

Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom

Novosel, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:178904>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Novosel

INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM
PROMETOM

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom

Innovative Concepts for Road Traffic Management

Mentor: izv. prof. dr. sc. Pero Škorput

Student: Ivan Novosel

JMBAG: 0135252791

Zagreb, 2023.

Zagreb, 24. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi I**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7292

Pristupnik: **Ivan Novosel (0135252791)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom**

Opis zadatka:

Zadatak ovog diplomskog rada je istražiti i analizirati kako inteligentni transportni sustavi i inovativni koncepti mogu unaprijediti upravljanje cestovnim prometom. Rad će pružiti pregled tradicionalnih pristupa upravljanju cestovnim prometom, a zatim će se fokusirati na ulogu inteligentnih transportnih sustava u optimizaciji cestovnog prometa. Također će se razmatrati specifične strategije upravljanja cestovnim prometom u urbanim područjima i na autocestama. Poseban dio rada bit će posvećen evaluaciji učinkovitosti i utjecaja ovih inovativnih tehnologija na upravljanje cestovnim prometom u Republici Hrvatskoj. Cilj je prepoznati ključne prednosti i izazove koje ovi sustavi donose suvremenom cestovnom prometu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



doc. dr. sc. Pero Škorput

INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM

SAŽETAK

Diplomski rad istražuje upravljanje cestovnim prometnim sustavom, gdje je fokus na inovativnim i inteligentnim sustavima upravljanja. Ukratko su prikazani tradicionalni pristupi upravljanja pomoću znakova, svjetlosne signalizacije s fiksnim ciklusom, te sustavima obavještanja. Opisano je funkcioniranje inteligentnih transportnih sustava i njihovo korištenje u upravljanju prometom. Prikazani su inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom u urbanim područjima pomoću prometno ovisne prometne signalizacije, sustava pametnog parkiranja, sustava davanja prednosti žurnim službama, te sustava za određivanje ruta. Kod inovativnog upravljanja cestovnim prometom na autocestama proučeni su sustavi upravljanja priljevnim tokovima, upravljanje ograničenjem brzine, elektronska naplata cestarine, te sustavi virtualnih cestovnih vlakova. Završno je istražena razina implementacije inovativnih sustava upravljanja cestovnim prometom u Republic Hrvatskoj.

Ključne riječi: Inteligentni transportni sustavi, upravljanje prometom, upravljanje ograničenjem brzine

SUMMARY

The thesis researches the management of the road transport system, where the focus is on innovative and intelligent management systems. Traditional control approaches using signs, light signaling with a fixed cycle, and notification systems are briefly presented. The functioning of intelligent transport systems and their use in traffic management are described. Innovative concepts of road traffic management in urban areas using traffic-dependent traffic signals, smart parking systems, systems for giving priority to urgent services, and systems for determining routes are presented. In the case of innovative road traffic management on highways, ramp metering system, variable speed limit control, electronic toll collection, and virtual road train systems were studied. Finally, the level of implementation of innovative road traffic management systems in the Republic of Croatia was investigated.

Keywords: intelligent transportation systems, traffic management, variable speed limit control

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TRADICIONALNI PRISTUPI UPRAVLJANJU CESTOVNIM PROMETOM	3
2.1. Prometni znakovi.....	3
2.2. Svjetlosna prometna signalizacija	8
2.3. Sustavi za obavještanje.....	10
2.3.1. Radijski sustavi.....	10
2.3.2. Internetski sustavi	10
3. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U FUNKCIJI UPRAVLJANJA PROMETOM.....	12
3.1. Funkcija inteligentnih transportni sustavi	13
3.2. Povezana vozila	13
3.3. Centri za upravljanje prometom	14
4. INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM U URBANIM PODRUČJIMA	16
4.1. Upravljanje semaforiziranim raskrižjima.....	16
4.2. Sustavi i algoritmi za inovativno upravljanje prometom.....	17
4.3. Sustavi pametnog parkiranja	20
4.4. Davanje prednosti žurnim službama	22
4.5. Sustavi za određivanje ruta	25
5. INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM NA AUTOCESTAMA.....	28
5.1. Upravljanje priljevnim tokovima	28
5.2. Upravljanje ograničenjem brzine prometnog toka	30
5.3. Sustavi elektronske naplate cestarina.....	32
5.4. Virtualni cestovni vlak	34
6. EVALUACIJA UČINKOVITOSTI I UTJECAJA INOVATIVNIH TEHNOLOGIJA UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	38
6.1. Središnji centar za nadzor i upravljanje prometom	38
6.2. Nacionalna pristupana točka Republike Hrvatske.....	41
6.3. Automatsko upravljanje prometom u gradu Rijeci	46
6.4. Elektronička naplata cestarine	47
6.5. Informacije o vremenskim uvjetima.....	47
7. ZAKLJUČAK.....	49
Literatura	52
Popis slika	55

1. UVOD

Tijekom godina ekonomskim i tehnološkim razvojem civilizacije dolazi do proizvodnje vozila različitih cjenovnih rangova, sve jeftinijih vozila i veće pristupačnosti istih ljudima, što dovodi do većeg broja vozila na prometnoj mreži. Jedan od razloga je i sve veća centralizacija poslova u gradovima, a zbog nedostatka javnog prijevoza putovanjem radnika izvan gradova na posao dolazi do sve većeg zagušenja prometne mreže prema gradovima. Da bi se spriječila prometna zagušenja i povećala sigurnost prometa potrebno je upravljati prometnim tokom vozila. U prošlosti upravljanje se postizalo pomoću prometnih znakova, te kasnije svjetlosne signalizacije. No u jednom trenutku to više nije bilo dovoljno, u nedostatku novih rješenja smanjenje zagušenja se rješavalo povećanjem broja prometnih trakova gdje je to prostorno bilo moguće. No u većini urbanih sredina povećanje broja prometnih trakova nije bilo moguće, pa je trebalo pronaći drugo rješenje. Neka od rješenja su bila dopuštanje prometovanja vozila s parnim registarskim brojevima jedan dan, a s neparnim drugi dan, proširenje mreže javnog prometa, zabrane osobnim vozilima u dijelove gradova itd. Kasnije tehnološkim napretkom dolazi do sinkronizacije susjednih raskrižja sa svjetlosnom signalizacijom, kako bi se poboljšala protočnost prometnog toka. Danas kada se na prometnoj mreži nalazi više vozila nego ikada potrebno je pametno upravljanje prometnim sustavom. Ovaj diplomski rad obrađuje i opisuje razvoj upravljanja prometom, te inovativne koncepte upravljanja prometom.

Diplomski rad se sastoji od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Tradicionalni pristup upravljanju cestovnim prometom
3. Inteligentni transportni sustavi u funkciji upravljanja prometom
4. Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom u urbanim područjima
5. Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom na autocestama
6. Evaluacija učinkovitosti i utjecaja inovativnih tehnologija upravljanja cestovnim prometom u Republici Hrvatskoj
7. Zaključak

U drugom poglavlju su prikazani tradicionalni pristupi upravljanja prometom prometnim znakovima, svjetlosnom signalizacijom, te sustavima obavještanja.

U trećem poglavlju je prikazano korištenje inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu, te funkcioniranje inteligentnih transportnih sustava.

U četvrtom poglavlju su prikazani inovativni koncepti upravljanja prometom u urbanim sredinama. Semaforizacija ovisna o prometnom opterećenju, pametno parkiranje, davanje prednosti žurnim službama, te upravljane prometom pomoću rutiranja.

U petom poglavlju su prikazani inovativni koncepti upravljanja prometom na autocestama (brzim cestama). Upravljanje priljevnim tokovima, upravljanje ograničenjem dopuštene brzine, elektronska naplata cestarine, te vođenje autonomnih vozila u virtualnom cestovnom vlaku.

U šestom poglavlju je prikazana razina implementacije inovativnog upravljanja cestovnim prometom u Republici hrvatskoj. Elektronička naplata cestarine, Automatsko upravljanje prometom u gradu Rijeci, nacionalna pristupna točka RH, te središnji centar za upravljane prometom u Karlovcu.

2. TRADICIONALNI PRISTUPI UPRAVLJANJU CESTOVNIM PROMETOM

Kako bi prometni sustav uopće funkcionirao potrebno je upravljanje njime. Upravljanje je krenulo od prometnih znakova koji su vodili promet. Povećanjem broja vozila na prometnim raskrižjima počela je uporaba semaforских uređaja s fiksnim signalnim planovima. Zbog današnjeg opterećenja potrebna su sofisticiranija rješenja koja su djelomično ili potpuno prilagodljiva stanju u prometu.

2.1. Prometni znakovi

Najjednostavniji način upravljanja prometom je pomoću prometnih znakova uz rub prometnica, iznad prometnica ili iscrtanih na prometnicama.

Prometni znakovi u Hrvatskoj su regulirani dokumentom: Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.

Znakovi se dijele na:

- znakove opasnosti,
- znakove izričitih naredbi,
- znakove obavijesti,
- znakove obavijesti za vođenje prometa,
- dopunske ploče,
- promjenjive prometne znakove [1].

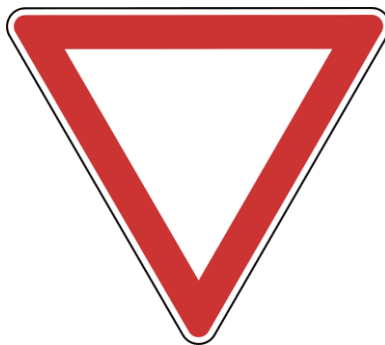
Znakovi opasnosti označavaju blizinu dijela ceste ili mjesto na cesti na kojem sudionicima u prometu prijeti opasnost. Znakovi opasnosti, u pravilu, se postavljaju na udaljenosti 150 do 250 m ispred opasnog dijela na cesti [1]. Izgled znaka je prikazan na slici 1.



Slika 1. Znak opasnosti

Izvor: https://autoskola-ispiti.com/images/medium/A01_2.png (Preuzeto: 03.02.2023)

Znakovi izričitih naredbi stavljaju do znanja sudionicima u cestovnom prometu zabrane, ograničenja i obaveze. Znakovi izričitih naredbi postavljaju se neposredno na mjesta na kojima za sudionike u prometu počinje obaveza postupanja po naredbi izraženoj prometnim znakom [1]. Izgled znaka je prikazan na slici 2.



Slika 2. Znak izričitih naredbi

Izvor: https://autoskola-ispiti.com/images/medium/q6649_1.png (Preuzeto: 05.02.2023)

Znakovi obavijesti sudionicima u prometu daju potrebne obavijesti o cesti kojom se kreću, nazivima mjesta kroz koja cesta prolazi i udaljenosti do tih mjesta, prestanku važenja prometnih znakova izričitih naredbi te druge obavijesti koje im mogu koristiti. Znakovi obavijesti postavljaju se tako da sudionicima u prometu daju prethodne obavijesti, obavijesti

o prestrojavanju, obavijesti o skretanju, obavijesti o smjeru kretanja te da označe objekt, teren, ulicu ili dijelove ceste na koje se odnose [1]. Izgled znaka je prikazan na slici 3.



Slika 3. Znak obavijesti

Izvor: https://autoskola-ispiti.com/images/medium/C2_1.png (Preuzeto: 05.02.2023)

Znakovi obavijesti za vođenje prometa obavješćuju sudionike u prometu o pružanju cestovnih smjerova, rasporedu odredišta i vođenju prometa prema njima, raskrižjima i čvorištima na određenom smjeru ceste i udaljenostima do odredišta [1].

Osnovna boja znakova obavijesti za vođenje prometa je:

- na autocestama zelena sa simbolima i natpisima bijele boje
- na brzim cestama plava sa simbolima i natpisima bijele boje
- na državnim i ostalim cestama žuta sa simbolima i natpisima crne boje
- za dijelove gradova, naselja i značajne objekte bijela sa simbolima i natpisima crne boje [1].

Obavješćivanje sudionika u prometu prometnim znakovima obavijesti za vođenje prometa provodi se u pet stupnjeva, i to:

- I. prethodno obavješćivanje
- II. obavješćivanje o smjeru kretanja
- III. obavješćivanje o prestrojavanju
- IV. obavješćivanje o skretanju
- V. potvrdno obavješćivanje [1].

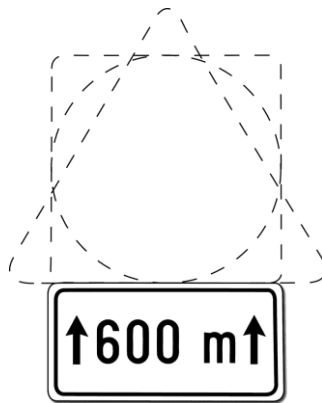
Ovisno o vrsti i kategoriji ceste, geometrijskom oblikovanju raskrižja te o udaljenosti dvaju susjednih raskrižja, može se izostaviti ili dodati jedan od stupnjeva obavijesti, osim četvrtog stupnja obavijesti koji je obavezan [1]. Primjer znaka je prikazan na slici 4.



Slika 4. Znak obavijesti o vođenju prometa

Izvor: https://autoskola-ispiti.com/images/medium/D17_3.png (Preuzeto: 05.02.2023)

Dopunske ploče pobliže određuju značenje prometnog znaka. Dopunske ploče mogu biti postavljene uz znakove opasnosti, znakove izričitih naredbi, znakove obavijesti i znakove obavijesti za vođenje prometa. Širina dopunske ploče postavljene uz prometni znak na cesti ne smije biti veća od dužine one stranice znaka uz koji se dopunska ploča postavlja, odnosno od projekcije krajnjih točaka znaka [1]. Primjer znaka je prikazan na slici 5.



