mogu jednostavno izvršiti dostavu zadnje milje koristeći teretne bicikle ili električna vozila.⁸⁶

⁸⁵ Digitales Wien. (2023). Ampelanlagen Erkennen Querungswunsch Automatisch. Preuzeto 05. 09 2023 iz Digitales Wien: <https://digitales.wien.gv.at/projekt/smar-te-ampeln/>

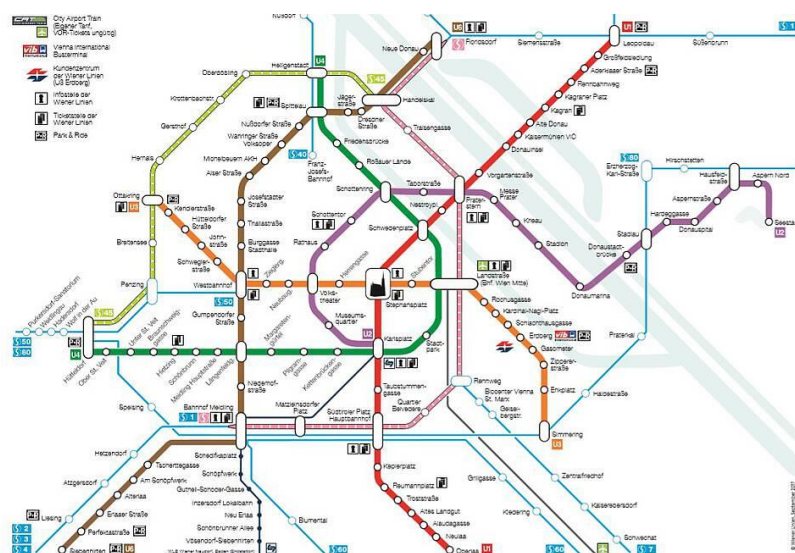
⁸⁶ Yuet, W. H. (17. 08 2022). Vienna: A city in the fast lane of the smart mobility revolution. Preuzeto 10. 09 2023 iz GovInsider: <https://govinsider.asia/intl-en/article/vienna-a-city-in-the-fast-lane-of-the-smart-mobility-revolution-ina-homeier>

Smart City Wien integriran je sustav javnog prijevoza koji omogućuje udobnu, sigurnu i pristupačnu mobilnost za svakoga, čak i bez vlastitog automobila.

S druge strane, motorizirani privatni prijevoz ima najveći udio u emisiji stakleničkih plinova, što dovodi do daljnjeg značajnog onečišćenja okoliša (potrošnja sirovina, zagađenje zraka, buka) i zauzima znatno prostora u javnom prostoru. Stoga je od vitalnog značaja sveobuhvatno razvijati mobilnost i promet u kontekstu koncepta pametnog grada.

Preduvjeti za to su kompaktni urbani razvoj i poboljšanje učinkovitosti javnog prijevoza kako bi se udovoljilo potrebama mobilnosti rastuće metropolitanske regije. Prometna politika grada Beča prema tome usmjerena je prema "inteligentnoj mobilnosti".

Slika 5: mreža integriranog javnog prijevoza grada Beča



Izvor: <https://www.viennapass.de/generelles/fahrscheine> (17. 09. 2023.)

Kao što je vidljivo na slici 5, trenutno Beč ima pet podzemnih željeznica sa 109 stanica na ukupnom potezu od 83 kilometra, 28 tramvajskih i 131 autobusnih linija.

U budućnosti, Beč planira surađivati sa Središnjim institutom za meteorologiju i geodinamiku ZAMG kako bi opremio semafore s otprilike 10.000 vremenskih i ekoloških senzora. Ovo će omogućiti mnoge primjene koje koriste analizu velikih podataka, kao što su otkrivanje toplinskih otoka ili poboljšanje kvalitete zraka putem inteligentne kontrole

prometa. Cilj je opremiti sve semafore u Beču visokokvalitetnim senzorima čiji se podaci mogu odmah obraditi online. U prvoj fazi ovog proširenja, predviđeni su senzori za mjerenje temperature, vlažnosti, dušikovog oksida, sumpornog oksida i buke. Ovaj sustav je održiv i prilagodljiv, omogućuje integraciju različitih vrsta senzora. Prikupljeni podaci će pružiti obilje informacija na dnevnoj bazi, a napredne računalne tehnologije i tehnike umjetne inteligencije i strojnog učenja analizirat će i interpretirati te podatke.

Korištenjem analitike velikih podataka, mogu se identificirati važni obrasci i odnosi koji će se koristiti za praktične primjene u gradu Beču.⁸⁷

4. 4. Automatski prometni sustav Singapura

Demografski i socioekonomski krajolik Singapura značajno se promijenio tijekom posljednjeg desetljeća. Stanovništvo se znatno povećalo s 3,5 milijuna u kasnim 1990-ima na više od 5,3 milijuna danas. S površinom od samo 716 km², prijevoz se mora natjecati za korištenje zemljišta s drugim bitnim potrebama, kao što su stanovanje, gospodarska infrastruktura i rekreacijske namjene. Suočen s rastućom populacijom vozila i ograničenim zemljištem za širenje cesta, ITS ima važnu ulogu u poboljšanju usluga prijevoza kako bi se održalo ugodno iskustvo putovanja. Tijekom posljednjih nekoliko godina, tehnološki napredak ITS industrije uvelike je promijenio percepciju javnosti o njezinim mogućnostima. To predstavlja priliku za Singapur za iskorištavanje ITS za rješavanje izazova. Kako se ITS sve više integrira u svakodnevni život, dobro osmišljena strategija ključna je za koordinaciju i vođenje ITS implementacija kako bi se osigurala interoperabilnost sustava.⁸⁸

