

# Procjena rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu

---

Čaić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*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:119:990088>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Marko Čaić**

**PROCJENA RIZIKA ZA SUSTAVE UPRAVLJANJA  
INCIDENTNIM SITUACIJAMA U PROMETU**

**DIPLOMSKI RAD**

**Zagreb, 2021.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 17. svibnja 2021.

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

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 6466

Pristupnik: **Marko Čaić (0135228972)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Procjena rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu**

Opis zadatka:

Analiza troškova i koristi je metodološki postupak koji je uključen u svaki projekt, a jedan od temeljnih dijelova koji treba biti uključen u analizu troškova i koristi je procjena rizika. U diplomskom radu potrebno je definirati procjenu rizika, te njezin metodološki postupak na koji način se provodi. Procjenu rizika je potrebno prikazati i na primjerima, te opisati kroz preporučene korake koji su potrebni za procjenu rizika. Također, treba izraditi analizu slučaja procjene rizika za sustav upravljanja incidentnim situacijama u prometu.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

doc. dr. sc. Pero Škorput

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**DIPLOMSKI RAD**

**PROCJENA RIZIKA ZA SUSTAVE UPRAVLJANJA  
INCIDENTNIM SITUACIJAMA U PROMETU**

**RISK ASSESSMENT FOR TRAFFIC INCIDENT  
MANAGEMENT SYSTEMS**

Mentor: Doc. dr.sc. Pero Škorput

Student: Marko Čaić

JMBAG: 0135228972

Zagreb, 2021.

## SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je *Procjena rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu*. Analiza troškova i koristi je metodološki postupak koji je uključen u svaki projekt, a jedan od temeljnih djelova koji treba biti uključen u analizu troškova i koristi je procjena rizika. U diplomskom radu biti će razrađena i definirana procjena rizika, te njezin prilagođen metodološki postupak na koji način se provodi. Procjenu rizika biti će prikazana i na primjerima, te opisana kroz preporučene korake koji su potrebni za procjenu rizika. Također će biti izrađena analiza slučaja procjene rizika za sustav upravljanja incidentnim situacijama u prometu. Rezultati istraživanja dati će opće pisanu metodologiju procjene rizika, te će se pobliže objasniti prijedlog prilagođene metodologije sustava upravljanja incidentnim situacijama u prometu.

**Ključne riječi:** Inteligentni transportni sustavi (ITS), Upravljanje incidentnim situacijama u prometu, Procjena rizika, Analiza troškova i koristi

## SUMMARY

The theme of this graduate thesis is Risk Assessment for Traffic Incident Management Systems. Cost-benefit analysis is a methodological process involved in each project, and one of the fundamental parts to be included in a cost-benefit analysis is risk assessment. In the diploma thesis, the risk assessment will be elaborated and defined, as well as its adapted methodological procedure in the way it is carried out. The risk assessment will also be presented on examples, and described through the recommended steps required for risk assessment. A case analysis of the risk assessment for the traffic incident management system will also be made. The results of the research will provide a generally written methodology for risk assessment, and a proposal for an adapted methodology for traffic incident management systems will be explained in more detail.

**Keywords:** Intelligent Transport Systems (ITS), Incident Traffic Management, Risk Assessment, Cost-Benefit Analysis

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Uvod</b> .....  | 1  |
| <b>2. Upravljanje incidentima u prometu</b> .....                                     | 3  |
| 2.1. Prijedlog prilagođene metodologije incidentnim situacijama u prometu.....        | 4  |
| 2.2. Povezanost sustava – ITS arhitektura.....  | 6  |
| <b>3. Karakterizacija sustava upravljanja incidentnim situacijama u prometu</b> ..... | 8  |
| 3.1. Korisnici .....  | 10 |
| 3.2. Fizičko lociranje.....   | 11 |
| 3.3. Tehnološke komponente .....  | 12 |
| 3.4. Podaci koji koristi sustav i koji se koriste u sustavu .....                     | 12 |
| <b>4. Analiza prijetnji i ranjivosti</b> .....  | 14 |
| 4.1. Procjena rizika.....   | 16 |
| 4.2. Tablice.....   | 22 |
| <b>5. Analiza slučaja</b> .....   | 23 |
| 5.1. Pristupi procjene rizika.....  | 25 |
| 5.2. Tehnike pristupa procjene rizika od sudara.....                                  | 36 |
| 5.3. Sudionici.....   | 38 |
| <b>6. Zaključak</b> .....   | 39 |
| <b>7. Literatura</b> .....  | 40 |
| <b>8. Popis ilustracija</b> .....   | 41 |
| 8.1. Popis slika .....  | 41 |
| 8.2. Popis tablica .....  | 41 |

# 1. Uvod

Cilj istraživanja u ovom diplomskom radu je analizirati i prepoznati kritične pokazatelje u procjeni rizika za sustav upravljanja incidentnim situacijama. Pokazatelji, bili pozitivni ili negativni, imaju značajan utjecaj na funkcionalni, financijski i/ili ekonomski performans projekta.

Svrha ovog rada je prilagoditi metodologiju procjenom rizika kontekstu razvoja sustava i upravljanja incidentnim situacijama na prometnicama, te analizom osjetljivosti omogućiti donošenje nekih prosudbi o riziku projekta i oportunitetu poduzimanja poteza za prevenciju rizika.

Sva trenutna istraživanja i projekti koji su implementirani imaju izrađenu kompleksnu funkciju upravljanje rizikom, od koje je temelj procjena rizika. Jedan od primjera su kamere za brzinu, prometnice i raskrižja. Kamere imaju više djelovanja jer uz prikupljene podatke pomažu policijskim i prometnim službama ne samo u rješavanju prometnih prekršaja već i u identifikaciji drugih počinjenih prekršaja. Videonadzor je smanjio izlazak na teren policijskih službenika u nekim situacijama, te im omogućio veću pokrivenost i kontrolu većeg broja područja i lokacija za isti broj djelatnika u službi, te se tako mogu bolje rasporediti u slučaju neke druge incidentne situacije i tako brže djelovati.

Očekivani rezultati istraživanja procjene rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu najviše se tiče prepoznavanja nepovoljnih događaja s kojima se projekt može susresti. Sve prometne aktivnosti nose rizik nesreće korisnika, bilo zbog mehaničkog kvara ili češće pod utjecajem ljudskih grešaka. Nesreće vozila su događaji koji se zbivaju u svim načinima prijevoza. Potpunost, kvaliteta i integracija signalizacije i sigurnosni sustavi uvelike doprinose smanjenju stopa nesreća, te stoga i ovo treba uzeti u obzir u ekonomskoj analizi, dok procjenom rizika dosadašnja razmatranja društvenih troškova i koristi nameću stav da ta analiza predstavlja osnovu za definiranje projekta, procjenu projekta i izbor projekta. Rezultati istraživanja dati će opće pisane metodologije procjene rizika, te će se pobliže objasniti prijedlog prilagođene metodologije sustava upravljanja incidentnim situacijama u prometu.

Naslov diplomskog rada je „*Procjena rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu*“. Podijeljen je u šest sljedećih poglavlja:

1. Uvod
2. Upravljanje incidentima u prometu
3. Karakterizacija sustava upravljanja incidentnim situacijama u prometu
4. Analiza prijetnji i ranjivosti
5. Analiza slučaja
6. Zaključak

U drugom poglavlju objašnjen je sustav upravljanja incidentnim situacijama, te je prikazan prijedlog prilagođene metodologije incidentnih situacija u prometu i povezanost sustava s ITS arhitekturom i procjenom rizika.

U trećem poglavlju prikazane su karakterizacije sustava upravljanja incidentnim situacijama, te prikaz njenih faza upravljanja incidentnom situacijom. Korisničkim zahtjevima, tehnološkim komponentama i podacima koji koristi sustav dolazi do izražaja sami sustav, te na koji se način pristupa i obrađuje incidentna situacija.

U četvrtom poglavlju opisana je analiza prijetnji i ranjivosti, te teorijski opisana i prikazana procjena rizika s jednim od modela prema kojem se radi procjena rizika.

U petom poglavlju detaljno je opisana analiza slučaja na primjeru istraživanja, te metodološki pristup procjene rizika uz analitičke izraze i model po kojem je obrađena analiza slučaja.

Završno poglavlje prikazuje zaključna razmišljanja o obrađenoj temi u ovom diplomskom radu.



## 2. Upravljanje incidentima u prometu

Upravljanje incidentnim situacijama je koordiniran skup aktivnosti kojima se pomaže unesrećenima, uklanjaju vozila i normalizira prometni tok nakon nastanka prometne nezgode ili druge incidentne situacije kao što je primjerice kvar vozila. Brzi koordiniran odaziv policije i drugih žurnih službi (prva pomoć, vatrogasci, vučna služba) ključni su zahtjevi pri nastanku prometnih nezgoda ili drugih incidentnih situacija na prometnicama. Svrha upravljanja je što brže uspostavljanje normalnog prometnog toka nakon nastalog incidenta.

Pojam i definicija incidentne situacije razlikuje se od zemlje do zemlje u kojima se na različit način provodi program upravljanja incidentima. Primarni razlog te neusuglašenost jest taj što su u procesu upravljanja incidentnim situacijama uključene različite operativne snage, odnosno dionici (*eng. Stakeholders*): policija, vatrogasna služba, hitna služba, dispečerska služba, transportna služba, služba za rukovanje opasnim tvarima, vučna služba, davatelji usluga informiranja putnika. Uvođenje programa upravljanja incidentima nužno je uskladiti s nacionalnom ITS arhitekturom, te voditi računa o pravovremenom okupljanju dionika i uspostavljanju njihove međusobne komunikacije.[1]

Sustavi informiranja putnika i vozača jedna su od bitnijih korisničkih usluga inteligentnih transportnih sustava koja su definirana ISO taksonomijom koja su definirana kroz jedanaest funkcionalnih područja. Pravovremeno informiranje putnika i vozača može uveliko smanjiti zagušenja i smanjiti incidentne situacije. Predputne informacije dostupne su korisniku putem različitih medija odnosno telekomunikacijskih terminalnih uređaja kao što su: radio, RDS/TMC, računala spojena na internet, mobilnih uređaja i osobnih digitalnih pomoćnika (PDA), te javnog interaktivnog (elektroničkog) kioska. Interaktivnim upitom korisnik dobiva željenu informaciju tako da može planirati putovanje ili način putovanja ovisno o (ne)prilikama na prometnici (zagušenja cesta, radovi, prekidi javnog prijevoza i sl.). [2]

Sve korisničke usluge u sustavu ITS-a su jako bitne za procjenu rizika, te svaka korisnička usluga ima razrađenu metodologiju i uključena je u analizi procjene rizika.

## 2.1. Prijedlog prilagodene metodologije incidentnim situacijama u prometu

Upravljanje incidentnim situacijama je dio tehnologije i upravljačke strategije za povećanje učinkovitosti i sigurnosti nacionalnog, regionalnog i lokalnog prometnog sustava. ITS koristi postojeće tehnologije i sustave, koje objedinjava u učinkovite upravljačke strategije, prijenos, obradu te učinkovitu distribuciju trenutnih i arhiviranih informacija. Takav koncept uključuje upotrebu:

- Računalnih resursa
- Komunikacijskih rješenja
- Senzorskih tehnologija
- Sustava zasnovanih na znanju
- Organizacijskih rješenja i sl.

Incidentne situacije u prometu dijele se na:

- Primarne
- Sekundarne.[2]

Sekundarne incidentne situacije direktna su posljedica primarnih incidentnih situacija. 20% svih incidenata su sekundarne prirode. Čest je slučaj da su posljedice primarnog incidenta minimalne, dok sekundarni incident npr. nalet vozila na zaustavljano vozilo u primarnom incidentu uzrokuje znatno ozbiljnije posljedice. Jedan od važnijih ciljeva programa upravljanja incidentnim situacijama jest prevencija sekundarnih incidenata. Glavno sredstvo prevencije sekundarnih incidenata jest pravovremena informacija o primarnom incidentu koja se prenosi nadolazećim vozačima.

Žurne službe kao što je policija, vatrogasna služba, hitna služba i dispečerska služba u vlasništvu su države, dok ostali dionici (*stakeholderi*) mogu biti u privatnom vlasništvu. To je od velikog značaja upravo kod donošenja programa upravljanja incidentima koji mora biti dio nacionalne ITS arhitekture, jer se uvijek postavlja pitanje financiranja određenih programa. Osim podjele po vlasništvu, dionici (*eng. Stakeholders*) se dijele i prema trenutku dolaska na mjesto incidenta i to na:

- *First responders* (dolaze prvi na mjesto incidenta) i
- *Secondary responders* (dolaze na mjesto incidenta ako su pozvani od strane *first respondersa*)

Da bi se razvio kvalitetan program upravljanja incidentima važno je definirati uloge i obveze svake od uključenih dionika.

Uloge i odgovornosti uključuju:

- Osigurati da svaka služba dionika (eng. *Stakeholders*), agencije ili sl. na odgovarajući način bude uključena u aktivnosti na način da ima stvarnovremenske informacije o incidentnoj situaciji te aktiviranim resursima
- Osiguravati dovoljno raspoloživih informacija za kvalitetne procjene situacija
- Osigurati mogućnosti za uspostavu prioriteta u uvjetima paralelnih i geografski dislociranih incidenata i ograničenih resursa
- Raspodjelu resursa prema prioritetu
- Predviđanje i lociranje budućih zahtjeva za resursima
- Koordiniran izvještavanje prema medijima, osobito za događaje nacionalnog ili političkog značaja
- Informiranje glavnih koordinatora (*Top-level*) (ministara, pomoćnika ministara, direktora agencija i sl.)
- Koordiniranje i rješavanje nadležnosti u uvjetima velikih i paralelnih incidenata
- Osiguravanje međuorganizacijske interoperabilnosti (jurisdikcijska ograničenja) [2].

Kako bi se smanjile posljedice incidentnih događaja, te kako bi se povećala sigurnost svih sudionika u prometu, potrebno je znati koji su raspoloživi izvori određenog incidentnog događaja, za što se i koristi upravljanje incidentnim situacijama.

