

Arhitektura sustava upravljanja incidentima u konceptu pametnog grada

Dobranić, Rino

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:868290>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ARHITEKTURA SUSTAVA UPRAVLJANJA INCIDENTIMA U KONCEPTU PAMETNOG GRADA

INCIDENT MANAGEMENT SYSTEM ARCHITECTURE IN THE SMART CITY CONCEPT

Mentor: doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Student: Rino Dobranić

JMBAG: 0135257798

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 29. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Arhitektura inteligentnih transportnih sustava**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7611

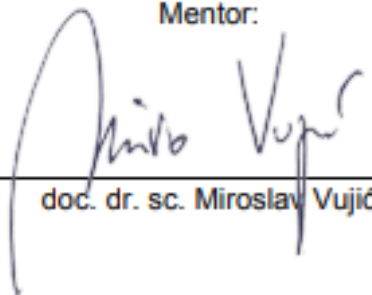
Pristupnik: **Rino Dobranić (0135257798)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Arhitektura sustava upravljanja incidentima u konceptu pametnog grada**

Opis zadatka:

Kroz ovaj završni rad student će opisati koncept pametnog grada, te predstaviti osnove ITS arhitekture, kao i njene dijelove. Na temelju arhitekture, prikazati će i analizirati sustav upravljanja incidentima u pametnim gradovima, te predstaviti primjere postojećih arhitektura upravljanja incidentima. Također, predstaviti će i mogućnosti poboljšanja arhitekture sustava upravljanja incidentima kroz koncept pametnih gradova.

Mentor:



doc. dr. sc. Miroslav Vujić

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Sažetak

Pojavom sve veće urbanizacije i rastom digitalizacije, pametni gradovi predstavljaju inovativan pristup koji integrira napredne tehnologije radi poboljšanja kvalitete života građana. Međutim, s rastućom primjenom tehnologija kao što su umjetna inteligencija (AI), strojno učenje (ML) i Internet stvari (IoT), javljaju se novi izazovi u integraciji i upravljanju tim tehnologijama. Jedan od ključnih problema je razvoj sustava za upravljanje incidentima, koji mora omogućiti pravovremenu reakciju i koordinaciju među različitim gradskim službama u hitnim situacijama. Ovaj rad se bavi konceptualnom problematikom implementacije takvih sustava u pogledu arhitekture, interoperabilnosti, sigurnosti podataka i optimizacije procesa za postizanje veće učinkovitosti i pouzdanosti u kontekstu pametnih gradova.

KLJUČNE RIJEČI: pametni grad; upravljanje incidentima; inteligentni transportni sustavi; arhitektura sustava; upravljanje prometom; tehnologija;

SUMMARY:

With the emergence of increasing urbanization and the growth of digitalization, smart cities represent an innovative approach that integrates advanced technologies to improve the quality of life of citizens. However, with the growing application of technology such as artificial intelligence (AI), machine learning (ML) and the Internet of Things (IoT), new challenges arise in integrating and managing these technologies. One of the key problems of coordination is the development of an incident management system, which must enable timely reaction among different city services in emergency situations. This paper deals with the conceptual issues of implementing such systems in terms of architecture, interoperability, data security and process optimization to achieve greater efficiency and reliability in the context of smart cities.

KEYWORDS: smart city; incident management; Intelligent transportation systems; system architecture; traffic management, technology;

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Koncept pametnog grada	2
2.1. Utjecaj komunikacijskih tehnologija u razvoju pametnih gradova.....	3
2.2. Prednosti i nedostaci.....	5
2.2.1. Prednosti	5
2.2.2. Nedostaci	6
3. Osnove ITS arhitekture	8
3.1. Inteligentni transportni sustavi.....	8
3.2. Komponente ITS arhitekture	10
3.3. Standardi i protokoli u ITS-u	11
4. Sustav upravljanja incidentima u pametnim gradovima	14
4.1. Upravljanje prometom.....	14
4.2. Upravljanje incidentima	18
4.3. Tehnologije upravljanja	19
4.3.1. Umjetna inteligencija (AI) i strojno učenje (ML).....	19
4.3.2. GIS platforma	21
4.3.3. Cloud računalstvo	22
4.4. Upravljanje incidentima podatkovnim pristupom.....	23
4.5. Upravljanje incidentima u sektoru prometa.....	25
5. Primjeri postojećih arhitektura upravljanja incidentnim situacijama	29
5.1. Studija slučaja – Lavendon Grupa PLC	29
5.2. Studija slučaja – Vatrogasna služba okruga Kildare	30
5.3. Studija slučaja – Nizozemska	31
5.4. Studija slučaja – Danska	32
6. Mogućnosti poboljšanja arhitekture upravljanja incidentima	33
6.1. Napredni sustav za detekciju i klasifikaciju incidenata koristeći stvarno-vremenski računalni vid	33
6.2. Predviđanje potencijalnih lokacija incidenata koristeći ML model baziran na Geohash algoritmu	36
6.2.1. Opis sustava	36
6.2.2. Primjer korištenja sustava	37
6.3. Korištenje bespilotnih letjelica za detektiranje incidenata	38

Zaključak.....	40
Literatura.....	41
Popis slika.....	44

1. Uvod

Razvojem urbanih sredina u svijetu javlja se potreba za optimizacijom prometnih procesa radi poboljšanja kvalitete života građana. Napredne tehnologije i inovativna rješenja otvaraju vrata definiranja koncepta pametnog grada. Jedna od ključnih komponenti u razvoju koncepta pametnog grada je i razvoj sustava upravljanja incidentnim situacijama, koji omogućuje brzu i učinkovitu reakciju na situacije poput požara, prometnih nesreća, medicinskih slučajeva ili sličnih događaja koji ugrožavaju sigurnost građana.

Kroz godine, napredne tehnologije su omogućile ostvarenje prosječnog vremena odgovora žurnih službi na incident u Europi od 11.1 minuta [1]. Međutim, u pametnim gradovima, zahvaljujući naprednoj infrastrukturi i tehnologiji, ovo vrijeme je značajno smanjeno. Primjerice, u Londonu, koji se smatra jednim od najnaprednijih pametnih gradova, prosječno vrijeme odgovora žurnih službi iznosi 7 minuta [2]. Kada govorimo o spašavanju ljudskih života, svaka minuta može biti presudna te se vrlo veliki prioritet stavlja na razvoj sustava koji u tome pripomažu.

U ovom završnom radu, analizirati će se arhitektura sustava upravljanja incidentima u kontekstu pametnog grada. Fokus će biti na ključnim komponentama takvog sustava, koje uključuju same inteligentne sustave, komunikacijske protokole i protokole koji se koriste. Analizirati će se kako ove komponente djeluju zajedno te smanjuju vrijeme reakcije na incidente, te kako tehnologija može dodatno unaprijediti performanse žurnih službi. Kroz studije slučaja i primjere iz prakse, usporediti će se prednosti i izazovi implementacije nekoliko sustava u urbanim sredinama te vidjeti mogućnosti napretka takvih sustava.

Rad se sastoji od šest poglavlja. Nakon uvodnog poglavlja koje opisuje potrebu istraživanja i problematiku sustava, u drugom i trećem poglavlju biti će opisane osnove inteligentnih transportnih sustava te same njihove arhitekture koja predstavlja bazu realizacije svakog sustava. Četvrto poglavlje se odnosi na upravljanje incidentnim situacijama u prometu te se dobre prakse istoga mogu vidjeti u idućem poglavlju. U završnom poglavlju biti će navedene određene mogućnosti daljnjeg napretka i razvoja samog sustava te će biti opisani pojedini sustavi koji znatno unaprjeđuju upravljanje incidentima u pametnim gradovima.

2. Koncept pametnog grada

Kao i kod svih novih tehnologija i sustava, vrlo je teško precizno definirati pojam „pametnog“ grada. Razni autori navode drugačije definicije što se tiče pametnih gradova, no sve se definicije temelje na istom principu. Definicije se redaju od samog početka razvoja pametnih gradova pa se u 2000. godini smatralo da „pametni grad nadzire i integrira uvijete kritične infrastrukture, optimizira resurse, planira preventivne mjere održavanja i nadzire sigurnosne aspekte prilikom maksimiziranja usluga koje koriste njegovi građani“. Definiciju je postavio znanstvenik Hall no samim razvojem definicija se mijenjala. Znanstvenik Wood je u 2020. godini pojednostavio definiciju te je pametni grad opisao kao „najnovija i implicitno učinkovitija inkarnacija održivog grada [32].“

Svaki segment pametnog grada može se opisati drugačijom definicijom, ali prema raznim izvorima pametni grad se može nazvati sustavom koji koristi informacijsku i komunikacijsku tehnologiju (ICT) za poboljšanje operativne učinkovitosti, razmjenu informacija s javnošću i pružanje bolje kvalitete državnih usluga i dobrobiti građana [3].

Prva pojava pametnih gradova dogodila se 1974. kada je grad Los Angeles počeo ulagati u projekt „A Cluster Analysis of Los Angeles“ unutar kojeg su koristili računalne baze podataka, analizu klastera i infracrvenu fotografiju iz zraka za prikupljanje podataka, izradu izvješća o demografiji susjedstva i kvaliteti stanovanja te pomogli usmjeravanju resursa za obranu od bolesti i rješavanje siromaštva [4]. Pojavom interneta, početkom 1990-ih godina, gradovi su počeli koristiti informacijske tehnologije za jednostavnije i učinkovitije rješavanje problema. 2008. godine, IBM je počeo koristiti znanstvene resurse te je pokrenuo marketinšku inicijativu „Pametni gradovi“ u vrijednosti od nekoliko miliona dolara. Nakon inicijative, pojam pametnog grada počeo se širiti svijetom i njegov utjecaj donosi razne benefite u raznim aspektima urbanog života [32].

50 godina od prvog projekta pametnog grada, industrija razvoja pametnih gradova nosi financijsku vrijednost od oko 2 trilijuna dolara te ta brojka nastavlja eksponencijalno rasti i do 2050. godine očekuje se da će 70% stanovništva živjeti u pametnim gradovima [5][6].

Samim razvojem grada, njegova obilježja se samo proširuju, no neka od primarnih obilježja koje svaki pametni grad posjeduje su:

Rasprostranjenost informacijskih tehnologija – obuhvaća mobilne uređaje, satelitsku televiziju, računalne mreže i razne internetske usluge te oni kreiraju podlogu za funkcionalnost pametnog grada

Otvorenost – pametni gradovi omogućavaju komunikaciju i suradnju većeg broja sudionika od građana, zajednica ili pružatelja usluga u svrhu poboljšanja njihova suživota

Stvarnovremenski nadzor – u svakom trenutku se prikupljaju razni podaci kako bi se radile kvalitetne analize i omogućila optimizacija samog sustava pametnog grada

Održivost – pametni gradovi potiču i osnažuju socijalnu i okolišnu održivost kako bi se reducirali negativni utjecaji na čovjeka [32]

Uz pojam pametnog grada, često se i vežu pojmovi „digitalni grad“, „inteligentni grad“ i „održivi grad“. Pojam digitalnog grada se često u literaturi koristi kao sinonim za pametni grad. Inicijative pametnog grada se mogu podijeliti u šest domena:

Pametna ekonomija – odnosi se na e-usluge i usluge, poput proizvodnje, dostave ili inovacija, koje omogućuje razvoj IT sustava

Pametni okoliš – obuhvaća pametnu energiju (naponske mreže, upravljanje i nadzor), vodu, „zelene građevine“ i urbano planiranje

Pametno vladanje – glavna zadaća je korištenje IT tehnologija za poboljšanje demografskih procesa i usluga te podržavanje boljeg planiranja i donošenja odluka

Pametnan život – odnosi se na inicijative koje koriste IT tehnologiju kako bi omogućile razvoj novog i poboljšanog stila života tj. osiguravaju sigurniji i zdravili grad i okoliš

Pametna mobilnost – sačinjava grupu inicijative koje optimiziraju i unaprjeđuju logističke i transportne procese koristeći IT tehnologije

Pametni ljudi – potiče razvoj kreativnosti i inovacija kojima se postižu inovativni načini rada, korištenje ljudskih resursa te upravljanje obrazovnim segmentom [33]

2.1. Utjecaj komunikacijskih tehnologija u razvoju pametnih gradova

Napredak tehnologije omogućava širenje aspekta pametnog grada na razna područja poput medicinskog, pravnog ili ekonomskog sustava. Da bi se grad nazvao pametnim, u njegovu infrastrukturu moraju biti ukomponirani razni sustavi koji koriste napredne tehnologije i osiguravaju građanima korištenje usluga koje se nazivaju pametnim poput informiranja putnika, online plaćanja, optimizirane prometne mreže i sl. Telekomunikacijska infrastruktura osigurava efektivno pružanje usluga i razmjenu potrebnih podataka kroz veliku mrežu uređaja i korisnika.

Bežične tehnologije koje se koriste za povezivanje uređaja moraju biti zasnivane na standardima poznatih kao IEEE standardi. IEEE standard definira zahtjeve i uvjete komunikacijskih tehnologija u svim aspektima sustavnih procesa u svim elementima koncepta pametnog grada.

Neke od najvažnijih tehnologija koje se koriste u konceptu pametnog grada su IoT (Internet of Things), senzorske mreže, Big Data model i komunikacijske tehnologije.

IoT (Internet of Things)

Prva pojava pojma IoT tj. „Internet stvari“ seže u 1999. godinu kada je Kevin Ashton, britanski tehnolog, morao opisati sustav u kojem je internet povezan s fizičkim objektima koristeći senzore. U današnje doba, preko 20 milijardi uređaja povezano je na Internet i spada pod pojam IoT. Sustav IoT opisuje se kao mreža povezanih uređaja čija je glavna svrha razmjena informacija i podataka s ostalim umreženim uređajima. U te uređaje su ugrađene tehnologije čiji je cilj međusobno povezivanje bez ljudskog prisustva [7].

Kao primjer možemo uzeti mobilni uređaj koji je opremljen tehnologijama i povezan s drugim sustavima za primanje i odašiljanje podataka. Kako je on spojen na Internet, ima pristup raznim informacijama koje su bitne za korisnika te je isto tako spojen s drugim pametnim uređajima od kojih prima razne podatke i informacije. Uređaje koji spadaju pod sustav IoT nalazimo u našoj svakodnevici a da nismo ni svjesni da oni međusobno komuniciraju. To su uređaji poput laptopa, kućanskih aparata, automobila, sigurnosnih sustava i slično [7].

Proces IoT uređaja kreće s prikupljanjem vlastitih podataka te odašiljanje istih prema drugim uređajima. Ti podaci se analiziraju u dana centrima i servisima poput „cloud“ i „edge“ o kojima će nešto kasnije biti riječ. Nakon analize i obrade podataka, informacije se internetskim putem odašilju drugim IoT uređajima. Glavna smisao komunikacije je zajedničko rješavanje određenih zadataka bez ljudske prisutnosti [7].