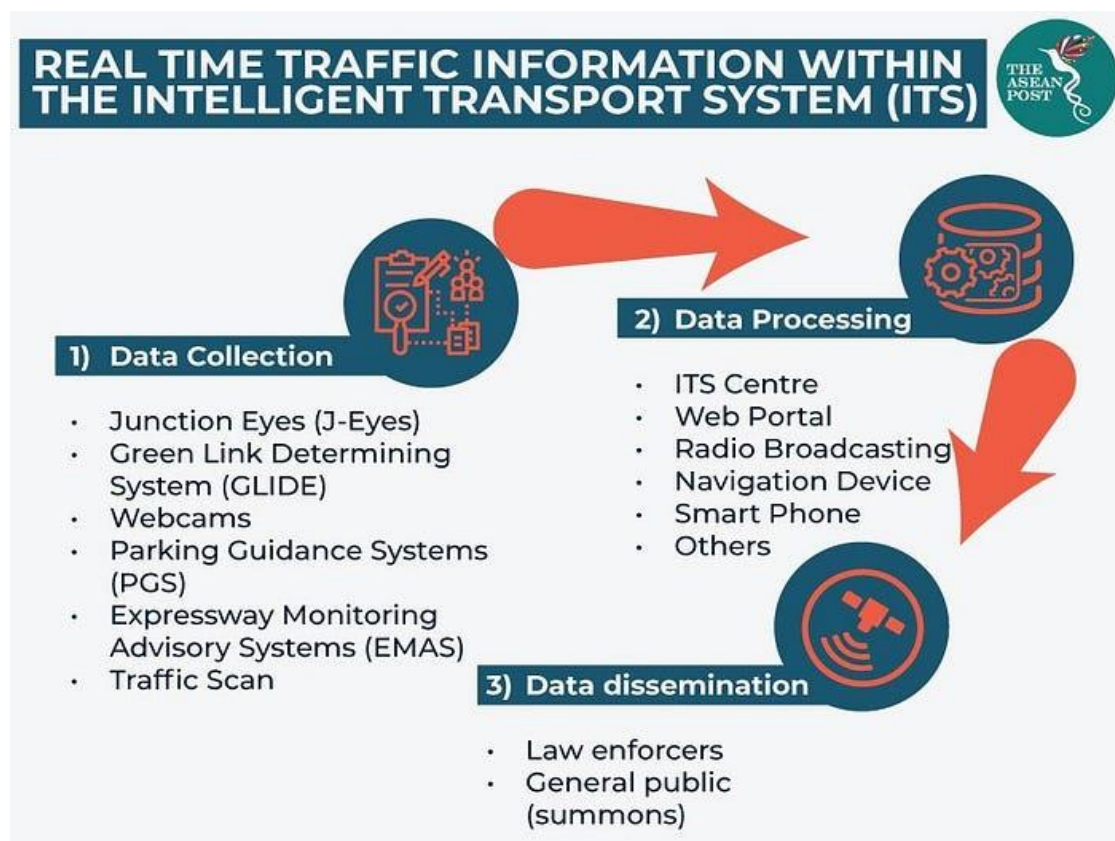
Temelj krajolika pametne mobilnosti u Singapuru ovisi o dostupnosti točnih podataka o prijevozu i pravovremenom pružanju relevantnih informacijskih usluga. U tom smislu, razvoj i usvajanje ITS standarda i protokola prepoznati su kao ključni za osiguranje učinkovitosti i kompatibilnosti cijelog sustava. Shodno tome, naš fokus je na uspostavljanju ovih standarda, koji će olakšati besprijekornu implementaciju ITS rješenja. Kako bi se ojačala održivost ekosustava pametne mobilnosti i učinkovito odgovorilo na sadašnje i buduće izazove prijevoza, moraju se naglasiti dva ključna elementa.

⁸⁷ Digitales Wien. (2023). Ampelanlagen Erkennen Querungswunsch Automatisch. Preuzeto 05. 09 2023 iz Digitales Wien: <https://digitales.wien.gv.at/projekt/smar-te-ampeln/>

⁸⁸ Chin, K. K., & Ong, G. (2015). Smart Mobility 2030 – ITS Strategic Plan for Singapore. JOURNEYS, 4-17., str. 4.

Prvo, imperativ je stvaranje isplativih rješenja pametne mobilnosti za različite korisnike prijevoza. Drugo, hitna je potreba za proširenjem primjene analitike velikih podataka, omogućujući brze uvide u prometne trendove koji zauzvrat poboljšavaju planiranje putovanja i upravljanje prijevozom.⁸⁹

Slika 6: shematski prikaz dijeljenja informacija u realnom vremenu kod automatskog sustava upravljanja u prometu Singapura



Izvor: <https://cec-iitr.medium.com/singapores-transportation-system-4a414caf7b34> (17. 09. 2023)

Singapur je implementirao Inteligentni transportni sustav (ITS), koji koristi prikupljanje podataka kako bi cestovni promet tekao sigurno i glatko. Grad je bio pionir u uvođenju raznih tehnologija, uključujući jedan od prvih elektroničkih sustava naplate cesta (ERP) na svijetu. Cestarine se razlikuju ovisno o tokovima prometa i djeluju kao naknada za zagušenje. ERP koristi sustav radiokomunikacije kratkog dometa za oduzimanje troškova s pametnih kartica umetnutih u vozila.

⁸⁹ Chin, K. K., & Ong, G. (2015). Smart Mobility 2030 – ITS Strategic Plan for Singapore. op cit., str. 4.

Neki od ostalih inteligentnih elemenata uključuju sustav nadzora i savjetovanja brze ceste, koji radi tako što 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.⁹⁰

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. Ne može se precijeniti važnost njegovanja partnerstva i poticanja suradnje između javnog i privatnog sektora. Ovi napori iskorištavaju stručnost i snagu svih subjekata koji sudjeluju, služeći kao katalizator inovacija. Nadalje, takva suradnja pomaže uskladiti interese i potrebe dionika i pruža učinkovitu platformu za povećanje svijesti o ITS-u unutar singapurskog okvira pametne mobilnosti. Nedavni pomaci u senzorskoj tehnologiji i obradi podataka donijeli su obilje preciznih i sveobuhvatnih podataka o prijevozu. Stoga je od iznimne važnosti istražiti inventivne i troškovno učinkovite pristupe prikupljanju prometnih podataka i širenju informacija. Takve će inicijative olakšati pravovremenu isporuku informacija raznolikom nizu korisnika, čime će se poboljšati ukupno iskustvo pametne mobilnosti.⁹¹

ITS inicijative i programi ukorijenjeni su u četiri ključna područja: informativno, interaktivno, pomoćno i zeleno kretanje. Ove inicijative i programi čine temelj singapurske ITS vizije. Prepoznajući duboki utjecaj pouzdanosti usluga javnog prijevoza i performansi cestovne mreže na iskustvo putovanja, implementacija integriranog sustava prijevoza i upravljanja je od najveće važnosti. Ovaj sustav oprema prijevoznike za brzo rješavanje nenormalnih situacija prikupljanjem i analizom podataka iz različitih ITS izvora. Rezultat je sveobuhvatan pregled situacije koji jača operativnu učinkovitost tijekom kriza ili incidenata.⁹²

Osim prilagodljivih kontrola prometnih signala u stvarnom vremenu, mogućnosti predviđanja i preventive, uključujući integriranu detekciju pješaka, nezamjenjive su za optimizaciju distribucije i upravljanja prometnom mrežom.

