

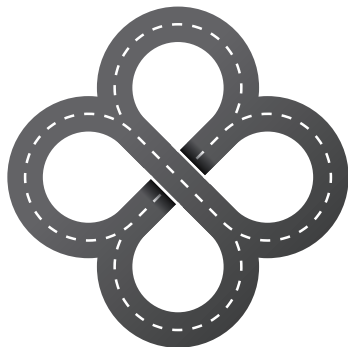
CESTE[®]
2025

49. INTERNATIONAL ROAD CONFERENCE & EXPO

CROATIA | ROVINJ | HOTEL LONE 18. - 21.03.2025.

ZBORNİK RADOVA
BOOK OF PROCEEDINGS

**49. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA
O CESTOVNOJ INFRASTRUKTURI I
SIGURNOSTI U PROMETU**



CESTE 2025
ROVINJ, HRVATSKA, 18.-21.03.2025.

Organized by

Andreja Feistritzner

for

PIENORIA

www.plenoria.hr

**ZBORNİK RADOVA
BOOK OF PROCEEDINGS**

ORGANIZACIJSKI ODBOR

Predsjednica: Andreja Feistritzner dipl.oec

Članovi: doc.dr.sc. Marko Ševrović, John Leko dipl.ing., Saša Tomašić dipl.ing., Slaviša Babić dipl.ing., Slavko Inić dipl.ing., prof. dr. Tomaž Tollazzi, Veronika Feistritzner oec.

ZNANSTVENO PROGRAMSKI ODBOR

Predsjednik: prof.dr.sc. Hrvoje Baričević

Članovi: doc.dr.sc. Marko Ševrović, Željko Remenar dipl.ing., doc.dr.sc. Marko Šošćarić, Slaviša Babić dipl.ing., Jozo Šitum dipl.ing., mr.sc. Miron Huljak, Ivan Laco dipl.ing., Ivan Molnar dipl.ing., Slavko Inić dipl.ing., prof.dr. Goran Mijoski, Silvijo Čamber dipl.ing., Mladen Hranilović dipl.ing., John Leko dipl.ing., doc.dr.sc. Robert Maršanić

SADRŽAJ

CONTENT

- 05** REKLAMNI DIO
ADVERTISING PART
- 21** SANACIJA POTENCIJALNO OPASNIH MJESTA NA CESTAMA U RAZDOBLJU U OD 1994. DO 2024. GODINE
RECOVERY OF DANGEROUS SPOTS ON ROADS IN THE PERIOD FROM 2021 TO 2024.
- 28** ODGOVORNOST UPRAVITELJA CESTA ZA PROMETNE NESREĆE UZROKOVANE PROPUSTIMA U ODRŽAVANJU
LIABILITY OF ROAD OPERATORS FOR TRAFFIC ACCIDENTS CAUSED BY FAILURES IN ROAD MAINTENANCE
- 43** SUVREMENI PRISTUPI PROJEKTIRANJU CESTA
MODERN APPROACHES TO ROAD DESIGN
- 52** IZAZOVI U PROVEDBI AKTIVNOSTI ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI DJECE BIKIKLISTA U PROMETU
CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF ACTIVITIES TO INCREASE THE SAFETY OF CHILDREN CYCLISTS IN TRAFFIC
- 62** KRUŽNA RASKRIŽJA U FUNKCIJI KONTROLE BRZINE – STUDIJA SLUČAJA
ROUNDAOUBTS IN THE FUNCTION OF SPEED CONTROL - A CASE STUDY
- 75** PROMETNE NESREĆE I CESTOVNA INFRASTRUKTURA – KRITIČNE LOKACIJE UDARA U STUPOVE U HRVATSKOJ
TRAFFIC ACCIDENTS AND ROAD INFRASTRUCTURE – CRITICAL POLE IMPACT LOCATIONS IN CROATIA
- 95** UMJETNA INTELIGENCIJA I SIGURNOST PROMETA – NAJNOVIJE PRIMJENE UMJETNE INTELIGENCIJE ZA SIGURNOST PROMETA U NIZOZEMSKOJ
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TRAFFIC SAFETY – STATE-OF-THE-ART AI APPLICATIONS FOR TRAFFIC SAFETY IN THE NETHERLANDS
- 103** SVOJSTVA I MEHANIZAM REAKTIVNIH MODIFIKATORA ZA POBOLJŠANJE BITUMENSKOG VEZIVA ZA FLEKSIBILNE ASFALTNE KOLNIKE
PROPERTIES AND MECHANISM OF REACTIVE MODIFIERS TO ENHANCE BITUMEN BINDER FOR FLEXIBLE ASPHALT PAVEMENT
- 115** OČUVANJE PRIRODNOG OKOLIŠA PRILIKOM REALIZACIJE INFRA-PROJEKATA
PRESERVING THE NATURAL ENVIRONMENT DURING INFRASTRUCTURE PROJECTS
- 121** PRIMJENA UMJETNE INTELIGENCIJE U OCJENI STANJA KOLNIKA NA PRIMJERU LOKALNE CESTE TRŠČE-VRHOVCI-TRŠČE
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PAVEMENT CONDITION ASSESSMENT ON THE EXAMPLE OF THE LOCAL ROAD TRŠČE-VRHOVCI-TRŠČE
- 132** NOVI PRISTUP ODREĐIVANJU OTPORNOSTI NA ZAMOR ASFALTNIH UZORAKA
A NEW APPROACH TO DETERMINING THE FATIGUE RESISTANCE OF ASPHALT SPECIMENS
- 143** OCJENA MOGUĆEG SMANJENJA SMRTNIH ŽRTAVA I TEŠKO POVRIJEĐENIH PRILIKOM UDARA U PASIVNO SIGURNE STUPOVE JAVNE RASVJETE
EVALUATION OF THE POSSIBLE REDUCTION OF FATALITIES AND SERIOUSLY INJURED VICTIMS WHEN HITTING PASSIVELY SAFE PUBLIC LIGHTING POLES
- 152** OTKRIVANJE PROMETNIH ANOMALIJA, INCIDENATA I NESREĆA NEPRIMJETNO UZ DIONICU CESTE POMOĆU DISTRIBUIRANOG AKUSTIČNOG SENZORA
DETECTION OF TRAFFIC ANOMALIES, INCIDENTS AND ACCIDENTS SEAMLESSLY ALONGSIDE A ROAD STRETCH BY DISTRIBUTED ACOUSTIC SENSING
- 163** NOVA GENERACIJA BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE I ZAGAĐENJA ZRAKA
A NEW GENERATION OF BARRIERS FOR AIR AND NOISE POLLUTION MITIGATION
- 171** MODEL SANACIJE PROMETNE INFRASTRUKTURE NA PODRUČJU GRADA PETRINJE NAKON KATASTROFE – POTRESA
REHABILITATION MODEL OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON PETRINJA AREA AFTER EARTHQUAKE
- 178** RAZVOJNE FAZE DOKUMENTACIJE ZA PROJEKTE PROMETNE INFRASTRUKTURE
DEVELOPMENT STAGES OF DOCUMENTATION FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS
- 189** ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJELAZI: UZROCI, POSLJEDICE I PREVENCIJA NALETA NA POLUBRANIKE
LEVEL CROSSINGS: CAUSES, CONSEQUENCES AND PREVENTION OF COLLISIONS WITH HALF-BARRIERS
- 199** SIMULACIJA UTJECAJA NA POTROŠNJU ENERGIJE RAZLIČITIH PRISTUPA AUTONOMNIH I LJUDSKIH VOZILA NA PJEŠAČKE PRIJELAZE
SIMULATING THE IMPACT ON ENERGY CONSUMPTION OF VARIOUS AUTONOMOUS AND HUMAN-DRIVEN VEHICLE APPROACHES TO PEDESTRIAN CROSSINGS
- 210** OBNOVA KONTROLNIH CENTRA DARS U SLOVENIJI
RENOVATION OF DARS TRAFFIC CONTROL CENTERS IN SLOVENIA
- 221** PREVENTIVNE AKTIVNOSTI SAVJETA ZA SIGURNOST PROMETA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE
PREVENTIVE ACTIVITIES OF THE TRAFFIC SAFETY COUNCIL OF PRIMORJE-GORSKI KOTAR COUNTY
- 234** SIGURNIJI PJEŠAČKI PRIJELAZI – TEHNIČKA REGULATIVA
SAFER PEDESTRIAN CROSSINGS – TECHNICAL REGULATIONS
- 241** IZAZOVI I UTJECAJI UVOĐENJA CESTARINE ZA TEŠKA VOZILA: PRAVNI, OPERATIVNI I SIGURNOSNI ASPEKTI
CHALLENGES AND IMPACTS OF INTRODUCING TOLLING FOR HEAVY VEHICLES: LEGAL, OPERATIONAL, AND SAFETY ASPECTS
- 249** UTJECAJ TEŠKIH VOZILA NA SIGURNOST PROMETA NA DRŽAVNIM CESTAMA – STATISTIČKA ANALIZA
IMPACT OF HEAVY VEHICLES ON TRAFFIC SAFETY ON STATE ROADS – A STATISTICAL ANALYSIS

SADRŽAJ

CONTENT

- 256** ANALIZA POSTOJEĆEG REGULATORNOG OKVIRA ZA IZBOR PROJEKTANTSКИH RJEŠENJA CESTOVNE PROMETNE INFRASTRUKTURE S PRIJEDLOGOM UNAPRJEĐENJA SA STAJALIŠTA SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA
ANALYSIS OF THE EXISTING REGULATORY FRAMEWORK FOR SELECTING DESIGN SOLUTIONS FOR ROAD TRAFFIC INFRASTRUCTURE WITH A PROPOSAL FOR IMPROVEMENT FROM THE PERSPECTIVE OF ROAD TRAFFIC SAFETY
- 266** ANALIZA SIGURNOSTI BIKIKLISTIČKOG PROMETA U REPUBLICI HRVATSKOJ
ANALYSIS OF CYCLIST TRAFFIC SAFETY IN THE REPUBLIC OF CROATIA
- 279** PREGLED I ANALIZA LOKACIJA PROMETNIH NESREĆA S POGINULIM PJEŠACIMA NA ŽUPANIJSKIM, LOKALNIM I OSTALIM NERAZVRSTANIM CESTAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ
REVIEW AND ANALYSIS OF LOCATIONS OF TRAFFIC ACCIDENTS WITH FATAL PEDESTRIAN CASUALTIES ON COUNTY, LOCAL, AND OTHER UNCLASSIFIED ROADS IN THE REPUBLIC OF CROATIA
- 291** UTJECAJ PROMJENE TARIFNOG SUSTAVA NA KARAKTERISTIKE PARKIRANJA U CENTRALNOJ ZONI NOVOG SADA
THE EFFECT OF CHANGING THE TARIFF SYSTEM ON THE CHARACTERISTICS OF PARKING IN THE CENTRAL ZONE OF NOVI SAD
- 298** PROMETNA ANALIZA SLAVONSKE AVENIJE U GRADU ZAGREBU
TRAFFIC ANALYSIS OF SLAVONSKA AVENUE IN THE CITY OF ZAGREB

GlasGrid® Rapid

SUSTAV OJAČANJA KOLNIKA ZA BRZE
SANACIJE BEZ KORIŠTENJA EMULZIJE



eu.adfors.com

aleksandar.glisic@saint-gobain.com



STM CROATIA d.o.o.

VAŠA CESTA

U DOBRIM RUKAMA

- › **Površinska obrada**
- › **Povezivanje slojeva**
- › **Brtvljenje rubova**
- › **Sanacija:**
 - udarnih rupa
 - pukotina
 - spojeva



stm-croatia.hr

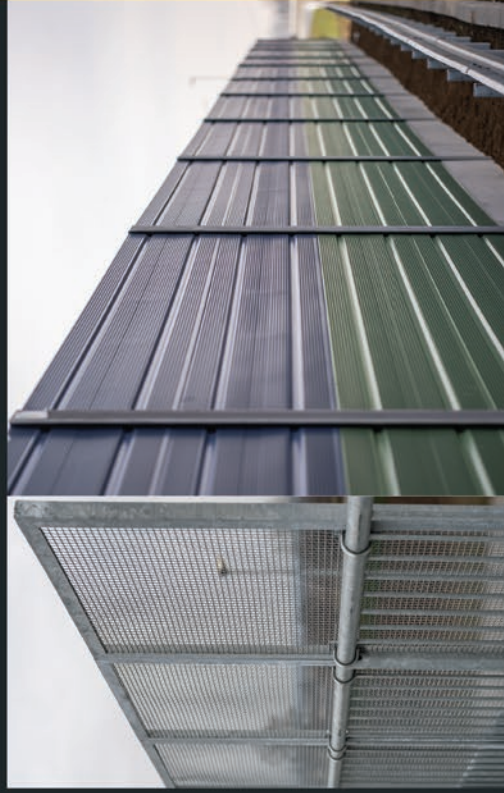
OTKRIJTE SVIJET UPRAVLJANJA OBORINSKIM VODAMA



Upravljanje oborinskim vodama nije tema budućnosti.
Ono se mora planirati već danas.
HAURATON Vam nudi prava rješenja.

Regionalni lider u proizvodnji i ugradnji:

Zaštitnih ograda za puteve
Panela za zaštitu od buke
Pešačkih ograda
Žičanih ograda
Zaštitne mreže



UNIPROMET

Na svetloj strani puta.

unipromet.co.rs

#HOMEOFROADSAFETY

THE
ORIGINAL

Whether you are driving home, on holiday or to work – the goal is always the same: to arrive safe. And to ensure this, you can rely on the original. DELTABLOC® is making roads safer worldwide for over 20 years with innovative concrete and steel vehicle restraint systems as well as modern noise protection systems. We are the Home of Road Safety.

deltabloc.com

DELTABLOC®



**Commercial Branding and
Transportation Products**

Official distributor



DIPA



GeoSolutions

USLUGE:

POBOLJŠANJE TEMELJNOG TLA
HIDROIZOLACIJA
GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI
GEOTEHNIČKI ELABORAT
PROJEKTIRANJE
KONZALTING

info@geosolutions.hr
www.geosolutions.hr





THE SAFEST CRASH CUSHION IN THE WORLD

SMA ublaživač udara je jedini proizvod koji je dizajniran tako, da garantira maksimalnu sigurnost za putnike u vozilu

SMA sigurnost na cesti znači:

- Maksimalnu sigurnost kod 130 km/h.
- Absorpciju udara vozila i do 2000 kg.
- Sigurnost putnika garantirana u skladu sa EuroNCAP kriterijima.

Sve ove karakteristike u jednom proizvodu.

Tko drugi može ponuditi jednake performanse?



Solutions designed to save lives
www.smaroadsafety.com



Kontakt: demeter.prislan@siol.net

MOB: +386 41 647 814

Kontakt: info@trafex.hr

MOB: +385 98 980 6776



- ✓ passive safe and strong
 - ✓ in all soil conditions
 - ✓ in all impact directions
- ✓ absorbs the energy of the impact while yielding
- ✓ slows down the car in a controlled way to minimise the risk for injuries and for secondary impacts



Kontakt: demeter.prislan@siol.net

MOB: +386 41 647 814

Kontakt: info@trafex.hr

MOB: +385 98 980 6776

TRAJNA I EKOLOŠKI PRIHVATLJIVA RJEŠENJA ZA OZNAČAVANJE CESTA.

www.kansai-helios.hr

KANSAI HELIOS Croatia d.o.o.

Radnička cesta 173d, 10000 Zagreb, Hrvatska

E: info@kansai-helios.hr T: +385 (0)1 2410 666

Part of KANSAI PAINT



linea

REBLOC[®]

Concrete Barriers



www.signalinea.hr

www.rebloc.com



INFORMACIJSKI I TELEKOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

**RADIO KOMUNIKACIJSKI
SUSTAVI**

**ITS – INTELIGENTNI
TRANSPORTNI SUSTAVI**

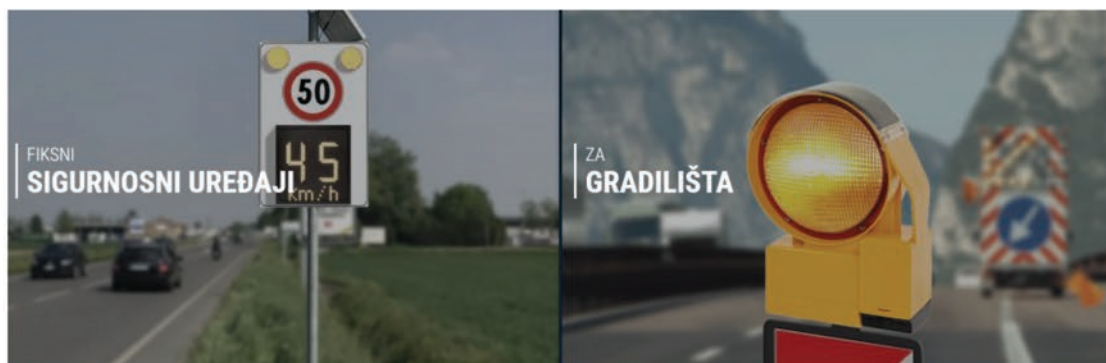
www.viateł.hr



LED RASVJETA · CESTOVNA SIGNALIZACIJA · PUNJAČI ZA EV VOZILA

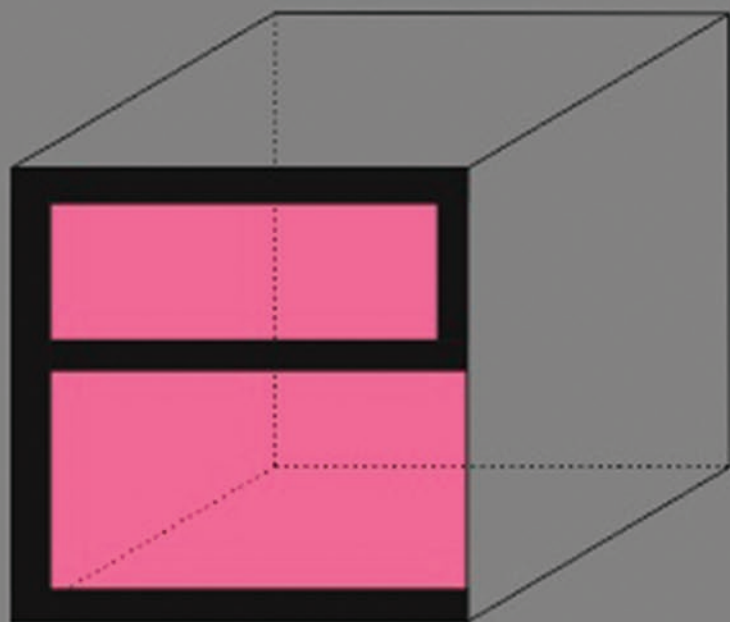
Detas d.o.o.
Bolnička 80J, 34550 Pakrac

PROIZVODNJA U HRVATSKOJ



info@detas.hr

www.detas.com



D.O.O.

PROJEKT LAB

PROJEKTIRANJE, GRAĐENJE, NADZOR
I ISPITIVANJE GRAĐEVNIH PROIZVODA



MHPProjektiranje d.o.o.
PROJEKTIRANJE, GRAĐENJE, NADZOR
VELIKA KOSNICA, ZAGREBAČKA 14

MODERN CONCEPTS FOR SAFER ROADS



OPREMA ZA
CESTE
GIS

PROJEKTIRANJE
CESTA

WWW.TRAFEX.HR

SANACIJA POTENCIJALNO OPASNIH MJESTA NA CESTAMA U RAZDOBLJU U OD 1994. DO 2024. GODINE

RECOVERY OF DANGEROUS SPOTS ON ROADS IN THE PERIOD FROM 2021 TO 2024.

mr.sc. **Miron Huljak**, dipl. ing., mhuljak@mup.hr

Josip Mataija, dipl. ing., jmataija@mup.hr

Ministarstvo unutarnjih poslova

10000 Zagreb

Ilica 335

SAŽETAK

Rad daje presjek aktivnosti koje prethode realizaciji sanacija opasnih, odnosno potencijalno opasnih mjesta, na cestama diljem Republike Hrvatske, a sufinanciraju se sredstvima Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa. Obuhvaćene su ponajprije županijske, lokalne i nerazvrstane ceste.

Isto tako, u radu se ukazuje na izazove prisutne od objave javnog poziva, preko prijave projekata sanacije, odabira projekata koji će se sanirati, započinjanja radova, faza izvedbe do konačne realizacije.

Ključne riječi: Ceste, sanacija potencijalno opasnih mjesta, Nacionalni plan, sigurnost prometa

ABSTRACT

The paper provides an overview of the activities that precede the realization of the recovery of dangerous or potentially dangerous spots on roads throughout the Republic of Croatia, co-financed by the National Road Safety Plan. It primarily covers county, local and unclassified roads.

The paper also highlights the challenges present from the announcement of the public call, through the application for recovery projects, the selection of projects to be recovery, the start of work, the implementation phase to the final realization.

Keywords: Roads, repair of potentially dangerous places on roads, National Plan, traffic safety

1.UVOD

Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske¹ provodi se od 1994. godine. Današnji generalni oblik dobiva donošenjem Nacionalnog programa za razdoblje od 2001. do 2005. godine, kada je konačno definirano njegovo financiranje.

Na zasadama prometne struke, ceste su odmah prepoznate kao bitni faktori stanja sigurnosti cestovnog prometa pa je sanacija opasnih mjesta [1] otpočetak bila jedna od naglašenih aktivnosti.

2.PROVOĐENJE AKTIVNOSTI SANACIJE OPASNIH MJESTA U SKLOPU NACIONALNOG PLANA

2.1 AKTIVNOSTI DO 1994. DO 2000. GODINE

Utvrđivanje opasnih mjesta, odnosno mjesta na kojima se najčešće događaju prometne nesreće, promatra se kroz osnovna tri faktora koji čine sigurnost cestovnog prometa: čovjek, cesta i vozilo.

Nažalost, raščlambe prometnih nesreća pokazuju da je u više od 90 % slučajeva za nesreću odgovoran čovjek, dok se cesta i njena okolina odnosno vozilo kao uzrok događanja prometnih nesreća, pojavljuju u vrlo malom postotku. Uzimajući u obzir navedeno, moglo bi se zaključiti da su prometno-tehnički elementi cesta u Republici Hrvatskoj i njihova opremljenost na samom vrhu ili čak iznad prosjeka europskih cesta.

O cesti kao uzročniku zbog kojeg se događaju prometne nesreće počelo se sustavno govoriti tek prihvaćanjem Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa sredinom devedesetih godina prošlog stoljeća, kojeg je donijela Vlada Republike Hrvatske. Tom su prilikom, na inicijativu MUP-a RH, u analizu i sustavno otklanjanje nedostataka na cestama zbog kojih se događaju prometne nesreće, angažirana i u rad uključena Ministarstva i stručne ustanove koje brinu o planiranju, izgradnji i održavanju javnih cesta te je donijeta strategija utvrđivanja i načina saniranja takvih mjesta.

Tako su koncesionari javnih cesta – državnih cesta, (HUC, a poslije HC), nakon detekcije opasnih mjesta u sklopu provođenja Nacionalnog programa, sanirali do 2001. godine 71 opasno mjesto.

2.2 AKTIVNOSTI OD 2001. DO 2015. GODINE

Budući da su analize stanja sigurnosti na saniranim mjestima, odmah nakon sanacije, pokazivale izuzetno poboljšanje (broj prometnih nesreća je drastično smanjen, ponegdje i za 100%, a poginulih i teže ozlijeđenih više nije bilo), odlučeno je nastaviti sa sanacijama opasnih mjesta kao s mjerom, koja u smislu poboljšanja stanja sigurnosti cestovnog prometa, daje trenutne rezultate.

Na tragu navedenog, od 2001. godine, kada je jasno definirano financiranje Nacionalnog plana, umjesto samo utvrđivanja, odnosno detekcije opasnih mjesta, započinje financiranje njihove sanacije sredstvima Programa.

¹ U daljnjem tekstu Nacionalni plan ili Plan

Od 2001. do 2009. godine, financirana je isključivo izrada projekata za sanacije opasnih mjesta. Ova aktivnost se provodila na način da su Hrvatske ceste, kao upravitelj državnih cesta i aktivni član Radne skupine koja prati provođenje Nacionalnog programa, uz suradnju s policijskim upravama, detektirale opasna mjesta prema određenim kriterijima.

Temeljem navedenog, Hrvatske ceste su oformile bazu podataka opasnih mjesta na cijelom području Republike Hrvatske, ustrojenu po prioritetima rješavanja.

Kada se radilo o cestama županijskog i lokalnog ranga, kriteriji su bili i financijske mogućnosti iskazane kroz godišnje planove održavanja pojedinih županijskih uprava za ceste.

Temeljem toga i Plana nabave Nacionalnog programa, tendere za provođenje natječaja izrađivale su Hrvatske ceste, a natječaje su provodile nadležne službe MUP-a. Nakon završetka natječaja i primitka gotovih projekata, oni su dostavljani nadležnim upraviteljima cesta, ovisno o tome radi li se o državnim, županijskim, lokalnim cestama ili autocestama, koji su imali obavezu provesti sanaciju.

Tijekom 2009. godine postalo je jasno da upravitelji cesta, pogotovo ŽUC-evi, nemaju financijskih sredstava dostatnih za realizaciju sanacije opasnih mjesta za koje su izrađeni projekti sanacije.

Budući da je bilo očito kako će financirani projekti ostati nerealizirani i na taj način novac u njih investiran faktički „bačen“, odlučeno je da se kroz Plan nabave Nacionalnog plana, od 2010. godine pa nadalje, osiguraju financijska sredstva za cjelokupnu sanaciju opasnih mjesta za koje su izrađeni projekti, financirani sredstvima Nacionalnog plana.

S obzirom da se vrlo brzo pokazalo kako je način utvrđivanja opasnih mjesta doživio svoj vrhunac te da više u Hrvatskoj ne postoje mjesta na cestama koja odgovaraju kriterijima, doduše neformalne, ali postojeće metodologije, kao i temeljem proklamiranog proaktivnog, preventivnog djelovanja, umjesto čekanja da se nešto negdje dogodi pa da se tek onda djeluje, započelo se sa sufinanciranjem sanacija potencijalno opasnih mjesta.

U razdoblju od 2001. do 2015., tako je financirana je izrada projektne dokumentacije za 66 opasnih mjesta, 25 na državnim, 37 na županijskim i lokalnim cestama te četiri na autocestama.

Spoznavanjem novonastalih okolnosti, od 2009. godine, obavljena je temeljem sporazuma potpisanih između MUP-a i upravitelja prometnicama, kompletna sanacija 16 opasnih mjesta i to onih za koje su prethodno projekti financirani iz istog izvora, a potom je također temeljem potpisanih sporazuma sufinancirana sanacija još šest potencijalno opasnih mjesta utvrđenih temeljem procjene upravitelja ceste i nadležne policijske uprave.

Ukupno je u sanaciju opasnih mjesta u razdoblju od 2001. do 2015. godine investirano oko 4.000.000 eura iz sredstava Nacionalnog plana.

2.3 AKTIVNOSTI OD 2016. DO 2020. GODINE

Ovo razdoblje karakterizira, u proteklom razdoblju uveden, proaktivni način odabira potencijalno opasnih mjesta temeljem javnih poziva, pa je tako tijekom 2016. godine sanirano 10 mjesta, 2017. njih 55, 2018., 27 mjesta, 2019., 17, a 2020. je sanirano 27 potencijalno opasnih mjesta.

Tijekom 2016. godine za sanacije je utrošeno približno 2.000.000 eura, u 2017. godini, gotovo 6.700.000 eura, tijekom 2018. nešto manje od 2.300.000 eura, u 2019. oko

970.000, a u 2020. nešto više od 1.300.000 eura.

Ukupno je u tom petogodišnjem razdoblju za sanaciju 136 potencijalno opasnih mjesta, osigurano iz sredstava Nacionalnog plana oko 13.270.000 eura.

Treba naglasiti da je uveden sustav po kojem aplikanti za sredstva iz Plana, trebaju osigurati 30% ukupnog iznosa sanacije, odnosno, sredstvima Nacionalnog plana može se financirati najviše 70% ukupne investicije, a najviši apsolutni iznos koji je moguće dobiti je ograničen na 93.000 eura.

Tako su ukupne investicije za gotovo pola dodijeljenog iznosa veće pa se zapravo radi o osjetno većem ukupnom iznosu, a nerijetko subjekti, kojima se odobre sredstva, ulože u određene skuplje projekte svoja sredstva koja osjetno premašuju spomenutih 30 posto.

2.4 AKTIVNOSTI OD 2021. DO 2024. GODINE

Karakteristika ovog razdoblja je nastavak svakogodišnjih objava javnih poziva temeljem kojih se aplicira za sredstva namijenjena sanacijama opasnih mjesta, ali u nešto drukčijim okolnostima. Naime u 2021. Vlada Republike Hrvatske donijela novi Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. (NN 86/2021).

Budući da je i u ovom Planu, iako drugačije koncipiranom od prethodnih, sanacija opasnih mjesta jedan od prioriteta, u javnim pozivima se suštinski nje mijenjalo ništa.

Potrebno je naglasiti glavne kriterije za odabir potencijalno opasnih mjesta sanacija kojih će se sufinancirati sredstvima Nacionalnog plana, a to je uravnotežena prostorna distribucija projekata na razini RH te kriterij povoljnijeg odnosa troškova i koristi predloženih mjera proračunatog na temelju podataka iz priloženog evaluacijskog obrasca.

Isto tako, sufinanciraju se samo projekti koji se odnose na poboljšanje prometno tehničkih uvjeta na prometnici, razina prometnog elaborata, odnosno projekti kojima se izravno utječe na sigurnost cestovnog prometa, pješačke staze, prometno-tehnička rješenja u blizini škola, dječjih vrtića, igrališta, dodatne zaštitne ograde za motocikliste i slično, a sve to sukladno točkama Nacionalnog plana:

→ 7.9. – Sigurna infrastruktura,

→ 7.6. – Sigurnost motociklista i mopedista u dijelu inženjerskih rješenja vezanih za sanaciju visokorizičnih dionica cesta za ovu kategoriju vozila,

→ 7.7. – Sigurnost profesionalnih vozača u dijelu inženjerskih rješenja vezanih za analizu postojećih lokacija odmorišta za teretne automobile i prijedloge izgradnje novih.

Tijekom razdoblja od 2021. do 2024. godine za sanaciju je osigurano po 1.400.000 eura godišnje. Sredstva za sufinanciranje sanacije zatražilo je:

→ 2021. – 208 subjekata, a odabrano je 28,

→ 2022. – 175 subjekata, a odabran je 41,

→ 2023. – 172 subjekta, a odabrano je 45,

→ 2024. – 146 subjekata, a odabrano je 49.

U navedenom razdoblju u sanaciju 159 potencijalno opasnih mjesta investirano je 5.600.000 eura.

Od 2023. godine, kao obavezni dio dokumentacije bez koje sufinanciranje nije moguće, je i evaluacijski obrazac za opasno mjesto, koji mora biti ovjeren od ovlaštenog revizora cestovne sigurnosti.

Ukoliko projekt bude odabran za sufinanciranje, potrebno je provesti i Reviziju cestovne sigurnosti (preporuka je reviziju provesti u Fazi 1, na idejnom projektu), sukladno Pravilniku o aktivnostima i postupcima za poboljšanje sigurnosti cestovne infrastrukture i reviziji cestovne sigurnost (NN 55/2022 i 47/2023).

Sve su to alati kako bi se sanacija provela na mjestu gdje je po nekim kriterijima i u tehničkom smislu potrebna, odnosno gdje je opasnost potencijalna.

2.5 PRISUTNI PROBLEMI

Niti jedno području ljudskog djelovanja nije imuno na razne anomalije, na više ili manje objektivne nepravilnosti, a izazovi su uvijek prisutni.

Tako je i kod sanacije potencijalno opasnih mjesta.

Nešto što se svakako ne bi smjelo događati je da se jamstva koja se kroz javni poziv traže, vrlo lako daju, kao da ne postoji odgovornost onog tko ih daje. Ovo nije pravilo, ali nije niti rijetkost.

Sljedeće je izbjegavanje komunikacije korisnika sredstava s njihovim davateljem, što je u svakom smislu nepotrebno jer je konkretni davatelj uvijek blagonaklon prema onima koji imaju objektivne probleme, samo treba za te njihove probleme znati, jer postoje institucije koje kontroliraju puteve novca ili zašto se nešto ne troši.

Problem je i relativno kasno započinjanje s realizacijom projekata u odnosu na dan potpisivanja sporazuma, jer sredstva mjesecima leže na računu netaknuta.

Sve navedeno ima za posljedicu da su sredstva za sanaciju potencijalno opasnih mjesta 1.000.000 eura, manja za 400.000 eura u odnosu na prethodne godine.

2.6 JAVNI POZIV 2025. GODINE

Ovo poglavlje služi kao podsjetnik na tekst javnog poziva od ove godine, koji je izašao u Narodnim novinama broj 40, od 07.03.2025., uz napomenu da je u 2025. godini uveden i obrazac za prijavu, koji je obavezan bez kojeg prijava nije potpuna i neće se razmatrati.

- Prijava se podnosi isključivo putem Obrasca za prijavu koji je prilog ovom Pozivu, a pravo podnošenja prijave po Pozivu imaju pravne osobe na području Republike Hrvatske, kojima je u djelokrugu rada upravljanje cestovnom infrastrukturom, bilo da se radi o državnim, županijskim, lokalnim ili nerazvrstanim cestama.

- Prijava mora biti dostavljena kao što je određeno u točki V. ovog Poziva;

- Prijava mora biti dostavljena najkasnije u roku propisanom u točki VI. ovog Poziva;

- Prijava mora biti ovjerena te potpisana od strane odgovorne osobe predlagatelja sanacije,

- Udio sredstava koji se za realizaciju projekta traži iz sredstava Nacionalnog plana sigurnosti

cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. može iznositi najviše 70% ukupnog proračuna projekta, odnosno najviše 93.000 eura u slučaju da je projekt financijski veći;

- Sufinancirat će se samo projekti koji se odnose na poboljšanje prometno tehničkih uvjeta na prometnici, razina prometnog elaborata, odnosno projekti kojima se izravno utječe na sigurnost cestovnog prometa, pješačke staze, prometno-tehnička rješenja u blizini škola, dječjih vrtića, igrališta, dodatne zaštitne ograde za motocikliste i slično;

- Predmet sufinanciranja neće biti usputno rješavanje komunalnih i velikih građevinskih zahvata;

- Uz prijavu je potrebno priložiti:

- Dopis nadležne policijske uprave kojim se opisuje i potvrđuje postojanje stvarne ugroze sigurnosti cestovnog prometa uvjetovane aktualnim stanjem cestovne infrastrukture na opasnom mjestu, Sažetak projekta sanacije opasnog mjesta (najviše jedna stranica formata A4) i troškovnik ovjeren od strane ovlaštenog projektanta;

- Suglasnost upravitelja cesta na kojima će se izvoditi sanacija;

- Ispunjen Evaluacijski obrazac iz priloga ovog poziva ovjeren od ovlaštenog revizora cestovne sigurnosti;

- Jamstvo prijavitelja da ne postoje imovinsko-pravne prepreke za sanaciju;

- Jamstvo osiguranja minimalno 30% od troškovnikom predviđenih financijskih sredstava (s PDV-om), od strane prijavitelja projekta, odnosno ukupna razlika potrebnih sredstava ukoliko je projekt veći od 133.000 eura;

- Jamstvo realizacije sanacije tijekom 12 mjeseci od dana potpisivanja sporazuma,

- Točan iznos financijskih sredstava (s PDV-om) koji se traži od Nacionalnog plana, maksimalno 93.000,00 EUR s PDV-om.

- Za sve zahtjeve koji će biti odobreni, odnosno sufinancirani, potrebno je provesti i Reviziju cestovne sigurnosti (preporuka je reviziju provesti u Fazi 1, na idejnom projektu), sukladno Pravilniku o aktivnostima i postupcima za poboljšanje sigurnosti cestovne infrastrukture i reviziji cestovne sigurnost (NN 55/2022 i 47/2023) i to u roku od 15 dana od dana objave odobrenih zahtjeva na portalu NPSCP.HR, ne računajući dan objave.

Prijava koja ne zadovolji uvjete navedene u točki III. ovog Poziva neće se razmatrati.

Predlagatelji trebaju dostaviti potpisanu i ovjerenu prijavu sa svim priložima u jednom (1) primjerku na adresu: MUP RH, Ilica 335, Zagreb, s naznakom „Za sanaciju opasnih mjesta kroz Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030.“, najkasnije do isteka roka za podnošenje prijava.

Javni poziv otvoren je danom objave u Narodnim novinama, a rok za dostavu prijava je 30 dana od dana objave, ne računajući dan objave. Eventualni upiti dostavljaju se isključivo putem e-adrese: npscp.spp@mup.hr

Broj projekata koji će biti realizirani ovisit će o raspodjeli raspoložive količine financijskih sredstava.

Radna skupina zadužena za provedbu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. će u roku od 45 dana nakon zatvaranja javnog poziva donijeti odluku o raspodjeli sredstava za sanaciju opasnih mjesta, po javnom pozivu za 2025. godinu.

Odabir projekata sanacije sukladno raspoloživim sredstvima obaviti će se uzimajući u obzir uravnoteženu prostornu distribuciju projekata na razini RH te temeljem kriterija povoljnijeg odnosa troškova i koristi predloženih mjera proračunatog na temelju podataka iz priloženog evaluacijskog obrasca.

Popis odobrenih zahtjeva za sufinanciranje bit će objavljen na portalu NPSCP.HR, na kojem se mogu preuzeti priloženi obrasci, u elektronskom obliku.

3. ZAKLJUČAK

Dobra cestovna infrastruktura jedan je od tropleta faktora sigurnosti cestovnog prometa. Posebno mjesto zauzima i u aktualnom Nacionalnom programu sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2021.–2030.

Od početka provođenja nacionalnih programa, znači od 1994. godine, sanacija opasnih mjesta je evoluirala od samo njihove detekcije do aktualnih (su)financiranja kompletnih sanacija.

Tako je kroz navedeno razdoblje, u niz aktivnosti vezanih za poboljšanje stanja infrastrukture uloženo više od 23.000.000 eura i sanirano 388 opasnih mjesta. S obzirom na vremensko razdoblje, iznos možda ne ostavlja „bez riječi“, ali poznavatelji prilika znaju da se radi o itekako respektabilnom iznosu, koji nije bilo lako osigurati, a niti potrošiti.

Protokom godina, sanacija opasnih i potencijalno opasnih mjesta polako mijenja svoj oblik i strukturu, ali cilj je uvijek isti – podizanje razine sigurnosti cestovnog prometa.

Na kraju je rečenica s nekoliko brojki itekako potrebna.

Prvi Nacionalni plan je donesen u vrijeme kada je gotovo trećina Republike Hrvatske bila okupirana i te je 1994. godine broj smrtno stradalih bio 804, a prošle, 2024. godine, taj broj je 239, što znači da je manji 70 posto.

Sigurno je ovom smanjenju zaslužna kvalitetna sanacija velikog broja opasnih i potencijalno opasnih mjesta na hrvatskim cestama.

LITERATURA:

[1] Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030.

ODGOVORNOST UPRAVITELJA CESTA ZA PROMETNE NESREĆE UZROKOVANE PROPUSTIMA U ODRŽAVANJU

LIABILITY OF ROAD OPERATORS FOR TRAFFIC ACCIDENTS CAUSED BY FAILURES IN ROAD MAINTENANCE

mr. sc. **Tatjana Potkonjak**, tatjana.potkonjak@zagreb.hr

SS Gradske skupštine Grada Zagreba – Grad Zagreb

SAŽETAK

Brojne prometne studije koje za temu imaju sigurnost prometa na cestama jedinstvene su u stavu o egzistenciji triju ključnih čimbenika za sigurnost prometa na cestama: čovjek-vozač, vozilo i cesta. Međutim, pri utvrđivanju odgovornosti za prometne nesreće i njihove posljedice primarno se akcentira vozač, njegovo postupanje, odnosno njegovi propusti. Stanje ceste navodi se kao uzrok prometne nesreće u gotovo zanemarivom broju slučajeva. U skladu s tim, iznimno rijetko dolazi do procesuiranja i utvrđivanja odgovornosti upravitelja cesta, odnosno pravnog subjekta nadležnog za njezino održavanje. Takvu situaciju potrebno je promatrati kroz prizmu činjenica koje govore u prilog tezi o stanju cesta koje je daleko od idealnog ali i postojanju odgovarajućeg pravnog okvira u potpunosti pogodnog za procesuiranje odgovornosti pravnih osoba te odgovornih osoba u pravnim osobama.

Ključne riječi: prometne nesreće, održavanje cesta, upravitelji cesta, odgovornost pravnih osoba, stanje ceste kao uzrok prometne nesreće

SUMMARY:

Numerous traffic studies on road safety share the single view that there are three key factors for road safety: a man/driver, vehicle and road. However, when determining liability for traffic accidents and their consequences, the driver and his conduct and failures have been primarily accentuated. Road conditions have been reported as a cause of traffic accidents only in marginal number of cases. Accordingly, there have been extremely few court proceedings against road operators (i.e. legal entities in charge of road maintenance) for determining their liability. This issue should be regarded in the context of facts supporting the argument on road conditions being far from ideal and also existence of the appropriate legal framework fully convenient for court proceedings to determine liability of the road operators as well as their responsible persons.

Key words: traffic accidents, road maintenance, road operators, liability of legal entities, road conditions as a cause of traffic accidents

1. UVOD

Beziznimno ukazivanje na nužnost razumijevanja složenih interakcija u odnosu čovjek (vozač) – vozilo – cesta u brojnim prometnim studijama izravno upravo njih akcentira kao tri osnovna čimbenika za sigurnost cestovnog prometa, vozači, vozila i ceste. Pravni propisi koji za izravni ili neizravni cilj imaju povećanje sigurnosti u prometu svojim normama traže da svaki od navedenih čimbenika ispuni određene zahtjeve. Sankcioniranje izostanka postupanja u skladu s propisanim zahtjevima bitan je motivacijski instrument za poštivanje propisa u svim pravnim područjima pa tako i na području sigurnosti cestovnog prometa.

Temeljna načela međusobnih odnosa i postupanja sudionika te drugih subjekata u prometu na cestama kao i temeljni uvjeti kojima moraju udovoljavati ceste u pogledu sigurnosti prometa na cestama kao i druga pitanja od značaja za sigurnost prometa na cestama regulirana su Zakonom o sigurnosti prometa na cestama¹ (u daljnjem tekstu: ZSPC). Imperativni normativni zahtjev kako ceste moraju biti projektirane, izgrađivane, opremane i štićene na način da odgovaraju zahtjevima sigurnosti u prometu sadržan je upravo u tom zakonu iz čega proizlazi evidentna spoznaja zakonodavca o značaju stanja ceste za sigurnost prometa. Međutim, isti zakon istodobno izrijeком traži od vozača ne samo akceptiranje osobina i stanja ceste, neovisno o činjenici kakvo je to stanje (udovoljavala li zahtjevima sigurnosti u prometu ili ne) već i odgovarajuću prilagodbu brzine, odnosno vožnje konkretnom stanju ceste. Propisuju se ujedno i sankcije za vozača koji ne udovolji tom zakonskom traženju, odnosno postupi suprotno navedenoj zakonom predviđenoj obvezi. Naime, odredbom čl. 51. ZSPC-a propisano je: „Vozač je dužan brzinu kretanja vozila prilagoditi osobinama i stanju ceste, odnosno druge površine kojom se kreće te vidljivosti, preglednosti, atmosferskim prilikama, stanju vozila i tereta, kao i gustoći prometa tako da vozilo može pravodobno zaustaviti pred svakom zaprekom koju, u konkretnim uvjetima, može predvidjeti, odnosno da može pravodobno postupiti prema prometnom pravilu ili znaku.“ Imajući u vidu sadržaj sudskih odluka u kojima se prosuđivalo postojanje odgovornosti vozača za poštivanje obveze prilagodbe brzine kretanja vozila stanju ceste moguće je uočiti kako se u obzir kao relevantna okolnost uzima i realna, objektivna mogućnost uočavanja i adekvatnog reagiranja vozača na osobine i stanje ceste².

U radovima koji se bave pitanjem odgovornosti pravnih subjekata odgovornih za stanje cesta permanentno se ukazuje kako pravosudni sustav, odnosno svi relevantni dionici uključeni u proces utvrđivanja odgovornosti za nastale prometne nesreće primarno akcent stavljaju na postupanje vozača, odnosno prebacuju odgovornost za nastanak i posljedice prometnih nesreća isključivo na vozače dok se odgovornost pravnih subjekata, pravnih osoba odgovornih za stanje cesta zanemaruje, osobito u kaznenim postupcima. Ističe se i kako u situacijama kada je prometna nesreća rezultat kombinacije više raznih čimbenika, ponašanja vozača, stanja ceste, nedostatka ili neprimjerenosti prometne signalizacije postoji problem utvrđivanja i raspodjele odgovornosti između vozača, pravnih subjekata odgovornih za stanje ceste i drugih sudionika u prometu. Načelno gledajući bilo bi neophodno uvijek kada se vozaču stavlja na teret da vožnju nije prilagodio osobinama i stanju ceste, precizno utvrditi kakvo je to stanje ceste, udovoljava li zahtjevima za sigurno prometovanje i ovisno o predmetnom utvrđenju u konačnici utvrditi i postoje li propusti na strani subjekata kojima je zakonom povjereno poduzimanje radnji u svrhu ostvarenje imperativnog zahtjeva

¹ Zakon o sigurnosti prometa na cestama „Narodne novine“ br. 67/2008, 48/2010, 74/2011, 80/2013, 158/2013, 92/2014, 64/2015, 108/2017, 70/2019, 42/2020, 85/2022, 114/2022, 133/2023 i 145/2024

² Općinski sud u Splitu, Pn. 340/18 2. ožujka 2023. sud zaključuje da je tužitelj predmetne prigode svojim vozilom upravljao na primjeren način, u skladu sa Zakonom o sigurnosti prometa na cestama i da je naletio na rupu napunjenu i prekrivenu vodom, koja realno i objektivno nije mogao vidjeti i na vrijeme reagirati. Na ovaj dionici su ranije radnici društva HEP uz suglasnost HC vršili radove, ti radovi su okončani i znakovi upozorenja su uklonjeni, pa ih nije ni bilo u vrijeme kada se tužitelju nezgoda dogodila.

prema kojem ceste moraju biti sigurne za prometovanje³.

Neosporno je pri tome kako hrvatski pravni sustav ima odgovarajući pravni okvir za procesuiranje odgovornosti i pravnih osoba i odgovornih osoba u pravnim osobama kao i fizičkih osoba, odnosno kako postoji odgovarajuće normativna regulativa za utvrđivanje odgovarajuće prekršajne, kaznene te građanskopravne odgovornosti odnosnih pravnih subjekata za nastale prometne nesreće i njihove posljedice uzrokovane propustima u održavanju cesta.

1. CESTE U KONTEKSTU ZAHTEVA ZA SIGURNOSTU PROMETA

Ceste, kao osnova na kojoj se odvija promet, moraju se projektirati, izgrađivati, opremiti, održavati i štititi tako da odgovaraju svojoj namjeni i zahtjevima sigurnosti prometa u skladu s odredbama posebnog zakona i propisima donesenim na temelju toga zakona. Pravna ili fizička osoba obrtnik nadležna za održavanje ceste dužna je voditi brigu i poduzimati primjerene mjere glede omogućavanja odvijanja sigurnog i nesmetanog prometa. Javne ceste, njihovi pojedini dijelovi i objekti na njima, mogu se pustiti u promet tek nakon što se, na način propisan posebnim zakonom, utvrdi da s gledišta sigurnosti prometa udovoljavaju propisanim tehničkim normativima⁴.

Za povredu navedenih obveza propisana su novčane kazne i to za pravnu ili fizičku osobu obrtnika kao i za odgovornu osobu u pravnoj osobi i tijelu državne vlasti ili tijelu jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave⁵. Evidentno je iz citiranih odredaba kako ZSPC kao posebni zakon kojim su definirana prekršajna djela te propisane sankcije u sferi sigurnosti prometa na cestama po prirodi stvari mora biti smješten unutar općeg okvira prekršajnogopravnog sustava uređenog Prekršajnim zakonom. Potrebno je pri tom imati u vidu kako se prekršaji smatraju dijelom kaznenog prava u njegovu najširem smislu. U svjetlu toga potrebno je ukazati i da je odnos kaznenih djela i prekršaja nerijetko bio predmetom razmatranja u teoriji kaznenog prava. Navedeno je rezultiralo artikuliranjem kvantitativne i kvalitativne teorije koje su svojim postavkama dale teorijska razgraničenja kaznenih djela i prekršaja. Kvantitativna teorija pozicionirala se kao prisutnija i prema njoj se kaznena se djela razlikuju od prekršaja isključivo prema količini neprava zastupljenoj kod jednih i kod drugih kažnjivih radnji tj. prema intenzitetu povrede prava koja se ostvaruje tim kažnjivim radnjama. Naime, kod kaznenih djela postoji daleko veća količina neprava odnosno intenziteta povrede prava, nego što to egzistira kod prekršaja⁶.

U kontekstu imperativne norme ZSPC kojom je postavljen zahtjev za projektiranjem, izgrađivanjem, opremanjem, održavanjem zaštitom cesta na način da odgovaraju svojoj

Pitanje je, je li odgovorno društvo HC ili jedinica lokalne samouprave, ili je odgovoran tuženik koji ističe prigovor promašene pasivne legitimacije

3 Županijski sud u Zagrebu, Gž-10/2021-2 od 16. studenog 2020: tužitelj je većim dijelom (70%) pridonio nastanku štete kad se svojim vozilom kretao brzinom većom od dopuštene (dopuštena brzina je bila 40 km/sat, tužitelj se kretao brzinom od 91 km/sat, na način kako je tužitelj reagirao kočenjem izbjegao bi nalet na razdjelnu odbojnu metalnu ogradu, kočenjem pri svim brzinama do 86 km/sat, brzina vozila u trenutku naleta za razdjelnu odbojnu ogradu iznosila oko 40 km/sat), a tuženikova odgovornost je 30% s obzirom da do ozljede lijeve noge tužitelja i njezine amputacije ne bi došlo da je razdjelna odbojna ograda bila opremljena sa polukružnim završetkom (završni element), kako je to propisano zakonom i podzakonskim aktima. Tužitelj, konačno postavljenim tužbenim zahtjevom, na ime naknade štete potražuje razmjernan dio štete (30%)”.

4 Čl. 6. st. 1 i 2. ZSPC

5 Čl. 6. st. 5. i 6. ZSPC.: „(5) Novčanom kaznom u iznosu od 660,00 do 1990,00 eura kaznit će se za prekršaj pravna ili fizička osoba obrtnik koji postupi suprotno odredbama stavka 1., 2. i 3. ovoga članka. (6) Novčanom kaznom u iznosu od 190,00 do 660,00 eura kaznit će se za prekršaj iz ovoga članka odgovorna osoba u pravnoj osobi i tijelu državne vlasti ili tijelu jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave”.

6 https://policijska-akademija.gov.hr/UserDocsImages/04_vps/Milivojevic_prekrhajno_pravo_II.pdf

namjeni i zahtjevima sigurnosti prometa u skladu s odredbama posebnog zakona i propisima donesenim na temelju toga zakona nužnim se nameće akcentirati i Zakon o cestama⁷. Naime, upravo se Zakonom o cestama uređuje pravni status javnih cesta i nerazvrstanih cesta, njihov način korištenja, razvrstavanje javnih cesta kao i planiranje građenja te održavanja javnih cesta, upravljanje javnim cestama, mjere za zaštitu javnih i nerazvrstanih cesta i prometa na njima, koncesije, financiranje kao nadzor javnih cesta. Od osobitog je značaja u kontekstu građanskopravne odgovornosti za štetu činjenica kako je odredbom članka 3. stavka 1. Zakona o cestama propisano da su javne ceste javno dobro u općoj uporabi u vlasništvu Republike Hrvatske.

Zakon o cestama ujedno određuje i krug pravnih subjekata nadležnih za upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje cesta⁸, nominirajući Hrvatske autoceste d.o.o., Hrvatske ceste d.o.o. te županijske uprave za ceste. Istovremeno propisuje kako Hrvatske autoceste d.o.o., Hrvatske ceste d.o.o. i županijske uprave za ceste⁹ izravno ne izvode radove građenja, rekonstrukcije i održavanja javnih cesta, osim ako tim Zakonom nije drukčije propisano. Normira se nadalje i kako se izvođenje radova građenja i rekonstrukcije javnih cesta smije ustupiti samo pravnoj ili fizičkoj osobi registriranoj, specijaliziranoj i opremljenoj za te poslove sukladno posebnim propisima, dok se radovi održavanja javnih cesta ustupaju se pravnoj ili fizičkoj osobi koja je za te radove registrirana, specijalizirana i tehnički opremljena te koja raspolaže osposobljenim kadrovima za izvođenje radova održavanja pod prometom¹⁰.

Nerazvrstane ceste, odnosno njihovo održavanje regulirane su posebnim zakonom, Zakonom o komunalnom gospodarstvu¹¹. Održavanje nerazvrstanih cesta sukladno čl. 22. Zakona o komunalnom gospodarstvu, smatra se jednom od komunalnih djelatnosti¹² kojom se osigurava održavanje komunalne infrastrukture. Pod održavanjem nerazvrstanih cesta podrazumijeva se skup mjera i radnji koje se obavljaju tijekom cijele godine na nerazvrstanim cestama, uključujući i svu opremu, uređaje i instalacije, sa svrhom održavanja prohodnosti i tehničke ispravnosti cesta i prometne sigurnosti na njima (redovito održavanje), kao i mjestimičnog poboljšanja elemenata ceste, osiguravanja sigurnosti i trajnosti ceste i cestovnih objekata i povećanja sigurnosti prometa (izvanredno održavanje), a u skladu s propisima kojima je uređeno održavanje cesta.

7 Zakon o cestama Narodne novine br. 84/2011, 18/2013, 22/2013, 54/2013, 148/2013, 92/2014, 110/2019, 144/2021, 114/2022, 114/2022, 4/2023, 133/2023

8 »Hrvatske autoceste d.o.o.« je društvo s ograničenom odgovornošću za upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje autocesta, »Hrvatske ceste d.o.o.« je društvo s ograničenom odgovornošću za upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje državnih cesta, »županijska uprava za ceste« je ustanova za upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje županijskih i lokalnih cesta

9 Vrhovni sud Republike Hrvatske Rev-713/2007 od 3. Listopada 2007. (Županijska uprava za ceste odgovorna je za štetu kad je isključivo automobila s kolnika posljedica stana kolnika – mjestimična poledica na oštećenjima kolnika): »utvrđeno je da je na zavoju kroz koji je prošao tužitelj svojim vozilom neposredno prije nezgode postojale oštećenja u vidu ulegnuća i pukotina asfaltnog sloja, a sudovi nižeg stupnja prihvaćaju mišljenje vještaka da je u tim ulegnućima moglo doći do zadržavanja vode i do njezinog smrzavanja u uvjetima niskih temperatura. Neodlučno je stoga što je tuženik (odnosno Poduzeće d.d. V.) vršilo pregled cesta i što je bilo organizirano dežurstvo jer je utvrđeno da je uzrok klizanja automobila i slijetanja s ceste mjestimično zaleđen kolnik... Neovisno od radova na održavanju cesta koji se moraju poduzeti u zimskim uvjetima postoji i obveza redovnog održavanja cesta a to podrazumijeva sve radove na čišćenju površina i otklanjanju oštećenja ceste. Redovno održavanje obuhvaća između ostalog popravke lokalnih oštećenja kolnika (udarnih jama, pojedinačnih i mrežastih pukotina, uzdužnih i poprečnih denivelacija, omekšanog asfaltnog zastora, zaglađenih površina zastora, oštećenih rubova i razdjelnica betonskog kolnika), hitne popravke i intervencije u svrhu osiguranja odvijanja prometa te osiguranje prohodnosti cesta u zimskim uvjetima.«

10 Čl. 33. Zakona o cestama

11 Zakon o komunalnom gospodarstvu »Narodne novine« br. 68/2018, 110/2018, 32/2020 i 145/2024

12 Komunalne djelatnosti, ako Zakonom o komunalnom gospodarstvu nije propisano drukčije, može obavljati: trgovačko društvo koje osniva jedinica lokalne samouprave ili više jedinica lokalne samouprave zajedno; javna ustanova koju osniva jedinica lokalne samouprave; služba - vlastiti pogon koju osniva jedinica lokalne samouprave; pravna i fizička osoba na temelju ugovora o koncesiji; pravna i fizička osoba na temelju ugovora o obavljanju komunalne djelatnosti.

2. PREKRŠAJNOPRAVNA ODGOVORNOST PRAVNE OSOBE

Navedene zakonske odredbe kojima se izrijekom nominiraju pravni subjekti u čijoj je nadležnosti upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje cesta kao i odredbe o ustupanju radova građenja, rekonstrukcije te održavanja javnih cesta neophodno je promatrati kroz prizmu kaznenih odredaba ZSPC-a koje za povrede zakonskog zahtjeva za cestama sigurnim za promet propisuju kažnjavanje novčanom kaznom upravo pravne osobe, odgovorne osobe u pravnoj osobi i tijelu državne vlasti ili tijelu jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave te fizičke osobe obrtnika što je u skladu s odredbama Prekršajnog zakona¹³ koji predviđa prekršajnu odgovornost pravnih osoba i odgovornih osoba u pravnim osobama. Pravna osoba je svojevrsna pravna konstrukcija koja kroz obavljanje svoje funkcije ostvaruje svrhu svog formiranja. Nije sporno kako pravna osoba nema faktičke mogućnosti da neposredno obavlja poslove i zadatke iz područja svog djelovanja. Nije sporno ni da pravne osobe ne raspolažu sviješću i voljom u smislu psihičkih sposobnosti čovjeka, istovremeno je neosporno i kako se prekršajno pravo temelji na načelu krivnje koje je odredbom čl. 4. Prekršajnog zakona i izričito proklamirano. Nitko ne može biti kažnjen niti se prema njemu može primijeniti druga prekršajnopravna sankcija ako nije kriv za počinjeni prekršaj. Prema odredbi čl. 25. Prekršajnog zakona kriv je za prekršaj počinitelj koji je u vrijeme počinjenja prekršaja bio ubrojiv, koji je postupao iz nehaja, a bio je svjestan ili je bio dužan i mogao biti svjestan da je djelo zabranjeno ili s namjerom, kada je propisom o prekršaju propisana prekršajna odgovornost za taj oblik krivnje

Pomirenje odgovornosti pravnih osoba za prekršaje s načelom krivnje, stoga može biti percipirano kao svojevrsni kamen spoticanja u sferi prekršajne odgovornosti. Krivnja se sastoji u prijekoru koji se počinitelju upućuje za počinjeni prekršaj a iznimno je zahtjevno takav prijekor opravdati u odnosu na pravne osobe. Rješenje je da se krivnja pravne osobe izvede iz krivnje odgovorne osobe na strani koje mora postojati nehaj (iznimno namjera) ali i ubrojivost te svijest o protupravnosti. Istodobno se time isključuje mogućnost da se utvrdi odgovornost pravne osobe u slučajevima kada se ne može utvrditi krivnja odgovorne osobe zbog pravnih ili stvarnih zapreka. Rješenje se nalazi u supsidijarnoj primjerni izvedene odgovornosti pravne osobe koja bi bila izvedena iz pretpostavljene krivnje pravne osobe.

Prekršajni zakon propisuje kako su pravna osoba i njezina odgovorna osoba prekršajno odgovorni za skrivljene povrede propisa o prekršaju s tim da se propisom o prekršaju može propisati prekršajna odgovornost samo pravne osobe za prekršaj. Time je zakonodavac izričito omogućio utvrđivanje prekršajne odgovornosti pravne osobe na temelju objektivne krivnje, dakle i bez utvrđivanja krivnje njezine odgovorne osobe. Pravni praktičari takav potez zakonodavca opravdavaju izbjegavanjem opstrukcije prekršajnog postupka kada je nedvojbeno utvrđeno da je radnja prekršaja počinjena. Odnosno zakonsko rješenje polazi od presumiranja krivnje odgovorne osobe u određenoj pravnoj osobi, odnosno od teze kako je prekršajna radnja pravne osobe zaista počinjena krivnjom neke njezine odgovorne osobe ali zakon ne traži individualno utvrđenje krivnje konkretne odgovorne osobe.

Prekršajni zakon također propisuje i kako će sud utvrditi prekršajno odgovornom pravnu osobu i u slučaju kada se utvrdi postojanje pravnih ili stvarnih zapreka za utvrđivanje odgovornosti odgovorne osobe, ili se ne može utvrditi tko je odgovorna osoba. Uvjet postojanja odgovornosti pravne osobe je počinjenje prekršaja odgovorne osobe ali na odgovornost pravne osobe nije od utjecaja postojanje pravnih ili stvarnih zapreka za utvrđivanje odgovornosti odgovorne osobe.

¹³ Prekršajni zakon „Narodne novine“ br 107/2007, 39/2013, 157/2013, 110/2015, 70/2017, 118/2018, 114/2022

U skladu s iznesenim, kada je propisom o prekršaju propisana prekršajna odgovornost pravne osobe i u njoj odgovorne osobe, a ovlašteni tužitelj pokrene postupak samo protiv pravne ili odgovorne osobe, ili sud u postupku utvrdi da optužena odgovorna osoba nije odgovorna osoba za taj prekršaj, sud može utvrditi prekršajnu odgovornost samo pravne osobe odnosno samo odgovorne osobe.