Bežične senzorske mreže

Mreže koje su sastavljene od velikog broja senzora nazivamo senzorske mreže. Glavni smisao rada bežičnih senzorskih mreža je prikupljanje podataka iz okoline (temperatura, svjetlost, pritisak, brzina i sl.) koristeći različite senzore te eliminiranje nedostataka pojedinih senzora korištenjem informacija drugih senzora. Svaki senzor je ograničen brzinom, memorijom i rasponom komunikacije pa tako jedan senzor, svojim prednostima, nadomješćuje nedostatke drugog senzora. Mikrosenzori su glavni akteri u sustavima senzorskih mreža te se koriste za predviđanje promjene okolnih uvjeta [8].

Big Data modeli

Big Data modeli mogu se razdvojiti na dva termina, „Big Data“ koji označava veliku skupinu podataka koji su prikupljeni koristeći senzorske mreže te „Data model“ koji predstavlja korištenje prikupljenih podataka i strukturiranje u određene uzorke koji olakšavaju procesuiranje podataka. Korištenjem Big Data modela mogu se postići vrlo više razine kvalitete i učinkovitosti obrade podataka te se mogu smanjiti troškovi i sigurnosne prijetnje [9].

Komunikacijske mreže

Kako bi bilo koji sustav normalno funkcionirao, potrebno je osigurati različite načine komunikacije unutar samog sustava i među sustavima. Neke od značajnijih sustava koji se koriste u komunikacijske svrhe su Fibre, WiFi mreža, Lora te 4G i 5G mobilne mreže. Komunikacijska infrastruktura određenog područja nije bazirana samo na jednom takvom sustavu već su svi oni zastupljeni, ali princip odabira sustava koji se koristi u određenoj situaciji ovisi o usluzi koju određeni sustav pruža. Svaki od navedenih sustava pruža različite usluge komunikacije u pogledu pokrivenosti, pouzdanosti ili učinkovitosti.

Pomoću komunikacijske mreže, moguća je razmjena podataka među sustavima te obrada i analiza istih. Razvoj komunikacijske infrastrukture omogućava osvanuće novih tehnologija, mogućnosti i inovacija koje osiguravaju ugodniji život stanovnika [10].

2.2. Prednosti i nedostaci

Širenjem pametnih gradova postavlja se sve više elemenata koji posjeduju svoje pozitivne i negativne strane. U nastavku, detaljno se razmatraju ključni aspekti pametnih gradova, uključujući njihove ekonomske, ekološke i socijalne prednosti. Osim pozitivnih učinaka, ističu se i sigurnosne prijetnje, infrastrukturni izazovi te zakonski i regulacijski zahtjevi s kojima se suočavaju pametni gradovi.

2.2.1. Prednosti

Ekonomski benefiti se mogu podijeliti na direktne i indirektne benefite. Direktni benefiti ostvaruju kroz tržišne transakcije u obliku bruto dodane vrijednosti. Povećanjem broja pametnih sustava u gradu, financijske mogućnosti i kupovna moć rastu pa tako raste i sam ekonomski aspekt tog područja. Isto tako, povećanje radnih mjesta pružatelja „pametnih“ utječe na likvidnost novca tj. na ekonomiju cijele države. Automatizacijom određenih transakcijskih procesa, moguće je i smanjiti troškove kod pružanja različitih usluga. Indirektni benefiti uključuju stvaranje novih dobara i usluga koje prije nisu postojale, uštedu vremena za stanovnike koji koriste usluge temeljene na otvorenim podacima te povećanje ekonomije koja se temelji na znanju [11].

Socijalni benefiti uključuju benefite koje građani direktno ili indirektno dobivaju razvojem pametnih gradova. Korištenjem Big Data sustava, korisnici imaju više mogućnosti koje su efektivnije analizirane. Sam razvoj grada korisnicima pruža puno ugodniju okolinu života te ih potiče na sudjelovanje u održavanju zajednice i svoje okoline. Nove tehnologije građanima pružaju sigurnije i ugodnije načine prijevoza i transporta [12].

Ekološki benefiti primarno se očituju kroz smanjenje emisija štetnih plinova u atmosferu. Glavni cilj pametnih gradova je korištenje „zelenih“ izvora koji značajno reduciraju onečišćenje atmosfere. Sustavi poput kontrole kvalitete zraka, optimizacije korištenja

energije ili praćenje otpada mogu smanjiti emisije štetnih plinova za 10-15% te uštediti 25-80 litara vode po čovjeku po danu [13].

2.2.2. Nedostaci

Sigurnosne prijetnje

Pametni gradovi se razvojem tehnologije izlažu sigurnosnim prijetnjama u svakom aspektu svog sustava. Većina sustava zasniva se na prikupljanju osobnih informacija i analizi podataka pa tako postoje veliki rizici u razotkrivanju povjerljivih podataka, hakiranja softvera ili nadzornih rizika. Razvojem IoT tehnologija, postaje sve jednostavnije iskoristiti takve uređaje kao oružja ili u terorističke svrhe. Kako sustavi još nisu potpuno autonomni te je potreban ljudski kontakt, javlja se ljudska greška koja može ugroziti čitav sustav pa tako i cijelo sustavno područje. Povezanost velikog broja uređaja stvara domino efekt u napadu na sustav gdje ako se probije sigurnosni sustav jednog uređaja, vrlo je lako manipulirati podacima drugih, povezanih uređaja. U pogledu sustava nadzora, probijanjem pristupa takvom sustavu, postoji mogućnost kršenja građanske privatnosti što može utjecati na mentalno stanje građana i na samu zajednicu [14].

Infrastrukturni izazovi

Povećanjem urbanog stanovništva dolazi do potrebe za širenjem granica gradova te se s time mora mijenjati i sama infrastruktura postojećeg teritorija. Nove tehnologije zahtijevaju novu infrastrukturu koja se mora nadograditi na postojeću te se time javlja problem u urbanom planiranju i arhitekturnom aspektu područja pametnog grada. Iako je većina tehnologije bazirana na internetu i senzorskim mrežama, potrebno je postaviti nove senzore, uređaje i sustave na potrebna mjesta kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost rada sustava. Financijske mogućnosti ograničavaju razvoj takve infrastrukture te se time i blokira sami razvoj pametnih gradova. Za normalno funkcioniranje određenih sustava, primjerice adaptivnog upravljanja prometom, potrebno je zamijeniti uređaje novim, skupljim uređajima tj. postaviti nove semafore sposobne za adaptivno upravljanje.

Zakonski i regulacijski zahtjevi

Zakonske karakteristike odnose se na pravne akte koje uključuju rad sustava, odnos korisnika te pružanja samih usluga. Zakoni su predefimirani EU direktivama za svaku zemlju članicu te ih se potrebno pridržavati pri izradi novog pametnog sustava. Neke od najbitnijih karakteristika zakonske regulative uključuju:

- „zakonsko presijecanje podataka“ što osigurava da se privatni podaci mogu razmjenjivati samo provjerenim i legalnim putevima

- „pouzdanost sustava“ što ograničava sustave da moraju u većinskoj mjeri biti dostupni i u funkciji tj. da nema čestih kvarova i ograničenja rada
- „zaštita osobnih podataka“ štiti korisnike sustava kako se njihove informacije nebi koristile u nezakonite svrhe
- „zakon sigurnosti“ štiti sami sustav i korisnike od zlonamjernih napada i hakiranja
- „zakon interoperabilnosti“ propisuje akte u slučaju suradnje dvije strane koje imaju utjecaj na karakteristike sustava [15].

Sve navedene prednosti i nedostaci ukazuju na kompleksnost razvoja pametnih gradova koji, unatoč značajnim koristima, zahtijevaju pažljivo planiranje i implementaciju. Samo kroz uravnotežen pristup koji uzima u obzir ekonomske, socijalne i ekološke aspekte, kao i sigurnosne i infrastrukturne izazove, pametni gradovi mogu pružiti optimalne uvjete za život svojih stanovnika.

3. Osnove ITS arhitekture

Za razvoj bilo kojeg kompleksnog sustava, potrebno je pratiti osnovne značajke sustava te standardizirati sve komponente. Ovo poglavlje pruža temeljit uvid u ključne aspekte inteligentnih transportnih sustava (ITS). Fokusirat će se na osnove ITS arhitekture, objašnjavajući kako su različite komponente sustava međusobno povezane i integrirane. Osim toga, bit će obrađeni relevantni standardi i protokoli koji osiguravaju interoperabilnost i učinkovito funkcioniranje ITS-a.

3.1. Inteligentni transportni sustavi

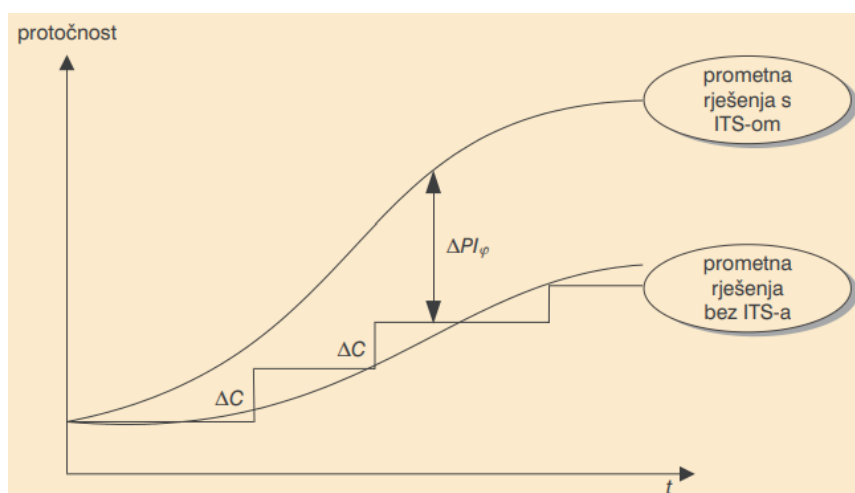
Povećanje potražnje za prometnim sustavom i rješavanje prometnih problema usko je povezano s napretkom znanosti o prometu i tehnologijama koje omogućuju bolja rješenja. Ovaj razvoj doveo je do koncepta inteligentnih transportnih sustava (ITS), koji je počeo dobivati na značaju krajem 20. stoljeća. ITS predstavlja integrirani pristup upravljanju prometom, koristeći napredne tehnologije kao što su informacijski sustavi, senzori, komunikacijske tehnologije i računalni alati kako bi se optimizirala učinkovitost prometnih sustava i poboljšala sigurnost.

ITS obuhvaća širok spektar aplikacija, uključujući automatizirano upravljanje prometom, dinamičko usmjeravanje vozila, sustave za upravljanje nesrećama, pametne prometne signale, te sustave za upravljanje javnim prijevozom. Ovi sustavi omogućuju praćenje i prilagodbu prometnih uvjeta u stvarnom vremenu, što rezultira smanjenjem zagušenja, poboljšanjem sigurnosti i učinkovitijim korištenjem infrastrukture. Jedan od ključnih benefita ITS-a je mogućnost smanjenja vremena putovanja kroz optimizaciju protoka prometa. Primjerice, adaptivni prometni signali prilagođavaju vrijeme trajanja zelenog svjetla na semaforima prema trenutnim prometnim uvjetima, čime se smanjuju zastoje i povećava protočnost. Ovi sustavi također igraju ključnu ulogu u upravljanju incidentima, omogućujući bržu i efikasniju reakciju na prometne nesreće ili zastoje, čime se smanjuje vrijeme oporavka prometnog sustava nakon incidenta.

U ekonomskom smislu, ITS doprinosi smanjenju operativnih troškova kroz poboljšanu logistiku i efikasnije planiranje ruta. Korištenje ITS-a u javnom prijevozu omogućuje točnije i pouzdanije informacije o dolascima i odlascima vozila, što potiče veće korištenje javnog prijevoza i smanjuje potrebu za privatnim vozilima, čime se dodatno smanjuje prometno opterećenje i emisije štetnih plinova. Ekološki gledano, ITS doprinosi smanjenju zagađenja zraka kroz optimizaciju prometnih tokova i smanjenje vremena provedenog u prometu. Inteligentni sustavi za upravljanje brzinom, primjerice, mogu pomoći u smanjenju potrošnje goriva i emisije CO₂ tako što održavaju konstantne brzine vozila i minimiziraju potrebu za naglim ubrzanjima ili kočenjima. ITS također ima značajan utjecaj na kvalitetu života građana. Smanjenje stresa povezanog s vožnjom i čekanjem u prometnim gužvama, kao i povećanje

sigurnosti na cestama, pozitivno utječu na psihičko stanje korisnika sustava. ITS sustavi omogućuju i personalizirane informacije o prometu, prilagođene potrebama pojedinaca, što dodatno poboljšava korisničko iskustvo.

Primjena ITS-a u pametnim gradovima posebno je značajna jer omogućuje bolju integraciju različitih prometnih sredstava i sustava, stvarajući koherentnu mrežu koja podržava održivi razvoj. Ova mreža omogućuje gradovima da učinkovito odgovore na rastuće potrebe za mobilnošću, dok istovremeno smanjuju ekološki otisak i poboljšavaju kvalitetu života stanovnika. Na slici 1 je prikazana usporedba protočnosti prometa s implementacijom inteligentnih transportnih sustava (ITS) i bez njih. Krivulja koja prikazuje prometna rješenja s ITS-om (gornja krivulja) pokazuje značajno veću protočnost u odnosu na situaciju bez ITS-a (donja krivulja). Ovaj prikaz ilustrira kako primjena ITS-a omogućava bolje upravljanje prometom, rezultirajući većom protočnošću kroz vrijeme. Razlike u protočnosti prikazane su s ΔP , dok ΔC označava korake u poboljšanju protočnosti u sustavu bez ITS-a.



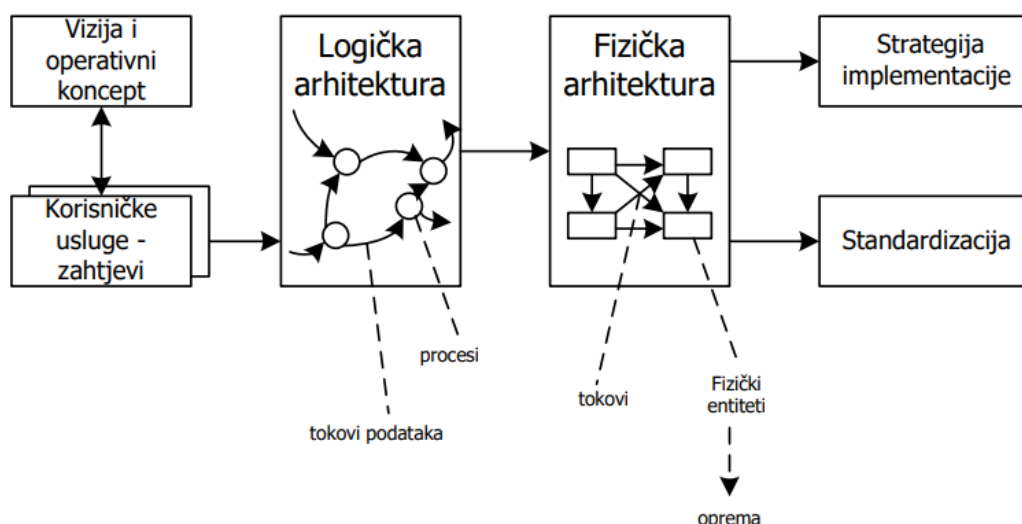
Slika 1 - Protočnost prometa sa i bez ITS-a

Inteligentni transportni sustavi predstavljaju ključni element modernog prometnog planiranja i upravljanja. Njihova implementacija donosi brojne prednosti, uključujući povećanje protočnosti prometa, poboljšanje sigurnosti, smanjenje ekološkog utjecaja i podršku ekonomskom razvoju, čime ITS postaje temelj održivih prometnih sustava budućnosti.