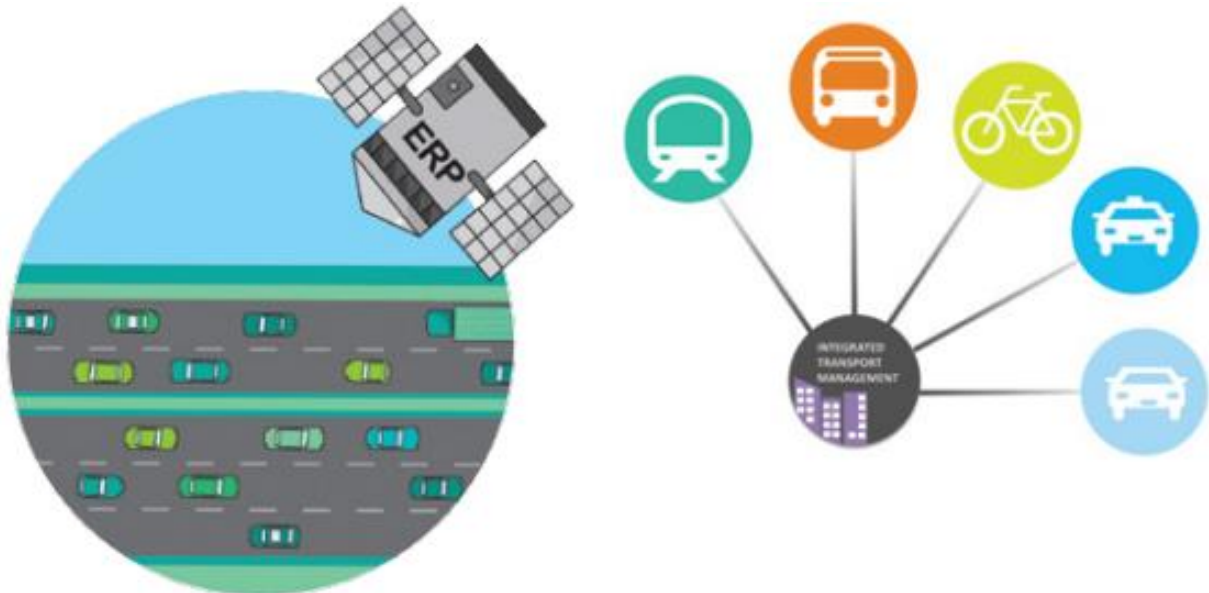
⁹⁰ <https://cec-iitr.medium.com/singapores-transportation-system-4a414caf7b34> (pristupljeno: 18. 09. 2023.)

⁹¹ Ibid,

⁹² Ibid.

Proaktivna preraspodjela prometa učinkovito smanjuje kašnjenja i nepotrebne zastoje, osiguravajući glatko i dosljednije iskustvo putovanja.⁹³

Slika 7: shematski prikaz sustava za poboljšanje integracije između javnog prijevoza i cestovnog poslovanja



Izvor: Chin, K. K., & Ong, G. (2015). Smart Mobility 2030 – ITS Strategic Plan for Singapore. JOURNEYS, 4-17., str. 7.

Inovacije u poboljšanju vremena dolaska autobusa na autobusna stajališta putem prioritarnog kretanja na raskrižjima proširuju se dalje od samog poboljšanja autobusnog sustava. Prednosti ovog sustava mogu se lako prilagoditi drugim vrstama vozila, uključujući vozila za hitne slučajeve, potičući holistički pristup pametnoj mobilnosti u Singapuru.

⁹³ Chin, K. K., & Ong, G. (2015). Smart Mobility 2030 – ITS Strategic Plan for Singapore. op. cit., str. 6.

5. TENDENCIJE BUDUĆEG RAZVOJA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA U PROMETU

Trendovi budućeg razvoja automatskog upravljanja u prometu obećavaju značajne inovacije i promjene u načinu kako se promet organizira i upravlja. Jedan od ključnih trendova je sveprisutna povezanost, koja omogućuje komunikaciju između vozila, infrastrukture i pametnih uređaja. Ovo će rezultirati usklađenijim i sigurnijim tokovima prometa, smanjenjem gužvi i emisijama štetnih plinova. Također, umjetna inteligencija (AI) i strojno učenje postaju ključni elementi u sustavima automatskog upravljanja, omogućujući precizno predviđanje prometnih situacija i brzu reakciju na prometne izazove.

Na prijelazu u 21. stoljeće, prometni se stručnjaci suočavaju s izazovima sve veće složenosti. Od profesionalaca u prometu se traži ispunjavanje ciljeva pružanja sigurnog, učinkovitog i pouzdanog prijevoza uz smanjenje utjecaja na okoliš i zajednice. Pokazalo se kako je to prilično teško s obzirom na stalni porast potražnje za putovanjima, potaknut gospodarskim razvojem, i sve veće zahtjeve da se s manje učini više. Djelomičan popis nekih od tih izazova s kojima se susreću stručnjaci za prijevoz uključuje probleme s kapacitetom, lošu sigurnosnu evidenciju, nepouzdanost, zagađenje okoliša i rasipanje energije. Dodatni izazov je činjenica da su prometni sustavi inherentno složeni sustavi koji uključuju vrlo velik broj komponenti i različitih strana, od kojih svaka ima različite i često sukobljene ciljeve.⁹⁴

5. 1. Značaj novih tehnologija za poboljšanje automatskog upravljanja u prometu

U kontekstu suvremenog razvoja prometa smatra se kako umjetna inteligencija ima sve veću ulogu u istraživanju znanosti o upravljanju i područjima operativnih istraživanja. Inteligencija se obično smatra sposobnošću prikupljanja znanja i rasuđivanja o znanju radi rješavanja složenih problema. U bliskoj budućnosti inteligentni strojevi zamijenit će ljudske sposobnosti u mnogim područjima. Umjetna inteligencija je proučavanje i razvoj inteligentnih strojeva i softvera koji mogu razmišljati, učiti, prikupljati znanje, komunicirati, manipulirati i opažati objekte. AI tehnologije sazrele su do te mjere da nude stvarne praktične prednosti u mnogim svojim primjenama.

⁹⁴ Sadek, A. W. (2007). Artificial intelligence applications in transportation. Transportation Research Circular, 1-7., str. 1.

Glavna područja umjetne inteligencije su ekspertni sustavi, obrada prirodnog jezika, razumijevanje govora, robotika i senzorni sustavi, računalni vid i prepoznavanje scene, inteligentna računalno potpomognuta nastava, neuronsko računalstvo. Iz ovih ekspertnih sustava proizlazi brzo rastuća tehnologija koja ima ogroman utjecaj na različita područja života. Različite tehnike koje se primjenjuju u umjetnoj inteligenciji su neuronska mreža, neizrazita logika, evolucijsko računalstvo i hibridna umjetna inteligencija. Umjetna inteligencija ima prednosti u odnosu na prirodnu inteligenciju jer je trajnija, dosljednija, jeftinija, ima lakoću umnožavanja i širenja, može se dokumentirati i može obavljati određene zadatke puno brže i bolje od ljudske.

Trenutno se metode umjetne inteligencije mogu podijeliti na simboličku umjetnu inteligenciju, koja se fokusira na razvoj sustava temeljenih na znanju (KBS); i računalnu inteligenciju, koja uključuje metode kao što su neuronske mreže (NN), neizraziti sustavi (FS) i evolucijsko računalstvo.

Kada se govori o primjeni umjetne inteligencije u prometnim sustavima, u prvom redu se fokus stavlja na sljedeće mogućnosti koje ima primjena i razvoj umjetne inteligencije:⁹⁵

- Identifikacija sustava i aproksimacija funkcija, koja se bavi izgradnjom empirijskih dinamičkih modela sustava iz izmjerenih podataka ili preslikavanjem ulaza sustava u izlaze. Kao što je ranije spomenuto, u transportnim sustavima, mnogi međuodnosi između varijabli ili komponenti transportnog sustava nisu u potpunosti shvaćeni. S obzirom na to, empirijski modeli su prilično česti.
- Nelinearno predviđanje fokusira se na predviđanje ponašanja sustava gdje odnos između ulaza i izlaza nije linearan. To je često slučaj s prometnim problemima uključujući predviđanje prometne potražnje ili predviđanje propadanja prometne infrastrukture kao funkcije prometa, izgradnje i čimbenika okoliša.
- Kontrola se fokusira na kontrolu sustava kako bi se postigao željeni rezultat. Kontrolne aplikacije obiluju transportom.