3. ODGOVORNA OSOBA U PRAVNOJ OSOBI

Odgovorna osoba u pravnoj osobi u smislu Prekršajnog zakona određena je kao fizička osoba koja vodi poslove pravne osobe ili joj je povjereno obavljanje određenih poslova iz područja djelovanja pravne osobe. Ovakvom definicijom odgovorne osobe otvara se vrlo širok krug potencijalno odgovornih u pravnoj osobi. Fizičke osobe koje vode poslove društva su fizičke osobe ovlaštene zastupati pravnu osobu. Odgovor na pitanje tko je u konkretnoj pravnoj osobi osoba koja vodi poslove pravne osobe neće biti teško utvrditi, budući je to ovisno o pravnoj prirodi pravnih osoba iznimno lako utvrditi temeljem zakonskih propisa. Identifikaciji osobe ovlaštene za zastupanje pravne osobe uveliko pomažu javno publicirani registri (sudski registar, registar obrtnika, registar udruga). Valja voditi računa kako pravna osoba može počiniti prekršajna djela ne samo sklapanjem poslova, već se ista mogu počinuti u gotovo svim segmentima djelatnosti pravne osobe. Tko su osobe kojima je povjereno obavljanje određenih poslova iz područja djelovanja pravne osobe utvrđuje se iz internih akata, primarno onih koji se odnose na sistematizaciju radnih mjesta te sadrže opise i popise poslova pojedinih radnih mjesta, kao i iz sadržaja ugovora o radu.

Zakonodavac je prekršajnu odgovornost pravne osobe odredbom čl. 60 st. 3. Prekršajnog zakona oslobodio nužne uzročno posljedične povezanosti s utvrđivanjem odgovornosti odgovorne osobe ili identifikacijom odgovorne osobe. Utvrđivanje prekršajne odgovornosti pravne osobe i njezino kažnjavanje neovisno je o pokretanju i vođenju prekršajnog postupka protiv odgovorne osobe (nemogućnost pokretanja postupka zbog npr. smrti odgovorne osobe) te utvrđivanju odgovornosti i kažnjavanju odgovorne osobe za počinjeni prekršaj unatoč činjenici što prekršajna odgovornost pravne osobe proizlazi iz skrivljene povrede propisa o prekršaju počinjenog od strane odgovorne osobe.

Nemogućnost kažnjavanja pravne osobe kao počinitelja prekršaja uslijed nemogućnosti identifikacije odgovorne osobe pravne osobe, odnosno zbog postojanja pravnih ili stvarnih zapreka za utvrđivanjem odgovornosti odgovorne osobe zakonodavac je očito smatrao neprihvatljivim. Prekršajna odgovornost pravne osobe temelji se na skrivljenoj povredi propisa o prekršaju od strane odgovorne osobe u pravnoj osobi. Odgovornost pravne osobe izvodi se iz utvrđene protupravne radnje prekršajnog djela ali i utvrđenja krivnje odgovorne osobe u pravnoj osobi. Međutim, odgovornost pravne osobe može se izvoditi i iz pretpostavljene krivnje pravne osobe u pravnoj osobi. Razlog tome nalazi se u činjenici što bi u situacijama u kojima nije moguće utvrditi krivnju odgovorne osobe u pravnoj osobi to za izravnu posljedicu imalo nemogućnost utvrđenja prekršajne odgovornosti pravne osobe. Ona nema vlastitu volju i time se zapravo presumira da u ime pravne osobe uvijek postupa neka „njezina“ odgovorna osoba, odnosno neka fizička osoba kojoj je povjereno obavljanje određenih poslova iz sfere djelovanja pravne osobe. U takvim slučajevima sud će biti dužan temeljem odgovarajuće dokumentacije, provedenih dokaza presumirati da krivnja odgovorne osobe u pravnoj osobi postoji iako zbog određenih zapreka nije moguće utvrditi krivnju te odgovorne osobe.

4. KAZNENOPRAVNA ODGOVORNOST UPRAVITELJA CESTA

Hrvatski pravni sustav poznaje osim prometnih prekršaja i prometna kaznena djela budući je zakonodavac sva teža i ozbiljnija ugrožavanja i povređivanja u prometu predvidio u kaznenom zakonu i odredio ih kao kaznena djela. Pretpostavke kažnjivosti, kazne, sigurnosne mjere, oduzimanje imovinske koristi, oduzimanje predmeta, javno objavljivanje presude, zastara i kazneni postupak za kaznena djela pravnih osoba uređena su Zakonom o odgovornosti pravnih osoba za kaznena djela¹⁴. Pravna osoba kaznit će se za kazneno djelo odgovorne osobe ako se njime povređuje neka dužnost pravne osobe ili je njime pravna osoba ostvarila ili trebala ostvariti korist za sebe ili drugog. Pod tim uvjetima pravna osoba kaznit će se za kazneno djelo odgovorne osobe kojoj je povjereno obavljanje poslova iz područja djelovanja pravne osobe i ako je do počinjenja kaznenog djela došlo zbog propuštanja nadzora ili kontrole od strane odgovorne osobe koja vodi poslove pravne osobe. Odgovornost pravne osobe temelji se na krivnji pravne osobe. Takvom konstrukcijom je utvrđivanje kauzalne veze između počinjenog kaznenog djela te krivnje odgovorne osobe i pravne osobe postavljeno kao pretpostavka odgovornosti pravne osobe. Odgovorna osoba u smislu tog zakona je fizička osoba koja vodi poslove pravne osobe i kojoj je na bilo kojoj razini povjereno obavljanje poslova iz područja djelovanja pravne osobe. Pravna osoba kaznit će se za kazneno djelo odgovorne osobe i u slučaju kad se utvrdi postojanje pravnih ili stvarnih zapreka za utvrđivanje odgovornosti odgovorne osobe. Republika Hrvatska kao pravna osoba ne može se kazniti za kazneno djelo, a jedinice lokalne i područne (regionalne) samouprave mogu se kazniti samo za kaznena djela koja nisu počinjena u izvršavanju javnih ovlasti. Kazne su novčana kazna i ukidanje pravne osobe.

U kontekstu razmatranja odgovornosti upravitelja cesta za prometne nesreće uzrokovane propustima u održavanju neophodno je istaći kako u Republici Hrvatskoj aktualni Kazneni zakon¹⁵ u katalogu kaznenih djela protiv sigurnosti prometa za razliku od susjednih zemalja¹⁶ ne sadrži više, odnosno ne predviđa kazneno djelo „nesavjesno vršenje nadzora nad prometom“ kojim je u st. 1. bilo propisano da će se: odgovorna osoba kojoj je povjeren nadzor nad stanjem i održavanjem prometnica i objekata na njima, prijevoznim sredstvima ili javnim prometom ili nad ispunjavanjem propisanih uvjeta rada vozača, ili kojoj je povjereno rukovođenje vožnjom, koja nesavjesnim vršenjem dužnosti izazove opasnost za život ili tijelo

¹⁴ Zakon o odgovornosti pravnih osoba za kaznena djela „Narodne novine“ br. 151/2003, 110/2007, 45/2011, 143/2012, 114/2022, 114/2023

¹⁵ Kazneni zakon „Narodne novine“ br. 125/2011, 144/2012, 56/2015, 61/2015, 101/2017, 118/2018, 126/2019, 84/2021, 114/2022, 114/2023 i 36/2024

¹⁶ Republika Slovenija

Kazenski zakonik Uradni list RS, št. 50/12 – uradno prečišćeno besedilo, 54/15, 6/16 popr., 38/16, 27/17, 23/20, 91/20, 95/21, 186/21, 105/22 – ZZNŠPP, 16/23 in 107/24 – odl. US

Opustitevi nadzorstva v javnem prometu

327. člen

(1) Oseba, ki ji je zaupano nadzorstvo nad vzdrževanjem cest, mostov, nad prevoznimi sredstvi ali javnim prometom ali vodstvo ali usmerjanje vožnje, pa s kršitvijo svoje dolžnosti povzroči nevarnost za življenje ljudi ali premoženje velike vrednosti, se kaznuje z zaporom do treh let.

(2) Enako se kaznuje oseba, ki da nalog za vožnjo, čeprav ve, da voznik zaradi utrujenosti ali iz kakšnega drugega vzroka ni zmožen voziti vozila ali da prevozno sredstvo ni brezhibno, in tako povzroči nevarnost za življenje ljudi ali premoženje velike vrednosti.

(3) Če je dejanje iz prvega ali drugega odstavka tega člena storjeno iz malomarnosti, se storilec kaznuje z zaporom do enega leta.

(4) Če ima dejanje iz prvega, drugega ali tretjega odstavka tega člena za posledico hudo telesno poškodbo ene ali več oseb ali veliko premoženjsko škodo, se storilec za dejanje iz prvega in drugega odstavka kaznuje z zaporom do petih let, za dejanje iz tretjega odstavka pa z zaporom do treh let.

ljudi ili za imovinu velikih razmjera, kazniti zatvorom od šest mjeseci do pet godina, a ako je djelo počinjeno iz nehata, počinitelj će se kazniti zatvorom do tri godine. Radilo se dakako o delicta propria, poesebnom obliku profesionalne odgovornosti u prometu, koji je mogla počiniti odgovorna osoba. Radnja djela bila je u navedenim oblicima nesavjesnog vršenja dužnosti tj. svjesnog nepridržavanja pravila i propisa prometa, odnosno jače izraženog negativnog odnosa prema osobnim dužnostima za specifičan krug osoba koja vrše nadzor u prometu. Za postojanje odnosnog djela nije bilo dostatno da se radi o običnoj omašci ili slučajnom propustu. Djelo je bilo moguće počiniti s umišljajem, pri čemu je dostatan eventualni umišljaj i iz nehata, a posljedica koje su tražene za njegovu egzistentnost bila je konkretna opasnost za život ili djelo ljudi ili za imovinu velikih razmjera.

Aktualni Kazneni zakon sadrži kazneno djelo „ugrožavanje prometa opasnom radnjom ili sredstvom“. I u kontekstu promatranja odgovornosti upravitelja cesta i s kaznenopravnog aspekta potrebno je ukazati kako je u čl. 224. st. 2. Kaznenog zakona propisano kako će se: „tko uništi, oštetiti, ukloni ili učini neuporabljivim ili neuočljivim znak, napravu ili prometni uređaj koji služi za sigurnost bilo koje vrste prometa ili postavlja prepreke, daje lažne obavijesti, znakove ili signale ili na drugi način ugrozi promet i time izazove opasnost za život ili tijelo ljudi ili imovinu velikih razmjera, kazniti kaznom zatvora od šest mjeseci do pet godina“. Za predmetno kazneno djelo počinjeno iz nehaja propisana je kazna zatvora do tri godine a ukoliko je njime prouzročena teška tjelesna ozljeda neke osobe ili imovinska šteta velikih razmjera kaznom zatvora od jedne do deset godina. Kazna zatvora od tri do petnaest godina propisana je ukoliko odnosnim kaznenim djelom prouzročena smrt jedne ili više osoba, počinitelj će se kazniti kaznom zatvora od tri do petnaest godina. Počinitelj ovog djela može biti svatko, što je od osobitog značaja u kontekstu mogućnosti pravne osobe i odgovorne osobe u pravnoj osobi da budu počinitelji ovog djela.

U kontekstu iznesenog, hrvatska sudska praksa bilježi slučajeve u kojima je pravna osoba doista bila proglašena krivom za kazneno djelo ugrožavanje prometa opasnom radnjom ili sredstvom. Vezano za predmetno kazneno djelo, status gotovo „kultne presude“ posve sigurno pripada presudi Vrhovnog suda Republike Hrvatske KŽ-616/2017-8 od 30. listopada 2020. Naime, stajališta iznesena u odnosnoj presudi daju odgovor na brojna pitanja koja se tiču okolnosti relevantnih za prosuđivanje postojanja kaznene odgovornosti pravne osobe i odgovorne osobe u pravnoj osobi, utvrđivanja osoba koje se smatraju odgovornim osobama kao i bitnim obilježjima kaznenog djela uzgrožavanje prometa opasnom radnjom ili sredstvom.

Predmetnom presudom odlučivano je o žalbi protiv presude Županijskog suda u Karlovcu K-6/2015 od 8. lipnja 2017. kojom je optužena pravna osoba H d.o.o. proglašena odgovornom za kazneno djelo ugrožavanje prometa opasnom radnjom ili sredstvom kao i tri zaposlenika te pravne osobe. U konkretnom slučaju radilo se o kaznenom djelu koje je za posljedicu imalo smrtno stradavanje četiri osobe, tjelesno ozljeđivanja većeg broja osoba i veliku materijalnu štetu.

Prometnim vještačenjem utvrđeno je da je konkretna prometna nesreća bila direktna posljedica poledice na kolniku autoceste. U provedenom postupku utvrđeno je da su sva tri optuženika (fizičke osobe) postupala sa svjesnim nehajem kao blažim oblikom krivnje, što je dovedeno u vezu s dokazanom manjom kriminalnom količinom koja se sastoji u propuštanju dužne i moguće pažnje kod obavljanja poslova iz nadležnosti svakog od njih kao zaposlenika i odgovornih osoba optužene pravne osobe.

U odnosnoj presudi VSRH dao je jasan odgovor na upit „tko može biti počinitelj kaznenog djela ugrožavanje prometa opasnom radnjom ili sredstvom, navodeći: „počinitelj kaznenog djela ugrožavanja prometa opasnom radnjom ili sredstvom iz članka 224. KZ/11. u svim njegovim oblicima označen riječju „tko“. Prema tome, radi se o kaznenom djelu koje može počiniti svatko, a ne samo sudionik u prometu“.

Također je od osobitog značaja izneseno stajalište Vrhovnog suda u pogledu određivanja odgovorne osobe u pravnoj osobi a s obzirom na poziciju te osobe u pravnoj osobi: „Prije svega valja reći da ovaj žalitelj potpuno pogrešno shvaća i tumači smisao odredbe članka 3. stavka 1. ZOPOKD-a, a posljedično tome i pogrešno zaključuje da se ista ne može primijeniti na konkretan slučaj, odnosno da postupanje optuženog I. K., s obzirom na njegovo radno mjesto u okviru optužene pravne osobe u inkriminirano vrijeme, ne može biti temelj odgovornosti optužene pravne osobe. Naime, tom je zakonskom odredbom propisano da će se pravna osoba kazniti za kazneno djelo odgovorne osobe ako se njime povređuje neka dužnost pravne osobe ili je njime pravna osoba ostvarila protupravnu imovinsku korist za sebe ili drugoga. Dakle, već iz samog izričaja ove zakonske odredbe jasno proizlazi da je odgovornost pravne osobe za postupanje u njoj odgovorne osobe postavljena vrlo široko „ako se njome povređuje neka dužnost pravne osobe“. Prema tome, za primjenu ove zakonske odredbe je, protivno stanovištu ovoga žalitelja, neodlučno kako je pozicionirana ta fizička osoba unutar pravne osobe budući da se odgovornost fizičke osobe unutar pravne osobe, a posljedično tome i odgovornost same te pravne osobe, temelji na postupanju fizičke osobe naspram onih poslova kojima je ona zadužena i za obavljanje kojih je odgovorna. Dakle, optuženi I. K. jest odgovorna osoba u optuženoj pravnoj osobi s obzirom na ona zaduženja koja proizlaze iz opisa njegovog radnog mjesta i u odnosu na koja je ovdje i proglašen krivim“.

5. GRAĐANSKOPRAVNA ODGOVORNOST – ODGOVORNOST ZA NAKNADU ŠTETE PRAVIH SUBJEKATA NADLEŽNIH ZA ODRŽAVANJE CESTA

Štete nastale u prometnim nesrećama mogu biti izravna posljedica povrede zakonske odredbe koja sadrži imperativni zahtjev prema kojem ceste moraju biti projektirane, izgrađivane, opremane i štićene na način da odgovaraju zahtjevima sigurnosti, dakle, štete uzrok kojih je upravo ne postupanje u skladu s tim zahtjevom. Navedena činjenica iziskuje poseban osvrt i na građanskopravnu odgovornost, odnosno izvanugovornu odgovornost za naknadu štete pravnih subjekata nadležnih za održavanje cesta. Građanskopravna odgovornost šira je od kaznenopravne odgovornosti¹⁸, što znači da kod nje štetnik može biti odgovoran za štetu po samom načelu uzročnosti (objektivna odgovornost), a bez vlastite krivnje (dok se odgovornost zbog kaznenog djela mora zasnivati na krivnji)¹⁹.

U kontekstu odgovornosti za štetu zbog propusta u poduzimanju aktivnosti u svrhu osiguranja sigurnog prometovanja cestama od strane pravnih subjekata koji su zakonom određeni kao upravitelji cesta ali koji ujedno imaju i zakonsku dužnost povjeravanja određenih poslova koji

17 Stajalište sud izneseno je povodom u žalbi iznesenog prigovora pravne osobe kako se odgovornost optužene pravne osobe ne može temeljiti na krivnji optuženog I.K. (licencirani ophodar s tada petogodišnjim radnim iskustvom) budući je on u sistematizaciji radnih mjesta bio najniže rangirana osoba

18 Doc. dr. sc. Mijo Galot i Vanesa Brizić Bahun, dipl. iur.: Odluke suda u postupku povodom... Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, god. 58, 4/2021, str. 1141-1163

19 V. Boris Vizner, Komentar Zakona o obveznim (obligacionim) odnosima (Zagreb 1978.), 630. i 639. – Po kriteriju objektivne odgovornosti traži se da oštećenik dokaže samo: štetnikovu štetnu radnju, štetu i uzročnu vezu između štetne radnje i nastale štete, dok se krivnja ne uzima u obzir

se tiču cesta drugim pravnim subjektima (budući ih oni ne obavljaju izravno), od primarnog značaja je rješavanje dvojbe o postojanje njihove subjektivne ili objektivne odgovornosti^{20 21}

Stajalište vezano uz odgovor na pitanje je li cesta opasna stvar, odnosno postoji li subjektivna ili objektivna odgovornost subjekata nadležnih za održavanje cesta u slučaju prometnih nesreća uzrokovanih propustom u održavanju cesta sadržano je i u presudi Vrhovnog suda Republike Hrvatske Rev-699/2012-2 od 7. srpnja 2017.: „Cesta nije opasna stvar i nema mjesta primjeni odredaba o objektivnoj odgovornosti već pravna osoba koja je odgovorna za održavanje ceste sigurnom za promet odgovara po načelu presumirane krivnje (čl. 1045. st. 1. Zakona o obveznim odnosima)²². Međutim, uslijed nekih krajnje specifičnih okolnosti cesta može postati opasna stvar, u skladu sa stavom iznesenim u presudi Vrhovnog suda Republike Hrvatske Rev x-1209/16 -2 od 18. siječnja: „Cesta koja prolazi kroz određeni kanal obližnje rijeke u slučaju prelijevanja vode u taj kanal postaje opasna stvar“. Također je potrebno akceptirati i stav sudske prakse prema kojem: „betonski blokovi postavljeni uzdužno i poprečno na cesti predstavljaju opasnu stvar, iz kojeg razloga pravna osoba zadužena za održavanje cesta odgovara po principu objektivne odgovornosti“ U predmetnoj odluci Županijskog suda u Varaždinu Gž. 479/O3 od 15. travnja 2003. konstatirano je kako: „više betonskih blokova na cesti, raspoređenih na način kao u konkretnom slučaju, u noćnim uvjetima i u uvjetima smanjene vidljivosti, predstavlja opasnu stvar za nailazeće vozilo i u tom smislu je odgovorna osoba za stanje ceste i objektivno odgovorna prema oštećeniku“.

Neophodno je također imati u vidu i kako parnični sud u postupku naknade štete uzrokovane prometnom nesrećom zbog propusta u održavanju cesta nije vezan odlukom prekršajnog suda donesenom u postupku u kojem se odlučivalo o prekršajnoj odgovornosti za predmetnu prometnu nesreću.

Naime, parnični sud utvrđuje činjenice odlučne za ocjenu osnovanosti zahtjeva i ocjenjuje ih u smislu odredbe čl. 8. Zakona o parničnom postupku (u daljnjem tekstu: ZPP), a prema odredbi čl. 12. ZPP-a izreka prekršajnog suda ne vezuje parnični sud u pogledu nastanka štetnog događaja kao ni prema stavu Vrhovnog suda Republike Hrvatske broj Rev 2166/10 od 2. veljače 2011. Slijedom iznesenog stajališta parnični sud u postupku naknade štete proizišle iz prometne nesreće može utvrditi drugačiji uzrok nastanka štetnog događaja, odnosno prometne nesreće nego što ga je utvrdio prekršajni sud. U skladu s tim moguće je da u parničnom postupku bude utvrđeno kako uzrok nastanka prometne nesreće nije neprimjerena brzina kretanja vozila već neadekvatno održavanje ceste unatoč neospornoj činjenici što je prekršajni sud krivim za prometnu nesreću proglasio vozača budući brzinu kretanja svog vozila nije prilagodio osobinama i stanju ceste i drugim uvjetima.

Upravo takva situacija razvidna je iz Presude Županijskog suda u Varaždinu Gž-63/2020-2 od 16. travnja 2020. „ Međutim, neovisno što je tuženik proglašen krivim u prekršajnom postupku, prvostupanjski sud je dužan ocijeniti sve dokaze u parničnom postupku radi utvrđivanja građanskopravne odgovornosti sudionika prometne nezgode, pa u tom dijelu nije pravilno stajalište prvostupanjskog suda kojim se poziva na čl. 12. ZPP-a i smatra da je vezan „kaznenom presudom u pogledu postojanja kaznenog dijela i kaznene odgovornosti“ i primjenom tog stajališta na temelju prekršajne odgovornosti tuženika izvodi zaključak da je tuženik odgovoran za nastanak prometne nezgode. ... Da je kolnik na kojem je nastala

20 Klarić, P., Odštetno pravo, Zagreb, 2003. Str. 72

21 Matijević, B., Javne ceste i odgovornost za štetu II dio, Osiguranje br. 10/2007, str. 58

22 Visoki trgovački sud Republike Hrvatske Pž-677/2022-3 20. veljače 2023.: „Za štetu na vozilu zbog odrona kamena na javnoj cesti ne odgovara se temeljem pravila odgovornosti za štetu od opasne stvari ili opasne djelatnosti, već po principu pretpostavljene krivnje. Za štetu koja nastane uslijed takvog stanja javne ceste zbog koje javna cesta nije sigurna za promet odgovara se po principu pretpostavljane krivnje u smislu odredbe članka 1045. ZOO, kojom je propisano da onaj tko drugome prouzroči štetu, dužan ju je naknaditi, ako ne dokaže da je šteta nastala bez njegove krivnje“.

prometna nezgoda bio zaleđeni tvrdili su u iskazima svjedoci D. B. koji je bio putnik u vozilu tuženika i A. V. koji je bio putnik u vozilu oštećenika, kao i tuženik u svojem iskazu. Podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda od 4. srpnja 2017. o padalinama i dnevnoj temperaturi preko noći i tog dana ukazuju na objektivnu mogućnost da je kolnik bio zaleđeni. Nasuprot tome ne postoje podaci o poduzetim radnjama čišćenja kolnika na mjestu nezgode jer Zagrebački holding d.o.o. prema očitovanju ne raspolaže dnevnikom čišćenja iz tog razdoblja... Obzirom ne postoje fotografije lica mjesta s tragovima, fotografije oštećenja vozila i zaustavnih položaja vozila, iz nalaza vještaka proizlazi da nije moguće izračunati brzine vozila koja su sudjelovala u nezgodi. Iz nalaza i mišljenja vještaka G. H. proizlazi da je prolazna brzina vozila tuženika od 24,5 km/h izračunata pod uvjetom da se snijeg nije ledio na kolniku (rahli snijeg), dok iz nalaza oba vještaka proizlazi da bi na zaleđenom kolniku do proklizavanja vozila došlo i pri manjoj brzini, odnosno pri svakoj brzini kretanja vozila tuženika, a da je kolnik bio očišćen, posipan sipinom i solju da bi tuženik s brzinom do 40 km/h svladao zavoj.... Obzirom tuženik (vozač) nije odgovoran za nastanak prometne nezgode, to potraživanje tužitelja pravilnom primjenom materijalnog prava nije osnovano“

Moguće je također i da parnični sud u postupku naknade štete uzrokovane prometnom nesrećom utvrdi odgovornost ili suodgovornost pravnog subjekta nadležnog za održavanje ceste protiv kojeg zbog predmetne prometne nesreće uopće nije bio pokrenut prekršajni postupak zbog povrede obveze održavanja ceste, odnosno u situacijama kada je prekršajni postupak bio pokrenut i vođen protiv vozača ali je isti u njemu oslobođen krivnje, kao što je razvidno i iz Presude Županijskog suda u Puli-Pola Gž-840/2022 od 27. srpnja 2022.:“.. presudom Prekršajnog suda u Čakovcu, poslovni broj P-1179/2016-63 od 19. prosinca 2018. vozač vozila tužiteljice oslobođen od krivnje za predmetnu nezgodu, a u kojoj presudi je jasno navedeno da u predmetnom slučaju postoji odgovornost upravo tuženika (Općina Domašinec)...Odgovornost vozača vozila tužiteljice ogleda se u činjenici da se kritičnoga dana kretao ulicom Glavna ulica koja u to vrijeme nije bila označena kao „Cesta s prednošću prolaska“ te je dolaskom na raskrižje sa Prvomajskom ulicom - u kojoj u tom trenutku nije bio postavljen prometni znak „Raskrižje sa cestom sa prednošću prolaza“, ušao u raskrižje zadržavajući smjer kretanja, uslijed čega nije propustio vozilo koje je dolazilo sa njegove desne strane, pa je došlo do „sraza“ ta dva vozila i štete na vozilu tužiteljice. Na opisani način vozač vozila tužiteljice povrijedio je prometno pravilno iz čl. 57. st. 1. ZSPC, odnosno pravilo desne strane. Međutim, i tuženik je doprinio predmetnoj prometnoj nezgodi, a njegov doprinos se ogleda u činjenici što Prvomajska ulica kojim se svojim vozilom kretala vozačica V. K. u trenutku nezgode nije bila pravilno označena, odnosno na njoj zbog očitog propusta tuženika nije pravovremeno bio postavljen prometni znak „Raskrižje sa cestom sa prednošću prolaza“ - koji se na istoj nalazio godinama prije predmetne nezgode ali i neposredno po nezgodi, zbog čega je vozač vozila tužiteljice doveden u zabludu, jer je smatrao da se kreće glavnom prometnicom (vozaču vozila tužiteljice bilo je poznato da je Prvomajska ulica sporedna ulica u odnosu na Glavu ulicu, jer je u Prvomajskoj ulici godinama bio postavljen prometni znak „Raskrižje sa cestom sa prednošću prolaza“), pa posljedično tome, da se nije dužan pridržavati pravila desne strane u odnosu na vozilo koje mu je dolazilo sa sporedne ulice. Na opisani način tuženik je povrijedio odredbu čl. 3. Zakona o komunalnom gospodarstvu koja mu je nalagala održavati nerazvrstane ceste na području Općine Domašinec, odnosno redovito održavati i postavljati prometne znakove u naseljima koje su u sastavu njegove općine (što u predmetnom slučaju nije učinio)“.

Postupci naknade štete uzrokovane neodgovarajućim stanjem ceste vrlo često su obilježeni osporavanjem odgovornosti za naknadu štete zbog postojanja ugovora između upravitelja ceste i izvođača radova kojima se stanoviti poslovi ustupaju u skladu sa zakonom, pri čemu

svaki od tih subjekata nastoji osporiti vlastitu pasivnu legitimaciju, odnosno odgovornost za nastalu štetu navodeći drugu ugovornu stranu kao odgovornu. Kao što je ranije isticano aktualnim Zakonom o cestama definirani su pravni subjekti nadležni za upravljanje, građenje, rekonstrukciju i održavanje javnih cesta ali na način i da je propisano kako Hrvatske autoceste d.o.o., Hrvatske ceste d.o.o. i županijske uprave za ceste izravno ne izvode radove građenja, rekonstrukcije i održavanja javnih cesta, već se isti ustupaju pravnim ili fizičkim osobama registriranim, specijaliziranim i opremljenim za te poslove. Sukladno odredbi čl. 26. st. 1. Zakona o cestama poslovi održavanja javnih cesta u smislu toga Zakona jesu, između ostalih, planiranje održavanja i mjera zaštite javnih cesta i prometa na njima i redovito i izvanredno održavanje javnih cesta. Upravitelj ceste u obvezi je osigurati da izvođač radova održavanja ceste, obavlja poslove redovitog održavanja ceste na način da istu čisti i nadopunjuje, zamjenjuje ili popravlja dotrajalu, oštećenu, manjkavu ili nestalu prometnu signalizaciju i opremu nosećih dijelova odnosno konstrukcije, da prometnu signalizaciju i opremu na cesti održava tako da se osigura njena potpuna funkcionalnost i vidljivost, kao i udovolji svim zahtjevima koji proizlaze iz pozitivnih propisa kojima je regulirana sigurnost cestovnog prometa, kao i prometna signalizacija i oprema na cestama a prema čl. 26. Pravilnika o održavanju cesta²³.

Upravo zakonska odredba o ustupanju određenih poslova koje se odnose na građenje, rekonstrukciju te održavanje javnih cesta u postupcima naknade štete nastale zbog propusta u održavanju rezultira prijemcima oko pasivno legitimiranog subjekta za naknadu štete, je li to upravljač ceste ili pravni subjekt kojem je upravitelj ceste u skladu s relevantnom odredbom Zakona o cestama dužan povjeriti radove, odnosno kojem je odgovarajućim ugovorom povjerio određene poslove tj. izvođač radova. Često upravitelji cesta ističu prigovor promašene pasivne legitimacije navodeći kako ne postoji njihova odgovornost za nastalu štetu zbog zakonske odredbe prema kojoj oni te radove ne izvode izravno već ih temeljem samog zakona povjeravaju, ustupaju drugom pravnom subjektu (izvođaču radova) koji udovoljava traženim zahtjevima te on time postaje i odgovoran te pasivno legitimiran za postavljene odštetne zahtjeve po toj osnovi. Istodobno i izvođač radova nastoji u postupku s uspjehom osporiti svoju odgovornost za nastalu štetu i akcentirati činjenicu kako upravitelj ceste odgovara temeljem samog Zakona o cestama kao pravni subjekt koji je nadležan za te poslove. Sudovi u pravilu zauzimaju stajalište kako sama činjenica što je upravitelj ceste sukladno odredbama Zakona o cestama određene poslove ustupio, povjerio, prenio ugovorom na drugi subjekt tj. izvođača radova nije od značaja ni utjecaja na odgovornost upravljača cesta prema subjektu koji je s obzirom na pretrpljenu štetu u prometnoj nesreći uzrokovanu tim propustom, ovlašten potraživati naknadu štete. Nerijetko sudovi izravno u svojim odlukama ukazuju i kako činjenice i okolnosti od značaja za ocjenu urednog (ne)izvršavanja povjerenih i preuzetih poslova i obveza poblize reguliranih ugovorom između upravitelja cesta mogu biti odlučni za eventualni međusobni odnos između upravitelja cesta i izvođača radova u kontekstu eventualne povrede ugovornih obveza izvođača radova. Takav stav povodom prigovora promašene pasivne legitimacije upravitelja cesta koji je isticao kako on ne može biti odgovoran za nastalu štetu zbog odrona kamena na javnoj cesti s obzirom na dužnost povjeravanja poslova održavanja drugom pravnom subjektu s kojim ima zaključen i odgovarajući ugovor i kako je s obzirom na to odgovornost za nastalu štetu isključivo na strani izvođača radova (drugotuženika) iznesen je u odluci Visokog trgovačkog suda Republike Hrvatske Pž-677/2022-3 20. veljače 2023. : „kada je vozilo VW Caddy, registarskih oznaka X1, na državnoj cesti broj 3, Zagreb-Rijeka, naletjelo na odron kamenja na dionici A4, a sud nije našao elemente suodgovornosti jer je iz rezultata provedenog prometnog vještačenja utvrdio da se vozilo kretalo na propisan

23 Narodne novine" br. 90/14.

način... Tuženik HC. D.o.o. ukazuje na odredbe Zakona o cestama prema kojima je tuženik dužan provjeriti radove održavanja ceste ugovornom izvođaču u konkretnom slučaju u ovoj pravnoj stvari drugotuženiku. Također ukazuje da je sud trebao ocijeniti tužbeni zahtjev i primjenom Pravilnika o održavanju cesta („Narodne novine“ broj 90/14) kao i na temelju Pravilnika o ophodni javnih cesta („Narodne novine“ broj 75/14), odnosno ugovornih obveza iz Ugovora o izvođenju radova redovitog održavanja i zaštite državnih cesta na području Republike Hrvatske za 2017. godinu kojeg su sklopili prvo i drugotuženik. Ukazuje da je redovito održavanja pokosa i usjeka obveza izvođača radova redovitog održavanja cesta, dakle ovdje drugotuženika kojemu je to redovito odražavanje ugovorom ustupljeno, ukazuje i na odredbe Pravilnika o održavanju cesta koje se odnose na ophodarsku službu, koja također obavlja manje radova održavanja ceste i provodi potrebne mjere za zaštitu javne ceste, ukazuje da je s obzirom na odredbe pravilnika kao i ugovora s drugotuženikom upravo prvotuženik u potpunosti ovisan o informacijama drugotuženika, pa je sud na temelju rezultata dokaznog postupka trebao utvrditi da upravo drugotuženik nije postupao sukladno odredbama navedenih pravilnika, odnosno nije sanirao predmetni pokos s kojeg je kamenje završilo na državnoj cesti. U tom smislu ukazuje i na odredbe zakona i pravilnika iz kojih proizlazi da je postavljanje zaštitne žičane mreže moguće samo uz odgovarajuću proceduru, odnosno na temelju prometnog projekta koji mora biti sačinjen u skladu s pravilima više struka, a ne na temelju paušalnih procjena ophodara, što je sve regulirano odredbom članka 43. Pravilnika o održavanju cesta. Činjenica da je sukladno odredbama Zakona o cestama žalitelj navedene poslove prenio na drugotuženika nije od utjecaja na tužnikovu odgovornost prema tužitelju, a zbog nesporno nastale štete uslijed stanja kolnika predmetne državne ceste. Navodi na koje se žalitelj u žalbi a i tijekom prvostupanjskog postupka poziva odlučni su za eventualni međusobni odnos između tuženika u smislu eventualne povrede ugovornih obveza tuženika C. R. d.o.o., i nisu odlučni za odgovornost tuženika koji ima zakonsku obvezu održavati ceste tako da budu sigurne za promet prema tužitelju koji je, isplativši svom osiguraniku štetu na temelju zakonske subrogacije legitimiran postaviti odštetni zahtjev tuženiku“.

Vezano uz obveze održavanja ceste i ophodarske aktivnosti te postojanje objektivnih mogućnosti odgovarajućeg i pravovremenog održavanja ceste, od značaja je presuda Županijskog suda u Varaždinu Gž 966/2018-2 od 8. ožujka 2019. u kojoj se također konstatira kako u smislu odštetnog prava cesta nije opasna stvar, pa tuženik kao osoba koja upravlja cestom u konkretnom slučaju odgovara za štetu po načelu presumirane krivnje. Sud je u konkretnoj presudi akceptirao i postojanje objektivne nemogućnosti pravne osobe koja upravlja cestom da ukloni predmet s autoceste Naime, u presudi je navedeno kako: „žalbeni navodi tužitelja kojima ističe da tuženik u konkretnom slučaju odgovara po načelu objektivne odgovornosti, iz razloga što je cesta na kojoj se nalazi otpala guma opasna stvar, nisu osnovani. U smislu odštetnog prava cesta nije opasna stvar, pa tuženik kao osoba koja upravlja cestom u konkretnom slučaju odgovara za štetu po načelu presumirane krivnje. Obzirom je prvostupanjski sud pravilno utvrdio da uzrok nastale štete nije u nepropisnom održavanju ceste od strane tuženika, te da tuženik nije mogao spriječiti da se guma (otpala s nepoznatog vozila) nađe na cesti i da nije imao objektivne mogućnosti ukloniti gumu obzirom se na cesti zatekla neposredno prije naleta vozila tužitelja, prvostupanjski sud je pravilnom primjenom materijalnog prava zaključio da ne postoji odgovornost tuženika“.

Pravna osoba koja gospodari odnosnom autocestom, tuženik u odnosnoj pravnoj stvari istakla je naime da: „je dužan održavati ceste za nesmetan i siguran promet sukladno čl. 26. ZJC, što upućuje da odgovara po kriteriju presumirane krivnje primjenom čl. 1045. st. 1. Zakona o obveznim odnosima, te kako je ophodarska služba izvršavala nadzor nad

predmetnom dionicom propisanom učestalošću i duljinom dionice sukladno čl. 9., 10. i 12. Pravilnika o ophodnji javnih cesta i na način propisan čl. 12. i 14. Pravilniku o održavanju cesta te da u njihovom radu nije bilo propusta jer u vezi predmeta na cesti nisu primili nikakvu dojavu prije naleta tužiteljevog vozila, pa uz notornu činjenicu da se ophodarska služba ne može u svakom trenutku nalaziti na svakoj dionici autoceste, sud zaključuje da je tuženik ispunjavao obveze održavanja autoceste kako mu to nalažu zakonske odredbe i da u njegovom radu nije bilo nikakvih propusta na kojima bi se temeljila odgovornost za naknadu štete jer objektivno nije imao mogućnosti ukloniti predmet prije nastanka štetnog događaja“.

6. ZAKLJUČAK

Utvrđivanje utjecaja stanja cesta na nastanak prometnih nesreća te odgovarajuće procesuiranje pravnih subjekata odgovornih za ostvarenje zakonskog imperativa za cestama koje odgovaraju zahtjevima sigurnosti u prometu, nerijetko biva ocjenjeno kao zanemarivo u odnosu na broj prekršajnih i kaznenih postupaka vođenih protiv vozača koji se terete za vožnju neprilagođenu upravo, stanju i osobinama ceste. Međutim, postojeći normativni okvir stvorio je odgovarajuće pretpostavke koje omogućuju realno percipiranje cesta kao čimbenika od značaja za sigurnost cestovnog prometa i u skladu s tim, odgovarajućim zakonodavnim rješenjima dana je mogućnost utvrđivanje kaznenopravne i prekršajne odgovornosti pravnih osoba te odgovornih osoba u pravnim osobama za propuste koji su doveli do prometnih nesreća čiji je uzrok upravo stanje ceste. Sudska praksa, istodobno u primjeni relevantne legislative kontinuirano iznalazi i daje odgovore na niz upita od značaja za utvrđivanje i u konačnici, adekvatno sankcioniranje propusta u održavanju cesta. Jasno je ista iskazala stajalište kako počinitelj kaznenog djela ugrožavanje prometa opasnom radnom ili sredstvom ne mora biti sudionik u prometu već to može biti i pravna osoba te odgovorne osobe u toj pravnoj osobi, ukoliko je prometna nesreća uzrokovana propuštanjem dužne i moguće pažnje kod obavljanja poslova iz njihove nadležnosti. Cesta prema stavu sudske prakse nije opasna stvar i nema mjesta primjeni odredaba o objektivnoj odgovornosti već pravna osoba koja je odgovorna za održavanje ceste sigurnom za promet odgovara po načelu presumirane krivnje, međutim uslijed nekih krajnje specifičnih okolnosti cesta može postati opasna stvar. Navedeni stav od iznimnog je značaja za postupke koji se tiču građanskopravne odgovornosti pravnih subjekata nadležnih za održavanje cesta, odnosno naknada šteta proizišlih iz prometnih nesreća, kao i stajalište prema kojem o parnični sud u postupku naknade štete uzrokovane prometnom nesrećom zbog propusta u održavanju cesta nije vezan odlukom prekršajnog suda donesenom u postupku u kojem se odlučivalo o prekršajnoj odgovornosti za prometnu nesreću za razliku od vezanosti kaznenom presudom u pogledu postojanja kaznenog dijela i kaznene odgovornosti.

LITERATURA:

1. Aviani, D.: Prekršajno pravo, Split, 2009.
2. Bayer V.: Jugoslavensko krivično procesno pravo, Knjiga druga, Pravo o činjenicama i njihovom utvrđivanju u krivičnom postupku, Zagreb, 1980.,
3. Bonačić, M., Rašo M.: Obilježja prekršajnog prava i sudovanja, aktualna pitanja i prioriteti de lege ferenda, Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu, vol. 19, br. 2, 2012, str. 439.-472.

5. Derenčinović, D., Gulišija, M., Dragičević Prtenjača, M.: Novosti u materijalnopравnim odredbama Prekršajnog zakona, Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu, vol. 20, br. 2, 2013, str. 751-777.
6. Gavella, N. et al.: Stvarno pravo, Zagreb, 1998.
7. Horvatić, Ž., Novo prijestupovno i prekršajno pravo kao dio hrvatskog kaznenopravnog sustava, Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu, Zagreb, Vol. 8, br. 1/2001., str. 5-20.
8. Horvatić, Ž.: Temeljna polazišta za preuređenje hrvatskog postupovnog i prekršajnog prava, Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu, vol. 6., br. 2/1999, str. 429.-443., str. 435.-438
9. Ivičević Karas, E., Burić, Z., Bonačić, M.: Unapređenje procesnih prava osumnjičenika i okrivljenika u kaznenom postupku: pogled kroz prizmu europskih pravnih standarda, Hrvatski ljetopis za kaznene znanosti i praksu, vol. 23, br. 1, 2016, str. 11-58. Klarić, P.: Odštetno pravo, Zagreb, 2003.
10. Krapac, D.: Kazneno procesno pravo – Institucije, Zagreb, 2014.
11. Krapac, D.: Nezakoniti dokazi u kaznenom postupku prema praksi Europskog suda za ljudska prava // Zbornik Pravnog fakulteta u Zagrebu, vol. 60 (2010), 3; 1207-1240
12. Milivojević, Antoliš, L. et al.: Prekršajno pravo, Zagreb, 2012.
13. Novosel, D., Rašo, M., Burić, Z.: Razgraničenje kaznenih djela i prekršaja u svjetlu presude..., Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu (Zagreb), vol. 17, broj 2/2010, str. 785-812.
14. Novoselec, P.: Opći dio kaznenog prava, Zagreb, 2009.
15. Pavišić, B.: Komentar Zakona o kaznenom postupku, Rijeka, 2005.
16. Pavišić, B.: Grozdanić, V., Osnove kaznenog prava i postupka, Rijeka, 2001.
17. Potočki, S.: Osnovni zakon o prekršajima s komentarom, Narodne novine, Zagreb, 1962.
18. Tomašević, G., Krapac, D., Gluščić, S., Kazneno procesno pravo, Zagreb, Narodne novine, 2005.
19. Vedriš M., Klarić, P.: Građansko pravo, Zagreb 1998.
20. Veić P., Gluščić, S.: Prekršajno pravo, Opći dio, Zagreb 2009.

Izvori sudske prakse:

1. <http://curia.europa.eu/>
2. <http://www.ingbiro.com/default.aspx?ReturnUrl=%2fsudska%2fdefault.aspx>
3. <http://www.iusinfo.hr/CaseLAws/TOC.aspx>
4. http://www.pkap.sud.rs/sednica_2013_07_01_fg_lat.html#
5. <https://www.sodnapraksa.si/>
6. <https://sudskapraksa.csp.vsrh.hr/home>
7. <https://www.vrh.sud.rs/sr-lat/sudska-praksa>
8. <http://sudskapraksa.vsrh.hr/supra/>
9. <https://uredzastupnika.gov.hr/sudska-praksa/148>

SUVREMENI PRISTUPI PROJEKTIRANJU CESTA

MODERN APPROACHES TO ROAD DESIGN

Prof.dr. **Tomaž Tollazzi**, univ.dipl.inž.građ., tomaz.tollazzi@um.si

Ivana Prelovac, univ.dipl.inž.prom., ivana.prelovac@student.um.si

Tanja Vukašinović, univ.dipl.inž.prom., tanja.vukasinovic@student.um.si

Tanja Nikolić, univ.dipl.inž.prom., nikolic.tanja@student.um.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo, Maribor

SAŽETAK

Vremena, kada je projektant ceste projektirao osovину ceste uzimajući u obzir samo konfiguraciju terena, su prošla. Danas u pravilu nova cesta zadnja "ulazi u postor" i mora se prilagoditi svima onima, koji su već tu (urbane sredine, vodozaštićena područja, poljoprivredna zemljišta, telekomunikacijski vodovi ...).

Isto tako, prošla su i vremena, kada se je cesta projektirala uzimajući u obzir samo vozno-dinamičke karakteristike motornih vozila (gabarite motornih vozila i njihova vozna dinamika).

Današnji pristupi projektiranju cesta polaze od vozača, kao konačnog korisnika cesta, njegovih sposobnosti (senzornih i psihomotornih) i njegovih ograničenja. Do sada su se izrazi "samoobjašnjavajuće i samoizvršavajuće ceste" te "područja uz cestu koja opraštaju" koristili samo u znanstvenim i stručnim radovima, ali u Direktivi 2019/1936/EK sada se ti izrazi prvi put spominju u nekom službenom dokumentu Europske komisije. Rad prikazuje neke osnovne karakteristike "samoobjašnjavajućih cesta" te "područja uz cestu koja opraštaju".

Ključne riječi: suvremeni pristupi projektiranju cesta, samoobjašnjavajuća cesta, područje uz cestu koje oprašta.

ABSTRACT

The times when the road designer designed the road axis taking into account only the terrain configuration are gone. Today, as a rule, a new road is the last to "enter the space" and must adapt to all those that are already there (urban areas, water protected areas, agricultural land, telecommunications lines ...). Likewise, the times when a road was designed taking into account only the driving-dynamic characteristics of motor vehicles (the dimensions of motor vehicles and their driving dynamics) are also gone.

Today's approaches to road design start from the driver - human, as the ultimate road user, his abilities (sensory and psychomotor) and his limitations. Until now, the terms "self-explaining and self-enforcing roads" and "forgiving roadside areas" were used only in scientific and professional papers, but in Directive 2019/1936/EC these terms are now mentioned for the first time in an official European commission document.

The paper shows some basic characteristics of "self-explaining roads" and "forgiving roadside areas".

Keywords: moder approach to road design, self-explaining roads, forgiving roadsides

1. ŠTO NAM NALAŽE DIREKTIVA 2019/1936/EK?

U članku 4. Direktive 2019/1936/EK¹ dodan je sljedeći stavak (službeni prijevod): "Komisija pruža smjernice za projektiranje „područja uz cestu koja oprašaju” i „samoobjašnjavajućih i samoizvršavajućih cesta” u početnoj reviziji faze projektiranja, kao i smjernice za zahtjeve u pogledu kvalitete povezane s nezaštićenim sudionicima u cestovnom prometu. Takve se smjernice izrađuju u bliskoj suradnji sa stručnjacima iz država članica.” Jedan stavak i ništa više.

Na ovom mjestu prvo je potrebno rasčistiti značenje dva pojma, a to su "guidelines" (što obično prevodimo kao smjernica) i "guidance" – kako se navodi u engleskom originalu – (što prevodimo kao usmjerenje ili preporuku). Uz to, nigdje se ne navodi, da je uporaba te "smjernice" obavezna za države članice EU.

Komisija do sada još nije izradila te "smjernice", pa je svaka država prepuštena sama sebi.

2. NAČELA SAMOOBJAŠNJAVAJUĆIH CESTA

2.1. DEFINICIJA SAMOOBJAŠNJAVAJUĆIH CESTA

Koncept samoobjašnjavajuće ceste (SER) potječe iz Nizozemske i temelji se na principu "predvidljivosti" u cestovnom prometu. Cilj je stvoriti cestovno okruženje koje ispunjava očekivanja korisnika promicanjem sigurnijeg ponašanja i interakcije. Ključni elementi uključuju ograničavanje tipova cesta i dosljedne elemente oblikovanja kao što su elementi uz cestu in tlocrti.

Projektiranje cestovnog okoliša mora biti usklađeno s očekivanjima korisnika, pri čemu svaka kategorija cesta ima jedinstvenu prostornu organizaciju elemenata. Važno je izbjegavati iznenađujuće i kontradiktorne situacije koje bi mogle zbuniti vozače. Umjesto oslanjanja na previše znakova upozorenja, naglasak je na jasnoći i transparentnosti stanja na cestama kako bi vozači mogli sami procijeniti situaciju.

Krajnji cilj je stvoriti intuitivno i sigurno cestovno okruženje koje potiče odgovorno i pažljivo ponašanje svih sudionika u prometu. Nizozemski koncept samoobjašnjavajućih cesta (SER) temelji se na jasnoj hijerarhiji cesta, podijeljenoj na glavne ceste, sporedne ceste i stambene ulice. Svaka kategorija ima specifične zahtjeve za oblikovanje koji određuju odgovarajuću brzinu i ponašanje korisnika.

Posebnost koncepta je projektiranje sigurnih prometnica kroz urbane sredine i prigradska područja. To uključuje mjere kao što su:

- sužavanje prometnih traka,
- povećanje zelenih površina,
- stvaranje zajedničkih otoka,
- uklanjanje oznaka na cesti,
- postavljanje ulaza u naselja,
- smirivanje prometa.

Cilj ovih mjera je vizualno prepoznatljiv prometni okoliš koji potiče prirodno i sigurno ponašanje vozača motornih vozila i biciklista.

¹ <https://citygreen.com/woonerf-street-concept-for-shared-city-spaces/>



Slika 1. – Primjer “Woonerf” ulice (Izvor: Citygreen , dostup: 14.12.2024)

Pri planiranju autocesta naglasak je na “glatkoj” i protočnoj trasi, ali se izbjegava monotona izravnost. U naseljenim područjima trasa treba sadržavati prekinde (“pauze”) i promjene “karaktera” ceste kako bi se potaklo vozače da smanje brzinu i prilagode svoje ponašanje.²

2.2. VRSTE SAMOOBJAŠNJAVAJUĆIH CESTA

“Woonerf” koncept razvijen u Nizozemskoj, poznat i kao “zajednički prostor,” predstavlja ulicu koju ravnopravno koriste pješaci, biciklisti i vozači motornih vozila. U ovim prostorima, pješaci i biciklisti uvijek imaju prednost pred automobilima. Ključna karakteristika “Woonerfa” je nepostojanje jasnih granica između prostora za pješake, bicikliste i vozila; ulica je oblikovana tako da svi korisnici dijele isti prostor. Ulični elementi poput drveća i klupa često se koriste kao prirodne prepreke za usporavanje prometa, a sama ulica može biti bez rubnjaka, prometnih oznaka ili vidljivih razgraničenja. Dizajn ovih ulica jasno sugerira vozačima da prilagode brzinu i voze s povećanom pažnjom. Zbog intuitivnosti oblikovanja, nema potrebe za dodatnim prometnim znakovima koji bi vozače upozoravali na pravila ponašanja u ovim ulicama. “Woonerf” je u biti osmišljen da potiče sigurnost i interakciju svih sudionika u prometu, stvarajući opušteniju i ugodniju atmosferu u urbanim sredinama.

Na slici 2. su prikazana dva tipa ceste koje se mogu smatrati samoobjašnjavajućima. S lijeve strane, tipična nizozemska autocesta sa elementima za brzu vožnju kao što su široke trake, gladak asfalt, traka za usporenje, utvrđena bankina, zaštitne ograde, znakovi za kontrolu trake, bez oštih zavoja i puno predviđanja. S desne strane, tipični nizozemski “Woonerf” (također poznat kao “zajednički prostor”), oblikovan za sporu vožnju (maksimalna brzina 15 km/h) s definirajućim značajkama kao što su fizičke barijere, zajednički i tempo prostor te krajolik i oprema ceste. Najmanje očigledne su ruralne ceste koje povezuju manje gradove i sela. Konkretno, ove vrste cesta imaju različite funkcije, pokazuju velike razlike u izgledu, imaju različite sudionike u prometu (npr. automobile, bicikliste, pješake), imaju različita ograničenja brzine (u razponu od 50 do 100 km/h) i “nemilosrdne” su (tj. kada pogriješite, ishod može biti tragičan).

Slika 2. – Primjeri samoobjašnjavajućih cesta (Izvor: SpringerOpen , dostup: 26.11.2024)



2.3. PRINCIPI SAMOOBJAŠNJAVAJUĆIH CESTA

Koncept samoobjašnjavajuće ceste temelji se na načelu stvaranja intuitivnog cestovnog okruženja koje potiče prirodno ponašanje vozača. Glavne značajke koncepta uključuju (Slike 3 i 4):

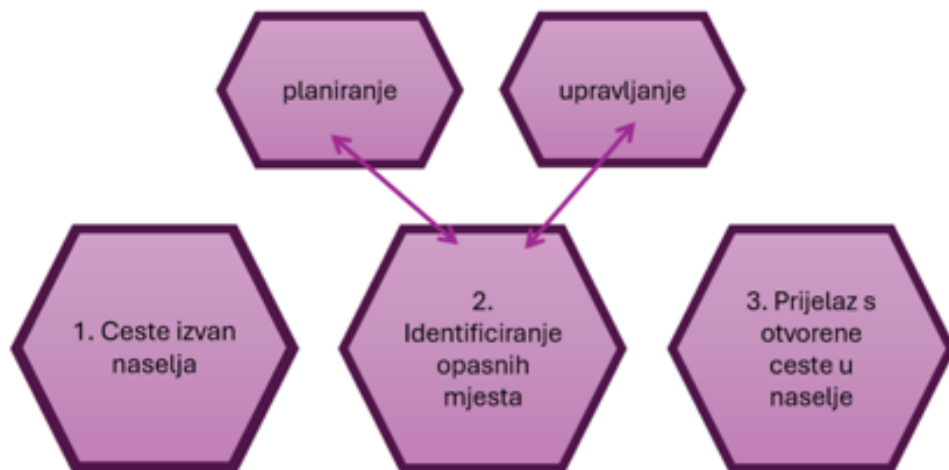
- razlikovanje kategorija cesta – svaka kategorija ceste ima jedinstvene karakteristike, dosljednost elemenata kao što su širina, oznake, signalizacija i rasvjeta. Cilj je da vozač “instinktivno” prepozna vrstu ceste i prilagodi joj svoje ponašanje.
- smanjene potrebe za dodatnim prometnim znakovima – jer već samo oblikovanje ceste pruža jasne smjernice. Na taj način se smanjuje stres vozača i mogućnost pogrešaka kroz jednostavnost i dosljednost.

Trenutni izazovi uključuju da je koncept u potpunosti implementiran na autocestama, dok na lokalnim i nižim cestama često nedostaje dosljednosti zbog različitih razvojnih ciljeva, izmjena trasa, miješane funkcije ceste, te nekontroliranog razvoja okolnih područja.

Slika 3. – Koncept samoobjašnjavajućih cesta (Izvor: DRI – “Predvidljive ceste” kot ključ do prometne varnosti, dostup: 14.12.2024)



Slika 4. – Dizajn i temelj SER (Izvor: DRI – “Predvidljive ceste” kot ključ do prometne varnosti, dostup: 14.12.2024)



2.3.1. CESTE IZVAN NASELJA

Ceste izvan naselja predstavljaju ključne prometne arterije koje omogućavaju kretanje između različitih naselja, gradova i regija. U procesu projektiranja tih cesta, osnova treba biti podjela prometnica prema njihovoj namjeni, kako bi se što jasnije definirale funkcije i zahtjevi koje te ceste trebaju ispuniti. S obzirom na raznovrsnost vrsta cesta, od velike je važnosti koristiti što manje kategorija, kako bi se pojednostavio postupak projektiranja i osigurala standardizacija u izvedbi.

Ograničen broj projektnih rješenja

U cilju optimizacije procesa projektiranja i izgradnje, važno je definirati ograničen broj vrsta projektnih rješenja. Svako rješenje treba biti pažljivo odabrano na temelju specifičnih karakteristika ceste, njezinih tehničkih zahtjeva i funkcionalnosti. Projektna rješenja mogu uključivati standardizirane presjeke koji detaljno određuju dimenzije elemenata poprečnog profila ceste, uključujući broj i širinu prometnih traka, vrstu podloge (asfaltne ili betonske), te dodatnu opremu kao što su zaštitne ograde, raskrižja i povezana infrastruktura. Također, potrebno je u obzir uzeti prometnu signalizaciju, koja treba biti jasno definirana za svaku vrstu ceste, osiguravajući sigurnost i regulaciju prometa.

Definicija standardnih poprečnih presjeka i prometne signalizacije

Standardni poprečni presjeci su temeljni elementi svakog projekta ceste. Ovi presjeci uključuju precizne dimenzije i oblikovanje ceste, uzimajući u obzir sve tehničke i sigurnosne aspekte. Na primjer, standardni poprečni presjek za brzu cestu može uključivati dvije trake u svakom smjeru, dok bi se za manju lokalnu cestu mogla projektirati uža kolnička traka, uz dovoljnu širinu za siguran promet.

Osim toga, prilikom projektiranja cesta izvan naselja, od velike je važnosti prometna signalizacija, koja mora biti jasno postavljena i razumljiva svim sudionicima u prometu.

Povezivanje vrste cesta s funkcijama

Konačno, važno je nedvosmisleno povezati svaku vrstu ceste s njenom funkcijom. To znači da

bi se svaka kategorija ceste trebala projektirati tako da odgovara specifičnim potrebama prometa za koji je namijenjena. Na primjer, autocesta mora imati visoke standarde za brzinu i kapacitet prometa, dok će lokalna cesta u manjem naselju imati niže zahtjeve u pogledu širine i kapaciteta. Svi elementi projekta, od same konstrukcije ceste do dodatnih sigurnosnih mjera, trebaju biti usklađeni s funkcijom ceste, osiguravajući maksimalnu učinkovitost i sigurnost za sve korisnike.

Kako bi izgledalo kada bi slovensku cestovnu mrežu "preslikali" na nizozemski način kategoriziranja cesta (slika 5.):

- daljinske ceste (AC, HC i GC) – velike brzine, fizički odvojeni smjerni kolnici, čvorišta, bez ranjivih sudionika u prometu
- zbirne ceste (RC i važnije LC) – relativno velika brzina na otvorenim dionicama, smanjena u zoni raskrižja i naselja, ranjivi sudionici fizički odvojeni
- dostupne ceste (ostale LC i JP) – mala brzina, sve vrste sudionika u prometu. [5]

2.3.2. PRIJELAZ S OTVORENE DIONICE CESTE U NASELJE

Prijelaz s otvorene dionice ceste u naselje označava promjenu u prometnoj regulaciji, gdje na temelju slovenskog Zakona o pravilima cestovnog prometa (ZPrCP) počinju vrijediti pravila



vožnje specifična za naseljena područja. Za učinkovito upravljanje tim prijelazom, cesta i okolni prostor trebaju biti oblikovani na način, da vozače jasno upozoravaju na potrebu prilagodbe načina vožnje. To se postiže implementacijom mjera za usporavanje prometa, poput prometnih znakova i horizontalnih oznaka, užih kolničkih profila te samog ulaska u naselje.

Slika 5. – Podjela cesta po funkciji
(Izvor: Kategorizacija občinskih cest³,
dostup: 14.12.2024)

Samo postavljanje prometnog znaka za početak naselja nije dovoljno da bi se vozači pravilno pripremili na promjenu uvjeta vožnje. U tom kontekstu, važno je ugraditi dodatne mjere koje

osiguravaju predvidljivost ceste i omogućavaju vozačima da se na vrijeme pripreme na promjenu režima vožnje. Najbolje rješenje za siguran i učinkovit prijelaz s otvorene dionice ceste u naselje često uključuje oblikovanje razdjelnog otoka (Slika 7) ili kružnog toka, koji dodatno smanjuje brzinu i omogućava bolju kontrolu prometa na tom području. Razdjelno otok učinkovito smanjuje brzinu prometa, lako je uočljiv, a pažljivo odabrana vegetacija dodatno doprinosi estetskoj vrijednosti i uređenosti prostora. [5]

3 <https://www.axis.si/kategorizacija>

Slika 6. – Primjer dobre prakse: razdjelni otok i mini kružno raskrižje kao mjere za smirivanje prometa na ulazu u naselje



2.3.3. OPASNA MJESTA

Opasna mjesta na cestama mogu uključivati opasne zavoje, zatvorene ceste zbog radova na cesti, teško uočljive priključke cesta ...

Potrebno je identificirati problem i mjere djelovanja:

- u fazi planiranja: poboljšanje uvjeta putem odgovarajućeg projektiranja cesta i pojasa uz cestu,
- u fazi upravljanja (za postojeće ceste): kratkoročno poboljšanje uvjeta korištenjem pravilne kombinacije horizontalne i vertikalne signalizacije, prometne opreme, te, po potrebi, manjih intervencija u sklopu redovnog održavanja. [5]

3. NAČELA PODRUČJA UZ CESTU KOJA OPRAŠTAJU

3.1 DEFINICIJA CESTA KOJA SMANJUJU POSLJEDICE POGREŠAKA VOZAČA

Koncept oprastajućih cesta/pojasa uz cestu ne sprječava nastanak pogrešaka vozača, već ima za cilj minimiziranje posljedica tih pogrešaka. To je i osnovna razlika između "samoobjašnjavajućih cesta" (self-explaining roads) i "cesta koje smanjuju posljedice pogrešaka vozača". Prve dakle nastoje spriječiti mogućnost nastanka pogrešaka vozača u vožnji, dok druge nastoje minimizirati njihove posljedice. [6]

Na ovom mjestu prvo je potrebno definirati pojam pojasa uz cestu. [7] U većini stručne i znanstvene literature on je definiran kao prostor iza rubne crte. [8]

3.2 ELEMENTI U POJASU UZ CESTU KOJI NE OPRAŠTAJU POGREŠKE VOZAČA

Glavne vrste prepreka koje se mogu naći u pojasu uz cestu i koje mogu predstavljati rizik u slučaju da vozač izgubi kontrolu nad vozilom su [7]:

- pojedinačne fiksne prepreke: drveće, stijene i kamene gromade, komunalni stupovi i rasvjetni stupovi, terminali i prijelazi zaštitnih ograda, potporni zidovi/stupovi, kamene kilometarske oznake, parapeti ...
- kontinuirane opasnosti: drvoredi, kosine nasipa i usjeka, elementi uzdužne odvodnje, zaštitne ograde, cestovni rubnjaci, vode tekućice i stajaćice ... koji se nalaze na nedovoljnoj udaljenosti od ruba ceste
- pokretne prepreke uz cestu: prepreke, koje se kreću bitno manjom brzinom od prometa na određenoj dionici (pješaci, biciklisti, manevri parkiranja uz cestu i vozila spore poljoprivredne mehanizacije).