3.2. Komponente ITS arhitekture

Evolucija inteligentnih transportnih sustava (ITS) uvelike je oblikovana sveobuhvatnim pristupom razvoju arhitekture tih sustava. Arhitektura ITS-a predstavlja konceptualni dizajn unutar kojeg se definiraju struktura i ponašanje komponenata inteligentnog transportnog sustava. Kroz arhitekturu se očituju svi potrebni elementi, njihove veze te funkcije za izvršavanje zahtjeva korisnika tj. stakeholdera [17].

Glavna baza kreiranja svakog ITS rješenja su korisnički zahtjevi tj. potrebe korisnika, koji će koristiti taj sustav, o komponentama istog. Na temelju zahtjeva definiraju se logička i fizička struktura sustava unutar kojih se definiraju elementi koji sačinjavaju sustav, njihova povezanost te funkcije potrebne za izvršavanje glavnih zadataka sustava. Nakon definiranja tehničkog dijela i njegove evaluacije, sustav se implementira u stvarni prometni sustav te je dostupan svim interesnim skupinama (stakeholderima). Cijeli proces razvoja ITS arhitekture prikazan je na slici 2.



Slika 2 - Tijek razvoja ITS arhitekture

Korisnički zahtjevi i analiza

Proces definiranja ITS arhitekture započinje analizom potreba korisnika i ključnih zahtjeva. Ovi zahtjevi mogu uključivati sigurnost, smanjenje zagušenja u prometu, smanjenje utjecaja na okoliš, poboljšanje učinkovitosti transporta te omogućavanje bolje informiranosti korisnika. Kroz ovu analizu, ITS arhitektura osigurava da se svi tehnički aspekti sustava prilagode specifičnim potrebama različitih korisnika, bilo da se radi o vozačima, pješacima, operaterima prometnih sustava ili regulatornim tijelima.

Funkcionalna i fizička arhitektura

Funkcionalna arhitektura ITS-a definira glavne funkcije sustava, kao što su prikupljanje podataka, obrada informacija, donošenje odluka i izvršavanje akcija. Svaka od ovih funkcija se dalje razlaže na manje funkcionalne module koji zajedno omogućuju ostvarivanje specifičnih ciljeva sustava. S druge strane, fizička arhitektura ITS-a definira fizičke komponente koje implementiraju funkcionalne module, kao što su senzori, komunikacijska infrastruktura, kontrolne jedinice i korisnički uređaji.

Komunikacijska arhitektura

Komunikacijska arhitektura je ključni dio ITS-a jer osigurava nesmetanu razmjenu podataka između svih komponenti sustava. Ovaj segment arhitekture obuhvaća različite tehnologije i protokole koji omogućuju komunikaciju između vozila, infrastrukture, operativnih centara i korisnika. Uspostavljanje sigurne, pouzdane i brze komunikacijske mreže ključno je za funkcioniranje ITS-a u stvarnom vremenu.

CBA analiza i studija implementacije

Analiza troškova i koristi (CBA) je sastavni dio planiranja ITS arhitekture jer omogućuje procjenu ekonomske opravdanosti predloženih rješenja. Ova analiza uključuje procjenu početnih investicijskih troškova, operativnih troškova, kao i očekivanih koristi kao što su uštede u vremenu, smanjenje zagađenja i poboljšanje sigurnosti. Studija implementacije, koja prati CBA analizu, razmatra praktične aspekte uvođenja ITS-a, uključujući potrebnu infrastrukturu, faze uvođenja, potrebnu obuku za korisnike i održavanje sustava.

Modeli za ITS implementaciju

ITS implementacija zahtijeva prilagodbu različitim lokalnim uvjetima, uzimajući u obzir postojeću infrastrukturu, tehničke kapacitete, zakonske regulative i socio-ekonomske faktore. Modeli za ITS implementaciju pomažu u strukturiranju i vođenju procesa uvođenja sustava, od planiranja i dizajna, preko testiranja i evaluacije, do konačnog operativnog uvođenja i održavanja sustava.

ITS arhitektura nije samo tehnički nacrt, već sveobuhvatan plan koji integrira tehnološke, ekonomske i regulatorne aspekte kako bi se osigurao uspješan razvoj i implementacija inteligentnih transportnih sustava koji zadovoljavaju potrebe svih dionika. Kroz jasnu i detaljnu arhitekturu, ITS može postići visoku razinu učinkovitosti, sigurnosti i korisničkog zadovoljstva.

3.3. Standardi i protokoli u ITS-u

Kod razvoja novih tehnologija i sustava, potrebno je predefinirati univerzalne standarde i protokole kako bi sustav bio kompatibilan sa arhitekturom i kako bi se

pojednostavile procedure kod implementacije i korištenja. Za razvoj ITS usluga definiraju se ISO i ETSI standardi te NTCIP protokoli kojima se postiže upravo to. Uz njih, postoji veliki spektar sličnih procedura, ovisno o pojedinom sustavu, no svi moraju zadovoljavati navedene standarde i protokole.

ISO standardi

ISO (*International Standards Organization*) standardi kreirani su kako bi „prikazali“ kvalitetni izgled pojedinog sustava. Točnije, to su međunarodni standardi koji osiguravaju sigurnost, pouzdanost i kvalitetu sustava. ISO standardizacija je kreirana od strane stručnjaka određenog područja znanosti koji u međusobnoj suradnji definiraju što sustav treba zadovoljavati i kako funkcionirati. ISO standardi se ne koriste samo u znanosti o prometu i transportu već i u drugim područjima poput znanosti o okolišu, zdravlju ili ekonomiji [18].

Neki od standarada koji se tiču inteligentnih transportnih sustava su:

- ISO 39001 – Sigurnost cestovnog prijevoza
- ISO 14814 – Putne i prometne informacije
- ISO 21217 – IST arhitektura
- ISO/TC 204 – inteligentni transportni sustavi
- ISO 34503:2023 – Autonomni prijevozni sustavi [18].

ETSI standardi

ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) protokoli su definirani za razvoj komunikacijske infrastrukture u Europi. Glavni cilj standarada je eliminirati sva odstupanja od globalnih standarada te definirati zahtjeve kod strukturiranja komunikacijskih sustava. U pogledu ITS-a, ETSI standardi se koriste kod definiranja komunikacije između elemenata u arhitekturi, između stakeholdera te svih popratnih elemenata. [19].

Neki od standarada koji se tiču inteligentnih transportnih sustava su:

- ETSI TS 104 – Prometna i transportna telematika
- ETSI TS 103 – Inteligentni transportni sustavi
- ETSI EN 302 – Kooperativni ITS
- ETSI ITS-G5 – Komunikacija vozila i okoline [19].

NTCIP protokoli

NTCIP (*National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol*) protokoli predstavljaju grupu zahtjeva za komunikacijske i vokabularne aspekte koji omogućavaju korištenje elektroničke opreme za upravljanje prometom. Glavni cilj je

omogućiti različitim proizvođačima i dizajnerima sustava da budu kompatibilni jedni s drugima te eliminiraju različitosti u konceptu pojedinog sustava [20].

Neki od protokola koji se tiču inteligentnih transportnih sustava su:

- NTCIP 9014 – Infrastrukturni standardi
- NTCIP 2303 – Protokol za razmjenu datoteka
- NTCIP 2201 – Protokol za promet i transport
- NTCIP 1103 – Upravljanje prometom [20].

Primjena ovih standarda i protokola osigurava ne samo interoperabilnost i kompatibilnost različitih sustava, već i njihovu dugoročnu pouzdanost i učinkovitost. Stoga je ključno da svi sudionici u razvoju ITS tehnologija poštuju i implementiraju ove smjernice kako bi se osigurala dosljednost i kvaliteta na globalnoj razini.

4. Sustav upravljanja incidentima u pametnim gradovima

Katastrofe i incidenti su se povećali zbog klimatskih promjena, porasta stanovništva, više gospodarske aktivnosti i starenja infrastrukture. Prirodne katastrofe porasle su, u razdoblju od 2000. do 2010., na oko 3500, dok ih je 1970.–1980. bilo pet puta manje (oko 750).

Identifikacija i karakterizacija vrste događaja ključni su za donošenje informiranih upravljačkih odluka i sprječavanja budućih katastrofa. Bez pouzdanih i ažurnih podataka, spremnost za odgovor i sposobnost predviđanja novih nesreća su niski, što utječe na sposobnost strateškog planiranja ublažavanja, prilagodbe i odgovora na incidente. To rezultira povećanom ranjivošću na događaje i smanjenom otpornošću sustava [21].

4.1. Upravljanje prometom

Jedan od ključnih aspekata upravljanja prometnim incidentima u pametnim gradovima je implementacija naprednih sustava za upravljanje prometom (ATMS) i naprednih putničkih informacijskih sustava (ATIS). Ovi sustavi igraju presudnu ulogu u optimizaciji prometnih tokova tijekom incidenata i osiguravanju učinkovitog upravljanja prometom kako bi se smanjio negativan utjecaj na prometne uvjete. Glavna svrha ATMS-a i ATIS-a u kontekstu upravljanja incidentima je poboljšanje ukupne učinkovitosti prometnog sustava, što uključuje smanjenje vremena kašnjenja, smanjenje zagađenja i buke te osiguranje sigurnijeg okruženja za sve sudionike u prometu. Korištenjem naprednih tehnologija i analitičkih alata, ovi sustavi omogućuju pravovremenu reakciju na incidente i bolje upravljanje posljedicama na promet, čime se povećava otpornost prometne mreže.

Većina naprednih sustava za upravljanje prometom (ATMS) i putničkih informacijskih sustava (ATIS) u incidentnim situacijama oslanja se na fiksna mjerenja u određenim točkama prometne mreže (Eulerian pristup), koristeći petlje i radarske detektore. Ovi senzori omogućuju prikupljanje podataka kao što su protok vozila, brzina i gustoća prometa na određenim lokacijama, pružajući ključne informacije za analizu trenutnog stanja prometa u blizini incidenta. Iako pružaju vrijedne podatke, njihova ograničenja leže u nemogućnosti praćenja vozila kroz njihove putanje, što otežava dobivanje cjelovite slike o utjecaju incidenta na cijelu prometnu mrežu. Zbog toga se razmatraju dodatne tehnologije, poput mobilnih senzora i GPS-a, koje mogu nadopuniti ove sustave pružanjem podataka o kretanju vozila, omogućujući precizniju i sveobuhvatniju analizu učinaka incidenta na prometne tokove [34].

Senzori

Senzori poput detektora petlji i radara široko su rasprostranjeni na glavnim prometnicama u gradovima diljem svijeta i igraju ključnu ulogu u praćenju ili procjeni prometnih uvjeta tijekom incidenata. Ovi senzori bilježe protok, brzinu i gustoću prometa na

određenim lokacijama, pružajući podatke s visokom razinom prodora. Senzori koji omogućuju povezivanje modela prometne potražnje s modelima predviđanja prometa u stvarnom vremenu, posebno tijekom incidenata, su oni koji mogu zadržati identitet vozila ili korisnika tijekom dužih vremenskih perioda i većih udaljenosti. Primjeri takvih senzora uključuju podatke iz mobilnih mreža, Bluetooth/Wi-Fi senzore, sustave za automatsko prepoznavanje registarskih pločica i vozila opremljena GPS-om. Ovi senzori, poznati kao Lagrangeovi senzori, ključni su za precizno praćenje i procjenu učinaka incidenta na prometne tokove.

Razina penetracije ovih senzora odnosi se na postotak vozila opremljenih relevantnim tehnologijama u usporedbi s ukupnim brojem vozila u određenom području. Strategija uzorkovanja definira učestalost kojom senzori prikupljaju i šalju podatke poslužitelju s prometnim informacijama, što je posebno važno u situacijama incidenta gdje je potrebno brzo reagirati. Vrsta mjerenja povezana je s tipom senzora i vrstom podataka koje prikupljaju, kao što su brzina, položaj i vrijeme putovanja. Točnost mjerenja odnosi se na preciznost podataka koje senzori prikupljaju, što je ključno za pouzdano praćenje i upravljanje incidentima. Lagrangeovi senzori omogućuju procjenu raznih prometnih parametara, uključujući brzinu, protok, gustoću, vrijeme putovanja i identificiranje incidenata [34].

Uređaji opremljeni GPS-om

Prometni podaci mogu se dobiti iz različitih tipova sonde, kao što su navigacijski sustavi, sustavi za upravljanje voznim parkom i crne kutije. Vrsta klijenta koji prikuplja podatke utječe na karakteristike tih podataka i može unijeti pristranost u procjeni utjecaja incidenta na promet.

Glavna vrsta podataka koju pružaju vozila opremljena GPS-om uključuje brzinu u točki i vrijeme putovanja. Međutim, neki uređaji i/ili tipovi korisnika ne podržavaju mjerenje brzine u točki, što značajno smanjuje količinu informacija o stanju u prometu koje se mogu dobiti iz pojedine sonde. Ako je identifikator sonde zabilježen i očuvan, vrijeme putovanja se i dalje može pratiti, ali ako nije, preostaje pokušaj procjene gustoće prometa na temelju lokacija sonde. Međutim, pri realističnim stopama prodora, takva procjena gustoće može biti prilično nepouzdana.

Strategija uzorkovanja sonde također je ključna za točnost procjene prometnih uvjeta. Dulji intervali uzorkovanja stvaraju dva značajna problema. Prvi je inherentno kašnjenje u mjerenju, jednako vremenu uzorkovanja, kada se izračunavaju vremena putovanja. Drugi problem je otežano praćenje putanje vozila, što postaje izazov kada je vrijeme uzorkovanja dugo. Ovaj problem je posebno izražen u gustim urbanim područjima s mnoštvom mogućnosti za odabir rute [34].

Automatska identifikacija vozila

Automatska identifikacija vozila (AVI) predstavlja skup tehnika za prikupljanje podataka koje omogućuju bilježenje identiteta vozila na specifičnim lokacijama. Ove tehnike omogućuju praćenje i analizu kretanja vozila kroz različite dijelove prometne mreže. Najrašireniji sustavi unutar AVI tehnologije uključuju prepoznavanje registarskih tablica (LPR) te ponovno identificiranje vozila putem Bluetooth ili Wi-Fi fizičkih adresa. Ovi sustavi koriste napredne senzore i softverske alate kako bi pouzdano detektirali i pratili vozila, što omogućuje preciznije modeliranje prometa i bolje upravljanje prometnim tokovima. AVI tehnologija igra ključnu ulogu u modernim prometnim sustavima, pružajući važne podatke za analizu prometa, sigurnost na cestama i planiranje infrastrukture.