⁹⁵ Sadek, A. W. (2007). Artificial intelligence applications in transportation. op. cit. str. 3.

Primjeri uključuju signalnu kontrolu prometa na raskrižjima, mjerenje rampe na autocestama, dinamičko navođenje rutom, pozitivnu kontrolu vlakova na željezničkim prugama i kontrolu zračnog prometa.

- Prepoznavanje uzoraka ili klasifikacija opisuje širok raspon problema gdje je cilj klasificirati objekt ili ga staviti u odgovarajuću klasu ili kategoriju. Prepoznavanje uzoraka često se povezuje s obradom slike, iako se mnogi problemi predviđanja mogu također smatrati problemom klasifikacije uzoraka. Primjeri problema s prepoznavanjem uzoraka ili klasifikacijom u prijevozu uključuju automatsko otkrivanje incidenata (tj. klasificiranje stanja prometa kao incidenta ili bez incidenta), obradu slike za prikupljanje podataka o prometu i za prepoznavanje pukotina na kolnicima ili konstrukcijama mostova. Još jedan primjer problema prepoznavanja transportnog uzorka uključuje vrlo važno područje dijagnoze transportne opreme.
- Grupiranje se odnosi na problem grupiranja slučajeva sa sličnim karakteristikama i identificiranje broja grupa ili klasa. Za prijevoz, grupiranje se može koristiti za identifikaciju specifičnih klasa vozača na temelju ponašanja vozača, na primjer.
- Planiranje se odnosi na čin formuliranja programa za određeni tijek djelovanja namijenjen postizanju željenog cilja. U transportu, cilj procesa planiranja transporta je identificirati transportne potrebe zajednice i preporučiti najbolji tijek radnje potreban za ispunjavanje tih zahtjeva, uzimajući u obzir ekonomske, društvene i ekološke utjecaje transporta. Sustavi za podršku odlučivanju temeljeni na umjetnoj inteligenciji za planiranje prijevoza mogli bi biti vrlo korisni, posebno kada nedostaju točni analitički modeli i kada problemi uključuju višestruke dionike s često sukobljenim ciljevima.
- Projektiranje je ključna djelatnost profesije prometnog inženjerstva, uključujući geometrijsko projektiranje autocesta, projektiranje čvorova, strukturalno projektiranje kolnika i mostova, projektiranje propusta, projektiranje potpornih zidova i projektiranje zaštitne ograde.

Metode umjetne inteligencije mogle bi puno dodati vrijednosti i mogućnostima računalno potpomognutog dizajna koji se sada često koristi za aplikacije inženjerskog dizajna, pružajući dodatne mogućnosti podrške odlučivanju.

- Donošenje odluka odnosi se na kognitivni proces odabira načina djelovanja između više alternativa. Službenici prijevoznika neprestano se suočavaju s izazovnim situacijama u kojima je potrebno donijeti odluku. Primjeri ovih situacija uključuju odlučivanje hoće li se graditi nova cesta, koliko novca treba izdvojiti za aktivnosti održavanja i obnove i koje dijelove ceste ili mostove održavati te treba li promet preusmjeriti na alternativnu rutu u slučaju nezgode.
- Optimizacija se odnosi na proučavanje problema u kojima se nastoji minimizirati ili maksimizirati funkcija odabirom vrijednosti za skup varijabli odlučivanja uz zadovoljavanje niza ograničenja. Problemi s optimizacijom obiluju transportom. Primjeri uključuju projektiranje optimalne tranzitne mreže za određenu zajednicu, razvoj optimalne politike prijevoza za tvrtku, razvoj optimalnog plana rada za održavanje i sanaciju kolničke mreže i razvoj optimalnog vremenskog plana za grupu prometnih signala.

U mnogim situacijama, razumijevanje zamršenih odnosa unutar transportnih sustava može biti prilično izazovno. Metode umjetne inteligencije (AI) pojavljuju se kao pametna rješenja za rješavanje složenosti ovih sustava, kojima se često ne može učinkovito upravljati korištenjem konvencionalnih pristupa. Brojni su istraživači istaknuli prednosti umjetne inteligencije u području prijevoza. Jedan značajan primjer uključuje pretvaranje senzora cestovnog prometa u inteligentne agente sposobne automatski detektirati nesreće i predvidjeti buduće prometne uvjete. Metode umjetne inteligencije, kao što su umjetne neuronske mreže (ANN), nalaze različite primjene u prometu, uključujući planiranje cesta, optimizaciju javnog prijevoza, otkrivanje prometnih incidenata i predviđanje stanja u prometu. Te se metode mogu kategorizirati u nadzirane i nenadzirane tehnike učenja.⁹⁶

⁹⁶ Sadek, A. W. (2007). Artificial intelligence applications in transportation. op. cit. str. 5.

Nadzirane metode obuhvaćaju, među ostalim, Support Vector Machine (SVM), probabilističku neuronsku mrežu (PNN), radijalnu baznu mrežu (RBN), K-najbliže susjede i stabla odlučivanja, dok nenadzirane NN uključuju pohlepnu slojevitost i klstersku analizu.⁹⁷ Mnogi transportni problemi inherentno predstavljaju izazove optimizacije koji zahtijevaju prilagođene algoritme za učinkovitu računsku analitiku.

Ovi napredni računalni algoritmi, koji se često nazivaju rasterski algoritmi, nude vrijedna rješenja. Genetski algoritam (GA), na primjer, crpi inspiraciju iz evolucijske biologije, rješavajući složene probleme optimizacije temeljene na konceptu "preživljavanja najjačih". Posebno se pokazao korisnim u mrežama urbanog dizajna. Simulirano žarenje (SA) oponaša proces žarenja metala i ima primjenu u optimizaciji. Ant Colony Optimizer (ACO) algoritam je umjetne inteligencije inspiriran ponašanjem stvarnih mrava dok putuju od svog gnijezda do izvora hrane. Umjetni imunološki sustav (AIS) modelira se prema ljudskom imunološkom sustavu. Optimizacija pčelinjih kolonija (BCO) bavi se problemima hibridne složene optimizacije i pripada domeni sustava inteligencije rojeva, koji su inspirirani suradničkim ponašanjem mrava i pčela koji rade zajedno na pronalaženju optimiziranih rješenja. Ovi inteligentni računalni analitički sustavi izvrsni su u predavljanju neizvjesnosti, nepreciznosti i nejasnih koncepata, što ih čini prikladnima za rješavanje problema optimizacije ruta u prijevozu. Model neizrazite logike (FLM) još je jedna tehnika optimizacije koja se primjenjuje za rješavanje problema poput pronalaženja najkraćeg puta. Pokazao je superiorne performanse u usporedbi s modelom logističke regresije (LRM) u modeliranju izbora rute.⁹⁸

Uz to, softversko inženjerstvo temeljeno na agentima (ABSE), temeljeno na načelima umjetne inteligencije, uvodi novu softversku paradigmu sposobnu dinamički identificirati najkraći put uzimajući u obzir više kriterija i scenarija. Neuronske mreže (NN) također su integrirane s gore navedenim algoritmima kako bi se poboljšala njihova izvedba.