Slika 5. Dopunska ploča

Izvor: https://autoskola-ispiti.com/images/medium/E03_1.png (Preuzeto: 05.02.2023)

Promjenjivi prometni znakovi su prometni znakovi koji mogu mijenjati svoje značenje, odnosno biti u mogućnosti prikazati različite poruke. Primjer znaka je prikazan na slici 6.



Slika 6. Promjenjivi prometni znakovi.

Izvor: https://www.prometna-signalizacija.com/wp-content/uploads/2013/05/0000515720_1_0_rqdl4g.jpg (Preuzeto: 05.02.2023)

Promjenjivi prometni znakovi izvide se kao kontinuirani i ne kontinuirani, odnosno:

- elektromehanički prometni znakovi, koji prikazuju različite prometne znakove, dopunske ploče, obavijesti, poruke i simbole, a koji su izgledom jednaki stalnim prometnim znakovima i signalizaciji.

- svjetlosni promjenjivi znakovi (SPZ) oblikuju znakove, simbole, dopunske ploče i ostale tekstualne poruke uporabom svjetlećih elemenata.
- Svjetlosno promjenjivi prometni znakovi mogu se kombinirati sa stalnim prometnim znakovima. U tom slučaju, svjetlosno promjenjivi prometni znakovi gledano u smjeru vožnje, uvijek se postavljaju iza stalnog prometnog znaka.
- Svjetlosno promjenjivi prometni znakovi, u pravilu, trebaju prikazivati samo znakove, simbole i dopunske ploče te samo u iznimnim slučajevima i tekstualne poruke [1].

Elektromehanički prometni znakovi ne smiju se po boji i veličini razlikovati od stalnih prometnih znakova. Ako su prometni znakovi izvedeni kao svjetlosni te ako tehnologija izvedbe svjetlosnog znaka ne omogućuje propisanu boju, upotrebljava se:

- umjesto osnovne boje prometnog znaka – crna boja bez retrorefleksije,
- umjesto crnih i bijelih simbola – bijeli (žuti) simboli na prometnom znaku,
- umjesto crnih rubova prometnog znaka – bijeli (žuti) rub prometnog znaka [1].

2.2. Svjetlosna prometna signalizacija

Svjetlosna signalizacija se koristi na prometnim raskrižjima da bi se ostvarila veća sigurnost i povećao protok. Svjetlosni znakovi za upravljanje prometom vozila su uređaji s trobojnim svijetlima. Svijetla se postavljaju po okomitoj osi jedno ispod drugoga, i to: Crveno svijetlo na vrhu, zatim žuto pa zeleno. Zeleno svijetlo može imati dopunski znak u obliku strelice koja je smještena u krugu crne boje. Mogu se postavljati tako da jedan uređaj upravlja s više trakova istog smjera, ili da svakim trakom upravlja posebni uređaj [2].

Svjetlosna signalizacija se postavlja:

- Ako je zadovoljeni uvjeti razine prometnog opterećenja,
- Pri slaboj vidljivosti,
- Pri velikoj širini prometnice,
- Pri prijelazu iz uvjeta vožnje izvan grada u gradske uvijete vožnje [2].

Za semaforizirano raskrižje najvažniji su pojmovi ciklusa i faze. Faza je dio ciklusa u kojemu je skupini vozila dopušteno kretanje. Ciklus je ukupno trajanje izmjene svih signalnih pojmova [3].

Tradicionalno se raskrižjima upravljalo pomoću fiksnih signalnih planova. Fiksni signalni planovi se koriste kada imamo prometno raskrižje s opterećenjem koje tijekom dana ne izlazi izvan određenog okvira, odnosno kada je opterećenje predvidivo. Planovi se izrađuju brojenjem prometa u raskrižju i blizini raskrižja nekom od metoda, kada se dobije prosječno opterećenje iz opterećenja se izradi signalni plan.

Vremenski ustaljen način upravljanja pretpostavlja trajanje signalnih pojmova prema unaprijed definiranim vremenima, a izmjene se ciklički ponavljaju. U načelu nije potrebno postavljati detektore i tipkala [3].

Zbog nemogućnosti prilagodbe stvarnom prometnom opterećenju u nekim dijelovima dana signalni planovi postaju ne efikasni. Za bolje upravljanje prometom izrađuju se dodatni signalni planovi koji odgovaraju različitim opterećenjima tijekom dana, to mogu biti planovi za vrijeme noćnih sati, vršnih sati i izvan vršnog sata [12].

Raskrižjem možemo upravljati:

- izolirano,
- koordinirano.

Izolirano upravljanje je upravljanje jednim raskrižjem neovisno od ostatka mreže. Na početku uvođenja semaforizacije većina raskrižja je bila izolirano upravljana. Neka raskrižja i danas su tako upravljana jer iako su tehnološki u mogućnosti uskladiti se s ostalim raskrižjima za to nema potrebe, te bi to bio samo dodatni trošak.

Koordinirano upravljanje je upravljanje s više povezanih raskrižja, prije se sinkronizacija izvodila analogno za svako raskrižje, no danas se to radi digitalno zahvaljujući naprednijim semaforskim sustavima. Primjer sinkronizacije je „zeleni val“ u Zagrebu, semafori su tako sinkronizirani da vozila na glavnom toku koja prođu kroz prvo raskrižje za vrijeme trajanja zelenog pojma vozeći konstantnom brzinom prolaze kroz sva sinkronizirana raskrižja za vrijeme zelenog svijetla.

2.3. Sustavi za obavještanje

Sustavi za obavještanje se koriste za obavještanje putnika prije polaska, te za vrijeme putovanja o stanju na cestama. Takvi sustavi daju informacije o stanju na prometnicama i mjestima koja se sudionicima prometa preporučuje zaobići ako je to moguće.

Takvi sustavi daju informacije o:

- događajima na prometnicama (prometni rado, zagušenja, prometne nesreće),
- prometnim uvjetima,
- ograničenju brzine,
- vremenskom trajanju putovanja,
- vremenskim uvjetima [4].

2.3.1. Radijski sustavi

Prije nego što je Internet postao dostupan u svakom trenutku radio je bio vozačima vrlo važan u informiranju prije i za vrijeme putovanja. U Hrvatskoj Hrvatski autoklub daje obavijesti o stanju prometne mreže i uvjetima na cesti preko radija, te se u tunelima informacije mogu dobiti preko radija. Takav tip obavijesti danas vozači koriste najčešće tijekom vožnje, zbog dostupnosti internetskih usluga. Prednost informiranja preko radija je da je to zvučni prijenos informacija, pa se vozač može usredotočiti na vožnju i slušati obavijesti. Nedostatak takvog načina informacija je da su informacije ograničene, te se mogu dobiti samo ako se radio sluša za vrijeme emitiranja.

2.3.2. Internetski sustavi

Za pristupanje informacijama s Interneta koriste se računala i pametni mobiteli. Računala se najčešće koriste za informiranje prije putovanja, dok se pametni mobiteli mogu koristiti i za

informiranje prije putovanja i za vrijeme putovanja. Sve većim razvojem pametnih mobitela, tableta i telekomunikacijskih mreža podatci o prometnim uvjetima su u stvarnom vremenu [4].

Prednost pametnih mobitela je da možemo selektivno tražiti informacije, te dobiti informaciju koja nam je važna, ako je ta informacija prikupljena i objavljena. Nedostatak je ako vozač nema suputnika koji bi mogao pratiti informacije mora se zaustaviti dok provjerava informacije kako ne bi ugrožavao sigurnost prometa.

3. INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U FUNKCIJI UPRAVLJANJA PROMETOM

Inteligentni transportni sustavi (ITS) se mogu definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika, manja onečišćenja okoliša [13].

Inteligentni transportni sustavi se u prometu koriste za:

1. upravljanje prometnim tokom - ITS je vrlo važan kod upravljanja prometom jer pomaže povećati kapacitet i efikasnost prometne mreže. Upravljanje se postiže pomoću pametne prometne signalizacije djelomično i potpuno ovisne o prometu, kojom upravljaju mikroprocesorski uređaji. ITS sustavi mogu smanjiti vrijeme putovanja, emisije štetnih plinova i zagušenje prometne mreže;
2. održavanje sigurnosti prometa - Sigurnost prometa je jedna od najvažnijih zadaća kod upravljanja prometnim sustavom. ITS sustavi nam pomažu da elektroničkim putem prikupljamo informacije o stanju sigurnosti prometnog sustava. Neki od načina povećanja/osiguranja sigurnosti su automatska detekcija brzine prometnog toka, automatsko prepoznavanje registarskih oznaka, sustavi za detekciju prolaska na crveno svjetlo, sustavi detekcije vožnje u suprotnom smjeru. Razlozi potrebe takvih sustava su da su za pad sigurnosti prometa u većini slučajeva krivi sudionici u prometu;
3. nadzor prometa - Sustavi za nadzor prometa se koriste za otkrivanje prometnih nesreća i zapreka na cestovnoj mreži. Takvi sustavi mogu u kratkom roku obavijestiti hitne službe o lokaciji prometne nesreće i vrsti prometne nesreće, te službe za upravljanje prometom o zaprekama na prometnoj mreže npr. vozilima u kvaru, semaforima u kvaru, nepropisno parkiranim vozilima [14].

3.1. Funkcija inteligentnih transportni sustavi.

Inteligentni transportni sustavi za upravljanje prometom se sastoje od jednog ili više elemenata za prikupljanje informacija poput prometnih senzora. Zatim se pomoću raznih alata analiziraju prikupljeni podatci kako bi se odredilo dali je potrebno, te koje akcije je potrebno provesti na prometnoj mreži. To može biti utjecaj na sudionike u prometu kako bismo utjecali na njihove odluke tijekom putovanja. Drugi način je izmjene na prometnoj infrastrukturi, npr. izmjena signalnih planova, postavljanje promjenjivih prometnih znakova. Komunikacijska mreža je vrlo važan element inteligentnih transportnih sustava, jer pomoću nje se postiže bolja koordinacija, te se donose efikasnije odluke. Drugi važni element sustava je mehanizam povratne veze koji pomaže poboljšati rad i efikasnost inteligentnih transportnih sustav [14].

3.2. Povezana vozila

Povezano vozilo je definirano kao svako vozilo koje je povezano s vanjskom mrežom. Privatni sektor to postiže ugradnjom različitih tvorničkih ili ovlaštenih uređaja za informiranje i zabavu (eng. "infotainment") u vozila, dok javni sektor to postiže pomoću promjenjivih znakova i javnih obavijesti o stanju u prometu [20].

Najvažnije informacijske veze su:

- konvencionalne veze inteligentnih transportnih sustava – Takve veze obično povezuju centre za upravljanje prometom s opremom na prometnicama kao što su detektori i promjenjivi prometni znakovi;
- mobilna/Internet usluga – Takve veze povezuju većinu trenutno dostupnih privatnih i javnih usluga s vozilom. Preko mobilnog uređaja se informacije prenose u uređaje za informiranje i zabavu u vozilu , te se prikazuju korisniku;
- posjednički komunikacijski kanali – Oni se koriste za prijenos posebne usluge koje pružaju proizvođači vozila ili opreme za informiranje u vozilu. Primjer je Sirius XM radio koji preko satelita šalje informacije o prometu i vremenskim prilikama uređaju u vozilu;

- konvencionalni prometni displeji inteligentnih transportnih sustava, radio, promjenjivi prometni znakovi [20].

Da bi inteligentni sustavi za upravljanje prometom funkcionirali moramo imati i pametni prometni sustav, odnosno pametna vozila i pametnu infrastrukturu. Te moramo imati komunikaciju između vozila, infrastrukture i sustava.

Komunikacija se dijeli na komunikaciju:

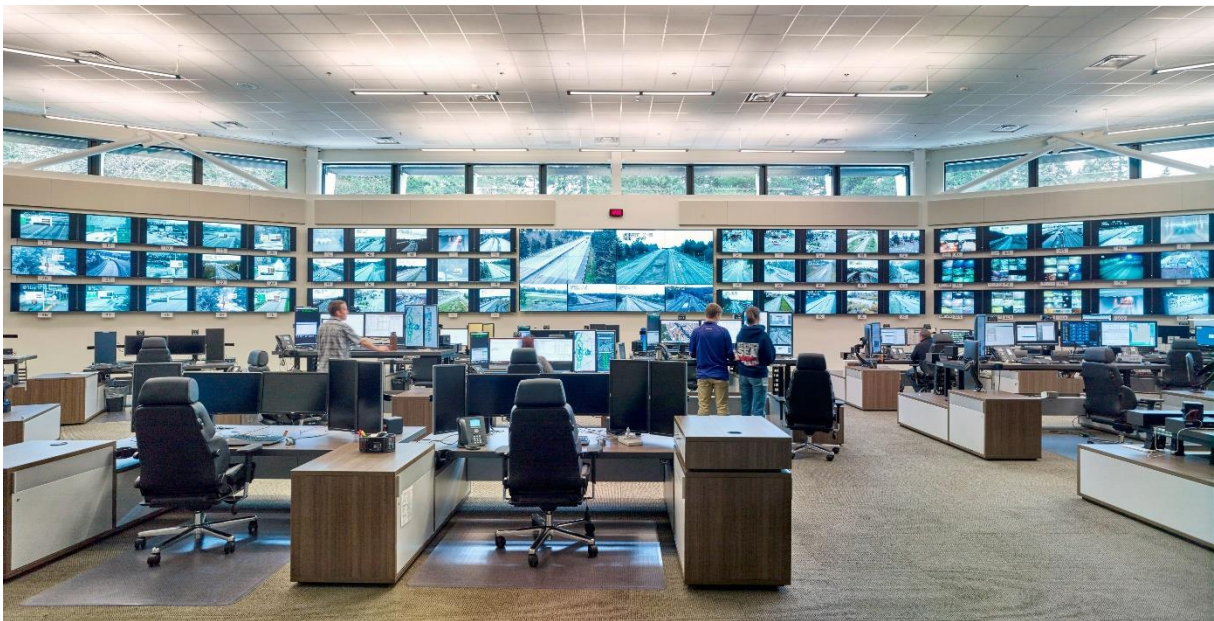
- vozilo – infrastruktura,
- vozilo – vozilo.