3.3 MJERE ZA OSIGURANJE PROMETNO SIGURNOG POJASA UZ CESTU

Poboljšani uvjeti sigurnosti u pojasu uz cestu mogu se postići provedbom strateških i fizičkih mjera. Strateške mjere su već poznate i zato im u radu ne posvećujemo više pažnje. Zanimljivije su nam fizičke mjere koje su manje poznate. Zajednička karakteristika svih tih mjera je da kompenziraju kinetičku energiju prilikom sudara ili da su inače već poznati elementi cestovne infrastrukture izvedeni na način, koji je sigurniji za sudionike u prometu. [3]

Neke od tih mjera danas su već u širokoj upotrebi (ublaživač udara na početku zaštitne ograde, ublaživač udara u zaustavnim nišama u tunelima, zaštitna ograda za motocikliste, pasivno sigurni stupovi (npr. za elektro rasvjetu)...). U nastavku zato navodimo samo manje poznate mjere, a koje se u drugim državama već koriste:

- denivelirani razdjelni otok za razdvajanje prometnih smjerova na podvožnjacima i nadvožnjacima,
- denivelirani razdjelni otok za razdvajanje prometnih smjerova na izlazima s autoceste,
- polukružni završetak/početak čeličnih zaštitnih ograda na mjestima priključaka,
- ograde za sprječavanje prelaženja pješaka na suprotan kolnik na objektima autocesta,
- mjere za sprječavanje vožnje u krivom smjeru na autocestama ("meke" i "tvrde" mjere),
- mjere za detekciju divljači u pojasu uz cestu,
- zona bez prepreka na izlazu s autoceste ("izletna zona" na izlazu),
- lomljivi elementi opreme na cestama u pojasu uz cestu.

Zajedničko svim gore navedenim mjerama je da su financijski vrlo prihvatljive odnosno da je omjer dobiveno - uloženo veoma velik.

Zaključak

U radu su prikazana dva relativno nova (barem u našem okruženju) pristupa projektiranju cesta. U prošlosti su pravilnici za projektiranje cesta proizlazili pretežno iz vozne dinamike motornih vozila i njihovih karakteristika (gabarita vozila, osovinskih opterećenja, skretnog kuta, ubrzanja i usporenja, poprečnih sila u zavoju, koeficienta prionljivosti ...). Danas se tome pridodaju i karakteristike (mogućnosti i ograničenja)

IZAZOVI U PROVEDBI AKTIVNOSTI ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI DJECE BIKIKLISTA U PROMETU

CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF ACTIVITIES TO INCREASE THE SAFETY OF CHILDREN CYCLISTS IN TRAFFIC

Dr.sc. **Ivica Barišić**, prof.str.st.

Veleučilište u Rijeci

Vukovarska 58, 51000 Rijeka

e-mail: ivica.baristic@veleri.hr

Tomislav Šepić, mag. ing. prom.

Autoklub Rijeka

Dolac 11, 51000 Rijeka

e-mail: tomlslav.sepic@ak-rijeka.hr

SAŽETAK

U radu se daje pregled zakonske regulative i stanja u praksi vezane za edukaciju i sudjelovanje djece biciklista u prometu. Dat je pregled aktualnog stanja sigurnosti djece biciklista i vozača električnih romobila u prometu. U radu je posebna pozornost posvećena izazovima sa kojima se susreću pojedini dionici u sustavu prilikom provedbi aktivnosti za osposobljavanje djece za samostalno i sigurno upravljanje biciklom u prometu.

Ključne riječi: sigurnost prometa, djeca biciklisti u prometu, prometne nesreće

ABSTRACT

The paper provides an overview of the legal regulations and the situation in practice related to the education and participation of child cyclists in traffic. An overview of the current state of safety of child cyclists and drivers of electric scooters in traffic is given. In the paper, special attention is paid to the challenges faced by individual stakeholders in the system when implementing activities to train children to operate bicycles independently and safely in traffic.

Key words: traffic safety, children cycling in traffic, traffic accidents

1. UVOD

Odgovor na pitanje, zašto je cestovni promet toliko problematičan po pitanju sigurnosti i zašto ima toliko stradalih mogli bi, između više drugih razloga, potražiti u sljedeće dvije konstatacije:

- cestovni prometni sustav je otvoren i nedovoljno dobro organizirani sustav u kome vrijedi princip slobodnog korištenja na vlastitu odgovornost, za razliku od drugih prometnih sustava (željeznica, pomorski ili zračni promet) koji su više ili manje zatvoreni.
- mnogi korisnici cestovnog prometnog sustava su bez ikakve prethodne formalne naobrazbe: pješaci, djeca, biciklisti...

Da bi sigurnost cestovnog prometa bila na većoj razini potrebno je svakoj skupini dionik osigurati adekvatno osposobljavanje za sigurno sudjelovanje. Ovdje se poseban naglasak stavlja na osposobljavanje djece za samostalno upravljanje biciklom u prometu i izazove koje se susreću kod provedbe u praksi.

2. ZAKONSKA REGULATIVA

Temeljni zakon koji uređuje pitanja pravila i ponašanja u prometu, kao i čitav niz drugih elemenata bitnih za sigurno odvijanje prometa je Zakon o sigurnosti prometa na cestama¹.

Vezano za stjecanje prava na upravljanje vozilima, u dijelu koji se odnosi na bicikliste, u članku 215. Zakona stoji:

(1) Biciklom i osobnim prijevoznim sredstvom u prometu smije upravljati osoba koja je navršila 14 godina.

(2) Djeca s navršenih devet godina koja su u školama osposobljena za upravljanje biciklom i za to im je izdana potvrda, smiju samostalno upravljati biciklom na cesti, a druga djeca s navršenih devet godina samo u pratnji osobe koja je navršila 16 godina.

(3) Program osposobljavanja za vožnju biciklom, program biciklističkog ispita i obrazac potvrde iz stavka 2. ovoga članka propisuje ministar nadležan za poslove obrazovanja.

U člancima 112-114 Zakona [1] propisana su pravila za promet bicikala i osobnih prijevoznih sredstava, a u nastavku se navode neka od tih pravila:

- Vozači bicikla dužni su kretati se biciklističkom stazom ili biciklističkom trakom u smjeru kretanja, a ako one ne postoje, što bliže desnom rubu kolnika.
- Vozači osobnih prijevoznih sredstava dužni su se kretati biciklističkom stazom ili biciklističkom trakom u smjeru kretanja, a u slučajevima da biciklistička staza ili traka ne postoje, mogu se kretati površinama namijenjenim za kretanje pješaka te zonama smirenog prometa pod uvjetom da vode računa o sigurnosti drugih sudionika u prometu.
- Iznimno, kada ne postoji mogućnost kretanja osobnih prijevoznih sredstava biciklističkom

¹ (1) Pojedini izrazi u smislu ovoga Zakona imaju sljedeća značenja: (Članak 2)

49) »bicikl« je vozilo koje ima najmanje dva kotača i koje se pokreće isključivo snagom vozača ili koje je opremljeno pedalama i pomoćnim električnim motorom čija najveća trajna snaga nije veća od 0,25 kW i koja se progresivno smanjuje do nule kad brzina dostigne 25 km/h, ili prije, ako vozač prestane pokretati pedale,

104) »osobno prijevozno sredstvo« je vozilo koje nije razvrstano ni u jednu kategoriju vozila sukladno posebnim propisima, bez sjedećeg mjesta, čiji radni obujam motora nije veći od 25 cm³ ili čija trajna snaga elektromotora nije jača od 0,6 kW i koje na ravnoj cesti ne može razviti brzinu veću od 25 km/h, odnosno čija najveća konstrukcijska brzina ne prelazi 25 km/h (vozilo koje se može samo uravnotežiti, monocikl s motornim ili električnim pogonom, romobil s motornim ili električnim pogonom i sl.),

stazom ili biciklističkom trakom, površinama namijenjenim za kretanje pješaka te zonama smirenog prometa (bilo da navedene površine nisu izgrađene, označene ili se ne mogu koristiti i sl.) osobna prijevozna sredstva mogu se kretati dionicama županijskih, lokalnih i nerazvrstanih cesta na kojima je brzina kretanja ograničena na 50 km/h ili manje i gdje je to dopušteno postavljenim prometnim znakom krećući se što bliže desnom rubu kolnika.

- Vozač bicikla i osobnog prijevoznog sredstva koji se kreće biciklističkom stazom dužan je pri prelasku kolnika obratiti pažnju na udaljenost i brzinu vozila koja mu se približavaju te kolnik prelaziti nakon što se uvjeri da to može učiniti na siguran način.
- Vozač bicikla i osobnog prijevoznog sredstva koji se kreće biciklističkom stazom dužan je prije stupanja na kolnik ceste koju namjerava prijeći, kada biciklistička staza preko kolnika nije označena, zaustaviti bicikl ili osobno prijevozno sredstvo i gurati ga kao pješak preko obilježenog pješačkog prijelaza ili kolnika ceste.
- Ako se dva ili više vozača bicikala, osobnih prijevoznih sredstava, mopeda ili motocikala kreću u skupini, dužni su kretati se jedan iza drugoga.
- Vozač bicikla, osobnog prijevoznog sredstva, mopeda i motocikla mora upravljati vozilom na način kojim se ne umanjuje stabilnost vozila i ne ometaju drugi sudionici u prometu, a osobito ne smije skidati istodobno obje ruke s upravljača, pridržavati se za drugo vozilo, prevoziti, vući ili gurati predmete koji ga mogu ometati u upravljanju vozilom ili ugrožavati druge sudionike u prometu.
- Zaštitnu kacigu, za vrijeme vožnje na cesti, na glavi moraju nositi i vozači bicikla mlađi od 16 godina kao i osobe koje se prevoze na biciklu mlađe od 16 godina.
- Zaštitnu kacigu za vrijeme vožnje na glavi moraju nositi vozači osobnih prijevoznih sredstava.

Iz navedenog proizlazi da dijete koje je navršilo 14 godina, sukladno zakonu, može sudjelovati u prometu biciklom i osobnim prijevoznim sredstvom bez da je prošlo ikakvu prethodnu edukaciju ili obuku za sigurno sudjelovanje u prometu. Prema zakonu djeca do 14 godine starosti ne smiju samostalno upravljati biciklom u prometu ukoliko ne posjeduju Potvrdu o osposobljenosti za upravljanje biciklom.

Može se postaviti pitanje: koliko dijete koje je navršilo 14 godina života bolje poznaje prometne propise da bi moglo samostalno upravljati biciklom u prometu, bez prethodnog osposobljavanja, od djeteta sa 13 i pol godina.

Naravno da ne poznaje, stoga bi trebalo učiniti sve da djeca prije sudjelovanja biciklom ili osobnim prijevoznim sredstvom u prometu na cestama prođu odgovarajuću edukaciju i osposobljavanje za sigurno upravljanje biciklom i električnim romobilom, neovisno o dobnoj granici.

Nerijetko smo svjedoci kakve opasne situacije na cestama izazivaju neoprezni biciklisti ili vozači osobnih prijevoznih sredstava, posebice djeca. Na žalost, sve češće se događaju prometne nesreće za koje u nekim slučajevima odgovornost nose i sama djeca vozači.

Za takve opasne situacije u prometu i nesreće djece biciklista posredno su odgovorni i njihovi roditelji, škole i cijeli sustav koji im nije osigurao odgovarajuću edukaciju za sigurno upravljanje biciklom i osobnim prijevoznim sredstvom.

2. PREGLED AKTUALNOG STANJA SIGURNOSTI DJECE BIKIKLISTA I VOZAČA ELEKTRIČNIH ROMOBILA U PROMETU

Pregled aktualnog stanja dat je prema statističkim pokazateljima objavljenim u publikaciji Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023. koje izdaje Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske [2].

Od ukupnog broja evidentiranih prometnih nesreća (59.451) tijekom 2023. godine prema vrsti vozila, udio bicikla iznosio je 1.385 nesreća (2,3%), od ukupnog broja nesreća sa poginulim osobama (470) broj nesreća sa biciklom iznosio je 14 (3,0%), dok je od ukupnog broja nesreća sa ozlijeđenima (16.498) broj nesreća sa sudjelovanjem bicikla iznosio 1.145 (6,9%).

Prema statistici, tijekom 2023. godine vozači bicikla skrivili su ukupno 827 prometnih nesreća (2,5% od ukupnog broja nesreća), od čega 5 prometnih nesreća sa poginulima (2,1 % od ukupnog broja nesreća) i 687 nesreća sa ozlijeđenima (6,8 % od ukupnog broja), dok su preostale sa materijalnom štetom.

Tijekom 2023. godine djelatnici policije tijekom nadzora utvrdili su prekršaje od strane vozača bicikla ili zaprežnog vozila (tako se vodi statistika) u ukupnom broju od 2.222 prekršaja.

Prema podacima iz Biltena u 10-godišnjem razdoblju 2014.-2023. godine u Republici Hrvatskoj smrtno je stradalo 205 vozača bicikla, teške ozljede zadobilo je 3.135 vozača bicikla, a lakše ozljede 7.017 biciklista.

Tablica 1. Nastradali vozača bicikla (2014. - 2023.) Izvor: Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ukupno
Poginuli	19	34	27	23	22	16	9	28	9	18	205
Teško ozlijeđeni	378	267	335	297	281	270	311	304	335	357	3.135
Lakše ozlijeđeni	788	810	780	759	728	580	559	633	702	678	7.017

Kada se analiziraju podaci o nastradalim vozačima bicikla do 14 godina, koji prema Zakonu ne bi smjeli sudjelovati u prometu do 9 godina, a od 9 godina sa položenim ispitom ili u pratnji, podaci pokazuju da je u razmatranom periodu smrtno stradalo ukupno 10-oro djece kao vozači bicikla (Tablica 2.).

Tablica 2. Nastradali vozača bicikla do 14 godina Izvor: Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ukupno
Poginuli	-	3	-	1	2	1	-	2	1	0	10
Teško ozlijeđeni	25	21	23	20	12	17	26	27	22	24	217
Lakše ozlijeđeni	76	82	78	73	71	64	70	75	64	67	720

U istom periodu broj smrtno stradalih biciklista u dobi od 14-18 godina koji prema Zakonu smiju sudjelovati u prometu bez ograničenja iznosi 7 poginulih biciklista.

Medijski je posebno bila praćena nesreća koja se dogodila 12. listopada 2018. g. na državnoj cesti D1 u karlovačkom prigradskom naselju Turanj u kojoj je smrtno stradalo desetogodišnje dijete kao vozač bicikla.

Tablica 3. Nastradali vozača bicikla 14–18 godina Izvor: Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ukupno
Poginuli	-	4	1	-	-	-	1	1	0	0	7
Teško ozlijeđeni	15	19	25	17	15	18	24	20	16	27	196
Lakše ozlijeđeni	82	83	77	80	73	52	68	77	77	59	728

Karlovačka policija objavila je kako je desetogodišnji dječak, koji je poginuo uslijed naleta teretnog vozila u karlovačkoj gradskoj četvrti Turnju, neopretno i neopretno prelazio cestu na dionici D1².

Slika 1: Prometna nesreća na D1 u Turnju (izvor: <https://www.jutarnji.hr/>)

U zadnje vrijeme svjedoci smo prave „epidemije“ stradanja, posebice mladih i djece na električnim romobilima. Ovo je tema koju, na žalost, mnogi roditelji podcjenjuju, a iznimno je važno imati realan pogled na nju i shvatiti potencijalne rizike i opasnosti.

Prema raspoloživoj statistici stradalih u prometu sa e-romobilima u periodu od kada je njihov status zakonom reguliran, od 30 srpanj 2022. g. do 30 rujna 2024. g., evidentirano je ukupno 621 prometna nesreća.

U tim nesrećama poginule su 4 osobe, svi poginuli bili su mlađi od 30 godina, a među njima je bilo i jedno dijete. Uz to je ukupno teško ozlijeđena 161 osoba, te lakše ozlijeđeno 320 osoba. Podaci za vremensko razdoblje od dvije godine i dva mjeseca dosta su zabrinjavajući.

E-romobil je djeci postao „in“ i „fora“, „svi to imaju i voze, pa zašto ne mogu ja“, onda veliki broj roditelja popusti pred takvim „argumentima“ i kupe djeci e-romobil, a pitanje je jesu li svjesni odgovornosti koju oni donose?

Uz to, cijena osnovnih modela e-romobila je relativno niska, dostupni su u svakom trgovačkom centru i na svakom portalu gdje se prodaje pribor za školu, reklamiraju se kao pokloni za blagdane i završetak školske godine. S druge strane, trgovcima je cilj što veća prodaja, sa proizvodom dolazi „uputa za rukovanje“ i oni dalje sa time nemaju nikakve veze.

Djetetu se tako u ruke daje „igračka“ s kojom se ono aktivno uključuje u promet, uglavnom bez ikakvog prethodnog iskustva i edukacije i time izlaže značajnom riziku da ozlijedi kako sebe, tako i ostale sudionike u prometu.

Rezultati toga vidljivi su u svakodnevici. Dovoljno je samo pogledati naslove na portalima. U nastavku samo nekoliko nasumično odabranih naslova:

- 26.03.2024. Pula, Romobilom jurio kroz pješačku zonu. Maloljetnik na električnom romobilu pokosio pješaka (58) i teško ga ozlijedio
- 09.06.2024. Preminuo maloljetnik koji je u Gunji jučer stradao na električnom romobilu,
- 22.6.2024. Bjelovar, Dijete teško ozlijedilo glavu u padu s električnog romobila. Nije nosilo kacigu
- 07. 2024. Pula, Maloljetnik teško stradao vozeći se na električnom romobilu. Nije imao zaštitnu kacigu
- 6.8.2024. Maloljetnik pao s električnog romobila u Vodicama. Teško je ozlijeđen
- 02.09.2024. Nesreća kod Kutine Maloljetnica pala s električnog romobila, liječnici se bore za njezin život
- 22.09.2024. Pula, Maloljetnica pala s električnog romobila, teško je ozlijeđena
- 14.10.2024. Zadar, Maloljetni vozač romobila zadobio teške tjelesne ozljede! Pao na Krešimirovoj obali, nije imao kacigu.
- 26.10.2024. Split, Maloljetnik na romobilu teško nastradao u prometnoj nesreći, policija poziva svjedoke nemilog događaja

Na žalost portali su prepuni ovakvih naslova.

Situacija je toliko eskalirala da je dr. Zenon Pogorelić, voditelj Klinike za dječju kirurgiju KBC-a Split, uputio javni poziv roditeljima, kako u Splitu, tako i širom Hrvatske, da budu oprezniji i svjesniji aktivnosti svoje djece kada nisu kod kuće, s ciljem zaštite djece od ozbiljnih ozljeda ili, u najgorem slučaju, smrtnih ishoda.

“Molim roditelje da svojoj djeci ne dopuštaju vožnju romobila i motocikala. U našoj klinici suočavamo se s pravom “epidemijom” teških ozljeda koje dovode do trajne invalidnosti. Te ozljede su često šokantne i za nas,iskusne dječje kirurge, koji smo navikli vidjeti različite slučajeve. ... Ono što je donedavno bilo rijetkost, sada je postalo gotovo svakodnevica. Svakodnevno primamo barem jedno dijete u dobi od 14 do 17 godina koje je zadobilo ozljede zbog pada s romobila ili motocikla. Govorimo o ozljedama poput ruptur slezene i jetre, prijeloma bedrene kosti, lubanje, zdjelice i sličnih ozbiljnih ozljeda koje često ugrožavaju život. Nažalost, takvi su slučajevi postali naša realnost.”³

Uz ove tragične posljedice, potrebno je postaviti pitanje pravne sigurnosti sudionika u prometu koji pretrpe štetu ili ozljedu od strane vozača e-romobila i prava na pravičnu naknadu, odnosno odštetu. U današnjoj situaciji žrtva prometne nesreće koju je skrivio vozač e-romobila u potpunosti je prepuštena „dobroj volji“ počinitelja (vozače e-romobila), ako je nema, oštećeniku ostaje samo pravni postupak sa zahtjevom za naknadu štete.[3]

3 <https://slobodnadalmacija.hr/split-i-zupanija/split/splitski-kirurg-o-posasti-medu-tinejdzerima-sokiraju-nas-ozljede-u-zadnje-vrijeme-roditelji-poslujajte-me-1423972>, objavljeno 07.12.2024.

Što može napraviti društvo, škola, policija i svi koji su na bilo koji način dionici sustava? Uvijek i na prvom mjestu i najučinkovitija je: edukacija. Pored edukacije na svim razinama, posebice kod djece, potrebna je provedba i drugih mjera i aktivnosti navedenih u Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske.[4]

3. PROVEDBA AKTIVNOSTI ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI DJECE BIKIKLISTA U PROMETU I IZAZOVI

Zakonom o sigurnosti prometa na cestama predviđena je provedba Programa osposobljavanja djece za upravljanje biciklom.

Ministar obrazovanja je, temeljem Zakona, donio Odluku o donošenju programa osposobljavanja za upravljanje biciklom i biciklističkoga ispita. U toj odluci je definirano da se program provodi u osnovnim školama. Program učenici mogu pohađati i u ustanovama koje provode odgoj i obrazovanje djece i mladih i/ili organizaciju slobodnoga vremena djece i mladih koje ispunjavaju uvjete za izvođenje Programa [5].

Program se financira sredstvima koja će osigurati lokalna zajednica, autoklubovi, sponzori na lokalnoj razini, sredstvima Nacionalnoga programa sigurnosti cestovnoga prometa itd.

Program je ponajprije namijenjen učenicima V. razreda osnovne škole koji se za njega opredijele, a u pravilu ga provodi učitelj tehničke kulture ili drugi učitelj koji je prošao odgovarajuću edukaciju agencije nadležne za odgoj i obrazovanje.

Iznimno, u Program se može uključiti i učenik od VI. do VIII. razreda koji se u isti nije mogao uključiti u V. razredu osnovne škole.

Program se provodi u suradnji s Ministarstvom unutarnjih poslova, HAK-om i agencijom nadležnom za odgoj i obrazovanje.

Program osposobljavanja za upravljanje biciklom u osnovnoj školi provoditi učitelj tehničke kulture ili drugi učitelj koji je ovlašten i obučen za provedbu Programa.

Međutim, nigdje nije jasno definirana obaveza provođenja programa, nego je sve ostavljeno na dobru volju dionicima. Ne manje bitno, financiranje programa je također prilično široko postavljeno, što ostavlja mogućnost različitog tumačenja tko je za što nadležan i odgovoran.

Rezultat takvog stanja jest da je broj škola koje provode Program izuzetno mali, i sve uglavnom ovisi o entuzijazmu pojedinih učitelja tehničke kulture.

Predstavnici HAK-a iznijeli su poražavajući podatak o samo 2500 djece koja u Hrvatskoj posjeduju potvrdu da su osposobljena za upravljanje biciklom. ⁴

Prošle godine u Primorsko-goranskoj županiji niti jedno dijete nije pristupilo programu osposobljavanja za upravljanje biciklom i na biciklistički ispit, što je doista porazna činjenica.

Potrebno je istaknuti i odredbe koje se navodi u Programu osposobljavanja, a koje nisu u potpunosti usklađene sa Zakonom, a to su točke V. i VI, u kojima stoji:

„Program je ponajprije namijenjen učenicima V. razreda osnovne škole koji se za njega opredijele, a u pravilu ga provodi učitelj tehničke kulture ili drugi učitelj koji je prošao odgovarajuću edukaciju agencije nadležne za odgoj i obrazovanje.

⁴ <https://www.vecernji.hr/barkod/samo-2500-djece-u-hrvatskoji-ima-potvrdu-koja-im-moze-spasiti-zivot-je-li-vase-medu-njima-1803003>, objavljeno 25.09.2024.

Iznimno od točke V. u Program se može uključiti i učenik od VI. do VIII. razreda koji se u isti nije mogao uključiti u V. razredu osnovne škole.“ [5]

Prema citiranom, Program je namijenjen djeci sa 11 godina starosti i starijoj.

Međutim, u članku 215, st. 2 Zakona stoji: „Djeca s navršenih devet godina koja su u školama osposobljena za upravljanje biciklom i za to im je izdana potvrda, smiju samostalno upravljati biciklom na cesti...“ [1]

Znači, djeca sa navršenih devet godina (učenici III/IV. razreda) prema Zakonu, mogu i trebaju proći program osposobljavanja, ali u Programu osposobljavanja za njih to nije predviđeno.

Podsjetnik, učenik koji stradao u prometnoj nesreći u Turnju bio je učenik 4. razreda.

Apelira se na nadležna tijela da se ova situacija čim prije uredi, te da se omogući program osposobljavanja i za učenike sa navršenih devet godina koji će biti prilagođen njihovom uzrastu.

IZAZOV: KAKO OSIGURATI DJETETU OSPOSABLJAVANJE ZA SIGURNO UPRAVLJANJE BICIKLOM

U ovako uređenom zakonodavnom okviru, Program osposobljavanja djece za upravljanje biciklom provodi se u osnovnim školama.

Činjenica je da se Program provodi u vrlo malom broju škola u Republici Hrvatskoj, pa stoga mnogi roditelji, iako to žele, nemaju mogućnost osigurati svome djetetu osposobljavanje za sigurno upravljanje biciklom u prometu i polaganje biciklističkog ispita.⁵

Prema postojećoj regulativi Program osposobljavanja za upravljanje biciklom vodi se isključivo preko škole i jedina osoba koja dijete može prijaviti na edukaciju i ispit je nastavnik preko svojeg CARNet korisničkog računa.[6]

Potrebno pokrenuti inicijativu za izmjenu i dopunu postojeće regulative na način da se roditeljima, koji to žele, osigura da mogu upisati svoje dijete u program osposobljavanja za upravljanje biciklom i polaganje biciklističkoga ispita koji bi se provodio u odgovarajućim ustanovama koje ispunjavaju uvjete za izvođenje Programa. Financiranje programa nije upitno, jer bi svaki odgovorni roditelj to podržao.

U Republici Hrvatskoj, na žalost još uvijek nije propisan službeni program osposobljavanja za upravljanje e-romobilima.

Nedavno je u HAK-u predstavljen novi Priručnik za edukaciju djece „Postani siguran vozač bicikla i električnog romobila“ koji može poslužiti kao dobra podloga za edukaciju djece vozača.⁶

Kada je u pitanju sigurnost u prometu, posebice sigurnost djece u prometu, morali bi se osigurati jasni, stabilni i trajni izvori financiranja, jasna prava i obaveze dionika, a ne da sve ovisi o dobroj volji, sponzorima ili donacijama.

Također, potrebno je čim prije uvesti u kurikulum školskog obrazovanja više programa vezanog za prometni odgoj i sigurno sudjelovanje u prometu u svim razinama.

⁵ Koautor ovog rada, ima sina od 13 godina i pokušao je na više načina osigurati mu da prođe program osposobljavanja za upravljanje biciklom i polaže biciklistički ispit. Budući da se u školi koju pohađa taj program ne provodi, izgledno je da će dijete steći zakonsku „dozvolu“ da upravlja biciklom u prometu bez provedene edukacije prema propisanom Programu.

⁶ <https://www.hak.hr/vijest/2276/predstavljanje-prirucnika-za-edukaciju-djece-postani-siguran-vozac-bicikla-i-elektricnog-romobila>, objavljeno: 25.9.2024.

HAK Program osposobljavanja za upravljanje biciklom

Obavijesti

Osnovne informacije

Priručnik i datoteke

Prijava

Prijava nastavnika

Email adresa

Npr. marko.horvat@skole.hr

Lozinka

Lozinka

Prijava

Prijava u aplikaciju moguća je za sve nastavnike iz osnovnih škola s aktivnih i ispravnim **CARNet korisničkim računom**.
Nastavnici se prijavljuju u aplikaciju koristeći svoju e-mail adresu (koja završava s **@skole.hr**) i odgovarajuću lozinku.

Učenici nemaju mogućnost prijave u ovu aplikaciju.

Slika 2: Prijava u aplikaciju (Izvor: <https://bicikli.hak.hr/prijava>)

4. ZAKLJUČNO

U radu su, između ostalog, prikazane aktivnosti i izazovi u provedbi edukacije djece biciklista, kao i izazovi sa kojima se susreću roditelji koji žele osigurati svojoj djeci adekvatnu edukaciju za sigurno sudjelovanje biciklom u prometu i polaganje biciklističkog ispita.

Još jedanput se apelira na odgovorne institucije da se čim prije pokrene inicijativa za izmjenu i dopunu postojeće regulative na način da se roditeljima, koji to žele, osigura da mogu upisati svoje dijete u program osposobljavanja za upravljanje biciklom i polaganje biciklističkoga ispita koji bi se provodio u odgovarajućim ustanovama koje ispunjavaju uvjete za izvođenje Programa. Financiranje programa nije upitno, jer bi svaki odgovorni roditelj to podržao.

Odgovornost društva je da se svojoj djeci koja žele voziti bicikl omogućiti edukacija i obuka za sigurno i odgovorno kretanje u prometu. Čekajući sustav djeca će odrasti i, na žalost, voziti bicikle po cestama bez odgovarajuće edukacije i izlagati se znatno većem riziku u prometu.

LITERATURA

- [1] Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14, 64/15, 108/17, 70/19, 42/20, 85/22, 114/22, 133/23, 145/24)
- [2] Bilteni o sigurnosti cestovnog prometa 2023., Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, 2024.
- [3] Mr. sc. Elvis Alojzij Herbaj: Problem uporabe električnih romobila u cestovnom prometu i aktivnosti na osvještavanju korisnika, Zbornik radova CESTE 2023, Rovinj 2023.
- [4] Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. dostupno na: https://mup.gov.hr/UserDocsImages/2022/06/NPSCP_hr_web.pdf
- [5] Odluka o donošenju Programa osposobljavanja za upravljanje biciklom i biciklističkoga ispita te Obrazac potvrde o osposobljenosti za upravljanje biciklom (NN 5/16)
- [6] <https://bicikli.hak.hr/prijava>

KRUŽNA RASKRIŽJA U FUNKCIJI KONTROLE BRZINE – STUDIJA SLUČAJA

ROUNDBABOUTS IN THE FUNCTION OF SPEED CONTROL – A CASE STUDY

izv.prof.dr.sc. **Sanja Šurdonja**, sanja.surdonja@uniri.hr, Građevinski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci

prof.dr.sc. **Aleksandra Deluka-Tibljaš**, aleksandra.deluka@uniri.hr, Građevinski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci

prof.dr.sc. **Irena Ištoka Otković**, iirena@gfos.hr, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

doc.dr.sc. **Robert Maršanić**, ravnatelj@zuc.hr, Sveučilište sjever, Županijska uprava za ceste, Rijeka

Mirna Klobučar, mirna.klobucar@uniri.hr, Građevinski fakultet u Rijeci, Sveučilište u Rijeci

SAŽETAK

Kružna raskrižja se često primjenjuju kao univerzalna rješenja za probleme sa odvijanjem prometa na raskrižjima u razini što, pokazuju detaljnije analize, nije uvijek slučaj. Drugi bitan razlog primjene kružnih raskrižja vezan je uz sigurnost odvijanja prometa gdje se zbog načina na koji vozila prolaze kroz ovaj tip raskrižja, očekuje da pozitivno djeluju na kontrolu brzine. S ciljem analize utjecaja na kontrolu brzine, provedena su 24-satna mjerenja brzine i količine prometa na odabranim kružnim raskrižjima na županijskim cestama na području Grada Rijeke i Kastva, u Primorsko-goranskoj županiji. Za 4 od 9 lokacija kružnih raskrižja, postojala su mjerenja na raskrižjima prije rekonstrukcije te je bilo moguće usporediti i analizirati brzine prije i nakon rekonstrukcije. Dodatno je na jednom kružnom raskrižju provedena kontrola proвозne brzine i proвозnosti za postojeće i izmijenjene geometrijske elemente raskrižja kako bi se utvrdio utjecaj primijenjenih elemenata na proвозnu brzinu uz istovremeno osiguranje prolaza mjerodavnog vozila.

Ključne riječi: kružna raskrižja, proвозna brzina, proвозnost mjerodavnog vozila

ABSTRACT

Roundabouts are often applied as universal solutions for traffic flow problems at level intersections, which, as detailed analyses show, is not always the case. Another significant reason for the application of roundabouts is related to traffic safety, where the way vehicles pass through this type of intersection is expected to positively influence speed control. To analyze the impact on speed control, 24-hour measurements of speed and traffic volume were conducted at selected roundabouts on county roads in the area of the City of Rijeka and Kastav, in the Primorje-Gorski Kotar County. For 4 out of 9 roundabout locations, measurements existed at the intersections before reconstruction, allowing for comparison and analysis of speeds before and after reconstruction. Additionally, at one roundabout, speed control, and passability were tested for existing and modified geometric elements of the intersection to determine the impact of the applied elements on travel speed while ensuring the passage of the design vehicle.

Keywords: roundabout, operational speed, passability of the design vehicle

UVOD

Kružna raskrižja se u javnosti, nestručnoj, ali često i stručnoj percipiraju kao univerzalna rješenja za ona mjesta unutar prometne mreže na kojima postoji problem kapaciteta ili sigurnosti odvijanja prometa. Prema Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja [1] koje se od 2015. primjenjuju u Hrvatskoj obavezna je, kada se radi o državnim cestama, provjera lokacije na kojoj se predviđa rekonstrukcija postojećeg standardnog ili izgradnja novog kružnog raskrižja temeljem jasno definiranih kriterija među kojima su oni koje obavezno treba zadovoljiti upravo kriterij razine uslužnosti i prometne sigurnosti. Analize pokazuju da se primjenom definiranih kriterija može detektirati kako prednosti tako i nedostatke pojedine lokacije u smislu primjerenosti primjene kružnih raskrižja [2].

Praćenje indikatora sigurnosti odvijanja prometa nakon implementacije Smjernica, što je uobičajena praksa u zemljama koje imaju dulju tradiciju primjene kružnih raskrižja – primjerice Skandinavskih zemalja [3,4], u Hrvatskoj nije provedena. Podaci o prometnim nesrećama na kružnim raskrižjima pak pokazuju da se u periodu 2016.-2022. broj evidentiranih prometnih nesreća na kružnim raskrižjima u Hrvatskoj povećao za 35% [5] što je logična posljedica sve većeg broja kružnih raskrižja unutar prometne mreže no ne može se smatrati relevantnim pokazateljem sigurnosti odvijanja prometa niti temeljem za ocjenu uspješnosti implementacije kružnih raskrižja iz aspekta sigurnosti odvijanja prometa.

Navedeno je bilo motivacija za provedbu istraživanja usmjerenog na analizu uspješnosti implementacije Smjernica [1] prema odabranim kriterijima sigurnosti odvijanja prometa. Analizirane su lokacije kružnih raskrižja na županijskim cestama u Primorsko-goranskoj županiji na području Grada Kastva i Grada Rijeke. Kako se pokazalo da je broj evidentiranih prometnih nesreća na analiziranim raskrižjima vrlo mali te ne daje pravu sliku sigurnosti odvijanja prometa kao pokazatelj je u obzir uzeta operativna brzina koja se u nedostatku drugih pokazatelja koristi kao relevantan pokazatelj unaprjeđenja sigurnosti na kružnim raskrižjima [6].

Analize prikazane u radu se temelje na cjelodnevnom mjerenju prometa – količine i brzine na ukupno 9 kružnih raskrižja od čega su na 4 kružna raskrižja mjerenja provedena prije i nakon rekonstrukcije dok su na preostalih 5 analizirani samo pokazatelji na kružnim raskrižjima. Za sve su lokacije analizirani geometrijski elementi te njihovo odstupanje od preporuka Smjernica [1], kao i prometni pokazatelji odnosno dnevna prometna opterećenja i operativne brzine na raskrižju.

Cilj rada je analiza efikasnosti primjene kružnih raskrižja u smanjivanju operativne brzine.

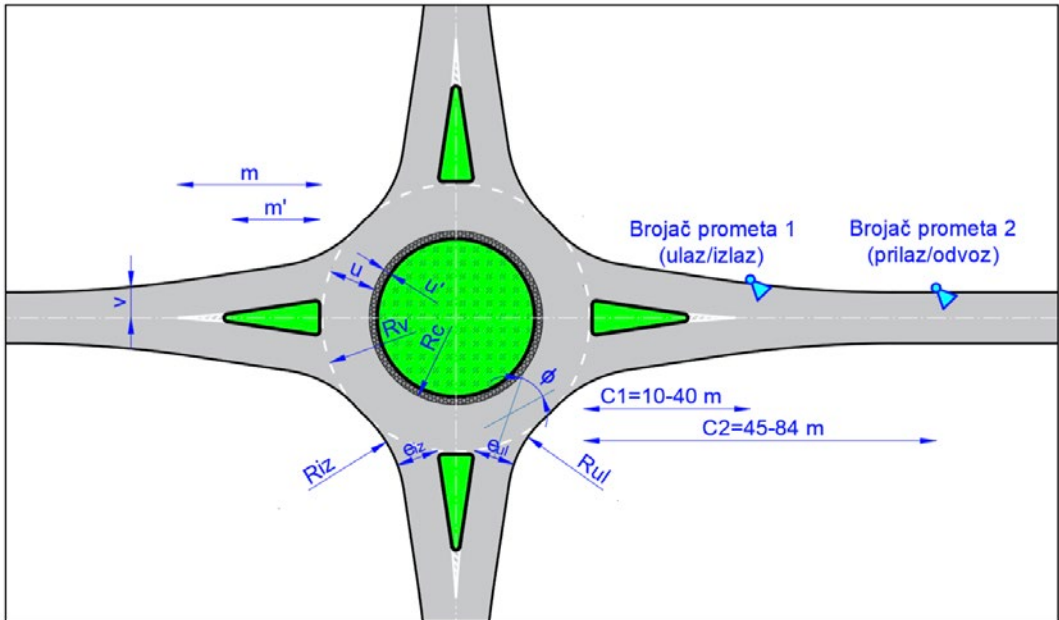
Prikupljanje podataka za analizu raskrižja

Za potrebe ovog istraživanja odabrano je 9 kružnih raskrižja na mreži županijskih cesta Grada Rijeke i okolice, a koja su u posljednjih nekoliko godina rekonstruirana iz klasičnih nesemaforiziranih raskrižja u kružna raskrižja s ciljem povećanja kapaciteta i sigurnosti u očekivano promijenjenim prometnim uvjetima.

Na svih 9 raskrižja prikupljane su 2 vrste podataka:

- podaci o geometrijskim elementima raskrižja
- podaci o prometnom opterećenju i brzinama

Podaci o geometrijskim elementima raskrižja (uža i šira zona) određeni su na temelju dostupne projektne dokumentacije (projekt izvedenog stanja raskrižja) te mjerenjima na terenu.



Slika 1: Odabrani geometrijski elementi raskrižja i pozicije brojača prometa; Izvor: autor

Za analizu su odabrani oni geometrijski elementi raskrižja za koje postoje preporuke u Smjernicama [1] (Tablica 1).

Tablica 1: Vrijednosti geometrijskih elemenata preporučene Smjernicama [1]

Geometrijski element	simbol	jedinica	preporučene vrijednosti
vanjski radijus kružnog raskrižja	R_v	m	13.5 – 22.5
širina kružnog kolnika	u	m	4.5 – 6.0
širina ulaza/izlaza	e_{ul}, e_{iz}	m	4.0 – 7.0
širina prometne trake prije raskrižja	v	m	3.0 – 3.5
ulazni radijus	R_{ul}	m	8 – 20
izlazni radijus	R_{iz}	m	10 – 25
duljina razdjelne površine	m	m	15 – 50
ulazni kut	Φ	°	20 – 40
radijus središnjeg otoka uključujući povozni dio	R_c	m	7.5 – 18.0

U Tablici 2 prikazane su određene/izmjerene vrijednosti prije navedenih geometrijskih elemenata. Istaknute vrijednosti su one koje odstupaju od preporuka Smjernica.

Prikupljanje podataka o prometnom opterećenju i brzinama u zoni raskrižja provedeno je pomoću opreme Laboratorija za prometnice na Građevinskom fakultetu u Rijeci. Brojači prometa Datacollect SRD kontinuirano su snimali prometni tok, i to na presjeku ceste na postavljenoj lokaciji. Podaci su kontinuirano bilježeni (u oba smjera) u periodu 24 sata, na prosječni radni dan (srijeda ili četvrtak). Pozicije brojača prometa ilustrirano su prikazane na Slici 2. Udaljenost brojača na poziciji 1 i 2 (C_1 i C_2), od ulaza u kružno raskrižje razlikuje se za

svaki privoz na raskrižjima, ovisno o raspoloživom stupu javne rasvjete ili prometnom znaku. Sve udaljenosti prikazane su u Tablici 2.

Tablica 2: Vrijednosti geometrijskih elemenata na analiziranim raskrižjima

raskrižje	značenje privoza	privoz	vanjski radijus	širina kružnog kolnika	širina ulaza	ulazni radijus	širina izlaza	izlazni radijus	širina prometne trake prije raskrižja	dužina razdjelne površine	ulazni kut	radijus središnjeg otoka (i povozni dio)	širina povoznog dijela	pozicija brojača 1	pozicija brojača 2
			R _v	u	e _{ul}	R _{ul}	e _{iz}	R _{iz}	v	m	φ	R _o	t	C ₁	C ₂
1	GP 1A	15	8.25	4.78	14	5.57	16	4	20	38	6.75	1.75	20	x	
	SP 1B			5.32	12	3.95	15	3	13.7	37			31	56	
	GP 1C			6.08	14	6.43	18	3.25	19.51	40			27	57	
2	SP 2A	16	7	5.2	19	6.45	14	3	31	31	9	2	16	46	
	GP 2B			5	16	5.9	16	3.5	129	35			10	67	
	GP 2C			4.6	13	4.8	16	3.25	149	36			25	53	
3	SP 3A	18	7	5.03	14	7.55	14	3.25	24.47	38	9	2	30	62	
	GP 3B			5.63	14	6.68	16	3.5	92.37	42			31	60	
	SP 3C			4.76	14	7.96	14	3.6	25.74	34			22	75	
	GP 3D			5.29	11	5.57	15	3.5	96	40			32	73	
4	GP 4A	18	6.5	5.55	18	5.84	18	3	55.16	37	11.5	1.5	30	82	
	SP 4B			6.87	16	4.56	18	3	66.52	46			38	84	
	GP 4C			5.59	18	5.82	18	3.5	52.86	38			40	73	
	SP 4D			5.86	16	5.56	16	3.5	43.14	42			33	75	
5	GP 5A	16	7	5.8	14.6	4.7	16	3	25	42	9	1.5	15	62	
	SP 5B			5.2	14	5.3	14.6	3.5	39	39			30	64	
	GP 5C			4.5	14	4.5	16	3.5	30	33			30	70	
	SP 5D			5.4	15	5.4	16	3.5	40	38			28	58	
6	GP 6A	15	6.5	5.17	12.5	6.5	-	3.5	> 50	42	8.5	2	20	50	
	SP 6B			5.44	12.6	4.9	15	3	21.5	22			21	45	
	GP 6C			5.63	18	6.5	11.1	3.3	> 50	38			21	46	
	SP 6D			4.4	-	4.5	18.5	3	11.5	46			16	x	
7	GP 7A	17.5	6.5	5.6	17	6.4	18	3.2	5	40	11	2.5	15	45	
	SP 7B			6.2	19	5.5	16	3	21	41.5			12	42	
	GP 7C			5.5	16	6	19	3.2	19	40			20	40	
8	GP 8A	19	7	5.8	15	5.8	16	4	31	41	12	2	21	45	
	SP 8B			5.6	22.3	6.4	16	>3.5	37.5	33			25	40	
	GP 8C			6.4	15	5.7	22.3	>3.5	35.5	44			22	46	
9	GP 9A	15	6	4.87	11	5.58	15	4.2	48.57	35	9	2	31	60	
	SP 9B			4.92	14	5.25	11	3.38	26.1	42			26	51	
	GP 9C			6.88	17	5.26	14	3.8	95	55			19	49	
	SP 9D			4.59	14	5.31	21	3.74	6.01	36			27	55	

Napomena: GP-glavni pravac; SP-sporadni pravac; x-nije moguće odrediti; podebljane vrijednosti su vrijednosti koje odstupaju od preporuka Smjernica [1]; Izvor: autor

Na temelju 24-satnog mjerenja brojača prometa dobiveni su podaci o dnevnom i vršnom prometnom opterećenju (Tablica 3) i brzinama u navedenim periodima.

Tablica 3: Podaci o prometnom opterećenju i ograničenju brzina

raskrižje	značenje privoza	privoz	24-satno opterećenje	vršno opterećenje – ulaz	vršno opterećenje – izlaz	ograničenje brzine
			voz/dan	voz/h	voz/h	km/h
1	GP	1A	5318	468	412	50
	SP	1B	893	58	328	50
	GP	1C	7400	588	418	50
2	SP	2A	4689	267	449	50
	GP	2B	6596	426	372	40
	GP	2C	5301	477	299	40
3	SP	3A	4127	381	366	40
	GP	3B	2256	202	165	40
	SP	3C	4552	224	401	40
	GP	3D	2194	174	87	40
4	GP	4A	5502	138	228	40
	SP	4B	5408	472	317	40
	GP	4C	1652	147	89	40
	SP	4D	6711	533	486	40
5	GP	5A	6583	369	395	40
	SP	5B	4304	231	327	40
	GP	5C	8366	610	380	40
	SP	5D	4626	331	362	40
6	GP	6A	4944	420	241	40
	SP	6B	272	35	39	40
	GP	6C	4380	292	542	40
	SP	6D	1023	36	122	40
7	GP	7A	7480	348	447	40
	SP	7B	3462	334	164	40
	GP	7C	6753	486	328	40
8	GP	8A	8028	410	412	40
	SP	8B	7725	608	87	40
	GP	8C	9834	449	359	40
9	GP	9A	4555	250	329	30
	SP	9B	806	69	55	30
	GP	9C	3635	279	266	30
	SP	9D	823	88	110	30

Napomena: GP-glavni pravac; SP-sporedni pravac. Izvor: autor

Brzina vozila je kategorizirana prema položaju brojača na svakom prilazu:

- ulazna/izlazna brzina: 10-40 m od ulaza u kružni tok
- prilazna/odlazna brzina: 45-85 m od izlaza iz kružnog toka.

Na 4 od analiziranih 9 raskrižja (raskrižje 5, 6, 7 i 8), mjerenja s brojačima prometa provedena su i prije rekonstrukcije raskrižja u kružna raskrižja. Brzine su uzete u analizu kao v85 brzine, i to za 24-satni vremenski period mjerenja, samo na pozicijama koje se poklapaju sa pozicijama mjerenja prilazne i odlazne brzine na kružnim raskrižjima.

ANALIZA PODATAKA

GEOMETRIJSKI ELEMENTI KRUŽNIH RASKRIŽJA

Uspoređujući vrijednosti geometrijskih elemenata definiranih za svako kružno raskrižje uočena su određena odstupanja od preporuka Smjernica [1] (istaknute vrijednosti u Tablici 2):

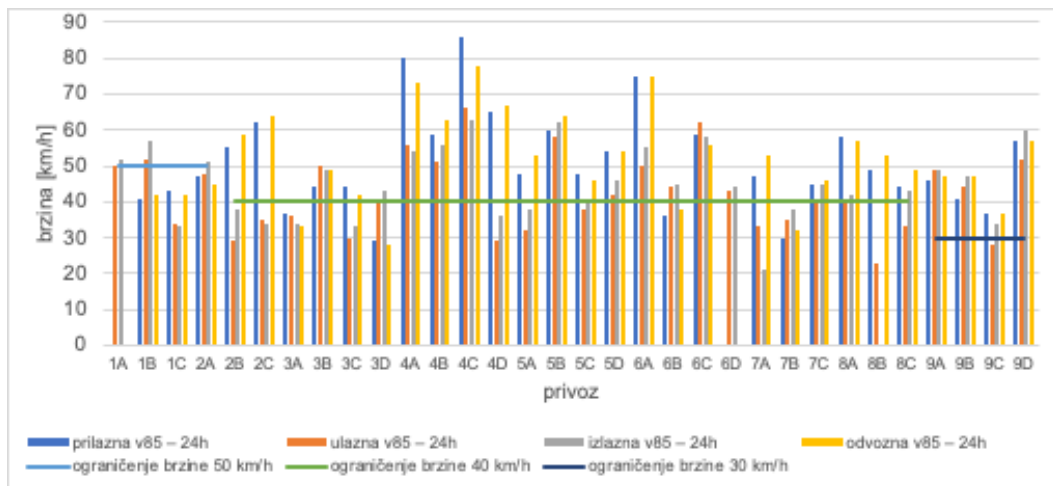
- kod svih 9 kružnih raskrižja širina kružnog kolnika je veća od gornje vrijednosti preporuke
- ulazni radijus je na 1 od 32 privoza veći od preporuka
- širina izlaza je na 1 od 32 privoza manja, a na 2 od 32 privoza veća od preporuka
- širina prometne trake prije raskrižja je na 7 od 32 privoza veća od preporuka
- duljina razdjelne površine je na 4 od 32 privoza manja te na 9 od 32 privoza veća od preporuka
- ulazni kut je na 8 od 32 privoza veći od preporuka.

PROMETNO OPTEREĆENJE I BRZINE

Dnevna prometno opterećenje na analiziranim kružnim raskrižjima kreću se od 9819 do 25587 voz/dan. Preporuka je Smjernica [1] da se srednje velika urbana kružna raskrižja koriste kao rješenje za okvirne kapacitete do 22000 voz/dan. Od 9 analiziranih raskrižja, ovaj uvjet ne zadovoljavaju 2 raskrižja (raskrižje 5 i 8).

Također, osim dnevnog prometnog opterećenja Smjernice [1] daju preporuku da se kružna raskrižja ne koriste kao moguće rješenje ukoliko se više od 75% prometnog opterećenja nalazi na glavnom pravcu (GP), što je slučaj kod raskrižja 1, 6, 7 i 9.

Na 4 privoza raskrižja ne postoji istaknuto ograničenje brzina prometnim znakom te je za te privoze usvojeno ograničenje za ceste u naselju (50km/h). Kod 24 privoza istaknuto je ograničenje prometnim znakom 40 km/h, dok je kod 4 privoza to ograničenje i manje, 30 km/h. U nastavku na Slici 2 prikazane su sve brzine (prilazna, ulazna, izlazna, odlazna) za svaki od privoza, kao i pripadajuće ograničenje brzina.

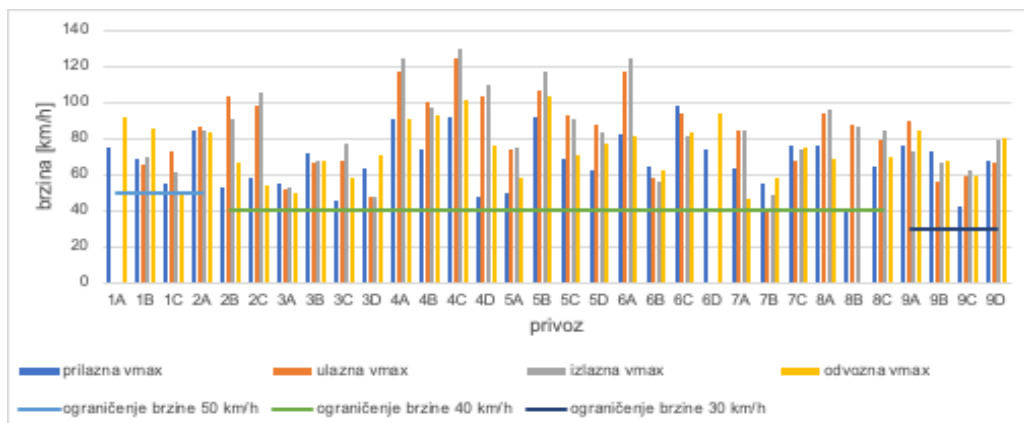


Slika 2: Usporedba v85 brzina po privozima raskrižja; izvor: autor

Na Slici 2 vidljivo je da je na velikom broju privoza raskrižja prekoračeno ograničenje brzina, na nekoj (ili svim) poziciji mjerenja (prilaz/odvoz ili ulaz/izlaz), analizirajući v85 brzinu (za 24-satni period):

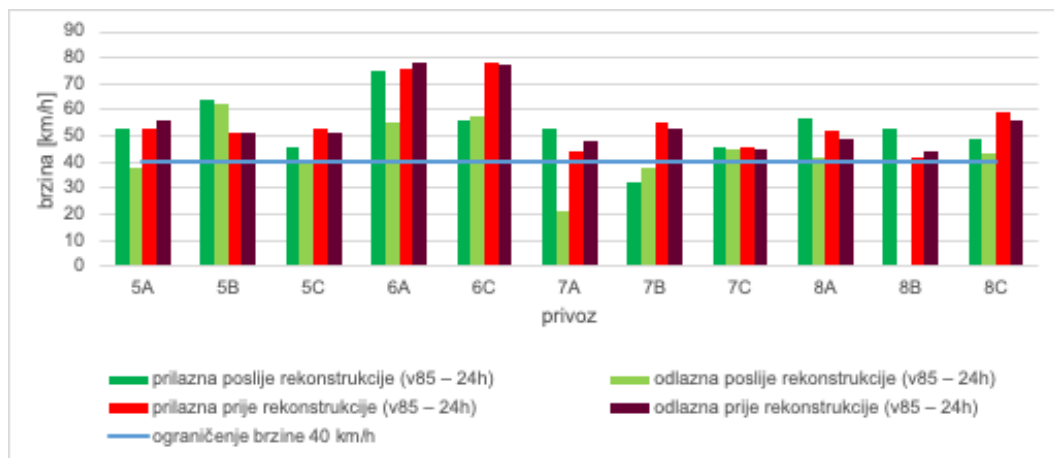
- za slučaj prilaznih brzina, ograničenje je prekoračeno na 22/32 privoza, odnosno u 68% slučajeva;
- za slučaj ulaznih brzina, ograničenje je prekoračeno na 17/32 privoza, odnosno u 53% slučajeva;
- za slučaj izlaznih brzina, ograničenje je prekoračeno na 20/32 privoza, odnosno u 63% slučajeva;
- za slučaj odlaznih brzina, ograničenje je prekoračeno na 23/32 privoza, odnosno u 72% slučajeva.

Na Slici 3, na sličan način uspoređene su i maksimalne postignute brzine na pojedinim privozima, zabilježene u 24-satnom periodu mjerenja. Iako predstavljaju pojedinačan prolaz vozila, činjenica da v_{max} na svim privozima i na svim pozicijama mjerenja prekoračuje ograničenje brzine (u nekim slučajevima i do 225%) je zabrinjavajuća, budući se kružna raskrižja na urbanim lokacijama vrlo često biraju kao mjera smirenja prometa.



Slika 3: Usporedba v_{max} brzina po privozima raskrižja; izvor: autor

Kako je na 4 lokacije raskrižja (raskrižja 5, 6, 7 i 8) brzina mjerena i prije rekonstrukcije, na tadašnjim nesemaforiziranim raskrižjima, u nastavku su uspoređene prilazne i odlazne brzine na navedenim raskrižjima.



Slika 4: Usporedba prilaznih i odlaznih brzina prije i nakon rekonstrukcije raskrižja; izvor: autor

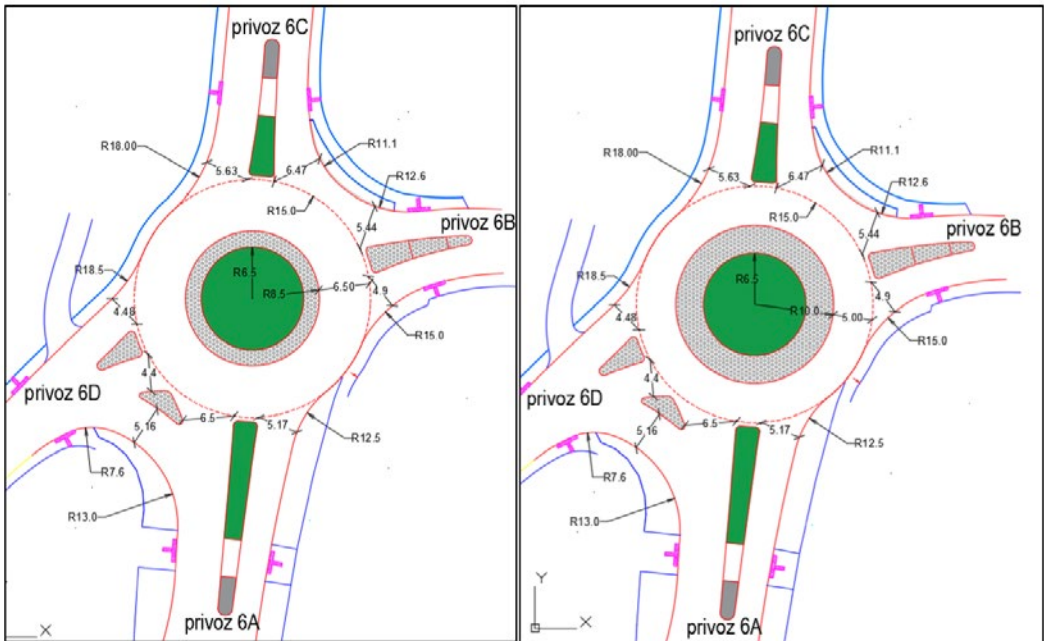
Na Slici 4 prikazana je usporedba prilaznih i odlaznih brzina mjenjenih na gotovo istim pozicijama, prije i nakon rekonstrukcije raskrižja. Prije rekonstrukcije, prilazne i odlazne brzine su na svih 11 privoza bile veće od ograničenja brzine. Nakon rekonstrukcije, prilazne brzine su i dalje veće od ograničenja na 10 od 11 privoza (prekoračenje od 15-88%), dok su odlazne veće od ograničenja na 6 od 11 privoza (prekoračenje od 5-55%).

Prijedlog rekonstrukcije kružnog raskrižja i kontrola provozne brzine i provoznosti mjerodavnog vozila

Zbog velikog odstupanja/prekoračenja ograničenja brzina na analiziranim kružnim raskrižjima, u nastavku je detaljnije analizirano 1 od kružnih raskrižja – raskrižje 6, na kojem postoje podaci o brzinama i prometnom opterećenju i prije rekonstrukcije.

Kako je analiza geometrijskih elemenata kod svih 9 kružnih raskrižja pokazala da je primijenjen kružni kolnik na raskrižju širine veće od preporučenih vrijednosti, u nastavku je prikazan prijedlog rekonstrukcije kružnog raskrižja 6, sa usvojenom manjom širinom kružnog kolnika (smanjenje sa 6.5 na 5 m). Istovremeno, povozni dio središnjeg otoka je povećan, sa 2 na 3.5 m, uz pretpostavku da je taj dio deniveliran i drugačije površinske obrade od kružnog kolnika s kojim graniči, odnosno oblikovan na način da odvraća vozače osobnih vozila od kretanja po njemu (materijali različiti od onih na kružnom kolniku), a istovremeno ukoliko za to postoji potreba, omogućava kretanje dugačkim vozilima (teretno vozilo, autobus, teretno vozilo s prikolicom, tegljač s poluprikolicom). Na Slici 4 prikazano je postojeće kružno raskrižje s osnovnim geometrijskim elementima, te prijedlog rekonstrukcije.

Svako predloženo rješenje kružnog raskrižja mora zadovoljiti provjeru provoznosti mjerodavnog vozila raskrižjem i provozne brzine kroz kružno raskrižje, čime se osigurava siguran prolazak vozila kroz raskrižje. Dodatno se vrši i provjera preglednosti, koja u ovom radu nije provjeravana. Navedene provjere su temelj za optimiranje odabranih geometrijskih elemenata kružnog raskrižja.



Slika 4: Postojeće kružno raskrižje (lijevo) i prijedlog rekonstrukcije (desno); izvor: autor

Prema navedenom, za postojeće kružno raskrižje i prijedlog rekonstrukcije provedene su provjere proвозne brzine i proвозnosti mjerodavnog vozila.

PROVJERA PROVOZNE BRZINE

Za provjeru proвозne brzine korišten je model predložen američkim smjernicama [7], a koji zahtijeva iscrtavanje putanja vozila kroz kružno raskrižje. Pretpostavka je smjernica da je proвозna brzina kod skretanja ulijevo, zbog kruženje oko središnjeg otoka, najmanja, te se stoga najčešće provjeravaju ravna putanja ili desna putanja vozila. Prilikom konstrukcije putanje vozila pretpostavlja se širina vozila od 2 m, te minimalna zaštitna udaljenost od 0-0,5 m ruba vozila od uzdignutih rubnjaka, iscrtanih linija ili sredine kolnika. S obzirom na navedeno, prilikom konstrukcije putanje vozila preporuča se udaljenost od 1,5 m od uzdignutih rubnjaka i sredine kolnika te 1,0 m od iscrtanih linija. S obzirom na sve navedeno, u nastavku na Slici 5, prikazane su putanje vozila na ulazu i izlazu, za slučaj kretanja „ravno“ kroz kružno raskrižje (smjer 6A-6C i 6C-6A), za postojeće kružno raskrižje i prijedlog rekonstrukcije.