Stoga se prilikom planiranja prometa mora strateški primijeniti ove tehnologije kako bi se ublažile gužve, povećale pouzdanost vremena putovanja za klijente i poboljšale ukupnu ekonomsku učinkovitost i produktivnost vitalnih transportnih sredstava.⁹⁹

⁹⁷ Abduljabbar, R. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. Sustainability., str. 4.

⁹⁸ Saini, S. K., & Ghumman, M. S. (2022). Automated Traffic Management System Using Deep Learning Based Object Detection. op. cit., str. 5.

⁹⁹ Abduljabbar, R. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. op. cit., str. 5.

5. 2. SWOT analiza razvojnih mogućnosti automatskog upravljanja u prometu

Kako bi se bolje razumjeli potencijali i mogućnosti koje ima automatski prometni sustav, provedena je SWOT analiza razvojnih mogućnosti za automatsko upravljanje u prometu. SWOT analiza pruža temeljni okvir za razumijevanje trenutne situacije i budućih izazova vezanih za automatsko upravljanje u prometu te pomaže identificirati ključne korake prema boljem prometnom sustavu.

Tablica 1: SWOT analiza razvojnih mogućnosti automatskog upravljanja u prometu

SNAGE	SLABOSTI
<p>Napredne tehnologije: Automatsko upravljanje u prometu koristi napredne tehnologije poput umjetne inteligencije, strojnog učenja i senzora, što omogućuje precizno praćenje i upravljanje prometom.</p> <p>Povećana sigurnost: Automatizirani sustavi mogu brže reagirati na prometne situacije, smanjujući rizik od nesreća i poboljšavajući sigurnost u prometu.</p> <p>Smanjenje zagušenja: Bolja koordinacija prometa može smanjiti gužve na cestama, što dovodi do bržeg kretanja vozila i smanjenja emisija stakleničkih plinova.</p>	<p>Visoki troškovi implementacije: Uvođenje automatskog upravljanja u prometu zahtijeva značajna financijska ulaganja u infrastrukturu i tehnologiju.</p> <p>Potreba za obukom osoblja: Operateri i tehničko osoblje moraju se educirati kako bi održavali i upravljali automatskim sustavima.</p> <p>Ovisnost o tehnologiji: Automatski sustavi su osjetljivi na kvarove i tehničke poteškoće koje mogu uzrokovati prekide u prometu</p>

PRILIKE	PRIJETNJE
<p>Povećana urbanizacija: Rast gradskih populacija stvara potrebu za učinkovitijim sustavima upravljanja u prometu.</p>	<p>Sigurnosni rizici: S automatizacijom dolazi povećana ranjivost na cyber napade i prijetnje sigurnosti.</p>
<p>Razvoj pametnih gradova: Pametni gradovi teže integraciji automatskog upravljanja u promet kako bi poboljšali mobilnost stanovnika.</p>	<p>Otpor javnosti: Neki ljudi i zajednice mogu se protiviti automatizaciji u prometu zbog straha od gubitka radnih mjesta ili gubitka kontrole.</p>
<p>Razvoj autonomnih vozila: Automatsko upravljanje je ključno za razvoj autonomnih vozila koja će promet učiniti sigurnijim i učinkovitijim.</p>	<p>Regulacijski izazovi: Prometni zakoni i regulacije možda ne prate brzi napredak automatskog upravljanja, što može otežati implementaciju.</p>

Izvor: Vlastita izrada autora

Ova analiza omogućuje donositeljima odluka razumijevanje okoliša u kojem se automatsko upravljanje u prometu razvija. Prednosti i prilike koje su prikazane u ovoj SWOT tablici jasno pokazuju kako je potencijal koji imaju automatski sustavi za upravljanje u prometu te potencijal za daljnji razvoj ovih sustava značajan te će se shodno tome njihov daljnji razvoj usmjeravati sukladno s napretkom umjetne inteligencije i sve veće i brže protočnosti telekomunikacijskih mreža. Rezultati SWOT analize automatskih sustava upravljanja u prometu pružaju dragocjen uvid u njihove snage, slabosti, prilike i prijetnje te imaju značajnu ulogu u oblikovanju strategija za poboljšanje tih sustava.

Provedena analiza identificira postojeće snage, kao što su napredne tehnologije i povećana sigurnost. Ove snage mogu se dalje razvijati i iskoristavati za stvaranje učinkovitijih i pouzdanijih sustava. Na primjer, mogu se uložiti dodatna sredstva u istraživanje i razvoj kako bi se unaprijedile tehnologije koje podržavaju automatsko upravljanje u prometu.

Isto tako, pokazuje se kako stalni razvoj tehnologije omogućuje i bolji razvoj mogućnosti za poboljšanje učinkovitosti sustava, primjerice implementacijom 5G tehnologija. Na taj način vidljivo je kako je najvažnije u daljnjem razvoju automatskih sustava upravljanja u prometu slijediti najnovije trendove u razvoju tehnologije i prilagođavati sustave tim novitetima.

Ipak treba imati na umu kako je analiza ukazala i na određene slabosti. Slabosti kao što su visoki troškovi implementacije i potreba za obukom osoblja zahtijevaju posebnu pažnju. Uvođenje programa obuke za operatere i tehničko osoblje može pomoći u smanjenju ovih slabosti. Također, istraživanje načina za smanjenje troškova implementacije ili privlačenje investitora može biti ključno za uspješnu integraciju automatskih sustava u promet. Iako se u suvremenom društvu sve više pojavljuje pitanje hoće li roboti i umjetna inteligencija istisnuti ljude s brojnih radnih mjesta, činjenica je kako će kvalitetna i dobro obučena radna snaga još dugu niz godina, a vjerojatno i desetljeća biti temelj za uspješno upravljanje u prometu. Automatske tehnologije i mogućnosti automatskih upravljanja važni su za brzo donošenje odluka i planiranje, ali i dalje je potrebno imati osoblje koje će znati iskoristiti potencijale tehnologije i usmjeriti ju na najbolji način.

Povećana urbanizacija i razvoj pametnih gradova predstavljaju znatne prilike za napredak automatskih sustava upravljanja u prometu. Kako se gradovi šire i postaju sve gušće naseljeni, potreba za učinkovitijim i održivijim sustavima mobilnosti postaje kritična. Upravo ovdje dolazi do izražaja uloga automatskih sustava, koji mogu pridonijeti rješavanju različitih izazova s kojima se suočavaju gradovi. Provedena analiza i ukazane prilike mogu pomoći gradskim vlastima i organizacijama za promet, identifikaciju ključnih projekata i inicijativa koje će iskoristiti prilike koje urbanizacija i pametni gradovi donose. To može uključivati razvoj pametnih prometnih sustava koji će olakšati kretanje stanovnika i posjetitelja unutar grada. Primjer takvog projekta može biti implementacija sustava za upravljanje pametnim semaforima koji će se prilagođavati prometnom opterećenju i smanjiti gužve na cestama.