Pomoću komunikacije između vozila i infrastrukture se povećava propusna moć prometnog sustava uz održavanje sigurnosti i sprječavanje prometnih nesreća, no može se postići i smanjenje potrošnje goriva i zagađenja okoliša. Takva komunikacija se može koristiti za upozoravanje vozila i vozača na opasne zone. Prvo vozilo koje dođe do opasne zone (poledica, magla, prometna nesreća) prepoznaje opasnost i generira poruku upozorenja koja se prenosi na okolna vozila i infrastrukturu, zatim vozila koja prilaze prosljeđuju poruku sljedećim vozilima dok se ne ukloni opasnost. Poruka upozorenje se sastoji od tri dijela: vrsta upozorenja (magla), preporuka (smanjiti brzinu na 40 km/h), pozicija vozila (GPS koordinate) [17].

3.3. Centri za upravljanje prometom

U centrima za upravljanje prometa (slika 7) se provodi kontrola i upravljanje operacijama inteligentnih transportnih sustava. U centrima se nalazi veći broj agencija povezanih s prometom i žurnim službama. Centri omogućuju komunikaciju i koordinaciju između agencija, predaju informacije medijima i javnosti, vrše koordinaciju s transportnim agencijama, te su kontakt za javnost i organizacije s potrebama za specifičnim prometnim informacijama. Centri daju žurnim službama informacije o prometnim uvjetima, te im pomažu s identifikacijom

hitnog slučaja i odabirom najbolje i najbrže rute. Slike s prometnih kamera, lokacije nesreća, lokacije prometnih zagušenja su neke od informacija koje centri pružaju žurnim službama. Centri omogućuju vozačima informacije o prometnoj mreži, to mogu biti lokacije prometnih nesreća, radova održavanja/rekonstrukcije infrastrukture, zatvaranja dijela mreže zbog nekakvoga događaja, prometnih zagušenja. Vozačima pružaju i informacije o vremenskim uvjetima (najčešće na autocestama) kao što su kiša, magla, udari vjetra, te stanje kolnika npr. poledica, mokar, sklizak kolnik [20].



Slika 7. Centar za upravljanje prometom

Izvor: https://www.usgbc.org/sites/default/files/fpz_20160315_pcl_wsdot_32697378b.jpg

(Preuzeto: 01.08.2023)

4. INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM U URBANIM PODRUČJIMA

Zbog velikog broja ljudi u gradovima dolazi do prometnih zagušenja. Zbog manjka prostora nije moguće povećati kapacitete prometne mreže, pa je to zagušenje potrebno riješiti pametnim upravljanjem prometom.

4.1. Upravljanje semaforiziranim raskrižjima

Najčešći način upravljanja prometom u gradu je pomoću semaforiziranih raskrižja. Zbog velikog broja ulica stvara se i veliki broj raskrižja, te dobrim upravljanjem raskrižjima se može uvelike utjecati na prometni protok i sprječavanje prometnih zagušenja. Zbog velikog prometnog opterećenja fiksni signalni planovi nisu bili dovoljno efikasni pa se prešlo na signalne planove ovisne o prometu, što je bio početak inovativnog upravljanja prometom.

Prometno ovisan način se koristi kada imamo raskrižje na kojem tijekom dana prometno opterećenje varira, te raskrižja na kojima sporedni privozi nemaju konstantni protok. Prometno ovisno upravljanje uključuje sudionike koji putem detektora i pješačkih tipkala upućuju svoje zahtjeve sustavu. Posebni algoritmi upravljana stalno podešavaju trajanje signalnih pojmova sukladno potražnji [3].

Prometno ovisno upravljanje se dijeli na:

- Polu-ovisno,
- Potpuno-ovisno.

Polu-ovisno upravljanje se koristi na raskrižjima s velikim prometnim opterećenjem na glavnom toku, te malim prometnim opterećenjem na sporednom toku. Kako na glavnom (opterećenijem tok) ne bi došlo do zagušenja on ima prednost, zbog toga se vozila na sporednom smjeru moraju zaustaviti i pričekati da semaforski sustav njim dodijeli slobodni prolazak. Zbog takvog načina upravljanja detektori prometa se moraju postavljati samo na

sporednom smjeru. Kada se na sporednom smjeru detektira vozilo sustav zaustavlja vozila na glavnom smjeru i dodjeljuje sporednom smjeru minimalno zeleno vrijeme potrebno za siguran prolazak kroz raskrižje. Ako se za vrijeme zelenog vremena detektira još jedno vozilo sustav produžuje vrijeme zelenog pojma za vrijeme potrebno za vožnju od detektora do ulaska u raskrižje. Sustav produžuje vrijeme za svako vozilo koje dođe za vrijeme zelenog pojma sve dok se ne dođe definiranog maksimalnog zelenog vremena sporednog smjera, tada se pali žuto i zatim crveno svijetlo. Zadnje vozilo na sporednom smjeru može proći kroz raskrižje ili može biti zaustavljeno prije ulaska u raskrižje, kako to vozilo ne bi moralo čekati sljedeće vozilo koje će pokrenuti paljenje zelenog pojma u signalnom sustavu je predviđeno obvezno paljenje minimalnog zelenog svijetla sporednog smjera nakon nekog određenog vremena [12].

Potpuno-ovisno upravljanje se koristi na raskrižjima slične važnosti i sličnog opterećenja, njegov zadatak je brza reakcija, i vremenski prihvatljivo čekanje za prolazak kroz raskrižje. Zbog takvog oblika detektori se postavljaju na svim privozima raskrižja kako bi se što bolje moglo pratiti opterećenje pojedinih privoza. Kada se na nekom smjeru upali zeleno svijetlo taj smjer dobiva minimalno zeleno svijetlo, te produženje zelenog svijetla za svako novo detektirano vozilo, zeleno svijetlo se produžuje dok nema detektiranih novih vozila na tom smjeru ili dok se na drugom smjeru ne detektira vozilo. Ako na smjer koji ima slobodan prolazak dolaze nova vozila, a na drugom smjeru je detektirano vozilo od trenutka detekcije se pokreće definirano maksimalno trajanje zelenog svijetla, nakon isteka drugi smjer dobiva pravo prolaska [12].

4.2. Sustavi i algoritmi za inovativno upravljanje prometom

Prometne informacije u stvarnom vremenu se prikupljaju pomoću kamera, bežičnih senzora ili mreža bežičnih senzora postavljenih uzduž prometnica kontroliranih preciznim kontrolerima, uređaja za radio frekvencijsku identifikaciju (RFID), uređaja za komunikaciju između vozila, između vozila i infrastrukture, te pristupima koji uvode adaptivne algoritme za kontrolu svjetlosne signalizacije, te kontrolu rasporeda faza i njihovog trajanja [32].

Obradom prijenosa s video kamera možemo dobiti važne informacije, neke od njih su predviđena gustoća prometa, te klasifikacija vozila. Neki od algoritma upravljaju prometnim svjetlima ovisno o gustoći vozila u repu čekanja, te imaju zadatak smanjiti prometno

zagušenje, frekvenciju prometnih nesreća, potrošnju goriva, te prosječno čekanje u repu čekanja. Nedostatak takvog sustava je kvar video opreme i drastično smanjenje razine usluge ako nije ugrađena neka razina redundancije [32].

Primjer drugog sustava je pomoću mreže bežičnih senzora, takav sustav je otporniji na kvarove i greške senzora, što dovodi da minimalnog smanjenja razine usluge u slučaju kvara. Uz to takav sustav je jednostavniji za postavljanje i održavanje, te određena razina redundancije senzora mreže minimizira sve djelomične kvarove sustava detekcije. Takvi sustavi su i jednostavniji za implementaciju zbog male količine izmjene podataka u stvarnom vremenu [32].

Treći primjer sustava je pomoću radio frekvencijske identifikacije (RFID), ovaj pristup ne mora znati vrstu vozila koja prolazi jer sva vozila imaju isti prioritet. RFID uređaji također uvode shemu samoorganizirane kontrole prometa koja pomaže u olakšavanju operacije hitnih službi, omogućuje pokrivanje malih područja (funkcija kratkog dometa). Nedostatak je da u slučaju nezanemarivih redova čekanja, zeleni signal ne bi bio adekvatno postavljen u kratkom vremenu [32].

Algoritam ekstremnog stroja za učenje (eng. Extreme Learning Machine) pokazuje izvanrednu izvedbu generalizacije u problemima regresije i klasifikacije u stvarnom svijetu. Algoritam služi kao alternativni model učenja za mreže s jednim skrivenim slojem (eng. Single Hidden Layer Feedforward Networks) sa značajnim prednostima, uključujući brže računanje i smanjenu uključenost ljudi. Tradicionalno, ulazni i ciljani podaci uzorka koriste se za određivanje parametara algoritama strojnog učenja. Uobičajeno se genetski algoritmi ili tehnike optimizacije hiper-parametara koriste za iterativno fino podešavanje ovih parametara. Nasuprot tome pristup algoritama ekstremnog stroja za učenje eliminira potrebu za ručnim ili računalno intenzivnim postavljanje parametara, budući da niti jedan od parametara skrivenih čvorova algoritma ne ovisi o ciljnoj funkciji ili skupu podataka za obuku. Skriveni čvorovi su nasumično odabrani, a početne težine su analitički izračunate za optimizaciju kombinacije signala u skrivenom sloju. Posljedično, nema potrebe za povremeno ručno podešavanje i fino podešavanje parametara. Stoga, parametri skrivenog sloja mogu ostati neovisni o uzorcima

obuke. Algoritam se sastoji od tri sloja: ulaznog sloja, izlaznog sloja i a jednog skrivenog sloja [31].

Algoritmi maksimalnog pritiska (eng. Max pressure algorithms) su postali ključni alat u prometnom inženjerstvu i upravljanju, pružajući podešavanje paljenja signalnih pojmova u stvarnom vremenu, temeljeno na maksimalnom broju vozila prisutnih na privozu. Takvi algoritmi pokušavaju smanjiti kašnjenja i zagušenje tijekom vršnih sati, što bi dovelo do poboljšanja protoka, povećanja sigurnosti i smanjenja emisija ispušnih plinova. Koristi sežu izvan trenutnih prometnih poboljšanja, jer podatci generirani algoritmom maksimalnog pritiska mogu biti korisni za buduća infrastrukturna poboljšanja i optimizaciju transportne mreže. Smanjenjem potrošnje goriva i emisija stakleničkih plinova implementacija algoritma doprinosi održivijem i ekološki prihvatljivijem transportnom sustavu. Važnost daljnjeg istraživanja algoritma leži u njihovoj mogućnosti da maksimiziraju propusnost cijele prometne mreže minimiziranjem pritiska na privozima raskrižja. Pritisak je u ovome slučaju razlika između broja vozila na prilaznim i odlaznim prometnim trakama raskrižja. Efektivnim upravljanjem pritiskom algoritam maksimizira cjelokupnu efikasnost prometne mreže [31].

Algoritmi pasivnog učenja (eng. Passive learning algorithms) pretpostavljaju da podatci za obuku i testni podatci slijede jednaku raspodjelu vjerojatnosti, te da su uzorci u bazi podataka neovisni i jednako raspoređeni. Kod pasivnog učenja koristi se metoda online učenja, gdje se model ažurira za svako novo zaprimljeno zapažanje. To modelu omogućuje brzu prilagodbu kod promjene procesnih uvjeta. Dodatno s obzirom na to da se koriste samo najnovija zapažanja, stariji podatci se zanemaruju što smanjuje potrebnu memoriju. No neki modeli poput neuronskih mreža obučeni pomoću online učenja su podložni katastrofalnom zaboravljanju. Katastrofalno zaboravljanje se pojavljuje kada model pretjerano podešava svoje parametre prema nedavnim zapažanjima, što rezultira smanjenjem performansi za prethodna zapažanja. Katastrofalno zaboravljanje se može izbjeći s metodom periodičkog skupnog učenja (eng. Periodic Batch Learning) koja ažurira model koristeći sve dostupne uzorke. Nedostatak ove metoda je korištenje u stvarnom vremenu zbog velikog seta podataka, što dovodi do povećanja vremena računanja [31].

Modeliranje temeljeno na agentima (eng. Agent-Based Modeling) može se smatrati stilom modeliranja u kojem pojedinci i način na koji oni međusobno djeluju, kao i njihovo okruženje, eksplicitno su predstavljeni u programu ili čak u drugom fizičkom entitetu. Ova vrsta modeliranja povezana je sa stilom objektno orijentiranog programiranja. U objektno orijentiranom programskom jeziku, kao što je Java, podaci i programske metode ili procedure su inkapsulirani u objekte koji mogu upravljati vlastitim podacima, te mogu komunicirati s drugim objektima. Jedna od značajki objektno orijentiranog programskog jezika koja upravlja modeliranjem temeljenim na agentima je nasljeđivanje. Stoga se može primijetiti da modeliranje temeljeno na agentima ima pridružen stil programiranja, koji je prikladan za predstavljanje pojedinaca ili različitih objekata kao agenata u programu [30].