## 2.2. Povezanost sustava – ITS arhitektura

Arhitektura predstavlja temeljnu organizaciju inteligentnog transportnog sustava, koja sadrži ključne komponente, njihove odnose i veze prema okolini te načela njihova dizajniranja i razvoja promatrajući cijeli životni ciklus sustava. Obuhvaća primarne zahtjeve i elemente ITS planiranja i usklađenog razvoja ITS aplikacija, specificira interakciju između različitih komponenti i sustava u cilju rješavanja konkretnih prometnih problema, daje opći predložak (engl. general framework) prema kojem se planiraju, dizajniraju i postavljaju integrirani sustavi u stvarni prometni sustav. Neke od arhitektura su američka nacionalna arhitektura ITS-a, europska arhitektura ITS-a, japanska nacionalna arhitektura ITS-a, australska arhitektura ITS-a.

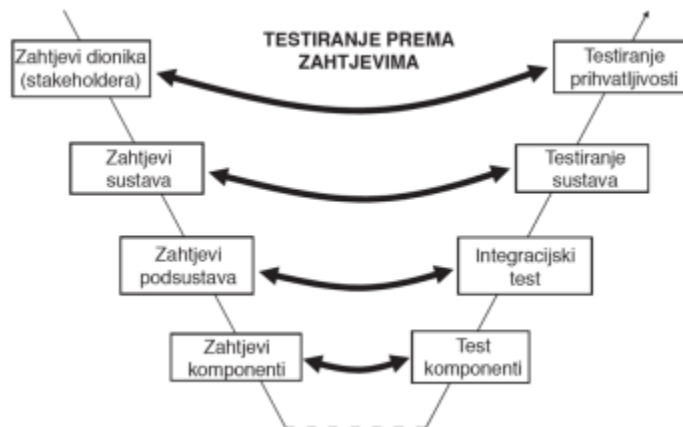
Američka nacionalna arhitektura ITS-a je razvijena prva, 1996. godine. Ona je prva počela upotrebljavati terminologiju koja se djelomično razlikuje od terminologije transportnog i prometnog inženjerstva te je uvela posebnu metodologiju za definiranje i razvoj aplikacija ITS-a, a težište joj je na fizičkom gledištu. Temeljni dokumenti joj obuhvaćaju viziju ITS-a, teoriju operativnog djelovanja, logičku i fizičku arhitekturu, analizu troškova i koristi, analizu rizika i strategiju implementacije, a ključne komponente su specifikacija korisničkih zahtjeva i usluga, logička i fizička arhitektura, tržišni paketi ITS rješenja i prateće analize.

Europska okvirna arhitektura ITS-a je orijentirana na funkcionalno gledište i potrebe korisnika. Zbog razvoja europske okvirne arhitekture ITS-a, Europska komisija je pokrenula projekt KAREN (eng. *Keystone Architecture Required for European Networks*) 1999. godine, a koji se nastavio projektom FRAME (eng. *Framework Architecture Made for Europe*). Glavni dokumenti europske okvirne arhitekture ITS-a obuhvaćaju funkcionalnu arhitekturu, fizičku arhitekturu, komunikacijsku arhitekturu, analizu troškova i koristi, studiju implementacije i modele za implementaciju ITS-a. Na temelju tih razvijenih arhitektura ITS-a, možemo s obzirom na sadržaj i obveznost prepoznati tri osnovna tipa arhitektura:

- **Okvirna arhitektura ITS-a** se odnosi na iskazivanje potreba i zahtjeva korisnika te funkcionalno gledište. Primjerena je regionalnu odnosno nacionalnu razinu te se može koristiti za kreiranje obvezne i servisne arhitekture ITS-a.

- **Obvezna arhitektura ITS-a** uključuje fizičko, logičko i komunikacijsko gledište, ali i izlaze (engl. output) poput analize troškova i koristi, analize rizika itd. Sadržaj fizičke arhitekture je fiksna i točno definira opseg izvedbenih opcija.
- **Servisna arhitektura ITS-a** je poput obvezne arhitekture ITS-a, ali s razlikom što definira i neke određene ITS usluge kao što su informiranje putnika, upravljanje javnim gradskim prijevozom, upravljanje incidentnim situacijama [1].

Arhitektura sustava definira strukturu, ponašanje i gledišta sustava, odnosno na logičan način želi prikazati strukturne elemente sustava. Inženjerstvo sustava se često opisuje V-modelom životnog ciklusa sustava (Slika 1). Taj model je ime dobio zbog svog oblika, a koji omogućuje prikaz odnosa između faza razvoja i faza testiranja. Zbog toga jer se na kraju svake faze životnog ciklusa proces dokumentira i analizira, moguće je popraviti moguće greške nakon svake faze te takav model osigurava da se sustav izradi točno i da se zadovolje težnje dionika (*engl. Stakeholders*).

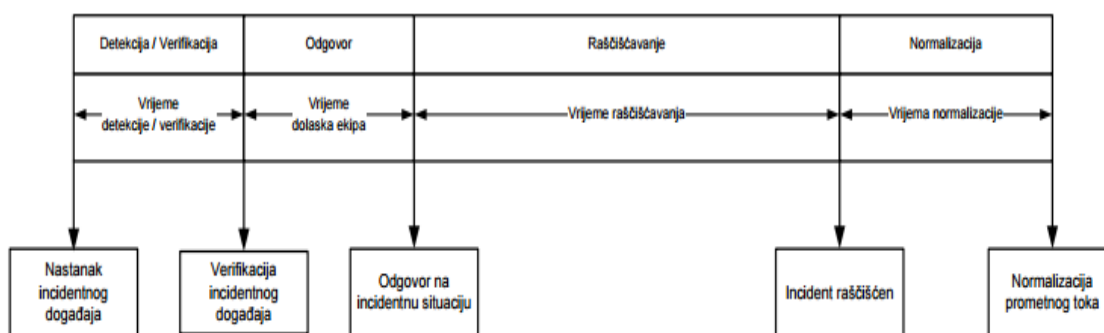


Slika 1. V-modelom životnog ciklusa sustava [2]

Ako zahtjevi imaju središnju ulogu u razvoju sustava potrebno ih je na adekvatan način ažurirati i upravljati njihovim promjenama. Izmjena dijela funkcionalnosti sustava koji se razvija bez odgovarajućeg ažuriranja korisničkih zahtjeva može u kasnijim fazama sustava izazvati velike poteškoće. Promjene u razvoju sustava moraju biti popraćene aktivnostima inženjerstva zahtjeva, bilo da se radi o tehničkim izmjenama unutarnje prirode ili evolutivnim promjenama potreba dionika. Također, procjena rizika usko je vezana uz cijeli životni ciklus sustava. Uz konstantan nadzor sustava modeliraju se i ažuriraju nova rješenja koja daju bolje rezultate kod procjene rizika.

### 3. Karakterizacija sustava upravljanja incidentnim situacijama u prometu

Incident je svaki neplanirani, slučajni prometni događaj koji loše utječe na prometne uvjete. Također, incident je nesreća koja obuhvaća područje vezano uz tehničko tehnološki proces, a svojim posljedicama ostaje unutar okvira tehničko tehnološkog postrojenja u kojem je nesreća nastala.



Slika 2. Proces upravljanja incidentnim situacijama [2]

Slika 2. prikazuje faze upravljanja incidentnim situacijama. Prva faza je prostorno i vremensko određivanje incidentne situacije, a zove se detekcija. Nakon detekcije slijedi verifikacija koja određuje tip i lokaciju mjesta nezgode te nakon odziva na incidentnu situaciju, prometna policija preuzima određene aktivnosti sve dok se prometna situacija ne normalizira.

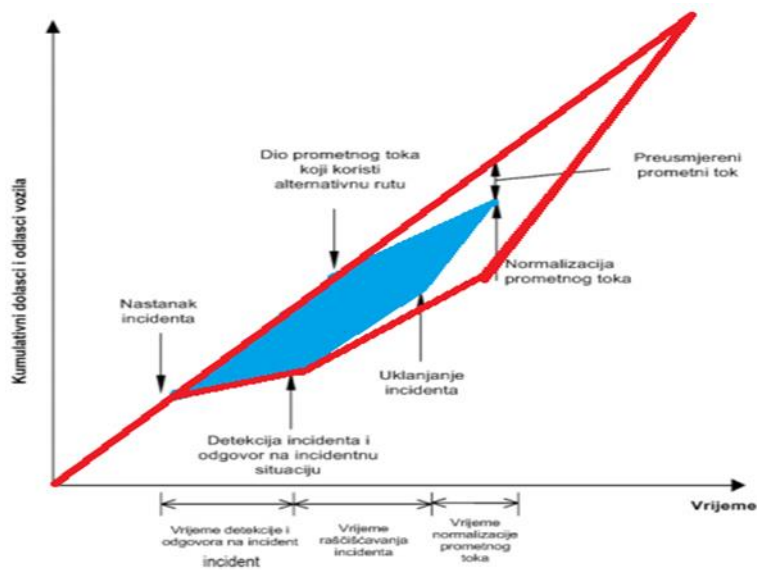
Prošireni skup aktivnosti koji su uključeni u upravljanje incidentnim situacijama od najveće su važnosti jer upravo te aktivnosti doprinose sveukupnom rješenju neke incidentne situacije, a te aktivnosti su:

- detekcija
- verifikacija
- prikupljanje informacija s terena
- odgovor
- upravljanje aktivnostima na lokaciji incidenta
- upravljanje prometom

- putno i predputno informiranje
- raščišćavanje

Primjenom ovakvih aktivnosti olakšano je i djelovanje žurnih službi pri događaju incidentnih situacija.

Brze i precizne aktivnosti upravljanja incidentnim situacijama (*eng. Incident Management*) umanjuju negativne posljedice kao što su čekanja, prometna zagušenja i sekundarno izazvane prometne nezgode. Brzi koordiniran odziv žurnih službi (policija, hitna pomoć, vatrogasci, itd.) ključni su zahtjevi pri nastanku prometnih nezgoda ili drugih incidentnih situacija na prometnicama. Sustav upravljanja incidentnim situacijama (*IM-a*) usko je vezan i sa drugim podsustavima upravljanja prometom u gradu *UT&TM (Urban Transport and Traffic Management)*, rutiranje prometa, putno informiranje, kontrola pristupa.



Slika 3. Kumulativni dolasci i odlasci vozila u odnosu na skraćeno vrijeme detekcije [2]

Redosljed događaja tijekom incidenta kao i posljedice prometa može se prikazati pomoću neodređenog stanja determinističkog modela čekanja (Slika 3.). Nakon što nastane incidentna situacija u vremenu detekcije i verifikacije pokušava se definirati, te saznati što više odgovora na pitanja koja su potrebna da bi se saznalo da li je uopće došlo do nastanka incidentne situacije, te koja je vremenska koordinata incidentnog događaja. Nakon odgovora žurnih službi, dolazi do

raščišćavanja incidentne situacije koje uključuje sigurno i pravovremeno uklanjanje incidentne situacije, nakon koje dolazi do normalizacije prometnog toka.

### 3.1. Korisnici

Da bi inteligentne transportne tehnologije funkcionirale kao sustav, važno je predvidjeti ne samo komponente sustava s pojedinačnim performansama, nego je također potrebno osigurati da te komponente međusobno djeluju učinkovito i da su uklopljene u cjeloviti sustav. To je moguće valjano ostvariti isključivo putem odgovarajuće arhitekture ITS standarda i sustava. Okvirna ITS arhitektura (*eng. Framework Architecture*) primjerena je za nacionalnu razinu, a usmjerena je na iskazivanje potreba korisnika i šire funkcionalno gledište. U Europi je težište na potrebama korisnika i funkcionalnom gledištu. Sustav upravljanja incidentnim situacijama u prometu brine o korisnicima koji se nađu u neplaniranoj incidentnoj situaciji kao i za one savjesne vozače koje prije puta se informiraju o stanju na cestama.

Predputne informacije dostupne su korisniku putem različitih telekomunikacijskih medija, a dva su načina dobivanja informacija. Prvi način dobivanja informacija je kada korisnik interaktivnim upitom dobiva traženu informaciju i na taj način planira putovanje ili način putovanja ovisno o stanju na prometnicama. Drugi je pak način radijska i televizijska distribucija informacija, s tim da takve informacije nisu usmjerene na individualnog korisnika. ITS usluga putne informacije vozaču (*ODI – On-Trip Driver Information*) realizira se kao samostalni sustav ili integrirana s drugim informacijskim uslugama. Osmišljena je kako bi vozaču i putnicima pružila kvalitetne informacije o prometnim uvjetima, kako prije, tako i nakon kretanja na put. Zahvaljujući ODI uslugama vozač ili putnici u vozilu mogu donijeti bolje odluke glede korištenja rute, promjene načina, odnosno moda putovanja (*Park and Ride* sustavi). Putne informacije vozaču u pravilu se odnose na: uvjete na prometnici, nezgode i nesreće na cesti, posebne događaje (utakmice, štrajk i sl.), koji utječu na odvijanje prometa, nastale promjene nakon što su dane predputne informacije, raspoloživa parkirna mjesta (P&R) nakon kojih se može nastaviti putovanje javnim prijevozom, alternativne rute i modove na mjestima njihova sučeljavanja, atraktivna turistička ili zabavna događanja [3].



### 3.2. Fizičko lociranje

Fizičko lociranje incidentne situacije ili detekcija incidentne situacije može se definirati kao proces identifikacije prostorno vremenskih koordinata incidentnog događaja, odnosno konstataciju nastanka incidentnog događaja. Detekcija incidentnih situacija jedan je od važnijih segmenata na području upravljanja prometom. Incidentnu situaciju potrebno je u što kraćem, odnosno realnom vremenu detektirati te poduzeti odgovarajuće upravljačke mjere kako bi se spriječile sekundarno izazvane neželjene posljedice kao što su nezgode, zagušenja, dodatna čekanja, troškovi, onečišćenja i slično.

Prometnice na kojima su instalirani ITS sustavi mogu brže detektirati incidentnu situaciju. Video kamere, magnetski i zvučni detektori, induktivne petlje, te računalna tehnologija uz pomoć komunikacijskih kanala u kratkom roku može detektirati incident, te tako skratiti vrijeme odziva dionika na mjesto incidentne situacije.