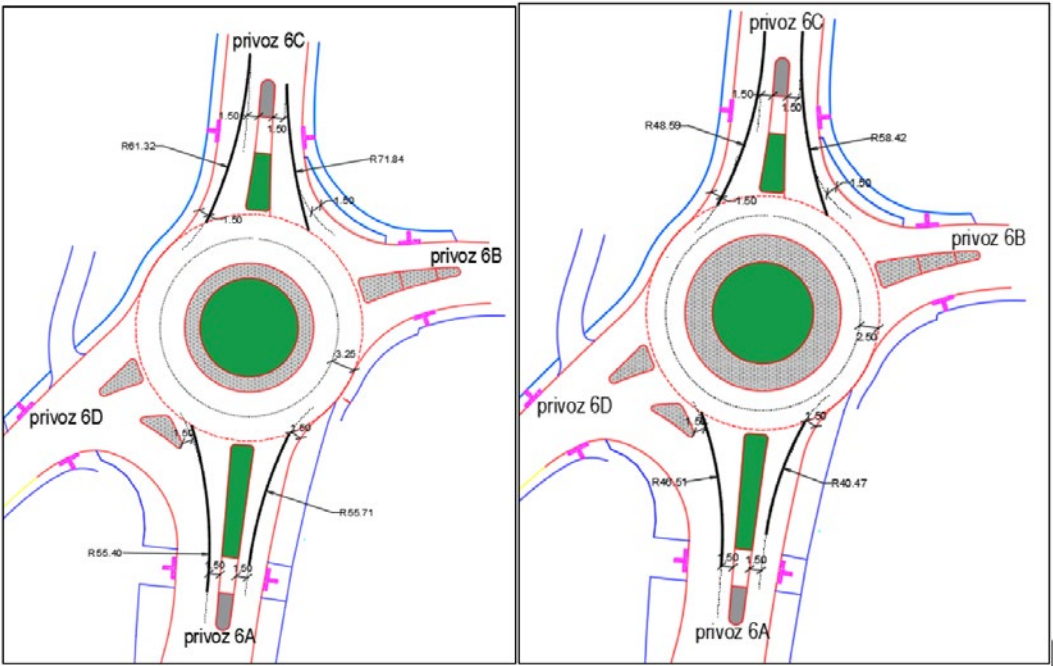
Na temelju pretpostavljene iscrtane putanje vozila na ulazu i izlazu u kružno raskrižje, moguće je odrediti očekivanu proвозnu brzinu vozila na definiranoj putanji prema izrazu (1) [7]:

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f_t)}$$

gdje je:

- V- proвозna brzina vozila [km/h]
- R- radijus putanje vozila [m]
- e- poprečni nagib kolnika [m/m]
- f_t - koeficijent trenja između gume kotača i kolnika.

Brzina vozila osim o radijusu putanje, zavisi i o vrijednosti poprečnog nagiba kolnika te o koeficijentu trenja između gume kotača i kolnika. Poprečni nagib kolnika je pretpostavljen u vrijednosti $e= 2,5\%$ (usmjeren prema centru krivine) dok je za vrijednost koeficijenta trenja usvojena vrijednost $f_t = 0,264$.



Slika 5: Ulazna i izlazna putanja vozila za postojeće kružno raskrižje (lijevo) i prijedlog rekonstrukcije (desno); izvor: autor

Uz navedene ulazne vrijednosti određene su očekivane provodne brzine prema modelu predloženom američkim smjernicama.

Tablica 4: Radijusi putanje vozila na ulazu i izlazu te pripadajuće provodne brzine Izvor: autor

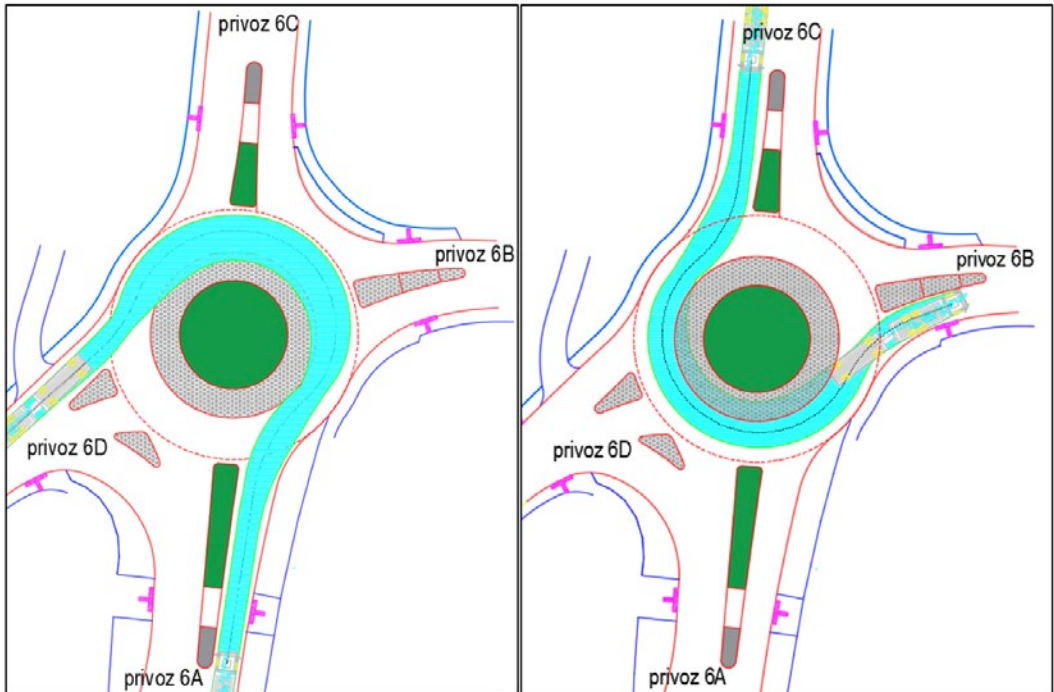
		postojeće kružno raskrižje		prijedlog rekonstrukcije	
		smjer 6A-6C	smjer 6C-6A	smjer 6A-6C	smjer 6C-6A
radijus ulazne putanje	Rul [m]	55.71	61.3	40.47	48.59
radijus izlazne putanje	Riz [m]	71.84	55.4	58.42	46.51
ulazna brzina	Vul [km/h]	45.2	47.4	38.5	42.2
izlazna brzina	Viz [km/h]	51.3	45.1	46.3	41.3

Iz Tablice 4 vidljivo je da model za postojeće kružno raskrižje predviđa provodne brzine veće od ograničenja brzine od 40 km/h. Promjenom samo nekih elemenata raskrižja, u ovom slučaju širine povoznog dijela središnjeg otoka i širine kružnog kolnika, utjecalo se na promjenu putanje vozila na ulazu i izlazu, što je u modelu rezultiralo nešto manjim očekivanim provodnim brzinama nego za slučaj postojećeg kružnog raskrižja.

PROVJERA PROVOZNOSTI MJERODAVNOG VOZILA

Kako provozna brzina nije jedini uvjet koji je nužno zadovoljiti u slučaju optimalnog rješenja kružnog raskrižja, u nastavku je za predloženo rješenje rekonstrukcije provjerena i provoznost mjerodavnog vozila (teško teretno vozilo s prikolicom).

Provoznost je provjerena i zadovoljena za sve moguće slučajeve kretanja kroz raskrižje, a na Slici 6 prikazane su provjere provoznosti za slučaj skretanja ulijevo na raskrižju (6A–6D i 6C–6B), i to sa glavnog u sporedni smjer, kao kritične putanje na ovom raskrižju.



Slika 6: Provjera provoznosti za kritične smjerove kretanja na raskrižju; izvor: autor

ZAKLJUČAK

Kružna raskrižja se u posljednje vrijeme koriste kao univerzalno rješenje posebno na lokacijama na kojima postoji problem kapaciteta ili sigurnosti odvijanja prometa, ali vrlo često bez dodatnog praćenje određenih indikatora sigurnosti odvijanja prometa nakon implementacije kružnih raskrižja. Podaci o prometnom opterećenju i operativnim brzinama, kao i podaci o primijenjenim geometrijskim elementima, prikupljeni na 9 kružnih raskrižja na prometnoj mreži županijskih cesta u okolici Grada Rijeke i Kastva, pokazuju odstupanja od preporuka Smjernica [1].

U slučaju geometrijskih elemenata, kod svih raskrižja primijenjeni su širi kružni kolnici od preporuka, a odstupanja su uočena, iako u manjoj mjeri i kod ostalih oblikovnih elemenata ulaza i izlaza u kružno raskrižje (ulazni/izlani radijus, širina ulaza/izlaza, ulazni kut i sl.).

Na svim raskrižjima prikupljeni su podaci o provoznim brzinama, a na 4 od 9 raskrižja takva su mjerenja provedena i prije rekonstrukcije u kružno raskrižje. Na temelju toga bilo je moguće utvrditi zadovoljavaju li provozne brzine ograničenja brzine na kružnim raskrižjima.

Podaci su pokazali, da je u velikom broju privoza raskrižja to ograničenje prekoračeno, u nekim slučajevima i višestruko. Kako se kružna raskrižja često primjenjuju kao mjera smirenja prometa, ovakav podatak je zabrinjavajući. Na 4 raskrižja, uspoređene su provozne brzine kružnog raskrižja sa provoznim brzinama na prethodnim nesemaforiziranim raskrižjima, te se pokazalo da implementacija kružnog raskrižja nije značajno utjecala na smanjenje provoznih brzina na ulazu (smanjenje je uočeno samo na 1 od 11 privoza). Odlazna brzina je implementacijom kružnog raskrižja se smanjila na 5 od 11 privoza raskrižja.

Kako bi se provjerila mogućnost naknadne rekonstrukcije kružnog raskrižja, minimalnim zahvatima u zoni raskrižja (u ovom slučaju se smanjila samo širina kružnog kolnika, a povećala širina povoznog dijela središnjeg otoka), na jednom od analiziranih raskrižju je napravljena promjena osnovne geometrije odnosno predloženo novo rješenje. Primjenom modela za kontrolu provozne brzine prema američkim smjernicama, određene su očekivane provozne brzine za predloženo rješenje, te je uočeno pozitivno, smanjenje provoznih brzina, kako na ulazu tako i na izlazu iz kružnog raskrižja. Osim provjere provoznih brzina, kontrolirana je i provoznost za sve smjerove na raskrižju, koja je zadovoljena unatoč manjim primijenjenim geometrijskim elementima raskrižja.

Navedeno upućuje na potrebu praćenja svih indikatora prometne sigurnosti, kako na rekonstruiranim raskrižjima tako i na samim lokacijama prije rekonstrukcije. Minimalne promjene u geometrijskim elementima raskrižja, već u samoj fazi projektiranja mogu osigurati rješenja koja bi u realnim uvjetima odvijanja prometa rezultirala manjim provoznim brzinama i posljedično, istraživanja pokazuju, većom sigurnošću odvijanja prometa na ovom tipu raskrižja.

ZAHVALA

Istraživanje je rezultat projekata "Optimizacija oblikovnih elemenata šire zone raskrižja" (uniri-iskusni-tehnic-23-86) i "Prometna infrastruktura u funkciji sigurnosti osjetljivih sudionika u prometu" (uniri-iskusni -tehnic- 23-85) uz potporu Sveučilišta u Rijeci.

LITERATURA

- [1] Deluka-Tibljaš, A.; Tollazzi, T.; Barišić, I.; Babić, S.; Šurdonja, S.; Renčelj, M.; Pranjić, I. Smjernice za Projektiranje Kružnih Raskrižja na Državnim Cestama; Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci: Rijeka, Croatia, 2015.
- [2] Kozić, M.; Šurdonja, S.; Deluka-Tibljaš, A.; Karleuša, B.; Cuculić, M. Criteria for urban traffic infrastructure analyses–case study of implementation of Croatian Guidelines for Roundabouts on State Roads. In Road and Rail Infrastructure IV; Faculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Zagreb, Croatia, 2016.
- [3] Hydén, C.; Várhelyi, A. The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: A case study. *Accid. Anal. Prev.* 2000, 32, 11–23.
- [4] De Brabander, B.; Nuyts, E.; Vereeck, L. Road safety effects of roundabouts in Flanders. *J. Saf. Res.* 2005, 36, 289–296.
- [5] Ministarstvo Unutarnjih Poslova RH: Bilten o Sigurnosti Cestovnog Prometa 2014, 2016, 2018, 2020, 2021, 2022. Available online: <https://mup.gov.hr/pristup-informacijama-16/statistika-228/statistika-mup-a-i-bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/287330> (accessed on November 15th 2023). (In Croatian).
- [6] Antov, D.; Abel, K.; Sürje, P.; Rõuk, H.; Rõivas, T. Speed reduction effects of urban roundabouts. *Balt. J. Road Bridge Eng.* 2009, 4, 22–26.
- [7] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2020). Roundabouts: An Informational Guide–Second Edition.

PROMETNE NESREĆE I CESTOVNA INFRASTRUKTURA – KRITIČNE LOKACIJE UDARA U STUPOVE U HRVATSKOJ

TRAFFIC ACCIDENTS AND ROAD INFRASTRUCTURE – CRITICAL IMPACT LOCATIONS ON POLES IN CROATIA

Višnja Tkalčević Lakušić, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kranjčevićeva 2, Zagreb

Darko Babić, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, Zagreb

Bernard Kosovec, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, Zagreb

Marija Ferko, Smart View d.o.o., Rastočka 8a/2, Zagreb

SAŽETAK

Prometne nesreće koje uključuju udar vozila u stupove javne rasvjete česta su pojava, s ozbiljnim posljedicama za vozače, putnike i druge sudionike u prometu. Ovaj rad analizira obrasce takvih nesreća u Republici Hrvatskoj, identificirajući ključne čimbenike poput alkoholiziranosti vozača, noćne vožnje i neprilagođene brzine. Poseban naglasak stavljen je na mogućnosti smanjenja težine nesreća primjenom pasivno sigurnih stupova, u skladu s normom EN 12767. Kategorizacija stupova prema sposobnosti apsorpcije energije omogućava smanjenje rizika od teških ozljeda, pri čemu se analiziraju visokoapsorbirajući (HE), niskoapsorbirajući (LE) i neapsorbirajući (NE) stupovi. Rezultati upućuju na potrebu za preciznom implementacijom pasivno sigurnih stupova na rizičnim lokacijama, uz istovremeno razmatranje tehničkih zahtjeva cestovne rasvjete i ekonomske isplativosti.

Ključne riječi: prometne nesreće, stupovi javne rasvjete, pasivno sigurni stupovi, EN 12767, sigurnost cestovne infrastrukture

SUMMARY

Road crashes involving vehicle collisions with street lighting poles are frequent, with severe consequences for drivers, passengers, and other road users. This study analyzes the patterns of such accidents in Croatia, identifying key risk factors such as driver intoxication, nighttime driving, and excessive speed. Special emphasis is placed on mitigating accident severity by implementing passively safe poles following EN 12767 standard. The classification of poles based on their energy absorption capability helps reduce the risk of severe injuries, with a focus on high-energy absorbing (HE), low-energy absorbing (LE), and non-energy absorbing (NE) poles. The findings indicate the necessity of precise implementation of passively safe poles at high-risk locations while also considering the technical requirements of road lighting and cost-effectiveness.

Keywords: road crash, street lighting poles, passively safe poles, EN 12767, road infrastructure safety

1. UVOD

U svijetu svake godine oko 1,19 milijuna ljudi izgubi život od posljedica prometnih nesreća. Prometne nesreće kao jedan od vodećih uzroka smrti i najveći doprinositelj invalidnosti osim osobnih tragedija, uzrokuju i znatne troškove društva, koji obuhvaćaju troškove hitnih službi, osiguranja itd. Za većinu zemalja navedeni troškovi iznose 1-3 % bruto domaćeg proizvoda (BDP-a), dok u nekima zemljama iznose do 6 % BDP-a. Oko 69 % smrtnih slučajeva u prometnim nesrećama je među osobama u dobi od 18 do 59 godina, a 23 % u dobi od 60 godina i više [1]. Povećanje prosječne brzine vožnje značajno utječe na vjerojatnost nastanka i ozbiljnost posljedica prometne nesreće. Svaki porast srednje brzine vožnje za 1 % dovodi do povećanja rizika od nastanka prometne nesreće sa smrtnom posljedicom od 4 % i povećanje rizika od nastanka teške prometne nesreće od 3 % [2].

U Europskoj Uniji tijekom 2023. godine, 20.400 ljudi je smrtno stradalo u prometnim nesrećama [3]. Otprilike 20 % smrtnih slučajeva u prometnim nesrećama su posljedica slijetanja vozila s kolnika te udara vozila u fiksni objekt koji se nalazi uz prometnicu [4]. U prometnim nesrećama s fiksnim objektima oko polovice smrtnih slučajeva događa se noću s vozačem pod utjecajem alkohola. Umor, nepažnja, slaba vidljivost i prevelika brzina vožnje također se smatraju uzrokom prometnih nesreća s fiksnim objektima. Ukupno 8.697 osoba izgubilo je život u Sjedinjenim Američkim Državama u nesrećama koje su uključivale sudar s nepokretnim objektima u 2022. godini, što je 2 % manje nego u 2021. i 18 % manje nego 1979. godine [4]. S druge strane, udio smrtnih ishoda u prometnim nesrećama koje uključuju sudar s nepokretnim objektima u SAD-u kreće se između 19% i 23% od 1979. godine. Valja napomenuti kako je, nakon drveća, komunalni stup uz cestu drugi najčešći objekt na koji su vozači naletjeli, s udjelom od 12 %.

U Europskoj Uniji je 2022. godine poginulo 6.369 osoba u prometnim nesrećama s jednim vozilom (35 % svih smrtno stradalih u Europskoj Uniji), a dio tih nesreća jesu i udari u objekte pored ceste, uključujući rasvjetne i druge komunalne stupove. U Republici Hrvatskoj za 2022. godinu udar vozila u objekt uz cestu iznosi 8,2 % od ukupnog broja prometnih nesreća. Nizozemska policija godišnje registrira 16 smrtnih nesreća uzrokovanih sudarom sa stupom javne rasvjete [5]. U 71 % tih nesreća osobni automobil sudari se sa stupom. Udio smrtnih nesreća koje uključuju stupove javne rasvjete u ukupnom broju smrtnih nesreća najveći je kod motocikala. S obzirom na to, preporučuje se postavljanje stupova rasvjete što dalje od kolnika. Međutim, s aspekta tehničkih zahtjeva rasvjete, izvor svjetlosti ne bi trebao biti postavljen predaleko od kolnika.

Cilj ovog rada je analizirati prometne nesreće na području Republike Hrvatske koje su bile nalet vozila na stup javne rasvjete kako bi se detektirale specifične zone rizika. Nadalje, cilj je i istražiti mogućnosti ugradnje praštajuće (engl. error-forgiving) infrastrukture kako bi se ublažio negativni utjecaj prilikom naleta na stup, a što podrazumijeva primjenu pasivno sigurnih rasvjetnih stupova.

2. PREGLED LITERATURE

Ovo poglavlje donosi sažet pregled novije literature koja istražuje pasivno sigurnu infrastrukturu, s naglaskom na pasivno sigurne stupove.

2.1. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Jedna od prethodnih studija istraživala je razvoj pasivno sigurnih stupova primjenom principa očuvanja količine gibanja i mehanizama apsorpcije energije [6]. Korištenjem numeričkih simulacija analiziran je utjecaj sudara vozila s različitim tipovima stupova, pri čemu su ispitani učinci različitih baza stupova projektiranih za sigurno otkazivanje pri udaru. Rezultati pokazuju da optimizirani apsorpcijski moduli mogu značajno smanjiti sile djelovanja na vozilo i putnike, čime se smanjuje rizik od teških ozljeda. Studija naglašava važnost pravilnog projektiranja stupova kako bi se postigla ravnoteža između apsorpcije energije i sigurnosti putnika, uz istovremeno minimiziranje sekundarnih rizika u prometu. Simulacije su korištene i u radu koji istražuje sigurnosna svojstva stupova javne rasvjete kroz eksperimentalne sudare (engl. crash tests) i numeričke simulacije [7]. Uspoređeni su rezultati crash testova vozila sa simulacijama provedenim u softveru Ansys LS-DYNA, s ciljem optimizacije konstrukcije stupova u skladu s normom EN 12767. Analizirani su neapsorbirajući stupovi (NE), pri čemu su istražene njihove deformacije i utjecaj na smanjenje brzine vozila pri sudaru. Rezultati pokazuju da numeričke simulacije mogu pouzdano zamijeniti skupe eksperimentalne testove u ranoj fazi razvoja proizvoda, čime se može značajno ubrzati implementacija novih sigurnosnih rješenja za cestovnu infrastrukturu. U sličnom istraživanju prikazanom u radu [8] analizirana su sigurnosna svojstva stupova javne rasvjete kroz eksperimentalne sudare i numeričke simulacije u skladu s normom EN 12767 [8]. Fokus istraživanja bio je na visokoapsorbirajućim stupovima (100HE3), koji su projektirani na način da se maksimalno smanji rizik ozljeda vozača pri sudaru. U eksperimentima su analizirani parametri kao što su brzina vozila nakon sudara te vrijednosti ASI (engl. Acceleration Severity Index) i THIV (engl. Theoretical Head Impact Velocity), a rezultati su uspoređeni s numeričkim simulacijama u Ansys LS-DYNA softveru. Istraživanje je pokazalo da optimizirana konstrukcija stupova može značajno poboljšati sigurnost u cestovnom prometu te da se numeričke metode mogu koristiti za smanjenje potrebe za skupim crash testovima u fazi razvoja novih sigurnosnih rješenja.

Nadalje, Michałek (2019.) je analizirao primjenu pasivno sigurnih potpornih konstrukcija, uključujući stupove javne rasvjete, u svrhu povećanja sigurnosti u cestovnom prometu [9]. Kroz pregled različitih međunarodnih rješenja (SAD, Norveška, Švedska, Finska, Velika Britanija, Slovačka i Poljska), istraženi su standardi i preporuke vezane uz upotrebu stupova s različitim stupnjevima apsorpcije energije (HE – visokoapsorbirajući, LE – niskoapsorbirajući, NE – neapsorbirajući). Rad naglašava da se visokoapsorbirajući stupovi preporučuju u područjima s povećanim rizikom sekundarnih sudara ili u blizini pješaka i biciklista, dok se neapsorbirajući stupovi koriste na brzim cestama gdje je poželjno da vozilo nastavi kretanje nakon sudara. Studija naglašava potrebu za preciznim tehničkim i zakonskim smjernicama kako bi se optimizirala primjena pasivno sigurnih stupova te smanjile posljedice nesreća.

Studija iz Belgije istražuje utjecaj pasivno sigurnih stupova visoke apsorpcije energije (HE stupova) na smanjenje težine nesreća koje uključuju izlijetanja vozila s ceste (engl. run-off-road crashes) [10]. Analiza se temelji na podacima o nesrećama prikupljenima u Flandriji od 2015. do 2020. godine, pri čemu su procijenjeni multinomijalni i mješoviti logistički modeli koristeći težinu ozljeda vozača i najteže ozlijeđenog putnika kao ishodne varijable. Rezultati pokazuju da primjena HE stupova doprinosi smanjenju ozbiljnosti ozljeda, pri čemu dolazi do većeg udjela lakših ozljeda u odnosu na tradicionalne stupove, koji su povezani s većim rizikom teških ozljeda i smrtnih ishoda. Studija također naglašava važnost zaštite vozila od sudara s krutim objektima i podržava postojeće prometne politike u Flandriji vezane uz implementaciju sigurnijih cestovnih elemenata. Ovi nalazi mogu pomoći pri oblikovanju

budućih strategija za poboljšanje cestovne infrastrukture i sigurnosti.

Istraživanje provedeno u Ujedinjenom Kraljevstvu analizira primjenu pasivno sigurne ulične opreme na cestama okruga Warwickshire s ciljem povećanja sigurnosti cestovne infrastrukture [11]. Fokus istraživanja je na primjeni pasivno sigurnih stupova javne rasvjete, prometnih znakova i semafora, u skladu s britanskim standardom BS EN 12767:2019. Analiza podataka o prometnim nesrećama u Warwickshireu tijekom jednogodišnjeg razdoblja pokazala je da su sudari s uličnom infrastrukturom rijetki te da njihova učestalost ne opravdava široku primjenu pasivno sigurnih elemenata na svim prometnicama. Umjesto toga, preporučuje se selektivna implementacija takvih stupova, s prioritetom na ruralnim A cestama s ograničenjem brzine od 50 milja/h (1 milja/h = 1,6093 km/h) ili više, gdje je rizik ozbiljnih nesreća povećan. Na urbanim prometnicama, posebice na lokacijama s većom frekvencijom pješaka i biciklista, pasivno sigurni stupovi nisu uvijek najprikladnije rješenje jer postoji rizik od sekundarnih nesreća uzrokovanih padom stupova nakon udara vozila. Studija također naglašava važnost troškovno učinkovite primjene pasivno sigurne ulične opreme. Prilikom odlučivanja o postavljanju ovih elemenata, procjenjuju se sigurnosne koristi u odnosu na troškove ugradnje i održavanja. U slučajevima gdje druge sigurnosne mjere, poput zaštitnih ograda, već pružaju odgovarajuću zaštitu, implementacija pasivno sigurnih stupova može biti suvišna. Zaključno, istraživanje ističe potrebu za ciljanom implementacijom pasivno sigurne infrastrukture, uzimajući u obzir lokalne uvjete i povijest nesreća na pojedinim dionicama cesta, čime se postiže optimalna ravnoteža između sigurnosti, ekonomičnosti i zaštite svih sudionika u prometu.

2.2. ANALIZA TROŠKOVA I KORISTI

Jedno od istraživanja analizirano u ovom radu identificira prosječne troškove ozljeda uzrokovanih izlijetanjem vozila s ceste i sudarom s fiksnim objektima, uključujući stupove javne rasvjete [12]. Korištenjem podataka o prometnim nesrećama, bolničkim prijemima i zahtjevima osiguravajućim društvima za odštetu, utvrđeni su prosječni troškovi po sudaru za različite vrste objekata. Posebno se ističe da su sudari sa stupovima prometnih znakova (engl. posts) imali prosječne troškove ozljeda od 62.400 USD po sudaru za putničke automobile, dok su sudari s rasvjetnim/komunalnim stupovima (engl. utility poles, što uz stup rasvjete može biti i stup za električnu energiju, telekomunikacije i slično) imali znatno više prosječne troškove, 96.600 USD po sudaru, što ih svrstava među najskuplje vrste fiksnih objekata (kada je riječ o naletu na fiksni objekt). Ovi rezultati pokazuju da su stupovi rasvjete i drugi vertikalni objekti uz cestu među najskupljim preprekama u pogledu medicinskih i osiguravajućih troškova. U usporedbi s drugim fiksnim objektima, poput zaštitnih ograda, troškovi sudara sa stupovima su i do dvostruko viši. Ovi podaci podržavaju potrebu za optimizacijom cestovne infrastrukture.

Prema pregledu literature, malo je dostupnih izvora koji analiziraju troškove i koristi korištenja pasivno sigurne infrastrukture. Istraživanje iz Velike Britanije iz 2008. godine analizira troškovnu isplativost primjene pasivno sigurnih stupova javne rasvjete i prometnih znakova koristeći pristup First Year Rate of Return (FYRR) i whole life costing (WLC) [13]. Konvencionalni stupovi često su zaštićeni sigurnosnim ogradama na ruralnim cestama, dok je pasivno sigurna oprema relativno nova u cestovnoj infrastrukturi. U kontekstu analize troškovne isplativosti pasivno sigurnih stupova javne rasvjete i prometnih znakova, istraživanje pokazuje da njihova implementacija može značajno smanjiti ozbiljnost prometnih nesreća i pridonijeti ukupnoj sigurnosti cestovne infrastrukture. Procjene pokazuju da bi zamjena konvencionalnih stupova pasivno sigurnim mogla smanjiti godišnje troškove

prometnih nesreća sa 185,5 milijuna funti na 22,8 milijuna funti, čime bi se ostvarila ušteda od 162,7 milijuna funti godišnje. Iako početni trošak zamjene stupova iznosi 150 funti po stupu, očekivani FYRR od 50 % ukazuje na relativno brzu ekonomsku isplativost investicije. Dugoročne prednosti pasivno sigurnih stupova uključuju smanjene troškove održavanja, duži vijek trajanja te eliminaciju potrebe za sigurnosnim ogradama na ruralnim cestama, što dodatno poboljšava njihovu troškovnu učinkovitost. Prema istraživanju, implementacija ovih stupova posebno je korisna na prometnicama s većom učestalošću izljetanja vozila, gdje smanjenje težine nesreća može značajno smanjiti troškove ozljeda i materijalnih šteta. Preporučuje se daljnja analiza ukupnih životnih troškova (WLC) kako bi se dodatno potvrdila isplativost ovih sustava u različitim prometnim uvjetima.

3. IDENTIFIKACIJA SPECIFIČNIH LOKACIJA SA ZONAMA RIZIKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Osim prakse iz Europe i svijeta, važno je promotriti i situacije na lokalnoj razini, kako bi se mogle oblikovati ciljane mjere i intervencije u svrhu povećanja sigurnosti sudionika cestovnog prometa. Ovo poglavlje bavi se detekcijom primjera prometnih nesreća iz Hrvatske u kojima je došlo do naleta vozila na rasvjetni stup pored ceste. Analiza ovih nesreća može poslužiti kao osnova za daljnje istraživanje faktora koji utječu na njihovu učestalost, kao i za razvoj preventivnih mjera usmjerenih na povećanje sigurnosti u prometu.

3.1. IZDOVJENE LOKACIJE

S obzirom na to da ne postoje službene statistike o naletima na komunalne stupove uz cestu, konkretnije stupove javne rasvjete, za potrebe ove analize izvršen je pregled medijskih izvora. Cilj je bio pronaći karakteristične prometne nesreće radi definiranja specifičnih situacija i potencijalno pronalaska određenih obrazaca.

Tablica 1 sadrži pregled spomenute vrste prometnih nesreća, s osnovnim dostupnim podacima. Važno je naglasiti kako su u tablici samo neke od prometnih nesreća u navedenom razdoblju, odnosno one prometne nesreće za koje postoji medijsko izvještavanje. Analiza navedenih prometnih nesreća u kojima su vozila udarila u stup javne rasvjete pokazuje značajne obrasce u pogledu vremena, lokacije, vrste vozila te posljedica sudara. Ova analiza temelji se na priloženim podacima koji uključuju 41 dokumentirani slučaj takvih nesreća u razdoblju od 2016. do 2025. godine.

Br	Opis prometne nesreće	Lokacija	Godina	Vrijeme	Vrsta vozila	Posljedice	Broj ozlijeđenih/stradalih	Izvor
1	Udar osobnog vozila (njemačke registarske oznake) u dvorišnu ogradu i stup javne rasvjete	Stupovača, Grad Kutina;	2016	Noć (00:10)	Osobni automobil	Teške tjelesne ozljede	2 (vozač, suvozač)	14
2	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ježdovečka cesta, Kerestinec	2018.	Poslijepodne (18:00)	Osobni automobil	Poginula osoba	1	15
3	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Radnička cesta 173, Zagreb; Urbana cesta u pravcu	2019.	Večer (20:48)	Osobni automobil	Poginula osoba	1 (vozač - na mjestu)	16
4	Udar osobnog vozila u armiranobetonski stup	Bedenica; Zavoј	2019.	-	Osobni automobil	Poginula osoba	1 (vozačica)	17
5	Udar motocikla u stup javne rasvjete - maloljetna osoba	Rovinј (iz smjera autokampa Valalta)	2019.	Poslijepodne (18:00)	Motocikl	Poginula osoba	1 (maloljetnik (17))	18

Br	Opis prometne nesreće	Lokacija	Godina	Vrijeme	Vrsta vozila	Posljedice	Broj ozlijeđenih/stradalih	Izvor
6	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Raskrižje Žitnei Strossmayerove ulice; Četverokrako raskrižje	2019.	Jutro (07:00)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	?	19
7	Udar teretnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica hrvatske državnosti, Koprivnica; Urbana cesta u pravcu	2019.	Jutro (10:35)	Teretno vozilo	Materijalna šteta	-	20
8	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Tarašćice, Koprivnica	2019.	Poslijepodne (13:30)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	20
9	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač; poginula putnica	Aleja grada Bolonje, Zagreb; Urbana cesta u prevcu	2020.	Večer (20:55)	Osobni automobil	Poginula osoba, tjelesne ozljede	1 poginula osoba, 1 osoba teško ozlijeđena	21
10	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Nova Bukovica; Zavoj	2021	Noc (01:00)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	22
11	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Antuna Kanižlića, Požega; Središte grada	2021.	Prijepodne (11:10)	Osobni automobil	Lakše tjelesne ozljede	1 (pješačinja)	23
12	Udar osobnog vozila u armiranobetonski stup javne rasvjete	između Ludbrega i Poljanca; Cesta u pravcu	2021.	Poslijepodne (15:45)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1	24
13	Udar osobnog vozila u ogradu, stup javne rasvjete i hidrofor - alkoholisirani vozač	Gorička ulica, Virje	2021.	Noć (02:45)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1 - teške tjelesne ozljede (vozač) 1 - lake tjelesne ozljede (suvozač)	25
14	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Kralja Tomislava, Trenkovo; Cesta u pravcu	2021.	Večer (20:10)	Osobni automobil	Poginula osoba	1	26
15	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Kninska cesta, Varaždin; Cesta u pravcu	2021.	Noć (00:20)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	2	27
16	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani mladi vozač	Štefanec; Trokrako raskrižje	2022.	Večer (23:55)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	3 (mladi vozač (18) - alkoholisiran)	28
17	Udar zaprežnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Ljudevita Gaja, Belica; Cesta u pravcu	2022.	Podne (12:30)	Zaprežno vozilo	Tjelesne ozljede	1	29
18	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Stari Brežanec, Koprivnica; Cesta u pravcu	2022.	Poslijepodne (14:25)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	30
19	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Josipa bana Jelačića, Zadar; Kružno raskrižje	2022.	Noć (01:00)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1	31
20	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Sajmišna ulica, Prelog; Cesta u pravcu	2022.	Poslijepodne (14:00)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1	32

Br	Opis prometne nesreće	Lokacija	Godina	Vrijeme	Vrsta vozila	Posljedice	Broj ozlijeđenih/stradalih	Izvor
21	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Osječka ulica, Jakšić	2022.	Poslijepodne (17:40)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	2 (Vozač - lakše tjelesne ozljede; putnica - teške tjelesne ozljede)	33
22	Udar osobnog automobila u stup javne rasvjete	Maksimirska cesta, Zagreb; Urbana cesta u pravcu	2023.	Večer (18:20)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	2 (vozač - teške tjelesne ozljede, suvozač - lakše ozljede)	34
23	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Zaprešićka 2, Jablanovec; Kružno raskrižje	2023.	Popodne	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	35
24	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Gornji kraj, Rasinja; Cesta u pravcu	2023.	Prijepodne (11:30)	Osobni automobil	Lakše tjelesne ozljede	1	36
25	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Šijanska cesta, Pula; Cesta u pravcu	2024.	Večer (21:00)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	37
26	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete u oštrom lijevom zavoju	Sajmišna ulica, Prelog; Trokrako raskrižje	2024.		Osobni automobil	Materijalna šteta	-	38
27	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Varaždinska ulica, Novi Marof; Cesta u pravcu	2024.	Večer (20:20)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	39
28	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Orlavska ulica, Požega; Trokrako raskrižje	2024.	Noć (04:00)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	40
29	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Ulica Miroslava Krleža, Varaždin; Kružno raskrižje	2024.	Večer (19:50)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	41
30	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Zagorska ulica, Varaždin; Zavoj	2024.	Večer	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	42
31	Udar motocikla u stup javne rasvjete	Mlinska ulica, Poreč; Trokrako raskrižje	2024.	Jutro	Motocikl	Teške tjelesne ozljede	1 (vozač)	43
32	Udar osobnog automobila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač pobjegao s mjesta nesreće	Velika; Cesta u pravcu	2024.	Večer (20:40)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	44
33	Udar mopeda u stup javne rasvjete	Rab	2024.	Noć (03:50)	Moped	Teške tjelesne ozljede	2	45
34	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete	Ulica Vladimira Nazora, Mali Bukovec; Zavoj	2024.	Jutro (06:17)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	više osoba, jedna jače priklještena	46
35	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Ulica Ivana Gorana Kovačića, Ivanec; Kružno raskrižje	2024.	Noć (01:15)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	47
36	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholisirani vozač	Podravska ulica, Varaždin; Kružno raskrižje	2024.	Večer (23:25)	Osobni automobil	Materijalna šteta	-	47

Br	Opis prometne nesreće	Lokacija	Godina	Vrijeme	Vrsta vozila	Posljedice	Broj ozlijeđenih/stradalih	Izvor
37	Udar teretnog vozila u stup javne rasvjete	Liburnijska obala, Zadar; Cesta u pravcu	2025.	Poslijepodne	Teretno vozilo	Materijalna šteta (oštećen stup javne rasvjete)	-	48
38	Slijetanje osobnog vozila u putni jarak i udar u betonski stup javne rasvjete	Novoseljani, Bjelovar; Cesta u pravcu	2025.	Jutro (07:40)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1 (putnik - dijete)	49
39	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete, uslijed siline udara vozilo se više puta prevrnulo i zaustavilo na krovu	Varaždinska ulica, Novi Marof; Zavoj	2025.	Večer (23:30)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	3 (vozačica (nije bila vezana), dvoje maloljetnih osoba - 16 god.)	50
40	Teretni automobil sletio s ceste i udario u stup javne rasvjete	Šibenik; Urbana cesta u pravcu	2025.	Jutro	Teretni automobil	Materijalna šteta	-	51
41	Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete - alkoholizirani vozač	Ulica 43. istarske divizije, Pazin	2025.	Noć (01:50)	Osobni automobil	Tjelesne ozljede	1 (vozač, alkoholiziran)	52

Tablica 1. Popis analiziranih prometnih nesreća

Najveći broj nesreća dogodio se u večernjim i noćnim satima, pri čemu se ističu nesreće koje su uzrokovali vozači pod utjecajem alkohola. Posebno su rizični sati između 20:00 i 04:00, što upućuje na smanjenu vidljivost (Slika 1), umor vozača i povećanu prisutnost alkohola u prometu kao ključne faktore. Prometne nesreće s udarom u stup javne rasvjete evidentirane su u urbanim i ruralnim područjima. Veći broj nesreća zabilježen je na zavojima, raskrižjima i kružnim tokovima, gdje vozači gube kontrolu nad vozilom. Gradovi poput Zagreba, Varaždina, Požege i Novog Marofa imaju učestale slučajeve ovakvih sudara, što može ukazivati na problem u infrastrukturi ili stil vožnje na tim lokacijama.



Slika 1. Izgled vozila nakon udara u stup (prometna nesreća s poginulim i teško ozlijeđenim osobama) [21]

Većina nesreća uključivala je osobna vozila, dok su u manjem broju slučajeva sudjelovali motocikli, mopedi i teretna vozila. Motociklisti i pješaci su među najranjivijim sudionicima,

jer su kod njih zabilježene ozbiljne ozljede ili smrtonosni ishodi. U najmanje 10 slučajeva došlo je do smrtnih ishoda, a u velikom broju drugih nesreća zabilježene su teške tjelesne ozljede. Značajan broj nesreća rezultirao je samo materijalnom štetom, posebno u slučajevima gdje su vozači bili pod utjecajem alkohola. Alkoholizirani vozači sudjelovali su u više od 10 nesreća, pri čemu su često uzrokovali materijalnu štetu ili teške ozljede. Ovi slučajevi su se pretežito dogodili noću, što potvrđuje da vožnja pod utjecajem alkohola predstavlja veliki rizik za sigurnost u prometu.

Osim izravnih posljedica za vozače i putnike, udari u stupove javne rasvjete predstavljaju i sekundarne rizike za ostale sudionike u prometu. Na primjer, u nekim slučajevima zabilježeno je da su stupovi pali na prometnicu, što može ugroziti druge vozače i pješake.

Ova analiza pokazuje da su nesreće s udarom u stup javne rasvjete česta pojava s ozbiljnim posljedicama. Ključni rizični faktori uključuju vožnju pod utjecajem alkohola, gubitak kontrole nad vozilom u zavojima i raskrižjima, te nesreće koje se događaju u noćnim satima. Potrebne su mjere za poboljšanje sigurnosti, uključujući bolju signalizaciju, povećanu prisutnost zaštitnih ograda na kritičnim lokacijama te strožu kontrolu vožnje pod utjecajem alkohola. Također, uvođenje pasivno sigurnih stupova moglo bi smanjiti težinu posljedica ovakvih sudara i povećati sigurnost cestovne infrastrukture.

3.2. ANALIZA RIZIČNIH ZONA

Analiza rizičnih zona služi za identifikaciju i procjenu potencijalno opasnih lokacija uz prometnicu gdje su postavljeni stupovi na način da su izloženi riziku od udara vozila. Ova analiza omogućava predlaganje mjera za povećanje sigurnosti i smanjenje posljedica prometnih nesreća u vidu primjene novih prilagođenih rasvjetnih stupova. Nadalje, analiza postavlja temelj za daljnje istraživanje i unaprjeđenje infrastrukture. Prikazana analiza rizičnih zona temelji se na identifikaciji lokacija uz prometnice koje predstavljaju rizik za sudare vozila sa stupovima. Navedene zone određene su na temelju podataka o prometnim nesrećama, karakteristikama infrastrukture i prometnih uvjeta (ograničenja brzine, prometno opterećenje).

Koristeći rezultate i uvide iz poglavlja 3.1., identificirane su kritične zone i stupovi koji predstavljaju rizik. Rizik je podijeljen na četiri kategorije: nizak rizik, srednji rizik, visoki rizik i vrlo visoki rizik. Kriteriji postavljeni za identifikaciju rizika uključuju:

1. Frekvenciju i težinu prometnih nesreća,
2. Udaljenosti stupova od ruba kolnika,
3. Karakteristike ceste (pravac, zavoj, raskrižje),
4. Prometni uvjeti ceste (ograničenje brzine, prometno opterećenje).

U nastavku su opisane i grafički prikazane identificirane situacije, odnosno zone koje se mogu smatrati rizičnima u pogledu potencijalnog naleta vozila na stup pored ceste. Slika 2 odnosi se na zavoj na cesti s visokim ograničenjem brzine i radijusima oko 100 m. Prikazani zavoj je lokacija na kojoj se dogodila prometna nesreća s poginulom osobom [17]. Pri postizanju veće brzine kretanja, u ovakvim zonama uslijed djelovanja centrifugalne sile relativno lako može doći do gubitka kontrole nad vozilom, odnosno slijetanja s ceste. U takvim slučajevima povoljno je imati neometanu „zonu izlijetanja“ gdje je to moguće, a na nekim lokacijama postavlja se zaštitna odbojna ograda. Potrebno je detaljnije istražiti potencijal postavljanja pasivno sigurnih stupova.

Slika 3 prikazuje rizičnu zonu raskrižja, konkretno trokrakog raskrižja. Kod ovakvih situacija

postoji mogućnost naleta na stup kada se vozilo kreće iz prilaza koji je pod kutom, posebice ukoliko je prilaz okomit ili pod radiusom, a mogu se razviti veće brzine.

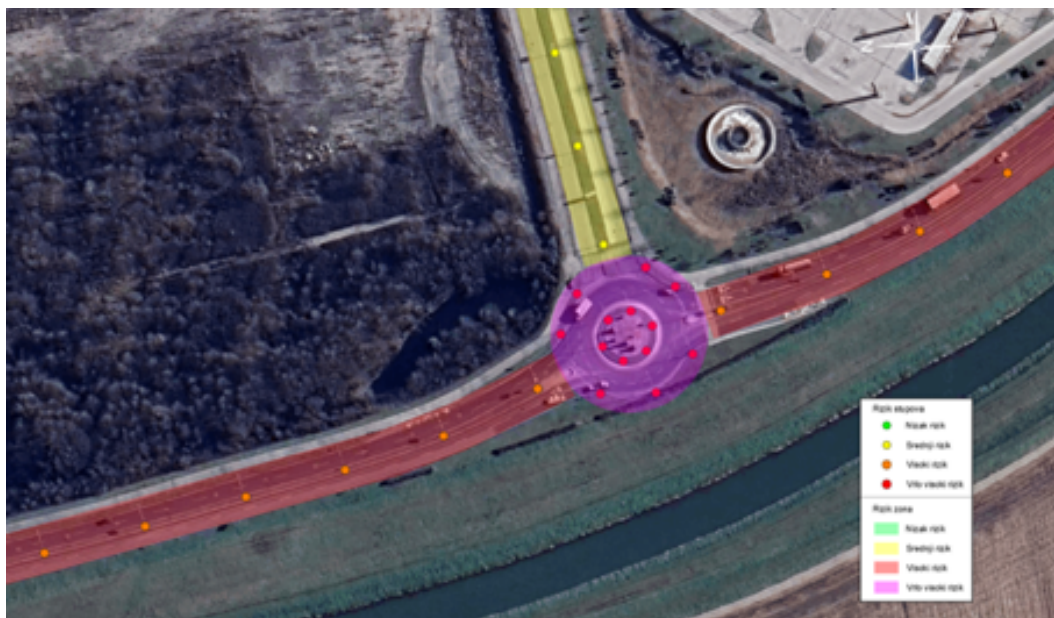
Slična situacija kao i kod klasičnih raskrižja je kod raskrižja s kružnim tokom prometa, što je posebno naglašeno kod prometnica gdje se razvija visoka brzina kretanja, a stupovi se nalaze u potencijalnim zonama izlijetanja (Slika 4). Iako se očekuje od vozača da će u zoni raskrižja prilagoditi brzinu kretanja, evidentno je da vrlo lako može doći do pogrešne procjene prilikom upravljanja vozilom. Lokacija na kojoj se temelji slikovni prikaz nalazi se u blizini Zaprešića [35].



Slika 2. Primjer rizične zone – krivina



Slika 3. Primjer rizične zone – raskrižje



Slika 4. Primjer rizične zone – raskrižje s kružnim tokom prometa

4. PRIJEDLOZI UNAPRJEĐENJA INFRASTRUKTURE – PASIVNO SIGURNI STUPOVI

Kada se govori o utjecajnim faktorima na sigurnost sudionika u prometu, svakako osim čovjeka (ljudski faktor) i vozila treba u obzir uzeti i infrastrukturu (sama cesta, ali i njena oprema i okolina). S obzirom na to da prometne nesreće koje se mogu okarakterizirati kao nalet na stup javne rasvjete nisu rijetkost, potrebno i opravdano je razmotriti mogućnosti uvođenja mjera koje bi samu prometnicu učinile više error-forgiving, odnosno više praštajućom. Jedna od takvih mjera može biti uvođenje pasivno sigurnih elemenata.

Kako bi se smanjile posljedice prometnih nesreća koje uključuju udar vozila u stup javne rasvjete, opravdano je razmotriti primjenu pasivno sigurnih stupova. Naime, većina stupova uz ceste u Republici Hrvatskoj su kruti i ne mogu preuzeti veliku količinu energije koja se stvara prilikom udara vozila pa se onda ta energija prenosi na vozilo i putnike u vozilu. Korištenjem pasivno sigurnih stupova koji mogu apsorbirati dio te energije ili otkazati na kontrolirani način postiglo bi se značajno smanjenje težine prometnih nesreća. Odabir odgovarajuće vrste stupova ovisi o više čimbenika, uključujući način otkazivanja stupova, sigurnost putnika u vozilu, rizike za druge sudionike u prometu (posebice u urbanim sredinama), ograničenje brzine na razmatranoj dionici, kao i postojanje drugih objekata uz cestu, poput mostova ili zidova. Uz to, važno je uzeti u obzir i potencijalnu štetu na vozilu te mogućnost sekundarnih sudara [53].

Radi optimalne funkcionalnosti ove vrste stupova, razvijen je standard prema kojem se testiraju i implementiraju pasivno sigurni stupovi (EN 12767). Navedena norma definira zahtjeve za pasivnu sigurnost potpornih konstrukcija uz cestu, uključujući stupove javne rasvjete, prometne znakove i semafore. Opseg, kriteriji i primjena analizirani su prema dostupnoj literaturi [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59]. Cilj norme je smanjiti težinu ozljeda sudionika u prometu u slučaju sudara vozila s ovim objektima. Trenutno je u Hrvatskoj važeća

norma HRN EN 12767:2025, odnosno „Pasivna sigurnost nosača cestovne opreme -- Zahtjevi i metode ispitivanja (EN 12767:2019+A1:2024)“ [60]. Tablica 2 prikazuje pregled osnovnih zahtjeva prema spomenutoj normi. U odnosu na prethodnu verziju (EN 12767:2007 [61]), prikazanu u radovima [58], [59], norma EN 12767:2019 donosi preciznije kriterije za sigurnost putnika i uključuje dodatne parametre kao što su tip temeljenja, način otkazivanja stupa, smjer udara i rizik od deformacije krova vozila. Također, numerička oznaka sigurnosne klase stupa (npr. 100HE3) zamijenjena je detaljnijom oznakom koja se sastoji od sedam znakova (npr. 100-HE-C-S-NS-MD-0), čime je osigurana jasnija identifikacija svojstava stupova.

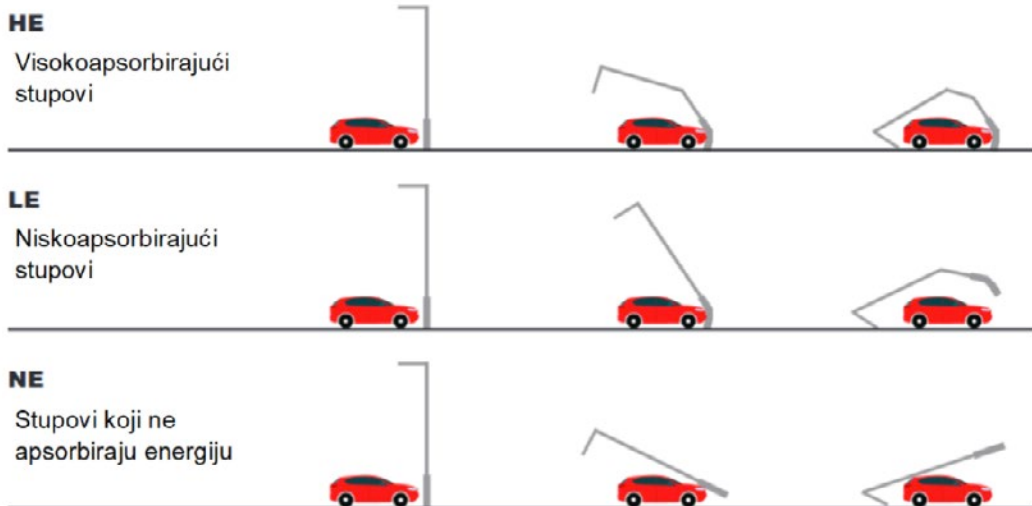
Kriterij	Verzija 2019.
Brzina vozila prilikom udara	50, 70, 100 km/h
Kategorija apsorpcije energije	HE, LE, NE
Razina sigurnosti putnika	A, B, C, D, E
Tip temeljenja	S, R, X (tlo, kruta podloga, posebni slučajevi)
Način otkazivanja stupa	SE ili NS (razdvajanje ili bez razdvajanja)
Smjer udara vozila	SD, BD, MD (jednosmjerni, dvosmjerni, višesmjerni)
Rizik od deformacije krova	Klasa 0 ili 1 (odnosno, < 102 mm ili ≥ 102 mm)

Tablica 2. Pregled osnovnih zahtjeva prema normi EN 12767:2019

Ova norma kategorizira stupove prema više parametara, koji se određuju na temelju rezultata eksperimentalnih sudara, a uključuju brzinu vozila prilikom udara u stup koja može biti 50, 70 ili 100 km/h i kategoriju apsorpcije energije, pri čemu se razlikuju stupovi koji mogu apsorbirati veću količinu energije (HE stupovi), zatim stupovi koji mogu apsorbirati manju količinu energije (LE stupovi) i stupovi koji ne mogu apsorbirati energiju (NE stupovi) (Slika 5). Nadalje, uzima se u obzir razina sigurnosti putnika, koja se izražava slovima od A do E, gdje A označava najvišu razinu zaštite. Za usporedbu, u prethodnoj verziji norme razina sigurnosti putnika označavala se brojevima od 1 do 4, pri čemu je veći broj označavao veću razinu zaštite.

Također, sada važeća norma uzima u obzir i način otkazivanja stupa, pri čemu stup može ostati pričvršćen za tlo i deformirati se (NS – No Separation), kao kod visokoapsorbirajućih stupova ili se potpuno odvojiti od temelja pri udaru vozila (SE – Separation), kao kod niskoapsorbirajućih i neapsorbirajućih stupova. Dodatni kriteriji uključuju tip temeljenja (tlo – S, kruta podloga – R i nestandardno temeljenje – X) te smjer udara vozila, pri čemu stupovi mogu biti jednosmjerni (SD), dvosmjerni (BD) ili višesmjerni (MD). Smjer udara vozila označava kut pod kojim vozilo može udariti u stup u odnosu na smjer vožnje, a kao granična vrijednost usvojen je kut 20°, što je pretpostavljeni prosječni kut izljetanja vozila. U normi se također razmatra rizik od deformacije krova vozila, gdje se razlikuju stupovi koji uzrokuju deformaciju krova manju od 102 mm (klasa 0) i stupovi koji uzrokuju deformaciju krova veću ili jednaku 102 mm (klasa 1).

Navedenim sustavom kategorizacije stupova omogućuje se odabir odgovarajućih sigurnosnih rješenja ovisno o karakteristikama prometnice i rizicima za sudionike u prometu.



Slika 5. Shematski prikaz pasivno sigurnih stupova [55]

4.2. NEAPSORBIRAJUĆI STUPOVI (NE STUPOVI)

Neapsorbirajući stupovi projektirani su tako da se ne deformiraju prilikom udara vozila nego se lome u blizini temelja stupa i ruše te obično padaju iza vozila, slika 6. Primjeri podnožja stupova koji mogu otkazati na takav način prikazani su na slici 7.



Slika 6. Sudar vozila s neapsorbirajućim stupom [56]



Slika 7. Primjeri podnožja neapsorbirajućih stupova [62]

Glavna prednost neapsorbirajućih stupova je što omogućuju vozilu da nakon udara nastavi kretanje uz relativno umjereno smanjenje brzine, što rezultira manjom štetom na vozilu u usporedbi s drugim vrstama stupova, a time i najsigurnijim rješenjem za putnike u vozilu.

Stupovi koji ne apsorbiraju energiju preporučuju se za područja s visokim ograničenjima brzine, gdje nema neposredne blizine pješaka, biciklističkih staza ili drugih potencijalno ugroženih sudionika u prometu.

Međutim, zbog toga što vozilo ne biva značajno usporeno pri sudaru, ovi stupovi nisu prikladni za lokacije u urbanim sredinama, gdje postoji veći rizik od sekundarnih sudara ili udara u druge sudionike u prometu. Njihova primjena opravdana je prvenstveno na cestama izvan naseljenih područja, gdje je minimalan broj prepreka i pješaka.

4.3. VISOKOAPSORBIRAJUĆI STUPOVI (HE STUPOVI)

Visokoapsorbirajući stupovi projektirani su tako da prilikom udara vozila apsorbiraju veliku količinu kinetičke energije pri čemu dolazi do plastične deformacije i savijanja stupa ispod vozila, slika 7. To omogućuje znatno usporavanje i zaustavljanje vozila, čime se smanjuje rizik od sekundarnih sudara s objektima uz cestu, drvećem ili drugim sudionicima u prometu.



Slika 7. Sudar vozila s visokoapsorbirajućim stupom [63]

Iako ova vrsta stupova povećava sigurnost drugih sudionika u prometu, ona može povećati rizik od ozljeda putnika u vozilu, osobito pri višim brzinama, ali su te ozljede znatno manje u usporedbi sa ozljedama kod sudara vozila sa uobičajenim krutim stupovima. Stoga se visokoapsorbirajući stupovi preporučuju u situacijama gdje postoji povećana opasnost od sekundarnih sudara i gdje je važno spriječiti nastavak nekontroliranog kretanja vozila nakon sudara.

4.4. NISKOAPSORBIRAJUĆI STUPOVI (LE STUPOVI)

Niskoapsorbirajući stupovi predstavljaju kompromis između neapsorbirajućih i visokoapsorbirajućih stupova. Projektirani su tako da se prilikom udara vozila postepeno deformiraju ispred i ispod vozila prije odvajanja stupa od temelja, kao kod neapsorbirajućih

stupova. Ovakav način otkazivanja omogućuje sporije smanjenje brzine vozila uz umjereniju štetu na vozilu u odnosu na visokoapsorbirajuće stupove. Na slici 8 prikazan je sudar vozila s niskoapsorbirajućim stupom.



Slika 8. Sudar vozila s niskoapsorbirajućim stupom [56]

Zbog svojih karakteristika, niskoapsorbirajući stupovi su prikladni za širok spektar prometnica, uključujući urbane sredine i dionice cesta s umjerenim ograničenjem brzine. Oni omogućuju smanjenje rizika za ostale sudionike u prometu, a istovremeno ne uzrokuju tako naglo zaustavljanje vozila kao visokoapsorbirajući stupovi.

4.5. SEKUNDARNI RIZICI

Osim primarnih rizika za putnike u vozilu, udar vozila u stup javne rasvjete može uzrokovati i sekundarne rizike s potencijalno ozbiljnim posljedicama za druge sudionike u prometu. To se može dogoditi u slučaju kada stup ili njegov dio nakon udara padne na cestu, stvarajući dodatnu prepreku i povećavajući rizik od daljnjih nesreća. Ako ostaci stupa padnu na kolnik, važno je kako će drugi vozači reagirati na to i koliko će biti uočljivi ti ostaci, na primjer noću. U dostupnoj literaturi nisu pronađeni podaci da su krhotine stupova na cesti uzrokovale probleme u zemljama koje imaju ugrađen veliki broj pasivno sigurnih stupova [59]. Također, u nekim situacijama, na primjer kod udara vozila u neapsorbirajući stup, vozilo se može nastaviti kretati nakon sudara, što povećava mogućnost udara u druge objekte ili sudionike u prometu. Kako bi se smanjili ovi rizici, preporučuje se posvetiti pažnju odabiru odgovarajuće vrste pasivno sigurnih stupova te zaštitnih ograda na kritičnim lokacijama, osobito u blizini pješačkih prijelaza, biciklističkih staza i urbanih područja.

5. ZAKLJUČAK

Prevenција prometnih nesreća i smanjenje njihovih posljedica ključni su ciljevi u području prometne sigurnosti. Nesreće na cestama često dovode do teških ili smrtonosnih ishoda, pri čemu su udari vozila u objekte uz cestu, posebno u stupove javne rasvjete, među najčešćim vrstama takvih incidenata. Analiza prometnih nesreća u kojima dolazi do udara vozila u stupove javne rasvjete pokazala je da su ove nesreće učestale i da često rezultiraju ozbiljnim ozljedama ili smrtnim ishodima. Ključni rizični faktori uključuju vožnju pod utjecajem alkohola, gubitak kontrole nad vozilom u zavojima i raskrižjima, te nesreće koje se događaju u noćnim satima.

S obzirom na ozbiljnost posljedica, primjena pasivno sigurnih stupova javne rasvjete predstavlja jedno od mogućih rješenja za smanjenje težine ozljeda pri sudaru. Standard EN 12767 omogućuje klasifikaciju i testiranje stupova prema sigurnosnim karakteristikama, pri čemu se razlikuju visokoapsorbirajući (HE), niskoapsorbirajući (LE) i neapsorbirajući (NE) stupovi, koji se primjenjuju ovisno o karakteristikama prometnice i očekivanom riziku sudara. Norma EN 12767 omogućuje objektivnu procjenu pasivne sigurnosti cestovne infrastrukture kroz standardizirane crash testove. Pravilna primjena pasivno sigurnih stupova može značajno smanjiti ozbiljnost posljedica prometnih nesreća, posebno na lokacijama s povećanim rizikom sekundarnih sudara. Preporučuje se primjena pasivno sigurnih stupova posebno na brzim cestama s povećanim rizikom izlijetanja vozila, dok njihova primjena u urbanim područjima ovisi o prisutnosti pješaka i drugih sudionika u prometu.

Osim navedene promjene infrastrukture, preporučuju se i dodatne mjere poput poboljšane signalizacije, postavljanja zaštitnih ograda na kritičnim lokacijama i pojačanog nadzora prometa. Cilj je smanjiti broj prometnih nesreća s udarom u stupove javne rasvjete te unaprijediti sigurnost svih sudionika u prometu. Daljnja istraživanja trebala bi se usmjeriti na analizu troškovne isplativosti primjene pasivno sigurnih stupova te razvoj preporuka za njihovu optimalnu implementaciju u cestovnoj infrastrukturi Republike Hrvatske. Provedene studije pokazuju da pravilna implementacija ovih stupova može značajno smanjiti težinu ozljeda putnika u vozilu, ali je pritom važno uzeti u obzir troškove ugradnje i održavanja kako bi se osigurala isplativost rješenja.

REFERENCE

1. World Health Organization. Global status report on road safety 2023. Geneva, 2023.
2. World Health Organization. Road traffic injuries. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
3. Mobility and Transport. 20,400 lives lost in EU road crashes last year. Dostupno na: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/20400-lives-lost-eu-road-crashes-last-year-2024-10-10_en
4. Fatality Facts . Collisions with fixed objects and animals. Dostupno na: <https://www.iihs.org/topics/fatality-statistics/detail/collisions-with-fixed-objects-and-animals>
5. What are possible disadvantages attached to public lighting? Dostupno na: <https://swov.nl/en/fact/lighting-what-are-possible-disadvantages-attached-public-lighting>
6. Ko, M., Nho, M., Kim, K., Yun, D., Park, J. Development of Passively Safe Post Using Momentum Principle and Crushing of Energy Absorbing Module. *Procedia Engineering*. 2016, 161, 1109–1118. doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.516.
7. Jedliński, T. I., Buśkiewicz, J. Numerical and experimental analyses of lighting columns in terms of passive safety. *AIP Conference Proceedings*. 2018, 150010. doi: 10.1063/1.5019163.
8. Jedliński, T., Buśkiewicz, J., Fritzkowski, P. Numerical and Experimental Analyses of a Lighting Pole in Terms of Passive Safety of 100HE3 class. *Vibrations in Physical Systems*. 2020, 31, 2020307.
9. Michałek, J. Use of passive safety supporting structures. *E3S Web of Conferences*. 2019, 97, 03018. doi: 10.1051/e3sconf/20199703018.
10. Roque, C., Cardoso, J. L., Martensen, H., Lequeux, Q. The influence of high energy absorbing passive safe poles in run-off-road crash severity. *Journal of Safety Research*.