Procjena prometnog stanja i predviđanje za ATMS/ATIS

Sposobnost predviđanja kratkoročnog razvoja prometnih uvjeta tijekom i nakon incidenta ključna je za učinkovito upravljanje i kontrolu prometa. Ovdje se fokusiramo na metode primjenjive unutar sustava za upravljanje prometom (ATMS) i putničkih informacijskih sustava (ATIS), koji koriste podatke u stvarnom vremenu iz senzora postavljenih u mreži. Nakon obrade podataka, primjerice filtriranjem odstupanja, primjenjuju se odgovarajući statistički i prometni modeli kako bi se generirale informacije potrebne za procjenu i predviđanje kratkoročnih promjena u prometnim uvjetima uzrokovanih incidentima. Ovi podaci također mogu poslužiti kao ulaz za sofisticiranije prometne modele koji podržavaju upravljanje prometom na širem području [34].

Tehnološki scenarij za ovu primjenu uključuje:

- **Detekcija točaka s diskretnom vremenskom rezolucijom:** Primjer su konvencionalni detektori poput induktivnih petlji i radara, koji mjere protok vozila (vozila/sat), popunjenost ceste (postotak vremena), brzinu na određenoj točki (km/h) i sastav prometa (postotak lakih i teških vozila).
- **Detekcija točaka s kontinuiranom vremenskom rezolucijom:** Magnetometri, primjerice, mjere vrijeme ulaska i izlaska vozila na detektoru, omogućujući procjenu protoka, brzine na točki, popunjenosti ili sastava prometa.
- **Napredni AVI detektori:** Ovi sustavi bilježe vremenske oznake, identifikaciju vozila ili uređaja, te omogućuju ponovno prepoznavanje nizvodno, pružajući podatke o vremenu putovanja.
- **Kontinuirana vremensko-prostorna detekcija:** Praćenje putem GPS uređaja ili povezanih automobila daje podatke o vremenskim oznakama, lokaciji (koordinate X, Y, Z), lokalnoj brzini i smjeru kretanja, ključnih za analizu incidenta.

- **Mobilni telefoni:** Pored GPS podataka, mobilni telefoni pružaju prostorno-vremenska opažanja kroz mobilnu signalizaciju, koja su korisna za praćenje učinaka incidenta na promet [34].

Za učinkovito upravljanje i korištenje ovako velike količine podataka unutar ATMS-a i ATIS-a, neophodno je kombinirati složene statističke tehnike poput jezgrinog izgladivanja, Kalmanovog filtriranja i Bayesovih mreža s matematičkim modelima prometnog sustava.

Strategije upravljanja prometom

Kontrola obujma prometa (strategije temeljene na potražnji) i homogenizacija prometnih tokova (strategije temeljene na ponudi) predstavljaju dva ključna pristupa za poboljšanje prometne situacije u preopterećenim prometnim mrežama.

Kontrola obujma prometa može se provoditi putem:

- **Cjenovnih i informacijskih strategija** koje imaju za cilj preusmjeriti potražnju prema manje zagušenim vremenskim razdobljima ili drugim oblicima prijevoza. Primjeri uključuju naplatu zagušenja i prometne informacijske sustave u stvarnom vremenu.
- **Preusmjeravanje prometa** kako bi se optimizirala izvedba prometnog sustava, bilo kroz pružanje informacija u stvarnom vremenu vozačima ili putem promjenjivih znakova s porukama.
- **Ograničenje ulaza u područja sklona zagušenjima** korištenjem perimetarske kontrole, primjerice putem prilagodbe vremena signalizacije na semaforima [34].

U slučaju prometnog incidenta, usklađivanje protoka može se primijeniti kako bi se spriječilo dodatno pogoršanje situacije i održala stabilnost prometa.

Usklađivanje protoka može se postići kroz:

- **Ramp metering**, koji regulira dotok vozila na autocestu kako ukupni protok ne bi premašio kapacitet autoceste. Ovo se može smatrati oblikom perimetarske kontrole za autoceste, gdje se promet usmjerava na autocestu dok se višak vozila zadržava u sekundarnoj mreži. Međutim, sustavi za mjerenje na rampama obično prekidaju ovu regulaciju kada se prometna gužva s rampe prelijeva na okolne ceste, što nije slučaj s perimetarskom kontrolom.
- **Promjenjiva ograničenja brzine**, koja prilagođavanjem brzine na cestama u blizini zagušenih područja ili nezgoda nastoje održati optimalne razine protoka i spriječiti pogoršanje prometnih uvjeta prije nego što dođe do zastoja [34].

4.2. Upravljanje incidentima

Upravljanje incidentima obuhvaća probleme u pogledu tehničkih, tehnoloških, organizacijskih, ekonomskih i društvenih procesa koji se mogu proučavati u različitim prostorno vremenskim sustavima. Upravljanje incidentima može se opisati kao uporaba koordinacijskih aktivnosti od strane više aktera u svrhu povratka prometnog toka u stanje normalnih uvjeta odvijanja nakon incidentnog događaja. Pravovremeni odaziv žurnih službi osnovni je zahtjev pri nastanku prometne nesreće kojim se osigurava tj. povećava učinkovitost spašavanja stradalih u nesreći, a ITS tehnologije u funkciji sigurnosti prometa omogućuju detekciju sudara u realnom vremenu, lociranje mjesta nesreće, brzi odaziv žurnih službi i bolju koordinaciju sustava zaduženog sa rješavanje prometnih incidenata [22].

Zlatni sat (*golden hour*) predstavlja vremenski period, koji traje od nekoliko minuta do nekoliko sati nakon nastanka teže tjelesne ozljede, u kojem postoji velika vjerojatnost da hitna medicinska intervencija može spriječiti smrtni ishod [22].

Aktivna optimizacija sustava upravljanja incidentima potrebna je kako bi se minimizirale pogreške i zaostajanja hitnih službi te kako bi se spasilo što više ljudskih života kod nastanka incidenta. Stanje sustava upravljanja incidentima direktno i indirektno utječe na:

- Brže otkrivanje incidenta
- Povećanje količine i kvalitete informacija i podataka o incidentu
- Brži odgovor hitnih službi na incident
- Smanjenje potencijalnih, sporednih nesreća i incidenata
- Spašavanje većeg broja ljudskih života
- Brže vraćanje normalnog prometnog toka

Vrste incidenata

Pojam incidenta može se definirati na različite načine ukoliko se definiraju sa različitih gledišta. U aspektu prometa, incident se može definirati kao svaki neplanirani, slučajni događaj u prometu koji loše utječe na prometne uvjete tj. svaki događaj nakon kojeg se javljaju odstupanja od regularnog prometnog toka, a da je rezultirao potencijalnom prometnom nesrećom. Prometna nesreća definirana je kao događaj na cesti u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu i u kojem je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula ili u roku od 30 dana preminula od posljedica te prometne nesreće ili je izazvana materijalna šteta [22].

Incidente je moguće klasificirati po različitim kriterijima pa tako ne postoji uniformna raspodjela incidenata već ih različite kulture definiraju po svojim prioritetima. Pa tako neke zemlje incidente definiraju prema njihovom utjecaju na prometni tok dok ih druge zemlje definiraju prema kriteriju troškova koji su direktna posljedica nastalog incidenta. Generalna podjela incidenata je na primarne i sekundarne gdje se sekundarni incidenti definiraju kao posljedica primarnih (npr. nalet vozila na zaustavljeno vozilo). Sekundarni incidenti često rezultiraju većom štetom i većim posljedicama za čovjeka pa je tako primarni zadatak sustava upravljanja incidentima reagirati na sprječavanje ili minimiziranje sekundarnih incidenata [22].

Faze upravljanja incidentima

Postoji sedam ključnih faza upravljanja incidentima koje moraju biti procesuirane u trenutku nastanka incidenta. Tih sedam faza uključuje:

1. Detektirani incident mora biti zabilježen što je prije moguće
2. Incident mora biti verificiran i klasificiran
3. Analiza optimalnog rješenja problema
4. Javljaju se dvije opcije razvoja situacije:
 - a. Optimalno rješenje problema je nađeno i incident se može riješiti u ovoj fazi
 - b. Optimalno rješenje problema nije nađeno te se incident prebacuje drugoj interesnoj skupini za pronalazak rješenja
5. Postupak se ponavlja dok rješenje nije pronađeno
6. Pronađeno rješenje se provodi kako bi se uklonio incident
7. Analiza situacije nakon incidenta [23].

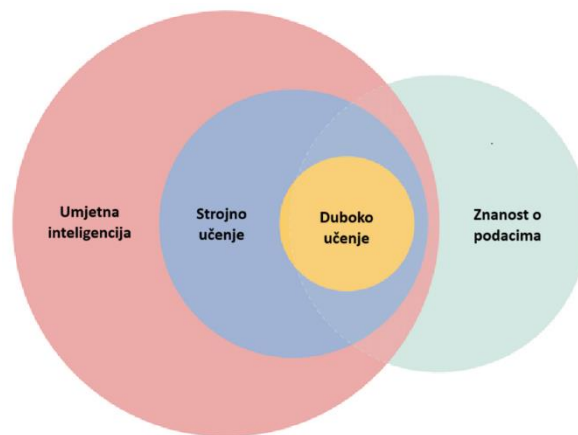
4.3. Tehnologije upravljanja

Tehnologije upravljanja obuhvaćaju na alate i sustave koji omogućuju učinkovito prikupljanje, analizu i prikaz podataka. Alati poput umjetne inteligencije i strojnog učenja sve više utječu na modernizaciju upravljanja i donošenje odluka.

4.3.1. Umjetna inteligencija (AI) i strojno učenje (ML)

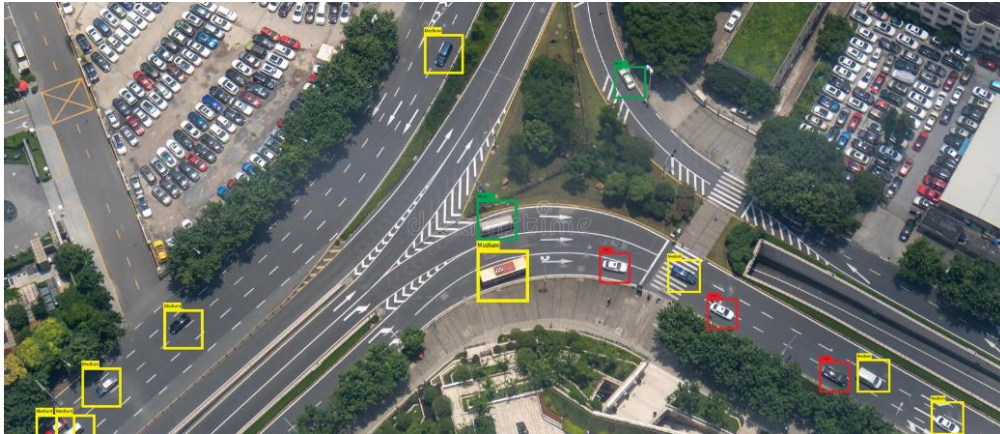
Korištenjem automatske kategorizacije incidenata, koja se temelji na analizi podataka i umjetnoj inteligenciji, značajno se smanjuje vrijeme obrade incidenta i smanjuju se potencijalne greške nastale čovjekovim djelovanjem. Također, uvođenjem umjetne inteligencije u sustav upravljanja incidentima, rasterećuju se agenti pozivnih i podatkovnih centara te se znatno smanjuju i troškovi održavanja sustava. Danas, porastom umjetne inteligencije, već se u pojedinim sustavima koriste takvi alati kako bi unaprijedili samo funkcioniranje sustava [23].

U takvim, analitičkim sustavima se dosta često javlja uporaba strojnog učenja, a njegova glavna uloga je samostalno učenje i prikupljanje podataka o prošlim slučajevima, te korištenje tog znanja kako bi se mogli riješiti budući slični problemi. Strojno učenje je jedna od metoda u području umjetne inteligencije, a njegova ideja je učiti analitičke sustave kako samostalno analizirati uzorke, izgraditi uzročno posljedične veze te na temelju toga donositi odluke bez potrebe za ljudskom prisutnošću. Strojno učenje se može koristiti u svim fazama upravljanja incidentima, od mogućeg predviđanja pojave incidenta i klasifikacije incidenta do zaduženja hitnih službi, asistiranja prilikom dolaska na mjesto incidenta ili pronalaženje najboljih rješenja kod zbrinjavanja incidenta. Na slici 3 prikazan je odnos Umjetne inteligencije i strojnog učenja [23].



Slika 3 - Odnos AI i ML

Za detekciju incidenata iz vozila koriste se automatizirani uređaji poput CCTV kamera koje kontinuirano snimaju okolinu te upozoravaju vozača ukoliko detektiraju incident. Za detekciju incidenta koriste se dva algoritma, Haar i AdaBoost algoritam. Haar algoritam omogućava izvlačenje detalja o određenim karakteristikama objekata poput vrhova, kontura ili gradijenata. Nakon prikupljanja podataka, AdaBoost koristi sustav „pomičnog prozora“ koji se koristi za detekciju. Prilikom rada algoritma, „pomični prozor“ prolazi kroz prikupljenu sliku te detektira ukoliko se na njoj nalazi vozilo ili drugi objekt. Na slici 3 prikazan je rad AdaBoost algoritma za detekciju vozila [24].



Slika 4 - AdaBoost algoritam za detekciju vozila

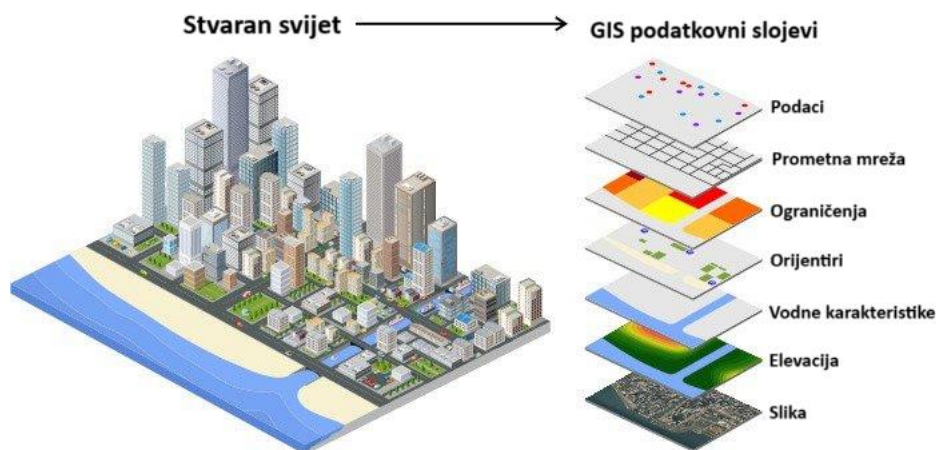
4.3.2. GIS platforma

Sustav Geografskih informacija tj. GIS sustav se definira kao metodologija koja se koristi za bilježenje, pohranjivanje, upravljanje i prikaz geoprostornih podataka koristeći računalne elemente. Pet osnovnih elemenata koji omogućuju rad GIS sustava su:

- Hardver – računalo na kojem sustav radi
- Softver – pruža funkcije i alate za pohranjivanje, obradu i prikaz podataka
- Podaci – prostorni podaci koji se odnose na geografske karakteristike koje se mogu predstaviti pomoću koordinata
- Korisnici – kvalificirano osoblje (operatori, tehničari i sl.)
- Metodologija – postupci i regulacije kojim se obrađuju i analiziraju podaci [25].