Najčešći načini detekcije incidenata:

- Pozivom korisnika s mobilnog/fiksnog uređaja
- Video nadzor
- Radarski, infracrveni te ultrazvučni detektori
- Detektorske induktivne petlje koje magnetski detektiraju vozila
- Pozivom sa SOS telefona uz prometnicu
- Policijskom ili cestovnom patrolom
- ePoziv
- lokacijske usluge u mobilnoj telefoniji
- vozila za specijalne namjene i mjerenja[2]

### 3.3. Tehnološke komponente

Cjelokupna strategija upravljanja autocestama, kao i gradskim prometnicama je praćenje prometnih uvjeta na svim prometnicama, te poduzimanje određenih mjera radi ublažavanja nepovoljnih uvjeta na cestama. Komponente takvog sustava su: videonadzor, promjenjivi znak (*eng. Variable message sign* VMS), induktivne petlje (magnetski, radarski, infracrveni te ultrazvučni detektori), signali za kontrolu trake, komunikacijski centar, te niz drugih tehnoloških komponenti s kojima možemo prikupljati prometne podatke, te ujedno i informirati vozače o bitnim radnjama koje se događaju na prometnici. [2]

*Variable message sign* (VMS) je promjenjivi znak koji je primarno sredstvo za slanje podataka o prometu u stvarnom vremenu vozačima na prometnicama, također koristi i za upozorenje vozačima na zagušenja ili zatvaranje određenog djela prometnice.

### 3.4. Podaci koji koristi sustav i koji se koriste u sustavu

Vođenje prometnog toka (*eng. traffic control*) i integrirano upravljanje prometom (*eng. Integrated traffic and transport management*) u ITS okruženju razlikuju se u pristupu, sadržaju i razini integracije. Vođenje prometa odnosi se na upravljanje prometnim tokovima, kako u mreži gradskih prometnica, tako i izvan gradova (na autocestama i dr.). Primjeri tih usluga su: adaptivno upravljanje prometnim svjetlima odnosno semaforima, promjenjive prometne poruke, kontrola pristupa na autocesti, kontrola brzine, upravljanje parkiranjem, itd. Svrha upravljanja prometom je određivanje razine usluge na nekoj prometnici. Za operativni kapacitet prometne mreže može se reći kako je određen razinom investiranja ili izgrađenosti osnovne infrastrukture i kvalitetom prometa. Svrha integriranog upravljanja prometnim tokom vozila i javnim prijevozom je omogućavanje povećanja operativnog kapaciteta pritom dajući prioritet određenim vozilima, točnije vozilima javnog prijevoza i žurnih službi. Za takav režim upravljanja prometom sustavu su potrebni podaci koje prikuplja preko svojih tehnoloških komponenti i aplikacija, prema kojima određuju razinu usluge na prometnici. Ključne operativne zadaće koje koristi sustav prema prikupljenim podacima na infrastrukturi su: kontrola pristupa entiteta na mrežu, ublažavanje posljedica zagušenja na prometnicama i njihovim sučeljima prema drugim modovima, rješavanje

uskih grla zbog incidentnih događaja, postizanje zadovoljavajuće razine sigurnosti u prometu, prometna logistika specijalnih sportskih, političkih, vjerskih, zabavnih događaja, kontrola nepovoljnih utjecaja na odvijanje prometnog toka (vremenske nepravilnosti, agresivna vožnja, itd.), preraspodjela modova prema korištenju učinkovitijih modova javnog prijevoza. Nadzor i otklanjanje incidenata na prometnicama (*eng. Transport Related Incident Management*) je područje detektiranja, odziva i raščišćavanja incidenata nastalih na prometnicama ili u njihovoj neposrednoj blizini. Osim djelovanja nakon što je određeni incident nastao, područje nadzora i otklanjanja incidenata na prometnicama obuhvaća predviđanje i prevenciju nezgoda.[3]

ITS rješenje adaptivnog vođenja prometnog toka povećava propusnu moć tako da se redosljed odlučivanja i trajanje ciklusa stalno prilagođavaju promjenjivim potrebama prometnog toka i uvjetima okruženja. Bez obzira što je adaptivni sustav kompleksniji od koordiniranog fiksnog režima rada semafora, postiže bolje rezultate glede smanjivanja ukupnih vremenskih gubitaka. Efikasnost funkcioniranja sustava upravljanja prometom ogleda se kroz neke od sljedećih parametara: vremenske gubitke, veličine reda čekanja, prosječno vrijeme putovanja zonom, rizik od nastajanja prometnih nesreća, maksimalno individualno čekanje te maksimalnu duljinu reda oko raskrižja.

## 4. Analiza prijetnji i ranjivosti

Prijetnja je svaka naznaka, okolnost ili događaj koji može prouzročiti gubitak ili oštećenje imovine ili stanovništva. U analizi rizika prijetnji se temelje na analizi namjere i sposobnosti prijetnji za poduzimanje radnji koje bi bile štetne za imovinu ili stanovništvo.

Ranjivost je svaka slabost u dizajnu, implementaciji aplikacija sustava i sustavu infrastrukture koju prijetnja može iskoristiti. Takve se slabosti mogu pojaviti u karakteristikama infrastrukture, svojstvima opreme, osoblju, lokacijama ljudi i opreme koju koriste.

Strateške platforme koju čine misija, vizija, vrijednosti, politika, vodstvo i kontinuirano usavršavanje, te kontrola koja mu daje istaknuti administrativni i funkcionalni duh za pravilno upravljanje i postizanje konkurentnosti i prednost operativnog podsustava. Sustav je odgovoran za procese životnog ciklusa incidenta koji prolaze kroz skupine rješenja. Obvezuje se provesti cjelokupan postupak od identifikacije do zatvaranja incidenta uz potvrdu žurnih službi.

Prije početka analiza, analitičar bi trebao naučiti terminologiju, funkcionalnost i arhitekturu sustava. Dubinsko razumjevanje sustava od presudne je važnosti za ispravnu identifikaciju imovine i ranjivosti sustava i za ispravnu izgradnju scenarija prijetnji [4].

Prva komponenta upravljanja rizikom bavi se načinom na koji organizacije oblikuje rizik ili uspostavljaju kontekst rizika, odnosno opis okruženja u kojem se donose odluke temeljene na riziku. Svrha komponente uokvirivanja rizika je stvoriti strategiju upravljanja rizicima koja se bavi kako organizacije namjeravaju procijeniti rizik, odgovoriti na rizik i nadzirati rizik, čineći eksplicitne i transparentne percepcije rizika koje organizacije rutinski koriste u ulaganju sa operativnim odlukama. Strategija upravljanja rizikom postavlja temelje za upravljanje rizikom i ocrta granice za odluke temeljene na riziku unutar organizacije.

Druga komponenta upravljanja rizicima bavi se načinom na koji organizacije procjenjuju rizik unutar konteksta okvira organizacijskog rizika. Svrha komponente procjene rizika je da identificira;

- prijetnje organizacijama (tj. operacije, imovinu ili pojedince) ili usmjerene pretnje preko organizacija protiv drugih organizacija ili nacije
- ranjivosti unutar i izvan organizacije

- Štete (tj. štetni utjecaj) koja se može dogoditi s obzirom na potencijal za prijetnju koje iskorištavaju ranjivosti
- Vjerojatnost da će doći do štete.

Krajnji rezultat je utvrđivanje rizika (tj. obično funkcija stupnja nastale štete i vjerojatnosti koje se javljaju).

Treća komponenta upravljanja rizicima govori o tome kako organizacije reagiraju na rizik, te se rizik utvrđuje na temelju rezultata procjene rizika. Svrha odgovora na rizik komponenta je da se pruži dosljedan odgovor na rizik u cijeloj organizaciji u skladu s okvirom organizacijskog rizika;

- Razvijanjem alternativnih pravaca djelovanja za odgovor na rizik
- Ocjenjivanje alternativnih pravaca djelovanja
- Određivanje odgovarajućeg pravca djelovanja u skladu s tolerancijom organizacijskog rizika
- Provođenje odgovora na rizik na temelju odabiranih pravaca djelovanja.

Četvrta komponenta upravljanja rizikom bavi se načinom na koji organizacije prate rizik tijekom vremena. Svrha komponente praćenja rizika;

- Utvrditi trajnu učinkovitost sustava reakcije na rizik (u skladu s organizacijskim okvirom rizika)
- Utvrditi promjene koje utječu na rizik organizacijskim informacijskim sustavima i okruženju u kojima sustavi djeluju
- Provjeriti jesu li implementirani planirani odgovori na rizike i zahtjevi sa sigurnošću informacija izvedene iz organizacijskih poslovnih funkcija, zakona, smjernica, propisa, politike i standarda koje trebaju biti zadovoljene [5].

## 4.1. Procjena rizika

Procjena rizika je složen proces identifikacije opasnosti, analize vjerojatnosti i posljedica te samog vrednovanja rizika (evaluacija, procjena), čiji je rezultat dokument koji sadrži: osnovne karakteristike objekta, opis radova, identifikaciju opasnosti, tj. registar svih do sada prepoznatih rizika, scenarije za sve rizike kojima se opisuje događaj s najgorim mogućim posljedicama, tablice vjerojatnosti/frekvencije, kriterije za procjenjivanje utjecaja prijetnji na život i zdravlje ljudi te gospodarstvo, matrice za rezultate procjene rizika za svaki kriterij zasebno, matrice s uspoređenim rizicima, vrednovanje rizika te popis sudionika u izradi dokumenta [6].

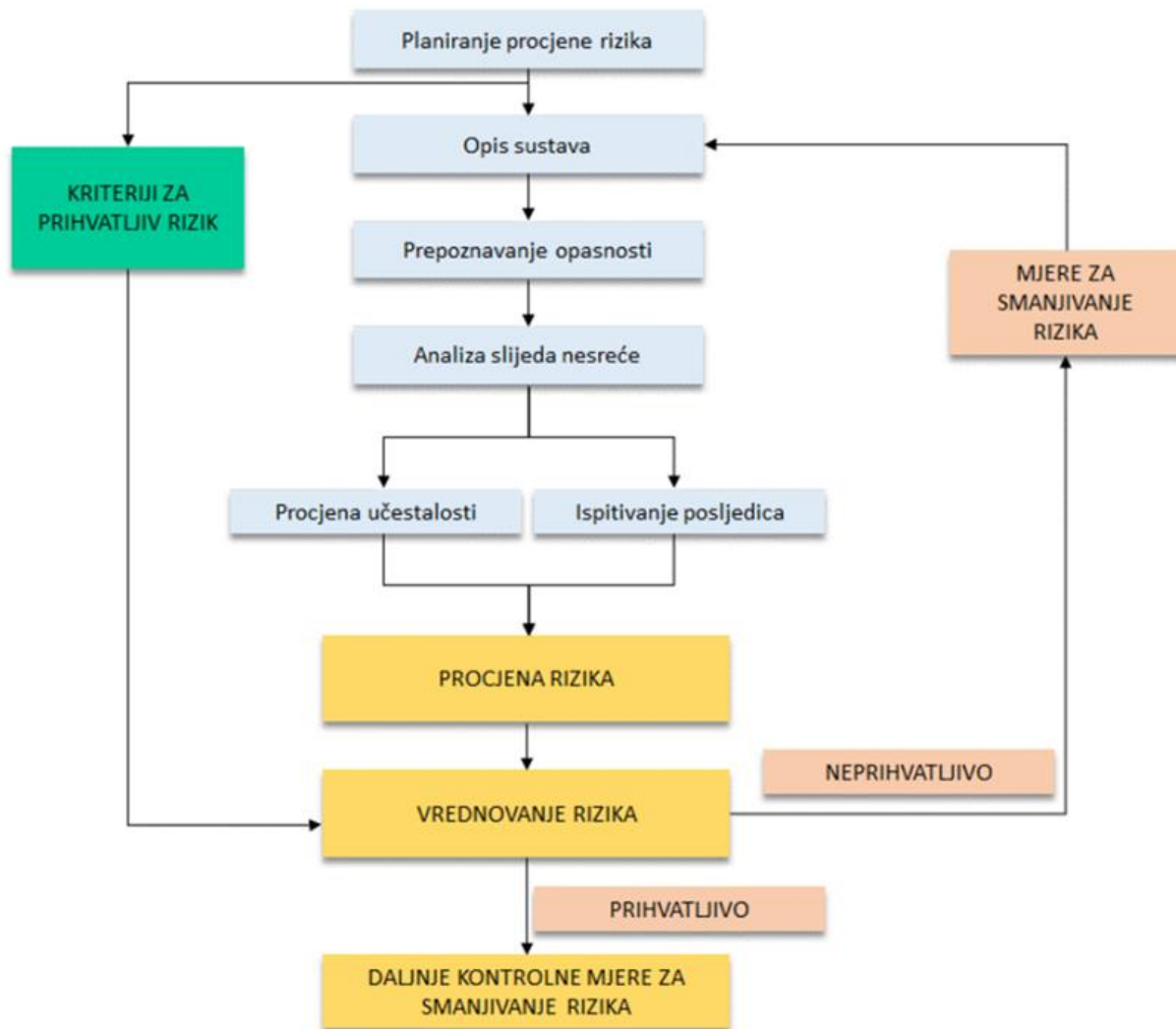
Rizici se moraju procijeniti za sve iznenadne događaje, kao i velike nesreće ili velike opasnosti koje uključuju situacije u kojima je moguće stvaranje oštećenja na objektima i povezanoj infrastrukturi koju uzrokuje vozilo ili teret s vozilo koji prevozi (kemikalije, radioaktivni materijali, goriva i sl.)

Rizik je prognoza moguće pojave štete ili opasnosti od štete na ljudima, okolišu ili materijalnoj imovini koju treba spriječiti ili ograničiti u skladu s propisima sigurnosti i zaštite zdravlja i okoliša, uključujući unutarnje propise operatora ili vlasnika i njihove kriterije prihvaćanja te znači posljedicu neke radnje s dodanom nesigurnošću. Sam rizik se mora umanjiti do najveće moguće opravdane razine, gdje smanjivanje rizika podrazumijeva da odgovorna osoba izabere ona tehnička, operativna i organizacijska rješenja koja prema individualnoj i ukupnoj procjeni mogućih šteta te sadašnjoj i budućoj upotrebi daju najbolje rezultate, a pri tome osiguravaju da ukupan trošak za umanjenje rizika nije značajno nerazmjern postignutom smanjenju rizika. Upravljanje rizicima podrazumijeva svođenje neprihvatljivih rizika na razinu prihvatljivosti i održavanje istih na toj razini.[7]

Odgovarajući proces procjene pomaže shvatiti kako može doći do opasnosti od velike nesreće, što se sve može učiniti kako bi isto spriječilo (gdje su sigurnosne barijere), što se može učiniti kako bi se optimizirao broj tih barijera te kako ih napraviti učinkovitijima.