2024, 91, 217–229. doi: 10.1016/j.jsr.2024.09.013.

11. Warwickshire County Council. Use of Passively Safe Street Furniture on Warwickshire County Council Highways. 2022. Dostupno na: <https://api.warwickshire.gov.uk/documents/WCCC-1615347118-1513>
12. Bambach, M. R., Mitchell, R. J., Mattos, G. A. Mean Injury Costs of Run-Off-Road Collisions with Fixed Objects: Passenger Vehicles and Motorcycles. *Journal of Transportation Safety & Security*. 2015, 7(3), 228–242. doi: 10.1080/19439962.2014.947395
13. Williams, G. L., Kennedy, J. V., Carroll, J. A., Beesley, R. The Use of Passively Safe Signposts and Lighting Columns. *Berkshire*. 2008.
14. Policijska uprava sisačko-moslavačka. U prometnoj nesreći 22-godišnjak zadobio ozljede opasne za život. Dostupno na: <https://sisacko-moslavacka-policija.gov.hr/vijesti-8/u-prometnoj-nesreci-22-godisnjak-zadobio-ozljede-opasne-za-zivot-27995/27995>
15. Cityportal.hr. Smrt na Ježdovečkoj cesti: Naletio na metalnu ploču pa na stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://cityportal.hr/foto-smrt-na-jezdoveckoj-cesti-naletio-na-metalnu-plocu-pa-na-stup-javne-rasvjete/>
16. Večernji list. Teška nesreća u Zagrebu: Sletio s ceste i udario u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://www.vecernji.hr/vijesti/teska-nesreca-u-zagrebu-sletio-s-cestes-i-udario-u-stup-javne-rasvjete-1318319>
17. Net.hr. Stravični prizori mjesta nesreće: Mlada vozačica autom sletjela s ceste i zabila se u stup, na mjestu poginula. Dostupno na: <https://net.hr/danas/crna-kronika/stravicni-prizori-mjesta-nesrece-mlada-vozacica-autom-sletjela-s-cestes-i-zabila-se-u-stup-na-mjestu-poginula>
18. Glas Istre. Tragična smrt 17-godišnjaka iz Rovinja: U oštrom zavoju izgubio kontrolu i motociklom udario u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://www.glasistre.hr/crna-kronika/tragicna-smrt-17-godisnjaka-iz-rovinja-u-ostrom-zavoju-izgubio-kontrolu-i-motociklom-udario-u-stup-javne-rasvjete-585005>
19. Net.hr. Oduzela prednost autobusu pa udarila u stup javne rasvjete: Ozlijeđeni prevezeni u bolnicu; policija obavlja očevid. Dostupno na: <https://net.hr/danas/crna-kronika/oduzela-prednost-autobusu-pa-udarila-u-stup-javne-rasvjete-ozlijedeni-prevezeni-u-bolnicu-policija-obavlja-ocavid-9077a9a0-b1c8-11eb-8081-0242ac140051>
20. Drava.info. Stupovi javne rasvjete na meti vozila, čak dva se zabila u njih. Dostupno na: <https://drava.info/2019/06/stupovi-javne-rasvjete-na-meti-vozila-cak-dva-se-zabila-u-njih/>
21. OTVORENO.hr. Detalji tragične nesreće u Zagrebu: Sa 1,79 promila sletio s ceste i udario u stup javne rasvjete, poginula putnica. Dostupno na: <https://www.otvoreno.hr/vijesti/detalji-tragicne-nesrece-u-zagrebu-sa-179-promila-sletio-s-cestes-i-udario-u-stup-javne-rasvjete-poginula-putnica/308002>
22. ICV. Izgubio nadzor nad automobilom i zabio se u stup javne rasvjete: Srušio ga na obiteljsku kuću. Dostupno na: <https://www.icv.hr/vijesti/crna-kronika/izgubio-nadzor-nad-automobilom-i-zabio-se-u-banderu-srusio-ju-na-obiteljsku-kucu/>
23. SB Online. NESVAKIDAŠNJI SLUČAJ: Automobilom udario u stup javne rasvjete, ima ozlijeđenih. Dostupno na: <https://sbonline.net/nesvakidasnji-slucaj--automobilom-udario-u-stup-javne-rasvjete--ima-ozlijedenih-490>
24. ePODRAVINA.hr. U teškoj nesreći ozlijeđena jedna osoba, srušen je stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://epodravina.hr/foto-u-teskoj-nesreci-ozlijedena-jedna-osoba-srusen-je-stup-javne-rasvjete/>

25. DNEVNO.hr. Pijanom vožnjom sletio s ceste te 'pokupio' ogradu, stup javne rasvjete i hidrofor: U prometnoj nesreći ozlijeđena dvojica mladića. Dostupno na: <https://www.dnevno.hr/vijesti/crna-kronika/pijanom-voznjom-sletio-s-cest-te-pokupio-ogradu-stup-javne-rasvjete-i-hidrofor-u-prometnoj-nesreci-ozlijedena-dvojica-mladica-1847465/>
26. 034portal. Osobnim automobilom zabio se u stup javne rasvjete u Trenkovu, preminuo u bolnici. Dostupno na: <https://www.034portal.hr/osobnim-automobilom-zabio-se-u-stup-javne-rasvjete-u-trenkovu-907>
27. Varazdinski.hr. Pijan se zabio u stup javne rasvjete, a potom u metalnu ogradu. Dostupno na: <https://varazdinski.net.hr/vijesti/crna-kronika/81359/pijan-se-zabio-u-stup-javne-rasvjete-a-potom-u-metalnu-ogradu/>
28. Policijska uprava međimurska. Vozilom udario u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://medjimurska-policija.gov.hr/vijesti/vozilom-udario-u-stup-javne-rasvjete/22364>
29. Večernji list. Neobična prometna nesreća: Vozač kočijom udario u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://www.vecernji.hr/vijesti/neobicna-prometna-nesreca-vozac-kocijom-udario-u-stup-javne-rasvjete-1617449>
30. Podravski list. Pogledajte što je izvela vozačica škode: Sletjela i pokupila stup, nasreću samo materijalka. Dostupno na: <https://podravski.hr/pogledajte-sto-je-izvela-vozacica-skode-sletjela-i-pokupila-stup-nasrecu-samo-materijalka/>
31. Dalmacija danas. Vozač srušio stup javne rasvjete, a policija u očevidu tvrdi da je nepoznat. Dostupno na: <https://www.dalmacijadanas.hr/vozac-srusio-stup-javne-rasvjete-a-policija-u-ocevidu-tvrdi-da-je-nepoznat>
32. Medjimurski.hr. NESREĆA U PRELOGU Vozačica udarila u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://medjimurski.hr/nesreca-u-prelogu-vozacica-udarila-u-stup-javne-rasvjete/>
33. Kronika požeško-slavonska. Zaspao tijekom vožnje, sletio i udario u stup javne rasvjete - ozlijeđene dvije osobe. Dostupno na: <https://pozeska-kronika.hr/crna-kronika/item/22673-zaspao-tijekom-voznje,-sletio-i-udario-u-stup-javne-rasvjete-ozlijedene-dvije-osobe.html>
34. Index.hr. Objavljeni detalji nesreće kod maksimirskog stadiona u kojoj je od BMW-a ostalo ovo. Dostupno na: <https://www.index.hr/vijesti/clanak/objavljeni-detalj-nesrece-kod-maksimirske-stadiona-u-kojoj-je-od-bmwa-ostalo-ovo/2517539.aspx>
35. DNEVNIK.hr. Nesreća kod Zaprešića: Auto se zabio u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://dnevnik.hr/vijesti/crna-kronika/nesreca-kod-zapresica-auto-se-zabio-u-stup-javne-rasvjete---820070.html>
36. ePODRAVINA.hr. Vozačici (54) pozlilo u vožnji, sletjela s ceste i ozlijedila se pri udarcu u betonski stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://epodravina.hr/vozacici-54-pozlilo-u-voznji-sletjela-s-cest-i-ozlijedila-se-pri-udarcu-u-betonski-stup-javne-rasvjete/>
37. IstraIN. Nesreća na Šijanskoj cesti: Mladić (20) udario u stup javne rasvjete pa pobjegao. Dostupno na: <https://istra.in.hr/crna-kronika/vijesti/676d2b4dadca8/nesreca-na-sijanskoj-cesti-mladic-20-udario-u-stup-javne-rasvjete-pa-pobjegao/vijest>
38. Danica.hr. Vozač nije uspio svladati zavoj pa se zabio u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://danica.hr/vozac-nije-usprio-svadati-zavoj-pa-se-zabio-u-stup-javne-rasvjete/>
39. Regionalni tjednik. U Novom Marofu vozio auto s više od 2 promila pa sletio u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://regionalni.com/u-novom-marofu-vozio-auto-s-vise-od-2-promila-pa-sletio-u-stup-javne-rasvjete/>
40. 034portal. Pijani "majstor" Passatom pokosio stup javne rasvjete. Dostupno na:

<https://www.034portal.hr/navodno-pijani-majstor-passatom-pokosio-stup-javne-rasvjete-376>

41. Varazdinski.hr. Gospođa popila, sjela za volan pa se zabila u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://varazdinski.net.hr/vijesti/crna-kronika/13401491/gospoda-popila-sjela-za-volan-pa-se-zabila-u-stup-javne-rasvjete/>
42. Sjeverni.info. 49-godišnjakinja s 1,47 promila sletjela s ceste i udarila u metalni stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://www.sjeverni.info/49-godisnjakinja-s-147-promila-sletjela-s-ceste-i-udarila-u-metalni-stup-javne-rasvjete/>
43. Istarski.hr. Vozio zabranjenim smjerom, najprije udario u prometni znak, pa u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://istarski.hr/node/105779-vozio-zabranjenim-smjerom-najprije-udario-u-prometni-znak-pa-u-stup-javne-rasvjete>
44. Novi list. Prednjim dijelom auta udario u stup javne rasvjete pa pobjegao s mjesta nesreće, ubrzo pronađen, vozio sa 2,23 promila. Dostupno na: https://www.novolist.hr/novosti/crna-kronika/prednjim-dijelom-auta-udario-u-stup-javne-rasvjete-pa-pobjegao-s-mjesta-nesrece-ubrzo-pronaden-vozio-sa-223-promila/?meta_refresh=true
45. Ri portal. Državljanin Njemačke prebrzo vozio moped i zabio se u metalni stup javne rasvjete... Nastradao je i putnik koji je bio s njim. Dostupno na: <https://riportal.net.hr/crna-kronika/rab-drzavljanin-njemacke-prebrzo-vozio-moped-i-zabio-se-u-metalni-stup-javne-rasvjete-nastradao-je-i-putnik-koji-je-bio-s-njim/462955/>
46. Podravski.hr. Teška nesreća jutros kod Ludbrega. Intervenirali vatrogasci. Dostupno na: <https://podravski.hr/foto-teska-nesreca-jutros-kod-ludbrega-vatrogasci-iz-auta-izvlacili-vise-prikljestenih-osoba/>
47. evarazdin.hr. Čini se da rotor vozačima u subotu po noći predstavljaju malo veći problem. Dostupno na: <https://evarazdin.hr/crna-kronika/cini-se-da-rotori-vozacima-u-subotu-po-noci-predstavljaju-malo-veci-problem-408851/>
48. Zadarski.hr. Prometna nesreća na Liburnskoj obali, vozio unazad pa ošteti stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://zadarski.slobodnadalmacija.hr/zadar/kalelarga/prometna-nesreca-na-liburnskoj-obali-vozio-unazad-pa-ostetio-stup-javne-rasvjete-1447715>
49. Novi list. Automobilom sletjela u putni jarak i udarila u betonski stup javne rasvjete. Ozlijeđeno dijete koje nije bilo vezano. Dostupno na: https://www.novolist.hr/novosti/crna-kronika/automobilom-sletjela-u-putni-jarak-i-udarila-u-betonski-stup-javne-rasvjete-ozlijedeno-dijete-koje-nije-bilo-vezano/?meta_refresh=true
50. Klikaj.hr. Vozačica (19) udarila u stup javne rasvjete pa sletjela s ceste i autom završila na krovu. Dostupno na: <https://klikaj.hr/vozacica-19-udarila-u-stup-javne-rasvjete-pa-sletjela-s-ceste-i-autom-zavrsila-na-krovu/>
51. 01Portal. Kombijem jutros sletio s ceste i udario u stup javne rasvjete. Dostupno na: <https://01portal.hr/video-kombijem-jutros-sletio-s-ceste-i-udario-u-stup-javne-rasvjete/>
52. Istra Terra Magica. U novogodišnjoj noći jedna prometna nesreća u Istri: Pijan izgubio nadzor i zabio se u stup rasvjete. Dostupno na: <https://www.istriaterramagica.eu/novosti/crna-kronika/u-novogodisnjoj-noci-jedna-prometna-nesreca-u-istri-pijan-izgubio-nadzor-i-zabio-se-u-stup-rasvjete/>
53. Tklačević Lakušić, V., Babić, D. Passively safe poles along roads as a measure to increase traffic safety. Građevinar. 2025, 77. (in process of publication)
54. Sapa Pole Products. Passively safe lighting columns. 2015.

55. Milne, D. The Passive Revolution Guidelines. DESIGNING SAFER ROADSIDES. 2008.
56. Hydro. Passive safe light poles and support structures. Oslo, 2021.
57. Association for Road Traffic Safety and Management. Passively Safe Products Guidance. 2024.
58. Tkalčević Lakušić, V. Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila. Građevinar. 2012, 64(4); 305-313.
59. Tkalčević Lakušić, V. Analiza stupova uz prometnice iz aspekta sigurnosti u prometu, Projektiranje prometne infrastrukture. Zagreb, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, 2011. str. 321-346
60. European Committee for Standardization: EN 12767:2019, Passive safety of support structures for road equipment – Requirements and test methods.
61. European Committee for Standardization: EN 12767:2007 Passive safety of support structures for road equipment – Requirements and test methods
62. Riser, Roadside Infrastructure for Safer European Roads, D03: Critical Vehicle and Infrastructure Interactions, 2006., Dostupno na: https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/Roadside_infrastructure_for_safer_European_Roads_D03_Critical_vehicle_and_infrastructure_interactions/9354062?file=16963859
63. Pali Campion / ATLANTECH. Passive safety post and foundation system in accordance with EN 1267, Dostupno na: <https://www.palicampion.it/site/uploads/ENG%20save%20passyve%20safety%20post%20and%20foundation%20system%20en12767.pdf>

UMJETNA INTELIGENCIJA I SIGURNOST U PROMETU – NAJSUVREMENIJE AI PRIMJENE ZA SIGURNOST U PROMETU U NIZOZEMSKOJ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TRAFFIC SAFETY STATE- OF-THE-ART AI APPLICATIONS FOR TRAFFIC SAFETY IN THE NETHERLANDS

Zoran Kenjić, M.C.Eng., zoran.kenjic@rws.nl

Ministry of Infrastructure and Water Management, Netherlands, Rijkswaterstaat

SAŽETAK

Umjetna inteligencija (AI) igra sve važniju ulogu u poboljšanju sigurnosti u prometu i smanjenju broja prometnih nesreća. Nizozemska, kao predvodnik u inovacijama mobilnosti, integrira AI u pametne semafore, prediktivne modele, detekciju incidenata i napredne sustave za pomoć vozačima (ADAS). Primjene poput TrafXSAFE sustava u Haagu, AI-vođenih nadzornih kamera i dinamičkih sustava upravljanja prometom pokazuju kako se AI učinkovito koristi za predviđanje opasnih situacija i poboljšanje infrastrukture. Unatoč impresivnom napretku, i dalje postoje izazovi vezani uz privatnost, sigurnost podataka i prihvaćanje od strane javnosti. Ovaj članak pruža pregled trenutnih razvoja i budućih perspektiva, s naglaskom na ulogu AI u stvaranju sigurnijeg i učinkovitijeg prometnog sustava.

Ključne riječi: Umjetna inteligencija, sigurnost u prometu, detekcija incidenata, pametni semafori, prediktivni modeli, autonomna vozila, Nizozemska.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is playing an increasingly significant role in improving traffic safety and reducing traffic accidents. The Netherlands, as a leader in mobility innovation, integrates AI into smart traffic lights, predictive models, incident detection, and Advanced Driver Assistance Systems (ADAS). Applications such as the TrafXSAFE system in The Hague, AI-driven enforcement cameras, and dynamic traffic management systems illustrate how AI is effectively used to predict hazardous situations and enhance infrastructure. Despite the impressive progress, challenges remain regarding privacy, data security, and public acceptance. This paper provides an overview of current developments and future perspectives, emphasizing AI's role in creating a safer and more efficient traffic system.

Keywords: Artificial Intelligence, traffic safety, incident detection, smart traffic lights, predictive models, self-driving vehicles, Netherlands.

1. INTRODUCTION

Road safety is a global problem, with more than 1.3 million deaths each year, according to the World Health Organization (WHO) [01]. The Netherlands, known for its innovative approach to infrastructure and mobility, is investing heavily in technological innovations such as Artificial Intelligence (AI) to reduce traffic accidents and optimize traffic flow.

AI plays a crucial role in tackling complex challenges such as traffic congestion, accident prevention and improving traffic flow. This article describes AI applications in the Dutch traffic sector, with an emphasis on practical examples, benefits, challenges and future developments.

2. WHAT IS ARTIFICIAL INTELLIGENCE?

Artificial intelligence refers to technology designed to perform tasks that typically require human intelligence, including learning, reasoning, and self-improvement. By analyzing collected data, AI systems identify patterns and generate valuable insights, enabling innovative and efficient solutions for the transportation sector that improve road safety.

3. AI APPLICATIONS IN THE DUTCH TRAFFIC SECTOR

In the Dutch traffic sector, AI applications are playing an increasingly important role in protecting drivers from accidents, regulating traffic more efficiently and improving overall road safety.

Talking Traffic [02] is a partnership between public and private parties that uses innovative technologies, including artificial intelligence, to make real-time traffic information available. This initiative contributes to a safer, more efficient and more sustainable mobility system in the Netherlands.

3.1. COMPARISON OF AI IN TRAFFIC MANAGEMENT VERSUS AI IN ROAD SAFETY

The applications of artificial intelligence (AI) in the transportation sector are diverse and impact both traffic management and road safety.

The role of AI in traffic management supports safety initiatives by reducing the risks of congestion and improving emergency response times. Conversely, safety applications such as accident prediction help improve traffic flow by minimizing disruptions. The integration of AI into dynamic traffic management ensures that safety measures such as adaptive speed limits are tailored to real-time traffic conditions.

Although these domains are intertwined, they differ in their goals and approaches. Below is a comparison of the role of AI within each area, highlighting their trade-offs and unique applications.

Characteristic	AI in traffic management	AI in road safety
Goal	Optimization of traffic flow, reduction of congestion	Preventing accidents, improving road safety
Focus	Real-time traffic control and dynamic adjustments	Identification and mitigation of high-risk situations
Examples	Smart traffic lights, dynamic speed limits	Incident Detection, Predictive Modeling for Hazardous Locations
Data usage	Data on traffic flows, vehicle locations	Accident data, weather information, driving behavior
Reaction systems	Adjustment of traffic lights	Activation of warning systems, driver assistance

Table: Comparison of AI applications in Traffic Management and Road Safety [Z.Kenjić]

4. AI IN TRAFFIC MANAGEMENT

AI algorithms, powered by traffic data, can predict and optimize traffic patterns in real time and are at the heart of Dynamic Traffic Management (DTM). The primary goal of DTM is to reduce congestion, reduce travel times and improve road safety by using large amounts of traffic information collected from sensors, cameras and connected vehicles in combination with predictive models.

4.1. REAL-TIME TRAFFIC ANALYSIS AND OPTIMIZATION

Real-time traffic analysis and optimization are applied via smart traffic lights and dynamic speed limits:

- Smart traffic lights : Intelligent traffic control systems (iVRIs) work similarly to loops in the road surface, which detect traffic and adjust the signal cycle. iVRIs also receive anonymous signals from navigation systems, which further increases efficiency. There are currently 1,450 of these traffic lights in operation in the Netherlands. Rijkswaterstaat manages 22 and wants to expand this number [03].



Image: Smart traffic lights [Photo: Twan de Veer][03]

- Flitsmeister integration : Flitsmeister [04] users receive notifications about approaching traffic lights and dangerous situations, such as stationary vehicles, helping them adjust their speed and drive more safely.



Image: Flitsmeister information [04]

- Dynamic speed limits : AI adjusts speed limits on busy roads to reduce sudden braking and prevent pile-ups. This increases road safety through smaller speed differences, better traffic flow and fewer accidents [05].



Image: Speed limits [05]

4.2. REAL-TIME DATA ANALYSIS AND MONITORING

Real-time data analysis is at the heart of traffic monitoring. AI improves emergency response times, which is essential for road safety.

The National Traffic Databank (NDW) [06] continuously collects and analyses data from thousands of measuring points. With AI, the NDW predicts traffic patterns, warns of delays and suggests alternative routes. This data supports systems such as smart traffic lights, which improve traffic flow by adapting to current traffic conditions.

4.3. REAL-TIME COMMUNICATION BETWEEN VEHICLES AND TRAFFIC SYSTEMS

AI enables direct communication between vehicles and traffic infrastructure, providing information on traffic density, road conditions, weather, and emergency services. Vehicle-to-vehicle (V2V) communication ensures that drivers are warned of potential hazards, improving their reaction time [07].

4.4. PREDICTING INCIDENTS

AI systems analyze historical traffic data, weather conditions, and traffic cameras to predict incidents. They identify stationary vehicles and accidents in real time, allowing traffic control centers to respond quickly and prevent secondary accidents. Rijkswaterstaat [09] uses AI for incident detection, leading to faster response and reduced risk of follow-up incidents.

4.5. PREDICTIVE MODELS

AI models combine historical and real-time data to predict traffic situations and optimize traffic flows. Examples include:

- Project “Road Monitor” (ROMO) : A collaboration between Rijkswaterstaat and Mercedes-Benz, in which vehicle sensors monitor road conditions to improve safety, maintenance and combating slippery conditions [10].



Image: Start moment of the ROMO project [Rijkswaterstaat] [10]

- Ford’s Connected Vehicle Project : This project collects data on braking behavior and speed to predict crash risks and improve infrastructure. It sends alerts directly to vehicles, making urban traffic systems safer [11].



Image: FORD CONNECTED CAR TECHNOLOGY [11]

5. AI IN ROAD SAFETY

Artificial intelligence plays a crucial role in reducing risks and preventing traffic accidents. In the Netherlands, AI is being used to detect dangerous situations, predict accidents and support proactive safety measures, while helping drivers navigate more safely.

5.1. KEY CONTRIBUTIONS OF AI TO ROAD SAFETY

- **Predicting traffic accidents** : AI systems analyze historical and real-time data to identify high-risk situations before they occur. By evaluating factors such as traffic flow, weather conditions, and driver behavior, locations and times of day with increased risk can be identified. This enables targeted safety measures, such as infrastructure adjustments and warning systems.
- **Real-time monitoring and incident management** : AI processes data from sensors and cameras in real time to quickly detect incidents, shorten emergency response time, and prevent secondary accidents.
- **Driver Assistance Systems** : AI is the foundation of advanced driver assistance systems (ADAS), such as automatic emergency braking and lane-keeping. These systems help drivers avoid accidents by issuing warnings or actively intervening if necessary.
- **Traffic flow optimization** : By organizing traffic more efficiently, AI helps reduce congestion and accident risks. Smart traffic lights and integrated traffic systems ensure better flow, which not only promotes safety, but also contributes to more environmentally friendly traffic.
- **Hazardous Location Risk Management** : By analyzing accident data and traffic patterns, AI identifies hazardous locations. This enables proactive measures such as improved road design, better lighting, and clearer signage.

5.2. EXAMPLE: PROACTIVE ROAD SAFETY IMPROVEMENT WITH INTELLIGENT SOFTWARE

TrafxSAFE, developed by Transoft [12], uses advanced AI and machine learning to analyze traffic patterns from video footage. The system identifies near-misses and risky interactions between road users, enabling a preventive approach. Unlike traditional methods that only use accident statistics, TrafxSAFE provides insight into potential hazards before incidents occur.

TrafxSAFE objectively and automatically classifies incidents based on severity and crash probability, allowing traffic experts to implement data-driven safety measures. A recent application in The Hague focused on improving cycling infrastructure, demonstrating the system's effectiveness. Privacy concerns are addressed through anonymization techniques and data processing within the EU, in accordance with applicable regulations.



Image: Driving lines: before analysis and after analysis [12]

6. STEPHEN HAWKING'S INSIGHTS ON AI

In his book *The Answers to the Big Questions* [13], Stephen Hawking offers valuable perspectives on the opportunities and risks of artificial intelligence (AI), which are also relevant for road safety and traffic management:

- **Technological advances and risks** : Hawking warns that future AI systems could exceed human intelligence, requiring careful regulation to put safety before efficiency.

“The rapid advances in AI could lead to systems that exceed human intelligence. This calls for vigilance in designing AI-driven traffic systems that prioritize safety.”

- **Autonomous Systems and Safety Risks** : His insights on autonomous weapons parallel concerns about autonomous vehicles, with an emphasis on strict safety standards and ethical frameworks.

“Hawking highlights the risks of unsupervised systems. Road safety requires robust safety protocols for autonomous vehicles and AI-based enforcement.”

- **Long-term planning** : His analogy of AI as a superior civilization emphasizes the need for proactive urban mobility policies.

“As AI develops, proactive planning is essential to balance efficiency and safety in urban mobility.”

7. CONCLUSION

Artificial intelligence (AI) offers transformative opportunities for traffic management and road safety, but also brings unique challenges.

In traffic management, AI enables real-time optimization of traffic flows, reducing congestion and increasing efficiency. Technologies such as smart traffic lights and dynamic speed limits demonstrate how predictive models can improve urban mobility. However, the reliance on data-driven automation comes with risks if efficiency becomes more important than safety. Robust oversight mechanisms and adaptive algorithms are therefore essential.

In the area of road safety, AI can dramatically reduce traffic accidents by predicting risks and enabling proactive measures. Advanced driver assistance systems (ADAS) and real-time incident detection illustrate the life-saving potential of AI. However, without strict safety standards, autonomous vehicles could lead to unintended consequences. Hawking's warning about the rapid evolution of AI underscores the importance of ethical frameworks and safety controls to prevent autonomous systems from operating without human oversight.

The future of AI in traffic systems depends on a balance between technological innovation and risk management. By combining proactive regulation, ethical governance and investment in safety-first design, the benefits of AI can be realized while protecting human lives and values.

8. REFERENCES

- [01] WHO. (2021). Global status report on road safety 2021 . World Health Organization.
<https://www.who.int> .
- [02] Talking Traffic Partnership <https://www.nederlanddigitaal.nl/informatie/partnership-talking-traffic>
- [03] Rijkswaterstaat, Smart traffic lights: how do they work?, 2024 <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2024/05/slimme-verkeerslichten-hoe-werken-ze>
- [04] Flitsmeister <https://www.flitsmeister.nl>
- [05] Knowledge Network SPV, Effectiveness Indicator (21- Dynamic speed limits), 2024
<https://Aanpakspv.nl/kenniscatalogue/>
- [06] NDW, Government, get started with AI yourself, 2024 <https://www.ndw.nu/actueel/nieuws/2024/6/26/overheid-ga-zelf-met-ai-aan-de-slag>
- [07] VIVO World,
<https://vivowereld.nl/hoe-dragert-ai-bij-aan-betere-verkeersveiligheid/>
- [08] TrafficQuest, 2021, https://www.traffic-quest.nl/downloads/2021-10_rapport_challenge_ai_in_verkeersmanagement_v1.0.pdf
- [09] Rijkswaterstaat Incident Management
<https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/incidentmanagement>
- [10] Road Monitor ROMO. (2022). Smart road management systems .
<https://dmi-ecosysteem.nl/blog/doelen-van-het-project-road-monitor/>
- [11] [FORD CONNECTED CAR TECHNOLOGY]
<https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/nl/nl/news/2021/07/13/ford-connected-car-technologie-in-smart-cities--alerts-.html>
- [12] TrafXSAFE , Transoft Solutions , www.transoftsolutions.com
<https://www.mobiliteitsplatform.nl/artikelen/proactie-verkeersveiligheid-verbeteren-met-intelligente-software>
- [13] Stephen Hawking, Brief Answers to the Big Questions, Chapter 9-WILL ARTIFICIAL INTELLIGENCE OUTSMART US

PROPERTIES AND MECHANISM OF REACTIVE MODIFIERS TO ENHANCE BITUMEN BINDER FOR FLEXIBLE ASPHALT PAVEMENT

Olivier Fleischel^{1*}, Waldemar Schatz²

Affiliation and address:

¹BASF SE, 67056 Ludwigshafen am Rhein, Germany,

² BASF Polyurethane GmbH

ABSTRACT

A new class of reactive modifier based on isocyanate chemistry has been developed to modify bitumen, but a direct use via a wet process is easily feasible at the asphalt mixing plant as well. Although the specification system for polymer modified bitumen revolves around the specific use of thermoplastic elastomers, liquid reactive polymers demonstrated promising results and are already in use in many European countries. The increase of mechanical and thermal stresses on roads are responsible for the rapid deterioration of the asphalt layers. The most effective solution to face those challenges is the transformation of the asphalt binder and to upgrade it to a material with better engineering properties. The aim of this paper is to present the advancement in the field of new additives for road construction, specifically for flexible asphalt pavement and how to enhance the overall properties, for instance, towards the rise of temperature over summertime (heat islands effect).

Keywords: polymer modified bitumen (PmB), reactive modifier, highly modified bitumen, deformation resistant asphalt

DATA ON THE AUTHORS:

- Olivier Fleischel, PhD in Organic Chemistry. Business development Manager & Vice Chair at the European Research Executive Agency (REA) ; E-mail *corresponding author: olivier.fleischel@basf.com ; BASF SE , Carl Bosch Strasse 38, 67056 Ludwigshafen.

- Waldemar Schatz, Marketing & Specialist Technical Service, BASF Polyurethane GmbH, Elastogranstrasse 60, 49448, Lemförde, Germany

INTRODUCTION

Climate change poses a threat to the sustainable development of cities. The warming caused by climate change is about 50% to 150% greater in urban areas than in non-urban areas (Figure 1) [1] and is more pronounced in South part of Europe. It leads to the formation of so-called urban heat islands, which result to significant temperature increases on road surfaces and many cities in Europe will experience more frequent extreme climate events. Among all, health issues are one of the major challenges, but also road infrastructure will suffer of such repeated heat waves. Indeed, these temperature rises lead to the need for a more resilient transport infrastructure to avoid early rutting on the road surfaces. This brings up the question if today's asphalt roads meet future requirements and what possibilities exist to design or produce temperature-resistant asphalt layers.

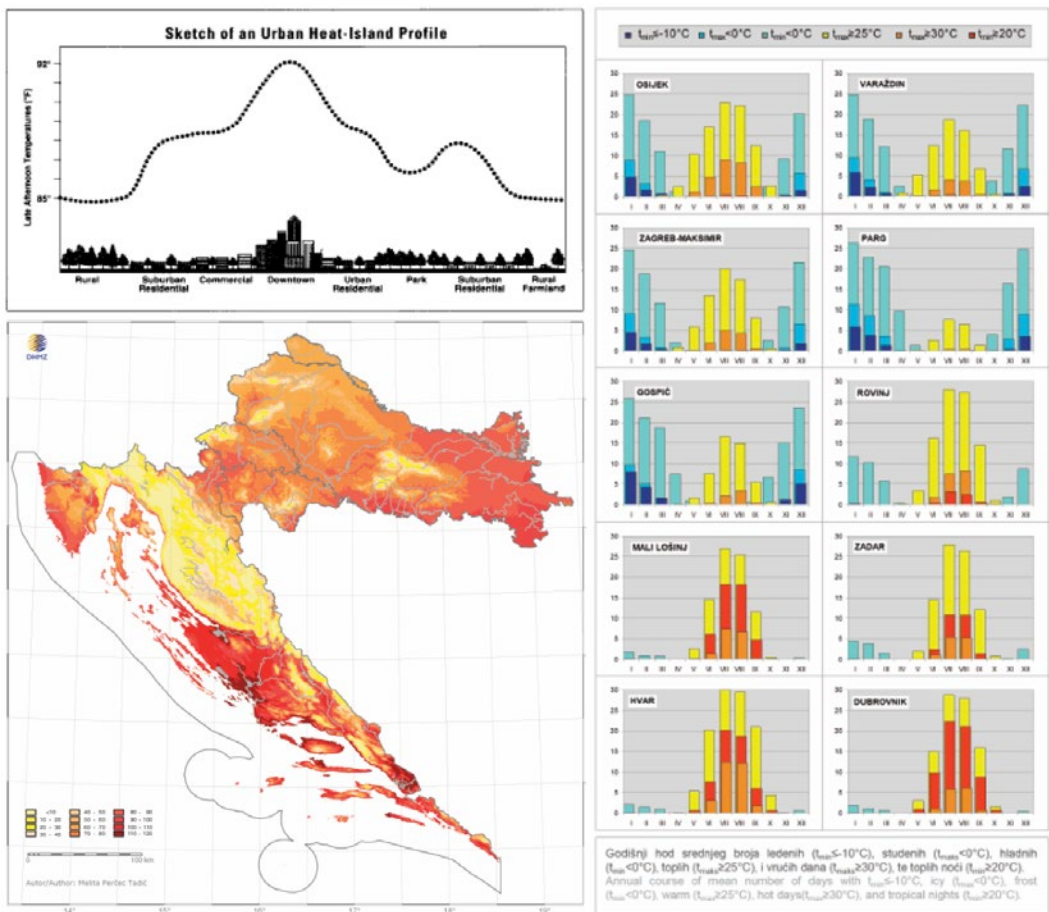


Figure 1: a) Representation of an urban heat-island profile [1] Cooling Our Communities – A Guidebook On Tree Planting and Light-Colored Surfacing” U.S. Environmental Protection Agency 22P-2001, January 1992. b) Annual number of warm days in Croatia ($t_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) [2] K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, M. Vučetić, J. Milković, A. Bajić, K. Cindrić, L. Cvitan, Z. Katušin, D. Kaučić, T. Likso, E. Lončar, Ž. Lončar, D.j Mihajlović, K. Pandžić, M. Patarčić, L. Srnc, V. Vučetić, Climate Atlas of Croatia, 2008, ISBN: 978-953-7526-01-6

Hence, additives were introduced to improve the overall properties of bitumen and of the resulting asphalt since the last 50 years. Zhu et al. [3] gave a non-exhaustive overview

on the known modifications of bitumen binder prior to 2014. This publication is gathering the advances and challenges in the field of bitumen polymer modification and is covering many aspects of already published literature in this field. Furthermore, Eurobitume and the Asphalt Institute provided a complete list of additives in use in bitumen and asphalt mixes [4], and this gives already many tools to readapt the bitumen properties towards local requirements. Some aspects This paper’s aim is to complement the existing know-how and to give some more details on actual search on reactive modification and functionalization of the bitumen binder.

Table 1: Overview of additives in use in bitumen and asphalt

Polymer and rubber modifiers	Fillers
Modification of bitumen with polymers is a well-established practice. Natural and synthetic polymers have been used to adjust bitumen properties since the early 20th century. More recently, many synthetic polymers have been utilized to enhance the properties of bitumen. Typical modifiers are: • Thermoplastic Elastomers (i.e. styrenic block copolymers (SBS, SEBS), polyolefin blends, thermoplastic polyurethane) • Thermoplastics/Plastomers (i.e. polypropylene (PP), polyethylene (PE), ethylene vinyl acetate (EVA)) • Elastomers (i.e. natural rubber, synthetic rubber, polybutadiene, butyl rubber) • Natural Polymers (i.e. lignin/cellulose) • Crumb Rubber (i.e. reclaimed tyres) • Reactive Elastomeric Terpolymers (i.e. glycidyl methacrylate copolymers) The latter polymer type, reactive elastomeric terpolymers, is already combing the effects of a polymer backbone in its structure with reactive groups able to react with bitumen constituents.	The addition of special fillers or modifiers is used to improve stiffness and viscosity characteristics. This category includes: • Mineral fillers (i.e. limestone, fly ash and clay) • Adhesion promoters (i.e. hydrated lime) • Fibers (i.e. natural - cellulose, synthetic - polypropylene) • Natural asphalts (i.e. Trinidad Lake Asphalt, Gilsonite) • Recycled asphalt materials (i.e. recycled asphalt pavement and recycled asphalt shingles)
Chemical modifiers	Extending and blending agents
Chemical modification is often used to address specific performance attributes. Chemical additives include: • Adhesion promoters (e.g. fatty amine derivatives, imidazolines) • Surfactants, chemical lubricating additives or waxes for warm mix systems • Phosphorous compounds (e.g. phosphorous pentoxide, polyphosphoric acid) • Elemental sulphur • Maleic anhydride • Odor suppressants, scavengers, and masking agents	Adding extender agents is one of the oldest methods of modifying bitumen and it includes products like: • Waxes (e.g. synthetic, such as Fischer Tropsch; natural, such as Montan; and amide derivatives, such as ethylene bis-stearamide) • Biogenic additives (e.g. vegetable-based components)

[4] A joint publication of Asphalt Institute & Eurobitume, The Bitumen Industry, A Global Perspective: Production, Chemistry, Use, Specification and Occupational Exposure, 2024, 4th edition.

Of the polymers listed above, thermoplastic elastomers account for the most extensive use of polymers in bitumen modification. These products typically stiffen bitumen at high temperatures and make bitumen more flexible at low temperatures, giving bitumen the

best range of properties to address desired performance characteristics depending on the end use. Although many of the polymer types listed above are used in the modified bitumen space, elastomeric polymers, such as SBS, have dominated the market for both paving and waterproofing applications. These polymeric additives generally range from 1-8% by weight of the bitumen, depending on the application, with typical levels being 3-5% by weight for Polymer modified Bitumen (PmB) used in the paving industry. SBS for PmB is indeed dominating the European market and the main requirement that now falls into the specification for PmB, the so-called elastic recovery, is specific to elastomeric modification with SBS and all specifications of PmB revolves around SBS modification. While many experts in the industry agree that the elastic recovery is a quality control test, this specific binder assessment has been included into the norm system to specify PmB. Not only into the specifications, but as well as in tenders and projects calls, one can see the requirements for elastic recovery being given and required for road infrastructure projects.

This frame limits the development of innovative additives that could have a similar performance into bitumen and asphalt, while not fulfilling the elastic recovery.

However, drawbacks exist with SBS and the existing specification system limits further developments in the field of bitumen polymer modification. To solve some known issues many researchers have investigated diverse ways [3], like:

- sulfur vulcanization to improve storage stability
- addition of antioxidants to reduce oxidation of the bitumen binder
- adding hydrophobic clay mineral to improve storage stability and increase ageing resistance
- using reactive polymers to improve compatibility and enhance high temperature properties.

The combination of increased climate-related demands on the performance properties of asphalts and simultaneously increasing quotes of asphalt granulate - with the use of ready-to-use polymer-modified binder - represents a major challenge for asphalt mix producers. Especially, with high rates of recycled asphalt in all asphalt layers, the required level of modification of the asphalt mix reaches its limits via polymer-modified bitumen (PmB) delivered with a defined content of polymers. In addition to physical blends of bitumen and polymers, another well-known way to improve the binder properties is through chemical modification with reactive polymers, which was already disclosed in The Shell Bitumen Handbook, "The Modification of Bitumen by Reactive Chemistry".

Reactive polymers are examples that should not be excluded of any uses in bitumen. These reactive polymers are modifiers which react chemically with constituents of bitumen. It is believed that the reactive polymers will rather react with the polar fraction of bitumen (i.e. asphaltenes), rather than physically interacting with the colloid phases of bitumen (Figure 2). Since the nature of an isocyanate modification is very different from an SBS elastomeric modification, the elastic recovery is obviously difficult to obtain. Providing a fine crosslinked polymeric network by modification with a polyurethane-precursor additive (Figure 2), small and discrete displacements can be compensated well (like the ones on roads), whereas withstanding very large displacements (like for the elastic recovery test) having no practical relevance cannot be achieved by the nature of the modification [17].

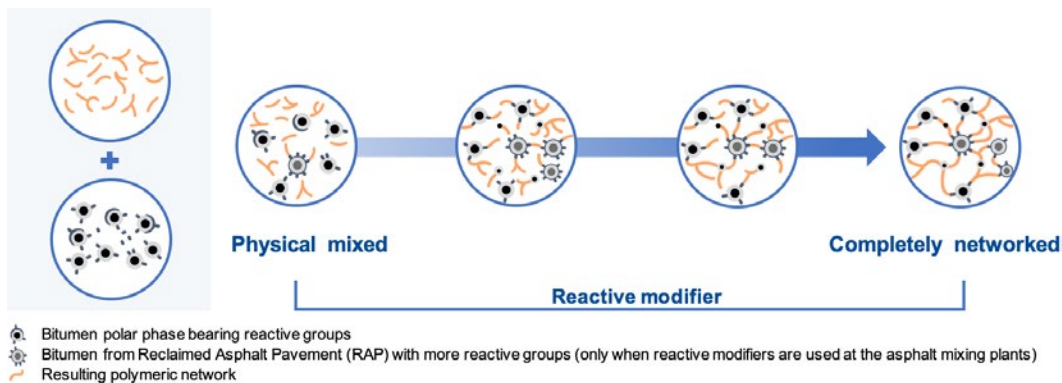


Figure 2: Representation of reactive modification of bitumen with multifunction reactive polymer and polymeric network formation. Source: BASF.

Reactive polymers described in the literature include reactive ethylene-based polymers (i.e. containing epoxy ring) and isocyanate-based polymers [5–17]. However, depending on the dosage rate and where such reactive polymers are used (to manufacture ready made bitumen or for a direct use at the asphalt mixing plant), this type of additives are falling into different categories and not only a single one as described in Table 1. A reactive modifier such as the polymeric reactive isocyanates are at the same time polymer modifiers, chemical additives, fillers enhancer/compatibilizer and combined the effect of extending agent. Such additive can be used as:

- polymeric modifier to stiffen the bitumen binder
- adhesion promoter
- odor suppressant (i.e. H₂S scavenger)
- Compatibilizer to add up to 50% of reclaimed asphalt
- Viscosity modifier or workability aid (possibility to produce warm mix asphalt)

Many studies were already published on reactive modifiers based on isocyanate chemistry [9–17]. It has been proven that isocyanate-based reactive polymers were able to increase the viscosity, improve the storage stability and rutting resistance of the resulting asphalt at elevated temperatures [10, 17].

Carreno et al. were the first to report in the literature the use of a certain type of polymeric reactive isocyanate to crosslink in-situ the bitumen constituents [17]. Moreover, following a certain process in bitumen, it is possible to modify a bitumen binder with polymeric isocyanate at lower mix production and laydown temperatures.

To solve the challenges of climate changes and to obtain a more resilient road infrastructure less prone to permanent deformation due to heat waves, it is however possible to combine the strengths of SBS polymers together with reactive polymeric modifiers. The aim of the study is to describe two paving trials: i) downtown Trier (Germany) on a lane specific to bus traffic; ii) on a logistic and manufacturing site of a large car maker (Germany).

MATERIALS AND METHODS

I. MATERIALS

PmBs 10/40-65 and 25/55-55, commercially available, were purchased from different bitumen suppliers or collected directly at the asphalt mixing plant. Those PMBs were modified with a reactive modifying additive, based on a specific polymeric isocyanate (AS P101) obtained from BASF SE, or the modified bitumen binder was extracted from the asphalt mix produced on site. The main properties of the additive (AS P101) are listed in Table 2.

Table 2: Main properties of the additive (AS P101)

Properties AS P101	
Chemical composition	isocyanate-based
Density (25 °C)	1,2 g/cm ³
Physical form	Black liquid

II. METHODS

The European standard to specify bitumen is based on penetration grade bitumen (EN 13924 and EN 12591). For unmodified bitumen, mainly two parameters are so far necessary to categorize bitumen: the softening point Ring&Ball and the needle penetration. Further developments are ongoing to introduce new testing like the Binder-fast-characterization-tests (BTSV). However, the BTSV method is usually well suited for unmodified bitumen, but non-accurate correlations were often observed in the case of modified bitumen with SBS.

The DSR (Anton Paar MCR 702 Multidrive and SmartPave 101) was used to run the novel Binder-Fast-Characterization-Test (or BTSV according to its German abbreviation). These tests were selected to assess the effect that the additive has on the bitumen on a wide range of temperatures and frequencies. All tests were performed within the linear visco-elastic (LVE) range, and with a plate-plate measuring system (with a diameter of 25 mm). Softening point Ring&Ball and the characteristic temperatures $T(G^* = 15 \text{ kPa})$ as well as corresponding phase angles $\delta(G^* = 15 \text{ kPa})$ (Binder-fast-characterization-tests, BTSV) were determined for each binder. The novel BTSV-test [18] was chosen since it has gained popularity in Germany and could soon replace the German specification procedure, which is still mainly relying on the needle penetration test and softening point test. In this test, the complex shear modulus and phase angle are measured while the temperature is increased from 20 °C to 90 °C at a rate of 1.2 K/min. The test is done with the 25 mm plate-plate geometry at a constant oscillatory shear stress of 500 Pa in stress-controlled mode, at a constant frequency of 10 rad/s. The temperature and phase angle at which the complex shear modulus reaches 15 kPa are the parameters used to characterize the binder. The temperature could be seen as the upper limit of the elastoplastic behavior of the binder and serves as the softening point, in this case determined through rheology. While the corresponding phase angle (δ_{BTSV}) provides information of the ratio between elastic and viscous behavior and can serve as an indicator of the degree of modification when binder modifiers are used. In [24], three modification levels are defined: unmodified ($\delta_{\text{BTSV}} > 75^\circ$), moderately modified ($65^\circ < \delta_{\text{BTSV}} < 75^\circ$), and highly modified ($\delta_{\text{BTSV}} < 65^\circ$).

To investigate the deformation behavior of bitumen, the multiple stress creep and recovery test (MSCRT) was used. The MSCRT is carried out in accordance with DIN EN 16659. This test is performed with a DSR and the 25 mm plate plate geometry. During the test the measuring gap is 1 mm. In Germany, the MSCRT is performed at 60 °C, since this is the

relevant temperature for rutting. The bitumen specimen is loaded by a creep phase lasting one second and a recovery phase lasting nine seconds. During the creep phase, a shear stress of 3,2 kPa is applied and during the recovery phase there is no stress applied. In the MSCRT, a total of ten cycles are performed, each consisting of a creep and recovery phase. The final results of the MSCRT are the arithmetical mean values of the recovery (R) and the non-recoverable creep compliance (J_{nr}) of all ten loading and unloading phases. R is the ratio of the viscoelastic strain from the maximum strain for each cycle. With R a bitumen modification with polymers can be identified and quantified. J_{nr} is the non-recovered strain after a complete cycle, related to the applied shear stress. The J_{nr} parameter can be used to analyze rutting performance because it shows a good correlation with asphalt rutting tests [19-20].

To classify PmBs, the elastic recovery according to DIN EN 13398 is used. In order to investigate elastic recovery, the bitumen specimens are stretched and cut. The recovery of the bitumen threads is then measured. The elastic recovery test is carried out on bitumen specimens produced in casting molds as described in DIN EN 13398. For the elastic recovery test, a special device called ductilometer is used. The ductilometer is needed to control the temperature and the extension speed during the test. The temperature during the test is 25 °C and the bitumen specimens are conditioned for 90 min. After the Conditioning the specimens are stretched to a length of 200 mm at a constant extension speed of 50,0 mm/min. Within 10 seconds after reaching the extension length, the bitumen specimen is cut in the middle with a pair of scissors. This results in the formation of two bitumen threads, the distance between them is measured after 30 minutes. The elastic recovery R_E corresponds to the percentage ratio of the distance between the bitumen threads and the extension length. If the bitumen specimen fails before the extension length of 200 mm, it is possibly to determine R_E with the actual extension length. R_E is used to distinguish Pmb from unmodified bitumen.

RESULTS

FIELD TRIALS

1. Konstantin Platz, Trier (Germany, August 2022)

The aim of the first investigations at lab scale was the multi-modification of an asphalt mix to improve the deformation resistance under heat and high load (typical for buses station and logistic surfaces). The possibility to use a reactive-modifying additive for upgrading a ready-to-use PmB 25/55-55 A has shown at bitumen level that the rheological properties of the base bitumen (PmB 25/55-55 A) shift significantly in the direction of deformation resistant asphalt layer. Characteristic values can be achieved, some of which are significantly higher than those of a typical PmB type of binder (Table 3). For the purpose of the study and as comparative example, a PmB 10/40-65, supposedly with a higher load of SBS polymer, was evaluated as well.

Table 3: Bitumen binder test results (lab trials)

	EP R&B [°C]	T(G* = 15 kPa) BTSV [°C]	Phase angle δ (G* = 15 kPa) - BTSV [°]	Elastic Recovery [%]
10/40-65	72,2	66,6	66,4	69
25/55-55 (Supplier A)	60,4	61,0	72,7	72
25/55-55 (Supplier A) + 2,5 M.-% (AS P101)	74,6	70,3	62,8	72
25/55-55 (Supplier B)	61,0	61,2	69,2	75
25/55-55 (Supplier B) + 2,5 M.-% (AS P101)	81,4	71,5	55,7	77

As part of the construction project “Konstantinplatz” in Trier (Germany), the concept of multi-modification was implemented in practice. During the partial renewal of a pavement section, an asphalt surface course made of AC 8 D S and an asphalt binder course made of AC 16 B S were produced from a PmB 25/55-55 A with an additional 2,5 % of a reactive modifier. Due to the type of loads for the road with slow-moving bus traffic, there is a particular burden on traffic's type and the risk of accumulated heat for the entire asphalt pavement. The installation took place in August 2022 for 2 days.

Following the construction project, further investigations on the deformation behavior under heat and cold behavior were carried out from the asphalt mix samples of AC 16 B S collected on site and AC 16 B S with 10/40-65 A produced analogously during the construction process.



Figure 3: „Konstantin Platz in Trier“ project location (source: OpenStreetMap) – Job site pictures (AC 16 BS), Source: BASF

Regarding the deformation properties, the results of the laboratory tests previously carried out were consistent towards the asphalt mix produced on a large scale. The multi-modified asphalt mix shows significantly lower rutting at 70 °C, over the entire load cycle than the reference mix with the binder PmB 10/40-65 A (Figure 4).

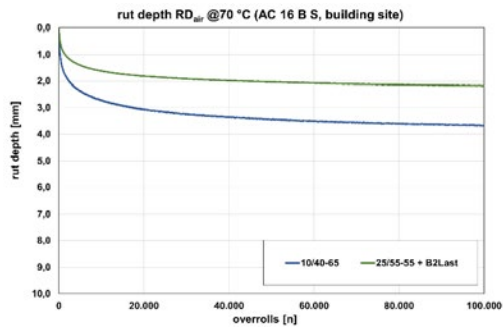


Figure 4: Comparison of the rutting tests of the respective AC 16 BS with PmB 10/40-65 and co-modified with AS P101.

2. FIELD TRIAL (LARGE AUTO MAKER, LOGISTIC SITE, GERMANY, 2024)

One of the largest manufacturing plants of a car maker in Germany had the aim to upgrade its actual infrastructure and was interested in using this specific reactive modifier to improve the typical PmB in use on their site. The purpose within the project tender was to repave their actual large bus stations area at Dingolfing site (Germany), as well as renewing one lane dedicated to trucks deliveries on site.

For this purpose, 1500 tons of AC 16 DS with 50% of Reclaimed asphalt based on a PmB 10/40-65 were modified with 2,0% of the AS P101 additive. The distance between the asphalt mixing plant and the construction site was about 120 km and the asphalt mix was stored for at least 4 to 5 hours before being handled further. The laydown temperature was approximately 160°C, leading to excellent workability and laydown despite the degree of modification.

A significant increase of the softening point can be noticed which is confirmed by the temperature T ($G^* = 15$ kPa) as well as the phase angle δ ($G^* = 15$ kPa), which show that a further degree of modification has been achieved (Table 4). The MSCR values demonstrated that a binder for extreme traffic and higher load has been reached.

Table 4: Bitumen binder test results (extracted bitumen from production trials)

Parameters of extracted bitumen		PmB 10/40-65 + 50% RAP	PmB 10/40-65 + 50% RAP + 2% AS P101
Softening point	T [°C]	64,4	86,0
BTSV (G* = 15kPa)	T [°C]	59,72	72,4
	δ [°]	71,71	60,9
MSCRT (at 60°C and 3,2 kPa)	Recovery [%]	33,2	81,6
	Jnr [1/kPa]	0,821	0,018

The additional investigations at the asphalt level showed that the performance of the tested asphalt has been significantly improved by the multi-modification regarding the deformation resistance at heat. In particular, the significant improvements in the results of the track formation tests at an adapted temperature of 70 °C should be again emphasized (Figure 5).

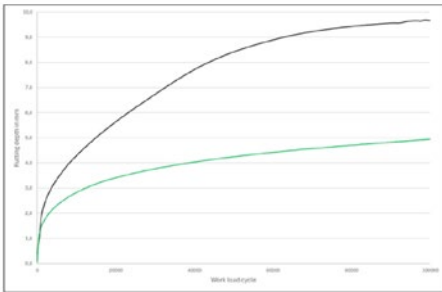


Figure 5 : Comparison of the rutting tests of the respective AC 16 BS with PmB 10/40-65 and co-modified with reactive modifier AS P101.

CONCLUSION

Due to cumulated heat increases over summertime, stresses on roads will have to be reassessed in a foreseeable future and the existing asphalt design will inevitably have to be adapted. Especially the municipal sector (i.e. urban area) that are directly affected by the heat island effect, is to be viewed particularly critically. At the same time, the inevitably increasing proportion of asphalt granulates in all asphalt layers in the scope of a societal will to implement more circularity, makes it necessary to modify bitumen/asphalt to achieve a broader range of properties at different temperature profiles.

The aim of the investigations presented here was the multi-modification of an asphalt mix to improve the deformation resistance under heat. The possibility to use a reactive-modifying additive (AS P101) for upgrading a ready-to-use PmB has shown at bitumen level that the rheological properties of the base bitumen shift significantly in the direction of deformation resistant asphalt layer.

The additional investigations at the asphalt level showed that the performance of the tested asphalt has been significantly improved by the multi-modification regarding the deformation resistance at heat. In particular, the significant improvements in the results of the track formation tests at an adapted temperature of 70 °C should be emphasized.

The results of the laboratory tests were confirmed by examinations of the asphalt mixtures produced on a large scale within the framework of a paving project. In the multi-modified variant, improved deformation resistance to heat was found without negatively affecting the cold properties. This concept with AS P101 is not new at all and has been already described in different publications. Zhu et al. [3] already described the different type of modification investigated over the last decade into a review, as well as those modifiers that have been implemented at commercial scale. However, this study stated that the cold behavior was rather affected and that was the main reason why isocyanate chemistry was not pursued further for this industrial sector. The broad range of chemistry based on isocyanate permitted to design a specific type of a reactive additive bearing isocyanate functionalities and for which both ends of the bitumen temperature performances could be optimized without loss of properties of the bitumen binder.

In summary, it can be stated that the research goal to upgrade a polymer modified bitumen with the help of multi-modification in such a way that essentially the deformation resistance to heat is optimized, has been achieved. The direct modification of bitumen/asphalt (e.g. with reactive modifying additives epoxy- or isocyanate-based, rubber modification, etc.) at the asphalt mixing plant offers great potential to adapt quickly to future conditions during production and installation and to meet the associated requirements for the asphalt layers produced thereof. In addition, from an ecological point of view, an additional contribution to climate protection can result from potential savings of CO₂ and resources through shortened supply chains.

REFERENCES:

- [1] Cooling Our Communities – A Guidebook On Tree Planting and Light-Colored Surfacing” U.S. Environmental Protection Agency 22P-2001, January 1992
- [2] K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, M. Vučetić, J. Milković, A. Bajić, K. Cindrić, L. Cvitan, Z. Katušin, D. Kaučić, T. Likso, E. Lončar, Ž. Lončar, D.j Mihajlović, K. Pandžić, M. Patarčić, L. Srnec, V. Vučetić, Climate Atlas of Croatia, 2008, ISBN: 978-953-7526-01-6
- [3] J Zhu, B Birgisson, N Kringos, Polymer modification of bitumen: Advantages and challenges, *European Polymer Journal*, 54 (2014) 18–38, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>
- [4] A joint publication of Asphalt Institute & Eurobitume, The Bitumen Industry, A Global Perspective: Production, Chemistry, Use, Specification and Occupational Exposure, 2024, 4th edition, The-Bitumen-Industry-A-Global-Perspective-IS-230-4th-edition.pdf
- [5] J Li, Zhang Y, Zhang Y. The research of GMA-g-LDPE modified Qinhuangdao bitumen. *Construction and Building Materials*, 22(6) (2008), 1067–73, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.007>
- [6] L Zanzotto, J Stastna, O Vacin. Thermomechanical properties of several polymer modified asphalts. *Applied Rheology*, 10(3) (2000), 134–44, <https://doi.org/10.1515/arh-2000-0012>
- [7] SAM Hesp, TR Hoare, SD Roy. Low-temperature fracture in reactive ethylene-terpolymer-modified asphalt binders. *International Journal of Pavement Engineering*, 3(3) (2002), 153–9, <https://doi.org/10.1080/1029843021000067809>
- [8] G Polacco, J Stastna, D Biondi, F Antonelli, Z Vlachovicova, L Zanzotto. Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 280(2) (2004), 366–73, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.043>
- [9] FJ Navarro, P Partal, M García-Morales, FJ Martínez-Boza, C Gallegos. Bitumen modification with a low-molecular-weight reactive isocyanate-terminated polymer. *Fuel* 86(15) (2007), 2291–9, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.01.023>
- [10] MJ Martín-Alfonso, P Partal P, FJ Navarro, M García-Morales, C Gallegos. Use of a MDI-functionalized reactive polymer for the manufacture of modified bitumen with enhanced properties for roofing applications. *European Polymer Journal*, 44(5) (2008), 1451–61, <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.02.026>
- [11] MJ Martín-Alfonso, P Partal P, FJ Navarro, M García-Morales, C Gallegos. Role of water in the development of new isocyanate-based bituminous products. *Industrial & Engineering*

Chemistry Research, 47(18) (2008), 6933–40, <https://doi.org/10.1021/ie800243w>

[12] FJ Navarro, P Partal, M García-Morales, MJ Martín-Alfonso, F Martínez-Boza, C Gallegos, Bitumen modification with reactive and non-reactive (virgin and recycled) polymers: a comparative analysis. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15(4) (2009), 458–64, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2009.01.003>

[13] MJ Martín-Alfonso, P Partal, FJ Navarro, M García-Morales, JCM Bordado, AC Diogo. Effect of processing temperature on the bitumen/ MDI-PEG reactivity. *Fuel Processing Technology*, 90(4) (2009), 525–30, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.01.007>

[14] V Carrera, P Partal, M García-Morales, C Gallegos, A Páez. Influence of bitumen colloidal nature on the design of isocyanate-based bituminous products with enhanced rheological properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(18) (2009), 8464–70, <https://doi.org/10.1021/ie9004404>

[15] V Carrera, M García-Morales, P Partal, C Gallegos. Novel bitumen/ isocyanate-based reactive polymer formulations for the paving industry. *Rheologica Acta*, 49(6) (2010), 563–72, <https://doi.org/10.1007/s00397-009-0399-z>

[16] M Shivokhin, M García-Morales, P Partal, AA Cuadri, Gallegos C. Rheological behaviour of polymer-modified bituminous mastics: a comparative analysis between physical and chemical modification. *Construction and Building Materials*, 27(1) (2012), 234–40, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.055>

[17] N Gomez, M Oeser, O Fleischel, Chemical modification of bitumen with novel isocyanate-based additive to enhance asphalt performance, *Construction and Building Material* 301 (2021) 124128 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124128>

[18] A Alisov, Typisierung von Bitumen mittels instationärer Oszillationstheorie (2017), ISBN 978-3-932164-33-0, https://www.tu-braunschweig.de/fileadmin/Redaktionsgruppen/Institute_Fakultaet_3/ISBS/04_Forschung/Schriftenreihe_Strassenwesen/isbsheft33.pdf

[19] J A D'Angelo, The Relationship of the MSCR Test to Rutting. *Road Materials and Pavement Design* 10 (1) (2009), 61–80, <https://doi.org/10.1080/14680629.2009.9690236>

[20] J Zhang, LF Walubita, F Lubinda, ANM Faruk, P Karki, GS Simate. Use of the MSCR test to characterize the asphalt binder properties relative to HMA rutting performance – A laboratory study. *Construction and Building Materials* 94 (2015), 218–227, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.044>

OČUVANJE PRIRODNOG OKOLIŠA PRILIKOM REALIZACIJE INFRA-PROJEKATA

PRESERVING THE NATURAL ENVIRONMENT DURING INFRASTRUCTURE PROJECTS

Selma Kenjić-Zgodić, mag.inž.građ., selma.kenjic@rws.nl

Ministry of Infrastructure and Water Management, The Netherlands, Rijkswaterstaat

SAŽETAK

Prije početka izgradnje ili renovacije nekog projekta, neophodno je sprovesti detaljnu ekološku analizu okruženja. Rijkswaterstaat (Državna uprava za Infrastrukturu) mora imati jasnu sliku potrebnih mjera i dozvola koje su potrebne za realizaciju radova u skladu sa zakonima o zaštiti okoliša.