U modeliranju temeljenom na agentima, mora se uzeti u obzir:

- kontrola nad značajkama simulacije kao što je struktura okoline ili početno pozicioniranje agenata;
- načini prikupljanja i analize podataka dobivenih simulacijom;
- mogućnost dobivanja nedovoljnih informacija za donošenje objektivnih zaključaka iz izvođenja jedinog eksperimenta;
- potreba za primjenom optimizacijskih algoritama kako bi se dobila poboljšanja za model sustava [30].

4.3. Sustavi pametnog parkiranja

Informacije o slobodnim parkirnim mjestima su vrlo važne u gradovima jer vozači često kruže ulicama u potrazi za parkirnim mjestom. Vozači nekada ulazi na parkirne površine i u parkirne garaže da bi shvatili da nema praznih parkirnih mjesta, te se vraćaju natrag u promet u daljnju potragu. Informiranje o slobodnim parkirnim mjestima ili rezervacija istoga prije dolaska do parkirnih površina bi uvelike smanjilo potragu vozača za parkirnim mjestima, smanjilo emisije ispušnih plinova, te neki broj vozila maknulo iz prometnog toka.

Sustavi za pametno parkiranje se sastoje od senzora na parkirnim površinama, sustav koji prikuplja, obrađuje i dijeli podatke, te uređaja koji prima podatke poput pametnog mobitela ili promjenjivog znaka ispred parkirne površine [5].

Sustava za pametno parkiranje dijele se na:

- tehnologiju senzora u podlozi (npr. u betonu),
- tehnologija brojanja,
- tehnologiju senzora i kamera iznad vozila [5].

Senzori koji se ugrađuju u podlogu se koriste već desetljećem, te se nisu previše promijenili kroz godine. Uz korištenje radarske tehnologije, senzori se ugrađuju u betonsku podlogu ispod svakog parkirnog mjesta. Kada se vozilo zaustavi na parkirnom mjestu senzor detektira da je mjesto zauzeto, te tu informaciju šalje središnjem sustavu [5].

Tehnologija brojanja se najčešće koristi u parkirnom garažama, ili dobro strukturiranim parkirnim površinama. Takav sustav koristi promjenjive znakove koji prikazuju slobodan broj parkirnih mjesta, te prometne rampe. Rampe zaustavljaju vozila, kada vozač na aparatu kupi parkirnu kartu rampa se podigne i propusti vozilo, te u sustav pošalje informaciju da je u garažu ušlo vozilo, te kada vozilo izađe kroz drugu rampu u sustav pošalje informaciju da je vozilo izašlo [5].

Senzori i kamere iznad vozila se koriste na većim otvorenim parkirnim površinama, te kod uličnog parkiranja. Takvi senzori se postavljaju na rasvjetne stupove i građevine, jedan takav senzor može detektirati više vozila, odnosno više parkirnih mjesta [5].

Vozač informacije o slobodnim parkirnim mjestima može dobiti:

- na ulazu površine za parkiranje
- preko interneta

Informiranje na ulazu u površinu za parkiranje (slika 8) je jednostavniji način, jer se informacije prikupljaju obrađuju i prikazuju na istom mjestu. Informacije o slobodnim mjestima su prikazane pomoću promjenjivog znaka ili neke vrste zaslona.

Informiranje preko interneta je kompliciranije jer se prikupljene informacije moraju učitavati na neki internetski servis preko kojega su dostupne vozačima. No prednost je da broj slobodnih mjesta možemo provjeriti prije nego dođemo do parkirne površine.



Slika 8. Prikaz broja slobodnih parkirnih mjesta ispred ulaza u garažu

Izvor: <https://i.pinimg.com/originals/89/42/68/894268e773343a2fbe99c82205f1e095.jpg>

(Preuzeto: 07.07.2023)

4.4. Davanje prednosti žurnim službama

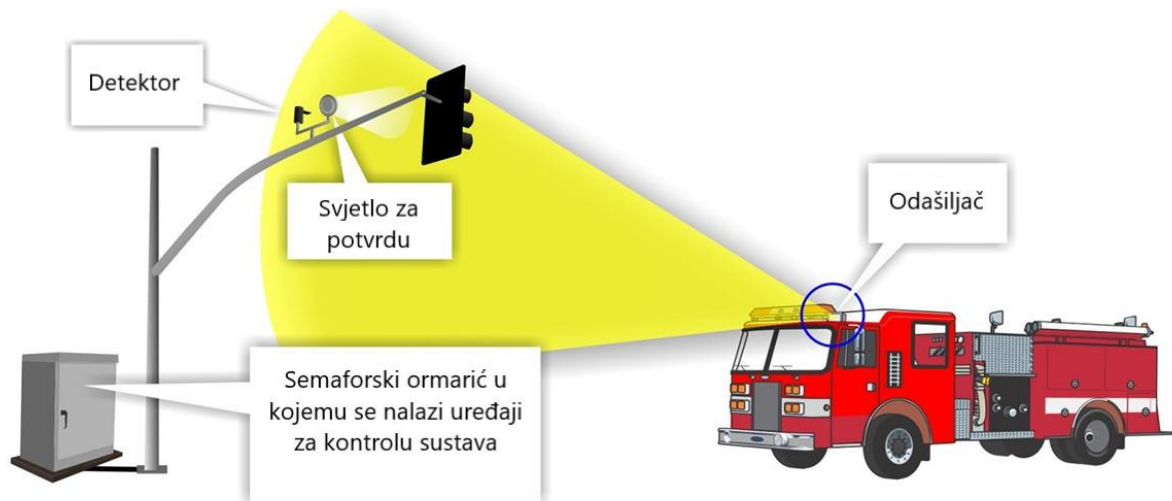
Prometna zagušenja uvelike utječu na vrijeme reakcije žurnih službi, zbog toga je potrebno korištenje sustava koji žurnim službama u prometu daju prednost u odnosu na osobna vozila. Jer kod hitnih slučajeva svaka minuta je od velike važnosti, kod medicinskih slučajeva može doći do dodatnih komplikacija ili čak do smrti ako pacijentu na vrijeme nije pružena pomoć.

Kod požara može doći do širenja požara i dodatne materijalne štete, no u slučaju da je požar u stambenoj građevini može doći i do smrtnih slučajeva. Zbog toga bi bilo važno žurnim službama omogućiti slobodno kretanje prometnom mrežom.

Neke od tehnologija za davanje prednosti su izvedene pomoću kontrole:

- na bazi svjetla,
- na bazi infracrvenog spektra,
- na bazi zvuka,
- na bazi GPS/radio (sustav odašiljač/detektor) [12].

Sustavi na bazi svjetla i infracrvenog spektra (slika 9) se sastoje od odašiljača na vozilu i detektora na semaforskom stupu. Odašiljač je postavljen na krovu vozila, zahtjev za prednost se najavljuje pomoću nadzorne ploče unutar vozila, zahtjev se mora autorizirati pomoću sigurnosnog koda kako ne bi došlo do neautoriziranog korištenja sustava. Odašiljač emitira bljeskove vidljive i infracrvene svjetlosti specifičnom frekvencijom koji mogu biti detektirani na udaljenosti do 800 m. Detektor se nalazi pri vrhu semaforskog stupa, nakon primanja zahtjeva softver semaforskog uređaja ispituje valjanost zahtjeva, ako je zahtjev valjan semaforski uređaj zaustavlja crvenim svjetlom sve privoze osim onoga kojim prolazi vozilo žurne službe, kada vozilo prođe raskrižjem nastavlja se normalna regulacija. Nedostatak je da je domet ograničen, te da bi sustav funkcionirao ništa ne smije nalaziti na zamišljenoj liniji između odašiljača i detektora. Ako u isto vrijeme dolazi do više zahtjeva prednost se daje prema redoslijedu primanja zahtjeva [12].



Slika 9. Primjer rada sustava na bazi emitiranja svjetlosti.

Izvor: https://azmag.gov/portals/0/Images/img_Transportation/truck.jpg

(Preuzeto: 21.07.2023)

Sustavi na bazi zvuka za odašiljač koristi sirenu vozila žurne službe, a detektor predstavlja mikrofon postavljen na semaforском stupu. Ako sirena odgovara zadanim parametrima semaforški sustav daje prednost privozu na kojemu se nalazi vozilo žurne službe [12].

Sustavi na bazi GPS/radio koristi radiovalove kao medij za prijenos zahtjeva za prednost prolaska. Domet detekcije je baziran na udaljenost vozila od raskrižja koja se računa pomoću GPS koordinata vozila. Ako sustav zaprimi više zahtjeva prednost se daje prema predviđenom vremenu dolaska vozila do raskrižja. Sustav u vozilu se sastoji od radija, GPS prijemnika i mikroprocesora, domet radija je do 1 600 metara. Sustav detektora se sastoji od radio detektora na semaforском stupu koji je povezan s kontrolerom semaforского uređaja [12].

4.5. Sustavi za određivanje ruta

Jedan od jednostavnih načina upravljanjem prometom je davanje pravovremenih informacija vozačima tako da ako mogu izbjegnu mjesta prometnih nesreća, prometnih zagušenja, te rasterete neki dio prometne mreže.

Uređaji za navođenje se dijele prema funkciji na tri grupe:

1. izvan mreže; kada su podatci potrebni za navođenje spremljeni unutar uređaja, te nisu dostupni mrežni podatci o stvarnim prometnim uvjetima za izračun optimalne rute;
2. djelomično umreženi; kada su podatci o prometnoj mreži spremljeni na uređaju, a stvarni podatci o uvjetima na prometnici su dostupni preko mreže;
3. umreženi; kada je optimalna ruta proračunata od strane davatelja usluge, te je poslana na vozačev uređaj koji je opremljen aplikacijom koja ju može prikazati i iskoristiti za navođenje [6].

Vozači najčešće koriste tri kategorije biranja rute:

1. statični odabir; takvu metodu koriste vozači koji svakodnevno koriste istu rutu, te vozači koji koriste uređaje za navođenje izvan mreže.
2. dinamični odabir; takvu metodu vozači koriste kada dođu na raskrižje te promjene planirani smjer vožnje kroz raskrižje zbog vidnog zagušenja na nekom od privoza.
3. odabir baziran na prometnim informacijama; takvu metodu koriste vozači koji za navođenje koriste umrežene uređaje ili varijabilne prometne znakove koji prikazuju trenutne informacije o stanju u prometu [6].

Informacije o rutama se prikazuju pomoću:

- promjenjivih prometnih znakova
- uređaja u vozilu

Pomoću promjenjivih prometnih znakova u slučaju prometnog zagušenja vozače je moguće pravovremeno obavijestiti o zagušenju prema kojemu se približavaju, te im predložiti drugu rutu koja obilazi to područje. Primjer je prikazan na slici 10.

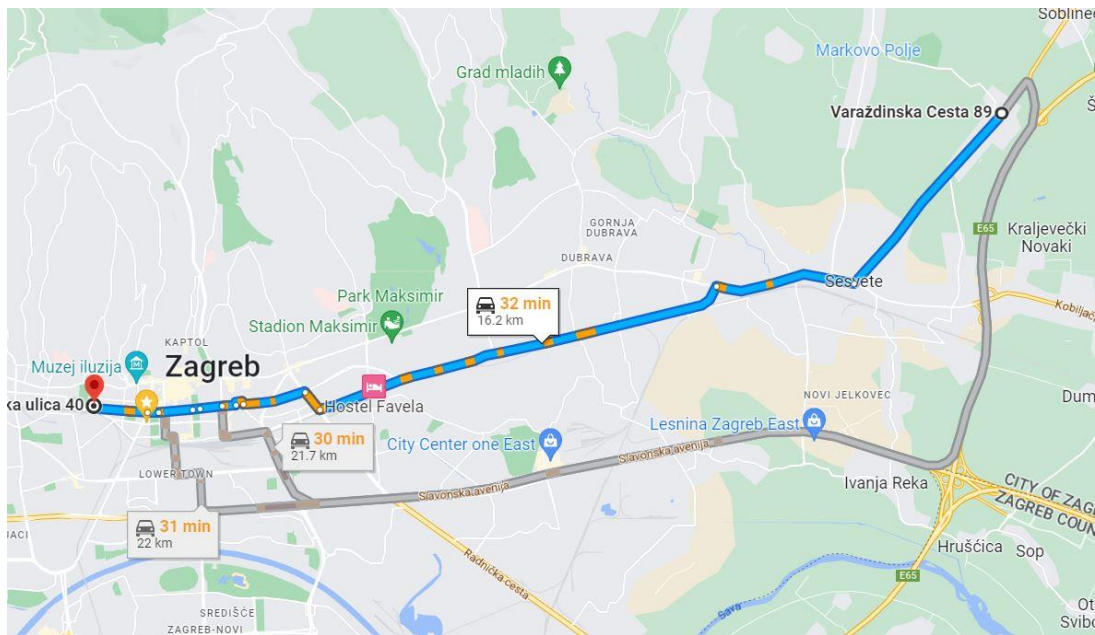
U Današnje vrijeme se rute i vođenje vozača najčešće obavlja preko interneta pomoću pametnih uređaja. Najčešće se koriste GPS sustavi ili razne aplikacije od kojih je najpoznatija Google Maps (slika 11). Ti sustavi rade na principu da stalno dobivaju informacije o opterećenju na prometnicama te prema tim informacijama daju optimalne rute.