Tijekom evaluacije učinkovitosti posebna se briga treba posvetiti testiranjima, a dobiveni rezultati moraju biti uspoređeni s kriterijima tolerancije rizika te mora biti vidljivo kako je razina rizika smanjena na prihvatljivu razinu.

Proces procjene počinje s trenutkom prihvaćanja ideje o potrebi pokretanja postupka upravljanja rizikom i pristupanjem stvaranju navedenog dokumenta. Sama osnova za postupak procjene prvenstveno je detaljan opis infrastrukturnog objekta za koji se procjena radi. Slijedi identifikacija svih velikih opasnosti te analiza slijeda nesreće i utvrđivanje posljedica.



Slika 4. Glavni koraci u postupku procjene rizika [6]

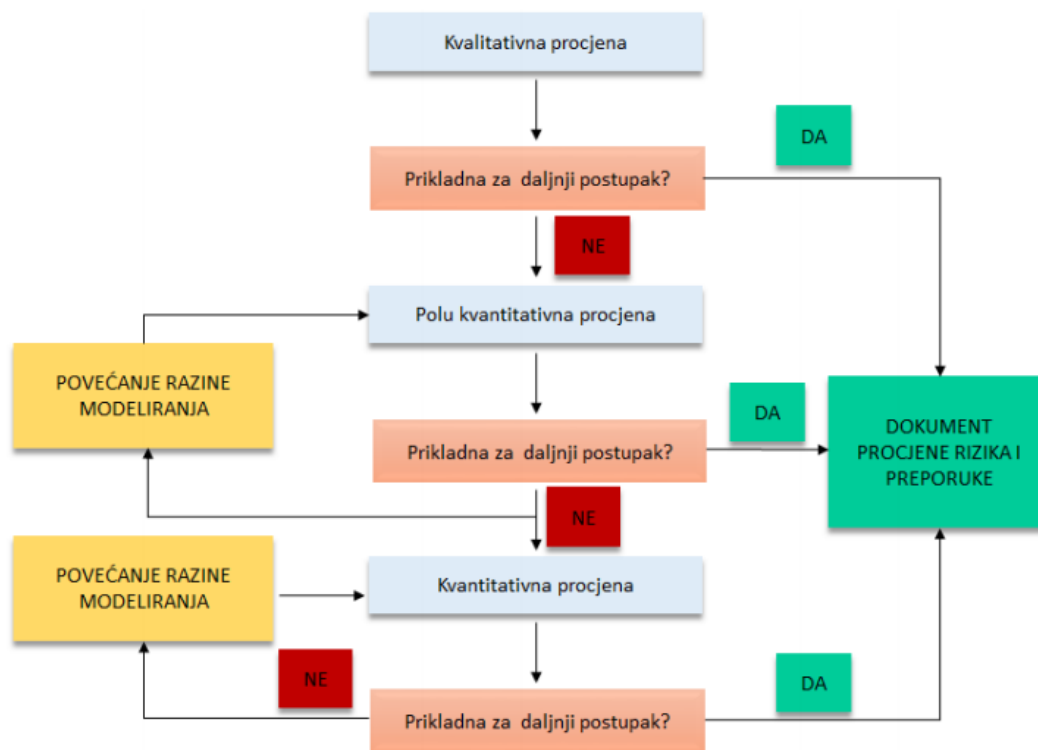
Pristup identifikaciji velikih opasnosti i njihovih uzroka uglavnom je:

- Kvalitativan (Q) – kada se učestalost i ozbiljnost određuju i opisuju isključivo kvalitativno, opisno (cij je razumjeti što se sve može dogoditi) ili
- Polu kvalitativno (SQ) – kada se učestalost i ozbiljnost prosuđuju unutar određenih raspona

U postupku opisa slijeda nesreće i razmjernih posljedica primjenjuje se:

- kvantitativan (QRA) - pristup koji traži primjenu točnih izračuna (cilj je objasniti te brojčano potkrijepiti dobivene rezultate)

Jedna od mogućnosti određivanja prikladne metode je započeti procjenu s kvalitativnim pristupom te u slučaju potrebe dodatnih detalja (jer postojeći pristup ne daje odgovore na pitanja poput – razumijevanje uzroka rizika ili razlike između rizika za više događaja), savjetuje se prelazak na detaljnije, kvantitativne metode. Za izbor ispravne metode ili za dodatnu sigurnost je li primijenjena metoda osigurava odgovore na sva pitanja te ne ostavlja prostora za nedoumice može poslužiti slijedeći prikaz:



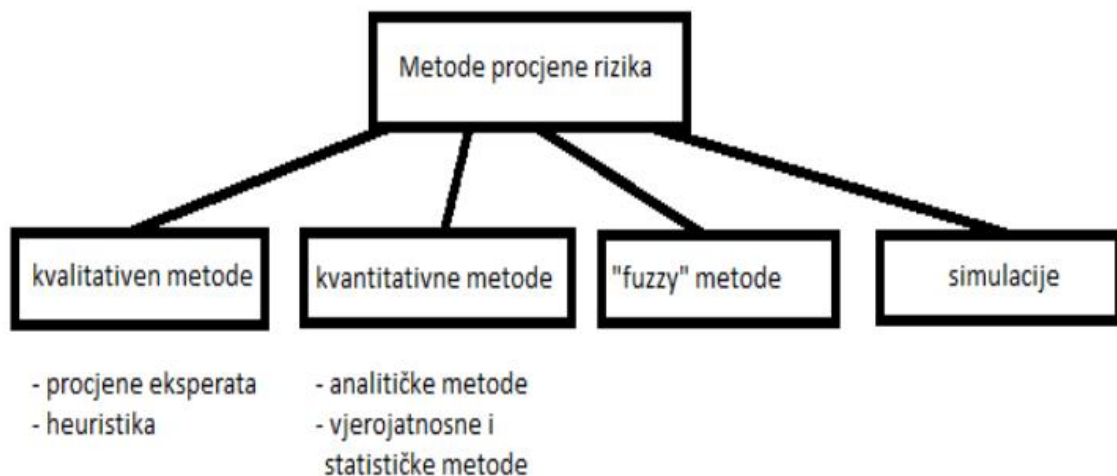
Slika 5. Procjena izbora prikladnosti metoda [6]

Prepoznavanje opasnosti je početni korak u procesu procjene rizika. Uobičajeno se radi kao kvalitativan popis temeljen na stručnoj prosudbi i služi za dobivanje popisa opasnosti, kao i za kvalitativnu procjenu težine opasnosti i mjera za smanjivanje rizika. Prepoznavanje opasnosti mora biti širokog opsega, sa strukturiranim prikazom i sveobuhvatnom pokrivenošću bez preskakanja manje očitih područja, s prikazom prethodnih slučajeva. Također opseg



prepoznavanja treba uključiti i popis svih opasnosti koje nisu razmatrane i objašnjenje razloga zašto nisu.

Kvalitativne metode procjene rizika koriste mišljenja i procjene eksperata koji procjenjuju vjerojatnost rizika terminima kao što su: vrlo veliki, srednji, mali, vrlo mali. Kvantitativne metode koriste analitičke metode, ali još češće vjerojatnosne i statističke opise rizika za određene situacije. No, kod ovih metoda postoji i bitno ograničenje. Naime, polazne pretpostavke često ne odgovaraju stvarnoj situaciji. Fuzzy metode omogućuju bolju i realniju procjenu rizika, naspram kvantitativnim metodama. Formalno se izražava funkcijama pripadnosti i uvjerenja. Opravdanost tih metoda (slika 6.) slijedi iz ograničenja klasičnim metoda i klasičnih vjerojatnosno – statističkih izračuna. Metode simulacije koriste se za eksperimentiranje s modelom, na taj način se izvode zaključci o rizicima u ponašanju realnog sustava. Realni prometni sustav ne može biti potpuno siguran i bez nepoželjnih događaja, odnosno težnja prema potpunoj sigurnosti stvara nedopušteno visoke troškove. U rješavanju tog problema treba primjeniti concept i metode prihvaćanja rizika (*Risk acceptance*), odnosno potrebno je upravljati rizikom. Upravljanje rizikom je proces kojim mrežni operatori, vlasnici, inženjeri/menadžeri donose odluke glede sigurnosti, regulative i strukturiranja sustava uz prihvatljiv rizik.



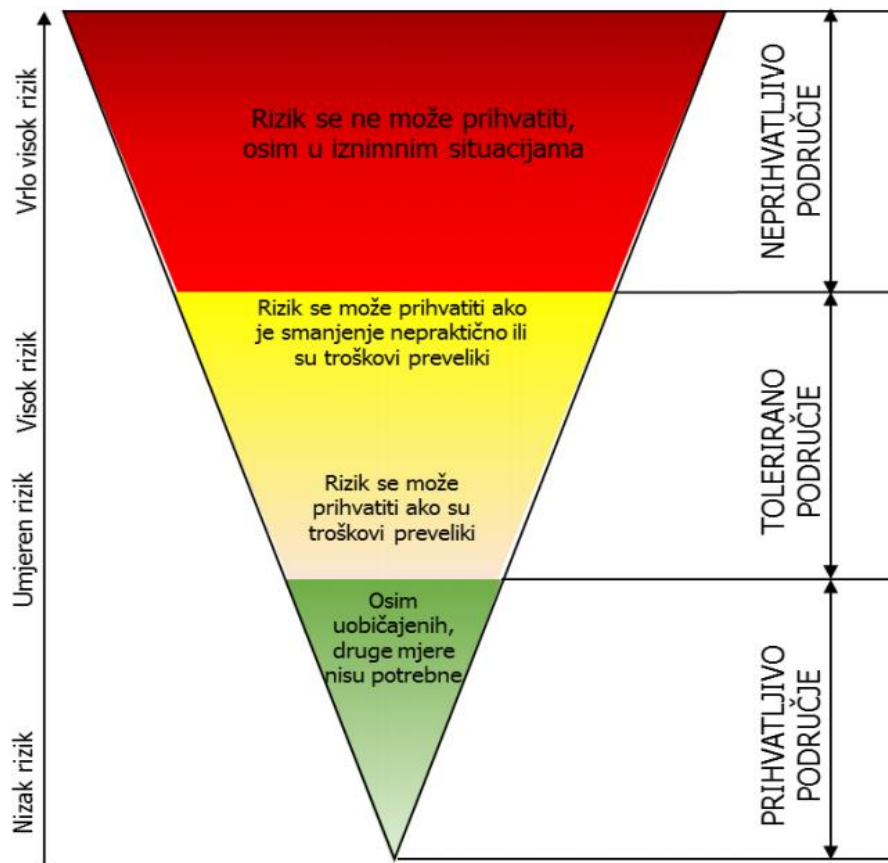
Slika 6. Metode procjene rizika [2]

U izvješću se moraju navesti sve opasnosti koje se mogu dogoditi tijekom životnog ciklusa objekta. Prema tome, preporuka je navesti opasnosti koje se mogu dogoditi tijekom svih radnji koje se planiraju izvoditi sa samog objekta, ali i u kritičnom području oko objekta. Potom je potrebno navesti opasnosti koje se mogu dogoditi na pripadajućoj infrastrukturi te opasnosti koje se mogu dogoditi kao posljedica „domino efekta“. U koracima analize slijeda nesreće i procjene učestalosti obično se rade logički modeli za pojedini objekt koji moraju sadržavati sve uzroke mogućih nesreća te pripremu objekta za te uzroke. Na taj se način opisuje sam tijek nesreće: od čega se sastojati početni događaj (što ga je uzrokovalo), opis mogućih zasebnih pogreška u sustavu ili uspješnih odgovora na nesreću te ponašanja prisutnog osoblja. Ovakav prikaz mora sadržavati i mjere zaštite i mjere ublažavanja. Izabrana metoda mora biti opravdana te s dovoljno detalja koji će omogućiti klasificiranje rizika, kao i naknadno smanjenje rizika. Ne postoji preporučena ili propisana metoda procjene rizika u okviru navedenih pristupa, no u postupku procjene moraju se naznačiti razlozi izbora primijenjene metode i način njene upotrebe, tj. metodološki postupak upravljanja rizikom mora biti jasan. Za svaki pojedini rizik rade se scenariji, jer se sama procjena temelji na mogućem slijedu događaja i vjerojatnosti pojave. Scenarijem je opisana svaka odabrana prijetnja te njen nastanak i posljedice kako bi se po tom primjeru mogle planirati preventivne mjere, educirati radnike odnosno pripremati eventualni odgovor na veliku nesreću. Scenarij je, u kontekstu procjenjivanja rizika, način predstavljanja rizika. Svrha scenarija je prikazati sliku događaja i posljedica kakve mogu uzrokovati sve prirodne i tehničko-tehnološke prijetnje na području rada.

Scenarij je opis: - neželjenih događaja, jednog ili više povezanih događaja/prijetnji, za svaki obrađivani rizik, koji ima posljedice na život i zdravlje ljudi, stanje okoliša te gospodarstvo, dakle svega što vodi k nastajanju, odnosno uzrokuje opisane neželjene događaje, a sastoji se od svih radnji i zbivanja prije velike nesreće i „okidača“ velike nesreće.