Analiza također pomaže u postavljanju prioriteta za investicije u prometne sustave. Na temelju identificiranih prilika, gradovi mogu usmjeriti svoje resurse prema projektima koji će najviše doprinijeti povećanju mobilnosti, smanjenju zagađenja i poboljšanju kvalitete života građana.

Ovo uključuje razmatranje kako tehnoloških aspekata tako i infrastrukturnih promjena, poput izgradnje brzih traka za bicikle ili razvoja integriranih mobilnih aplikacija koje olakšavaju planiranje i plaćanje putovanja javnim prijevozom.

Sigurnosni rizici i otpor javnosti predstavljaju ozbiljne prijetnje automatskim sustavima. Rezultati SWOT analize omogućuju razmatranje tih prijetnji i razvoj strategija za njihovo ublažavanje. To može uključivati jačanje sigurnosnih mjera i provođenje edukativnih kampanja kako bi se povećala svijest i prihvaćanje automatskih sustava.

Jedan od glavnih izazova u pogledu sigurnosti jest osiguranje sustava od napada izvana, bilo terorističkih napada ili pokušaja krađe podataka u svrhu pokušaja dobivanja materijalne koristi. Stoga usporedno s razvojem tehnologije i novih sustava treba razvijati i sustave za zaštitu od upada trećih strana.

Analiza također može pomoći u prepoznavanju regulacijskih izazova. Suradnja s regulatornim tijelima kako bi se osiguralo da prometni zakoni i regulacije prate tehnološki napredak može biti od ključne važnosti. Ovime se smanjuje pravna nesigurnost i olakšava implementacija automatskih sustava. Automatizacija u prometu donosi sa sobom mnoge tehničke i pravne izazove. Prometni zakoni i regulacije često nisu prilagođeni brzom tehnološkom napretku u području autonomne vožnje i drugih automatskih sustava. Ovo može uzrokovati pravnu nesigurnost i nejasnoće u vezi s primjenom tih tehnologija. Primjeri takvih izazova uključuju pitanja odgovornosti u slučaju nesreće s autonomnim vozilima ili pitanja vezana uz privatnost i sigurnost podataka prikupljenih senzorima u prometu. Nedavno pokrenuto pitanje o potrebi za ograničenju primjene i razvoja umjetne inteligencije svakako će biti izazovno za buduće planiranje prometa jer je umjetna inteligencija nedvojbeno jedan od veoma važnih potencijala čija primjena i daljnji razvoj predstavljaju ne samo tehnološki nego i sigurnosni te etički izazov.

Pametni gradovi promiču koncepte poput dijeljenja prijevoznih sredstava, električne mobilnosti i održive urbane mobilnosti. Automatski sustavi upravljanja u prometu temeljno su rješenje u ostvarivanju ovih inicijativa.

Na primjer, sustavi dijeljenja električnih skutera ili autonomnih vozila mogu se integrirati u prometne sustave pametnih gradova kako bi se omogućila učinkovita i održiva mobilnost stanovnika. Osim toga, sustavi upravljanja prometom mogu analizirati podatke o kretanju građana i optimizirati javni prijevoz kako bi se smanjilo opterećenje cesta i smanjile emisije stakleničkih plinova.

Urbanizacija i razvoj pametnih gradova predstavljaju pozitivne trendove koji pružaju prilike za transformaciju prometnih sustava. Kroz SWOT analizu, gradovi mogu bolje razumjeti svoje sposobnosti i potencijale u ovom kontekstu te razviti strategije koje će omogućiti razvoj održivih, učinkovitih i inteligentnih prometnih rješenja za budućnost. Automatski sustavi upravljanja realiziraju kroz svoja rješenja ove ciljeve i značajni su u procesu stvaranja boljih gradova za sve njihove stanovnike.

5. 3. Potencijal razvoja automatskog sustava za upravljanje u prometu u Hrvatskoj

Unutar Republike Hrvatske sve više se primjenjuju inteligentna rješenja za upravljanje u prometu. Međutim, primjena je i dalje ograničena na sustave koji su već dugi niz godina prisutni u drugim zemljama Europe i SAD-u te se može zaključiti kako je Republika Hrvatska relativno konzervativna po pitanju uvođenja inovacija u upravljanje prometom.

Rast urbanog stanovništva i povećanje broja vozila u hrvatskim gradovima predstavljaju kompleksan izazov za osiguranje sigurnosti u prometu, posebno uz prisutnost ranjivih sudionika kao što su pješaci, biciklisti i motociklisti, te vozači romobila. Prema podacima Europske komisije za mobilnost i promet, Hrvatska se suočava s izazovima u prometnoj sigurnosti, s visokim brojem smrtnih slučajeva na cestama u 2021. godini, što je iznad prosjeka EU-a i čini je jednom od zemalja s većom stopom smrtnosti u prometu među EU-27 zemljama. Nakon smanjenja broja prometnih nesreća u 2020. godini, broj smrtnih slučajeva na cestama porastao je za 23% u 2021. godini.¹⁰⁰

¹⁰⁰ <https://smart-ri.hr/pametnim-rjesenjima-u-prometu-do-efikasnog-i-sigurnog-grad/> (pristup: 14. 09. 2023.)

Od 128 hrvatskih gradova, tek je četrdeset gradova aktivno u razvijanju strategije pametnih gradova i provodi inovativna rješenja s ciljem unapređenja prometnih rješenja i upravljanja u prometu u urbanim sredinama. Većina hrvatskih gradova sudjeluje u pojedinačnim projektima vezanim uz pametne gradove, e-upravljanje, ili slične inicijative. Čak 51,7% tih gradova izražava namjeru izdvajanja financijskih sredstava za razvoj pametnih gradskih koncepta. Analiza je pokazala kako je 32% ispitanih hrvatskih gradova već aktivno uključeno u provedbu pametnih gradskih projekata, dok njih 64% planira takve projekte implementirati u budućnosti. Tri ključna područja pametne mobilnosti prepoznata su kao iznimno važna: inteligentna uporaba informacijsko-komunikacijske tehnologije (86,2%), pametan javni gradski prijevoz (65,5%) i pametno parkiranje (58,6%).¹⁰¹

U tom smislu, hrvatski gradovi, a prvenstveno Rijeka i Zagreb namjeravaju poboljšati implementaciju automatiziranih sustava za upravljanje u prometu pri čemu se planira primjena pametnih rješenja kao što su kontrola kvalitete zraka, praćenje i upravljanje prometom, te pametno parkiranje. Osim toga, gradovi planiraju unaprijediti svoje pametne sustave u budućnosti, fokusirajući se na područja poput inteligentne uporabe informacijsko-komunikacijske tehnologije i razvoja pametnog javnog gradskog prijevoza.