Slika 10. Obavijest o promjeni rute pomoću promjenjivog prometnog znaka

Izvor: <https://www.photonplayinc.com/img/featured/Dynamic-Message-Signs.jpg>

(Preuzeto: 08.02.2023)



Slika 11. Određivanje rute pomoću usluge Google Maps.

Izvor:

<https://www.google.com/maps/dir/45.8510416,16.1409003/45.8098977,15.9579438/@45.8184854,16.0058333,12.56z/data=!4m2!4m1!3e0> (Preuzeto: 08.02.2023)

5. INOVATIVNI KONCEPTI UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM NA AUTOCESTAMA

Dobro upravljanje prometom na autocestama/brzim cestama je važno jer su na njima projektne brzine velike, te ako iz nekog razloga dođe do veće promijene brzine može se ugroziti sigurnost prometa te doći do pojave šok valova. Zbog toga je kod upravljanja prometom na autocestama/brzim cestama najvažnije harmonizirati prometni tok i osigurati sigurnost.

5.1. Upravljanje priljevnim tokovima

Upravljanje priljevnim tokovima se koristi kada se zbog velikog broja vozila koja se uključuju u prometni tok autoceste/brze ceste usporava i zagušuje prometni tok. Zbog toga se pomoću semaforских uređaja, znakova (slika 12) i različitih detektora ograničava broj vozila koja se mogu uključiti u glavni tok, kako ne bi došlo do prometnih nesreća, zagušenja ili šok valova.



Slika 12. Prikaz upravljanja priljevnim tokom

Izvor: https://www.gannett-cdn.com/presto/2018/11/21/PWES/25ea8343-9f8c-4ee3-9ba2-b43049685742-jm112018_ExitRamp_05.JPG Preuzeto: 13.02.2023)

Neki od pozitivnih učinaka upravljanja priljevnim tokovima su:

- povećanje propusne moći glavnog toka zbog smanjenja zagušenja,
- povećanje volumena prometa zbog izbjegavanja blokiranih izlaza ili čvorova,
- korištenje mogućih rezervnih kapaciteta na paralelnim arterijama,
- učinkovit odgovor službi na incidente,
- povećanje sigurnosti zbog smanjenja zagušenja i sigurnijeg uključivanja u promet [7].

Upravljanje priljevnim tokovima može biti prema:

- strategiji s fiksnim vremenom,
- reaktivnoj strategiji,
- strategiji nelinearnog optimalnog upravljanja [7].

Strategije s fiksnim vremenom su izvedene izvan mreže u određena doba dan prema povijesnim razinama potražnje, bez korištenja podataka iz stvarnog vremena. Bazirani su na jednostavnim statičkim modelima. Nedostatak fiksnog upravljanja priljevnim tokovima je mogućnost preopterećenja glavnog toka, te pod opterećenje glavnog toka i stvaranje dugih repova čekanja na priljevnom toku [7].

Reaktivna strategija ima za cilj održati uvijete opterećenja glavnog toka prema prethodno određenom iznosu prema podacima iz stvarnog vremena. Može biti lokalno, upravljanje jednim priljevnim tokom, ili multi varijabilno, upravljanje s više priljevnih tokova na dionici autoceste. Ako rep čekanja na priljevnom toku prekorači kapacitet prometnice može doći do zagušenja na prometnoj mreži. Kako se to ne bi dogodilo pomoću detektora se očitava duljina repa čekanja, te se na semaforskom uređaju pali zeleno svjetlo kako bi se priljevna prometnica ispraznila na zadovoljavajuću razinu [7].

Strategiji nelinearnog optimalnog upravljanja u stvarnom vremenu proračunava optimalne vrijednosti i proaktivnog, strateškog pogleda.

Takva strategija mora eksplicitno uzeti u obzir:

- trenutno prometno stanje na autocesti i priljevnoj prometnici,
- predviđanje potražnje za duže vrijeme,
- ograničeni kapacitet priljevne prometnice,

- nelinearnu dinamiku prometnog toka, uključujući ograničeni kapacitet infrastrukture,
- sve trenutne nesreće prisutne na autocesti [7].

5.2. Upravljanje ograničenjem brzine prometnog toka

Upravljanje ograničenjem brzine prometnog toka je važno zbog sigurnosti i zbog harmonizacije prometnog toka. Ograničenja se prikazuju pomoću promjenjivih znakova, što omogućava vođenje u stvarnom vremenu. Neki od razloga za smanjenje brzine su nagla promjena uvjeta na cesti (kiša, snijeg, poledica, magla), dešavanje prometnih nesreća, te ujednačavanje brzine vozila u toku.

Sustav se sastoji od serije promjenjivih prometnih znakova i detektora koji detektiraju prometne uvijete (slika 13). Ograničenja brzine prikazana na promjenjivim prometnim znakovima su bazirana na prometnim uvjetima u blizini znaka, no nekada i uvjetima na određenoj udaljenosti prije i nakon znaka [8].



Slika 13. Prikaz sustava upravljanja ograničenjem brzine

Izvor: Jiang R, Chung E, Jinwoo B. L. Variable Speed Limits: Conceptual Design for Queensland Practice. Australasian Transport Research Forum 2011 Proceedings, 28 - 30 September 2011, Adelaide, Australia.

Dijele se na dva glavna pristupa:

- sustav za detekciju prometnih nesreća,
- sustav za homogenizaciju [8]

Sustav za detekciju prometnih nesreća povećava sigurnosti drastičnim smanjenjem dopuštene brzine u trenutku detekcije prometne nesreće. Razlog smanjenja je sprečavanje nastajanja dodatnih nesreća izazvanih nalijetanjem vozila velikom brzinom na vozila koja stoje u repu čekanja.

Sustav za homogenizaciju sprječava prometna zagušenja i šok valove smanjenjem dopuštene brzine kada je prometni tok blizu kapaciteta kako ne bi došlo do nestabilnosti. Jedan od najčešćih razloga šok valova je promjena prometnih trakova kod velike gustoće prometnog toka, kako se to ne bi dogodilo sustav ujednačava brzine svih prometnih trakova da vozila mogu mijenjati prometne trakove bez prevelikog utjecaja na ostatak prometnog toka.

Za upravljanje ograničenjem brzine se najčešće koriste četiri tipa algoritama:

1. bazirani na pravilima (eng. rule based): koriste se za najjednostavnije sustave upravljanja ograničenjem brzine. Algoritmi koriste zadane pragove za identifikaciju prometnih nesreća i otkrivanje male brzine prometnog toka;
2. bazirani na mutnoj logici (eng. fuzzy-logic based): odluka o ograničenju brzina se donosi na bazi odstupanja izmjerenih uvijete u odnosu na zadane uvijete;
3. analitički: zadatak je analitički izračunati stanje prometa prema stvarnim izmjerenim vrijednostima;
4. bazirani na teoriji kontrole (eng. control-theory based): temeljeni na teoriji upravljanja za pronalaženja optimalne strategije upravljanja ograničenjem brzine temeljene na lokalnim povratnim spregama [8].

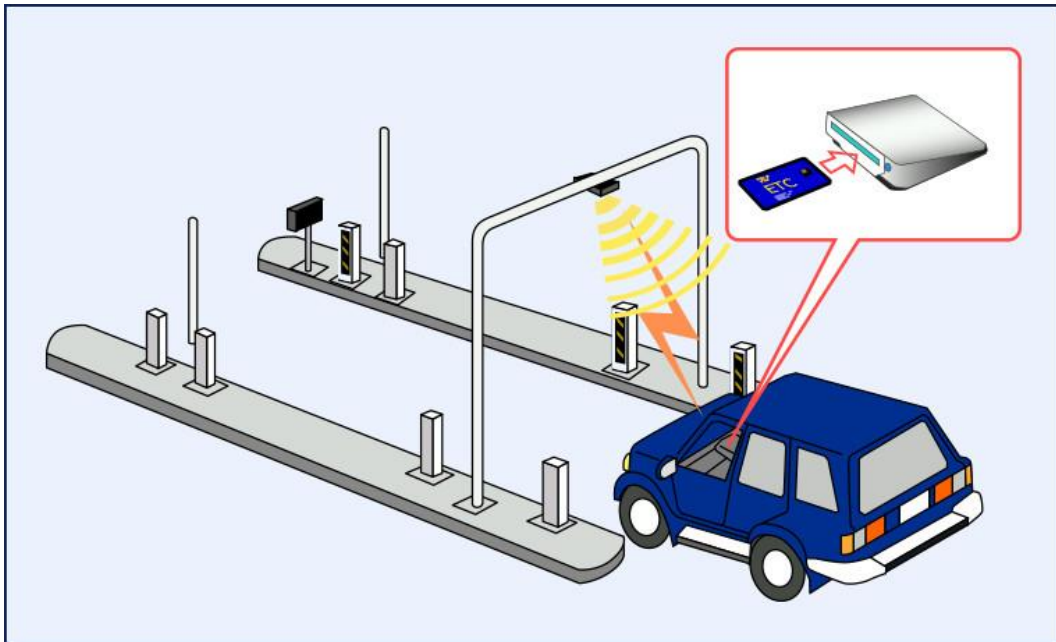
Za upravljanje ograničenjem brzine promjenjivi znakovi su jako važni, jer u slučaju prometne nesreće na nekom nepreglednom dijelu autoceste promjenjivi znakovi mogu biti razlika

između nastanka ili ne nastanka naknadne prometne nesreće, te u nekim slučajevima i života ili smrti. Nisu manje važni niti kod homogenizacije prometnog toka, jer brza reakcija sustava uveliko štedi vrijeme, gorivo i smanjuje ispuštanje štetnih plinova.

5.3. Sustavi elektronske naplate cestarina

Najčešći razlog stvaranja dugih prometnih repova čekanja na autocestama su postaje za naplatu cestarina. Razlog je što se svaki vozač treba zaustaviti i radniku na naplatnoj postaji platiti cestarinu, gotovinom ili karticom. Zbog toga su razvijeni sustavi elektronske naplate cestarine. Elektronska naplata cestarine je obično protočnog tipa, gdje se cestarina naplaćuje s računa povezanog s nekom od usluga elektroničke naplate, ako kroz takvu naplatnu postaju prođe vozilo koje nije u sustavu pomoću kamera se dobiva registarska oznaka vozila, te se vlasniku šalje račun/kazna za naplatu cestarine.

Prednost elektroničke naplate cestarine je da se vozilo ne treba zaustavljati na naplatnoj postaji, nego se cestarina naplaćuje automatski bežično. To se postiže (slika 14) umetanjem posebne kartice u uređaj za naplatu cestarine u vozilu, te tijekom prolaska kroz naplatnu postaju uređaj bežično komunicira s antenom, te prenosi informacije o računu za naplatu cestarine. Kartice izdaju kartičarske kuće, a uređaji se mogu kupiti i programirati kod ovlaštenih distributera [21].



Slika 14. Elektronička naplata cestarine

Izvor: https://www.hanshin-exp.co.jp/english/drive/first-time/img/img_etc_new.jpg

(Preuzeto: 17.07.2023)

Jedan od načina je i automatsko prepoznavanje registarskih pločica. Takvi sustavi su protočnog tipa, brzina je ograničena na tu razinu da ne utječe na protok vozila ali da sustavu omogućuje lakše, brže i točnije prepoznavanje registarskih pločica.

Takav pristup se sastoji od tri koraka:

1. snimanje vozila u pokretu: izvodi se pomoću različitih vrsta video opreme, najvažnije je da je oprema u mogućnosti snimati pri svim razinama osvjetljenja bez zamućivanja snimke;
2. detekcija registarske pločice: u tom dijelu operacije sustav se fokusira na područje vozila na kojemu se nalazi registarska pločica. Detekcija može biti prema zadanom obliku, boji ili nekom drugom obilježju registarske pločice. Kada je pločica detektirana sustav pomoću različitih filtera izoštrava i poboljšava kvalitetu snimke područja pločice;

3. prepoznavanje registarske pločice: prepoznavanje registarske pločice je zadnji korak naplate cestarine. Pomoću neke od metoda prepoznavanja uzoraka prepoznaju se oznake na registarskim pločicama. Nakon što je registarska pločica prepoznata s računom povezanog s registarskom pločicom se automatski naplaćuje cestarina, ili ako vlasnik nema račun u sustavu vlasniku vozila se na adresu stanovanja šalje račun za naplatu cestarine [10]

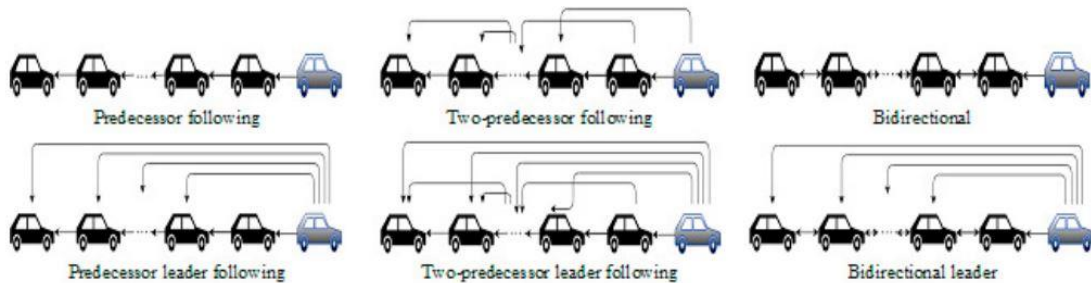
5.4. Virtualni cestovni vlak

Virtualni cestovni vlak (eng. platoon) je skup povezanih vozila koja međusobno izmjenjuju informacije te tako postižu ujednačeno kretanje prometnom mrežom s malim razmacima između vozila. Virtualni cestovni vlak se sastoji od vodećeg vozila koje određuje tempo vožnje i povezanih vozila koja prate njegovo kretanje, kada se vozilo uključuje i isključuje iz vlaka mora poslati zahtjev vodećem vozilu, te ono određuje kada se prateće vozilo može uključiti ili isključiti iz virtualnog cestovnog vlaka.