Vrednovanje rizika je završni korak u procesu procjene rizika te predstavlja temelj za odabir mjera obrade rizika odnosno vodi prema izradi politike za smanjenje rizika od velikih nesreća. U tom procesu se uspoređuju prepoznati i analizirani rizici s unaprijed određenim kriterijima o prihvatljivosti rizika te se provodi uz primjenu ALARP načela (*eng. As Low As Reasonably Practicable*) (Slika 7). Rizici se razvrstavaju u tri razreda:

- prihvatljivi - prihvatljivi rizici su svi niski, za koje uz uobičajene nije potrebno planirati poduzimanje dodatnih mjera.
- tolerirani - tolerirani rizici su svi: - umjereni koji se mogu prihvatiti iz razloga što troškovi smanjenja rizika premašuju korist/dobit; - visoki koji se mogu prihvatiti iz razloga što je njihovo umanjivanje nepraktično ili troškovi uvelike premašuju korist/dobit.
- neprihvatljivi - neprihvatljivi rizici su svi vrlo visoki koji se ne mogu prihvatiti, izuzev u iznimnim situacijama.[6]



Slika 7. ALARP načela – Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu [6]

## 4.2. Tablice

Svrha vrednovanja rizika je priprema podloga za odlučivanje o važnosti pojedinih rizika, odnosno hoće li se rizik prihvatiti ili će trebati poduzimati određene mjere kako bi se sukcesivno umanjio. U procesu odlučivanja o daljnjim aktivnostima po specifičnim rizicima obično se koriste matrični pregledi, kao što je matrica prikazana na Slici 8. Takva uobičajena matrica sadrži moguće posljedice na različite primatelje (osobe, okoliš, imovina, ugled). Razina mogućih posljedica nije jedinstvena, već je određena sukladno primijenjenoj metodologiji. Sam izbor metode te opseg i razina nabiranja, opisivanja i analiza, ovisi o vrsti objekta, složenosti izrade objekta te klasi i djelokrugu radova na objektu.

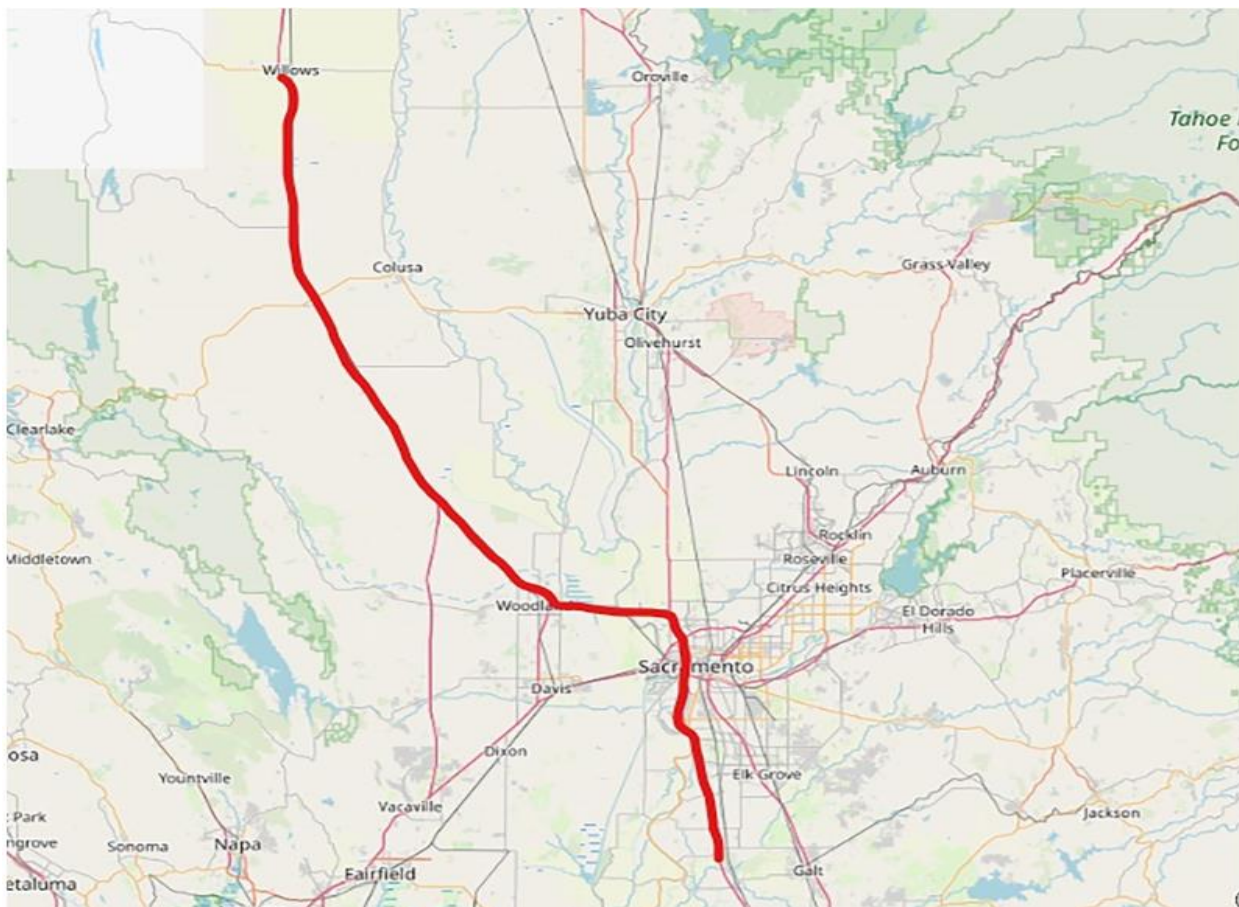
| Posljedice |   |                |               |                    | Porast učestalost      |                   |                                 |                                |                                 |  |
|------------|---|----------------|---------------|--------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Ozbiljnost | Osobe                                   | Okoliš         | Imovina       | Ugled              | 0                      | A                 | B                               | C                              | D                               | E  |
|            |   |                |               |                    | gotovo neznatna        | vrlo mala         | mala                            | srednja                        | visoka                          | vrlo visoka                                    |
|            |   |                |               |                    | može se dogoditi u I&P | zabilježeno u I&P | dogodilo se u tvrtki bar jednom | dogodilo se više puta u tvrtki | nekoliko puta godišnje u tvrtki | dogodilo se više puta u godini na istom mjestu |
| 1          | utjecaj na zdravlje/blaga ozljeda       | blagi ishod    | blaga šteta   | blagi učinak       | 1-0                    | 1-A               | 1-B                             | 1-C                            | 1-D                             | 1-E  |
| 2          | utjecaj na zdravlje/manja ozljeda       | manji ishod    | manja šteta   | manji učinak       | 2-0                    | 2-A               | 2-B                             | 2-C                            | 2-D                             | 2-E  |
| 3          | utjecaj na zdravlje/veća ozljeda        | lokalni ishod  | lokalna šteta | lokalni učinak     | 3-0                    | 3-A               | 3-B                             | 3-C                            | 3-D                             | 3-E  |
| 4          | trajni invaliditet ili smrt jedne osobe | značajni ishod | znatna šteta  | državni učinak     | 4-0                    | 4-A               | 4-B                             | 4-C                            | 4-D                             | 4-E  |
| 5          | više poginulih                          | opsežan ishod  | opsežna šteta | međunarodni učinak | 5-0                    | 5-A               | 5-B                             | 5-C                            | 5-D                             | 5-E  |

Slika 8. Primjer matrice za opis vrednovanja rizika [6]

Vrednovanje rizika radi se za cijeli životni vijek objekta, od početka izrade samog projekta do uklanjanja, s naglaskom kako će predložene mjere smanjiti rizik na prihvatljivu razinu, te kako će se dobra praksa, inženjerski pristup i tehničko tehnološki napredak integrirati tijekom rada.

## 5. Analiza slučaja

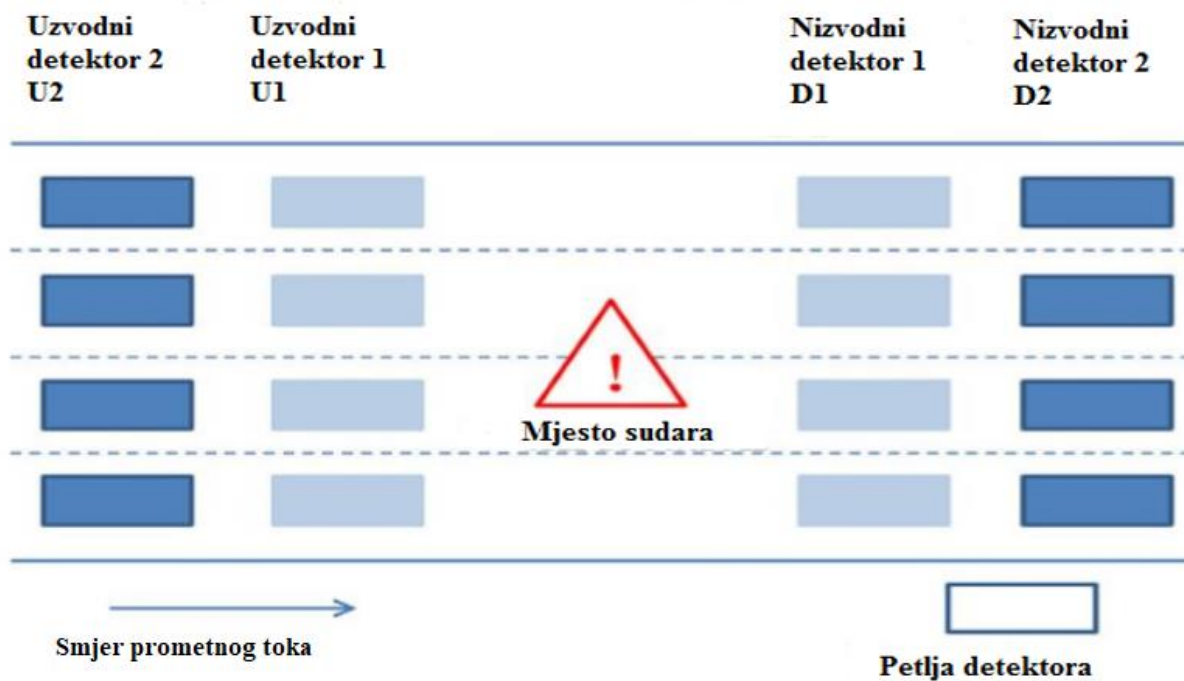
Područje ispitivanja i istraživanja podataka analize slučaja uglavnom se usredotočuje na područje procjene rizika od sudara na autocesti. Da bi se postigla gornja kvantitativna analiza i procjena između stanja protoka prometa i rizika od sudara, potrebno je prikupljanje velikog broja podataka od nesreća na autocesti i podataka odgovarajućeg protoka prometa. U ovom analizi slučaja analizirana je dionica od 5 km međudržavne autoceste u Kaliforniji (SAD), a odabrana je kao objekt istraživanja. Specifično mjesto prikazano je na slici 9.



Slika 9. Mjesto istraživanja dionice autoceste[8]

Kako bi se isključio utjecaj ostalih čimbenika koji utječu na pojavu prometa u fazi prikupljanja i obrade podataka, podudarna struktura uzorka slučaja koristi se za podudaranje podataka. Gdje se slučaj odnosi na podatke o stanju protoka prometa kada postoji prometna nesreća, a kontrola se odnosi na podatke o stanju protoka prometa u odgovarajućem odjeljku kada nema prometne

nesreće. Osnovno načelo ove metode obrade podataka je provjera unutarnjeg odnosa između stanja protoka prometa i rizika od prometnih nesreća uspoređivanjem i analizirajući razlike u dinamičkim karakteristikama protoka prometa u slučaju sudara i to u slučaju da nema nesreća. Prema zahtjevima modela procjene rizika od sudara, podaci o stanju protoka prometa od 5 do 10 minuta prije sudara koriste se kao osnovni podaci za klasifikaciju stanja sigurnosti prometa i procjenu rizika od sudara. Prema podudarnoj metodi obrade podataka upravljanja slučajem, podaci o stanju protoka prometa četiri detektora u uzvodnom i donjem dijelu koji su najbliži mjestu sudara na autocesti.



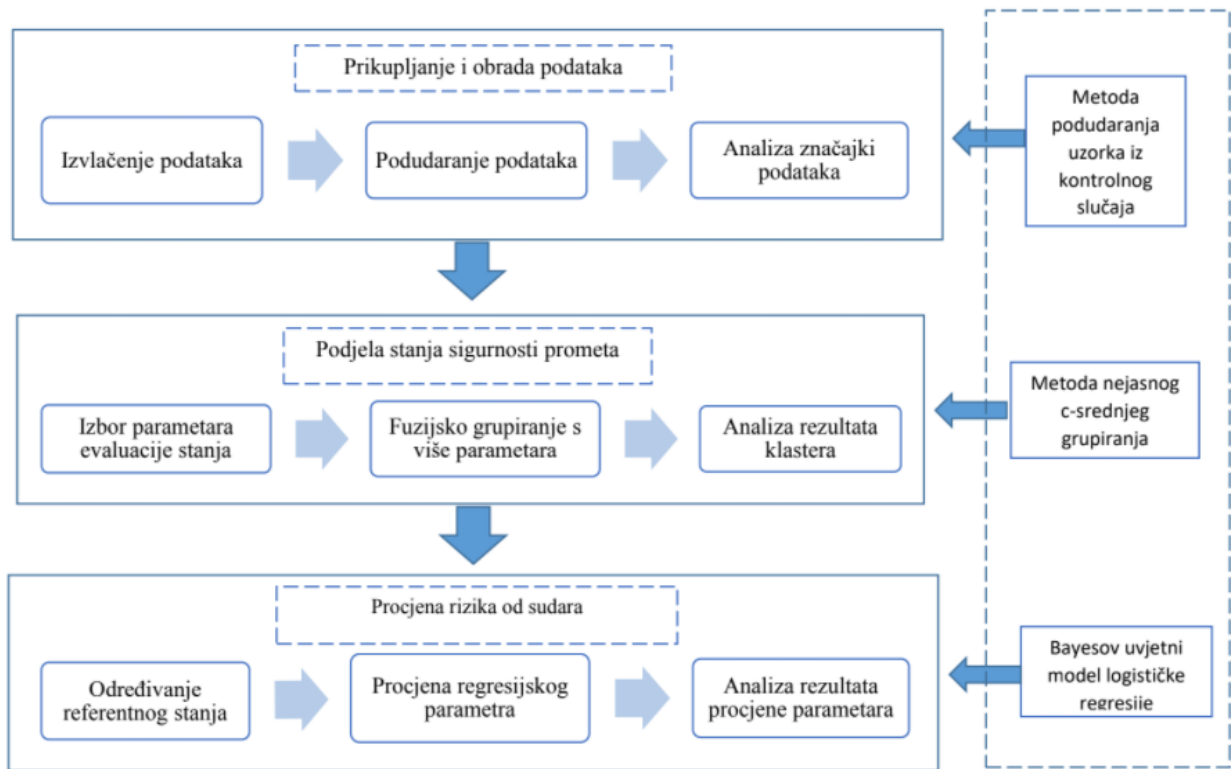
Slika 10. Podaci o stanju protoka pomoću detektora [8]