U skladu s potrebama suvremenog vremena, projekt CEKOM - Centar kompetencija za pametne gradove, istaknuo je pod projekt Connected Traffic kao ključni segment. Cilj ovog projekta je poboljšanje kvalitete života građana hrvatskih gradova putem primjene pametnih rješenja u prometu i promicanje ekološki prihvatljivih načina kretanja. Vodeći partner na projektu Connected Traffic je tvrtka Ericsson Nikola Tesla, uz suradnju s brojnim partnerima. Ključna inicijativa u okviru projekta je implementacija posebnog sustava videonadzora i analitike na raskrižjima. Ovaj sustav će prikupljati podatke o prometu na raskrižjima, pratiti prometne prekršaje i sigurnost u prometu, analizirati situacije na raskrižju, te identificirati vrste vozila, vozne trake, smjer kretanja, brzinu, registracijske oznake i vrijeme događaja, uključujući prekršaje poput nepropisnog parkiranja, nepropisnog skretanja ili prelaska na crveno svjetlo.¹⁰²

¹⁰¹ Milanović Glavan, Lj. i Filić, N. (2021). Razvoj pametnih gradova u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku, 15 (3-4), 101-108., str. 103.

¹⁰² <https://smart-ri.hr/pametnim-rjesenjima-u-prometu-do-efikasnog-i-sigurnog-grad/> (pristup: 14. 09. 2023.)

Kroz naprednu obradu tih podataka putem aplikacije za upravljanje prometom, stvarat će se trenutna slika stanja i tijeka prometa u gradovima, što će značajno poboljšati organizaciju prometa, posebno tijekom infrastrukturnih radova koji mogu otežati kretanje. Poboljšanja se također očekuju u učinkovitosti javnog gradskog prijevoza putem ugradnje sustava za brojanje putnika u autobusima. Ovi podaci omogućit će prilagodbu autobusnih linija potrebama putnika, osiguravajući bolju uslugu za građane hrvatskih gradova na temelju njihovih preferencija i potreba.

Osim fokusa na prometnu sigurnost, projekt Connected Traffic također naglašava važnost povećanja učinkovitosti u gradskom prometu. Kroz te inovacije, projekt ima za cilj unaprijediti kvalitetu života u hrvatskim gradovima, što odražava modernu orijentaciju prema urbanom prometu i razvoju održivih gradskih okoliša.¹⁰³

¹⁰³ <https://smart-ri.hr/pametnim-rjesenjima-u-prometu-do-efikasnog-i-sigurnog-града/> (pristup: 14. 09. 2023.)

6. ZAKLJUČAK

Pametnan i automatiziran prijevoz, zajedno s pametnim upravljanjem gradskim prometom, donosi revolucionarne promjene u načinu kako se suvremeni prometni izazovi rješavaju i kako se pristupa problemima moderne mobilnosti, uključujući i odgovor na hitne situacije. Ovaj transformacijski pristup ne samo da ublažava gužve na gradskim ulicama, već koristi najsuvremenija tehnološka rješenja kako bi stvorio prometni ekosustav usmjeren na učinkovitost i održivost. U ovom radu prikazane su najvažnije tehnološke inovacije koje su poboljšale upravljanje prometom i na taj način učinile učinkovitost mobilnosti ponajprije u gradovima ali također i izvan gradova značajno efikasnijom i prihvatljivijom za okoliš.

Najnoviji napredak u telekomunikacijama, posebice širenje Interneta stvari (IoT) uređaja i 5G komunikacijske tehnologije, omogućuje unapređenje u automatizaciji prometa. IoT povezuje senzore i kontrolere s gotovo svim fizičkim uređajima, omogućujući daljinsko upravljanje i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu. S druge strane, 5G pruža visokobrzinsku i pouzdanu komunikaciju, što je ključno za stvarno vremensko upravljanje i kontrolu prometnih sustava s minimalnim vremenskim odmakom. U tom kontekstu moguće je razvijati sustave za upravljanje prometom koji će se temeljiti na automatiziranim alatima za podršku upravljanju i koji će omogućiti prikupljanje velikog broja podataka u iznimno kratko vrijeme i njihovu obradu, prvenstveno korištenjem brojnih senzora ali isto tako i analitikom baziranom na umjetnoj inteligenciji, kako bi konačno donošenje odluka bilo značajno učinkovitije.

Pametni prijevoz više nije samo teorija za budućnost. Ovakav pristup razvoju prijevoza predstavlja temelj za razvoj suvremenih prijevoznih sustava i sustava za upravljanje prijevozom te se kao takav uspješno primjenjuje u sve većem broju gradova diljem svijeta. Iako s određenim zakašnjenjem, primjena automatiziranih sustava za upravljanje u prometu postaje i sve značajnija na hrvatskim prometnicama i u hrvatskim gradovima. Prikazan primjer grada Rijeke u ovom radu jasno pokazuje kako se gradovi na taj način suočavaju sa najvećim poteškoćama i izazovima u prometu koji se pojavljuju na njihovoj lokaciji.

Na primjeru grada Rijeke, to je prvenstveno problem parkirnih mjesta za koji se traži rješenje upravo primjenom inteligentnih sustava za praćenje prometa i uvođenjem automatiziranih sustava za upravljanje u prometu. Iskustva gradova koji primjenjuju automatizirane sustave za upravljanje u prometu koriste se kako bi se unaprijedili sustavi i primijenili na novim lokacijama.

Primjerice, pametni autobusi opremljeni sensorima i AI sustavima za upravljanje prometom mogu prilagoditi svoje rute i brzinu kako bi se smanjila gužva, dok pametni semafori mogu prilagoditi svjetlosne cikluse na temelju stvarnih uvjeta na cestama. Shodno tome, vidljivo je kako je razvoj automatiziranih sustava za upravljanje u prometu proces u kojem se međusobno dijele iskustva i potencijalna rješenja te je globalni pristup rješavanju gradskih gužvi i ostalih izazova velikih aglomeracija u prometnom kontekstu.

Uvođenje automatiziranih sustava za upravljanje prometom postalo je svakodnevna praksa u velikim gradovima širom svijeta. Ovi sustavi od vitalnog su značaja u rješavanju problema prometnih zastoja i gužvi te pružaju bolju kontrolu nad cestovnim prometom. Međutim, budući razvoj automatizacije u prometu zahtijeva blisku suradnju između akademske zajednice, industrije i vlasti kako bi se osiguralo uspješno implementiranje ovih tehnologija u urbano okruženje. To uključuje i razvoj standarda sigurnosti i regulativa kako bi se minimizirali potencijalni rizici povezani s automatizacijom prometa.

S obzirom na potencijalne koristi u smislu ekonomske učinkovitosti, smanjenja zagađenja zraka i poboljšanja ukupne mobilnosti, automatizacija u prometu zasigurno će ostati ključnim područjem istraživanja i razvoja u budućnosti. Izazovi su veliki, ali tehnološki napredak i suradnja između različitih sektora omogućuju redefiniranje načina na koji se ljudi kreću i načina na koji se upravlja prometom u gradovima diljem zemaljske kugle, otvarajući vrata efikasnijoj mobilnosti u budućnosti.