Najčešći oblici virtualnog cestovnog vlaka (slika 15)su:

- slijeđenje prethodnog vozila (eng. Predecessor following) – svako vozilo komunicira s prethodnim vozilom;
- slijeđenje drugog po redu prethodnog vozila (eng. Two-predecessor following) – vozilo komunicira s prethodnim vozilom i vozilom ispred prethodnog vozila;
- dvosmjerni oblik (eng. Bidirectional) – parovi vozila imaju međusobnu komunikaciju izuzet vodećeg vozila koje ima jednosmjernu komunikaciju prema sljedećem vozilu;
- slijeđenje prethodnog i vodećeg vozila (eng. Predecessor leader following) – vozilo komunicira s prethodnim i vodećim vozilom;
- slijeđenje drugog po redu prethodnog i vodećeg vozila (eng. Two-predecessor leader following) – vozilo komunicira s vodećim, prethodnim i vozilom ispred prethodnog vozila;

- dvosmjerni oblik s vodećim vozilom (eng. Bidirectional leader) – vozila komuniciraju međusobno u paru i jednosmjerno s vodećim vozilom [19].



Slika 15. Najčešći oblici virtualnog cestovnog vlaka, [19]

Procedura uključivanja vozila u virtualni cestovni vlak se sastoji od:

- vozilo šalje vodećem vozilu zahtjev za priključivanje u virtualni cestovni vlak, te željenu poziciju u istom;
- ako se vozilo želi priključiti na kraj virtualnog cestovnog vlaka vodeće vozilo provjerava dali u vlaku ima slobodnog mjesta te dali je neko vozilo u procesu ulaska ili izlaska iz vlaka, ako je sve uredi vodeće vozilo šalje potvrdu za priključivanje;
- ako se vozilo želi priključiti ispred određenog vozila X vodeće vozilo provjerava stanje virtualnog cestovnog vlaka ako sve zadovoljava priključivanje vozila vodeće vozilo šalje naredbu za otvaranje prostora ispred vozila X, te potvrđuje zahtjev za priključivanje;
- kada je priključivanje odobreno vozač vozila se pozicionira u traku usporedno s virtualnim cestovnim vlakom;
- kada je vozilo u zadanoj prometnoj traci uključuje se automatski sustav upravljanja brzinom koji vozilo pozicionira na dogovoreno mjesto usporedno s virtualnim cestovnim vlakom;
- kada je vozilo na zadanom mjestu sustav automatskog upravljanja vozilom uključuje vozilo u virtualni cestovni vlak ispred vozila X;
- kada se vozilo priključi virtualnom cestovnom vlaku vodećem vozilu šalje potvrdu, te vodeće vozilo izjednači razmake između vozila [18].

Procedura za napuštanje virtualnog cestovnog vlaka se sastoji od:

- član virtualnog cestovnog vlaka šalje zahtjev za napuštanje vlaka vodećem vozilu i čeka potvrdu;
- kada mu je napuštanje virtualnog cestovnog vlaka odobreno vozilo povećava razmak s vozilom ispred;
- kada je postignut dovoljan razmak između vozila, vozilo napušta virtualni cestovni vlak i prebacuje kontrolu brzine i upravljanja na ručno upravljanje;
- na kraju vozilo šalje potvrdu vodećem vozilu da je napustilo virtualni cestovni vlak [18].

Procedura bi se smjela prekršiti jedino u hitnim slučajevima.

Utjecaj vožnje u virtualnom cestovnom vlaku na sigurnost i ponašanja ljudi

Najveći utjecaj na sigurnost prometa kod vožnje u virtualnom cestovnom vlaku imaju vozači koji nisu dio sustava. Jedan od razloga je pokušaj kopiranja tempa virtualnog cestovnog vlaka i razmaka između vozila ne razmišljajući o svojoj brzini reakcija, jer autonomna vozila komuniciraju i mogu brzo reagirati a čovjek ne može reagirati istom brzinom te dolazi do nalijetanja na stražnje vozilo u virtualnom cestovnom vlaku. Novija vozila koja imaju sustave za automatsko kočenje i automatsko zadržavanje pozicije u prometnoj traci imaju veće šanse no statistika kaže da vozači takvih vozila voze agresivnije, tako da ni to nije uvijek garancija za izbjegavanje prometne nesreće. Razlog je i ometanje virtualnog cestovnog vlaka od strane ostalih vozila, to može biti neproračunato prestrojavanje ispred vodećeg vozila, pokušaj „ubacivanja“ u sredinu virtualnog cestovnog vlaka, nepotrebno kočenje ispred vodećeg vozila, itd. Utjecaj na sigurnost proizlazi i iz samoga virtualnog cestovnog vlaka, jer sva povezana vozila imaju neku granicu autonomije pri kojoj vožnju prepuštaju vozačima, tako da vozači ipak moraju biti spremni reagirati, problem proizlazi ako vozači nisu u tom trenutku spremni preuzeti kontrolu, a potrebno je učiniti neki sigurnosni manevar. Zbog različitih vremena reakcije i sposobnosti zaustavljanja virtualni cestovni vlakovi bi trebali biti što više homogeni, odnosno biti sastavljeni od vozila iste kategorije. Zbog toga svega najbolje bi bilo uvođenje posebnih taksa za virtualne cestovne vlakove, tako da ostala vozila dodatno ne ugrožavaju sigurnost vlaka vozila. Nedostatak je to što bi se time smanjio broj prometnih traka za ostala vozila i povećalo prometno zagušenje, što se pokušalo izbjeći virtualnim cestovnim vlakom.

Ova vrsta povećanja sigurnosti i smanjenja prometnih zagušenja kao i većina autonomnih rješenja i dalje ovisi o sposobnosti vozača koji nisu dio sustava [19].

Utjecaj vožnje u virtualnom cestovnom vlaku na okoliš

Većina autora se slaže da vožnja u virtualnom cestovnom vlaku pozitivno utječe na okoliš, jedna od velikih prednosti je smanje trenje zraka za prateća vozila. Na trenje zraka se troši od 50% do 70% potrebne energije za kretanje pri brzinama na autocesti, zbog toga njegovo smanjenje utječe na smanjenje potrošnje energije i manje emisije ispušnih plinova. Istraživanje u zračnim tunelima i numeričkim simulacijama je pokazalo uštede energije od prosječno oko 20-25% ovisno o duljini virtualnog cestovnog vlaka i razmaku između vozila. Najveća ušteda se postiže u virtualnom cestovnom vlaku teretnih vozila jer takva vozila imaju lošu aerodinamičnu konstrukciju, istraživanja su pokazala da su uštede energije za prateća vozila skoro dvostruko veća nego uštede vodećih vozila. Zbog toga se predlaže izmjena vodećih vozila tijekom vožnje kako bi sva vozila u virtualnom cestovnom vlaku približno imala koristi. Istraživanja smatraju da bi visoko autonomna električna vozila mogla donijeti još veće uštede u energiji zbog visoke efikasnosti pogonskog sklopa [19].

6. EVALUACIJA UČINKOVITOSTI I UTJECAJA INOVATIVNIH TEHNOLOGIJA UPRAVLJANJA CESTOVNIM PROMETOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Hrvatska je zbog slabije razvijenosti kroz povijest u odnosu na zemlje zapadne Europe kasnije došla na razinu prometnog opterećenja kod kojega je potrebno pametno voditi promet. U jednostavnijim sustavima pratimo Europu, no zbog stanja u zemlji kasnimo za razvijenijim zapadnim zemljama.

6.1. Središnji centar za nadzor i upravljanje prometom

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture imenovalo je Hrvatske ceste d.o.o. nositeljem uspostave Nacionalne pristupne točke za provedbu Direktive 2010/40/EU.

U sklopu projekata Crocodile II Croatia i Crocodile III Croatia koji je sufinancirala Europska unija modernizirani su Regionalni centri za nadzor i upravljanje prometom (RCNUP) u Dugopolju, Sv. Iliji i Dubrovniku te je uspostavljen Središnji centar za nadzor i upravljanje prometom (SCNUP-DC)(slika 16) kao i Nacionalna pristupna točka (NPT) u Karlovcu [15].



Slika 16. Središnji centar za nadzor i upravljanje prometom u Karlovcu

izvor: <https://crocodile2croatia.eu/news/nacionalna-pristupna-tocka>

(Preuzeto: 24.04.2023)

Uspostavom SCNUP-DC omogućena je integracija svih telematičkih sustava u vlasništvu Hrvatskih cesta d.o.o. i tako je olakšan nadzor i upravljanje prometom na mreži državnih cesta:

- Sustav brojenja prometa (ABP),
- Meteorološko-informacijski sustav (MIS),
- Sustav za podršku upravljanju prometom u uvjetima olujnog vjetra (ANEMO-ALARM),
- Sustav za praćenje zimskog održavanja i ophodarske službe na državnim cestama te radiokomunikaciju (AVL),
- Sustav nadzora osovinskog opterećenja (WIM),
- Sustav za obavješćivanje o stanju i prohodnosti cesta (OSP),
- Semaforski sustav,
- Sustav video nadzora koji je u fazi izrade projektne dokumentacije [15].

Brojenjem prometa obuhvaćena je mreža državnih te značajan dio županijskih i lokalnih cesta, a dodatno se prikupljaju, obrađuju i prikazuju prometni podaci s autocesta, drugih cesta i objekata s naplatom uporabe te državnih trajektnih linija odnosno s preko 950 brojačkih mjesta. Svim korisnicima na raspolaganju je posebna publikacija koja se izdaje svake godine kao i detaljni podaci o prometnim značajkama pojedinih cestovnih pravaca, a koje zahtijevaju specifične studije i projekti. Na temelju provedenog brojenja prometa, Hrvatske ceste d.o.o. osobito za potrebe međunarodnih institucija, priređuju i druga izvješća o prometu na hrvatskih cestama [29].

Sustav brojenja prometa sastoji se od:

- podsustava neprekidnog brojenja prometa automatskim brojilima prometa na državnim, županijskim i lokalnim cestama,
- podsustava povremenog brojenja prometa prijenosnim brojilima prometa na državnim, županijskim i lokalnim cestama,
- podsustava brojenja prometa s autocesta, drugih cesta i objekata s naplatom - komunikacijskog modula za daljinski pristup i prikupljanje podataka [29].

Hrvatske autoceste d.o.o. su kroz projekt "Uspostava središnjeg centra za nadzor i vođenje prometa na mreži državnih autocesta i uvođenje ITS DIREKTIVE i DATEX II standarda u objekte za izvještavanje, nadzor i upravljanje prometom na državnim autocestama" uspješno realizirale ugovornu fazu implementacije tehničkog rješenja za ukupno dvanaest regionalnih centara, uz uspostavu potpuno novog centra koji predstavlja središnju razinu upravljanja i harmonizacije prometa kroz Središnji centar za nadzor i vođenje prometa na autocestama [34].

Kroz realizaciju gore navedenog projekta, implementirana su različita tehnička rješenja koja su uspostavljena kroz novi prometno informacijski sustav kao nadogradnja postojećih funkcionalnosti ili kao potpuno nove funkcionalne komponente sustava. S tim u vezi, sustav krajnjem korisniku pruža upravljanje prometom kroz jedinstveno grafičko sučelje, a neke od osnovnih odlika su:

- distribucija sustava,
- uvođenje Datex II standarda i DATEX II protokola za razmjenu prometnih podataka,
- računalno potpomognuto odlučivanje upravljanja prometnim strategijama sa središnje razine,
- nadzor rada mrežne i računalne opreme prometnih podsustava,
- sustav kratkoročne vremenske prognoze,
- te niz drugih modula sustava koji su nužni za svakodnevni rad osoblja krajnjeg korisnika na lokacijama Naručitelja [34].

S obzirom na to da su Hrvatske autoceste d.o.o. paralelno s gore navedenim projektom provele i neovisne projekte modernizacije video sustava i sustava detekcije incidenata, te je izvršena ugradnja novih video zidova s pripadajućim kontrolerima u svim centrima, naknadno je izvršena potpuna integracija svih elemenata navedenih podsustava u novi prometno informacijski sustav [34].

Kroz implementaciju projekta uspostavljena je reorganizacija postojećih regionalnih centara za nadzor i upravljanje prometom tako da su formirani centri koji nadziru samo otvorene dionice autoceste (RCNUP_AC – Regionalni centar za nadzor i upravljanje prometom na autocesti) Split, Maslenica, Perušić, Bosiljevo, Ivanja Reka i Đakovo, te centri koji nadziru upravljanje prometom kroz tunele (RCNUP_T – Regionalni centar za nadzor i upravljanje prometom u tunelima) Zagvozd, Sveti Rok, Mala Kapela, Brinje, Delnice i Čavle. Projektom je objedinjena potpuna integracija blizu 22 tisuće nadziranih elemenata uz ukupnu duljinu nadzirane mreže autoceste od 1.112,4 km [34].

6.2. Nacionalna pristupana točka Republike Hrvatske

Uspostavom Nacionalne pristupne točke Hrvatske ceste d.o.o. sudjeluju u najvećoj europskoj suradnji platformi za prijenos podataka o mobilnosti. Do sada je uspostavljeno više od 30 Nacionalnih pristupnih točaka u gotovo svim državama članicama EU i šire.