Dva uzvodna detektora su pod nazivima U2 i U1, a dok su nizvodna dva detektora nazvana D2 i D1, kao što je prikazano na slici 10. Budući da sirovi podaci s web mjesta uključuju tri zasebna skupa podataka, skup podataka o protoku prometa, skup podataka o nesrećama i skup podataka o detektoru. Stoga se na temelju različitih vrsta skupova podataka koji se koriste u ovom istraživanju, potrebna baza podataka treba oblikovati podudaranjem različitih skupova podataka prema atributima vremena i mjesta. Prvo, prema dva atributa broja hrpe prijeđenih kilometara i broja detektora u skup podataka detektora, uspostavljena je prostorna korelacija između skupa podataka o nesrećama i skupu podataka o protoku prometa radi izdvajanja podataka o protoku prometa (tj.

opseg prometa, brzina i popunjenost) uzvodnih i nizvodnih detektora najbližih mjestu nesreća. Prema atributima datuma i vremena u skupu podataka o nesreći i skupu podataka o protoku prometa, vremenska korelacija između podataka o nesreći i podataka o protoku prometa utvrđeno je za izdvajanje prometa od 5 min do 10 min protoka podataka prije svakog vremena pada sustav na detektoru. Prema principu podudaranja slučaj-kontrola, kao kontrola se izdvajaju četiri skupine podataka o statusu protoka prometa bez pada korištenjem slične metode. Prema principu podudaranja uzorka podataka, u ovom su istraživanju na odgovarajući način izdvojena 274 podatka o protoku prometa nakon sudara i 1096 protoka prometa bez nesreća. Ukupno je dobiveno 1370 skupova uzoraka podataka za modeliranje rizika od sudara na autocesti u koji je omjer protoka prometa sudara i protoka prometa koji nije bio dio sudara bio 1:4. Odgovarajući uzorak skupa podataka za procjenu rizika od naleta vozila na autocesti dobiva se korištenjem gore navedenog podudaranja uzoraka podataka.[8]

### **5.1. Pristupi procjene rizika**

Metodologija primjene podudarne metode upravljanja slučajem kako bi se podudarali podaci uzorka, uvedena je višeparameterska metoda fuzijskog klasteriranja za dijeljenje stanja sigurnosti prometa s podudarnim uzorkom podataka. Nakon toga, na temelju klasifikacije statusa sigurnosti u prometu izlaže se Bayesov uvjetni model logističke regresije za procjenu rizika od sudara na autocesti pod različitim uvjetima sigurnosti u prometu. Specifični tehnički put ovog istraživanja prikazan je na slici 11.



Slika 11. Dijagram toka metode procjene rizika od sudara na autocesti na temelju podjele stanja prometa [8]

Metoda podjele stanja prometa temeljena na višeparametarskom fuzijskom klasteriranju na temelju nejasne metode analize klastera, koriste se varijable stanja prometa četiri detektora na uzvodnom i nizvodnom mjestu, mjestu pada prometa (tj. U2, U1, D1 i D2) kao indeks klasteriranja za klasifikaciju stanja sigurnosti prometa na autocesti. Nejasna c-srednja vrijednost (FCM) je svojevrsna metoda klasteriranja koja se temelji na objektivnoj optimizaciji. Ova metoda minimizira ponderiranu sumu udaljenosti svakog uzorka do nejasnog klaster centra kroz iteraciju, te napokon dijeli podatke u c kategoriji. Njegova funkcija optimizacije prikazana je u analitičkom izrazu:

$$\min\{J_m(U, v_1, v_2, \dots, v_c)\} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (\mu_{ij})^m (d_{ij})^2 \dots\dots\dots(1)$$

- U – predstavlja skup podataka na uzvodnim detektorima
- $v_1$  – metoda klasteriranja indeksa stanja sigurnosti na uzvodnom detektoru 1
- $v_2$  – metoda klasteriranja indeksa stanja sigurnosti na uzvodnom detektoru 2



- $v_c$  – srednja vrijednost metode klasteriranja indeksa stanja sigurnosti pripadajućih klastera u središtu
- $u_{ij}$  – predstavlja stupanj članstva i-te podatkovne točke koja pripada j-tom centru klastera
- $d_{ij}$  – predstavlja euklidsku udaljenost između i-ta središta klasteriranja i j-te točke podatka
- $m$  – ponderirani index s porastom od  $m$  (maglovitost, prirodne nepogode)

Gdje je  $U$  matrica članstva svake točke podataka i pripadajućeg klastera središte  $v_c$  je  $c$ , a nejasno središte klastera  $u_{ij}$  ( $u_{ij} \in [0,1]$ ) predstavlja stupanj članstva i-te podatkovna točka koja pripada j-tom centru klastera,  $d_{ij}$  je euklidska udaljenost između i-ta središta klasteriranja i j-ta točka podataka,  $m \in [1, \infty]$  je ponderirani index, s porastom od  $m$ , maglovitost nakupine se povećava i zadovoljava analitički izraz 2:

$$\sum_{i=1}^c (\mu_{ij})^m = 1, \quad \forall j = 1, \dots, n \quad \dots\dots\dots(2)$$

- $u_{ij}$  – predstavlja stupanj članstva i-te podatkovne točke koja pripada j-tom centru klastera
- $d_{ij}$  – predstavlja euklidsku udaljenost između i-ta središta klasteriranja i j-te točke podatka
- $m$  – ponderirani index s porastom od  $m$

Konkretni koraci nejasne metode klasteriranja  $c$ -znakova prikazani su u nastavku. Prvi korak, kategorija klastera  $c$  određuje se pomoću analitičkog izraza 3, odnosno vrijednosti  $c$  koja maksimizira  $L$ . Neizraziti koeficijent  $m$  obično je postavljen kao 2. uz to,  $\epsilon$  je prag zaustavljanja iteracije, a maksimalni iteracijski broj algoritma je  $b_{max}$ . Inicijaliziranje članstva matrica sa slučajnim brojevima

$$L(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m \|v_i - \bar{x}\|^2 / (c-1)}{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2 / (n-c)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- $L(c)$  – metoda klasteriranja  $c$  vrijednosti koja maksimizira  $L$  tj., dužina praga iteracije do nesreće
- $u_{ij}$  – predstavlja stupanj članstva i-te podatkovne točke koja pripada j-tom centru klastera
- $v_i$  – neizrazita matrica vektora središta klastera, srednja vrijednost metode klasteriranja indeksa
- $m$  – ponderirani index s porastom od  $m$

- $n$  – podudarni podaci u uzorku
- $x_j$  - vektor sastavljen od  $K$  prometa varijable protoka (mogući vektori su  $i$  i  $j$ )

Drugi korak, neizrazita matrica vektora središta klastera izračunava se prema analitičkom izrazu 4

$$v_i^{(b)} = \left[ \sum_{j=1}^n (\mu_{ij}^{(b)})^m \cdot x_j \right] / \left[ \sum_{j=1}^n (\mu_{ij}^{(b)})^m \right], i = 1, 2, \dots, c \quad \dots \dots \dots (4)$$

- $v_i^{(b)}$  – neizrazita matrica vektora središta klastera, a maksimalni iteracijski broj algoritma je  $b$
- $u_{ij}^{(b)}$  – predstavlja stupanj članstva  $i$ -te podatkovne točke koja pripada  $j$ -tom centru klastera sa maksimalnim brojem iteracija algoritma je  $b$
- $x_j$  - vektor sastavljen od  $K$  prometa varijable protoka (mogući vektori su  $i$  i  $j$ )
- $m$  – ponderirani index s porastom od  $m$
- $n$  – podudarni podaci u uzorku

Treći korak, neizrazita matrica učlanjenja klastera  $U(b+1)$  izračunava se i ažurira u skladu s analitičkim izrazom 5

$$\mu_{ij}^{(b+1)} = \left[ \sum_{k=1}^c (d_{ij}^{(b+1)} / d_{kj}^{(b+1)})^{2/(m-1)} \right]^{-1}, k = 1, 2, \dots, c \quad \dots \dots \dots (5)$$

- $U(b+1)$  – neizrazita matrica učlanjenja klastera, broj iteracija algoritma  $(b+1)$
- $d_{ij}$  – predstavlja euklidsku udaljenost između  $i$ -ta središta klasteriranja i  $j$ -te točke podatka
- $k$  – indeks procjene stanja protoka, ulazni parametar klastera analize
- $u_{ij}^{(b+1)}$  – predstavlja stupanj članstva  $i$ -te podatkovne točke koja pripada  $j$ -tom centru klastera sa maksimalnim brojem iteracija algoritma je  $(b+1)$
- $m$  – ponderirani index s porastom od  $m$
- $d_{kj}^{(b+1)}$  – predstavlja euklidsku udaljenost između  $k$ -ta središta klasteriranja i  $j$ -te točke podatka sa maksimalnim brojem iteracija algoritma  $(b+1)$

Četvrti korak, usporedba neizrazite matrice članstva u klasteriranju  $U^b$  i  $U^{(b+1)}$ . Ako je  $\|U^{(b+1)} - U^b\| \leq \varepsilon$ , prekinuti iteraciju. U suprotnom, pustite da se  $b=b+1$  vrati na korak 2 i nastavite ponavljati dok se ne dosegne maksimalan broj ponavljanja  $b_{max}$ . Treba napomenuti da većina postojećih istraživanja koristi pojedinačne indekse procjene kao što su brzina, brzina protoka ili popunjenost kao ulazne varijable neizrazite klaster analize. U ovom radu, promet indeksa procjene stanja protoka na temelju višeparametarske fuzije predlaže se kao ulazni parametar klaster analize, koji ne samo da može osigurati učinkovitu podjelu stanja prometa, već i sveobuhvatno održavaju informacije o stanju protoka prometa sadržane u više parametara.

Metoda procjene rizika od nesreća koja se temelji na Bayesovoj logističkoj regresiji na temelju podjele stanja sigurnosti prometa, Bayesov model uvjetne logističke regresije je uveden radi procjene utjecaja različitih stanja sigurnosti prometa na rizik od nezgode na autocesti. U ovom se modelu za nadzorno stanje uzima jedno od stanja sigurnosti u prometu. Tada se uz omjernu vrijednost izračunava i ostala stanja sigurnosti prometa prema kontrolnom stanju, a onda se ujecajem analiziraju i procjenjuju različita stanja sigurnosti prometa na rizik od sudara prema izračunu rezultata vrijednosti omjera. Model procjene rizika od sudara može se opisati kako slijedi. Pretpostavimo da postoji N podudarnih podataka o uzorku i kontroli slučajeva i da u skupini  $j(j=1, 2, \dots, N)$  sadrži jedan dio podataka o protoku prometa i m komada podataka o normalnom toku prometa. Stoga, za j-tu skupinu podataka, njezina je uvjetna vjerojatnost, vjerojatnost promatranja podataka u premisa zadanog broja promatranja svih uzoraka i podudarni broj uzoraka sudara na uzorak. Neka je  $p_j(x_{ij})$  vjerojatnost da se podaci o protoku i-tog dijela u j-toj grupi podudaraju, uzorak je prometni tok. Među njima je  $x_{ij}=(x_{1ij}, x_{2ij}, \dots, x_{kij})$  vektor sastavljen od K prometa varijable protoka i  $i=0,1,2 \dots m$ ;  $j=1,2,\dots N$ . Tada vjerojatnost pojave sudara može biti izražen kao linearni model logističke regresije, kao što je prikazano u analitičkom izrazu 6.

$$\text{logit}[p_j(x_{ij})]=\alpha_j + \beta_1 x_{1ij} + \beta_2 x_{2ij} + \dots + \beta_k x_{kij} \dots\dots\dots(6)$$

- $p_j(x_{ij})$  - vjerojatnost da se podaci o protoku i-tog dijela u j-toj grupi podudaraju
- $x_{ij}$  – vektori varijable protoka
- $\alpha_j$  - predstavlja učinak podudarnih varijabli na varijable pojave sudara u j-tom podudarnom uzorku
- $\beta_k$  - predstavlja koeficijent regresije nad varijablama ( $ij$ )

Gdje  $a_j$  predstavlja učinak podudarnih varijabli na varijable pojave sudara u j-tom podudarnom uzorku, koji se razlikuje od podudarnih podataka uzorka.  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  predstavlja koeficijent regresije objašnjene varijable. Funkcija uvjetne vjerojatnosti konstruirana je za uklanjanje pristranosti uzorka uzrokovane metodom uparenog uzorkovanja. Može se znati  $x_{0j}, x_{1j}, \dots, x_{mj}$  su j-ta odgovarajuća varijabla objašnjenja iz gore navedenog modela. Pod tim uvjetom, funkcija uvjetne vjerojatnosti  $x_{0j}$  u j-tom podudarnom uzorku može se zapisati kao analitički izraz 7.

$$p_j^c = \frac{p_j(x_{0j}|y=1) \prod_{i=1}^m (x_{ij}|y=0)}{\sum_{i=0}^m (x_{ij}|y=1) \prod_{i \neq i} (x_{ij}|y=0)} = \frac{\exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{k0j})}{\exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{k0j}) + \sum_{i=1}^m \exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{kij})} \dots\dots\dots(7)$$

- $p_j^c$  – funkcija uvjetne vjerojatnosti u j-tom podudarnom uzorku
- $x_{ij}$  – vektori varijable protoka
- m – ponderirani index s porastom od m
- k – indeks procjene stanja protoka, ulazni parametar klastera analize
- $\beta_k$  - predstavlja koeficijent regresije nad varijablama (ij)
- $p_j(x_{ij})$  - vjerojatnost da se podaci o protoku i-tog dijela u j-toj grupi podudaraju

Stoga funkcija vjerojatnosti u modelu uvjetne logističke regresije može biti izražena analitičkim izrazom 8.

$$f(Y|\beta) = \prod_{j=1}^N f(y_{0j} = 1|\beta) = \prod_{j=1}^N p_j^c = \exp\{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K \beta_k x_{k0j} - \sum_{j=1}^N \log[\sum_{i=0}^m \exp(\sum_{k=1}^K \beta_k x_{kij})]\} \dots\dots\dots(8)$$

- $\beta_k$  - predstavlja koeficijent regresije nad varijablama (ij)
- $p_j^c$  – funkcija uvjetne vjerojatnosti u j-tom podudarnom uzorku
- $x_{kij}$  – vektori varijable protoka sa maksimalnim indeksom procjene stanja protoka k
- k – indeks procjene stanja protoka, ulazni parametar klastera analize
- n – podudarni podaci u uzorku
- $y_{0j}$  – vektor varijable protoka u j-tom uzorku
- $f(Y|\beta)$  – funkcija vjerojatnosti u Bayesov-om modelu uvjetne logističke regresije

Metoda procjene najveće vjerojatnosti široko se koristi u modeliranju sigurnosti prometa. Ali ova metoda pripada točkovnoj procjeni i teško je procjeniti parametre za ovaj model. U ovom

istraživanju predložena je metoda lanca *Markova Chain Monte Carlo* (MCMC) kako bi se dobila raspodjela vjerojatnosti koeficijenta regresije  $\beta$ . Primjenjuje se na kontinuirano uzorkovanje iz raspodjela gustoće vjerojatnosti stražnjeg zgloba kako bi se generirale vrijednosti parametara. Kako ova distribucija nije standardna distribucija, uzorkovanje Metropolis-hasting metoda je prihvaćena u ovom algoritmu. Konkretni koraci algoritma su sljedeći.