Ključni korak u ovom procesu je inventarizacija svih zakonom zaštićenih životinjskih vrsta prisutnih na datom području. U mnogim slučajevima je potrebno uklanjanje drveća, što se uvijek obavlja izvan sezone parenja. Također, obavezna je kompenzacija kroz sadnju drveća na alternativnoj lokaciji kako bi se obnovio prirodni balans. Konačni izvještaj o ekološkom stanju uključuje sveobuhvatnu procjenu uticaja radova na floru i faunu, kao i na druge aspekte okoliša poput kvaliteta zraka, sastava tla i nivoa buke. Pored toga, izvještaj predlaže konkretne mjere za smanjenje negativnih efekata na poremećeni prirodni balans. Ovaj rad naglašava neke od ekoloških mjera koje Rijkswaterstaat sprovodi kako bi se umanjio štetan uticaj na okoliš i očuvao prirodni balans uz autoputeve. Takve mjere ne samo da štite floru i faunu, već doprinose i većoj sigurnosti saobraćaja.

Ključne riječi: ekološki uticaj, izgradnja autoputeva, ekološke mjere, Rijkswaterstaat, zaštićene vrste, flora i fauna, sigurnost saobraćaja.

ABSTRACT

Before initiating the construction or renovation of a project, it is essential to conduct a detailed environmental analysis of the area. Rijkswaterstaat (National Infrastructure Agency) must have a clear understanding of the necessary measures and permits required to carry out the work in compliance with environmental protection laws.

A key step in this process is the inventory of all legally protected animal species present in the area. In many cases, tree removal is necessary, which is always performed outside the breeding season. Additionally, compensation is mandatory through tree planting at alternative locations to restore the natural balance. The final environmental report includes a comprehensive assessment of the impact of the works on flora and fauna, as well as on other environmental aspects such as air quality, soil composition, and noise levels. Furthermore, the report proposes specific measures to mitigate the negative effects on the disturbed natural balance. This work highlights some of the ecological measures Rijkswaterstaat implements to minimize the harmful impact on the environment and preserve the natural balance along highways. Such measures not only protect flora and fauna but also contribute to improved traffic safety.

Keywords: environmental impact, highway construction, ecological measures, Rijkswaterstaat, protected species, flora and fauna, traffic safety.

UVOD

Veliki infrastrukturni projekti, poput izgradnje autocesta, donose brojne koristi, ali istovremeno mogu ozbiljno narušiti prirodni okoliš. Sami radovi na izgradnji i kasnije održavanju cesta mogu dovesti do uništavanja prirodnih staništa, fragmentacije ekosustava i gubitka biološke raznolikosti. Ovo nije samo ekološki, već i dugoročno ekonomski problem jer degradacija okoliša može smanjiti kvalitetu života, povećati troškove sanacije štete i izazvati negativne posljedice na zdravlje stanovništva.

Svjesna tih izazova, Nizozemska je razvila nacionalni program [1] s ciljem uspostavljanja ravnoteže između razvoja prometne infrastrukture i očuvanja okoliša. Kao rezultat toga, uveden je niz ekoloških mjera koje smanjuju štetne posljedice cestovnog prometa na floru i faunu. Ovaj dokument pruža pregled nizozemskih iskustava u primjeni takvih mjera i njihovog doprinosa održivosti prometne mreže.

ZAŠTO SU EKOLOŠKE MJERE POTREBNE?

Nizozemska ulaže značajna sredstva u ekološke mjere pri izgradnji autocesta iz nekoliko ključnih razloga:

- **Zaštita biološke raznolikosti:** Autoceste mogu postati fizičke prepreke za životinje, povećavajući rizik od stradavanja u prometu. Da bi se to spriječilo, grade se ekodukti i podvoznjaci koji omogućuju siguran prolazak životinjama, smanjujući tako fragmentaciju staništa.
- **Poboljšanje kvalitete zraka:** Promet je značajan izvor emisije štetnih plinova. Sadnja drveća i postavljanje zelenih barijera uz autoceste pomažu u filtriranju zagađivača i smanjenju koncentracije štetnih tvari u zraku.
- **Smanjenje buke:** Promet stvara buku koja negativno utječe na životinje i ljude. Biljni pojasevi, akustične barijere i posebne asfaltna površine doprinose smanjenju razine buke.
- **Borba protiv klimatskih promjena:** Sadnja drveća duž autocesta doprinosi apsorpciji CO₂, smanjujući tako emisiju stakleničkih plinova.
- **Pravne obveze:** Nizozemska se, kao članica EU, mora pridržavati europskih i nacionalnih propisa koji zahtijevaju ekološki odgovorna rješenja u infrastrukturnim projektima.
- **Održiva mobilnost:** Ekološke mjere su dio strategije kojom se nastoji smanjiti negativan utjecaj cestovnog prometa na okoliš i javno zdravlje.

PROPISI I ZAKONI

Nizozemska regulativa je usklađena s europskim zakonima i direktivama kako bi osigurala održivost infrastrukturnih projekata. Među ključnim europskim propisima su:

- **Direktiva o kvaliteti zraka (2008/50/EZ)** – Postavlja standarde kvalitete zraka i granične vrijednosti za zagađujuće tvari.
- **Direktiva o staništima (92/43/EEZ)** – Uspostavlja mrežu Natura 2000 i štiti ugrožene vrste.
- **Direktiva o gospodarenju otpadom (2008/98/EZ)** – Promoviše reciklažu i kružno gospodarstvo.

- Europski klimatski zakon (Uredba 2021/1119) – Postavlja obvezujuće ciljeve za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine.

Osim europskih zakona, Nizozemska ima i niz nacionalnih propisa, kao što su Zakon o upravljanju okolišem (Wet Milieubeheer), Zakon o zaštiti prirode (Wet Natuurbescherming) i Zakon o klimi (Klimaatwet), koji precizno reguliraju ekološke standarde u gradnji i održavanju cesta.

KAKO CESTOVNI PROMET UTJEČE NA OKOLIŠ?

Cestovni promet ima višestruke negativne utjecaje na okoliš, a posljedice su vidljive u različitim ekološkim aspektima. Jedan od najočitijih problema je fragmentacija staništa, gdje autoceste i druge prometnice presijecaju prirodne ekosustave, ometajući migracijske puteve životinja i smanjujući njihov životni prostor. Mnoge vrste, poput jelena, lisica i vodozemaca, suočene su s povećanim rizikom od stradavanja na cestama.

Osim toga, zagađenje zraka predstavlja značajan ekološki izazov. Vozila emitiraju štetne plinove poput dušikovih oksida (NO_x) i lebdećih čestica (PM), što doprinosi smogu i kiselim kišama. Ove emisije ne samo da ugrožavaju ljudsko zdravlje, već i doprinose propadanju vegetacije te zakiseljavanju tla i vodenih ekosustava.

Buka i vibracije koje nastaju uslijed gustog cestovnog prometa također negativno utječu na okoliš. Povišena razina buke može uzrokovati stres kod životinja, remeteći njihove obrasce ponašanja, komunikaciju i reproduktivne cikluse. Također, kontinuirana izloženost buci može smanjiti bioraznolikost u urbanim i ruralnim područjima.

Dodatno, cestovna infrastruktura može utjecati na hidrološke uvjete, mijenjajući prirodne tokove rijeka i potoka te smanjujući sposobnost tla da apsorbira oborinske vode. Asfaltirane površine sprječavaju prirodnu infiltraciju kišnice, što povećava rizik od poplava i erozije tla.

Kako bi se smanjili ovi negativni utjecaji, nužno je provoditi sustavne ekološke mjere i prilagoditi prometnu infrastrukturu principima održivog razvoja.

EKOLOŠKE MJERE U PRAKSI: ODRŽIVA ZAŠTITA PRIRODE I DIVLJIH ŽIVOTINJA

Ekološke mjere predstavljaju ključnu strategiju za očuvanje okoliša i divljih životinja, te uključuju raznovrsne pristupe prilagođene specifičnim izazovima:

- Zaštita divljih životinja: Kroz izgradnju ekodukata, podvožnjaka i posebnih ograda omogućavamo sigurniji prolazak životinja, smanjujući rizik od nesreća na prometnicama.
- Očuvanje vegetacije: Pošumljavanje i postavljanje zelenih barijera smanjuju emisije CO₂, smanjuju buku i sprječavaju eroziju tla, čime doprinosimo očuvanju prirodnih staništa.
- Održivo upravljanje vodama: Korištenje propusnih materijala u izgradnji cesta i implementacija sustava za sakupljanje oborinskih voda smanjuju rizik od poplava i povećavaju vodnu ravnotežu.
- Inovativne tehnologije: Primjena ekološki prihvatljivih materijala i solarnih panela na cestama smanjuje ugljični otisak, doprinosi energetskej efikasnosti i smanjuje zagađenje.
- Praćenje i istraživanje: Kontinuirano praćenje utjecaja prometa na okoliš omogućava

prilagodbu mjera u budućnosti i osigurava održivost ekoloških inicijativa.

EKODUKTI I EKO-PROPUSTI: SIGURNOST ZA DIVLJE ŽIVOTINJE

Ekodukti i eko-propusti omogućavaju siguran prolaz životinja ispod ili preko prometnica, čime se smanjuje rizik od sudara s vozilima.

- Ekodukti: Ovi objekti omogućuju siguran prijelaz za većinu životinjskih vrsta. Drvoredovi na ekoduktima moraju biti usklađeni s okolnim pejzažem kako bi se stvorila prirodna povezanost između staništa. Također, smanjenje buke i mirisa je ključno za njihovu efikasnost.
- Eko-propusti: Kombiniraju odvodnju vode s prolazom za kopnene životinje, stvarajući prirodan prostor uz vodotok. Ovi propusti idealni su za vrste poput jazavaca, kuna i vidri,



dok ih kopnene vrste koriste rjeđe.

Slika 1: Fauna koridor [Rijkswaterstaat]

ECO-OGRADE: SPRJEČAVANJE NESREĆA I USMJERAVANJE DIVLJAČI

Mrežaste ograde postavljaju se duž autocesta i drugih prometnica kako bi spriječile životinje da uđu na ceste, usmjeravajući ih prema sigurnim prijelazima poput ekodukata. Ograde se prilagođavaju vrstama životinja, uz posebnu pažnju prema visini, čvrstoći mreže i dubini

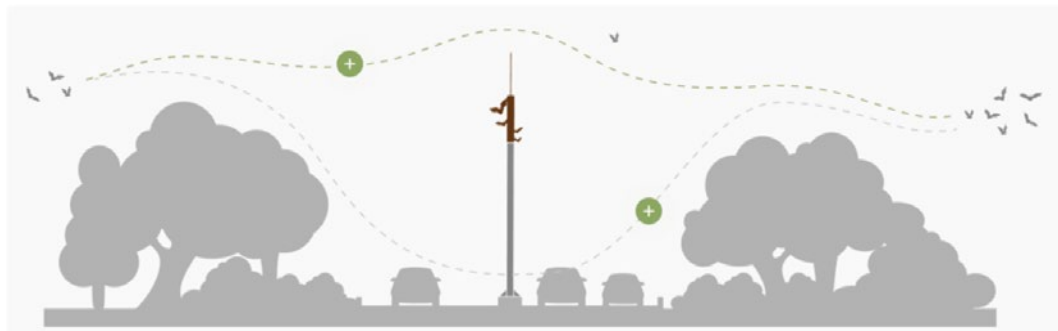


ukopa.

ZAŠTITA ZAŠTIĆENIH VRSTA: POSEBNE MJERE

Za neke ugrožene vrste, poput šišmiša, poduzimaju se specifične mjere zaštite:

- **Zaštita šišmiša:** Šišmiši, koji su osjetljivi na ljudske aktivnosti, koriste drvorede kao orijentaciju. U slučaju nestanka drveća zbog izgradnje, sadimo novo drveće i postavljamo



fly-overe za siguran prelet preko autoceste. Također, smanjujemo negativni utjecaj rasvjete primenom jantarnog svjetla, koje je prijateljski nastrojeno prema šišmišima.

slika 3: Fly-over za šišmiše [ECOVERY]

- Postavljanje umjetnih naselja za jazavce: Premještanje jazavaca u sigurna umjetna



naselja dio je strategije očuvanja. Takva naselja moraju biti uspostavljena šest mjeseci prije premještanja, kako bi se javnici privikli na novo okruženje.

slika 4: Umjetna naselja za jazavce [ProRail] [NRC]

DODATNE MJERE: POVEĆANJE SIGURNOSTI

- Sistemi za upozorenje o divljim životinjama: Ovi sustavi, koji koriste infracrvenu detekciju, bilježe kretanje životinja u blizini prometnica i upozoravaju vozače na opasnost, čime se omogućava pravovremeno prilagođavanje brzine vožnje i smanjenje nesreća.

Ove ekološke mjere osiguravaju bolju ravnotežu između ljudskih aktivnosti i očuvanja prirodnog okoliša, čineći prometne infrastrukture sigurnijima za divlje životinje, a istovremeno smanjujući negativne ekološke utjecaje.

ZAKLJUČAK:

Ekološke mjere u infrastrukturi predstavljaju ključnu komponentu održivog razvoja, koji balansira potrebe ljudske mobilnosti i zaštite prirodnog okoliša. Kroz implementaciju rješenja poput ekodukata, zelenih barijera, ekoloških propusta i sustava za praćenje utjecaja prometa na okoliš, Nizozemska uspješno smanjuje negativne posljedice cestovnog prometa na biološku raznolikost, kvalitetu zraka i buku, čime doprinosi očuvanju ekosustava. Osim što ove mjere poboljšavaju sigurnost za divlje životinje, one također potiču smanjenje zagađenja i borbu protiv klimatskih promjena.

Kontinuirana ulaganja u ekološke tehnologije i infrastrukturu, u skladu s europskim i nacionalnim propisima, omogućuju stvaranje održivih prometnih mreža koje pružaju dugoročne koristi za društvo, okoliš i zdravlje. Ovaj pristup pokazuje da je moguće integrirati ljudske aktivnosti i očuvanje prirode, stvarajući ravnotežu koja koristi svim članovima ekosustava.

REFERENCE

[1] Zaštićene životinjske vrste

<https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2023/05/beschermde-diersoorten-in-kaart-brengen-en-alternatieven-bieden>

[2] Eco-ograde; HBA Totaal; <https://www.hbatotaal.nl/wildrasters-en-faunavoorzieningen/kleinwildrasters>

[3] Eco-ograde; ARFMAN; <https://arfman.nl/faunatechniek/kleinwild/dassenraster>

[4] Fly-over za šišmiše; ECOVERY; <https://ecovery.be/product/vleermuishopover/>

[5] AWV; <https://wegenenverkeer.be/duurzaamheid>; <https://youtu.be/UyCmSy9xQXo?si=SZr3HBUYK1nPrUIG>

[6] Umjetna naselja za jazavce; ProRail; <https://www.prorail.nl/over-ons/wat-doet-prorail/natuurbeheer/dieren/dassen/>

NRC; <https://www.nrc.nl/nieuws/2023/04/21/een-kunstmatige-dassenburcht-a4162488>

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PAVEMENT CONDITION ASSESSMENT: A CASE STUDY OF THE LOCAL ROAD TRŠĆE-VRHOVCI-TRŠĆE

Kristijan Ljutić¹, dipl. ing. građ., izv. prof. dr. sc. **Mario Galić**², dipl. ing. građ.,
Dominik Klanjšček², mag. ing. aedif., prof.dr.sc. **Ivana Barišić**², dipl. ing. građ.

¹ 4D - monitoring d.o.o., Rijeka

² Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

ABSTRACT

Application of a deep learning methods enables precise identification of pavement damage, reducing the need for traditional visual inspection methods, which are more time-consuming and prone to human error. Utilization of the artificial intelligence (AI) in pavement condition assessment improves infrastructure resource management, enabling data-driven decision-making and enhancing the prioritization of routine and emergency maintenance of road infrastructure. Automated pavement condition assessment systems, based on AI technologies, allow accurate damage mapping, resulting in more efficient planning of intervention work and reduced maintenance costs. This paper presents an example of AI application in pavement condition assessment on a section of the local road Tršće-Vrhovci-Tršće. By analyzing the collected data using AI technologies, automated detection of the most critical road segments was enabled, the evaluation process was accelerated, the accuracy of damage detection was increased, and clearly defined priorities for future maintenance and reconstruction work on the road in question were established.

Keywords: road infrastructure, pavement condition assessment, road maintenance, strategic planning, machine learning (ML), artificial intelligence (AI)

1. INTRODUCTION

Artificial intelligence (AI) constitutes a cutting-edge technological paradigm centered on the development of computational systems capable of executing tasks traditionally reliant on human cognitive functions, such as pattern recognition, data analytics, and decision-making processes. AI has emerged as a critical component across diverse industries, including civil engineering, where it facilitates advancements in construction projects' life cycle, i.e., from the concept, through the infrastructure design, construction, and maintenance operations [1]. Within construction projects, the integration of artificial intelligence enables the processing and analysis of extensive datasets, predictive modeling of potential structural or operational challenges, and the optimization of resource allocation. This integration enhances operational efficiency, precision, and reliability in the execution of complex engineering tasks, ultimately driving innovation in the field.

The advancement of artificial intelligence (AI) in civil engineering has facilitated enhanced precision in the evaluation of road infrastructure conditions. This study emphasizes the application of AI-driven methodologies for pavement condition assessment, which significantly reduces the temporal requirements for analytical processes and improves the accuracy of diagnostic outcomes. Among other AI-learned technologies in the construction sector, machine learning (ML) and deep learning (DL) technologies have received much attention since 2000. It is also becoming more and more critical in advancing automated technologies. Despite their promising potential, the constraints noted in utilizations in other industries lead to the necessity of gaining a greater understanding of those techniques for their integration with particular knowledge domains of construction [2]. It is anticipated that this could result in the creation of deep network models that are especially suited for the building sector. Leveraging ML and DL technologies, AI systems are capable of autonomously identifying pavement distresses, including cracks, rutting, and surface deformations, thereby providing comprehensive and data-driven insights into roadway integrity.

This study leverages AI for pavement condition assessment, employing advanced ML and computer vision techniques. Specifically, Label Studio [3], a data annotation tool, was utilized to curate high-quality labeled datasets essential for training the AI model. The process commenced with manual annotation of pavement images, where various structural defects—such as longitudinal and transverse cracks, potholes, and surface deformations—were detected and precisely segmented. The accuracy of this labeling phase was critical in ensuring high-fidelity model performance in automated defect detection.

Following data pre-processing, an AI model was trained using supervised machine learning algorithms, iterating through multiple training cycles until convergence was achieved. The model was exposed to a diverse dataset to learn intricate damage patterns and improve generalization. A separate validation dataset, distinct from the training data, was employed to evaluate model performance, ensuring unbiased accuracy assessment. Post-validation, the model demonstrated robust performance in both defect detection and segmentation, meeting predefined accuracy thresholds. Using the AI-generated defect mapping, a data-driven maintenance and reconstruction strategy was formulated for the Tršće-Vrhovci-Tršće local road segment. This optimization framework facilitated predictive maintenance planning, enabling precise prioritization of critical road sections and efficient allocation of resources based on real-time pavement degradation insights.

2. MANAGEMENT OF PUBLIC ROADS IN CROATIA

The Road Act [5] regulates the legal status of public and unclassified roads in the Republic of Croatia. This law establishes rules and standards for planning, construction, maintenance, usage, and measures for the protection of public and unclassified roads and traffic on them. The Croatian Parliament, upon the Government’s proposal, adopts the plan and strategy for the development of public roads in Croatia. The strategy relies on condition analysis, strategic development objectives, and measures and activities for achieving these goals. This system ensures a coordinated and strategic approach to road infrastructure construction and maintenance in Croatia, emphasizing traffic safety, environmental sustainability, and economic development.

The Regulation on Road Maintenance [6] applies to all roads, whether public or unclassified. Road authorities are required to ensure safe traffic flow during maintenance, preserve fundamental road characteristics, improve traffic, technical, and safety features, protect the environment, and maintain the aesthetic appearance of roads.

Road asset management involves systematic monitoring and maintenance to ensure optimal utilization and safety. The Road Asset Management System (RAMS) is a process based on data collection, analysis, and decision-making regarding the maintenance and development of road infrastructure. Since most road networks are state-owned, the responsible management bodies are expected to undertake maintenance, modernization, replacement, and conservation of these assets. At the same time, these objectives must be achieved with optimal use of limited financial and human resources while addressing the increasing public demands for reliability, safety, comfort, and environmental impact. Systematic asset management allows road authorities to plan, manage, and maintain resources more effectively, resulting in improved efficiency and long-term sustainability of road infrastructure [7].

The assessment of pavement conditions and record-keeping are regulated by the Regulation on the Content, Organization, and Maintenance of the Public Road Database [6]. Pavement condition assessments form the foundation for strategic planning of future maintenance interventions. The assessment model of asphalt pavement conditions, mandated by the governing Ministry is presented in Table 1. These assessments should be integrated into models analyzing various pavement rehabilitation possibilities. Through precise condition assessments, maintenance activities can be planned to ensure infrastructure longevity and delay the need for intermittent maintenance.

Table 1 - Pavement condition assessment model for county and local roads as required by the governing Ministry

Rating 0	Pavements without damage or with localized surface damage covering less than 30%
Rating 1	Pavement exhibiting alligator cracking over 30-40% of the surface, depressions, and unevenness
Rating 2	Alligator cracking covering 40-50% of the total pavement surface, along with depressions and unevenness.
Rating 3	Alligator cracking over 50-70% of the pavement surface, including large disintegrated areas of the road surface, depressions, and unevenness
Rating 4	Alligator cracking over 70-80% of the pavement surface, accompanied by extensive disintegrated road surfaces, depressions, and unevenness
Rating 5	Alligator cracking over 80% of the total pavement surface, with complete road surface destruction; these pavements are considered impassable

3. APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PAVEMENT CONDITION ASSESSMENT

RAMS evolved from simple inventory systems to highly sophisticated AI-driven decision-making tools. With sensors, GIS, and machine learning, modern RAMS provides real-time insights into road conditions, optimizing maintenance and investments.

The high costs associated with assessing pavement conditions using technologically advanced measuring devices and instruments for regular non-destructive evaluations often lead road authorities to opt for less expensive methods, such as visual inspections. However, visual pavement condition assessments are prone to subjective operator interpretations, making the objectivity and consistency of results challenging, especially when observations are made by multiple teams. For many types of damage, such as surface deterioration, cracks, and repairs, visual inspections remain the most reliable method. Currently, various visual assessment techniques are in use [9].

With the advancement of artificial intelligence technology, it is now possible to analyze existing images more effectively to assess pavement conditions. AI systems collect data on surface irregularities (cracks, depressions, roughness, etc.) and relate them to the pavement width (i.e., pavement area), expressing damage levels as a percentage over defined road segments. This approach aligns with standard rating models for pavement condition assessment. AI-based crack detection in road infrastructure is becoming increasingly important due to its ability to enhance efficiency and road safety. Traditional human-led pavement inspections are time-consuming and prone to inconsistent results due to varying levels of observer expertise, whereas AI technology enables real-time, objective damage identification, significantly accelerating the entire evaluation process. AI based crack detection process consists of four steps: data collection, data pre-processing, dataset modeling and crack classification [11], as represented in figure 1.

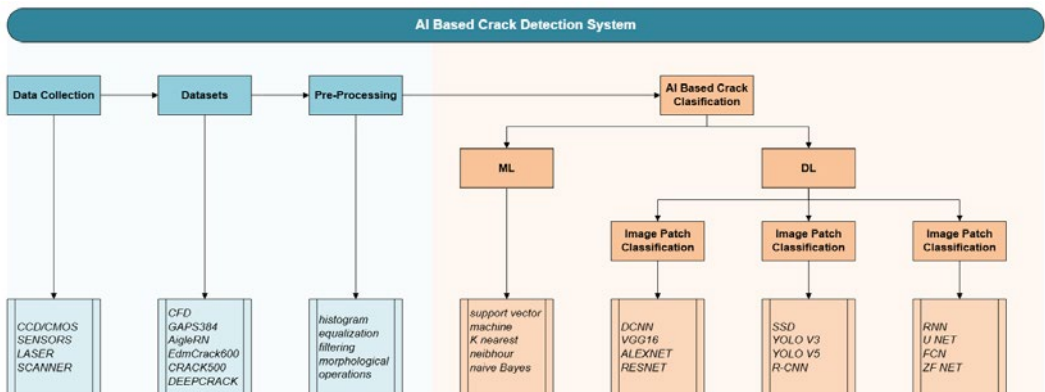


Figure 1 AI-Based Crack Detection System [11]

The first phase involves data collection, labeling, and dataset construction. This phase is crucial for ensuring the accuracy and reliability of the data used for crack detection. The data for augmentation, pre-processing, and learning are utilized in the second phase. Data augmentation helps in generating synthetic data and improving system accuracy. Pre-processing is carried out using filters that normalize images and enhance their contrast. Learning algorithms such as supervised and unsupervised are used for system training. The third phase includes crack classification, object detection, and segmentation. These

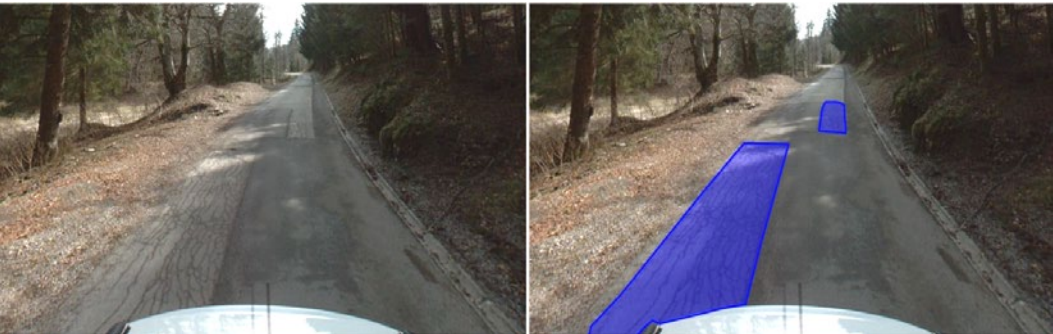
techniques are used for the precise recognition and location of cracks in images. The fourth and final phase employs an assessment metric and severity qualification of cracks. This information can then be used to prioritize repairs and maintenance (Figure 1).

4. APPLIED METHODOLOGY

Mid-sized projects generally use vehicles equipped with cameras because they are suitable, inexpensive, and straightforward. The choice of sensor system to be used depends on the scope and complexity of the project. Each sensor system has its advantages and limitations [12]. Data collection for county and local roads under the jurisdiction of ŽUC PGŽ was carried out using a vehicle equipped with a georeferenced spherical imaging system and RTK GPS. After recording, the photographs were transferred, and pre-processing was initiated. Pre-processing of road photographs is crucial for the automated detection of cracks on the pavement, utilizing image processing and DL and ML algorithms. This process includes various techniques to improve image quality and crack visibility. The goal is to enhance the accuracy of the crack detection system by highlighting elements of interest, such as cracks. After pre-processing, the quantification of cracks is essential so that road managers can assess their severity and take the necessary road maintenance actions.

Analyzing photographs of road cracks faces challenges due to varying lighting conditions and the presence of unwanted elements like shadows, uneven textures, tire marks, oil stains, etc. Therefore, it is important to pre-process images to achieve more precise segmentation, which includes enhancing contrast and removing blurred edges. Image enhancement methods are key to obtaining quality results in road crack analysis [11]. According to the Asphalt Pavements Defects Catalogue [8], “Surface damages reflect the deterioration of the structure caused by traffic loads, environmental effects, and aging of the structure”. Precisely, the categorization and description of damage types are a key factor in assessing pavement conditions, identifying possible causes of damage, and choosing the most appropriate maintenance procedures. Visual assessment of pavement condition, along with objective testing methods, represents an indispensable source for evaluating the pavement’s state [13]. In this paper, the focus is on the following types of damage: alligator cracks, transverse and longitudinal cracks, and potholes.

Table 2 – Displays of Annotated Road Damage Types on Photographs



Display of annotated alligator cracks



Display of annotated transverse cracks together with alligator cracking



Display of annotated longitudinal cracks



Display of annotated pothole together with longitudinal, transverse, and alligator cracks

For model training, the base yolov8lseg model was used, which was enhanced by learning on a set of annotated data [4]. Version v8 of Yolo enables object segmentation, which is a more favorable method for determining damage because it allows for the determination of the exact area of individual damages for each camera position. The initial model was enhanced with learning on annotated data that was pre-oriented towards the future task of segmentation, not just detection. Images without present damages were also included in the training phase so that the model could avoid “false positive” cases.

Thanks to the large number of annotated photographs used in the training phase, the model converged, and training was stopped around the 50th epoch/iteration. After the model converged, it was validated on a set of photographs not used in the training phase, achieving satisfactory detection and segmentation accuracy. The model was then used for detecting and subsequently segmenting damages in photographs taken on site, which

were not used during the training phase. For each camera position, the area and number of damages for each type of damage were calculated, and the total damage area for each camera position was also calculated. As we are dealing with spatially continuous data representing a road, in the final step, a polygonal mask was applied to prevent overlap between two adjacent camera positions. This enabled the calculation of the total damage area across the entire road according to desired road segments.

In the procedure of this work, approximately ten-meter segments of the road were selected. For each ten-meter segment, the relative damage area was calculated in relation to the predefined field of view of the camera. In the final step, damage ratings were calculated according to the standards for assessment in the Republic of Croatia. Since the assessment criterion is the percentage of damaged area relative to the total area, ratings were calculated for each camera position, each segment, and the total damage rating for the entire road was calculated.

5. STRATEGIC MAINTENANCE PLAN FOR A SECTION OF LOCAL ROAD LC58002 TRŠĆE (DC32) – VRHOVCI – TRŠĆE (DC32)

Local road LC58002 Tršće (DC32) – Vrhovci – Tršće (DC32) extends over a total length of 4,697 km. The selected road section is located in the mountainous area of Gorski Kotar, within Primorje-Gorski Kotar County, in the area of the Municipality of Čabar (Figure 2). This road connects settlements in an area with relatively complex topographical characteristics where Tršće and Vrhovci are situated at approximately 800 – 900 meters above sea level. Based on the obtained data and assessments, pavement maintenance is planned. The goal is to prioritize the resolution of segments with greater damage (ratings 4 and 5), while less damaged segments can be repaired later, depending on available resources. According to the plan, necessary works on the pavement are carried out, which includes repairs, replacements, or complete reconstruction of certain parts of the pavement. After the works are completed, it is necessary to continuously monitor the condition of the pavement, timely react to new damages and update the maintenance plan. This analysis includes a detailed review of each road segment, based on ratings obtained through the damage detection model and visualizations, allowing for precise determination of the pavement condition.

Visualization was conducted through the evaluation of each road segment, using the pavement condition rating model from the guidelines for visual inspection of county and local roads as shown in Table 1. The analysis of the pavement condition visualization provided key data as shown in Table 2 and Figure 3 that enabled precise planning and prioritization of works. Based on this analysis, further steps were developed, including the categorization of segments according to the intervention urgency, estimation of required resources, and the creation of a dynamic road maintenance plan.

Each segment has its unique identifier, station, percentage of pavement damage, and based on these data – each segment is assigned an appropriate rating. The majority of segments (674) fall under rating 0, indicating that most of the road is in good condition. However, there is a significant number of segments with ratings 4 and 5 (a total of 128 segments), and 122 segments classified as macadam. Segments with ratings 4 and 5, as well as macadam, have been identified as critical and should be prioritized in further maintenance planning steps. These segments represent parts of the road most affected by damage, including large cracks, pavement settlement, and significant degradation of the pavement surface

(Table 3). Maintenance planning should direct resources towards the restoration of these critical parts to prevent further deterioration and ensure safe traffic flow. The strategic



maintenance plan for the section of local road LC58002 is divided into three main phases.

Figure 2 Local road LC58002 – Tršće (DC32) – Vrhovci – Tršće (DC32)

The first phase includes geomechanical testing and geodetic surveying of the subgrade. The second phase involves replacing the macadam with asphalt on the section from station 1+889 to 2+132 meters, covering 243 meters of road at 3.5 meters width, and one traffic lane. It is estimated that the works in this phase will take about 2 to 3 weeks. The work will be carried out continuously, with minimal disruption to traffic. The third phase involves the reconstruction of critical road segments from station 2+295 to 2+894 meters, with a total length of 599 meters.

The estimated duration of this phase is 3 to 5 weeks. Given the relatively low traffic on this section, classified as a fifth-category road with mixed traffic and an average daily volume of less than 1,000 vehicles, the work will be carried out in a single stage. Overall, all phases can be completed within 5 to 8 weeks, ensuring project completion before autumn rains and colder weather. Scheduling the work between July and September, with a focus on August, provides optimal conditions for a high-quality and safe road restoration while minimizing disruption to the local population.

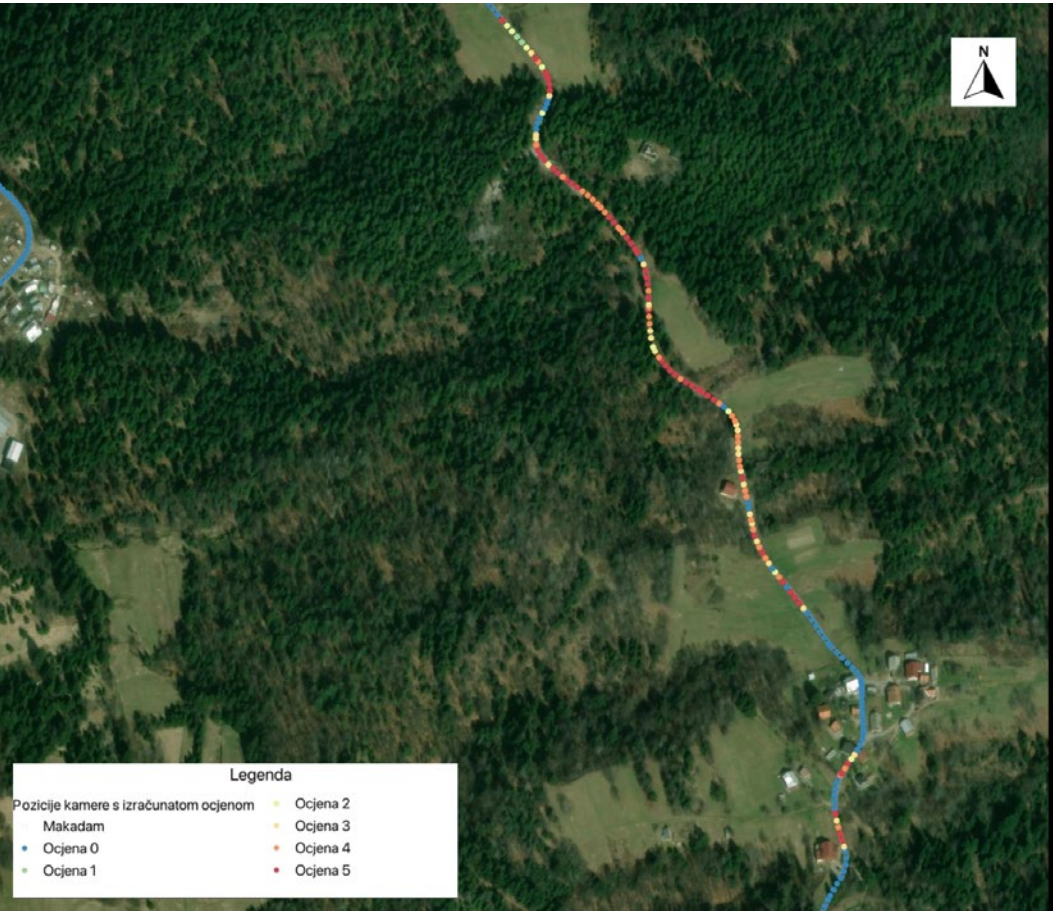


Figure 3 Display of the Road Section Covered by the Planned Reconstruction

Table 3 - Display of Pavement Condition with Corresponding Ratings on the Selected Section of Road LC58002



Road photo at station 2+500,00 showing pavement condition rated as 5

Road photo at station 2+592 showing pavement condition rated as 4



Road photo at station 2+764 showing pavement condition rated as 3



Road photo at station 2+406 showing pavement condition rated as 2



Road photo at station 2+707 showing pavement condition rated as 1



Road photo at station 2+702 showing pavement condition rated as 0

6. CONCLUSION

Artificial intelligence is becoming very important in modernizing the approach to pavement condition assessment and road infrastructure management. Traditional road maintenance methods, which mainly rely on visual inspections and manual assessments, are often time-consuming and prone to errors. The introduction of advanced AI-driven technologies, namely deep and machine learning, enabled the automation of this process, resulting in greater speed, accuracy, and precision in damage detection. By applying this approach, fast and precise detection of damaged sections on the Tršće – Vrhovci – Tršće route has been made possible. The use of AI technology has allowed for the efficient and automatic identification of the most critical segments of the section, based on damage analysis in different parts of the road. Artificial intelligence has not only accelerated the damage detection process but has also improved its precision, providing clear data on maintenance priorities. Thanks to this approach, it was possible to quickly develop a strategic maintenance and reconstruction plan for the section. Accurate detection of the most critical segments enabled the proposal of maintenance measures and the reconstruction of the most vulnerable road sections based on the actual pavement condition. Such a strategic plan has allowed resources to be directed towards the most necessary works, which will result in a safer and more sustainable transport infrastructure on this section in the long run.

- [1] Datta, S. D., Islam, M., Sobuz, M. H. R., Ahmed, S., & Kar, M. (2024). Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review. *Heliyon*.
- [2] Xu, Y., Zhou, Y., Sekula, P., & Ding, L. (2021). Machine learning in construction: From shallow to deep learning. *Developments in the built environment*, 6, 100045.
- [3] HumanSignal. LabelStudio – Open Source Data Labeling Platform. Accessed: February 6, 2025. Available at: <https://labelstud.io/>
- [4] Klanjšček, D. (2024). Primjena umjetne inteligencije za planiranje projekata održavanja kolničkih zastora. (master thesis), Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek.
- [5] Zakon o cestama, NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14, 110/19, 144/21, 114/22, 114/22, 04/23, 133/23
- [6] Pravilnik o održavanju cesta, NN 90/14.
- [7] Asset Management for the Roads Sector. Road Transport and Intermodal Linkages Research Programme. OECD, 2001. doi: 10.1787/9789264193208-en.
- [8] PIARC, Asset Management Manual. Paris, France: World Road Association, 2023.
- [9] Dragević, V., Korlaet, Ž. & Rukavina, T. (2004). Uputstvo za vizualni pregled kolnika državnih cesta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [10] Pravilnik o sadržaju, ustroju i načinu vođenja baze podataka o javnim cestama i objektima na njima, NN 56/15
- [11] Chakurkar, P.S., Vora, D., Patil, S., Mishra, S. & Kotecha, K. (2023). Data-driven approach for AI-based crack detection: techniques, challenges, and future scope, *Frontiers in Sustainable Cities*, 5, doi: 10.3389/frsc.2023.1253627.
- [12] International Road Federation. (2023). Artificial Intelligence Applications For Efficient Road Asset Management Practices, IRF Global, Available: <https://www.irf.global>. [Accessed: Apr. 18, 2024].“
- [13] Dragčević, V., Korlaet, Ž. & Rukavina, T. (2004). Katalog oštećenja asfaltnih kolnika, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

NOVI PRISTUP ODREĐIVANJU OTPORNOSTI NA ZAMOR ASFALTNIH UZORAKA

A NEW APPROACH FOR DETERMINING THE FATIGUE RESISTANCE OF ASPHALT SPECIMENS

Doc. dr **Marko Orešković**¹, Dr **Štepan Bohuš**²

¹ University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, Belgrade, Serbia. ORCID: orcid.org/0000-0001-8978-0354

² Saint-Gobaint ADFORS CZ s.r.o., Sokolovská 106, 570 01 Litomyšl, The Czech Republic

SAŽETAK

Evropski standard za određivanje otpornosti na zamor asfaltnih mešavina, EN 12697-24, obuhvata nekoliko pristupa za analizu rezultata ispitivanja, od kojih se najčešće koriste koncept energetskeg odnosa (ER) i 50% gubitka početne krutosti. Prethodne studije su pokazale da ovi pristupi nisu primenjivi na svim asfaltnim mešavinama, pa je zbog toga razvijen nov pristup za određivanje otpornosti na zamor, tzv. "pojednostavljena tačka infleksije". Ovaj rad prikazuje primenu navedenih metoda na šest setova gredica pripremljenih za ispitivanje savijanjem u četiri tačke i to: jednom jednoslojnom setu, jednom dvoslojnom bez ojačanja i dva dvoslojna ojačana različitim geomrežama, koji su napravljeni od asfaltne mešavine sa običnim putnim bitumenom, kao i na jednom dvoslojnom setu bez ojačanja i jednom dvoslojnom ojačanom geomrežom, koji su napravljeni od iste asfaltne mešavine, ali sa polimer-modifikovanim bitumenom. Rezultati su pokazali da novorazvijeni pristup skoro uvek rezultuje najnižim vrednostima kritične dilatacije ϵ_6 , a ER koncept skoro uvek najvećim. Takođe je zaključeno da pojedini pristupi mogu pokazati da geomreže čak i smanjuju otpornost na zamor, iako to zapravo nije tačno.

ABSTRACT

The European standard for determining the fatigue resistance of asphalt mixtures, EN 12697-24, encompasses multiple approaches for analyzing test results, where energy ratio and 50% reduction of initial stiffness are often used. Previous studies have shown that these approaches are not applicable to all asphalt mixtures, and therefore a new approach for determining fatigue resistance (Simplified Flex Point), was developed. This paper presents the application of these approaches to six sets prepared for four-point bending beam tests: one single-layer, one double-layer, and two double-layer reinforced sets with different geogrid types, all containing neat road bitumen, as well as one double-layer without reinforcement and one double-layer set reinforced with geogrid, which contained polymer-modified bitumen. Test results showed that the newly developed approach almost always results in the lowest values of critical strain ϵ_6 , while the concept of energy ratio almost always results in the highest. It was also concluded that certain approaches may suggest that geogrids even reduce fatigue resistance, although this is not actually the case.

1. UVOD

Pored kolotraga, oštećenja kolovozne konstrukcije koje se često pojavljuju usled povećanog saobraćajnog opterećenja i uticaja klimatskih promena, na putevima se uočavaju i oštećenja u vidu reflektovanih pukotina ili pukotina usled zamora. Ova oštećenja se mogu preduprediti izgradnjom puteva dobrog kvaliteta i primenom modernih materijala ili tehnika za izgradnju nevezanih i bitumenskih slojeva, poput stabilizacije tla, ojačanja, upotrebe polimer-modifikovanog bitumena (PmB), vlakana itd. Međutim, kada je u pitanju rehabilitacija ili rekonstrukcija postojećih puteva, postoji dosta manje tretmana koji se mogu primeniti. To su najčešće tretmani koji moraju biti relativno brzi, povoljni i dugotrajni. Jedno od rešenja koje je polako pronalazi primenu u praksi je primena geomreža za ojačanje asfaltnih slojeva. Ukoliko se pravilno koriste, geomreže mogu dovesti do usporavanja ili čak sprečavanja razvoja reflektovanih pukotina, poboljšanja otpornost na zamor i povećanja otpornosti na trajnu deformaciju – kolotrage [1]. One se obično postavljaju ispod ili između asfaltnih slojeva i mogu imati kvadratni, šestougao ili pravougaoni oblik mreže različite veličine otvora. Pored različitog oblika i veličine otvora, postoje i različite vrste geomreža koje se koriste, kao što su geomreže od staklenih vlakana, geokompoziti od staklenih mreža i tkanih i netkanih geotekstila, itd. [2]

Do sada su sprovedene mnogobrojne studije, najčešće u laboratorijskim uslovima ili na terenu, u kojima je dokazan pozitivan uticaj ojačanja geomrežama na karakteristike kolovoznih konstrukcija [3,4]. Međutim, još uvek nije razvijena jedinstvena metodologija pomoću koje bi njihov uticaj bio jasno kvantifikovan prilikom projektovanja kolovoznih konstrukcija, iako je do sada bilo par pokušaja [5,6]. Jedan od ulaznih podataka koji se razmatra u ovim metodama je otpornost na zamor asfaltnih mešavina, a koja se određuje u laboratorijskim uslovima i to najčešće primenom opita savijanja grede u četiri tačke (4 Point Bending Beam – 4PBB) [7,8]. Ovaj opit je našao primenu i kod asfaltnih sistema ojačanih geomrežama (jednoslojnih, dvoslojnih ili čak troslojnih), uprkos ograničenjima kao što su: složena i dugotrajna priprema uzoraka, nemogućnost ispitivanja uzoraka realne veličine i dugotrajan proces ispitivanja. Kako bi se odredio uticaj prisustva mreže na otpornost na zamor, upoređuje se otpornost na zamor asfaltnih uzoraka ojačanih mrežom sa otpornošću na zamor uzoraka bez ojačanja [7]. Efikasnost mreže, kao i kritična dilatacija koji se koriste u projektovanju kolovoznih konstrukcija, značajno zavise od kriterijuma koji se koriste za analizu laboratorijskih podataka. Za tu svrhu se može koristiti nekoliko dostupnih opcija, kao što su: smanjenje krutosti do određenog nivoa (50%, u skladu sa EN 12697-24), smanjenje faznog ugla, rasipanje (disipacija) energije, energetski odnos (Energy Ratio – ER), itd. Međutim, u nedavno sprovedenoj studiji [9] je zaključeno da neke metode možda nisu pogodne za analizu ojačanih uzoraka, s toga predlažući razvijanje nove metodologije. Zbog toga je nedavno razvijena nova metoda, poznata kao „pojednostavljena tačka infleksije“ (Simplified Flex Point – SFP), koja je potvrdila da tradicionalna metoda (50% smanjenja početne krutosti) može potceniti efikasnost mreže [10].

Za potrebe ove studije pripremljeno je šest setova uzoraka napravljenih od asfaltne mešavine za izradu habajućeg sloja saobraćajnica sa teškim i vrlo teškim saobraćajnim opterećenjem (AC 11 surf). Asfaltne mešavine, od kojih su napravljeni uzorci, su uzorkovane direktno na asfaltnoj bazi i sadržale su iste proporcije komponentnih materijala, ali različite vrste bitumena – četiri seta su sadržala običan putni bitumen 50/70, a dva seta PmB 45/80-65. Asfaltna mešavina sa običnim bitumenom je iskorišćena za proizvodnju jednog jednoslojnog seta uzoraka, jednog dvoslojnog (bez ojačanja) i dva dvoslojna ojačana geomrežama M1 i M2. Dodatno, asfaltna mešavina sa polimer-modifikovanim bitumenom je korišćena za

proizvodnju jednog dvoslojnog seta uzoraka bez ojačanja i jednog dvoslojnog seta ojačanog mrežom M2.

Pripremljeni uzorci su ispitani primenom 4PBB opita, a dobijeni rezultati su analizirani primenom novorazvijene SFP metode, kao i primenom dve standardizovane metode (50% gubitka krutosti, u skladu sa EN 12697-24, princip energetskog odnosa, u skladu sa EN 12697-24 i ASTM D8237-21). Nakon određivanja otpornosti na zamor pojedinih setova, uticaj ojačanja mrežama na životni vek asfaltnih uzoraka je procenjen primenom faktora poboljšanja otpornosti na zamor (Fatigue Resistance Improvement factor – FRIF).

2. MATERIJALI, PRIPREMA UZORAKA I METODE ISPITIVANJA

2.1. MATERIJALI

Dve asfaltna mešavine, od kojih je svaka sadržala 5% bitumena u odnosu na težinu agregata, uzorkovane su direktno iz silosa na asfaltnoj bazi. Obe mešavine su bile identičnog sastava, s tim što je jedna sadržala običan bitumen (AC11 surf 50/70), a druga PmB (AC11 surf 45/80-65). Mešavine su spravljene od filera (5,5%) i peska (0/2 mm – 27,6%) krečnjačkog porekla, dok su ostale frakcije bile eruptivnog porekla (2/4 – 15,7%, 4/8 – 25,6% i 8/11 mm – 20,6%). Procentualno učešće svih komponenti je prikazano u zgradama. Fizičko-mehanička svojstva obe mešavine data su u Tabeli 1.

Tabela 1. Fizičko-mehanička svojstva asfaltnih mešavina

Karakteristika	AC11 surf 50/70	AC11 surf 45/80-65	Jedinica	Standard
Stabilnost – S	10.4	14.6	kN	EN 12697-34
Tečenje – F	3.5	4.4	Mm	
Maršalov koeficijent – S/F	3.0	3.3	kN/mm	
Zapreminska masa – Zm	2.428	2.419	Mg/m ³	EN 12697-6
Maksimalna zapreminska masa – Zmax	2.558	2.553	Mg/m ³	EN12697-5
Sadržaj šupljina – V _š	5.1	5.3	% [v/v]	EN 12697-8
Sadržaj šupljina u mineralnoj mešavini ispunjen bitumenom – VFB	69.9	69.3	% [v/v]	
Sadržaj šupljina u mineralnoj mešavini – VMA	16.9	17.1	% [v/v]	

U okviru studije korišćene su dve geomreže od staklenih vlakana. Obe su bile obložena slojem elastomernog polimera, sa istom čvrstoćom u uzdužnom i poprečnom pravcu (mreža M1 – 50 kN/m i mreža M2 – 100 kN/m) i istom veličinom mrežnih otvora 25 x 25 mm. Donja strana geomreža je imala samolepljivi sloj, što je olakšavalo njihovu ugradnju.

Korišćene su dve različite vrste bitumenske emulzije za pripremu uzoraka. Prva je bila katjonska emulzija sa 60% rezidualnog običnog bitumena (KN 60) i koristila se pri izradi uzoraka od AC 11 surf 50/70 mešavine. Druga emulzija sadržala je istu količinu rezidualnog PmB veziva (PmB KN 60) i korišćena je za proizvodnju uzoraka sa AC 11 surf 45/80-65 mešavinom. Bez obzira na prisustvo geomreže, uvek je nanošeno 300 g/m² bitumenske emulzije prilikom pripreme dvoslojnih uzoraka.

2.2. PRIPREMA UZORAKA

Nakon uzorkovanja asfaltnih mešavina, osamnaest ploča (tri po setu) dimenzija 50 x 50 x 7 cm je pripremljeno u metalnim kalupima pomoću valjka težine 1t (Slika 1). Prvo je ugrađen donji sloj debljine 3 cm, a nakon što se asfaltna mešavina ohladila, naneta je bitumenska emulzija i ostavljena da se razgradi. Kada god su korišćene geomreže, postavljene su i dodatno utisnute ponovljenim prolazima valjka kako bi se obezbedila dobra adhezija sa ugrađenim asfaltnim slojem. Nakon toga, gornji sloj, debljine 4 cm, ugrađen je na isti način. Ploče su uklonjene iz kalupa dan nakon ugradnje i precizno isečene kako bi se dobilo šest gredica iz svake ploče, dodatno uklanjajući po 1 cm asfalnog sloja sa gornje i donje strane svakog uzorka. Uzorci za ispitivanje su bili dužine 40 cm i širine 6 cm. Svaki uzorak je imao ukupnu visinu od 5 cm, pri čemu je donji sloj bio debljine 2 cm, a gornji sloj 3 cm. To znači da su međuslojevi (koji su sadržali samo bitumensku emulziju ili i emulziju i geomrežu) bili ispod neutralne zone prilikom ispitivanja, tj. u zoni zatezanja.

Oznake uzoraka su prikazane u Tabeli 2.

Tabela 2. Oznake ispitnih uzoraka

Asfaltna mešavina	Broj slojeva	Bitumenska emulzija	Geomreža	Oznaka	Skraćenica
AC11 surf 50/70	jedan	-	-	Jednoslojni uzorci (B50/70)	JU(50/70)
	dva	KN 60	-	Dvoslojni uzorci (B50/70)	DU(50/70)
	dva	KN 60	M1	Dvoslojni uzorci (B50/70)+M1	DU(50/70)+M1
	dva	KN 60	M2	Dvoslojni uzorci (B50/70)+M2	DU(50/70)+M2
AC11 surf 45/80-65	dva	PmB KN 60	-	Dvoslojni uzorci (PmB)	DU(PmB)
	dva	PmB KN 60	M2	Dvoslojni uzorci (PmB)+M2	DU(PmB)+M2

Sadržaj šupljina ispunjenih vazduhom svakog uzorka je određen u skladu sa standardom EN 12697-8, pri čemu je utvrđeno da dvoslojni uzorci ojačani geomrežama M1 i M2 imaju nešto veći sadržaj šupljina u odnosu na dvoslojne uzorke bez geomreža (otprilike za 0.5-1.0%).

2.3 METODE ISPITIVANJA

2.3.1. OPIT SAVIJANJA GREDICE U ČETIRI TAČKE (4PBB)

Nakon određivanja zapreminskih karakteristika svih uzoraka, otpornost na zamor svakog uzorka je određena primenom 4PBB opita. Svi uzorci su ispitani nakon dvočasovnog kondicioniranja na temperaturi od 20°C i frekvenciji od 10 Hz u režimu kontrolisanog napona, prema EN 12697-24, Aneks D. Opiti su sprovedeni na tri različita nivoa napona (po 6 gredica na svakom nivou, od ukupno 18 iz svakog seta), pri tome vodeći računa da broj ciklusa koji dovodi do zamora uzoraka iz svake grupe bude približno 10⁴, 10⁵ i 10⁶ ponavljanja opterećenja.



Slika 1. Priprema uzoraka za ispitivanje

2.3.2. ANALIZA PODATAKA ISPITIVANJA

Kako bi se odredio zakon zamora svakog seta uzoraka, pojedinačni rezultati ispitivanja svih 18 uzoraka (u pogledu početne dilatacije i broja ciklusa opterećenja koji dovode do zamora) su zajedno predstavljeni u obliku eksponencijalne funkcije zamora:

$$\log(N_{(i,j,k)}) = A_0 + A_1 \cdot \log(\varepsilon_i) \quad (1)$$

gde su:

i – broj uzorka,

j – odabrani kriterijum koji dovodi do zamora,

k – skup uslova testiranja (20 °C i 10 Hz),

ε_i – početna dilatacija izmerena u 50. ili 100. ciklusu opterećenja ($\mu\text{m/m}$), u zavisnosti od kriterijuma zamora,

A_1 – nagib funkcije zamora u log-log prikazu,

A_0 – parametar prilagođavanja funkcije.

U ovoj studiji su korišćena tri različita kriterijuma za određivanje zamora uzoraka: tradicionalna metoda (50% gubitka krutosti – u daljem tekstu „50%“), metoda energetskog odnosa (Energy Ratio – ER – u daljem tekstu „ER“) i metoda pojednostavljene tačke infleksije (u daljem tekstu „SFP“). Na osnovu jednačine (1), izračunata je kritična dilatacija ε_6 primenom svakog kriterijuma, a koja dovodi do zamora celog seta uzoraka nakon 10^6 ciklusa opterećenja. Kritična dilatacija je korišćena za ocenu uticaja geomreža i metode analiza rezultata na vek trajanja asfaltnih uzoraka i za poređenje veka trajanja ispitanih setova.

Tradicionalna metoda – 50%

Van Dijk i Visser [11] definisali su zamor pri cikličnom opterećenju kao tačku u kojoj početna krutost (izmerena u 100. ciklusu) opadne do 50% ($N_f, 50\%$). Pored činjenice da različiti faktori

(kao što su nelinearnost, nepovratna deformacija i tiksotropija) mogu uticati na početnu vrednost krutosti, stvarni zamor se obično dešava između 35% i 65% gubitka početne krutosti, dok se u slučaju visoko modifikovanih materijala može desiti i pri 20% početne krutosti [12]. Ova metoda je u studiji izabrana za analizu, pošto je obuhvaćena evropskim standardom za određivanje otpornosti na zamor (EN 12697-24).

Metoda odnosa energije – ER

Prema ER metodi, zamor je definisan kao broj ciklusa pri kojem počinju da se formiraju prve pukotine u ispitnom uzorku (N_f, ER). Upotreba ove metode se predlaže u standardu ASTM D8237-21, a sličan pristup postoji i u već navedenom evropskom standardu. Zamor se očitava kao vršna vrednost dijagrama koji se razvija primenom sledeće jednačine:

$$\hat{S} \times \hat{N} = \frac{S_i \times N_i}{S_0 \times N_0} \quad (2)$$

gde su:

$S \times N$ – normalizovana krutost uzorka x normalizovani broj ciklusa,

S_i – krutost uzorka u i-tom ciklusu (MPa),

N_i – broj ciklusa i,

S_0 – početna krutost uzorka (MPa), približno u 50. ciklusu nanošenja opterećenja,

N_0 – broj ciklusa pri kojem je procenjena početna krutost.

Metoda pojednostavljene tačke infleksije – SFP

Nedavno razvijena SFP metoda [10] se može primeniti na rezultatima ispitivanja dobijenim primenom 4PBB opita, bez obzira na tip bitumena i strukturu uzorka (jednoslojni ili dvoslojni, ojačani ili neojačani). Ova metoda definiše otkaz uzorka ($N_{f,SFP}$) kao tačku infleksije eksperimentalne krive dilatacije tokom nanošenja ciklusa opterećenja (Slika 2).

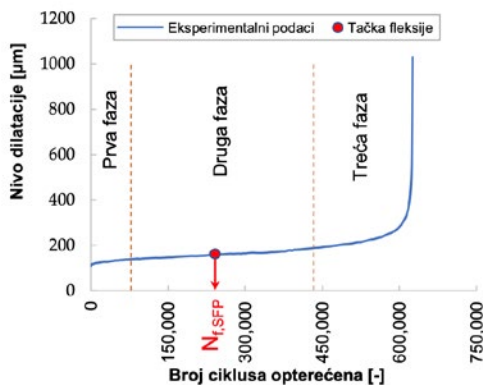
Ova kriva ima tri faze (primarnu, sekundarnu i tercijarnu), sa potpuno različitim eksperimentalnim trendovima:

Prva faza – brzina priraštaja dilatacije (nagib krive) je uvek pozitivna i brzo opada.

Druga faza – postoji pretpostavljena tačka infleksije ($N_{f,SFP}$) koja se koristi za identifikaciju tačke otkaza uzorka koji se ispituje.

Treća faza – nivo deformacije naglo raste do potpunog gubitka upotrebljivosti uzorka.

Kriva uvek ima sledeće karakteristike: uvek ima rastući trend (treći izvod je pozitivan duž cele krive), dok je drugi izvod (koji se odnosi na zakrivljenost) negativan za tačke koje prethode tački infleksije, a pozitivan za one koje dolaze nakon iste. Na osnovu ovih karakteristika, koristi se nelinearni polinom visokog reda za interpolaciju, što pomaže u određivanju tačke zamora uzorka.



Slika 2. Primer krive razvoja dilatacije tokom 4PBB opita [10]

Faktor poboljšanja otpornosti na zamor – FRIF

Kako bi se odredio uticaj prisustva geomreže na otpornost na zamor, uveden je FRIF (Fatigue Resistance Improvement Factor), pri čemu se koriste kritične dilatacije ojačanog i neojačanog seta. Konkretno, FRIF se izračunava prema sledećoj jednačini:

$$FRIF = \frac{\varepsilon_6^R - \varepsilon_6^{UR}}{\varepsilon_6^{UR}} \times 100$$

gde su:

ε_6^R – kritična vrednost dilatacije seta uzoraka ojačanih geomrežom ($\mu\text{m}/\text{m}$),

ε_6^{UR} – kritična vrednost dilatacije seta uzoraka bez ojačanja ($\mu\text{m}/\text{m}$).

Pozitivne vrednosti FRIF-a znače da je prisustvo ojačanja pozitivno uticalo na otpornost na zamor asfaltnih uzoraka, tj. produžilo je njihov vek trajanja, dok negativne vrednosti znače obrnuto.

3. REZULTATI ISPITVANJA I DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Broj ciklusa koji dovodi do zamora svakog uzorka, kao i odgovarajuće početne dilatacije, određeni su primenom gorenavedenih metoda. Nakon toga, dobijeni podaci su ubačeni u eksponencijalnu funkciju zamora (Jednačina 1) i za svaki set uzoraka i metodu analize rezultata su određeni odgovarajući regresioni koeficijenti A_0 i A_1 i koeficijent korelacije R^2 . Konačno, izračunate su kritične vrednosti deformacije (ε_6^R za setove uzoraka ojačanih geomrežom i ε_6^{UR} za setova bez ojačanja).

Na osnovu rezultata ispitivanja (Tabela 3 i Slika 3) može se videti da su vrednosti A_1 (nagibi) kod uzoraka koji sadrže PmB uvek niže, a vrednosti A_0 uvek više nego kod uzoraka koji sadrže običan bitumen 50/70.

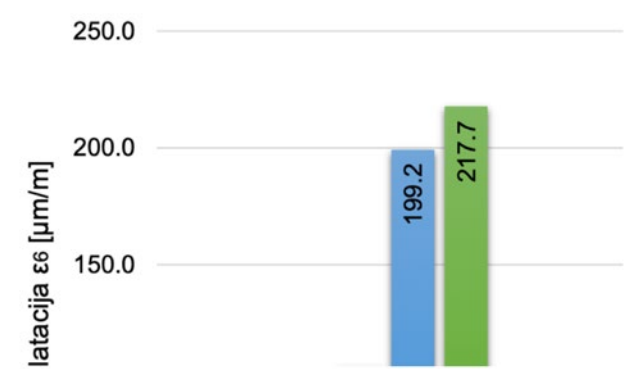
Kada se analiziraju koeficijenti korelacije, može se zaključiti da svi imaju relativno visoke vrednosti (iznad 0.8), bez obzira na primenjenu metodu. Međutim, u slučaju tradicionalne metode (50%) i seta DU(50/70)+M2, vrednost R^2 je bila najniža u poređenju sa ostalim metodama i setovima uzoraka.