NAPCORE je pokrenut kao koordinacijski mehanizam koji će unaprijediti interoperabilnost europskih Nacionalnih pristupnih točaka kao okosnice europske razmjene podataka [15].

NACIONALNA PRISTUPNA TOČKA

Nacionalna pristupna točka - digitalni registar podataka koji pruža usluge dostupne kroz Inteligentne transportne sustave (ITS), informacije potrebne za kontrolu i upravljanje prometom putem digitalnih baza podataka te objedinjuje i omogućuje razmjenu i ponovnu uporabu informacija u stvarnom vremenu o prometnim uvjetima prije i tijekom putovanja i to:

- prometne informacije vezane za cestovnu sigurnost,
- statični cestovni podaci,
- dinamični podaci o stanju na cestama,
- prometni podaci - cestovni promet [15].

Registrirani korisnici mogu jednostavno pristupiti i ponovno upotrijebiti pouzdane i verificirane podatke putem portala: www.promet-info.hr.

Internetska stranica nudi usluge:

- DATEX II,
- CROCODILE,
- Sigurna parkirališna mjesta za kamione,
- Lokacijska tablica,
- RDS-TMC,
- Poruke vezane za cestovnu sigurnost,
- Referenciranje lokacije,
- Multimodalne informacije u prometu,
- NeTEx [16].

DATEX II je elektronički jezik koji se u Europi koristi za razmjenu prometnih informacija i podataka. Prometne i informacije za upravljanje prometom se na način koji nije ovisan o jeziku i formatu prikazivanja. Zbog toga nema mjesta za nesporazume i/ili pogreške tijekom prevođenja od strane primatelja, no primatelj može odabrati da se uključi izgovoreni tekst,

sliku na karti ili integrirati to u navigacijski izračun. DATEX II je standard preko kojega sektor prometnih i putnih informacija dijeli sveobuhvatne informacije s krajnjim korisnikom. Dizajniran je i razvijen kao mehanizam za izmjenu prometnih i putnih podataka, kako bi se standardiziralo sučelje između prometne kontrole i informacijskih centara. Koordinacija i harmonizacija prometnih podataka i mjera upravljanja prometom između raznih cestovnih operatera je esencijalni dio maksimiziranja kapaciteta prometne mreže kako bi se smanjili efekti prometnih zagušenja i povećala sigurnost prometnog sustava [22].

Glavni tipovi usluga koje nudi DATEX II su:

- prijenos informacija za upravljanje prometom od operatera do operatera,
- prometne informacije velike gustoće u stvarnom vremenu, te rutiranje bazirano na mjerama poduzetim od strane cestovnih operatera,
- pružanje prometnih informacija novinarskog tipa, kako bi ih ljudi što lakše shvatili,
- dinamičko određivanje ruta bazirano na prometnim uvjetima i mjerama upravljanja prometom,
- zajedničko upravljanje mrežom od strane više cestovnih operatera,
- zajedničko upravljanje mrežom od strane cestovnih operatera i pružatelja usluga,
- prikupljanje informacija za upravljanje prometom
- kooperativni inteligentni transportni sustavi [22].

Projektom CROCODILE se javna tijela, upravitelji javnih cesta i pružatelji usluga prometnih informacija unutar 13 europskih država članica obvezuju uspostaviti i upravljati infrastrukturom za razmjenu podataka korištenjem DATEX II standarda. Predmetna infrastruktura će se koristiti za razmjenu podataka i informacija između svih dionika, uključujući privatne subjekte, s ciljem pružanja usklađenih prekograničnih putnih informacija na čitavom koridoru. Poseban naglasak u CROCODILE projektu bit će na informacijama koje se odnose na sigurnost prometa na cestama i uslugama informiranja o sigurnim i zaštićenim parkirališnim mjestima za teretna vozila. U aktivnosti projekta uključeno je nekoliko aktera, od kojih se većina izravno odnosi na cestovni prijevoz i uporabu prometne telematike. Popis uključuje upravitelje autocesta, ministarstva, tijela javne vlasti i dionike privatnog sektora [23].

Sigurna i zaštićena parkirališna mjesta za kamione i gospodarska vozila.

Vozači kamiona u Europi često se suočavaju s nedovoljnim brojem parkirališnih mjesta te stoga parkiraju na nezaštićenim ili rizičnim mjestima, izlažući se potencijalnim krađama te i ugrožavajući svoju i sigurnost ostalih sudionika u prometu. Europska komisija je stoga odlučna poboljšati predmetnu situaciju pa se u tom smislu teži sljedećim aktivnostima:

- Potrebno je povećati ukupni kapacitet parkirališnih mjesta za kamione i gospodarska vozila: Revidirane smjernice TEN-T za 2013. godinu predviđaju razvoj ključne infrastrukture tako da se osiguraju lokacije za odmor na autocestama otprilike svakih 100 km, na kojima bi se osigurao odgovarajući prostor za parkiranje kamiona i gospodarskih vozila te osigurala odgovarajuća razina sigurnosti i zaštite korisnika;
- Postojeće kapacitete potrebno je optimizirati digitalnim informacijama, primjerice o lokaciji, opremi i objektima postojećih parkirališta: Komisija je 15. svibnja 2013. godine usvojila specifikacije (delegirana Uredba (EU) br. 885/2013) kako bi se olakšala razmjena podataka i pružanje dostupnih informacija diljem EU-a pružajući ažurirani popis sigurnih parkirališnih mjesta uz glavne europske prometne koridore kako bi se omogućilo pružanje usluga o istima [24].

Lokacijska tablica

Za potrebe upozorenja lokacije AlertC javno je dostupna TMC tablica lokacija koja se koristi kao standardna tablica lokacija na području Republike Hrvatske [25].

RDS-TMC

U svrhu objavljivanja podataka o prometu u navigacijskim uređajima postavljen je javni RDS-TMC servis. Na internetskoj stranici je objavljen popis svih odašiljača i FM-FM frekvencija na kojima će usluga biti dostupna. Pružatelj usluge je HRT [26].

Poruke vezane za cestovnu sigurnost

Događaji ili uvjeti koje treba obuhvatiti minimalna univerzalna usluga prometnih informacija u vezi sa sigurnošću na cestama sastoje se od najmanje jedne od sljedećih kategorija (prema stavku 3. Uredbe EU):

- sklizak kolnik,
- životinje/ljudi/prepreke/krhotine na prometnici,
- neosigurano područje nesreće,
- kratkotrajni radovi na prometnici,
- smanjena preglednost,
- vozač u krivom smjeru,
- neregulirana zapreka na prometnici,
- izvanredni vremenski uvjeti [33].

AlertC s TMC tablicom lokacije standard je za kodiranje lokacija prometnih događaja koje definira i standardizira TISA. U osnovi je to pojednostavljeni model koji omogućava upućivanje na lokaciju cestovne mreže izgrađene od točki i njihovo povezivanje. Svaka točka i linija ima vlastiti kôd lokacije, koji vam omogućuje učinkovito dekodiranje i vizualizaciju sadržaja na karti [27].

Multimodalne informacije u prometu omogućuju putnicima planiranje putovanja od točke A do točke B uspoređujući različite mogućnosti putovanja različitim vrstama prijevoza. Multimodalne informacije u prometu mogu uključivati kombinaciju dva ili više načina prijevoza koje korisnik/putnik može koristiti: cestovni, zračni, željeznički, prijevoz vodenim putem, vožnja biciklom i hodanje. Takve usluge korisniku omogućuju dobivanje personaliziranih rezultata usmjeravanja prema specifičnim kriterijima ili potrebama putovanja, kao što su: najbrža ruta, najjeftinija ruta, najmanji broj veza, ekološki najprihvatljivija ruta, najpristupačnija ruta za osobe sa smanjenom pokretljivošću ili jednostavno usmjeravanje rezultata na temelju načina prijevoza koji žele koristiti (primjerice bicikl ili javni prijevoz) [28].

NeTEx je tehnički standard CEN-a (eng. European Committee for Standardization) za razmjenu informacija javnog prijevoza i povezanih podataka. Podijeljen je u tri dijela, od kojih svaki pokriva funkcionalni podskup CEN Transmodela za informacije o javnom prijevozu. NeTEx je zamišljen kao XML format opće namjene dizajniran za učinkovitu, ažuriranu razmjenu složenih transportnih podataka među distribuiranim sustavima. To omogućuje upotrebu podataka u modernim arhitekturama web usluga i podršku širokom rasponu informacija putnicima i operativnim aplikacijama. Iako postoji niz postojećih standarda dostupnih za vozne redove, NeTEx je prvi sustavno dizajniran standard koji također pokriva i format razmjene cijena karata u javnom prijevozu. NeTEx shema je besplatna za upotrebu pod GPL licencom, a njezinim razvojem se upravlja putem CEN standardizacije.

6.3. Automatsko upravljanje prometom u gradu Rijeci

Grad Rijeka je u svoj prometnu mrežu implementirala sustav automatskog upravljanja prometom. Cjelokupno područje grada Rijeke podijeljeno je u pet prometnih zona u kojima je u funkciji 80 semaforiziranih raskrižja. U sustav automatskog upravljanja prometom uključeno s 44 raskrižja na širem području Grada koja su opremljena pametnim semaforskim uređajima povezanim s Gradskim prometnim centrom [11].

Sustav upravljanja sastoji se od glavnog prometnog računala u Gradskom prometnom centru te lokalnih upravljačkih uređaja na raskrižjima. Glavno prometno računalo spojeno je komunikacijskom opremom s mrežom raskrižja, a svako raskrižje opremljeno je detektorima (induktivnim petljama) ugrađenim u kolnik, koji stalno broje protok vozila na svakom privozu raskrižja. Podaci o broju vozila na svim raskrižjima putem lokalnih upravljačkih uređaja stalno priteču u prometni centar, gdje računalo u 15-minutnim razmacima analizira prispjele podatke, odabire optimalan signalni plan rada semafora te šalje odgovarajuću naredbu lokalnim uređajima. Prometno računalo osigurava i međusobnu koordinaciju svih raskrižja. U slučaju prekida veze s prometnim centrom, lokalni upravljački uređaji nastavljaju samostalan rad, a koordinaciju preuzima jedan od uređaja na terenu. Svaki kvar na semaforskim uređajima, lanternama i mreži automatski se dojavljuje prometnom centru, a automatska GSM poruka šalje se ekipi servisera koji održavaju sustav. Kao dopuna sustavu nadzora,

osmišljen je i izgrađen poseban video sustav s kamerama postavljenim na 14 ključnih lokacija, što omogućava izravan nadzor operatera u prometnom centru nad odvijanjem prometa [11].

Puštanjem u rad sustava AUP omogućeno je sljedeće:

- maksimalno iskorištenje postojeće prometne mreže u središtu grada Rijeke,
- bolja protočnost glavnih uzdužnih smjerova – prometnih koridora,
- izravni 24-satni nadzor nad odvijanjem prometa u središtu grada,
- automatsko daljinsko upravljanje semaforskim sustavom,
- centralno preprogramiranje semafora ili pojedinih prometnih zona,
- trenutna dijagnostika kvarova i brži popravak kvarova,
- automatsko prikupljanje podataka o prometnim opterećenjima,
- uštede u potrošnji električne energije od oko 51 % u odnosu na stare semaforске uređaje [11].

6.4. Elektronička naplata cestarine

Hrvatske Autoceste između ostalog za naplatu koriste sustav Elektroničke naplate cestarine (tzv. ENC), to je beskontaktni način plaćanja cestarine bez posredovanja blagajnika. Sustav se sastoji od ENC uređaja smještenog na vjetrobranskom staklu vozila i antene smještene na naplatnoj stazi, cestarina naplaćuje bez zaustavljanja vozila. ENC sustav radi na bazi računa koji se nadoplaćuje bonom, preko SMS poruke, na naplatnim postajama, preko Internet bankarstva, te preko ENC mobilne aplikacije [9].

6.5. Informacije o vremenskim uvjetima

Hrvatske ceste su postavile serije stanica za nadzor vremenskih uvjeta na arterijskim prometnicama i regijama sa izazovnim zimskim uvjetima. Podatci o vremenskim uvjetima prikupljeni na stanicama se koriste za izradu rasporeda i optimizaciju radova zimskih službi, kako bi se povećala sigurnost prometa. Vremenski podatci se automatski prikupljaju u centru Hrvatskih cesta, te se distribuiraju u sjedišta i regionalne centre zimskih službi. Sustav

omogućuje pravovremeno čišćenje prometnica od snijega, pokretanje akcija za otapanje leda sa prometnice, te obavještavanje vozača o uvjetima na prometnicama. Primarna uloga sustava je pripomoći u zimskom održavanju prometnica. To podrazumijeva korištenje senzora u kolniku, na glavnim i okolnim vremenskim postajama, prikupljanje podataka o okolnim vremenskim uvjetima na prometnici, te izradu točne i adekvatne prognoze [13].

7. ZAKLJUČAK

Tijekom godina broj vozila na prometnoj mreži je u stalno rastao, što je dovelo do prometnih zagušenja, i smanjenja sigurnosti prometa. U početku upravljanja prometom to se rješavalo prometnim znakovima, jednostavnom svjetlosnom signalizacijom i građevinskim proširivanjem prometnica. Povećanjem urbanizacije stanovništva došlo je do problema da u urbanim područjima nije bilo više moguće problem sigurnosti i zagušenja riješiti jednostavnim mjerama i građevinskim pothvatima. Zbog toga se krenulo s inteligentnim upravljanjem prometom, koje se sastoji od svjetlosne signalizacije ovisne o prometnom opterećenju pa sve do komunikacije između vozila i infrastrukture.