Prvi korak  $\beta = (\beta_0^{(t-1)}, \dots, \beta_k^{(t-1)})$

Drugi korak generira vrijednosti kandidata iz predložene raspodjele  $\beta' = (\beta_0, \dots, \beta_k)^T$

Treći korak Izračun  $\alpha = \min(0, \ln \frac{f(Y | \beta'_0, \dots, \beta'_k) f(\beta'_0, \dots, \beta'_k)}{f(Y | \beta_0, \dots, \beta_k) f(\beta_0, \dots, \beta_k)} \times \frac{N(\beta | \beta')}{N(\beta' | \beta)})$

Četvrti korak nasumično generiranje U iz jednolike raspodjele U(0,1)

Peti korak ako  $\ln(U) \leq \alpha$ , zatim  $\beta^{(t)} = \beta'$ , inače  $\beta^{(t)} = \beta$

Šesti korak neka je  $t=t+1$ , vratiti se na korak 1. [8,9]

Rezultati i rasprave podjele državne sigurnosti u prometu u ovom istraživanju ulaz FCM modela je skup podataka s četiri karakteristike, koji je sastavljen od indeksa sveobuhvatne procjene stanja prometa na četiri detektora (detektor U2, U1, D1 i D2) smješteni uzvodno i nizvodno od mjesta pada prometa tj. nesreće. Jedan od rezultata FCM-RBF (*eng. Fuzzy C-mean – Radial Basis Function*) modela je neizrazita matrica članstva U uključujući c redaka i n stupaca, što je c broj klastera i n je broj uzorka podataka. Drugi izlaz je skup vektora središta klastera V, koji uključuje c elemente i svaki je element četverodimenzionalni. Prvo se prema analitičkom izrazu 3. određuje konačna vrijednost nejasnog grupiranja kategorije c. Kada  $c=6$ ,  $L(c)$  je najveći, pa je stanje sigurnosti prometa podjeljeno u 6 kategorija. Prema fuzzy koracima c-znači grupiranje, nejasno središte klasteriranja podataka autocest. Dobiva se uzorak, kao što je prikazano u tablici 1. Prema teoriji trofaznog protoka prometa, protok prometa na jednom detektoru može biti podijeljen u tri prometna stanja (tj. slobodni protok, protok faznog prijelaza, pretrpan protok). Teoretski, četiri detektora imaju ukupno  $3^4 = 81$  kombinacija stanja prometa. Međutim, zbog blizine udaljenosti između detektora (oko 0,3-0,8km), stanje prometa susjednih detektora na uzvodnom i nizvodnom ima određeni stupanj sličnosti. Postoje očite razlike u stanju između podataka o uzorku protoka

prometa koji se podudaraju i nema pada prometnog toka. Kao rezultat toga, vrijednost broja kategorije dobivenih na temelju višeparametarskog fuzijskog klastera znatno je niža od teorijske vrijednosti. Ali to također ukazuje da je samo nekoliko prometnih uvjeta vjerojatnije da će uzrokovati prometnu nesreću na autocesti. Prema grupiranju stanja sigurnosti prometa u tablici 1. i podjeli trofaznog protoka prometa, šest stanja sigurnosti prometa može se opisati odgovarajućim uzvodnim i nizvodnim karakteristikama protoka prometa.

Shematski dijagram šest prometnih sigurnosti stanja prikazana je na slici 12. Kao što je prikazano na slici 12A, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno u osnovi je isto stanje. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 22 i 20, a vrijednost protokaprometa nizvodno je 22, odnosno 21. Protok prometa uzvodno i nizvodno su u slobodnom protoku. Prema grupiranju uzoraka rezultata, udio uzoraka koji nisu padovi u ukupnom uzorku je 56,30%, udio uzorka sudara u ukupnom uzorku su 54,38%, a udio oba u ukupnom uzorku je 55,91%, što ukazuje da je više od polovice uzoraka u stanju sigurnosti 1. U ovom stanju sigurnosti prometa udio uzoraka sudara iznosi 19,45%, a udio u kojima nema sudara uzoraka je 80,55%. udio uzoraka s padom i uzoraka koji se ne ruše je blizu 1:4.

Kao što je prikazano na slici 12B, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno je u osnovi isto stanje. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 33 i 32, a vrijednost protoka prometa nizvodno je 32, odnosno 32.

**Tablica 1.** Fuzzy grupiranje uzoraka prema šest kategorija [8]

| Naziv ulazne varijable          | Stanje 1 | Stanje 2 | Stanje 3 | Stanje 4 | Stanje 5 | Stanje 6 |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Sveobuhvatni indeks procjene U2 | 22       | 33       | 46       | 33       | 26       | 36       |
| Sveobuhvatni indeks procjene U1 | 20       | 32       | 47       | 38       | 23       | 32       |
| Sveobuhvatni indeks procjene D1 | 22       | 32       | 37       | 61       | 36       | 28       |
| Sveobuhvatni indeks procjene D2 | 21       | 33       | 34       | 49       | 31       | 28       |

Protok prometa uzvodno i nizvodno su u stanju protoka faznog prijelaza. Prema uzorku rezultata klasteriranja, udio uzoraka koji nisu u padu u ukupnom uzorku je 8,85%, udio uzoraka u padu u ukupnom uzorku je 11,68%, a udio oba u ukupnom uzorku je 9,42%, što znači da je manje od 10% uzoraka u statusu sigurnosti u prometu 2, osim toga u ovom stanju sigurnosti prometa udio uzoraka

sudara iznosi 24,81%, a uzorci koji se nisu sudarili 75,19%. udio uzoraka sudara i uzoraka koji nisu pad prometnog toka sustava je blizu 1:3.

Kao što je prikazano na slici 12C, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno je različito. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 46, odnosno 47, a vrijednost protoka prometa nizvodno 37, odnosno 34. Protok prometa uzvodno je u gužvi, a nizvodno je u faznom prijelaznom stanju. Prema uzorku rezultata klasteriranja, udio uzoraka koji nisu u padu ukupnog uzorka je 6,48%, a udio uzoraka u padu u ukupnom uzorku je 13,87%, a udio oba u ukupnom uzorku je 7,96%, što znači da je gotovo 8% uzoraka u statusu sigurnosti u prometu 3. U ovom stanju sigurnosti u prometu udio uzoraka sudara iznosi 34,86%, a udjela koji se nisu sudarili u uzorku je 65,14%. Udio uzoraka s padom i uzoraka koji se ne ruše je blizu 1:2.

Kao što je prikazano na slici 12D, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno je prilično različito. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 33, odnosno 38, a vrijednost protoka prometa nizvodno je 61, odnosno 69. Tok prometa uzvodno je u fazi prijelaznog stanja, a nizvodno je u gužvi. Prema rezultatima klasteriranja uzoraka, udio uzoraka koji nisu u padu u ukupnom uzorku je 2,28%, udio uzorka sudara u ukupnom uzorku su 4,01%, a udio oba u ukupnom uzorku je 2,63%, što znači da je manje od 3% uzoraka u statusu sigurnosti u prometu 4. U ovom stanju sigurnosti prometa udio uzoraka sudara iznosi 30,56%, a uzoraka bez sudara 69,44%. Udio uzoraka s padom i uzoraka koji nisu u padu blizu je 2:5.

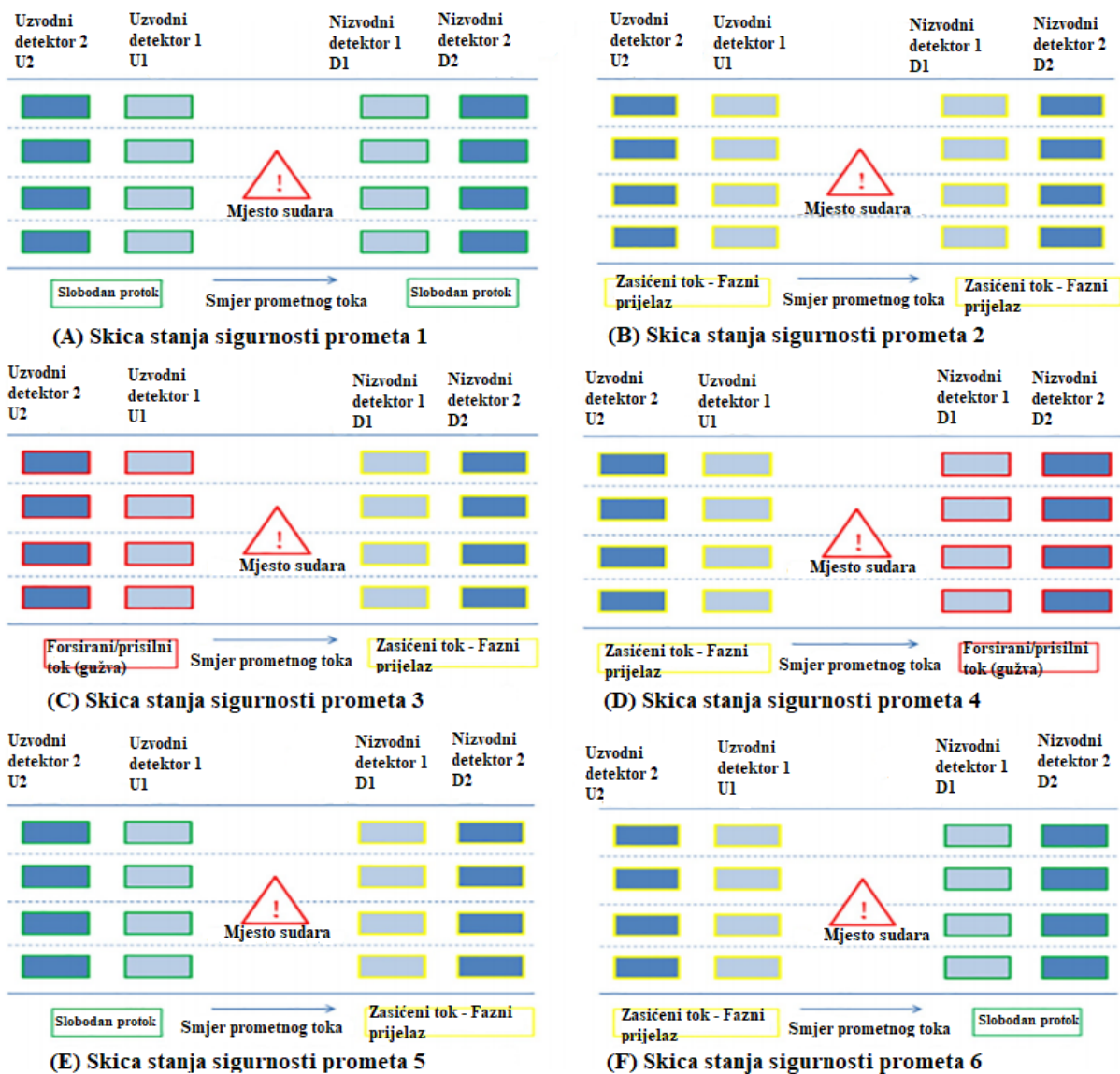
Kao što je prikazano na slici 12E, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno je različito. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 26, odnosno 23, a vrijednost protoka prometa nizvodno je 36, odnosno 31. Protok prometa uzvodno je slobodno stanje protoka, a nizvodno je u faznom prijelaznom stanju. Prema rezultatima klasteriranja uzoraka, udio uzoraka koji nisu u padu u ukupnom uzorku je 13,69%, udio uzoraka sudara u ukupnom uzorku je 6,93%, a udio oba u ukupnom uzorku je 12,34%, što znači da je 12% uzoraka u statusu sigurnosti u prometu 5. U ovom stanju prometne sigurnosti udio uzoraka sudara iznosi 11,24%, a uzoraka koji nisu sudar 88,76%. Udio uzoraka koji padaju i uzoraka koji nisu pad je blizu 1:8.

Kao što je prikazano na slici 12F, stanje protoka prometa uzvodno i nizvodno je različito. Sveobuhvatni indeks procjene protoka prometa uzvodno je 36, odnosno 32, a vrijednost protoka prometa nizvodno je 28, odnosno 28. Tok prometa uzvodno je u fazi prijelaznog stanja, a nizvodno je u stanju slobodnog protoka. Prema rezultatima klasteriranja uzoraka, udio uzoraka koji nisu u

padu u ukupnom uzorku iznosi 12,41%, udio uzoraka sudara u ukupnom uzorku je 9,12%, a udio oba u ukupnom uzorku je 11,75%, što ukazuje da je manje od 12% uzoraka u statusu sigurnosti u prometu 6. U ovom stanju sigurnosti prometa udio uzoraka sudara iznosi 15,53%, a uzoraka bez sudara 84,47%. udio uzoraka s padom i uzoraka koji se ne ruše je blizu 1:5.