Tabela 3. Regresioni koeficijenti zakona zamora i koeficijenti korelacije

Oznaka setova	50%			ER			SFP		
	AO	A1	R ²	AO	A1	R ²	AO	A1	R ²
JU(50/70)	17.14	-5.52	0.98	16.91	-5.41	0.99	16.84	-5.53	0.99
DU(50/70)	16.48	-5.26	0.98	16.38	-5.22	0.98	16.33	-5.34	0.98
DU(50/70)+M1	16.38	-5.14	0.98	16.38	-5.15	0.98	15.94	-5.08	0.98
DU(50/70)+M2	16.21	-5.15	0.82	18.68	-6.16	0.91	18.67	-6.26	0.91
DU(PmB)	20.82	-6.43	0.92	22.15	-6.92	0.96	21.68	-6.82	0.95
DU(PmB)+M2	20.32	-6.13	0.93	21.22	-6.42	0.92	21.32	-6.55	0.93

Kada se upoređuju kritične dilatacije setova sa različitim bitumenima i bitumenskim emulzijama, sa Slike 3 jasno se može uočiti da su vrednosti kritične dilatacije uzoraka koji sadrže PmB bitumen bile gotovo duplo veće u poređenju sa uzorcima koji sadrže običan bitumen i bitumensku emulziju, ukazujući na to da PmB značajno poboljšava otpornost na zamor.

Takođe je potrebno i napomenuti da set dvoslojnih uzoraka bez ojačanja DU(50/70) ima niže vrednosti kritične dilatacije u odnosu na jednoslojni set napravljen od iste asfaltne mešavine (JU(50/70)), što je izričito posledica uniformnosti uzoraka (dvoslojni uzorci sadrže bitumensku emulziju između slojeva koja doprinosi „slabljenju“ uzoraka).



Slika 3. Kritične dilatacije izračunate primenom različitih metoda

Kada se vrši poređenje metoda za analizu rezultata, sa Slike 3 može se uočiti da različite metode daju različite vrednosti kritične dilatacije ϵ_6 , pri čemu je ER metoda uglavnom uvek rezultovala najvišim, a SFP metoda najnižim vrednostima, bez obzira na tip bitumena, vrstu bitumenske emulzije ili prisustvo geomreže. Izuzeci su uočeni kod setova JU(50/70), DU(50/70) i DU(50/70)+M1, gde su vrednosti kritične dilatacije izračunate primenom tradicionalne metode bile za nijansu više od onih izračunatih primenom ER metode. U dva dodatna slučaja SFP metoda nije rezultovala najnižim ϵ_6 vrednostima, i to kod uzoraka ojačanih M2 mrežom. Naime, vrednost kritične dilatacije seta DU(PmB)+M2 izračunata primenom SFP metode je bila neznatno veća od vrednosti izračunate primenom tradicionalne metode, dok je kritična dilatacija seta DU(50/70)+M2 bila otprilike 11% veća kada se uporede iste metode.



Slika 4. Uticaj prisustva geomreža na vek trajanja asfaltnih uzoraka

Na kraju je određen uticaj ojačanja geomrežama na vek trajanja asfaltnih uzoraka primenom parametra FRIF (Slika 4). Uopšteno, FRIF vrednosti svih setova ojačanih geomrežama su gotovo uvek pozitivne, što znači da je ojačanje unapredilo otpornost na zamor. Jedini izuzetak je set DU(50/70)+M2, gde je tradicionalna metoda pokazala da geomreža ne poboljšava, već zapravo pogoršava otpornost na zamor. Jedan od mogućih razloga nepouzdanosti tradicionalne metode može biti povezan sa uslovima oštećenja, jer ova metoda direktno zavisi od napona, za razliku od druge dve analizirane metode, što je već primećeno u ranijim studijama [10,12].

Kada se govori o uticaju pojedinih vrsta geomreža na vek trajanja asfaltnih uzoraka, može se zaključiti da mreža M1 povećava otpornost na zamor uzoraka sa običnim bitumenom za približno 6%, a mreža M2 za približno 10-15%, u zavisnosti od primenjene metode analize rezultata. Uticaj iste vrste mreže (M2) na vek trajanja uzoraka sa PmB je procentualno nešto skromniji (zbog visokih vrednosti kritičnih dilatacija) i doprinosi povećanju veka trajanja od približno 8.5% bez obzira na primenjenu metodu, ali uz relativno sličan priraštaj kritične dilatacije kao i kod seta sa običnim bitumenom (oko 15-20 $\mu\text{m/m}$).

4. ZAKLJUČCI

S obzirom da višeslojni asfaltni sistemi ojačani geomrežama još uvek nisu prepoznati u postojećim specifikacijama i standardima za određivanje otpornosti na zamor, cilj ove studije je bio da se istraži uticaj geomreža na zamor dvoslojnih uzoraka koji su napravljeni od različitih asfaltnih mešavina (sa običnim i PmB bitumenom). Kako bi se to utvrdilo, primenjene su dve standardizovane (tradicionalna i ER metoda) i jedna novorazvijena metoda (pojednostavljena tačka infleksije - SFP) na podacima dobijenim tokom 4PBB opita sprovedenog na šest setova uzoraka, od kojih su dva bila ojačana geomrežom M2, a jedan geomrežom M1.

Najvažniji zaključci ove studije su:

Kod ispitivanja uzoraka napravljenih od asfaltne mešavine sa običnim putnim bitumenom, tradicionalna metoda (50% smanjenja početne krutosti) može potceniti efikasnost mreže.

Kritične vrednosti dilatacije ϵ_g kod uzoraka sa PmB dobijene tradicionalnom i SFP metodom su uporedive, dok su vrednosti dobijene ER metodom uvek veće.

Ojačanje geomrežom M1 povećava otpornost na zamor dvoslojnih uzoraka za približno 5–6 $\mu\text{m/m}$ (5–6%), a mrežom M2 za približno 15–20 $\mu\text{m/m}$ (10–15% kod uzoraka sa običnim bitumenom i oko 8.5% kod uzoraka sa PmB bitumenom).

FRIF vrednosti su pokazale da kod uzoraka sa polimer-modifikovanim bitumenom izbor metode za analizu rezultata nema preveliki uticaj na dobijene vrednosti. Međutim, kod uzoraka sa običnim bitumenom, samo vrednosti dobijene primenom SFP i ER metoda su uporedive, što govori o značaju izbora metode za analizu rezultata.

Dalja istraživanja treba usmeriti na efikasnost različitih vrsta geomreža, uključujući geokompozite ili geomreže različitih zateznih čvrstoća. S obzirom na veliki broj alternativnih metoda za analizu otpornosti na zamor, buduće studije treba da se fokusiraju na uspostavljanje korelacije između različitih metoda i na način integrisanja ojačanja mrežama u proces dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija.

LITERATURA:

- [1] A. Zofka, M. Maliszewski, D. Maliszewska, Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures, *Road Mater. Pavement Des.* 18 (2017) 471–490. <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1266775>.
- [2] M.L. Nguyen, J. Blanc, J.P. Kerzrého, P. Hornych, Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR, *Road Mater. Pavement Des.* 14 (2013) 287–308. <https://doi.org/10.1080/14680629.2013.774763>.
- [3] G. Ferrotti, F. Canestrari, A. Virgili, A. Grilli, A strategic laboratory approach for the performance investigation of geogrids in flexible pavements, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 2343–2348. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.032>.
- [4] G. Shafabakhsh, M. Akbari, H. Bahrami, Evaluating the Fatigue Resistance of the Innovative Modified-Reinforced Composite Asphalt Mixture, *Adv. Civ. Eng.* 2020 (2020). <https://doi.org/10.1155/2020/8845647>.
- [5] M.L. Nguyen, C. Chazallon, M. Sahli, G. Koval, P. Hornych, D. Doligez, A. Chabot, Y. Le Gal, L. Brissaud, E. Godard, Design of Reinforced Pavements with Glass Fiber Grids: From Laboratory Evaluation of the Fatigue Life to Accelerated Full-Scale Test, in: *Accel. Pavement Test. to Transp. Infrastruct. Innov.*, 2020: pp. 329–338. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55236-7_34.
- [6] A. Zofka, M. Maliszewski, Practical overlay design method for geogrid reinforcement of asphalt layers, *Road Mater. Pavement Des.* 20 (2019) S163–S182. <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1590222>.
- [7] N. Sudarsanan, A. Arulrajah, R. Karpurapu, V. Amrithalingam, Fatigue Performance of Geosynthetic-Reinforced Asphalt Concrete Beams, *J. Mater. Civ. Eng.* 32 (2020) 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003267](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003267).
- [8] M. Orešković, S. Trifunović, G. Mladenović, Š. Bohuš, Fatigue resistance of a grid-reinforced asphalt concrete using four-point bending beam test, in: A.F. Nikolaidis, E. Manthos (Eds.), *Bitum. Mix. Pavements VII*, CRC Press, Thessaloniki, Greece, 2019: pp. 589–594. <https://doi.org/10.1201/9781351063265-79>.
- [9] B. Pouteau, A. Martin, K. Berrada, J.-A. Decamps, P. Diez, Impact of the Performance of the Asphalt Concrete and the Geogrid Materials on the Fatigue of Geogrid-Reinforced Asphalt Concrete—Experimental Study, in: H. Di Benedetto, H. Baaj, E. Chailleux, G. Tebaildi, C. Sauzet, S. Mangiafico (Eds.), *RILEM Int. Symp. Bitum. Mater.*, Springer

Nature Switzerland, 2022: pp. 1015–1021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46455-4_129.

- [10] M. Orešković, Š. Bohuš, A. Virgili, F. Canestrari, Simplified methodology for fatigue analysis of reinforced asphalt systems, *Mater. Struct. Constr.* 57 (2024). <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02305-1>.
- [11] W. Van Dijk, W. Visser, The Energy Approach to Fatigue for Pavement Design, in: *Proc. Assoc. Asph. Paving Technol.*, San Antonio, Texas, 1977: pp. 1–40.
- [12] P. Blakeship, G.M. Rowe, Fatigue assessment of conventional and highly modified asphalt materials with ASTM and AASHTO Specifications, in: *12th Conf. Asph. Pavements South. Africa*, Sun City, South Africa, 2019.

OCJENA MOGUĆEG SMANJENJA SMRTNIH ŽRTAVA I TEŠKO POVRIJEĐENIH PRILIKOM UDARA U PASIVNO SIGURNE STUPOVE JAVNE RASVJETE

EVALUATION OF THE POSSIBLE REDUCTION OF FATALITIES AND SERIOUSLY INJURED VICTIMS WHEN HITTING PASSIVELY SAFE PUBLIC LIGHTING POLES

Autori/Authors:

Demeter Prislan, dipl.ek., ICC DEMETER PRISLAN S.P., Dobravica 44, SI-1292 Ig

e-mail: demeter.prislan@siol.net , mobitel: +386 41 647 814

Carolien Willems, SAFETY PRODUCT N.V., Boudewijnlaan 5, B-2243 Pulle

e-mail: carolien.willems@safety-product.eu , mobile: +32 473 71 20 24

John Leko, dipl.ing.prom., TRAFEX d.o.o., Zvonigradska 14, HR-10000 Zagreb

e-mail: info@trafex.hr mobitel: +385 98 980 6776

SAŽETAK

Udar osobnog vozila u stup javne rasvjete obično ima za posljedicu teško povrijeđene osobe ili čak smrtnu žrtvu. Ako je stup pasivno siguran sukladno normi EN 12767 onda su posljedice u pravilu samo materijalne prirode. Kako onda ocijeniti mogući doprinos u smanjenju žrtava cestovnog prometa? U tome može pomoći nedavno objavljena studija primjera u sjevernom dijelu Belgije.

Ključne riječi: pasivno siguran stup, HE stup, smrtna žrtva, teško povrijeđeni, EN 12767, vjerojatnoća udara u stup

SUMMARY

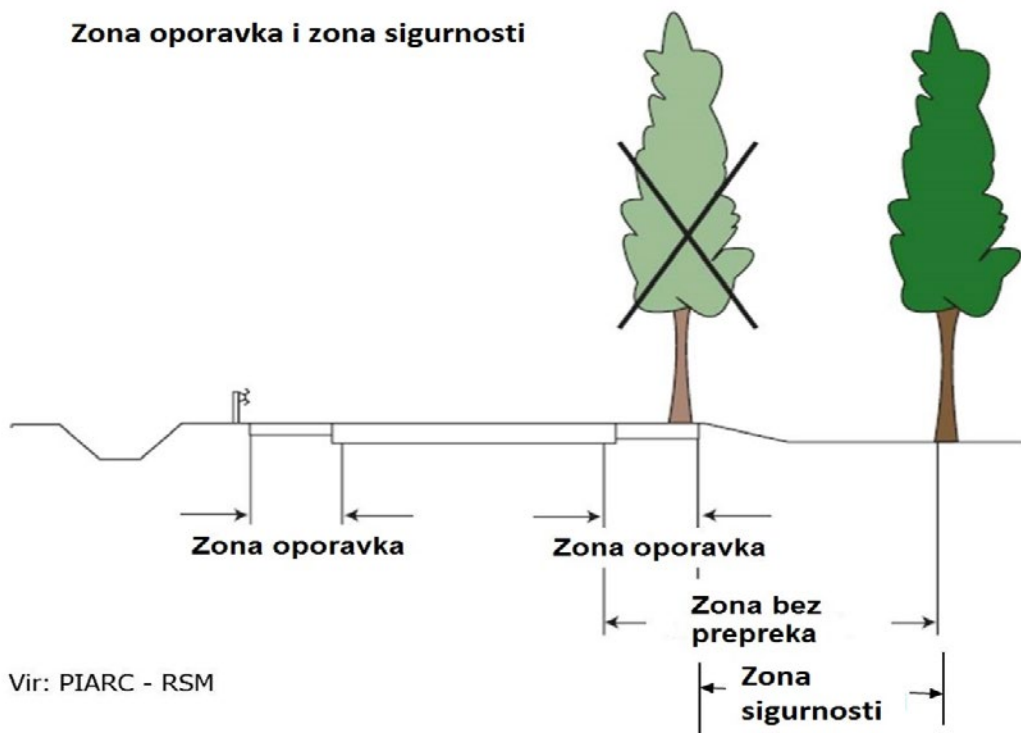
A personal vehicle hitting a public light pole usually results in serious injuries or even death. If the column is passively safe in accordance with the EN 12767 standard, then the consequences are usually only of a material nature. How then to evaluate the possible contribution to the reduction of road traffic victims? A recently published case study in the northern part of Belgium can help with this.

Key words: passive safe pole, HE pole, fatality, heavy injured, EN 12767, probability of a car crash into pole

1. UVOD

Slijetanje s ceste, odnosno nenamjerna promjena smjera kretanja vozila, čest je slučaj. U literaturi koja obrađuje tematiku slijetanja pojedinog vozila s ceste (u stranoj literaturi takav primjer je poznat kao SVROR – single vehicle run-off road) mogu se naći podaci, da je takvih primjera od 30 pa do 50 % od svih prometnih nesreća. Iz biltena o sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske iz 2021 čak 37% svih smrtnih slučajeva pripada kategoriji slijetanja vozila s ceste i udar vozila u objekt kraj ceste, što znači izgubljena kontrola kretanja vozila. Ne mora biti svako slijetanje s ceste problematično u smislu ljudskih žrtava ili teške povrijeđe, međutim rijetko kada je područje ceste van prometne površine tako uređeno, da se može vozilo relativno sigurno zaustaviti bez štetnih učinaka na ljudsko tijelo. Područje ceste uz samu voznu površinu, u stranoj literaturi poznato kao „roadside“, bi trebalo biti tako uređeno, da na njemu ne bi bilo nikakvih opasnosti za vozila koja bi zbog izgubljene kontrole kretanja slijetala s ceste. Koncept sigurnih prometnica govori o tome da treba maknuti sve opasne objekte u zoni sigurnosti. Ako određeni objekti moraju biti blizu vozne površine, to su prije svega stupovi javne rasvjete i nosači prometnih znakova i tabli, morali bi biti takvi, da ne predstavljaju ozbiljniju opasnost za putnike u vozilu ukoliko ono udari u njih. Kažemo, da su to pasivno sigurni nosači opreme ceste. Ako takve mogućnosti nemamo, onda trebamo opasne objekte u zoni sigurnosti štititi sistemima za zadržavanje vozila. Najčešće su to razne odbojne ograde, njihovi početni elementi i ublaživači udara.

Zona oporavka i zona sigurnosti



Vir: PIARC - RSM

Slika 1: Princip sigurne ceste – širina i duljina zone sigurnosti ovisi o tipu prometnice i razlikuje se od države do države. Izvor: PIARC

Dok su sistemi za zadržavanje relativno dobro poznati i može ih se klasificirati po učinkovitosti u odnosu na potrebe koje se pojavljuju na određenom tipu prometnice, pasivno sigurni nosači opreme još uvijek predstavljaju nedoumicu u smislu primjene i smislenosti implementacije.

2. PASIVNO SIGURNI NOSAČI OPREME CESTA

Pasivno sigurni nosači opreme su oni, koji u slučaju udara vozila u njih, ne uzrokuju opterećenja ljudskog tijela koja bi mogla imati za posljedicu povrijeđene putnika. Neki od nosača pružaju prilikom udara vozila u njih relativno veliki otpor dok drugi jedva primjetljivi otpor. Shodno tome imamo onda kategoriju nosača sa visokom apsorpcijom energije, niskom apsorpcijom energije i nosače bez apsorpcije energije. To znači, da postoje bitne razlike u ostatku kinetičke energije vozila koja se manifestira u brzini kretanja pojedinog vozila nakon udara u pasivno sigurni nosač. U slučaju udara vozila sa 100 km/h u pasivni sigurni nosač visoke apsorpcije energije (HE stup), brzina kretanja vozila nakon udara će biti najviše 50 km/h, a možda će takav nosač vozilo i u potpunosti zaustaviti. To svakako ovisi o konstrukciji samog nosača jer su svi ostali uvjeti kao što su brzina kretanja vozila u trenutku udara, masa testnog vozila i smjer udara, određeni metodom ispitivanja funkcioniranja nosača.2

Tabela 1: Kategorije apsorpcije energije: nosači koji su kategorizirani kao oni bez apsorpcije energije omogućuju kretanje vozila nakon udara sa najmanje 70 km/h pa treba zbog toga osigurati dosta veliko područje za sigurno zaustavljanje. Izvor: EN 12767:2019

Table A.3 — Energy absorption categories

Speed class	50	70	100
Energy absorption category	Vehicle exit speed, v_e km/h		
HE	$v_e = 0$	$0 \leq v_e \leq 5$	$0 \leq v_e \leq 50$
LE	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$50 < v_e \leq 70$
NE	$5 < v_e \leq 50$	$30 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

Za razliku od pasivno sigurnih nosača visoke apsorpcije energije, nosači bez apsorpcije energije pružaju bitno manji otpor kod udara vozila, pa tako ostavljaju relativno veliku preostalu količinu kinetičke energije koja se manifestira u preostaloj brzini kretanja vozila. Nakon udara u takav tip pasivno sigurnog nosača brzina iznosi najmanje 70 km/h. Učinak usporenja na ljudsko tijelo je u tom slučaju jako mali, mjeren indeksom ASI čak manje od 1 ali je problem u tome što vozilo velikom brzinom nastavi kretanje. Ako postoji u području zaustavljanja još neki opasan objekt postoji velika mogućnost da vozilo udari i u njega. Da trenutačno zaustavljanje kod brzine 70 km/h nije bezazleno govore brojne studije učinka brzog usporavanja.

3. UČINAK USPORENJA NA LJUDSKO TIJELO

Ozljede uslijed usporavanja nastaju kada se tijelo koje se kreće velikom brzinom iznenada zaustavi, uzrokujući razne vrste trauma. Pri 50 km/h, zaustavljanje za 0,1 sekundu uzrokuje vrlo veliku silu usporavanja, potencijalno do 30 g, što može uzrokovati ozbiljne ozljede kao što su šok, potres mozga, abrazije, uganuća, poderotine kože, puknuća unutarnjih organa, prijelomi kostiju i paraliza disanja i cirkulacije, krvarenje i oštećenje organa. Ako se vrijeme zaustavljanja produži na 0,7 sekundi, sila usporavanja se značajno smanjuje, što može smanjiti težinu ozljeda. Međutim, čak i s duljim vremenima usporavanja, još uvijek može doći do ozljeda, iako mogu biti manje teške u usporedbi sa zaustavljanjem od 0,1 sekunde. Sudar za manje od 0,2 sekunde za tijelo koje se kreće brzinom od 100 km/h može biti smrtonosan.

Naglo usporavanje može uzrokovati značajne sile na ljudsko tijelo, mjereno gravitacijskim ubrzanjem (g). Ako je trajanje usporavanja kraće od 0,2 sekunde, najveća trajna sila usporavanja je oko 30 g kada je okrenut prema naprijed. Takve sile mogu uzrokovati teške ozljede, uključujući šok, potrese mozga, puknuće unutarnjih organa, pa čak i respiratorni i cirkulacijski zastoj. Ljudsko tijelo može izdržati nešto veće sile, do 35 g, ako je leđima okrenuto prema liniji ubrzanja, ali i u tom slučaju rizik od ozbiljne ozljede ostaje visok.³



Slika 2: Zaustavljanje vozila sa brzinom naleta 46 km/h, trajanje udara 0,5 sekunde, usporenje -138 m/s^2 Izvor: Probni udar u kruti stup – poligon Španik, Muska Sobota 2009⁴

Iz navedenog možemo zaključiti, da može biti i samo usporenje opasno za ljudsko tijelo. U slučaju udara u klasični kruti nosač postoji i drugi problem, to je dubok prodor klasičnog nosača opreme u karoseriju. Što je kontaktna površina manja, to je prodor dublji uz pretpostavku, da su svi ostali faktori nepromijenjeni. Stoga je neobično, da upravljači puteva još uvijek razmišljaju, da li da primjene pasivno siguran nosač ili običan kruti nosač opreme cesta.

4. STUPOVI JAVNE RASVJETE

Od svih bočnih opasnosti koje se nalaze uz prometnicu se najčešće spominju stabla ali brzo slijede onda stupovi javne rasvjete. Oni su postavljeni tamo gdje se traži noću bolja vidljivost, pa se zbog toga i nalaze blizu vozne površine. Klasični kruti stupovi javne rasvjete su dokazano opasni za sudionike u prometu. Da bi napravili prometnicu sigurniju potrebno je stupove štiti sistemima za zadržavanje vozila ili pak zamijeniti klasične stupove sa pasivno

sigurnim stupovima javne rasvjete. Kako je bilo već ranije spomenuto pasivno siguran stup kao nosač opreme za ceste može biti deklariran kao stup sa visokom apsorpcijom energije, sa niskom apsorpcijom energije i bez apsorpcije energije. Pored toga svrstan je u jednu od tri kategorija brzine udara a treba biti označen i razredom sigurnosti za putnike u vozilu. Najsigurniji je razred A i za njegovo postizanje potrebno je, da razlika u brzini prije i nakon udara vozila nije veća od 3 km/h. To znači, da vozilo nakon udara u takav stup juri dalje sa brzinom najmanje 97 km/h.5

Tabela 2: Indeks žestine udara – možemo reći, da je tabela pomalo zbunjujuća jer navodi razrede sigurnosti od najmanje do najviše sigurnog, ipak, sve vrijednosti ASI i THIV (Theoretical Head Impact Velocity – teoretična brzina udarca glave) ostaju o okviru onih koje se upotrebljavaju i u standardu EN 1317. Izvor: EN 12767:2019

Table A.4 — Impact severity indexes

Energy absorption categories	Occupant safety class	Speeds			
		Low speed test 35 km/h		High speed test 50 km/h, 70 km/h, 100 km/h	
		Maximum values		Maximum values	
		ASI	THIV km/h	ASI	THIV km/h
HE / LE / NE	E	1	27	1,4	44
HE / LE / NE	D	1	27	1,2	33
HE / LE / NE	C	1	27	1	27
HE / LE / NE	B	0,6	11	0,6	11
NE	A	No test required	No test required	No ASI and THIV measurements	

Takvi stupovi se u glavnom upotrebljavaju za prometne znakove dok se za prometne table koriste nosači bez apsorpcije energije koji postižu razred sigurnosti putnika B. U tom razredu ASI indeks žestine ubrzanja, odnosno usporenja ne smije da pređe 0,6 a THIV (teoretična brzina udarca glave) ne smije da pređe 11 km/h. Za oba primjera je jasno, da je za sigurno zaustavljanje vozila potrebno urediti dosta veliku zonu sigurnosti bez bilo kakvih prepreka i opasnosti u kojoj će se vozilo bez većih poteškoća na siguran način zaustaviti. Dalje se pasivno sigurni stupovi javne rasvjete svrstaju u razred sigurnosti C, D ili E. Razred C ima karakteristiku žestine ubrzanja ASI 1,0 pri brzini 100 km/h kao i kod 35 km/h, dok razred E ima još uvijek prihvatljivih ASI 1,4 i THIV 44 km/h (ta su opterećenja u skladu sa vrijednostima iz područja sistema za zadržavanje vozila, standard EN 1317).

5. OCJENA SMISLENOSTI

Sa stajališta sigurnosti putnika u vozilu ćemo bez sumnje uvijek radije birati pasivno siguran stup a ne klasični kruti stup. Ali upravljač puta i osvjetljenja će uvijek ispostavlјati troškove nabavke pasivno sigurnih stupova i zamišljenih povećanih troškova montaže. Pri ocjeni smislenosti trebamo razlikovati dva nivoa interesa. Interes na državnom nivou koji prvenstveno ukazuje na potrebu za smanjenjem smrtnih žrtava udara vozila u stupove i interes na lokalnom nivou koji prvo vidi povećane troškove javne rasvjete. I jedan i drugi sta u

osnovi orijentirana na uštedu finansijskih sredstava. Na državnom nivou se broj potencijalno mogućih smrtnih žrtava i teško ranjenih pomnoži sa troškovima društva za takve primjere koji se ocjenjuju na 2–3 milijuna eura po jednoj smrtnoj žrtvi i onda pristupi realizaciji implementacije ugradnje pasivno sigurnih stupova jer se radi o dugoročnom planiranju i sveobuhvatnom pristupu tematici. Na lokalnom nivou znaju biti problemi u razumijevanju potrebe za implementacijom pasivno sigurnih stupova nešto kompliciraniji. Prvo što se vidi kod konkretnog izvođenja projekta je, da su stupovi skuplji od običnih, krutih. Međutim, treba znati i to, da u primjerima gdje bi trebali stavljati odbojnu ogradu samo zbog toga da štiti od mogućeg naleta vozila u stup, ona više nije potrebna, a drugi aspekt koji se zaboravlja je mogućnost postavljanja stupova bliže voznoj površini. Time se smanjuje potreba za otkup zemljišta, a smanjuje se i potreba za visokim stupovima i jakim svjetiljkama, što sve smanjuje troškove projekta i dodatno pozitivno utječe na okolinu kroz smanjenje svjetlosnog zagađenja.

Primjer ugrađenih pasivno sigurnih stupova visoke apsorpcije energije (HE stupovi) sa ljubljanske sjeverne obilaznice potvrđuje, da se jednim zamahom riješilo dva problema. Naime, ugrađeni stupovi nisu štice odbojnom ogradom jer to nije potrebno. Od stupa do stupa ima 30 m, pa je lako izračunati u novcima koliko se uštedilo na ogradi u odnosu na razliku u cijeni stupa. Time što se ograda nije ugrađivala su se izbjegle moguće komplikacije u slučaju probijanja električnih vodova a skratio se i rok izvođenja projekta. HE stupovi su ugrađeni i na svim ulazima i izlazima na obilaznicu pa je igrom slučaja bio spašen i jedan ljudski život ili teška ozljeda jer je vozač koji je svojom Corsom udario u prvi stup na ulasku na obilaznicu sa približno 75 km/h nakon što se zaustavio neozlijeđen izašao iz auta i pozvao vučnu službu. Možda bi mogao i maknuti svoje vozilo ali je završio jašući odbojnu ogradu koja se nalazila u blizini, pa mu je dalje kretanje bilo onemogućeno. Da je na tom mjestu bio klasični kruti stup možemo konstatirati, znajući rezultate brojnih testova, da bi vozač sigurno zadobio ozbiljne ozljede a moguće je da bi izgubio i život.⁵



Slika 3: Pregažen pasivno siguran stup nakon udara Corse sa ocijenjenih 75 km/h. Izvor: arhiva Demeter Prislan

6. UTJECAJ HE-STUPOVA NA OZBILJNOST POSLJEDICA

Prije spomenuta igra slučaja, u kojoj se može izgubiti ili očuvati život, se može dogoditi bilo kada, bilo gdje. Takvim odgovorom vjerojatno upravljač puta ne bi bio zadovoljan, pa se zbog toga pristupilo projektu studije utjecaja pasivno sigurnih HE stupova na ozbiljnost posljedica slijetanja s ceste pojedinog vozila. Studija je bila rađena za područje sjevernog dijela Belgije u kojem je ugrađeno više tisuća pasivno sigurnih HE stupova pored svih klasičnih koji su bili postavljani ranije.

6.1. FORMIRANJE BAZE PODATAKA

Podaci o pojedinim vozilima koja su slijetala s ceste su se skupljali od 2015. do 2020. godine na sekcijama cesta u Flandriji. Analitičari su skupljali informacije o ozljedama vozača i o najtežim ozljedama putnika kao izlazne promjenjive. Skupljali su se podaci samo iz slučajeva slijetanja pojedinih vozila sa ceste. U nacionalnoj evidenciji udara su se nalazili samo oni koji su bili vezani na nekakvu ozljedu. To je bio problem, jer situacija u kojoj nitko nije ozlijeđen nije bila uključena. Da bi se riješio taj problem uzeti su o obzir i podaci o oštećenjima objekata u zoni cesta. Takva su oštećenja skoro uvijek posljedica udara pa se smatralo da za svako oštećenje koje nije upisano u nacionalnu bazu udara to predstavlja samo materijalnu štetu. U nacionalnoj bazi sudara postoje samo tri nivoa ozljeda koji uključuju smrt, tešku ozljedu i lakšu ozljedu. Za smrt uzrokovanu prometnom nesrećom smatra se osoba koja umre zbog posljedica u roku od 30 dana a za teško ozlijeđenu ona koja mora ostati u bolnici više od jednog dana. Manja ozljeda se registrira u slučaju kada osoba treba medicinsku pomoć ali napusti bolnicu prije 24 sata. Dodatno se u setove promjenjivih uključilo i grupu gdje je bila uključena samo materijalna šteta (PDO – Property Damadge Only). Da se moglo identificirati koji tip stupa je bio udaren vezalo se podatke o udarima sa geodetski kodiranom listom više od 5800 HE stupova. Stupovi javne rasvjete i nosači znakova su se vodili odvojeno po kriterijima lokacije, vrjemena i vrste objekta. Na osnovi ovih kategorizacija formirana su bila dva seta podataka. Prvi je uključivao samo udare gdje je bilo ozlijeđenih dok je drugi set uključivao i materijalnu štetu (PDO) ali bez podataka o vrsti nesreće, vozilu, putnicima i prometnici.

Tabela 3: set promjenjivih sa ozlijeđenim osobama - samo vozačima, pravljen na osnovu nacionalne baze podataka o udarima kod slijetanja s ceste. Izvor: Studija LNEC⁶

Table 3.1 – Descriptive statistics of ROR crash severity (*Injury crashes dataset – driver injury*)

Outcome variable	Fatal	Severe injury	Minor injury	Uninjured	Total
Number of occurrences	346	1586	9559	836	12327
Percentage	2,8%	12,9%	77,5%	6,8%	100,0%

Tabela 4: set promjenjivih sa najgore ozlijeđenim putnicima i/ili samo materijalnom štetom pravljen na osnovu baze podataka flandrijske Road and Traffic Agency (AWV) u kojoj su i sudari u fiksne objekte, uključujući i oštećene stupove. Izvor: Studija LNEC⁶

Table 3.2 – Descriptive statistics of ROR crash severity (*Injury & PDO crashes dataset - most severely injured occupant*)

Outcome variable	Fatal	Severe injury	Minor injury	Uninjured	Total
Number of occurrences	391	1758	10157	15560	27866
Percentage	1,4%	6,3%	36,4%	55,8%	100,0%

6.2. NALAZI VEZANI ZA STUPOVE

Slijetanja pojedinih vozila s ceste koja uključuju tradicionalne krute stupove povećavaju rizik teških ozljeda za skoro 90% u odnosu na situaciju kad nema udara u stup. Također, klasični stupovi smanjuju mogućnost, da vozač prođe bez ozljeda za 24%. S druge strane HE pasivno sigurni stupovi povećavaju mogućnost rizika za manje ozljede za 128% razmjerno smanjujući rizik za teške ili fatalne posljedice udara.

Rezultati različitih modela obrade podataka, upotrebljavajući ozljedu vozača in najgoru ozljedu putnika kao izlazne promjenjive, vode do istog zaključka u pogledu usmjerenosti učinka utjecaja na ozbiljnost slijetanja vozila s ceste. Pozitivna usmjerenost potvrđuje tezu o mogućnosti smanjenja smrtnih primjera i teških ozljeda i na račun toga povećanju broja malih ozljeda i primjera sa samo materijalnom štetom. Uspoređivanjem podataka o materijalnim štetama sa podacima o nesrećama sa ozljedama koje je dostavila policija, više od 14000 primjera sa samo materijalnom štetom je bilo dodanih onima koje je registrirala policija, među ostalim i 8 gde su bili uključeni pasivno sigurni HE stupovi.



Slika 4: HE pasivno sigurni stupovi duž ceste sa visokom frekvencijom vozila i malom frekvencijom pješaka. Izvor: arhiva Demeter Prislan

Rezultati studije su pokazali, da se potvrđuju prethodni pronalazi u literaturi koja je obrađivala ozbiljnost slijetanja pojedinog vozila s ceste u više aspekta. Najvažnije, rezultati ove studije daju dokaz da pasivno sigurni HE stupovi (sukladni sa EN 12767 HE) pridonose smanjenju ozljeda i potvrđuju pravilnost u pogledu implementacije stupova javne rasvjete kao i koncepta „opraštajućih puteva“ u cilju smanjenja ozbiljnosti ozljeda kod slijetanja pojedinih vozila s cesta.

ZAKLJUČAK

Ulazni podaci su glavni faktor ograničenja u nastojanjima da se prouči učinak objekata uz prometnicu na ishod udara, posebno još kada se radi o malim ozljedama ili kada ozljeda uopće nema. Ovo ograničenje znači, da treba brižljivo interpretirati rezultate ove studije i da treba dalje raditi na prikupljanju podataka o udarima u pasivno sigurne stupove gdje se radi samo o materijalnoj šteti kako bi se razvilo fleksibilniji i kompleksniji model specifikacija. Potrebno je naglasiti potrebu po daljem prikupljanju podataka o udarima kao i o opremi cesta, sve u cilju mogućnosti proširenja baze za dalja istraživanja koja će dati ažurne preporuke za što učinkovitije unapređenje pasivne sigurnosti cesta.

LITERATURA

- [1] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2021, RH, Ministarstvo unutarnjih poslova, Zagreb 2022
- [2] EN 12767:2019
- [3] <https://www.britannica.com/science/deceleration-injury>
- [4] Škrilec Jože, dipl.ing.prom., Zaključno poročilo: Poskusni trki vozil MS 2009 ZIPpole-klasičen drog
- [5] <https://zippole.com/crash-tests>
- [6] Roque C., Cardoso J. L. - LNEC, Martensen H., Lequeux Q. - VIAS INSTITUTE; Study on the influence of high energy absorbing passive safe poles in run-off road crash severity; Lisboa, 2023

OTKRIVANJE PROMETNIH ANOMALIJA, INCIDENATA I NESREĆA NEPRIMJETNO UZ DIONICU CESTE PUTEM DISTRIBUIRANOG AKUSTIČNOG SENZORA

DETECTION OF TRAFFIC ANOMALIES, INCIDENTS AND ACCIDENTS SEAMLESSLY ALONGSIDE A ROAD STRETCH BY DISTRIBUTED ACOUSTIC SENSING

Dr. techn. **Thomas Edl**, thomas.edl@deltabloc.com

Dipl.-Ing. **Klemen Klemar**, klemen.klemar@deltabloc.com

DELTABLOC International GmbH, Austria

SAŽETAK

Uvođenjem distribuiranog akustičnog osjetila (DAS) sada je moguće kontinuirano pratiti ključne parametre vozila duž prometnice, poput broja vozila, brzine, ubrzanja, usporavanja, vrste i smjera kretanja. Ova tehnologija nudi nove mogućnosti za detekciju, interpretaciju i predviđanje aktivnosti na cestama. U nedavnom istraživanju DAS je korišten na privremenoj sigurnosnoj barijeri u radnoj zoni duž dionice od dva kilometra na jednoj europskoj autocesti. Podaci su prikupljeni tijekom nekoliko mjeseci, omogućujući detekciju tisuća vozila dnevno. Razvijeni su inovativni sustavi za obradu podataka i algoritmi koji precizno mjere brzinu, ubrzanje i usporavanje svakog pojedinog vozila. Ovo istraživanje pokazuje kako je DAS postao učinkovito rješenje za nadzor prometa, nudeći potencijal za detekciju i predviđanje prometnih anomalija, incidenata i nesreća.

ABSTRACT

Each road network can carry a certain capacity of traffic. The volume of this traffic can be influenced by passive factors and active factors. Passive factors would be, for example, the number, width and nature of the lanes, curve guidance, fixed signage, etc. Active factors would be, for example, vehicle types and their respective share of traffic volume, their permissible or possible speeds, signaling and influencing systems such as traffic lights, etc. These factors are forming the traffic flow and often result in a traffic flow well below the theoretical maximum. In particular, peak times, traffic jams, the combination of heavy and normal traffic, accident events and, in particular, the human factor with the typical behavioral patterns lead to a drastic reduction in the possible traffic capacity. In addition, a large number of accidents occur due to collisions, slow vehicles or crashed vehicles. This leads to further traffic jams and inefficiency.

Another potential method to monitor and detect traffic continuously along a road stretch could be the use of distributed acoustic sensing. However this method is not used in practice yet, because the amount of data collected is excessive and complex to handle.

1. UVOD

Svaka cestovna mreža ima određeni kapacitet za prijenos prometa. Na obujam prometa utječu pasivni i aktivni čimbenici. Pasivni čimbenici uključuju, na primjer, broj, širinu i karakteristike prometnih traka, smjer zavoja, fiksnu prometnu signalizaciju itd. Aktivni čimbenici su, na primjer, vrste vozila i njihov udio u prometu, dozvoljene ili moguće brzine, signalni i upravljački sustavi poput semafora itd. Ovi čimbenici oblikuju prometni tok, koji često ostaje znatno ispod teoretskog maksimalnog kapaciteta ceste. Posebno u razdobljima prometnih gužvi, zastoja, kombinacije teških i lakih vozila, prometnih nesreća te, osobito, ljudskog faktora i uobičajenih obrazaca ponašanja dolazi do značajnog smanjenja mogućeg kapaciteta prometa. Posljedično, prometni tok postaje neučinkovit i dovodi do povećanih emisija CO₂. Osim toga, velik broj prometnih nesreća nastaje zbog sudara, sporih vozila ili oštećenih vozila, što dodatno uzrokuje prometne zastoje i smanjuje učinkovitost.

Opći pristup rješavanju ovog problema temelji se na aktivnoj intervenciji i upravljanju. Stvarni prometni tok može se povećati i optimizirati pomoću sustava semafora, aktivnih LED prometnih signalnih sustava, dinamičkih prikaza ograničenja brzine itd. Kako bi se povećala protočnost na postojećoj cesti, na primjer, privremeno se postavljaju statični prometni znakovi ili se, ovisno o uvjetima u prometu, koriste dinamički LED signalni sustavi. Međutim, ovi sustavi zahtijevaju određene ulazne podatke, poput gustoće prometa, brzine, vrsta vozila, vremena itd., kako bi mogli aktivno upravljati prometnim tokom. Ti ulazni podaci prikupljaju se pomoću senzora poput kamera s naprednim softverom za detekciju, indukcijskih petlji u asfaltu, radara, svjetlosnih senzora i drugih mjernih sustava. Nedostatak ovih senzora je što djeluju samo na određenim lokacijama, dakle selektivno. Osim toga, potrebna im je odgovarajuća opskrba energijom na tim mjestima. Također je često nužno postaviti čelične konstrukcije ili nosače iznad prometnice kako bi se senzori mogli pričvrstiti iznad prometnih traka.



Tipični portal iznad autoceste za nadzor protoka prometa

Kako bi se pokrio određeni cestovni odsjek, duž njega mora biti postavljen velik broj takvih selektivnih mjernih točaka. To je vrlo složeno i stoga skupo. Osim toga, promatrani dio ceste nije pokriven bez prekida – razmaci između senzora nisu nadzirani jer se prikupljanje podataka odvija samo na određenim točkama. Zbog toga nije moguće detektirati događaje koji se događaju između senzora, poput prometnih nesreća, naglog kočenja i kvarova vozila.



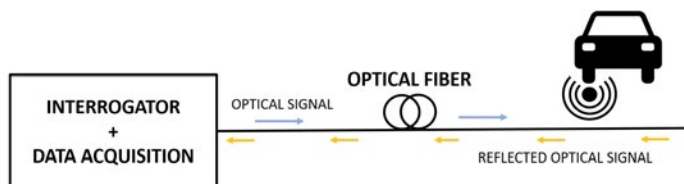
"Nevidljivo" kontinuirano praćenje prometa s "pametnim barijerama radne zone" koje detektiraju protok prometa u oba smjera s DAS tehnologijom

Samo kontinuirano i trajno bilježenje prometnih podataka u stvarnom vremenu, duž cijele duljine ceste, moglo bi omogućiti sveobuhvatnu optimizaciju prometnog kapaciteta, jer bi omogućilo otkrivanje i bilježenje svih pojedinačnih događaja. Takvo prikupljanje podataka trenutno bi bilo izvedivo samo postavljanjem velikog broja pojedinačnih senzora na što manjoj međusobnoj udaljenosti.

Druga potencijalna metoda za neprekidno nadziranje i detekciju prometa duž cestovnog odsjeka mogla bi biti upotreba distribuiranog akustičnog osjetila (DAS). Međutim, ova metoda još nije primijenjena u praksi jer je količina prikupljenih podataka prevelika i složena za obradu, a osjetljivost i preciznost još ne ispunjavaju potrebne zahtjeve. Osim toga, korištenje superračunala bilo bi preskupo i prekomplikirano. Dodatno, buka koju stvaraju manja vozila, električna vozila i spora vozila vrlo je niska te je postojeće metode vjerojatno ne bi mogle detektirati.

DAS tehnike već su korištene za detekciju prijetnji, koristeći sposobnost prepoznavanja vibracijskih signala u blizini optičkih vlakana. Ti su signali vrijedni za zadatke poput upravljanja cestovnim prometom i zaštite komunikacijskih objekata. Međutim, razlikovanje vibracija uzrokovanih normalnim prometom od onih koje dolaze iz anomalnih izvora predstavlja značajan izazov. Dodatno, teško je razdvojiti vibracije koje nastaju kada se vozila kreću blizu jedno drugoga, voze paralelno, pretječu se ili mijenjaju brzinu ubrzanjem i kočenjem.

Budući da distribuirano akustično osjetilo bilježi miješane šumove u obliku različitih frekvencija i intenziteta iz cijelog okruženja, uključujući vjetar, gibanje (vibracije) samog kabela, zvukove motora, zvukove guma itd., izlazni podaci su mutni i vrlo teško ih je interpretirati, što rezultira netočnostima. Do sada nisu postojale odgovarajuće metode filtriranja i algoritmi koji bi mogli učinkovito obraditi ovakve zadatke.



Operativni DAS sustav unutar 19" kofera i shematski izgled

Kako bi se omogućilo kontinuirano i trajno prikupljanje prometnih podataka u stvarnom vremenu, duž cijele duljine ceste, optički kabel može se predvidjeti duž trase ceste kao linearna senzorska jedinica. Na početnoj točki tog sustava, računalo bilježi signale iz optičkog kabela i pretvara ih u upotrebljive podatke. Na taj način omogućuje se neprekidno i trajno bilježenje prometnih podataka u stvarnom vremenu duž cijele duljine ceste, pri čemu se analiziraju vibracije koje uzrokuju vozila.

Budući da se izvor zvuka ili vibracije kreće duž optičkog kabela, moguće je odrediti brzinu, usporavanje i ubrzavanje vozila. Tako se u bilo kojem dijelu optičkog kabela može mjeriti brzina prometnog toka, čime se omogućuje analiza stupnja iskorištenosti cestovne infrastrukture i dodatna interpretacija podataka.

2. POČETNO TESTIRANJE U ZATVORENOM OKRUŽENJU

Kako bi se procijenile mogućnosti i potencijal distribuiranog akustičnog osjetila (DAS), sustav je postavljen na zatvorenoj testnoj stazi. Ovaj prvi korak bio je nužan za utvrđivanje potencijala ove metode osjetila, kalibraciju sustava te usporedbu različitih tipova osjetilnih kabela i njihovih položaja u odnosu na prometnu traku. Utvrđeno je da položaj kabela ima značajan utjecaj na kvalitetu podataka.



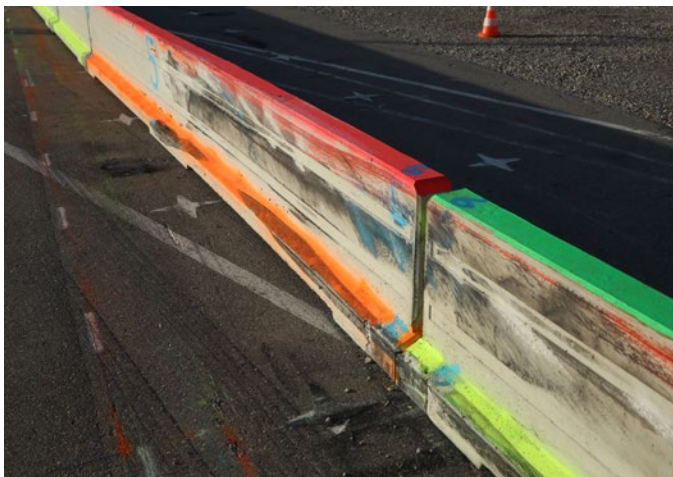
Postavljanje testa s kabelima senzorskih vlakana instaliranim na sigurnosnoj barijeri radne zone i različitim vrstama vozila

2.1. PRIMJENA DAS-A NA "PAMETNOJ SIGURNOSNOJ BARIJERI RADNE ZONE"

Zaštitna barijera u radnoj zoni odvaja radnu zonu na autocesti od živog prometa iz sigurnosnih razloga. Budući da je brzina vožnje uz radnu zonu smanjena, a širina prometnih traka sužena, rizik od prometnih zastoja i nesreća znatno je veći. Konkretno, cilj je bio pronaći optimalni položaj osjetilnog kabela u kombinaciji s montažnom betonskom zaštitnom barijerom za radne zone.

Prema europskim standardima, zaštitna barijera za radne zone mora biti podvrgnuta crash testu kako bi se procijenila njezina sigurnosna učinkovitost. Očito je da će udar vozila u zaštitnu barijeru generirati izražen akustični signal. Time je moguće identificirati vrijeme udara, točnu lokaciju, brzinu vozila te intenzitet sudara. Dodatno, položaj kabela treba biti što bolje zaštićen, ali istovremeno ne smije imati akustičnih nedostataka pri detekciji buke prometa.

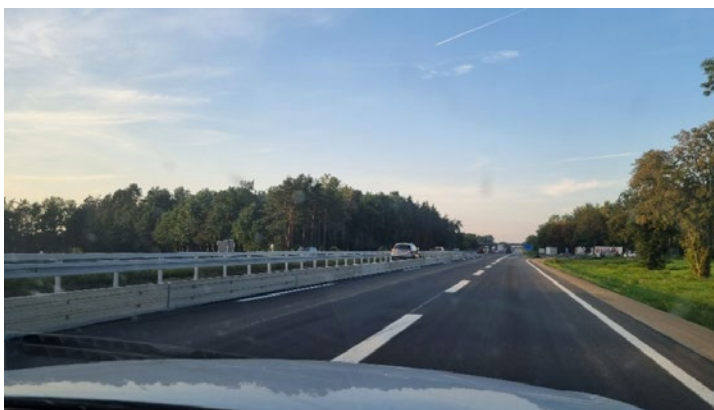
Proveden je crash test u skladu s europskim standardom EN 1317 za klasu zadržavanja H1. Na ovoj razini ispitivanja, kamion mase 10 tona udara u zaštitnu barijeru brzinom od 70 km/h pod kutom od 15 stupnjeva. Karakteristični uzorak buke zabilježen je pomoću distribuiranog akustičnog osjetila (DAS). Uzorak je analiziran, uključujući trajanje signala, u odnosu na parametre udara. Cilj ove analize je kasnije razviti algoritme za automatsku identifikaciju uzoraka sudara. Kabel nije pretrpio oštećenja i nastavio je normalno raditi nakon udara.



Udarno vozilo TB 42 (kamion od 10 tona pri 70 km/h i kut udarca od 15°) u "pametnu barijeru radne zone"

3. OPERATIVNI PILOT PROJEKT U PROMETU UŽIVO

U ljeto 2023. godine provedeno je pilot-projekt na autocesti u Njemačkoj uz gradilište. Tijekom šest tjedana nadzirao se promet na dionici dužoj 1200 metara. Novi sustav za detekciju prometa instaliran je kako bi se procijenila njegova praktičnost i kvaliteta prikupljenih podataka. Cilj projekta bio je pružiti prvi uvid u interpretaciju prometa i početne zaključke.



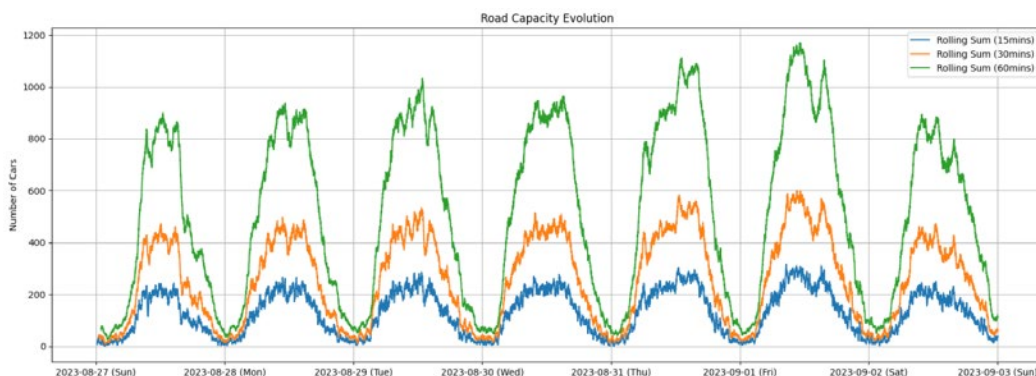
"Pametna barijera radne zone" za odvajanje živog prometa od radne zone na testnom projektu u Njemačkoj (novi asfalt u zoni radova već završen na slici)

Nakon analize podataka primijenjene su različite metode filtriranja kako bi se izdvojila relevantna prometna traka. Primjenom ovih metoda filtriranja također je bilo moguće isključiti smetnje iz okoliša te buku koju su stvarala teška vozila tijekom radova u zoni

gradilišta. Sustav nadzora radio je neprekidno, 24 sata dnevno, tijekom svih šest tjedana bez prekida.

3.1. BROJENJE I KAPACITET CESTA

U prvoj fazi razvijen je algoritam koji omogućuje brojanje vozila duž nadziranog cestovnog odsjeka. Zbog prirode metode nadzora bilo je moguće brojati broj vozila kao funkciju vremena (trajanje brojanja) i lokacije (mjesto brojanja). Podatkovni sustav bio je postavljen tako da brojanje vozila provodi s razlučivošću od deset metara. Drugim riječima, kapacitet ceste mogao se odrediti kao funkcija duljine cestovnog odsjeka.



Broj vozila tijekom vremena na slobodno odabranoj poziciji

Postojeće metode brojanja vozila vezane su uz određene lokacije. Stoga mogu utvrditi broj vozila samo kao funkciju vremena u odnosu na jedno određeno mjesto.

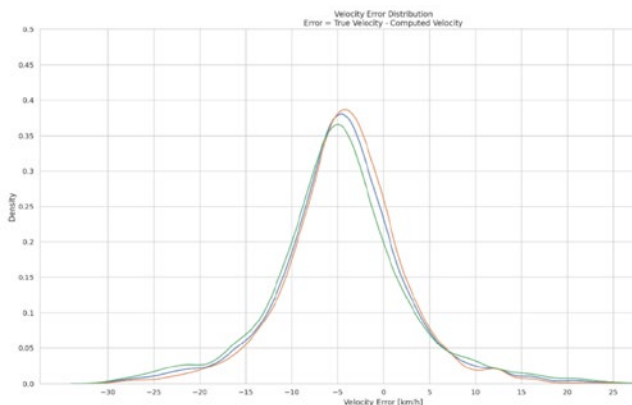
Prosječan broj vozila iznosio je približno 10.000 dnevno, što znači da je tijekom trajanja projekta zabilježeno više od 400.000 vozila.

3.2. DETEKCIJA BRZINE

Vozila su se mogla detektirati putem buke koju stvaraju gume. Što je buka bila jača i izraženija, to je i intenzitet signala bio veći. Utvrđeno je da je odabrana konfiguracija senzorskog sustava mogla učinkovito raditi s intenzitetima buke vozila koja se kreću brzinom od 20 km/h ili, pod određenim okolnostima, čak i nižom. Točnost detekcije brzine iznosila je 95%.

Referentne vrijednosti („ground truth“) određene su pomoću lokalnih radarskih senzora postavljenih na tri različite lokacije unutar testne dionice. Najveća točnost postignuta je pri visokim brzinama (oko 80 km/h) i pri dovoljnoj udaljenosti između vozila, što je prirodno za tu razinu brzine. Pri nižim brzinama i većoj gustoći prometa točnost se smanjivala.

Ipak, nova metoda detekcije prometa uspjela je doseći razinu točnosti suvremenog radarskog sustava korištenog za validaciju u pilot-projektu, neovisno o uvjetima testiranja. Budući da testni sustav nije bio kalibriran niti je koristio softverske korekcije, poboljšanje točnosti pri najnižim brzinama ne smatra se prevelikim izazovom te će biti provedeno u sljedećem projektu.



Točnost brzine u odnosu na gustoću prometa

3.3. OPERATIVNO UPOZORENJE O PROMETNIM ZAČUPAMA I TUMAČENJE

Budući da se brzina i lokacija bilo kojeg vozila duž senzorskog kabela mogu odrediti, moguće je usporediti te informacije s unaprijed definiranim graničnim vrijednostima. Kako bi se detektirala moguća prometna gužva, može se definirati granična brzina u odnosu na minimalni broj vozila koji prelazi ili pada ispod te brzine.

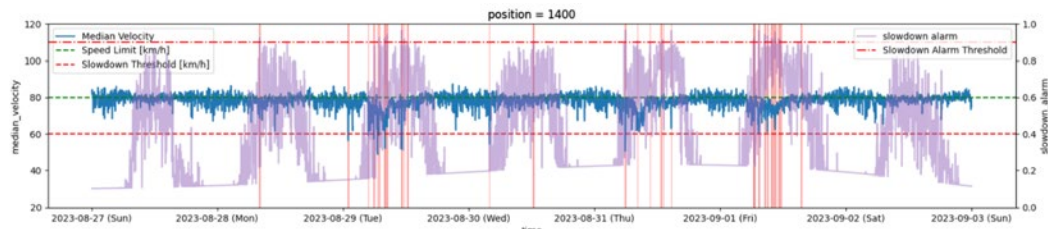
U pilot-projektu ograničenje brzine bilo je postavljeno na 80 km/h. Većinu vremena sudionici u prometu su poštivali to ograničenje. Povremeno je došlo do povećanja prometne gustoće, što je rezultiralo smanjenjem prosječne brzine. Prag za signalizaciju prometne gužve postavljen je na 60 km/h. Kad god je prosječna brzina prometnog toka pala ispod 60 km/h, aktivirala se upozoravajuća informacija. Zbog prirode senzorskog sustava, ova upozoravajuća informacija mogla se odrediti na bilo kojoj lokaciji duž senzorskog kabela.

Dijagram ispod prikazuje upozoravajuće informacije na poziciji 1.400 metara tijekom razdoblja od sedam dana. Ljubičasta linija prikazuje indeks alarma usporavanja, koji je izravno proporcionalan gustoći prometa i obrnuto proporcionalan brzini vozila. Viša vrijednost ovog indeksa znači da veliki broj vozila usporava u kratkom vremenskom razdoblju. Za prag alarma usporavanja odabrana je konfigurabilna vrijednost od 0,9.

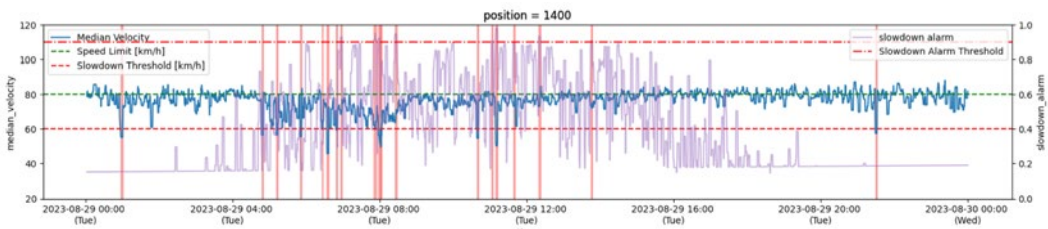
Primijećeno je da se oblik ovog indeksa sličan polumjesecu pojavljuje zbog uzorka koji se ponavlja u evoluciji gustoće prometa. To znači da broj vozila ima značajan utjecaj na indeks, a pragovi se mogu prilagoditi prema specifičnim primjenama.

Ako je prosječna brzina manja od praga od 60 km/h ili ako je indeks usporavanja veći od praga od 0,9, ta se lokacija smatra područjem od interesa u ovoj analizi. Pragovi su određeni na temelju empirijskih opažanja, a postoji prostor za njihovo dodatno prilagođavanje u budućim testnim projektima.

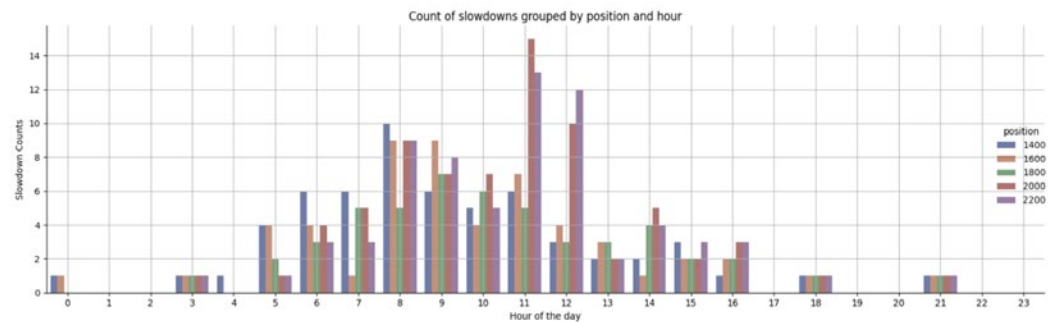
Povezivanjem broja incidenata koji prelaze prag s minimalnim brojem vozila može se izvesti točno upozorenje na prometnu gužvu. Cilj ove analize bio je prikazati mogućnosti obrade podataka. Na taj način moguće je odrediti početnu točku i vrijeme nastanka prometne gužve te njezinu evoluciju duž obje prometne trake.



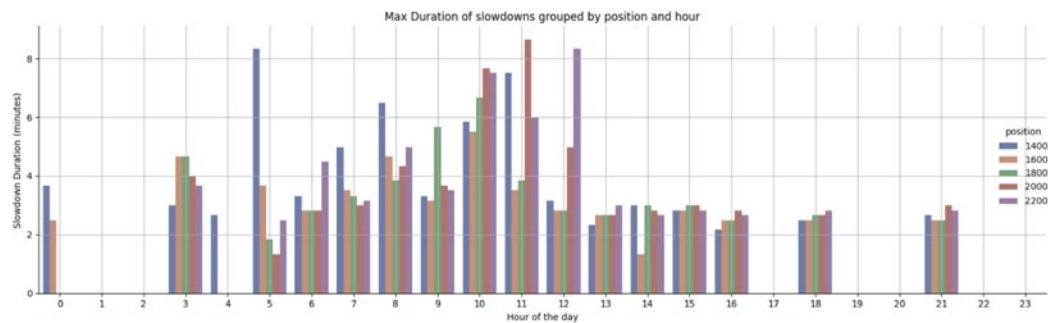
Analiza upozorenja na prometne gužve kroz tjedan dana



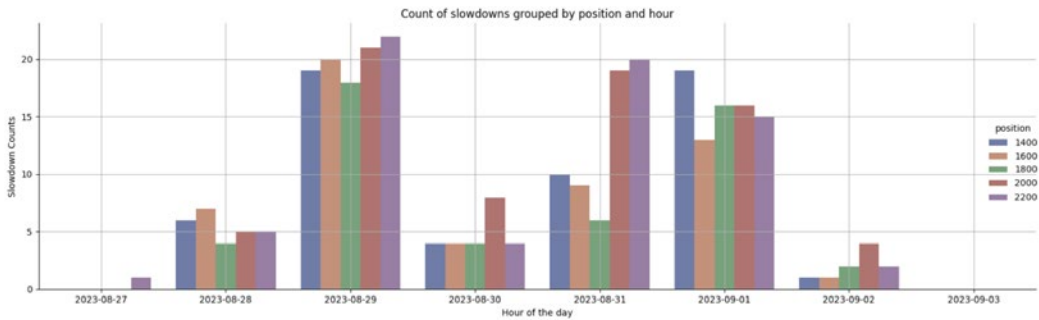
Analiza upozorenja na prometne gužve kroz jedan dan



Broj incidenata usporavanja prometa u odnosu na vrijeme



Trajanje incidenata usporavanja prometa u odnosu na vrijeme

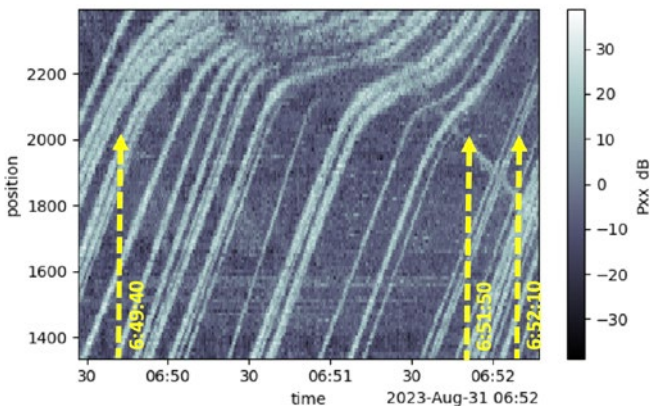


Broj incidenata usporavanja prometa u odnosu na vrijeme i položaj

3.4. DETEKCIJA UZORCA PROMETNE ZAČUPLJENOSTI

Pomoću distribuiranog akustičnog osjetila (DAS) vozila se prikazuju u prostorno-vremenskom dijagramu u obliku tragova. Ti se tragovi mogu promatrati kao funkcija vremena i udaljenosti. Vozilo koje se kreće konstantnom brzinom duž senzorskog kabela prikazuje se kao linearni trag u prostorno-vremenskom dijagramu. Što je kut traga strmiji, to je brzina veća, pri čemu je vrijeme prikazano na horizontalnoj osi.