GIS sustav se u području upravljanja incidentima koristi za proizvodnju geografskih podataka koji su relevantni za nastali incident. GIS se u upravljanju incidentima koristi u četiri segmenta. Prvi predstavlja planiranje i analizu gdje se pomoću GIS sustava mogu prikazati ranjivosti određenog područja. U području upravljanja podacima, GIS pruža podatkovnu platformu gdje se primarne informacije mogu integrirati sa ostalim informacijama koje su potrebne za upravljanje incidentima. Situacijska svjesnost igra veliku ulogu u reagiranju na nastale incidente i ona se postiže preko GIS sustava tako što je moguće vidjeti gdje i koji incidenti se događaju u stvarnom vremenu. GIS koristi lokacijske elemente za poboljšanje rada agenata na terenu. Agenti na temelju tih podataka planiraju, navigiraju i bilježe svoje rute za brži dolazak na lokaciju incidenta [25].

Na slici 5 prikazan je rastavljen softverski sustav GIS-a tj. prikazani su slojevi koji se nalaze unutar sustava te je svaki od elemenata moguće izolirati za dobivanje bitnih informacija.



Slika 5 - Slojevi GIS platforme

4.3.3. Cloud računalstvo

Cloud računalstvo predstavlja model kojim se omogućava prilagodljiv pristup mreži na zahtjev na kojoj se pohranjuju računalni resursi poput servera, aplikacija ili usluga. Svrha Cloud računalstva je brzo i efikasno implementiranje sustava s minimalnim trudom menadžmenta ili bez potrebne interakcije pružatelja usluga. Model Cloud računalstva sadrži pet glavnih karakteristika i tri modela usluga [30].

Glavne karakteristike:

- Samo-usluga – za korištenje sustava nije potrebna prisutnost pružatelja Cloud usluge
- Pristup širokoj mreži – podaci su dostupni za razmjenu putem mreže te im se može pristupiti putem klasičnih računalnih uređaja
- Udruživanje resursa – različiti resursi mogu se spojiti te ih mogu koristiti različiti korisnici istovremeno
- Elastičnost – resursi su prilagodljivi i mogu se pružiti u kratkom roku
- Mjerljiva usluga – mjerenje korištenja usluga pruža transparentnost korisniku i pružatelju usluga

Modeli usluga:

- Infrastruktura kao usluga (IaaS) – korisnik može osigurati resurse poput pohrane, servera ili mreža s mogućnošću kontroliranja parametara usluge.
- Platforma kao usluga (PaaS) – Korisnik pristupa korisnim podacima i sustavima preko univerzalne platforme preko koje može upravljati karakteristikama sustava

- Softver kao usluga (SaaS) – pružatelj Cloud usluge regulira parametrima sustava te korisniku pruža softver unutar kojeg korisnik može upravljati određenim elementima vezanih za osobnu uporabu [30]

U kontekstu upravljanja incidentima, Cloud okruženje igra glavnu ulogu u povećanju transparentnosti i jednostavnosti istrage incidenata. Isto tako, sustav ima poprilično standardizirano sučelje koje je javno dostupno što olakšava korištenje sustava i sami pristup podacima o incidentu. Kompletiranost sustava može poboljšati i sami sigurnosni sustav podataka [30].

4.4. Upravljanje incidentima podatkovnim pristupom

Za omogućavanje upravljanja incidentima podatkovnim pristupom potrebno je osigurati kritičnu tj. vitalnu infrastrukturu (SCCI) i njene komponente (CIC) koja uključuje korištenje pametnijih operacija i elemenata za adaptivnije, inteligentnije i povezanije procese. Trenutne procedure odgovora na incidente temelje se na zastarjelim tehnikama razmjene informacija i pružaju vrlo malo mogućnosti promjene unutar kritične infrastrukture. Za provođenje analize rizika kod različitih incidenata, potrebno je osigurati velike količine podataka koji uključuju geografske, povijesne, prostorne, vremenske ili socio-ekonomske podatke [21].

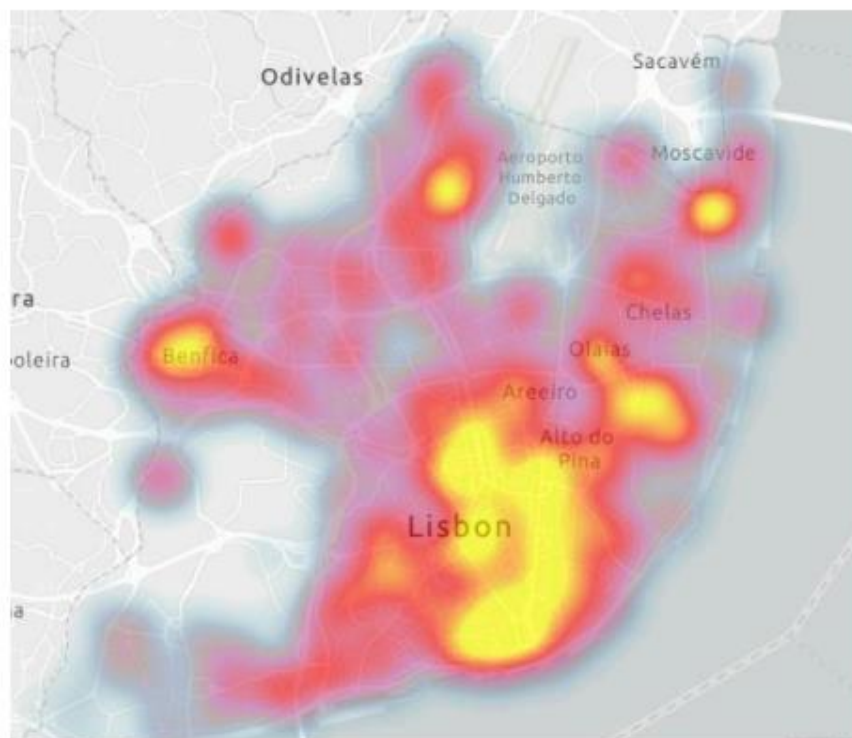
Kod podatkovnog upravljanja, definiraju se četiri glavne kategorije pod koje se može svrstati bilo koji tip incidenta u gradu. Te kategorije su:

- Požari
- Infrastruktura
- Industrijsko-tehnološki
- Nesreće

Na temelju ovih kategorija, različite potkategorije su se spojile kako bi dobili bolju percepciju i analizu podataka te kako bi za pojedinu kategoriju bilo dostupno što više različitih podataka. U razdoblju od 2011. do 2018. godine, u gradu Lisabonu je provedena analiza incidenata te se ustanovilo kako je najviše incidenata kategorizirano pod industrijsko-tehnološke incidente te taj postotak iznosi 36.57%. Incidenti koji su svrstani pod infrastrukturu uključuju poplave i urušavanja te je u periodu analize zabilježeno 26.94% incidenata. 21.28% svih incidenata svrstano je pod nesreće te ostalih 15.21% se odnosi na požare [21].

Vizualizacija prostorno-vremenskih podataka pomaže pri boljoj konstrukciji generalne slike situacije te pruža vizualnu strukturu koja je lako razumljiva i može se koristiti u svim procesima upravljanja incidentima. Na temelju povijesnih podataka incidenata kreira se vizualizacija u obliku toplinskih karata, gdje se različitim bojama prikazuju mjesta različitih

količina i vrsta incidenata. Generalna slika prikazuje žarišna područja nastanka incidenata te može poslužiti kao temelj za planiranje i predviđanje budućih potencijalnih incidenata. Sa tehničkog gledišta, različite nijanse boja mogu indicirati mjesta gdje pojedini incident ima veći utjecaj na okolinu ili se različiti incidenti preklapaju površinski. Za civilnog korisnika, toplinske karte predstavljaju interaktivan i vizualno privlačan pogled područja mogućih incidenata. Na slici 4 prikazana je toplinska karta za grad Lisabon gdje se jasno vide područja različitih boja i nijansi [21].



Slika 6 - Toplinska karta Lisabona

Vizualizacija podataka direktno utječe na donošenje odluka i svjesnost situacije pri upravljanju incidentima. Također, uz vizualizaciju omogućava se automatsko ispunjavanje izvještaja o incidentu u stvarnom vremenu, što poboljšava kvalitetu podatak i donesenih odluka. Korištenjem vizualizacije olakšava se planiranje dostupnosti interventnih timova u svakom trenutku tj. na bilo kojoj lokaciji unutar područja upravljanja incidentima [21].

U tablici 1 prikazano je kako je sustav u Lisabonu definiran prema karakteristikama incidentima te elementima koji utječu na sami incident. Broj znakova „+“ označava intenzitet mogućih incidenata tj. moguće korelacije između elemenata gdje više znakova „+“ znači veća povezanost elemenata.

Tablica 1 -Korelacija vrste incidenta i elemenata koji utječu na incident

	Broj vozila	Broj ljudskih resursa	Vremenski uvjeti
Industrijsko-teh.	++	+++	+
Infrastruktura	++	+	+++
Požari	+++	++	+
Nesreće	+	+	+

Nepredvidivost i slučajnost pojave incidenta znatno utječe na predviđanje budućih incidenata i tako otežava proces upravljanja incidentima. Unatoč tome, moguće je uočiti na kojim prostornim područjima se pojavljuje najviše incidenata, pa se tako mogu pružiti informacije ključne za rješavanje incidenta i prije njegovog nastanka. Takve informacije znatno smanjuju vrijeme odgovora na incident i odabira ispravnog rješenja što direktno utječe na efektivnost rješavanja incidenta [21].

Korištenjem algoritma minimalne šume omogućava se bolja pripremljenost službi za upravljanje incidentima te sami odgovor žurnih službi na incident. Vizualni prostorni podaci su korisne informacije za određivanje potencijalnih lokacija intervencijskih timova kako bi se smanjila udaljenost od područja s velikim brojem potencijalnih incidenata.

Povijesni podaci sadrže potencijal za utvrđivanje uzoraka nastanka incidenata koji mogu poslužiti za predviđanje i prioritiziranje budućih incidenata. Analiza tih podataka omogućava bolje urbano planiranje grada te integraciju različitih sustava što omogućava korištenje informacija za nadolazeće slučajeve. Ispravnim pristupom incidentu značajno se smanjuje potencijalno stvaranje dodatnih posljedica incidenta i sprječava se kaskadni efekt na druge podsustave u gradu. Rudarenje podataka koji možda i nisu relevantni za incidente važni su za identificiranje prostorno-vremenskih uzoraka koji olakšavaju upravljanje izvanrednim situacijama. Uz skupljanje podataka i njihovu analizu, potrebno je uključiti više građana kod pomoći u upravljanju incidentima koristeći napredna sučelja, društvene mreže i komunikacijske sustave za prikupljanje većeg broja podataka [21].

4.5. Upravljanje incidentima u sektoru prometa

Za sektor prometa, kod upravljanja incidenta vrlo je bitna elastičnost same prometne mreže i pripadajućih sustava. Pod pojmom elastičnosti smatramo sposobnost sustava da se u što kraćem vremenu vrati normalne uvjete rada nakon pojave smetnje i odstupanja. Upravljanje incidentima i komunikacijske procedure značajno utječu na elastičnost prometnog sustava nakon nastanka incidenta u prometu tj. prometne nesreće.

U slučaju da se incident dogodi na nekoj gradskoj prometnici, putnici i prolaznici mogu pozvati broj za hitne slučajeve 112 da obavijeste nadležne službe o nastalom incidentu. Nadležne službe predstavljaju policiju, vatrogasnu službu i službu hitne pomoći. Operator u nadležnoj službi mora prikupiti od korisnika sve potrebne informacije o nastalom incidentu i zaprimljene informacije šalje u koordinacijski centar za upravljanje incidentima gdje se informacije analiziraju i obrađuju. Koordinacijski centar zatim obavještava žurne službe te im dodjeljuje radne zadatke temeljene na vrsti i veličini incidenta. Dolaskom vozila žurnih službi na mjesto incidenta, one su dužne voditi bilješke i informacije o zatečenoj situaciji i svim relevantnim događajima te složiti izvještaj o cijelom incidentu [27].

Operatori žurnih službi do sad su koristili govorne komunikacijske sustave tj. preferirali su komunicirati i bilježiti sve preko mobitela što je, iako pružalo brzu i učinkovitu komunikaciju, stvaralo probleme kod transkripta tih podataka u sustav. Kako bi se izbjegao taj problem, znanstvenici Sveučilišta u Delftu razvili su poseban sustav za bilježenje informacija i komunikaciju. Taj sustav se naziva „*Crisis App*“ (krizna aplikacija). Sustavski princip aplikacije temelji se na posebnom indikatoru koji ima sposobnost detekcije dijelova prometne mreže sa smanjenom elastičnosti tj. gdje se potencijalno javio zastoje. „*Link Performance Indeks for Resilience*“ indikator analizira sposobnost oporavka prometnog toka te prevenciju nastanka prometnih zagušenja [27].

Novi takav sustav je postavljen u Nizozemskoj te se sastoji od:

- „*Crisis App*“ aplikacije – koristi se za prijavu informacija vezanih uz incidente i povezane radnje te služi za komunikaciju među operatorima žurnih službi
- „*Distributed Blackboards*“ sustav – služi za pohranjivanje svih informacije koje su stavljene u aplikaciju te se unutar njih informacije obrađuju i dijele među agentima žurnih službi
- „*Knowledge Based System*“ sustav – obrada i analiza podataka se temelji na definiranim procedurama i pravilima koja su proizašla iz prijašnjih situacija [27].

Kada se incident dogodi, puno korisnika koristi svoje mobilne telefone da bi prijavili nastanak incidenta i tražili pomoć. Nerijetko se dogodi da se telefonska mreža preoptereći pozivima te se blokira komunikacija između operatora žurnih službi. Kako bi se to izbjeglo, razvijena je posebna komunikacijska mreža C2000 koja se sastoji od odašiljača i antena na krovovima zgrada te omogućava sigurnu i zaštićenu komunikaciju među operatorima [27].

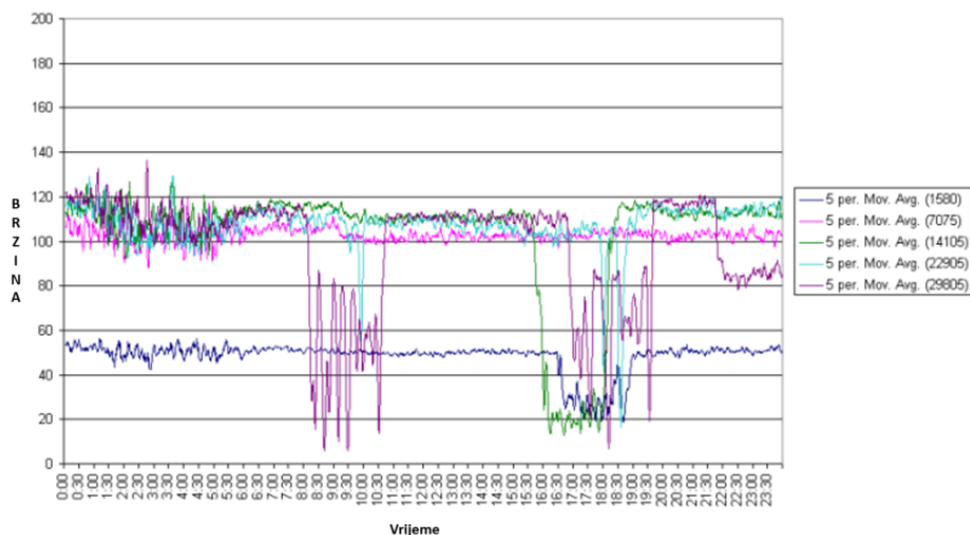
Prikupljanjem informacija o incidentima, moguće je kreirati generalni model incidentnih situacija. Podaci su organizirani u pet skupina i to su:

- Lokacija
- Promet
- Vozila

- Osobe
- Faktori rizika

Ručna obrada primljenih podataka može uzeti previše korisnog vremena pa su se kreirale automatizirane procedure obrade. U sustav su se postavile ključne riječi, sinonimi, aliasi i kratice koje su se najčešće koristile u prošlim incidentima. Korištenjem povijesnih informacija, napravljene su univerzalne šablone mogućih incidenata kojima je ideja smanjiti potrebno vrijeme kreiranja izvješća [27].