Treba istaknuti da uzorci udjela protoka prometnih nesreća i protoka prometa bez sudara u gornjih šest stanja sigurnosti prometa su različiti. Prema rezultatima statističke analize može se utvrditi da samo udio uzoraka u sigurnosti prometa 1 u skladu s izvornim podacima o uzorcima (tj. omjer uzoraka koji padaju i uzoraka koji nisu pad 1:4). To ukazuje na to da samo stanje sigurnosti prometa 1 nema odstupanja uzoraka u procesu grupiranja, dok druga stanja sigurnosti donekle imaju odstupanja uzoraka. Također, pokazuje da pad sustava manje utječe samo na sigurnosno stanje 1, dok su druga stanja više pogođena padom. Da bi se dalje usporedili različiti učinci između šest stanja sigurnosti prometa potrebna je kvantitativna procjena nekoliko sigurnosnih stanja. [8,12]





Slika 12. Karakteristike različitih stanja sigurnosti prometa. (A) Skica stanja sigurnosti prometa 1. (B) Skica stanja sigurnosti prometa 2. (C) Skica stanja sigurnosti prometa 3. (D) Skica stanja sigurnosti prometa 4. (E) Skica stanja sigurnosti prometa 5. (F) Skica stanja sigurnosti prometa 6.[8]

## 5.2. Tehnike pristupa procjene rizika od sudara

Kako bi se dalje kvantitativno analizirala veza između šest različitih prometnih sigurnosti u državi od rizika od sudara, predložen je Bayesov model uvjetne logističke regresije analizirati utjecaj različitih stanja sigurnosti prometa na rizik od sudara na autocesti. Stanje sigurnosti u prometu ima snažnu korelaciju s protokom prometa, brzinom, popunjenošću i drugim pokazateljima procjene stanja prometa. Stoga se samo stanje sigurnosti u prometu smatra objašnjene varijable u uvjetnom modelu logističke regresije.

Diskretne varijable ne mogu se izravno koristiti kao objašnjavajuće varijable u regresijskom modelu. Stanje sigurnosti prometa 1 (tj. stanje slobodnog protoka u uzvodnom i nizvodnom toku) uzima se kao referentno stanje u ovom istraživanju. A ostala stanja sigurnosti u prometu opisana su s pet parametara (tj.  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ ). Proces iteracije lanca MCMC proveden je primjenom WinBUGS14 u ovom istraživanju, a zatim je vrijednost parametara dobivena iz procjene najmanjeg kvadrata uzeta kao početna vrijednost MCMC iteracije. Lanac MCMC s 10000 dobivenih iteracija na temelju kojih je izvedeno Bayesovo zaključivanje. Otkriveno je da je model postigao konvergenciju nakon 4500 ponavljanja, pa se o parametrima modela zaključuje pomoću koristeći vrijednosti kasnijih 5500 ponavljanja. Rezultati procjene modela prikazani su u tablici 2. Omjer vjerojatnosti dnevnika važan je parametar za procjenu uvjetne logističke regresije modela, koji ima brojne uspješne primjene na području analize i procjene rizika od sudara. Budući da svi 95% intervali pouzdanosti za  $\beta$  u modelu ne sadrže 0, to ukazuje na to da postoje značajne razlike između ovih stanja sigurnosti prometa i referentnog stanja (tj. stanje sigurnosti prometa 1). To se može vidjeti iz procjenjenih rezultata modela u tablici 2., omjeri vjerojatnosti dnevnika u ostalim državama sigurnosti prometa veći su od 1. To ukazuje na to da razina rizika od sudara stanja sigurnosti u prometu 1 najniža je među šest stanja sigurnosti prometa. Rizik od sudara u ostalim državama sigurnosti u prometu veći je od rizika u referentnom stanju. Više od polovice podataka uzorka sudara nalazi se u stanju sigurnosti prometa 1, što ukazuje na to da je većina stanja protoka prometa na autocesti u stanju slobodnog protoka, a rizik od sudara na autocesti je relativno nizak.[8,11]

**Tablica 2.** Rezultati procjene Bayesova modela uvjetne logističke regresije [8]

| Objašnjavajuća varijabla | Parametar $\beta$ | Sredina parametra | Standardna devijacija parametra | Log omjer vjerojatnosti skupa $\beta$ |
|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Stanje 2                 | $\beta_1$         | 1.586             | 0.299                           | 4.884                                 |
| Stanje 3                 | $\beta_2$         | 1.897             | 0.323                           | 6.666                                 |
| Stanje 4                 | $\beta_3$         | 2.089             | 0.365                           | 8.077                                 |
| Stanje 5                 | $\beta_4$         | 1.654             | 0.358                           | 5.228                                 |
| Stanje 6                 | $\beta_5$         | 1.438             | 0.372                           | 4.212                                 |
| Stanje 1                 | -*                | -                 | -                               | -                                     |

Može se vidjeti da je omjer vjerojatnosti, vjerojatnosti stanja sigurnosti prometa 4. – 8077, što je najveći u usporedbi s drugim državama. To ukazuje sa je rizik od sudara na autocesti najveći, kada je uzvodno u stanju protoka promjene faze, a nizvodno u prepunom protoku. To je uglavnom zato što vozilo u stanju faznog prijelaza ima veliku brzinu i mali opseg prometa, dok vozila u prenatrpanom stanju imaju malu brzinu i veliku količinu prometa. Kada se radno okruženje vozila naglo promijeni iz stanja faznog prijelaza u gužvi, lako se mogu dogoditi prometne nesreće, odnosno postoji veći rizik od nesreća, što je u skladu sa stvarnom sigurnosnom situacijom na autocesti. U međuvremenu, uzorci podataka o nesrećama u stanju sigurnosti prometa 4 čine samo 2,63% u ukupnom uzorku. To je u skladu s povremenim karakteristikama prometnih nesreća na autocesti. Prema omjeru vjerojatnosti dnevnika, može se razvrstati razine rizika od sudara na različite načine. Što je veći omjer vjerojatnosti dnevnika, veći će biti odgovarajući rizik od neregule, i što je veća vjerojatnost nesreće u ovom stanju. Može se vidjeti da je odgovarajući rizik od sudara najveći u državi 4 i državi 3. Ova dva stanja se mogu smatrati najviše opasnije stanje prometa, kako bi se odjel za upravljanje autocestama pomoglo da formulira preventivne mjere, smanji stopu sudara i poboljša razinu upravljanja sigurnošću.

Zaključak istraživanja je da procjena rizika od sudara na autocesti jedan od osnovnih zadataka upravljanja sigurnošću prometa na autocesti, te kontrola sustava. U ovom istraživanju predložena je metoda procjene rizika od naleta vozila na autocesti. Prvo se primjenjuje struktura uzorka slučaj-kontrola kako bi se podudarala s podacima prometa u sudaru i podacima o protoku prometa koji se ne sudaraju. Kao drugo, indeks procjene fuzije s više parametara uzima se kao parametar klasteriranja za podjelu stanja prometa, a zatim se primjenjuje fuzzy c metoda klasteriranja za klasifikaciju stanja sigurnosti prometa s uzorcima podataka. Predlaže se Bayesov model uvjetne

logističke regresije kako bi se procjenio utjecaj različitih stanja prometa na rizik od sudara na autocesti. Rezultat istraživanja slučaja pokazuje da je razina rizika od sudara različit u različitim prometnim stanjima. Stoga, odjel za upravljanje sigurnošću na autocestama treba usmjeriti na jačanje nadzornih mjera stanja u prometu s visokim rizikom od sudara. [8]

### **5.3. Sudionici**

Procjena rizika u sustavu upravljanja incidentnim situacijama u prometu je vrlo složen proces. Sudionici koji trebaju biti uključeni u cijelo istraživanje o procjeni rizika su puno savjesnih, sposobnih i stručnih inženjera i rukovoditelja u svim znanstvenim područjima (tj. ekonomski stručnjak, prometni stručnjak, Analitički stručnjak, itd...). Uz sve stručnjake u cijeli projekt trebaju biti uključeni odjeli za upravljanje prometom, država, žurne službe, te niz institucija koje brinu o nacionalnoj sigurnosti.[10]

## 6. Zaključak

U ovom diplomskom radu obrađena je procjena rizika, jedna od temeljnih analiza koja je dio svakog projekta, a koja je dio analize troškova i koristi. Svaki ITS sustav treba imati detaljno razrađenu procjenu rizika koja treba biti usklađena sa nacionalnom ITS arhitekturom. ITS sustav vodi računa o pravovremenom okupljanju dionika i uspostavljanju njihove međusobne komunikacije. Brze i precizne aktivnosti određenih dionika umanjuju negativne posljedice incidentne situacije. Da bi inteligentne transportne tehnologije funkcionirale kao sustav, važno je predvidjeti ne samo komponente sustava s pojedinačnim performansama, nego je također potrebno osigurati da te komponente međusobno djeluju učinkovito i da su uklopljene u cjeloviti sustav. To je moguće valjano ostvariti isključivo putem odgovarajuće arhitekture ITS standarda i sustava.

Projekt se sastoji od niza logičkih povezanih aktivnosti u kojima je svaki korak bitan, procjena rizika je jedna od glavnih analiza koju ponekad glavni projektanti znaju zanemariti i/ili olako shvatiti u izradi projektne dokumentacije. Ponekad je potrebno uložiti više vremena i znanja u procjenu rizika na dugoročnim projektima, jer jedna kriva odluka može dovesti cijeli projekt u rizičnu razinu koja u financijskom smislu znači da je ne isplativ.

U ovom diplomskom radu analizirana je metoda procjene rizika od nesreća koja se temelji na Bayesovoj logističkoj regresiji na temelju podjele stanja sigurnosti prometa. Bayesov model uvjetne logističke regresije je uveden radi procjene utjecaja različitih stanja sigurnosti prometa na rizik od nezgode na autocesti. U ovom se modelu za nadzorno stanje uzima jedno od stanja sigurnosti u prometu. Tada se uz omjernu vrijednost izračunava i ostala stanja sigurnosti prometa prema kontrolnom stanju, a onda se ujecajem analiziraju i procjenjuju različita stanja sigurnosti prometa na rizik od sudara prema izračunu rezultata vrijednosti omjera. Istraživanje različitih slučajeva u prometu pokazuje da je razina rizika od sudara različit u različitim prometnim stanjima, te se stoga treba usmjeriti na jačanje nadzornih mjera stanja u prometu s visokim rizikom od sudara.

## 7. Literatura

- [1] Bošnjak, I., *Inteligentni transportni sustavi 1*, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2006.
- [2] Škorput, P.: *Predavanja iz kolegija „Upravljanje incidentnim situacijama u prometu“*, Fakultet prometnih znanosti, 2017.
- [3] Bošnjak, I., Badanjak, D.: *Osnove prometnog inženjerstva*, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2005.
- [4] European Commission: *Vodič kroz analizu troškova i koristi investicijskih projekata 2014-2020*.
- [5] Bukljaš Skočibušić, M., Radačić, Ž., Jurčević, M.; *Ekonomika prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011.
- [6] <https://www.azu.hr/media/1094/smjernice-za-procjenju-rizika.pdf> (15.07.2021.)
- [7] European Commission: *Vodič kroz analizu troškova i koristi investicijskih projekata 2014-2020*.
- [8] D, Sun., Yunfei, A., Yunhua, S., Liping, Z.: *A Highway Crash Assessment Method Based on Traffic Safety State Division*, University China, 2020.
- [9] Hussein, D., William, G., Sakda, P.: *Traffic Impact Assessment of Incident Management Strategies*, 2008.
- [10] Arianne T. De Blaeij, Daniel J. Van Vuuren: *Risk Perception of Traffic Participants*, 2001.
- [11] Staković, M., Stević, Ž., Kumar Das, D., Subotić, M., Pamučar, D.: *A New Fuzzy Marcos Method for Road Traffic Risk Analysis*, 2020.
- [12] National Institute of Standards and Technology, U.S.A.; *Guide for Conducting Risk Assessments*, 2012.

## 8. Popis ilustracija

### 8.1. Popis slika

|   |    |
|---|----|
| 1. Slika 1. V-modelom životnog ciklusa sustava .....  | 7  |
| 2. Slika 2. Proces upravljanja incidentnim situacijama.....   | 8  |
| 3. Slika 3. Kumulativni dolasci i odlasci vozila u odnosu na skraćeno vrijeme detekcije.....  | 9  |
| 4. Slika 4. Glavni koraci u postupku procjene rizika.....   | 17 |
| 5. Slika 5. Procjena izbora prikladnosti metoda.....  | 18 |
| 6. Slika 6. Metode procjene rizika.....   | 19 |
| 7. Slika 7. ALARP načela – Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu.....  | 21 |
| 8. Slika 8. Primjer matrice za opis vrednovanja rizika.....   | 22 |
| 9. Slika 9. Mjesto istraživanja dionice autoceste.....  | 23 |
| 10. Slika 10. Podaci o stanju protoka pomoću detektora.....   | 24 |
| 11. Slika 11. Dijagram toka metode procjene rizika od sudara na autocesti na temelju podjele stanja prometa.....  | 26 |
| 12. Slika 12. Karakteristike različitih stanja sigurnosti prometa. (A) Skica karte statusa sigurnosti prometa 1. (B) Skica karte statusa sigurnosti prometa 2. (C) Skica karte statusa sigurnosti prometa 3. (D) Skica karte statusa sigurnosti prometa 4. (E) Skica karte statusa sigurnosti prometa 5. (F) Skica karte statusa sigurnosti prometa 6. .... | 35 |

### 8.2. Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| 1. Tablica 1. Fuzzy grupiranje uzoraka prema šest kategorija .....                 | 32 |
| 2. Tablica 2. Rezultati procjene Bayesova modela uvjetne logističke regresije..... | 37 |



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

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

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

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

#### **Procjena rizika za sustave upravljanja incidentnim situacijama u prometu**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 10.9.2021. \_\_\_\_\_

Student/ica:

Marko Čaić

(potpis)