Tradicionalno upravljanje prometom je koristilo prometna pravila i prometne znakove za upravljanje prometom i za osiguranje sigurnosti prometa. Prometni znakovi se dijele na: Znakove opasnosti, znakove izričitih naredbi, znakove obavijesti, znakove obavijesti za vođenje prometa, dopunske ploče i promjenjive prometne znakove. Povećanjem prometnog opterećenja i razvojem upravljanja prometom počinje se koristiti prometna signalizacija s fiksnim signalnim planovima koji su dobiveni proučavanjem prometnog opterećenja, kasnije zbor dnevne promjene opterećenja na istom raskrižju se koristi više fiksnih signalnih planova koji se koriste ovisno o dijelu dana (npr. jutarnje opterećenje, vršni sat, noću). Jedan od načina je i obavještavanje prometa preko radija, te u novije doba preko interneta pomoću osobnog računala ili pametnog telefona.

Za inovativno upravljanje prometnim sustavom vrlo su važni inteligentni transportni sustavi, oni se sastoje opreme na prometnoj mreži (detektori, senzori, kamere, promjenjivi prometni znakovi itd.) i centra za upravljanje prometnim sustavom koji te informacije procesuiraju, dijeli i koristi za poboljšanje prometnog sustava. Centri za upravljanje prometom imaju važnu ulogu jer oni pravovremeno obavještavaju sudionike u prometu o prometnim i vremenskim uvjetima, obavještavaju žurne službe o lokacijama prometnih nesreća, te predlažu najbrže rute za prolazak službi, te mogu policiji prosljediti snimke prometnih kamera za kažnjavanje vozača koji krše zakon.

Što se tiče inovativnog upravljanja prometom u urbanim sredinama, početak je predstavila svjetlosna signalizacija ovisna o prometu. Takva signalizacija se dijeli na polu-ovisnu o prometu

i potpuno ovisnu o prometu. Razlika je da kod polu-ovisne imamo prethodno određenje parametre u kojima se mijenja signalni plan ovisno kakvo je opterećenje na sporednom privozu. Dok kod potpuno ovisne imamo određene parametre samo za maksimalno vrijeme koje neki privoz ima slobodan prolaz, te je ovisno o opterećenju na glavnom i sporednom privozu. Jedno od inovativnih rješenja je i sustavi pametnog parkiranje, odnosno pametnih parkirnih površina. Oni pomažu jer vozači mogu saznati gdje je najbliža parkirna površina sa slobodnim parkirnim mjestom u blizini njihovog cilja putovanja, što smanjuje broj vozila koja se besciljno kreću prometnom mrežom u potrazi za parkirnim mjestom. Informacije o parkirnim mjestima se mogu dobiti preko aplikacije ili ispred parkirne garaže, te se u nekim slučajevima preko aplikacije može i rezervirati mjesto. Veliku važnosti imaju i sustavi za davanje prednosti žurnim službama, jer omogućuju brzu intervenciju žurnih službi. Brze intervencije kod požara smanjuju materijalnu štetu, sprječavaju širenje požara, te spašavaju ljudske živote. Kod medicinskih intervencija u velikom broju slučajeva minute (a nekada i manje) znače razliku između života i smrti, a posebno u slučaju težih prometnih nesreća. Ne manje važan je i sustav određivanja ruta koji vrlo jednostavno upravlja prometom, kada je neki dio prometne mreže pred zagušenje vozačima se preko različitih uređaja (GPS, mobilni uređaju, promjenjivih znakova) predlaže alternativna ruta koja zaobilazi zagušenje.

Na autocestama brzim cestama se koriste sustavi upravljanja priljevnim tokovima, oni smanjuju zagušenje prometne mreže tako da se ograničava broj vozila koja se u nekom vremenu priključuju glavnom toku. Time se smanjuju nestabilnosti prometnog toka, te šok valovi koji uvelike utječu na protok vozila. Takav sustav se sastoji od detektor na glavnom prometnom toku koji mjere protok i gustoću prometa, detektora na priljevnom toku koji određuju dali se propušteno vozilo uključilo u glavni tok, te duljinu repa čekanja na priljevnom toku, i semaforski uređaj koji propušta jedno po jedno vozilo ili više u slučaju velikog repa čekanja na priljevnoj prometnoj traci. Upravljanje se postiže i s promjenom dopuštenog ograničenja brzine prometa, tako se održava sigurnost prometnog toka, te homogenost prometa. Sustav se sastoji od detektora prometa na prometnici, detektora vremenskih uvijete uz prometnicu, promjenjivih znakova, te u nekim slučajevima i kamera. Ograničenje brzine se smanjuje u slučaju prometnih nesreća i loših vremenskih uvijete kako vozači ne bi neprimjerenom brzinom naišli na opasno mjesto, te u slučaju velikog prometnog opterećenja za izjednačavanje brzine vozila u svim prometnim trakovima. U većini slučajeva kada se na

autocestama stvaraju dugi repovi čekanja to je zbog naplate cestarine na naplatnim postajama. Kako bi se to riješilo uvela se elektronska naplata cestarine, najčešće se koriste sustavi naplate pomoću uređaja za plaćanje cestarine koji se nalazi na vjetrobranskom staklu i antene na naplatnoj postaji, te preko snimanja registarskih pločica vozila. Oba sustava rade na bazi računa koji je povezan s uređajem ili registarskom pločicom vozila s kojega se naplaćuje cestarina, ako vozilo nije u sustavu a prođe kroz naplatnu postaju vlasniku vozila se šalje račun za kaznu/cestarinu. Noviji koncept upravljanja je virtualni cestovni vlak koji se sastoji od vodećeg i pratećih vozila koja su međusobno povezana, te čine skupinu vozila. Kada bi sva vozila bila povezana ne bi dolazilo do šok valova, no to se ne očekuje u skorije vrijeme zbog malog broja autonomnih vozila na prometnicama. Taj koncept bi najviše utjecao na teretni cestovni promet, jer se vožnjom u virtualnom cestovnom vlaku smanjuje potrošnja goriva, te se tako smanjuju i emisije ispušnih plinova.

Što se tiče Hrvatske djelomično zaostajemo za naprednim prometnim rješenjima zbog toga što smo „mlada“ država koja se kasnije počela ekonomski razvijati, pa smo se kasnije susreli s problemima. Pored signalizacije ovisne o prometu, elektroničke naplate cestarine i pametnih garaža neka od inovativnih rješenja su: Automatsko upravljanje prometom u gradu Rijeci, uspostava Nacionalne pristupne točke Republike Hrvatske, te središnji centar za upravljanje prometom u Karlovcu.

Inovativno upravljanje prometom više nije luksuz već postaje neophodno. Iako bi bilo optimalno da je cijela cestovna mreža dio inteligentnog sustava to nije potrebno, jer postoji veliki dio mreže između urbanih sredina gdje bi takvo upravljanje bilo samo nepotrebni trošak. Da bi imali optimalni prometni tok potrebna je inteligentna prometna mreža koja ne može funkcionirati bez pametne infrastrukture ali važnije pametnih vozila. Koliko god da mi optimiziramo upravljanje prometom dok god je većina vozila upravljana ljudima ne možemo postići optimum, jer ljudi griješe, te različiti ljudi različito reagiraju. U razvijenim i bogatim državama svijeta takva optimizacija je moguća zbog velikog broja novih modernih vozila. U Hrvatskoj na žalost potpuna optimizacija nije moguća jer je prosječna starost vozila na prometnicama oko 15 godina, tako da jedan veći dio vozila nema niti najosnovnije sustave za pomoć u vožnji (zadržavanje vozila u prometnoj traci, automatsko kočenje, senzori mrtvog kuta itd.), a kamoli za komunikaciju s vozilima i infrastrukturom.

Literatura

- [1] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_09_92_1823.html (Pristupljeno: 3.2.2023)
- [2] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [3] Legac, I.: Raskrižja javnih cesta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [4] Cohen S, Yannis G. Traffic Management Volume 3, ISTE Ltd, London, 2016.
- [5] <https://www.cleverciti.com/en/smart-parking> (Pristupljeno: 07.02.2023)
- [6] Juhász J. Influence of Different Route-choice Decision Modes. EWGT. 2017;27: 246-252.
- [7] Papageorgiou M, Diakaki C, Dinopoulou Y, Kotsialos A, Wang Y. Review of Road Traffic Control Strategies. IEEE. 2003;91(12): 2043-2067.
- [8] Grumert E. F, Tapani A, Ma X. Characteristics of variable speed limit systems. Springer Nature. 2018; 10:21 ?
- [9] <https://www.hac.hr/hr/cestarina/enc?etc=1> (Pristupljeno: 14.02.2023)
- [10] Chauhan R. K, Chauhan K. Intelligent toll collection system for moving vehicles in India. Intelligent Systems with Applications. 2022;19: 200099.
- [11] <https://www.rijeka-plus.hr/promet/automatsko-upravljanje-prometom/?cookie-state-change=1676457215427> (Pristupljeno: 15.02.2023)
- [12] Ni D. Signalized Intersections: Fundamentals to Advanced Systems. Springer. 2020.
- [13] Mandžuka S. Intelligent transport systems, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [14] Maitri V, Sarkar P. K. ITS Toolkit for Traffic Management System. Ministry of Urban Development Government of India. 2013.
- [15] <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/76-nacionalna-pristupna-tocka> (Pristupljeno: 24.4.2023)
- [16] <https://www.promet-info.hr/hr/usercenter> (Pristupljeno: 24.4.2023)

- [17] Outay F, Kamoun F, Kaisser F, Alterri D, Yasar A. V2V and V2I Communication for Traffic Safety and CO₂ Emissions Reduction: A Performance Evaluation. *Procedia Computer Science*. 2019;151: 353-360
- [18] Kamali M, Dennis L. A, McAre O, Fisher M, Veres S. M. Formal verification of autonomous vehicle platooning. *Science of Computer Programming*. 2017;148: 88-106
- [19] Martínez-Díaz M, Al-Haddad C, Soriguera F, Antoniou C. Platooning of connected automated vehicles on freeways: a bird's eye view. *Transportation Research Procedia*. 2021;58: 479-486
- [20] Gordon R. *Intelligent Transportation Systems - Functional Design for Effective Traffic Management*. Springer. Švicarska. 2016.
- [21] <https://www.hanshin-exp.co.jp/english/drive/first-time/etc.html> (Pristupljeno: 25.07.2023)
- [22] <https://docs.datex2.eu/basics/generalintroduction.html> (Pristupljeno: 18.08.2023)
- [23] <https://www.promet-info.hr/hr/crocodile> (Pristupljeno: 18.08.2023)
- [24] <https://www.promet-info.hr/hr/truck-parking> (Pristupljeno 18.08.2023)
- [25] <https://www.promet-info.hr/hr/loctable> (Pristupljeno 18.08.2023)
- [26] <https://www.promet-info.hr/hr/rds-tmc> (Pristupljeno 18.08.2023)
- [27] <https://www.promet-info.hr/hr/locref> (Pristupljeno 18.08.2023)
- [28] <https://www.promet-info.hr/hr/multimodal> (Pristupljeno: 18.08.2023)
- [29] <https://hrvatske-ceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/14-brojenje-prometa> (Pristupljeno 20.08.2023)
- [30] Pop M. D. Traffic Lights Management Using Optimization Tool. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2018;238: 323-330
- [31] Faqir N, Loqman C, Boumhidi J. Combined extreme learning machine and max pressure algorithms for traffic signal control. *Intelligent Systems with Applications*. 2023;19: 200255

[32] Arena F, Pau G, Ralescu A, Severino A, You I. An Innovative Framework for Dynamic Traffic Lights Management Based on the Combined Use of Fuzzy Logic and Several Network Architectures. Journal of Advanced Transportation. 2022; 2022: 17

[33] https://tisa.org/wp-content/uploads/ITSTF17001_SafetyrelatedMessage-Sets-DATEXII_DENM_TPEG-TEC_TMC_v1.0.pdf (Pristupljeno: 24.08.2023)

[34] https://crocodile2croatia.eu/news/sredisnji-centar-za-nadzor-i-vodenje-prometa-na-autocestama-scnpv_ac (Pristupljeno: 25.08.2023)

Popis slika

Slika 1. Znak opasnosti	4
Slika 2. Znak izričitih naredbi	4
Slika 3. Znak obavijesti	5
Slika 4. Znak obavijesti o vođenju prometa	6
Slika 5. Dopunska ploča	7
Slika 6. Promjenjivi prometni znakovi.	7
Slika 7. Centar za upravljanje prometom	15
Slika 8. Prikaz broja slobodnih parkirnih mjesta ispred ulaza u garažu	22
Slika 9. Primjer rada sustava na bazi emitiranja svjetlosti.	24
Slika 10. Obavijest o promjeni rute pomoću promjenjivog prometnog znaka	26
Slika 11. Određivanje rute pomoću usluge Google Maps.	27
Slika 12. Prikaz upravljanja priljevnim tokom	28
Slika 13. Prikaz sustava upravljanja ograničenjem brzine	30
Slika 14. Elektronička naplata cestarine	33
Slika 15. Najčešći oblici virtualnog cestovnog vlaka, [19]	35
Slika 16. Središnji centar za nadzor i upravljanje prometom u Karlovcu	39

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je Diplomski rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Inovativni koncepti upravljanja cestovnim prometom, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 08.09.2023

Ivan Novosel, Ivan Novosel
(ime i prezime, potpis)