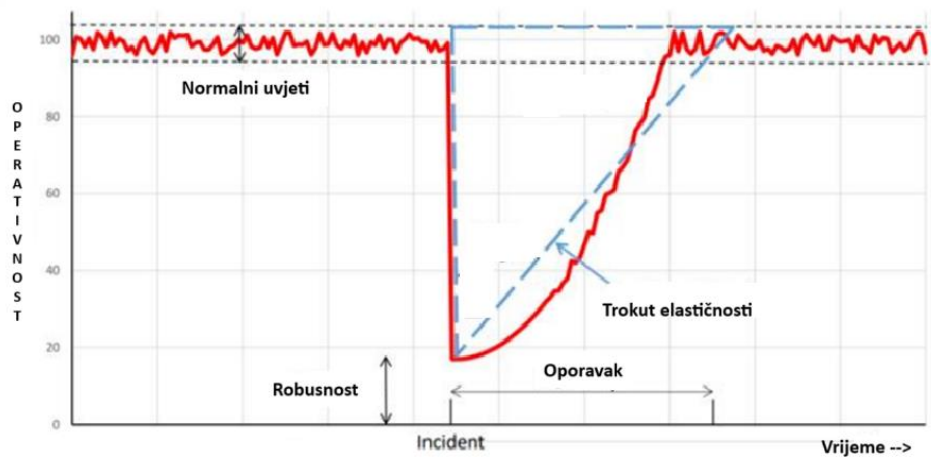
Za analizu podataka o elastičnosti prometne mreže, napravljen je graf prosječne brzine na promatranom dijelu prometnice unutar jednog dana. Na grafu na slici 6 prikazani su podaci o prosječnim brzinama na autocesti gdje je ograničenje brzine 120 km/h za osobne automobile tj. 100 km/h za kamione. Na grafu je moguće vidjeti kako prosječna brzina varira između te dvije vrijednosti uz poneko smanjenje brzine u određenim vremenskim periodima.



Slika 7 - Odnos prosječne brzine i vremena na autocesti

Smanjenje može biti uzrokovano različitim razlozima. U slučaju zastoja, vidljivo je znatno smanjenje brzine te uzastopno vraćanje na normalnu prosječnu brzinu nakon nekog vremena. Ovakav incident gdje se zastoji šire kroz prometnicu se nazivaju šok valovi. Šok valovi mogu imati velike posljedice na upravljanje incidentima jer postoji velika mogućnost za nastanak novog incidenta te se otežava sami dolazak vozila žurnih službi na mjesto incidenta.

Područje pada brzine dobro je mjerilo za prometna kašnjenja. To područje se može prikazati pomoću trokuta elastičnosti koji se nalazi na slici 7. Iz trokuta se mogu izvući podaci o elastičnosti i robusnost prometne mreže te vremenu vraćanja prometa u normalizirani tok [27].



Slika 8 - Trokut elastičnosti

Uvođenje naprednih sustava poput "Crisis App" i "C2000" značajno povećava elastičnost prometne mreže, omogućujući bržu reakciju i bolju koordinaciju tijekom incidenta. Time se smanjuje vrijeme oporavka prometnog toka i minimiziraju negativni učinci šok valova, što doprinosi sigurnijem i učinkovitijem upravljanju incidentima.

5. Primjeri postojećih arhitektura upravljanja incidentnim situacijama

Većina sustava upravljanja incidentima se temelji na zastarjelim informacija i sustavima koji nisu kompatibilni s razvojem tehnologije te dodatno otežavaju posao zbrinjavanja incidenata. U nastavku opisana su dva izolirana slučaja gdje se razvojem tehnologije unaprijedio sustav upravljanja incidentima. Slučajevi opisuju digitalizaciju organizacije Lavendon koja se nalazi u Engleskoj, te je opisan razvoj novog sustava vatrogasne službe okruga Kildare koji se nalazi u Irskoj. Također, opisana su dva slučaja državnih sustava upravljanja incidentima gdje se sustav koristi u čitavoj državi. Opisani su slučajevi za Nizozemsku i Austriju.

5.1. Studija slučaja – Lavendon Grupa PLC

Lavendon grupa predstavlja vodećeg trgovca u najmu pristupne opreme s napajanjem. Trenutno su prošireni na 11 zemalja kroz Europu i Aziju te imaju preko 20 000 pristupnih platformi. Glavni prioritet kompanije bio je zaštititi radnike, imovinu i usluge te je bilo potrebno kreirati sustav koji će povezati sve komponente sustava i osigurati smanjenje incidenata [28].

Incidenti kompanije se mogu svrstati u osam skupina i to su: privremeni gubitak velikog broja osoblja, uskraćivanje lokacije korisnika, gubitak struje, remećenje transporta, gubitak vode i otpadnih voda, gubitak ulja ili goriva, gubitak IT i telekomunikacijskih usluga te ozbiljni incidenti [28].

Neki zahtjevi na koje je stavljen fokus u ovom projektu bili su:

- Održavanje planova – obzirom na veličinu kompanije, korisnik mora imati mogućnost održavanja točnih planova i informacija u čitavoj grupaciji
- Stvarnovremenske obavijesti o incidentima – voditeljski tim mora imati kontinuirano praćenje incidenata jer nisu uvijek bili prisutni u centru za upravljanje
- Povezivanje timova za vrijeme incidenta – operacijski timovi su najčešće koristili sms, poziv ili email u komunikaciji i bilo je teško držati cjelokupnu situaciju pod nadzorom takvom vrstom komunikacije
- Konzistentno odgovaranje na incidente – bio je potreban alat kojim bi osoblje moglo odgovarati na incidente tj. da se uspješno provode predefimirani planovi

Kako bi se zadovoljili svi zahtjevi grupacije, kreiran je ICR sustav tj. centralni globalni sustav upravljanja čime su osigurali centralizaciju svih komponenata i podatak u jedan centar upravljanja. Korisnik sustava ima potpunu kontrolu nad administracijom te ima mogućnost kreiranja i postavljanja novih planova za upravljanje u kompaniji. ICR sustav je osmišljen u obliku aplikacije koja je dostupna preko mobilnih uređaja i sadrži sve potrebne informacije

za upravljanje incidentima. Unutar aplikacije omogućeno je trenutno praćenje incidenata te se automatiziralo objavljivanje izvještaja o incidentima što uvelike štedi na vremenu [28].

5.2. Studija slučaja – Vatrogasna služba okruga Kildare

Kildare okrug je digitalizacijom unaprijedio svoj sustav donošenja odluka i upravljanja incidentima. Pod vodstvom nacionalnog sustava upravljanja, implementirali su odbor upravljanja incidentima (ICB) i podatkovni sustav unutar vozila (VDMS). Glavne aktivnosti sustava su:

- Sakupljanje podataka o nastalom incidentu
- Dokumentiranje odluka
- Kreiranje zapisnika o incidentima
- Slanje povratne informacije nakon raščišćavanja incidenta
- Pohranjivanje relevantnih podataka
- Dopuštanje pristupa 130 predefiniраниh akcijskih planova za rješavanje incidenta [29].

Glavni problem vatrogasne službe predstavljale su zastarjele informacije i zastarjeli način prikupljanja podataka (sustavi temeljeni na papirnatim dokumentima). Vrlo je bilo koristiti takve podatke na licu mjesta te se vrlo često događalo da su akcije spašavanja bile improvizirane ili nepotpune. Sustav prikupljanja podataka nije bio na potrebnoj razini intuitivnosti tj. vrlo često su se javljale greške i problemi u pristupu podacima koji su relevantni za operatore. Značajan problem predstavljale su i prirodna ograničenja poput izostavljanja informacija o datumu i vremenu, nemogućnosti međusobne razmjene informacije to prostorna ograničenja na terenu. Sustav također nije dobro funkcionirao prilikom loših vremenskih uvjeta što stvara problem u prilagodbi sustava na situaciju [29].

Kako bi se sustav optimizirao te sam rad vatrogasne službe poboljšao, implementirana je aplikacija „ICR: Fire and Rescue“ unutar koje se osigurala zadovoljavajuća razmjena informacija, mogućnost korištenja informacija na terenu te se povećala i sama učinkovitost kara vatrogasne službe. Benefiti nove aplikacije su:

- Mogućnost korištenja informacija na samom mjestu incidenta. Aplikacija je puno jednostavnija i lakša za korištenje od papirnatih dokumenata.
- Dostupnost standardnih smjernica upravljanja incidentima kroz aplikaciju. Operateri imaju direktan pristup informacijama koje utječu na donošenje odluka kod rješavanja ne standardnih incidenata.
- Direktna povezanost operatera i nacionalnog sustava upravljanja incidentima. Operatori direktno mogu bilježiti stanje na terenu te automatski prosljeđivati informacije nadležnom centru
- Poboljšana komunikacija

- Velika baza prijašnjih incidenata
- Automatski zapis vremenskih podataka iz kojih se može detaljno može analizirati sami rad vatrogasne službe
- Smanjenje troškova. Mobilni uređaji su puno pristupačniji od računalnih i papirnih sustava koji su se koristili [29].

5.3. Studija slučaja – Nizozemska

Kao dio Nizozemske vlade, Rijkswaterstaat (Ministarstvo Infrastrukture i Vode) upravlja svim operacijama na prometnicama. U suradnji sa policijom, vatrogasnom službom, hitnom pomoći prometnim tvrtkama, ministarstvo je predstavilo sustav upravljanja incidentnim situacijama. Glavni cilj sustava bio je smanjenje kašnjenja nastalog pojavom incidenta te povećanje sigurnosti prometnog sustava.

Unutar Ministarstva za transport, usluge upravljanja incidentima pruža Verkeerscentrum Nederland (centar za upravljanje prometom) dok se istraživanja i razvoj koordiniraju preko Centra za transport i navigaciju [31].

Nizozemska je kreirala grupe za rasprave gdje različita vijeća diskutiraju o političkim pitanjima. Vijeća su definirana u tri razine te su unutar svakog vijeća zastupljeni svi članovi sustava upravljanja incidentima:

- Vijeće upravljanja incidentima – konzultacije se provode na strateškoj razini te se utvrđuju dugoročne političke smjernice. Također, diskutira se o implementaciji i osiguranju novih inicijativa unutar organizacije
- Nacionalna platforma za upravljanje incidentima – konzultacije se provode na taktičkoj razini te se utvrđuju odgovornosti i načini realizacije zahtjeva. Također, diskutira se o koordinaciji novih inicijativa unutar organizacije
- Regionalna platforma za upravljanje incidentima – konzultacije se provode na konzultacijskoj razini te se diskutira o praktičnim elementima sustava [31].

Rijkswaterstaat upravlja s pet centara za upravljanje prometa koji igraju značajnu ulogu u upravljanju incidentima. Oni predstavljaju točke kontakta između prometnih operatera i prometnih službenika. Glavna zadaća centara je nadzor i praćenje prometa i prometnih uvjeta te samo upravljanje prometom. Za prikupljanje podataka koriste se senzorske opreme i kamere postavljene na žarišnim točkama u prometnom sustavu. Više od 50% prometne mreže u Nizozemskoj opremljeno je sa sustavima upozorenja za vozače preko kojih se upozorava vozače o nastalom incidentu ili zagušenjima u prometu [31].

5.4. Studija slučaja – Danska

Danska uprava za cestovni promet (DRD) je predstavljala prometne informacije korisnicima kroz medije dugi niz godina. 1998. opseg posla DRD-a se znatno povećao te je od tada bila zadužena za operacijske aktivnosti na prometnoj mreži, dva odjela za raspodjelu poslova održavanja te tri regionalna ureda za upravljanje incidentima. Regionalni uredi zaduženi su za osiguranje protočnosti prometa i sigurnosti glavne prometne mreže te blisko surađuju s incidentnim službama [31].

DRD upozorava vozače o nastalim incidentima te policija može zatražiti pomoć DRD za postavljanje markera na cesti te uklanjanje prepreka u blizini incidenta. Manji prometni incidenti direktno se rješavaju preko Centra za prometne informacije te se izvještaj šalje policijskoj službi. Glavna zadaća DRD-a može se podijeliti na četiri elementa:

- Primati i prosljeđivati alarme
- Upozoravati korisnike u prometu te upravljati prometom
- Informirati policiju i službu spašavanja o nastalim incidentima
- Pružati pomoć sa prenosivim oznakama na cesti [31].

Trafikman je sustav za elektroničko odašiljanje prometnih informacija. Na temelju informacija koje su dobivene od strane policije i prometnih službi, odašiljanje se odvija preko Centra za prometne informacije te se informacije objavljuju preko različitih medija.

Reporterman je sustav koji se koristi za zapisivanje nastalih incidenata. Ulazne podatke najčešće daju operateri koji se nalaze u prometnoj mreži, ali se mogu primati i putem vanjskih korisnika [31].

6. Mogućnosti poboljšanja arhitekture upravljanja incidentima

Uz konstantne napretke u tehnologiji upravljanja incidentima, potrebno je održavati korak s njima te implementirati „nove“ sustave u sami proces upravljanja. U ovom poglavlju razmotriti će se neke potencijalne opcije za nadograđivanje sustava upravljanja incidentima u prometu te kako oni utječu na samu optimizaciju.

6.1. Napredni sustav za detekciju i klasifikaciju incidenata koristeći stvarno-vremenski računalni vid

Tehnologije temeljene na umjetnoj inteligenciji mogu značajno poboljšati vrijeme reakcije na prometne nesreće, smanjujući time stopu smrtnosti. U skladu sa strateškim ciljem „Vizija 2030.“ za smanjenje broja prometnih incidenata i njihovih posljedica, započeo je razvoj sustava za otkrivanje nastalih incidenata i slanje obavijesti nadležnim službama koristeći *Deep learning* metode i računalni vid. Sustav je namijenjen praćenu incidenata u stvarnom vremenu, procjenu kompleksnosti incidenta te obavještavanje najbližeg centra zaduženog za zbrinjavanje nastalih incidenata [33].