LITERATURA

1. Abduljabbar, R. (2019). Applications of artificial intelligence in transport: An overview. *Sustainability* .
2. Alam, M., Ferreira, J., & Fonseca, J. (2016). Introduction to intelligent transportation systems. *Intelligent transportation systems: Dependable vehicular communications for improved road safety*, 1-17.
3. Blessy, & Adam. (2013). An Automatic Traffic Light Management Using Vehicle Sensor and GSM Model. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 23-54.
4. Blythe, P. T., Rackliff, T., Holland, R., & Mageean, J. (2010). ITS applications in public transport: Improving the service to the transport system. *Journal of Advanced Transportation*, 325-345.
5. Bombol, K. M., & Kotlovska, D. (2003). Transportna telematika : moderno rješenje starog problema prometa u gradovima. *Suvremeni promet*, 287-292.
6. Bošnjak, I. (2006). *Inteligentni transportni sustavi*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.
7. Camacho, T. D., Foth, M., & Rakotonirainy, A. (2012). Pervasive technology and public transport: Opportunities beyond telematics. *IEEE Pervasive Computing*, 18-25.
8. Cerovac, V. (2001). *Tehnika i sigurnost prometa*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti.
9. Chin, K. K., & Ong, G. (2015). Smart Mobility 2030 – ITS Strategic Plan for Singapore. *JOURNEYS*, 4-17.
10. Digitales Wien. (2023). *AMPELANLAGEN ERKENNEN QUERUNGSWUNSCH AUTOMATISCH*. Preuzeto 05. 09 2023 iz Digitales Wien: <https://digitales.wien.gv.at/projekt/smart-ampeln/>

11. European Commission. (09. 12 2020). *Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*. Preuzeto 13. 08 2023 iz European Commission: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0789>
12. Gdynia city authority. (2023). *TRISTAR - podstawowe informacje*. Preuzeto 23. 08 2023 iz Gdynia city authority: <https://www.zdiz.gdynia.pl/images/tristaropis.pdf>
13. Glavan, L. M. (2021). Razvoj pametnih gradova u Republici Hrvatskoj. *Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku*, 101-108.
14. Gordon, R. (2015). *Intelligent Transportation Systems*. Newark: Springer International Publishing.
15. Hamilton, A. (2013). The evolution of urban traffic control: changing policy and technology. *Transportation planning and technology*, 24-43.
16. Jamroz, K., & Oskarbski, J. (2006). TRISTAR-Trójmiejski Inteligentny System Transportu Aglomeracyjnego. *Transport Miejski i Regionalny*.
17. Kalašová, A., Cul, K., Poliak, M., & Otahálová, Z. (2021). Smart Parking Applications and Its Efficiency. *Sustainability*, 1-17.
18. Klarić, M. (2012). *Sustavi za kontrolu i upravljanje prometom u Cestovnim Tunelima*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti.
19. Kumar, P., & Suman, S. (2009). Public Transportation Systems with ITS Technologies. *Conference: Civil Engineering Conference-Innovation Without Limits*.
20. Liu, H. X. (2007). Model reference adaptive control framework for real-time traffic management under emergency evacuation. *Journal of urban planning and development*, 43-50.
21. Mandhare, P. A., Kharat, V., & Patil, C. Y. (2018). Intelligent road traffic control system for traffic congestion: a perspective. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*.

22. Mangiaracina, R., Perego, A., & Salvadori, G. (2021). *A comprehensive view of Intelligent Transport Systems (ITS) for urban*. Milano: Department of Management, Economics and Industrial Engineering.
23. Muthuramalingam, S., Bharathi, A., & Rakesh Kumar, S. (2019). IoT based intelligent transportation system (IoT-ITS) for global perspective: A case study. *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation*, 279-300.
24. Nwosua, C., Isiorhovoja, A., Ogbuka, C., & Anyaka, B. (2021). Density based auto traffic light control system with GSM based remote override for enugu metropolis. *Journal of applied research and technology*.
25. Qiana, Z. (.), Xiao, F. (.), & Zhang, H. M. (2012). *Managing Morning Commute Traffic with Parking*. Shanghai: Elsevier.
26. Ravish, R., Shenoy, D. P., & Rangaswamy, S. (2020). Sensor Based Traffic Control System. *Proceedings of the Global AI Congress 2019*.
27. Rijeka plus. (2023). *Automatsko upravljanje prometom*. Preuzeto 03. 09 2023 iz Rijeka plus: <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/?cookie-state-change=1694035469242>
28. Sadek, A. W. (2007). Artificial intelligence applications in transportation. *Transportation Research Circular*, 1-7.
29. Saini, S. K., & Ghumman, M. S. (2022). Automated Traffic Management System Using Deep Learning Based Object Detection. *2022 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*.
30. Singh, B., & Gupta, A. (2015). Recent trends in intelligent transportation systems: a review. *Journal of transport literature*, 30-34.
31. Smart-RI. (22. 05 2022). *Pametnim rješenjima u prometu do efikasnog i sigurnog grada*. Preuzeto 13. 09 2023 iz Smart-RI: <https://smart-ri.hr/pametnim-rjesenjima-u-prometu-do-efikasnog-i-sigurnog-grada/>

32. Tian, Z., & Urbanik, T. (2019). System partition technique to improve signal coordination and traffic progression. *Journal of transportation engineering*, 119-128.
33. Trafimenko, K. (02. 07 2020). *Developing smart mobility for smart cities*. Preuzeto 05. 09 2023 iz Intelligent transport: <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/101242/developing-smart-mobility-for-smart-cities/>
34. Vasilj, A. (2006). *Aleksandra Vasilj*. Osijek: Vlastita naklada.
35. Vilke, S., & Tadić, F. (2020). Review of Good Practices in the Introduction of Traffic Management Systems and Urban Mobility. *Pomorski zbornik*, 95-113.
36. Vujić, M., Škorput, P., & Čelić, J. (2015). Wireless communication in cooperative urban traffic management. *Pomorstvo* , 150-155.
37. Yuet, W. H. (17. 08 2022). *Vienna: A city in the fast lane of the smart mobility revolution*. Preuzeto 10. 09 2023 iz GovInsider: <https://govinsider.asia/intl-en/article/vienna-a-city-in-the-fast-lane-of-the-smart-mobility-revolution-in-a-homeier>
38. Zantalis, F. (2019). A review of machine learning and IoT in smart transportation. *Future Internet*, 1-23.
39. Ziemska, M., & Śrubka, M. (2021). Analiza porównawcza inteligentnych systemów sterowania ruchem drogowym, metoda balance i metoda scats. *Prace wydziału nawigacyjnego akademii morskiej w gdyni*.

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1: Shematski prikaz BALANCE arhitekture	22
Slika 2: shematski prikaz automatskog sustava za upravljanje u prometu javnog prijevoza.....	29
Slika 3: shematski prikaz automatskog sustava za informiranje i navođenje kod parkiranja.....	37
Slika 4: prikaz lokacija za brojanje prometa uživo u Rijeci.....	48
Slika 5: mreža integriranog javnog prijevoza grada Beča.....	52
Slika 6: shematski prikaz dijeljenja informacija u realnom vremenu kod automatskog sustava upravljanja u prometu Singapura.....	54
Slika 7: shematski prikaz sustava za poboljšanje integracije između javnog prijevoza i cestovnog poslovanja	56
Tablica 1: SWOT analiza razvojnih mogućnosti automatskog upravljanja u prometu	62