Sustav je podijeljen u tri modela koji zajedno čine prototip sustava:

1. **Model za detekciju i praćenje vozila:** Model koristi detektore objekata YOLOv5 i *DeepSORT Tracker* za detekciju i praćenje vozila, pri čemu svakom vozilu dodjeljuje jedinstveni identifikacijski broj. Model je nakon testiranja pokazao točnost od 99.2% što ukazuje na vrlo visoku preciznost praćenja i detekcije.
2. **Model za klasifikaciju incidenata i procjenu kompleksnosti:** Koristeći YOLOv5 algoritam, model detektira i procjenjuje kompleksnost nastalog incidenta. Model radi s točnošću od 83.3%. U slučaju težih incidenata, model sadrži opciju automatskog obavještavanja nadležnih službi.
3. **Model za detekciju požara:** Za otkrivanje požara, model koristi algoritam ResNet152 koji u slučaju detekcije požara automatski šalje upozorenje vatrogasnoj službi. Model pri radu postiže točnost od 98.8% [33]

Koristeći tehnike paralelnog računanja, javlja se smanjenje složenosti i vremena obrade podataka što omogućuje simultani i učinkoviti rad. Ovaka pristup osigurava brzu detekciju i klasifikaciju incidenata te slanje obavijesti čime se povećava i sama učinkovitost sustava. Sustav se temelji na računalnom vidu te nudi rješenje koje se provodi kroz pet faza. Koristi se za otkrivanje incidenata u područjima manjeg i većeg kapaciteta prometa te sadrži otpornost u lošim uvjetima vidljivosti i nepovoljnim vremenskim uvjetima.

Faza 1 – Detekcija i praćenje vozila – U ovoj fazi, sustav u stvarnom vremenu obrađuje video zapise CCTV (Closed-circuit Television) nadzora prometa kako bi detektirao sve vrste motornih vozila (automobili, kamioni, autobusi i motocikli). *DeepSORT* algoritam je integriran u arhitekturu sustava te omogućuje precizno praćenje vozila dodjeljivanjem jedinstvenog identifikacijskog broja svakom vozilu. Identifikacija vozila ključna je za određivanje stanja vozila kod nastanka incidenta.

Faza 2 – Otkrivanje incidenta i klasifikacija kompleksnosti – Druga faza uključuje detektiranje nastalog incidenta te procjena razine ozbiljnosti posljedica incidenta. Ukoliko sustav odredi da se radi o umjerenom ili teškom incidentu, automatski se prelazi na iduću fazu radi daljnje analize podataka.

Faza 3 – Detekcija požara u vozilu nakon sudara – U trećoj fazi, sustav detektira požar koji je nastao uslijed incidenta. Omogućuje brzo prepoznavanje situacija koje se smatraju opasne i potencijalno ugrožavajuće te koje zahtijevaju hitnu reakciju nadležnih službi.

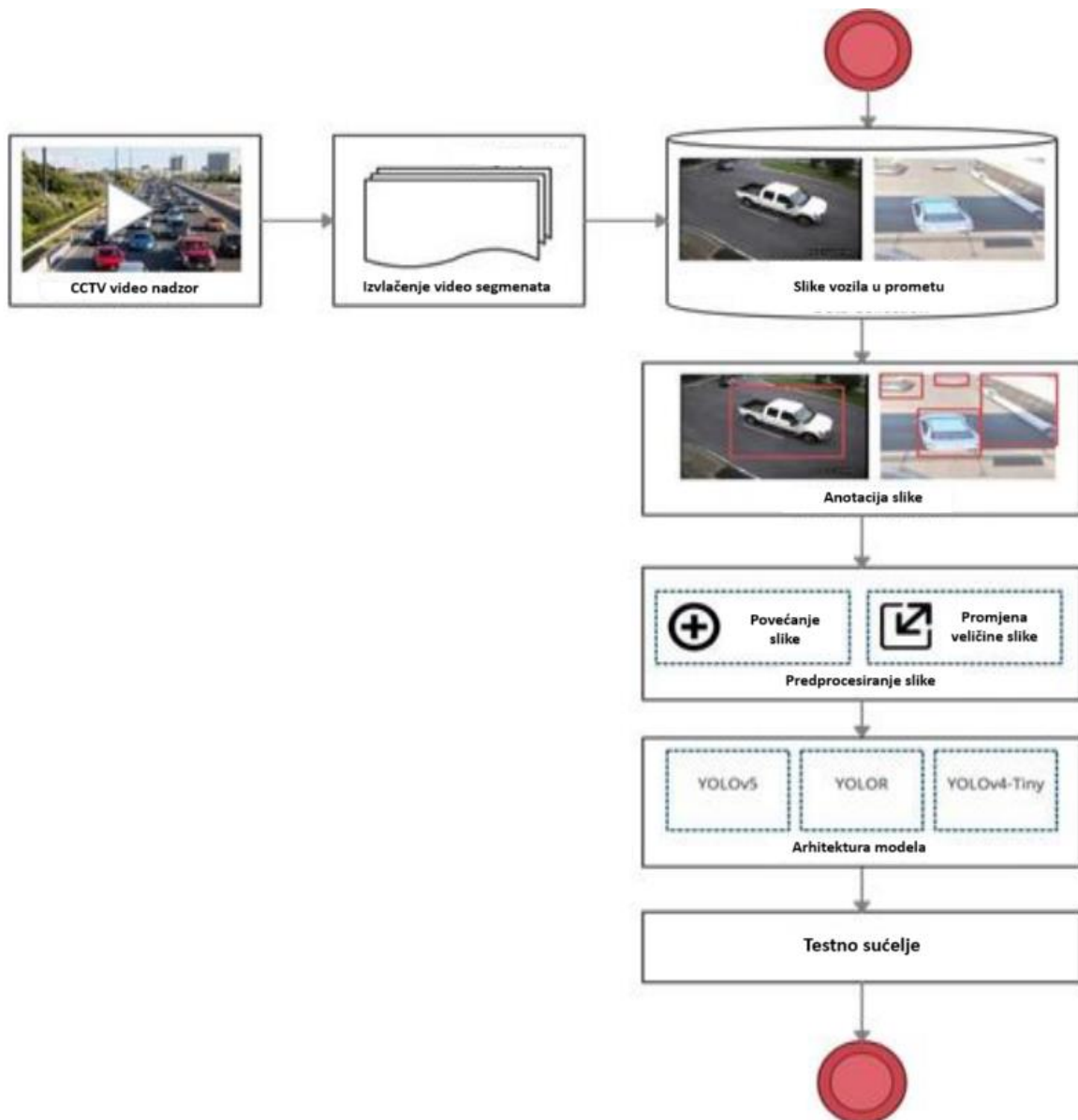
Faza 4 – Sustav za obavještanje putem e-pošte: U četvrtoj fazi aktivira se sustav za uzbuñjivanje putem e-pošte, koji automatski obavještava nadležne službe radi brze reakcije i kako bi mogli poduzeti odgovarajuće mjere, minimizirajući kašnjenja između nastanka incidenta i dolaska hitnih službi na mjesto incidenta.

Faza 5 – Integracija modela – U završnoj fazi, sustav integrira tri prethodno navedena modela u jedan automatizirani sustav koji smanjuje vrijeme obrade podataka te poboljšava učinkovitost sustava [33].

Za detekciju vozila sustav koristi tri verzije konvolucijskih neuronskih mreža (CNN) pod imenom YOLO (*You Only Look Once*): YOLOR, YOLOv5 i YOLOv4-Tiny. Nakon detekcije vozila u pojedinačnim segmentima video nadzora koristeći YOLO detektor, sustav precizno prati i bilježi kretanje svakog zahvaćenog vozila. To se postiže integracijom algoritma za praćenje koji je poznat pod nazivom *DeepSORT Tracker* [33].

DeepSORT Tracker se koristi kako bi se minimizirale greške nastale tijekom različitih pokreta video nadzora u stvarnom vremenu. Sustav se sastoji od dvije komponente, detekcije i praćenje koje identificiraju vozila unutar okvira video nadzora te koje pridodjeljuju odgovarajući identifikacijski broj svakom vozilu.

Iako je sustav vrlo razvijen, daljnji razvoj može se bazirati na uvođenju modela za prepoznavanje automobilskih registracija što bi omogućilo identifikaciju vozila i prikupljanje podataka o vozilima koji su uključeni u incident. Na slici 9 prikazana je arhitektura kompletnog sustava za detekciju i klasifikaciju incidenata koristeći stvarno-vremenski računalni vid [33].



Slika 9 - arhitektura sustava za detekciju i klasifikaciju incidenata koristeći računalni vid

Kao dio budućeg razvoja, planira se uvođenje modela za lokalizaciju registarskih pločica kako bi se dodatno unaprijedile mogućnosti sustava za identifikaciju vozila uključenih u nesreću.

6.2. Predviđanje potencijalnih lokacija incidenata koristeći ML model baziran na Geohash algoritmu

Geohash algoritam, kojeg je razvio Gustavo Niemeyer, predstavlja tehniku kodiranja geografskih podataka na način da podatke pretvara u niz za prikazivanje koordinata u skraćenom formatu. *Geohash* prikazuje pravokutnu ćeliju na Zemljinoj površini definiranih dimenzija te koristi binarni sustav za prikazivanje podataka tj. algoritam geografske podatke skraćuje u niz binarnih brojeva.

6.2.1. Opis sustava

Uz *Geohash* algoritam, koriste se i drugi algoritmi za omogućavanje predviđanja lokacija potencijalnih incidentnih situacija. Ti algoritmi su *Decision Tree* algoritam, *Random Forrest* algoritam i *Nearest Neighbour* algoritam te se uz njih koristi i *Support Vector Machine* (SVM) koji primarno služi za pružanje podrške algoritmima [26].

***Decision Tree (DT)* algoritam**

DT algoritam je algoritam za strojno učenje koji stvara „stablo“ uvjeta za predviđanje ciljanih vrijednosti kod problematike vezane uz klasifikaciju i regresiju. Algoritam započinje u korijenskom čvoru te se „grana“ u različite smjerove na temelju procjene odnosa među elementima u skupu podataka. Za svaki potencijalni ishod se generira ceći broj čvorova te se grana sve dok ne dođe do završne odluke. Glavna svrha algoritma je pronaći element koji treba ponovno testirati na jednom čvoru i zatim ga kopirati na drugi čvor [26].

***Random Forrest (RF)* algoritam**

RF algoritam predstavlja model koji se sastoji od većeg broja DT algoritama. Glavna svrha algoritma je spajanje zastupljenih DT algoritama te spajanje njihovih završnih odluka što utječe na točnost i stabilnost u procesu predviđanja lokacija.

***Nearest Neighbour (NN)* algoritam**

NN algoritam je vrsta modela koji se koristi za klasifikaciju i predviđanje regresijskih vrijednosti.

Support Vector Machine (SVM)

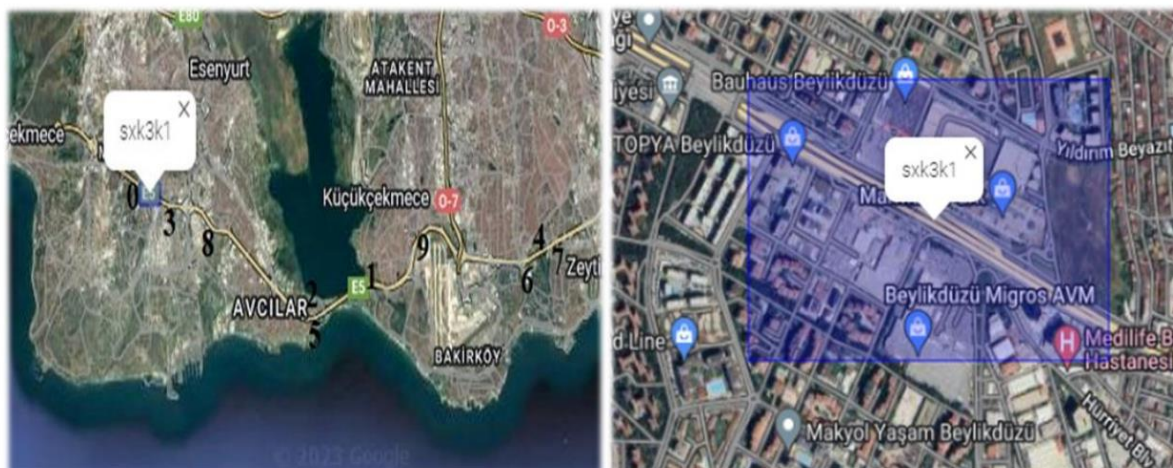
SVM predstavlja algoritam strojnog učenja i služi kao nadzorni algoritam u procesima klasifikacije i regresije. Algoritam ima mogućnost razdvajanja podataka na linearni i nelinearni način što ga čini dosta svestranim. Koristi se za rješavanje problema klasifikacije podataka koristeći hiper-ravninu koja odvaja podatke u dvije klase.

Uz navedene algoritme, koristi se metoda *GridSearchCV* (*Cross Validation* pretraživanje mreže) kojoj je glavna svrha optimizacija parametara u ML algoritmima koji su

prethodno navedeni. Radi poboljšanja performansi, metoda bira optimalne značajke podataka koji se obrađuju tj. testira kombinacije u skupu parametara te određuje skupove koji daju najbolje rezultate [26].

6.2.2. Primjer korištenja sustava

U svrhu prikaza funkcionalnosti samog sustava, napravljen je slučaj uporabe u Istanbulu. Radi velikog broj incidenata i značajnih poremećaja prometnog toka, Istanbul pruža kvalitetne podatke koji se mogu iskoristiti za testiranje takvog sustava. U fazi prikupljanja podataka, svakoj lokaciji incidenta dodijeljen je *Geohash* kod koristeći ArcGIS softver. Ukupan broj prometnih incidenata na području istraživanja moguće je podijeliti na 682 *Geohash* područja s time da je svako područje dimenzija $1.22 * 0.61 \text{ km}^2$. Za svako područje izvučena je statistika o incidentima te je moguće zabilježiti i učestalost nastanka incidenta za svako pojedino područje. Nakon određene vremenske domene u kojem su se bilježili podaci o nesrećama ustanovljeno je kako je u većini *Geohash* zabilježen vrlo mali broj incidenata, no u pojedinim zonama je taj broj prelazio granice normale. Kao područje s najvećim brojem incidenata (koji uključuju nesreće, kvarove vozila i slično) pokazao se okrug Beylikduzu-Bakirkoyu s ukupno 5114 incidenta stoga je to područje odabrano kao područje istraživanja. Na slici 10 prikazano je *Geohash* područje odabranog područja istraživanja te je označeno kodom „sxk3k1“ [26].



Slika 10 - Geohash područje okruga Beylikduzu-Bakirkoyu

Kako bi ispitivanja bila validna i precizna, potrebno je koristiti modele i algoritme strojnog učenja koji su prethodno navedeni. Uz snimanje i bilježenje nastalih incidenata u stvarnom vremenu, podaci su izvučeni iz nacionalnih baza podataka poput državnih institucija i portala otvorenih podataka. Sama analiza podataka pokazala je odličan uspjeh algoritama za otkrivanje i sortiranje nastalih incidenata korištenjem geografskih podataka iz *Geohash*

područja. Sposobnost uspješnog predviđanja modela može se koristiti za automatska upozorenja nadležnih službi i upravljanje hitnim situacijama nakon inkomponiranja istih u sustav upravljanja prometom. Predviđanje potencijalnih lokacija nastanka incidenta omogućuje da kadar upravljanja prometom može unaprijed reagirati na moguće incidente. Također, time se povećava učinkovitost korištenja resursa i planiranja akcija zbrinjavanja incidenta [26].

Ukoliko se stvarnovremenski podaci koji utječu na nastanak incidenta ugrade u model, prometni incidenti se s vrlo visokom točnošću mogu predvidjeti i detektirati. Predviđanje može značajno poboljšati upravljanje prometom i sigurnosti optimiziranjem prometnog toga u gusto naseljenom području.

6.3. Korištenje bespilotnih letjelica za detektiranje incidenta

Bespilotne letjelice (UAV – *Unmanned Aerial Vehicles*) se mogu koristiti u raznovrsne svrhe, uključujući snimanje prostora, dostavu, praćenje vremenskih uvjeta i slično. Razvojem tehnologije, kreirane su male bespilotne letjelice (sUAS) koje uključuju funkcionalnosti poput korištenja GPS sustava, automatiziranu pomoć pri letu te automatsko samostalno vraćanje na početnu lokaciju. Navedene funkcionalnosti civilnim korisnicima omogućuju jednostavno upravljanje letjelicama koje se mogu koristiti u privatne ili javne svrhe. Glavne prednosti sUAS letjelica su sposobnost okomitog polijetanja i slijetanja što značajno smanjuje vrijeme i potreban prostor pokretanja i polijetanja. Osim te mogućnosti, stabilnost pri lebdenju omogućava korištenje sUAS letjelica u svrhe nadzora i video produkcije što može imati veliki utjecaj na upravljanje prometnom i incidentima [35].

Budući da se zastoji povećavaju na mnogim cestama, prikupljanje pravovremenih i točnih podataka o prometu ključno je za odvijanje i upravljanje prometom. Tradicionalno praćenje prometa postiže se ugradnjom stacionarnih uređaja za nadzor prometa poput radarskih senzora, video kamera ili detektora. sUAS letjelice mogu se smatrati dopunama postojećim uređajima za praćenje prometa jer one koriste sustave poput analitike za brojanje prometa i LiDAR sustav koje neki od stacionarnih uređaja ne podržavaju. Sloboda kretanja letjelici pruža mogućnost snimanja i detekcije prometne situacije iz više pogleda čime se može lako i točno ustanoviti o kakvom događaju je riječ, bilo to zagušenje ili nastali incident. Letjelica također ima funkcionalnost prijenosa uživo te se stvarnovremenska snimka može pratiti bez potrebe za odlazak službi na teren što značajno utječe na raspolaganje resursima. Na slici 11 prikazan je koncept sustava korištenja bespilotnih letjelica kod nadzora prometa [35].



Slika 11 - Princip rada sustava bespilotnih letjelica za nadzor prometa

Postojeća ITS arhitektura dizajnirana je za korištenje podataka o prometu u stvarnom vremenu s kamera, senzora brzine itd. Prikupljene informacije se šalju u Centar za upravljanje prometom (TMC) gdje se integriraju i obrađuju [35].

Prometne gužve nastaju kada potražnja za dionicom postane veća od maksimalnog operativnog kapaciteta te dionice što rezultira manjim brzinama, zastojeima i produljenjem vremena putova čime se dodatno potencira nastanak incidenta. Ukoliko na dionici dođe do zastoja, no stacionarne kamere i uređaji nemaju čisti pogled na uzrok zastoja, bespilotne letjelice mogu promijeniti svoju lokaciju te direktno snimiti točku uzroka i ustanoviti koji je razlog zastoja.

Praćenje prometa iz zraka može biti ključno za osiguranje brzog otkrivanja lokacije incidenta i brze reakcije na incident. Određene kategorije incidenata kao što su sudari, zaustavljena/zaustavljena vozila i krhotine na kolniku često su praćene velikim zastojeima što rezultira težim prolaskom vozila žurnih službi do mjesta incidenta. Korištenjem bespilotnih letjelica vrlo brzo se može detektirati incident kako bi žurne službe mogu reagirati na vrijeme [35].

Zaključak

Širenjem urbanih sredina te razvojem novih tehnologija, javlja se potreba za implementacijom novih sustava u gradsku mrežu kako bi se povećala kvaliteta života građana. Koncept pametnog grada predstavlja skup elemenata koji u suradnji omogućuju upravo to te njegova arhitektura predstavlja sve nužne aspekte za njegovo funkcioniranje. Radi održavanja sigurnosti i protočnosti prometnog sustava, upravljanje incidentima u prometu predstavlja jedan od ključnih elemenata koncepta pametnog grada. Tehnologije koje se koriste za razvoj pametnih gradova također predstavljaju i bazu rada sustava upravljanja incidentima.

Optimizacijom samog sustava te implementiranjem naprednih tehnologija poput umjetne inteligencije i strojnog učenja moguće je postići vrlo visoku efikasnost takvog sustava. Kroz komunikacijske tehnologije, sama protočnost podataka i brzina rješavanja incidenta ima skokovit rast u efektivnosti čime se postiže spašavanje većeg broja života i sprječavanje potencijalnog nastanka sekundarnih incidenata.

Upravljanje incidentnim situacijama korištenjem naprednih tehnologijama još uvijek se smatra neistraženim područjem pa tako postoje razni načini kako se isti može dodatno optimizirati. Neki od primjera spomenutih u radu su korištenje računalnog vida kod detektiranja incidenata ili korištenje *Geohash* algoritma za omogućavanje predviđanja potencijalnih lokacija nastanka incidenta. Ispravno raspolaganje resursima i pravilno korištenje tehnologija može smanjiti nastanak incidenta te smanjiti vrijeme odziva na incident za čak 50%.

Literatura

- [1] Cabral, Eric Lucas dos Santos et al. *Response time in the emergency services. Systematic review*. Acta Cirurgica Brasileira. 2018, v. 33, n. 12, pp. 1110-1121. Preuzeto s: <https://doi.org/10.1590/s0102-865020180120000009> [Pristupljeno: 27. lipnja 2024.]
- [2] London Ambulance Service NHS. *Ambulance response categories*. Preuzeto s: <https://www.londonambulance.nhs.uk/calling-us/ambulance-response-categories/#:~:text=Category%20one%3A%20for%20life%2Dthreatening,average%20time%20of%2018%20minutes> [Pristupljeno: 27. lipnja 2024.]
- [3] TWI global. *What is a smart city? Definition and examples.*; 2024. Preuzeto s: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-smart-city#:~:text=A%20smart%20city%20uses%20information,government%20service%20and%20citizen%20welfare> [Pristupljeno: 27. lipnja 2024.]
- [4] Architexturez. *How LA Used Big Data to Build a Smart City in the 1970s.*; 2015. Preuzeto s: <https://architexturez.net/pst/az-cf-169297-1435054977> [Pristupljeno: 27. lipnja 2024.]
- [5] Brown W. Medium. *The origins of the Smart City.*; 2021. Preuzeto s: <https://will-brown.medium.com/the-origins-of-the-smart-city-85acfd5b7715> [Pristupljeno 27. lipnja 2024.]
- [6] Verdict. *History of smart cities: Timeline.*; 2024. Preuzeto s: <https://www.verdict.co.uk/smart-cities-timeline/> [Pristupljeno: 27. lipnja 2024.]
- [7] Duplico IT. *Što je IoT ili Internet of things?*; 2024. Preuzeto s: <https://duplico.io/sto-je-iot-ili-internet-of-things/#:~:text=IoT%20ili%20internet%20stvari%20je,unutar%20mre%C5%BEe%20bez%20ljudske%20pomo%C4%87i> [Pristupljeno: 29. lipnja 2024.]
- [8] Grubišić I. *Bežične senzorske mreže*. Seminarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva; Preuzeto s: <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Wireless%20Sensor%20Networks.doc> [Pristupljeno: 29. lipnja 2024.]
- [9] MindMajix. *Big Data Modeling*; 2023. Preuzeto s: <https://mindmajix.com/big-data-modeling> [Pristupljeno: 29. lipnja 2024.]
- [10] Versitron. *The Crucial Role of Network Connectivity in Smart City Development.*; 2023. Preuzeto s: <https://www.versitron.com/blogs/post/the-crucial-role-of-network-connectivity-in-smart-city-development> [Pristupljeno: 29. lipnja 2024.]
- [11] A. Wirsbinna, "The Evaluation of Economic Benefits of Smart City Initiatives: A Category Approach", *SIER*, vol. 1, no. 1, pp. 32–42, 2021. Preuzeto s: <https://doi.org/10.52514/sier.v1i1.4> [Pristupljeno: 30. lipnja 2024.]
- [12] Velatia. *Main benefits of smart cities.*; 2020. Preuzeto s: <https://www.velatia.com/en/blog/main-benefits-of-smart-cities/#:~:text=Smart%20Cities%20harness%20information%20and,can%20make%20cities%20more%20efficient> [Pristupljeno: 30. lipnja 2024.]

- [13] Johnson K. Climate Foresight. *Environmental benefits of smart city solutions.*; 2018. Preuzeto s: <https://www.climateforesight.eu/articles/environmental-benefits-of-smart-city-solutions/> [Pristupljeno: 30. lipnja 2024.]
- [14] Alzyoud, F., Al-Falah, R., Tarawneh, M., Tarawneh, O. *Security Challenges and Solutions in Smart Cities.* 2024. Preuzeto s: https://doi.org/10.1007/978-3-031-56950-0_22 [Pristupljeno: 30. lipnja 2024.]
- [15] Weber, M.; Podnar Žarko, I. *A Regulatory View on Smart City Services.* *Sensors* 2019, 19, 415. Preuzeto s: <https://doi.org/10.3390/s19020415> [Pristupljeno: 30. lipnja 2024.]
- [16] Bošnjak I., *Inteligentni transportni sustavi – ITS 1*, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2006. [Pristupljeno: 1. srpnja 2024.,]
- [17] Predavanje: „Uvod u ITS arhitekturu“, Miroslav Vujić – Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, 2024. [Pristupljeno: 1. srpnja 2024.]
- [18] ISO. *ISO: Global standards for trusted goods and services.* Preuzeto s: <https://www.iso.org/home.html> [Pristupljeno 1. srpnja 2024.]
- [19] ETSI. 2024. Preuzeto s: <https://www.etsi.org/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2024.]
- [20] NTCIP. Preuzeto s: <https://www.ntcip.org/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2024.]
- [21] Elvas, L.B.; Marreiros, C.F.; Dinis, J.M.; Pereira, M.C.; Martins, A.L.; Ferreira, J.C. *Data-Driven Approach for Incident Management in a Smart City.* *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 8281. <https://doi.org/10.3390/app10228281> [Pristupljeno: 4. srpnja 2024.]
- [22] *Upravljanje incidentnim situacijama u prometu.* Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti 2020. Preuzeto s: https://moodle.srce.hr/2023-2024/pluginfile.php/9660038/mod_resource/content/1/DARFT-006_UISUP%20SRUDENTSKA%20VERZIJA.pdf [Pristupljeno 4. srpnja 2024.]
- [23] Blinnikova, A. V., Nesterova, Ju. O. (2020). *Incident management in ITSM using artificial intelligence.* *Vestnik Universiteta* ,6, 36–40. Preuzeto s: <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-6-36-40> [Pristupljeno: 6. srpnja 2024.]
- [24] Olugbade, S.; Ojo, S.; Imoize, A.L.; Isabona, J.; Alaba, M.O. *A Review of Artificial Intelligence and Machine Learning for Incident Detectors in Road Transport Systems.* *Math. Comput. Appl.* **2022**, *27*, 77. Preuzeto s: <https://doi.org/10.3390/mca27050077> [Pristupljeno: 6. srpnja 2024.]
- [25] Ayawa M., Jibril M., *GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) FOR DISASTER MANAGEMENT.* *TIJBEES*, vol. 3, no. 4, 2024. Preuzeto s: <https://taapublications.com/tijbees/article/view/136> [Pristupljeno: 7. srpnja 2024.]
- [26] Ulu, M.; Kilic, E.; Türkan, Y.S. *Prediction of Traffic Incident Locations with a Geohash-Based Model Using Machine Learning Algorithms.* *Appl. Sci.* **2024**, *14*, 725. <https://doi.org/10.3390/app14020725> [Pristupljeno: 28. kolovoza 2024.]
- [27] Rothkrantz L., *Resilience of Incident Management in Smart Cities; Smart City Symposium Prague (SCSP)*, Prague, Czech Republic, 2023, pp. 1-6, doi: 10. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10146223> [Pristupljeno: 8. srpnja 2024.]

- [28] Incident Control Room. *Case Study – Nationwide Platforms (Lavendon Group plc)*; Preuzeto s: <https://www.incidentcontrolroom.com/case-studies/case-study-lavendon/> [Pristupljeno 8. srpnja 2024.]
- [29] Incident Control Room. *Case Study – Kildare County Fire Service*; Preuzeto s: <https://www.incidentcontrolroom.com/case-studies/kildare-county-fire-service/> [Pristupljeno 8. srpnja 2024.]
- [30] DiVA. *IT security: Exploring the Benefits of Cloud Computing for Incident Response*; Lulea University of Technology, 2023. Preuzeto s: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1762911&dswid=-2051> [Pristupljeno: 9. srpnja 2024.]
- [31] *Traffic Incident Response Practices in Europe*; USA, 2026. Preuzeto s: https://international.fhwa.dot.gov/tir_eu06/ [Pristupljeno: 9. srpnja 2024.]
- [32] Montes J., *A Historical View of Smart Cities: Definitions, Features and Tipping Points*; 2020. Preuzeto s: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3637617 [Pristupljeno: 10. srpnja 2024.]
- [33] Namdeo K., Deshmukh R., *Advanced Traffic Incident Detection and Classification with Real-Time Computer Vision*; Kalinga University, Chhattisgarh, India, 2024. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 11. 629-638. 10.32628/IJSRST2411330. [Pristupljeno: 15. kolovoza 2024.]
- [34] Allstrom A., Barcelo J., *Traffic management for smart cities*; Linkopings University, 2016. [Pristupljeno: 16. kolovoza 2024.]
- [35] NJIT; *Research of UAS Applications in Traffic Monitoring and Incident Management*; New Jersey, 2017. Preuzeto s: https://zhong-byte.github.io/doc/report_2a2_uas_tim_researchreport_20170331.pdf [Pristupljeno: 28. kolovoza 2024.]

Popis slika

Slika 1 - Protočnost prometa sa i bez ITS-a	9
Slika 2 - Tijek razvoja ITS arhitekture	10
Slika 3 - Odnos AI i ML	20
Slika 4 - AdaBoost algoritam za detekciju vozila	21
Slika 5 - Slojevi GIS platforme	22
Slika 6 - Toplinska karta Lisabona	24
Slika 7 - Odnos prosječne brzine i vremena na autocesti.....	27
Slika 8 - Trokut elastičnosti	28
Slika 9 - arhitektura sustava za detekciju i klasifikaciju incidenata koristeći računalni vid.....	35
Slika 10 - Geohash područje okruga Beylikduzu-Bakirkoyu	37
Slika 11 - Princip rada sustava bespilotnih letjelica za nadzor prometa	39

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ ZAVRŠNI 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 ___Arhitektura sustava upravljanja incidentima u konceptu pametnog grada_____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, __5.9.2024. __

____RINO DOBRANIĆ____
(ime i prezime, potpis)