Glavni izazov u prepoznavanju tragova leži u fizičkom ponašanju vozila. Ako vozilo mijenja brzinu ubrzanjem ili usporavanjem, njegov linearni trag prelazi u zakrivljeni oblik. Ako se vozilo zaustavi, trag naglo završava. Razumijevanjem dinamike i ponašanja vozila moguće je prepoznati i interpretirati specifične uzorke u prostorno-vremenskom dijagramu.



Vizualizacija manjeg prometnog zastoja i njegovo izravno rastvaranje

Analizirajući primjer prikazan na slici iznad, može se primijetiti da su se sva vozila kretala brzinom od 80 km/h između 1400. i 2000. metra. Međutim, ujutro 31. kolovoza u 6:49 i 40 sekundi počeo se stvarati mali prometni zastoj na 2200. metru. Tri kamiona, praćena s još dva kamiona i osobnim automobilom, morala su usporiti na izlazu iz radne zone prilikom prelaska s preusmjerene trake natrag na izvornu prometnu traku. Kao rezultat toga, prometni tok se gotovo u potpunosti zaustavio.

Posebno su vozila koja su bila na manjoj udaljenosti od prethodnog vozila dodatno povećala duljinu zastoja. Kraj prometne gužve postupno se pomicao s 2200. metra prema 2000. metru tijekom 130 sekundi, sve do 6:51 i 50 sekundi. Tada se zastoj počeo razrješavati jer su razmaci između nadolazećih vozila postali dovoljno veliki da apsorbiraju smanjenu brzinu

prometa. U 6:52 i 10 sekundi tri osobna automobila prošla su 2000. metar bez usporavanja, jer su imala dovoljan razmak od 400 metara do vozila koja su usporavala ispred njih.

Analiza pokazuje da bi razmak od 150 metara i dalje bio dovoljan da se prometni zastoj u potpunosti razriješi. Ovaj bi incident rezultirao produljenjem duljine prometne gužve da se dogodio u prometno gušćem dijelu dana.



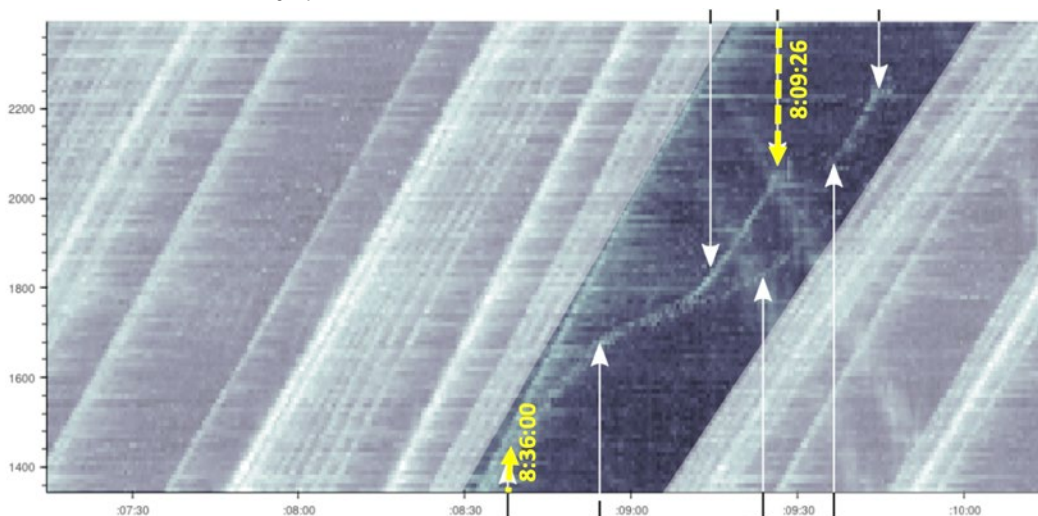
Usporavanje prometa na kraju zone radova, pri prelasku s preusmjerenih trakova na izvorne trakove

Ovakva analiza ne bi bila moguća pomoću točkastog nadzora prometa. Čak i s postavom više senzora u nizu, ovakav bi prometni incident ostao nezapažen.

3.5. DETEKCIJA UZORCA INCIDENTA

Još jedan incident identificiran je 16. kolovoza u 8:36. Osobni automobil usporio je s 80 km/h na 50 km/h, zatim na 20 km/h, a potom ponovno ubrzao na 80 km/h. Drugi osobni automobil ga je pratio izravno, ali nije ubrzavao, zbog čega se razmak između njih povećao.

Na 2030. metru, u 8:09 i 26 sekundi, prvi automobil izveo je naglo kočenje do potpunog zaustavljanja. U tom trenutku drugo vozilo bilo je na sigurnoj udaljenosti od 140 metara. Nakon 20 sekundi vozilo je ponovno ubrzalo na 80 km/h.



Uzorak prometa u prostorno-vremenskom dijagramu (x os prikazuje minute i sekunde nakon 20 sati)

Prikupljeni podaci omogućuju potpunu rekonstrukciju svakog pojedinačnog traga vozila, odnosno njegovog ponašanja, prometnih nesreća, gotovo nesreća ili incidenata za bilo koje od 400.000 vozila koja su prošla kroz 1.200 metara dugu radnu zonu tijekom šest tjedana promatranja.



Stvaranje kontroliranih incidenata za identifikaciju prometnih obrazaca

4. SAŽETAK I IZGLEDI

S prikupljenim podacima od približno 400.000 vozila tijekom prvog testnog projekta nadzora prometa pomoću distribuiranog akustičnog osjetila (DAS) bilo je moguće rekonstruirati i analizirati prometni tok te prometne anomalije, poput nesreća, koje su se dogodile tijekom šest tjedana promatranja na cestovnom odsječku dugom 1.200 metara. Ovo uključuje analizu brzine, razmaka između vozila i ponašanja sudionika u prometu. Time rekonstrukcija i proučavanje prometnih zastoja, nesreća i anomalija postaje jednostavno za nadležne institucije, sveučilišta, policiju, osiguravajuća društva i prometne planere.

Temeljni čimbenici interpretacije prometa – brzina, prometni kapacitet, prometni tok i brojanje vozila – uspješno su detektirani i izračunati s visokom razinom točnosti. Na temelju rezultata testiranja moguće su dodatne optimizacije.

Točnost mjerenja brzine vozila bila je na visokoj razini, osobito pri većim brzinama. Pri manjim brzinama i smanjenim razmacima između vozila točnost je bila nešto niža, ali i dalje dovoljno precizna za interpretaciju prometnih obrazaca. U sljedećoj fazi razvoja specifični prometni obrasci prepoznavat će se putem algoritama i automatski detektirati u stvarnom vremenu. Nakon toga slijedi korak prema predviđanju nesreća korištenjem strojnog učenja i umjetne inteligencije.

Do danas je planirano nekoliko pilot-projekata u različitim europskim zemljama u suradnji s nadležnim institucijama. Utvrđeno je da DAS omogućuje pokrivanje novih primjena koje standardne tehnologije nadzora prometa ne mogu obuhvatiti, kao što su identifikacija lokacije i brzine vozača u suprotnom smjeru (tzv. "ghost driver"), sustav upozorenja za hitne službe, dinamička kontrola i manipulacija prometa bez potrebe za interpretacijom te mnoge druge. Osnovni razlog za to je sposobnost DAS sustava da neprekidno detektira cjelokupnu prometnu situaciju duž cestovnog odsječka do 50 km s jednim DAS sustavom.

Ugradnja DAS tehnologije u zaštitne barijere u radnim zonama omogućuje nadzor tih područja bez složenih i skupih hardverskih instalacija. Na taj način pametne zaštitne barijere za radne zone mogu doprinijeti optimizaciji prometnog toka i omogućiti integraciju hitnih službi u stvarnom vremenu.

NOVA GENERACIJA BARIJERA ZA ZAŠTITU OD BUKE I ZAGAĐENJA ZRAKA

A NEW GENERATION OF BARRIERS FOR AIR AND NOISE POLLUTION MITIGATION

Ivo Haladin⁽¹⁾, Franka Meštrović⁽²⁾, Katarina Vranešić⁽³⁾

⁽¹⁾Associate professor, University of Zagreb Faculty of Civil Engineering, ivo.haladin@grad.unizg.hr

⁽²⁾Assistant, University of Zagreb Faculty of Civil Engineering

⁽³⁾Postdoc, University of Zagreb Faculty of Civil Engineering

SAŽETAK

Prometni sektor uvelike pridonosi zdravstvenim rizicima za okoliš, uključujući buku uzrokovanu prometom i onečišćenje zraka, koji negativno utječu na zdravlje ljudi. Ovaj rad predstavlja novu generaciju strategija za ublažavanje negativnih učinaka buke i onečišćenja zraka izazvanih cestovnim prometom u urbanom okruženju. U prvom dijelu rada dan je pregled normi kojima moraju udovoljavati barijere za zaštitu od buke i prateći uređaji koji djeluju na širenje zvuka u EU. Kao odgovor na izazove buke i onečišćenja zraka, i nadovezujući se na razvoj RUCONBAR-a – inovativnog rješenja koje uključuje recikliranu gumu iz otpadnih guma za povećanje apsorpcije – projekt CIRCLEAR predstavlja barijere sa optimiziranim akustičkim performansama uz integraciju tehnologije za smanjenje onečišćenja zraka APA (Air Pollution Abatement). Kroz projekt se provodi optimizacija akustičkih svojstava kroz sastav materijala i geometriju barijere, te se razvija rješenje za integraciju tehnologije pročišćavanja zraka APA, s ciljem istovremenog rješavanja problema buke i onečišćenja zraka za zdravije i održivije urbano okruženje.

ABSTRACT

The transport sector remains a major contributor to environmental health risks, including traffic-caused noise and air pollution, which negatively impact public health. This paper introduces a new generation of mitigation strategies for the growing challenges of noise and air pollution due to rapid urbanization and increased road traffic. In the first segment an overview of norms and standard is given to which all noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation must comply in EU. In response to challenges of noise and air pollution, and building upon the development of RUCONBAR – an innovative solution incorporating recycled rubber from waste tires into the absorptive layer – the CIRCLEAR project introduces noise barriers designed for enhanced environmental and acoustic performance. The ongoing project examines optimization efforts, such as material composition and barrier geometry, to further improve sound absorption properties. The potential to integrate air purification technology into these barriers is also explored as part of the project, which aims to address both noise and air pollution simultaneously for a healthier and more sustainable urban environment.

Key words: noise pollution, acoustic barriers, sustainable materials, air quality, recycled rubber

1 INTRODUCTION

Rapid urbanization, stemming from population migration to urban regions, expansion of transport infrastructure, and a rising number of vehicles, has significantly contributed to rising noise and air pollution. The EEA report [1] outlines key trends in the transport sector as of 2024, along with their environmental and climate impacts. The report highlights that transport continues to be a major source of greenhouse gas emissions, air and noise pollution. While there are some positive projections for 2030 and beyond, significant investments in innovative solutions and a transition to more sustainable transport modes are still required. Private cars remain the dominant mode of passenger transport in Europe. In 2022, cars accounted for nearly three-quarters (73%) of passenger-kilometres traveled in the EU. Road transport also leads freight transport, representing just over half of the total freight in the EU in 2022. Both passenger and freight transport are expected to rise in the EU in the coming years, with road transport set to remain dominant for the foreseeable future [1].

Road traffic is the main source of noise pollution across Europe. Prolonged exposure to environmental noise has significant negative effects on both physical and mental health. People residing in areas with high levels of transport noise face an increased risk of developing conditions such as heart disease, metabolic disorders, and mental health issues [2]. A substantial portion of population in Europe is exposed to transport noise at levels considered harmful. According to data from the EN Directive 2002/49/EC [3], around 106 million individuals experience long-term noise exposure levels of 55 dB (Lden) or above from land and air transportation. WHO has set recommended noise limits at 53 dB (Lden), and under these guidelines the number of people exposed to harmful transport noise rises to approximately 144 million individuals, or over 30% of the European population [2]. Meeting objectives set in the Zero Pollution Action Plan will require improvements in noise reduction strategies, better urban planning, and stricter regulations to create healthier living environments [4]. As for the air pollution caused by road traffic, exposure to fine particulate matter, ozone, and nitrogen dioxide levels exceeding the WHO's recommendations resulted in an estimated 357,000 premature deaths in 2022. These pollutants are linked to a range of health issues, including asthma, heart disease, and stroke [5]. Despite a reduction in emissions over the past two decades, air pollution remains the leading environmental health risk in Europe. Beyond health, air pollution has notable economic impacts, leading to increased healthcare costs, reduced life expectancy, and decreased productivity across various sectors. It also harms vegetation, ecosystems, water and soil quality, as well as local biodiversity. To combat these effects, Europe has implemented legislation aimed at reducing emissions of harmful air pollutants. The NEC Directive 2016/81/EC [6] establishes national emission reduction targets for EU Member States, focusing on key pollutants that contribute to air quality issues.

The need for noise mitigation has grown with road infrastructure development, rising traffic, and the expansion of residential areas and other noise-sensitive areas. Given increasing concerns regarding noise and air pollution impact on public health, there is a rising demand for effective mitigation systems. In response, research has focused not only on advancing the design of next-generation barriers for mitigating noise and air pollution but also on analyzing the regulatory frameworks and standards governing noise reduction barriers.

2 OVERVIEW OF REGULATORY FRAMEWORK FOR NOISE REDUCTION BARRIERS

European standards and norms for testing noise protection barriers and related devices that affect sound propagation are divided into two groups: one for road and the other for railway infrastructure. The standards for road infrastructure are defined by CEN/TC226/WG6, while those for railway infrastructure are developed by CEN/TC256/SC1/WG40. Noise barriers are essential for protecting people and the environment, and the standards for testing these barriers can be grouped into three categories: acoustic properties, mechanical and safety features, and lifespan and sustainability.

2.1. ACOUSTIC PROPERTIES

Acoustic properties must be measured in a sound field similar to the one in which the barrier is intended to be used. Direct sound fields are characterized by sound waves that travel directly from the source to the listener, while diffuse sound fields consist of sound waves that arrive from multiple directions, creating a more uniform sound distribution. Depending on the type of sound field, two sets of standards and norms have been developed and are applied to define the acoustic properties of noise barriers for both railway and road traffic. The HRN EN 1793 standards set relates to the testing methods for determining the acoustic properties of road noise barriers, while the HRN EN 16272 standards set focuses on the testing methods for determining the acoustic properties of railway infrastructure noise barriers and associated devices that influence airborne sound transmission (Fig.1).

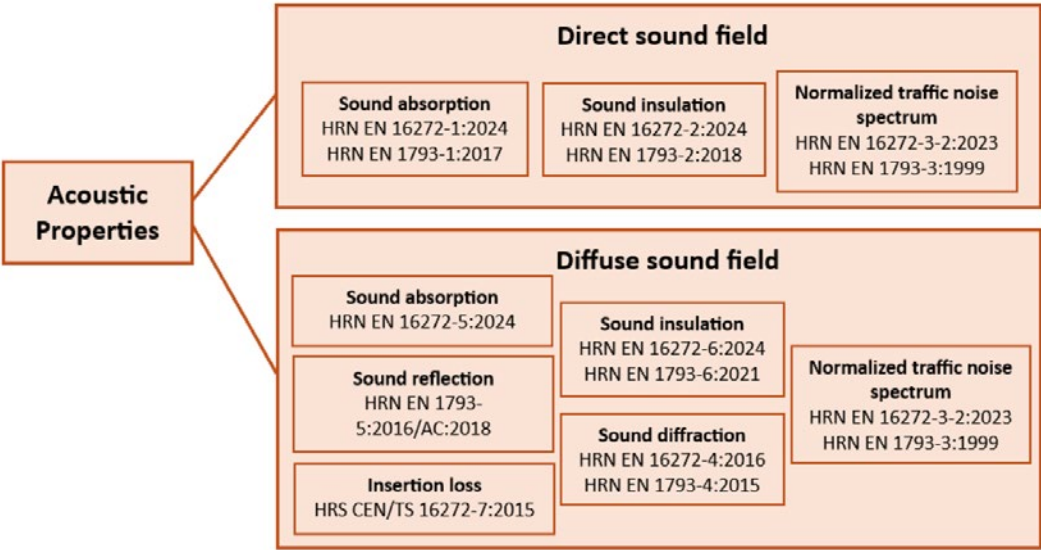


Figure 1. Regulatory framework for determining acoustic properties of noise mitigation barriers

Sound absorption refers to the ability of a material to change acoustic energy of sound waves into a different form (often heat), reducing the amount of sound reflected back into the environment [7]. In noise barrier standards it is measured to evaluate the barrier's effectiveness in reducing noise levels. The higher the sound absorption coefficient (α_{NRD}), the more effective the barrier is at minimizing sound reflection and noise pollution. The sound absorption of noise barriers is determined using the impedance tube method (Kundt's tube)

for small samples, the reverberation chamber method for large-scale materials (Fig.2a), and in-situ measurements to assess real-world absorption performance.

Sound insulation refers to a barrier's capacity to block sound transmission from one side to the other. Noise barriers installed alongside roads and railways should provide sufficient sound insulation, ensuring that the sound transmitted through the barrier is not significant compared to the sound diffracted over its top. Sound insulation is measured through transmission loss experiments, comparing sound pressure levels on both sides of the barrier. Laboratory sound insulation index (SI) tests and field insulation measurements assess how well a barrier prevents noise transmission, ensuring protection for sensitive areas [8].

Sound reflection is the bouncing back of sound waves from a surface, which can contribute to increased noise levels in nearby areas. Standard EN 1793-5 outlines measuring the sound reflected by a noise barrier, expressed as the sound reflection index (RI). Additionally, the barrier's sound absorption characteristics can be derived complementarily from this parameter [8]. Tests are conducted to evaluate a barrier's reflective properties, as excessive reflection can amplify the noise impact. Barriers are designed to minimize reflection, directing sound away from sensitive areas and preventing noise buildup. To analyse sound reflection, methods such as acoustic impedance measurement, and laboratory and in-situ measurements [9] with microphone arrays are used [8].



Figure 2. a) Real scale test samples in the reverberation room [7]



Figure 2. b) In-situ sound reflection determination [9]

Sound diffraction occurs when acoustic wave encounters the edge of an obstacle in its path (such as barrier), causing it to bend or deflect [10]. Diffraction effects are considered when evaluating the performance of barriers, as it influences the overall effectiveness in reducing noise. Barriers need to be designed in such a way that they minimize diffraction to prevent noise from traveling around them. Sound diffraction is evaluated using scale model testing in controlled environments, which includes measurement of the sound pressure level (SPL) at several points near the top edge of a barrier, numerical simulations like FEM/BEM, and field microphone array measurements [10].

Insertion loss measures the reduction in sound level due to the installation of a noise barrier. It is calculated by comparing sound levels before and after barrier installation. A high insertion loss (IL) value indicates that the barrier effectively reduces noise levels. Insertion loss is assessed using two methods: the first analyses the difference in noise levels before and after barrier installation (direct method), while the second is used when the barrier is already in place and the direct method cannot be applied (indirect method) [11].

Normalized traffic noise spectrum is used to assess the acoustic performance of traffic noise reducing devices. It aids in comparing the effectiveness of different barriers under realistic

traffic noise conditions. The spectrum is expressed in relative A-weighted SPL levels, in dB, for on-third-octave frequency bands, L_i , in the frequency range from 100 Hz to 5 kHz.

2.2. MECHANICAL AND SAFETY FEATURES

Ensuring the mechanical and safety characteristics of noise barriers is crucial for their durability, functionality, and operational safety. For road infrastructure, the HRN EN 1794-1:2024 standard defines methods for determining mechanical characteristics and stability under static loads, including wind, self-weight, impact resistance (sliding), impact load safety, and dynamic snow load. Building on this, HRN EN 1794-2:2024 specifies methods for assessing safety and ecological characteristics, such as fire resistance, material fracture properties, environmental protection, emergency evacuation plans, and light reflection/transparency. The HRN EN 1794-3:2016 provides an in-depth analysis of fire resistance testing.

For railway infrastructure, HRN EN 16727-1:2018 defines methods for calculating and testing mechanical properties under static loads. HRN EN 16727-2 defines methods for determining mechanical properties under dynamic loads caused by railway vehicles, focusing on fatigue resistance and calculation methods. Ensuring the stability of barriers without displacement or separation of components is critical for operational safety. The HRN EN 16727-2-1:2018 standard defines criteria for verifying load-bearing, usability, and fatigue resistance limits, while HRN EN 16727-2-2:2016 provides calculation methods for analysing barrier and foundation response to railway vehicle loads. EN 16727-3:2017 defines the general safety and environmental requirements for noise barriers and related devices affecting airborne sound propagation in railway applications.

2.3. LIFE SPAN AND SUSTAINABILITY

Noise barriers and associated devices, in addition to meeting mechanical and acoustic characteristics, must also maintain the required properties throughout their entire operational life. Acoustic elements must resist the negative effects of various factors that could degrade their acoustic performance over time. Structural components must maintain a minimum level of safety throughout the entire usage period. Two standards have been defined for road and railway traffic, specifying the long-term properties of noise barriers: one section addresses acoustic properties, while the other focuses on non-acoustic properties. All these standards refer to HRN EN IEC 60721-3-4:2019.

3. CIRCLEAR PROJECT OVERVIEW

Developed in frame of EIT Manufacturing call for innovative, the main objective of CIRCLEAR project is to develop a sustainable and circular economy oriented product that embeds noise and air pollution reduction properties, is easier to deploy, and at the end of its life can be reused for at least 90% of the components. Building upon the development of RUCONBAR, the concept emerged to integrate air purification technology into these barriers, driven by the growing global concerns of urban air and noise pollution, with road traffic being a major contributor to both in Europe. This innovation intends to address the ongoing environmental health risks posed by air pollution while also reducing traffic-related noise in urban areas. The project aims to integrate the industrialized noise barrier product RUCONBAR with Air Pollution Abatement (APA) technology to simultaneously reduce air

and noise pollution (Fig.3 & 4). To enhance sustainability, the manufacturing process of RUCONBAR will be redesigned by incorporating a higher percentage of recycled materials, reducing energy consumption through interconnecting smaller panels, and improving sound absorption properties.

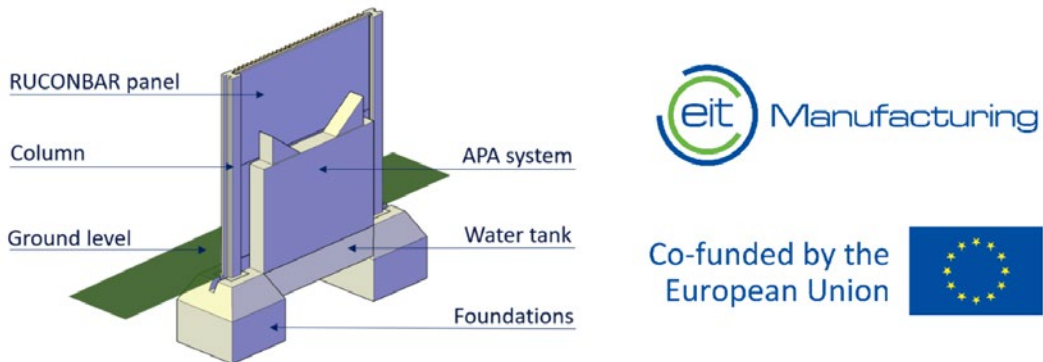


Figure 3. Concept design of RUCONBAR-APA solution developed through CIRCLEAR project



Figure 3. Road cross section with RUCONBAR-APA solution implemented

The production process of this integrated solution will be optimized to minimize overall material use, ensuring greater efficiency. Additionally, the existing production line will be upgraded to accommodate the two abatement systems, enhancing the new production line's design, usability, and life cycle assessment (LCA) performance. Compliance with sustainable and circular economy principles will be ensured, while rigorous testing will provide the necessary data for certification, verifying both sustainability and circularity of the new product. To enhance the sound absorption properties of the panels, novel material mixtures were developed and evaluated through experimental research. Following the design of material equal attention was invested in the panels geometry and design of the surface of the panel. The key parameters affecting acoustic properties that were investigated included the proportion of rubber granules in the mixture, the orientation of wave undulations on the surface of the absorption layer, and the geometry of RUCONBAR panels and the overall geometry of the barrier.

3.1. ACOUSTIC PERFORMANCE OPTIMISATION OF SOUND ABSORBING PANELS

In scope of CIRCLEAR project the acoustic optimization of sound absorbing panels is currently underway by addressing two key factors: the material composition of the

absorption layer and the geometric design of both the surface of the absorption layer and the overall barrier structure. As the project progresses, several different material mixtures were designed and produced, each containing varying percentages of recycled rubber, to determine the most effective composition for enhancing noise absorption properties. For the mixtures, the sound absorption values in 1/3 octave frequency bands were calculated (Fig.4a) and therefore the single value α_w was derived. After determining sound absorption coefficients for these mixtures, the most suitable one was selected and results were used as input data for the model. The modelling of the barrier was conducted using COMSOL software (Fig.4b) to evaluate its acoustic performance in mitigating road traffic noise. Optimal configuration has been selected both in terms of surface structure as well as surface geometry to achieve superior acoustic properties.

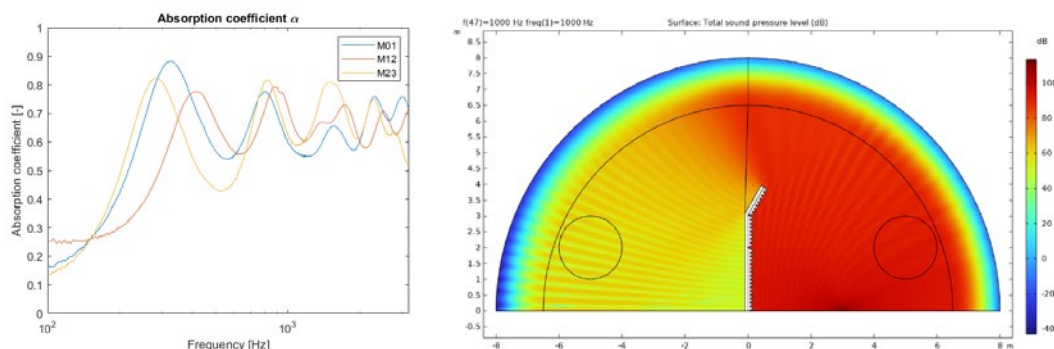


Figure 4. a) Results of the sound absorption test; b) COMSOL model of the barrier and SPL field

4. CONCLUSION AND FUTURE ACTIVITIES

The growing urbanization and rising road traffic in Europe have significantly exacerbated noise and air pollution, posing severe health risks to the population. As transport remains a major contributor to both air and noise pollution, addressing these issues requires prompt and innovative solutions. The development of noise barriers, such as RUCONBAR, which integrate recycled materials (rubber from waste tires), presents a promising approach to mitigate traffic-related noise. This not only provides an effective noise reduction solution but also promotes sustainability by reducing reliance on non-renewable resources and promoting circular economy principles.

Research and testing have demonstrated that the RUCONBAR barriers offer high acoustic performance, providing substantial sound absorption properties. The integration of air pollution abatement technology (APA) into these barriers, as explored in the CIRCLEAR project, will further enhance their environmental benefits, addressing both air and noise pollution simultaneously. The experimental research on material mixtures and barrier geometry optimization demonstrates potential improvements in noise reduction, particularly with inclined barriers and the further development of the undulated absorption layer design. This progress represents a noteworthy advancement towards achieving the goals set out by the project.

Furthermore, the incorporation of recycled materials like rubber granules not only improves sound absorption but also supports the sustainable management of waste materials, aligning with environmental goals. The ongoing efforts to refine the RUCONBAR system, including optimizing manufacturing processes and material compositions, are

crucial for enhancing its performance and ensuring widespread applicability in urban and transportation infrastructure.

To further solidify these results, several activities are planned, including refining laboratory techniques, updating simulations with new data, testing air purification capabilities through simulations. Adapting the design based on feedback, ensuring minimal impact on acoustic performance while allowing for necessary air inlet and outlet modifications, and conducting field tests to validate the simulation results are all essential steps to confirm the practicality and effectiveness of the new generation of barrier. Ultimately, the development and implementation of innovative, sustainable noise barriers such as RUCONBAR-APA are essential for reducing the harmful effects of transport-related pollution, enhancing public health, and supporting a more sustainable, circular economy.

REFERENCES

- [1] European Environment Agency, “Web report no. 01/2024: Sustainability of Europe’s mobility systems.” Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems>
- [2] WHO Europe, Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen, 2018. [Online]. Available: <http://www.euro.who.int/pubrequest>
- [3] EC, “Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, or: the Environmental Noise Directive (END),” 2002.
- [4] EC, “EU Action Plan: ‘Toward a Zero Pollution for Air, Water and Soil,’” Brussels, May 2021. Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0400&qid=1623311742827>
- [5] European Environment Agency, “Briefing no. 21/2024: Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease status.” Accessed: Feb. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/harm-to-human-health-from-air-pollution-2024>
- [6] EC, “Directive 2016/81/EC of the European Parliament and the Council of 14 December 2016 relating to the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants, or: the National Emission reduction Commitments Directive (NECD) (2016),” Dec. 2016.
- [7] S. Lakušić, D. Bjegović, I. Haladin, A. Baričević, and M. Serdar, “RUCONBAR - Innovative noise protection solution made of recycled waste tyres,” *Mechanics Transport Communications*, no. 3, pp. X-76-X-82, 2011.
- [8] P. Guidorzi and M. Garai, “Repeatability of the European Standardized Method for Measuring Sound Reflection and Sound Insulation of Noise Barriers,” *Environments - MDPI*, vol. 10, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/environments10080139.
- [9] I. Haladin, M. Ivančev, and S. Lakušić, “In-situ sound reflection determination of RUCONBAR noise barriers on a railway line,” in *Road and Rail Infrastructure VII*, University of Zagreb Faculty of Civil Engineering, May 2022, pp. 235–244. doi: 10.5592/co/cetra.2022.1476.
- [10] J. Piechowicz, “Sound wave diffraction at the edge of a sound barrier,” *Acta Phys Pol A*, vol. 119, no. 6 A, pp. 1040–1045, 2011, doi: 10.12693/APhysPolA.119.1040.
- [11] I. Haladin, S. Lakušić, K. Burnać, and M. Ivančev, “In-situ Determination of Acoustic Properties of Noise Barriers: Ruconbar Case Study,” in *2nd Macedonian Road Congress*, 2022. [Online]. Available: www.congress.mare.org.mk

MODEL SANACIJE PROMETNE INFRASTRUKTURE NA PODRUČJU GRADA PETRINJE NAKON KATASTROFE – POTRESA

REHABILITATION MODEL OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON PETRINJA AREA AFTER EARTHQUAKE

Vera Kaurin, dipl.iur. Grad Petrinja komunalno@petrinja.hr

Danijel Dvorneković, mag.ing. Grad Petrinja danijel.dvornekovic@petrinja.hr

Franjo Jaredić, struč.spec.ing.aedif. Rif-projekt d.o.o. franjo.jaredic@rif-projekt.hr

mr.sc. **Slaviša Rajić**, dipl.ing.građ. Z Dimenzija d.o.o. slavisa.rajic@z-dimenzija.hr

SAŽETAK

Područje Petrinje je 28. prosinca 2020. godine pogodio snažan potres magnitude 5 prema Richterovoj ljestvici, nakon kojeg je uslijedilo nekoliko manjih potresa. Drugi, snažniji potres, magnitude 6,2, koji je nastupio dan kasnije 29. prosinca 2020., izazvao je velika oštećenja na infrastrukturnim objektima, uključujući prometnice, mostove i vodovodnu i kanalizacijsku mrežu. Ovaj članak daje pregled modela i procesa sanacije prometne infrastrukture u Petrinji kroz projekte financirane iz Fonda solidarnosti EU, kao i izazove i postignuća koji su pratili provedbu tih projekata.

Ključne riječi: potres, sanacija, prometna infrastruktura, Grad Petrinja, EU fondovi, projektiranje i izvođenje radova

SUMMARY

Petrinja area was hit by a strong earthquake measuring 5 on the Richter scale, followed by several smaller earthquakes on the December 28, 2020.. A second, stronger earthquake, measuring 6.2, occurred a day later on the December 29, 2020., caused extensive damage to infrastructure facilities, including roads, bridges, and water and sewage networks. This article provides an overview of the model and process of rehabilitation of transport infrastructure in Petrinja through projects financed by the EU Solidarity Fund, as well as the challenges and achievements that accompanied the implementation of these projects.

Keywords: earthquake, rehabilitation, transport infrastructure, City of Petrinja, EU funds, design and construction

UVOD

Područje Petrinje je 28. prosinca 2020. godine pogodio snažan potres s epicentrom oko 5 km jugozapadno od Petrinje. Potres je bio snage 5 stupnjeva prema Richterovoj ljestvici. Nakon ovog potresa je uslijedilo nekoliko potresa snage 4,5 i 3,8 stupnja te veliki broj potresa manje snage. Opća je pretpostavka bila da će se nakon tog potresa tlo početi smirivati. Međutim, drugi dan, 29. prosinca 2020. godine područje Grada pogođeno još snažnijim potresom, snage 6,2 stupnja, s gotovo identičnim epicentrom. Potres u Petrinji je jedan od dva najsnažnija potresa zabilježena instrumentima u Republici Hrvatskoj od 1909. godine.

Navedeni potresi izazvali su ogromnu neposrednu i posrednu materijalnu i nematerijalnu štetu na stambenim, gospodarskim, javnim i infrastrukturnim objektima. Iznimka nije bila ni prometna infrastruktura na području Grada Petrinje.

OŠTEĆENJA PROMETNE INFRASTRUKTURE

Hitnim pregledima nakon potresa pregledane su prometnice na području grada Petrinje te su utvrđene vrste oštećenja na istima i izrađen okvirni troškovnik sanacija u sklopu Elaborata o oštećenjima prometnica u gradu Petrinji koja su uzrokovana potresima u Sisačko-moslavačkoj županiji 2020. godine.



Slike 1. Prikaz oštećenja utvrđenih hitnim pregledom nakon potresa

Pregledima prometne infrastrukture utvrđena potresna oštećenja imala su sljedeće značajke:

- Pukotine i deformacije kolnika – poprečne i mrežaste pukotine na asfaltnim kolnicima, površinska oštećenja i podizanje dijelova ceste.

- Oštećenja mostova– lomljenje betona, oštećenja potpornih zidova i temeljnih konstrukcija.
- Klizišta – stvaranje novih i aktivacija postojećih klizišta koja su dodatno ugrozila prometnu mrežu.

Oštećenja prometne infrastrukture izazvala su privremene zastoje u prometu i ovakvo loše stanje prometnica stanje utjecalo je na produktivnost poduzetnika i mobilnost radne snage. Duljina nerazvrstanih cesta na području grada Petrinje iznosi 226,13 kilometara. Navedeni potresi oštetili su oko 160 km cesta što čini 70,76 % prometne mreže.



Slika 2. Prikaz dijela saniranih asfaltiranih nerazvrstanih cesta nakon potresa

MODEL SANACIJE PROMETNE INFRASTRUKTURE

Cilj projekata koje je Grad Petrinja proveo u sklopu Fonda solidarnosti EU bilo je vraćanje u prvobitno stanje prometnica grada Petrinje sa svrhom dostizanja standarda koji će omogućiti podizanje kvalitete života, povećanje gospodarske aktivnosti i produktivnosti poduzetnika i obrtnika na prostoru Grada Petrinje.

Grad Petrinja se prijavio na poziv „Vraćanje u ispravno radno stanje infrastrukture i pogona u području prijevoza oštećenih u potresu na području Grada Zagreba, Krapinsko-zagorske županije, Zagrebačke županije, Sisačko-moslavačke županije, Karlovačke županije, Varaždinske županije, Međimurske županije, Brodsko-posavske županije, Bjelovarsko-bilogorske županije i Koprivničko-križevačke županije“ te potpisao Ugovor o dodjeli bespovratnih financijskih sredstava koji se financira iz Fonda solidarnosti Europske unije u vrijednosti prihvatljivih troškova od 89.839.403,75 HRK odnosno 11.923.737,97 EUR.

Temeljem ostvarenih bespovratnih sredstva Grad Petrinja proveo je otvorene postupke nabave izvođenja radova i stručnog nadzora.

S obzirom na kratke vremenske uvjete propisane Ugovorom o dodjeli bespovratnih sredstava u kojem je potrebno izvesti sanaciju oštećenja uzrokovana potresom u roku od godinu dana Grad Petrinja odlučio se na sklapanje Ugovora „Projektiraj i gradi” (Design and Build) u kojem izvođač radova preuzima odgovornost za projektiranje i izvođenje radova. Ovaj model je omogućio izvođaču radova preuzimanje odgovornosti za projektiranje i izvođenje radova, čime se omogućilo ubrzavanje realizacije projekta.



Slika 3. Shematski prikaz provedbe projekta sanacije prometne infrastrukture

IZAZOVI U PROVEDBI SANACIJE

Tijekom provedbe ugovora o sanaciji prometne infrastrukture, pojavili su se brojni izazovi, a najčešći izazovi u provedbi bili su sljedeći:

- Simultano izvođenje radova u pojasu nerazvrstanih cesta kroz projekte sanacije kanalizacijske i vodovodne mreže oštećene nakon potresa,

Nepovoljni vremenski uvjeti - radovi su morali biti prilagođeni vremenskim uvjetima, osobito zimskom razdoblju koje otežava asfaltiranje i druge građevinske radove na koje imaju utjecaj vremenski uvjeti

- Privremena regulacije prometa kroz grad Petrinju zbog učestalih izvođenja radova (sanacija prometnica, aglomeracija, sanacija vodovodne i kanalizacijske mreže i obnova obiteljskih kuća, zgrada i područja zaštićene kulturne jezgre)

- Kratak rok izvođenja s obzirom na obuhvat projekta - zbog obveze završetka sanacije unutar godinu dana bilo je nužno osigurati učinkovitu koordinaciju svih dionika



Slike 4. Prikaz tijeka izvođenja radova sanacije prometne infrastrukture Grada Petrinje

REZULTATI PROVEDENIH AKTIVNOSTI

U sklopu operacije: „Vraćanje u ispravno radno stanje prometne infrastrukture na području Grada Petrinje FSEU.MMPI.01.0007“ provedeni su sljedeći Ugovori:

- Sanacija neasfaltiranih cesta – naziv Ugovora: „Izvođenje radova vraćanja u ispravno radno stanje neasfaltirane prometne infrastrukture oštećene potresom na području grada Petrinje“. Ukupna realizacija izvedenih radova po okončanoj situaciji je 487.494,13 EUR s PDV-om. Ukupna dužina saniranih neasfaltiranih nerazvrstanih cesta je 13,47 km. Ukupna količina ugrađenog kamenog materijala za saniranje neasfaltiranih nerazvrstanih cesta je 7.576,28 m³
- Sanacija pješačkog mosta, naziv Ugovora: „Priprema projektno-tehničke dokumentacije i izvođenje radova vraćanja u ispravno radno stanje pješačkog mosta na rijeci Petrinjčici“. Vrijednost: 351.295,67 EUR. Dužina 24,64 m
- Sanacija asfaltiranih cesta provedena je temeljem dva Ugovora i to:

o naziv Ugovora: „Priprema projektno-tehničke dokumentacije i izvođenje radova vraćanja u ispravno radno stanje prometne infrastrukture oštećene potresom na području Grada Petrinje“ sanirano je ukupno 42,3 km nerazvrstanih cesta, a odnosi se na 93 ceste na području Petrinje. Izvođenje radova završeno je 30.06.2023. godine. Ukupna realizacija izvedenih radova po okončanoj situaciji je 10.176.875,79 EUR s PDV-om. Ukupna površina ugrađenog asfalta za saniranje nerazvrstanih cesta je 327.120,75 m². Ukupna količina ugrađenog asfalta za saniranje nerazvrstanih cesta je 42.466,50 t.

o naziv Ugovora: „Izvođenje radova vraćanja u ispravno radno stanje asfaltirane prometne infrastrukture oštećene potresom na području grada Petrinje“ sanirano je 21.51 km nerazvrstanih cesta, a odnosi se na 60 cesta na području Petrinje. Izvođenje radova završeno je 22.12.2023. godine. Ukupna realizacija izvedenih radova po okončanoj situaciji je 4.081.628,39 EUR s PDV-om. Ukupna površina ugrađenog asfalta za saniranje nerazvrstanih cesta je 128.430,35 m². Ukupna količina ugrađenog asfalta za saniranje nerazvrstanih cesta je 15.906,67 t.

Ukupna dužina asfaltiranih cesta na kojima je izvršena sanacija iznosi 63,81 km, a dužina sanacije neasfaltiranih cesta 13,47 km.



Slike 5. Prikaz izvedenih radova sanacije prometne infrastrukture Grada Petrinje

ZAKLJUČAK

Sanacija prometne infrastrukture na području Grada Petrinje nakon potresa 2020. godine predstavljala je složen izazov koji je zahtijevao brzu i učinkovitu reakciju. Model “Projektiraj i gradi” pokazao se kao optimalno rješenje u uvjetima kratkih rokova, omogućujući istovremeno projektiranje i izvođenje radova.

Unatoč izazovima, zahvaljujući koordiniranom angažmanu svih uključenih sudionika u projekt i financijskim sredstvima Fonda solidarnosti EU, značajan dio prometne mreže vraćen je u ispravno funkcionalno stanje. Obnova prometne infrastrukture ključan je preduvjet za daljnji razvoj grada, povećanje sigurnosti prometa i revitalizaciju gospodarskih aktivnosti.

LITERATURA:

[1] Elaborata o oštećenjima prometnica u gradu Petrinji koja su uzrokovana potresima u Sisačko- moslavačkoj županiji 2020. godine, oznake: E-05-2021, veljača, 2021.

[2] Projektni zadatak u sklopu Ugovora priprema projektno-tehničke dokumentacije i izvođenja radova vraćanja u ispravno radno stanje prometne infrastrukture Grada Petrinje, KLASA: 406- 01/22-01/144, URBROJ: 2176-06-02-22-7 od 29.06.2022. godine

[3] Izjava izvođača radova STRABAG d.o.o. Broj 33-GL-01-07/2023/401-32K4, srpanj 2023.; SWIETELSKY d.o.o.: EV. BROJ. 350/M.B./23-24, srpanj 2023

[4] Završni izvještaji nadzornih inženjera Institut IGH, d.d.: broj izvješća: 72410-269/23, srpanj 2023. završno izvješće glavnog nadzornog inženjera; broj izvješća: 72410-270/23, srpanj 2023. završno izvješće nadzornog inženjera za građevinske radove; broj izvješća: 72410-271/23, srpanj 2023. završno izvješće nadzornog inženjera za geodetske radove; broj izvješća: 72410- 435/23, srpanj 2023. završno izvješće ključnog stručnjaka za kontrolu projektno-tehničke dokumentacije

DEVELOPMENT STAGES OF DOCUMENTATION FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS

Darko Spiroski, Msc Civil Engineering, Bsc Management Economics Branch Manager

IRD Engineering, Branch Office Skopje

Elena Kochova, Master of Laws – LL.M Project Director

IRD Engineering, Branch Office Skopje

Prof.dr. **Zoran Krakutovski**, PhD

Ss. Cyril and Methodius University in Skopje Faculty of Civil Engineering

SUMMARY

In this paper we try to describe the process of preparation of project documentation for projects in the area of transport infrastructure, especially roads and railways, starting from the idea, planning, evaluation construction, operation and maintenance at the end.

The dilemmas related to making investment decisions for the transport infrastructure begin at the initial stage of drafting the project documentation. The decision maker should reply how did he decided to go for a motorway option or to build double railway track with speed of 160 km/h?

For this kind of investment projects there should be a long term strategy of the State/ Public Entity. We emphasize the importance of The Spatial Plan of the State in transport infrastructures planning.

It is desirable in the preparation of planning documents to apply transport model, to make simulations on the impact of the new concept for the development of transport infrastructures in the country and to obtain a picture of the impact of the proposed projects of the future demand for transport and the modal redistribution.

Multisectoral approach (technical, economic, environmental, traffic safety) is needed to make a good investment decision.

Keywords: project stages, planning documents, prefeasibility study, feasibility study, detailed desing, as bulid design and maintenance design.

1. PLANNING DOCUMENTS FOR TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS

The preparation of a transport infrastructure project should, in principle, use the experiences that are also applied to investment projects in other sectors. However, the specifics of transport infrastructure (long lifespan, need for large investments, secondary impacts on space and on people's safety...), as well as its socio-economic effects in a given region or country, make each stage of the project have its own characteristic project documentation that is subject to certain specific studies.

Construction of road and rail infrastructure in which the Employer is the state has its own rules. One of the characteristics of public financed infrastructure is that is often subject of discussions of the general public, the media and the construction/consultancy industry. One of the key questions in the phase of planning of infrastructure is the dimensioning, or the Employer should reply how did he decided that for a motorway option or railway with speed of 160 km/h?

The correct answer to this question would be "Firstly we made a feasibility study which showed that the idea for the investment in justified and economically viable. Than we did all the studies and designs like the Environmental Impact Assessment Study, preliminary and conceptual design based on Cost Benefit Analysis and Multicriteria analyses and based on the above stated we made an investment decision to prepare detailed design for the optimal alignment".

There is a pool (or sea) of other answers to this question and most common are "We are building this motorway to boost investments in that region, to reach faster from point A to point B, because is the best solution, because is the safest solution, because it will bring economic development, because it is a part of European or East- West/North-South Corridor, Europe-Asia transport Corridor etc....". These and many other similar answers are not justified by conclusions from relevant studies and are based on "out of the blue/hat" conclusions. The phases of development of one idea to its realization or opening for traffic is long process which on average lasts 15-20 years. That period is longer than the 4-year mandate of one government in democratic systems. That is why "fast" results in 4 years are not possible nor wanted. For these kind of investment there should be a long term strategy of the state which surpasses the 4 year mandate of one government.

2. CHARACTERISTIC STAGES IN THE TRANSPORT PLANNING PROCESS

Planning can be defined as "a process in which potential current or future activities are studied to achieve desired goals" (Z. Krakutovski, 2005). Any planning is done for a previously determined time horizon, which means that the interest in planning studies is most often directed towards the future.

In general, any planning process should include the following several stages (Image1):

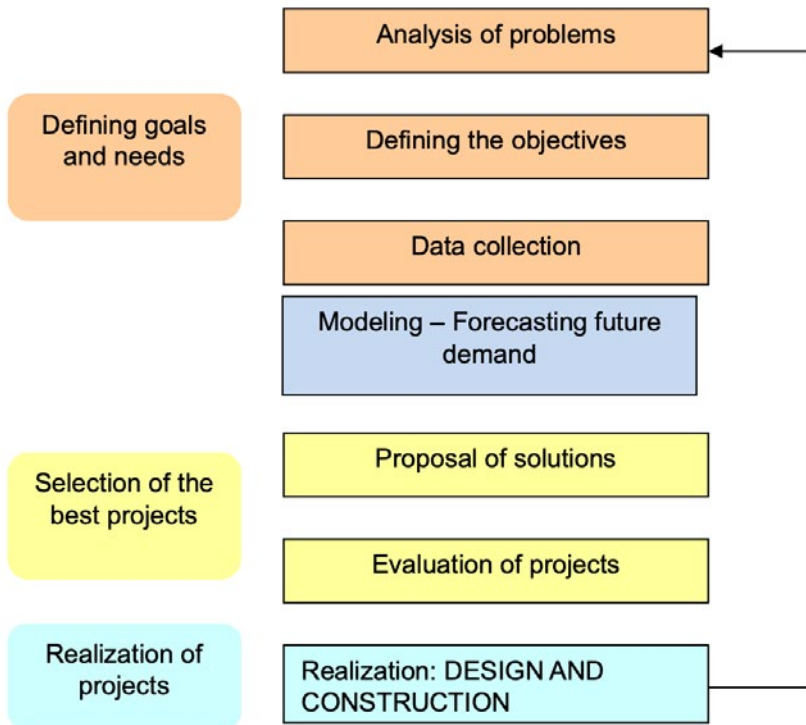


Figure 1. General stages in the planning process

- **PROBLEM IDENTIFICATION:** This initial part of the planning process identifies the current transportation situation, the socio-economic conditions of the population, and the purpose and use of the space/area, as well as the problems that connect these three elements. This step determines the size of the study area, the level and precision of the study, and forms a body of experts and other people involved in the planning process.

- **DEFINING GOALS AND CRITERIA:** The planning process in a democratic society involves debates and agreements and reaching a decision for the future solutions. In order to enable a process in which clear decision is made, clear goals should be determined that should be fulfilled with future projects. Goals are defined in terms of improving the quality of transport services, in terms of the impact of transport on the human environment and in terms of transport-related costs. Most often, conflict situations arise when defining multiple goals. Good planning involves good identification of conflicts when defining goals in order to select such alternative projects that would lead to compromise solutions when making a decision. By defining global goals, more specific goals should be defined and described in detail and criteria for their assessment should be provided.

- **DATABASE COLLECTION:** Databases related to transport systems are essential for planning. The data used relate to traffic flows along the transport network, then data from demographic censuses of the population and data obtained from household surveys regarding everyday mobility. Data related to the urban spatial plan, future urban development plans, data related to the human environment and financial sources for the implementation of projects are also used. Well-collected and prepared databases are the most important starting segment in the planning process. With unrealistic and incomplete data, results can be obtained that will not correspond to reality.

- **MODELING – FORECASTING FUTURE DEMAND:**Databases relating to the existing situation are used to predict future needs, for which “models” are used. Future transport needs depend on the future demographic, economic and urban development of the region or agglomeration in which the planning is carried out. We will discuss this issue in more detail in the following chapters. In the functions of classical management (planning, organization, control, coordination and motivation), certain authors associate the planning process with the prediction of future events and call it planning and forecasting.

- **PROPOSAL OF ALTERNATIVE SOLUTIONS:** Transport demand forecasting is done to determine the performance of alternative future uses of the available space and transport systems. Alternative solutions include various assumptions about the future use of space and the impact of existing or newly envisaged transport systems in relation to future needs. Since the use and purpose of space affect the mobility and activities of people, and activities affect the use of space, their interactivity should also be taken into account.

- **EVALUATION OF ALTERNATIVE SOLUTIONS:**The results of the planning are used for their mutual comparison, i.e. for comparison of the performances of the alternative solutions in relation to the set goals according to the accepted criteria. In this phase of the planning, wider participation of interested groups of citizens, officials, state bodies, non-governmental associations, private businessmen, etc. should be opened. The final decision(s) are made by directly elected persons or by appointed persons from the government who make the final decisions on the future characteristics of the transport systems.

- **IMPLEMENTATION (REALIZATION) OF THE PLANS:** After the decisions related to the given solutions have been made, the realization of the plans related to the accepted projects can begin. In this stage, the documents necessary for the realization of the selected projects are developed, i.e. projects for the transport infrastructure, for the functioning of the transport systems are prepared. And in this phase, it is necessary to carry out an evaluation procedure for making an investment decision and for investment priorities, using benefit-cost analyses.

3. PHASES IN DEVELOPMENT OF PROJECT DOCUMENTATION FOR CONSTRUCTION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Following the best global and European practices, the procedure for the preparation of design documentation for transport infrastructure can be outlined. The procedure in all phases of planning and development of projects is as follows:

1. The initial idea for building new infrastructure is based on previous studies in the field of general planning of transport and transport systems, which is part of the Spatial Plan of the country or a given region. A Spatial plan is a plan for the purpose and use of space on the territory of the country that is adopted for a longer period (20 years).
2. Strategies for the development of transport systems in the country, or in a given geographical area, are part of the necessary initial documentation for planning transport policies in a longer period of time, usually the next 15 to 20 years. The strategies identify the problems of the current situation in the transport systems, define the goals that are sought to be achieved in the future, propose measures to achieve these goals and propose projects for the realization of the goals. When defining measures, it is important to distinguish between measures and projects.

Measures represent concepts that are not fully formed and require further pre- feasibility

or feasibility studies. They may refer to, for example, improving the performance of a given transport corridor, but should not refer to specifics of the road, route or even the transport mode. Similarly, measures may refer to the need to specifically target transport policy, but to leave flexibility to examine variations in a broad sense.

Measures are developed in Projects through a more detailed study to define project parameters, capacity and transport charging mechanisms. National strategies for the development of transport systems are developed with a comprehensive analysis of the institutional set-up for managing transport systems, the size of transport activities, management of existing infrastructure and its maintenance.

The general planning of transport systems in western terminology is also known as the development of a Transport Master Plan. These planning documents are developed using transport models to analyze existing traffic and forecast future traffic needs. Based on the results of long-term traffic forecasts derived from transport models and the defined objectives in the long-term transport policy, projects are defined that can contribute to the achievement of the objectives in the strategy. Among the various projects, projects that directly relate to the construction of new or reconstruction of the existing transport infrastructure are also defined. From a strategic point of view, the recommendations for planning EU transport systems are aimed at striving to achieve transport systems in Europe that will be part of the accepted policy for sustainable development.

The process of preparation of project documentation for transport infrastructure projects can generally be divided into two phases:

The first phase is the period that encompasses activities that help the decision maker to make an investment decision. The following documentation can or should be prepared:

- Traffic studies with traffic forecasts
- Prefeasibility study with conceptual designs
- Feasibility study with preliminary design
- Environmental impact assessment
- Cost Benefit Analyses

The goal of this phase is to help the decision maker to make positive or negative investment decision. The body/authority that makes the investment decisions is called different in different social and economic systems. It is often called Employer, Investor or Promoter of the project. In most of the cases that is political body or institution that is authorized to make the decision. The first phase starts with the idea for the project and ends with the investment decision. If there is positive investment decision or “green light” for the project goes in the second phase. The prefeasibility study should define the alignment of the transport corridor in the special planning of the state.

For the prefeasibility study it is recommendable to prepare conceptual design in scale 1:25.000 or 1:50.000. The section of the optimal alignment of the Corridor should be done using MCA or Multi Criterial Analyses.

The Feasibility Study should provide recommendation is it feasible on economically or financially justifiable to continue with the preparation of the project documentation or the stop with the preparation of the project with recommendation that the project is not feasible to be constructed in near future or 20-25 years. What feasible projects means, depends of the Employer/Investor of the project and there is a significant difference of

the understanding of the term “feasible” if the Employer is the State, Union of states like the European Union, private entity of mixed private public partnership. The alternatives in construction of transport infrastructure (roads od rails) would mean preparation of several alternatives within the frame of one Corridor and these alternatives to be prepared to a level of primary design with scale of 1 : 2.500.

In the first phase Environmental Impact Assessment study should also be prepared. Having in mind that we live in times where the human impact on the Environment is significant, this study is an important document. The study should show if the project has negative impact on the Environment and if there is one (which is the case in most transport infrastructure projects), what is the level of destruction of the Environment and what measures can be foreseen to reduce the negative impact (if any). If this study shows that the project has significant negative impact on the Environment or devastating effect, then the Employer should make a negative investment decision and decide to stop with the project. At the end of the first phase the Employer should perform Cost Benefit Analyses to weigh the cost and the Benefits of the projects in economical and financial terms.

The Second phase of the projects starts if the Employer makes position investment decision for the project based on the previously elaborated and prepared project documentation in the first phase. If the Employer makes negative investment decision, that means that the project will be stopped, and that the construction works will not start in near and foreseeable future. If the Employer makes positive investment decision than he should hire a designer to prepare a detailed design in scale 1:250 and tender documentation for selection of Contractor.

Generally speaking, the overall activities for studying and preparing project documentation for a new transport infrastructure can be expressed through the following sequential stages:

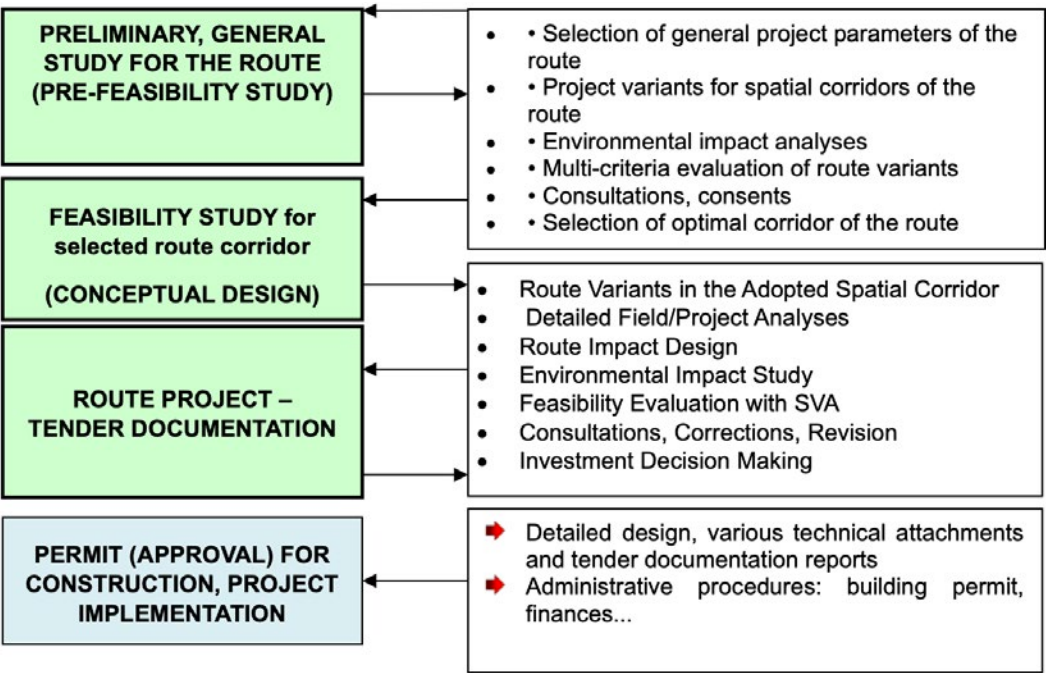


Figure 2. Project stages and their results in the development of a transport infrastructure project

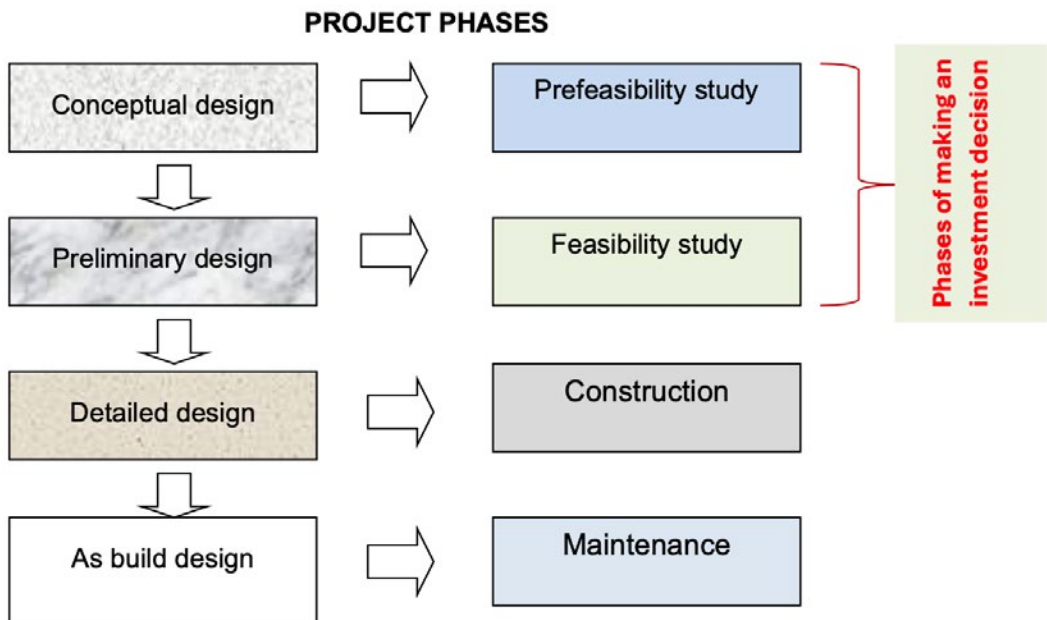


Figure 3. Project phases for developing a project for a new transport infrastructure

4. PRACTICAL EXAMPLE FOR THE CONSTRUCTION OF MOTORWAY SECTION FROM DEMIR KAPIJA TO SMOKVICA

From theoretical approach we can now analyze one practical example for phases of preparation of project documentation for construction of the motorway section from Demir Kapija to Smokvica (28 km of motorway in the south part of Republic of North Macedonia).

The feasibility study for this project was done in 2006 and identified 2 alternative alignments shown of Image 1 Alternative 1 and Alternative 2.

Alternative 1 (shown in red on the picture), was for construction of motorway along the river Vardar with widening the existing national road.

Alternative 2 (shown in yellow on the picture) was construction of a motorway on the right bank of the river Vardar with completely new alignment.

For Alternative 1 there was old design from year 1998 and for the for Alternative 2 new preliminary design was prepared.

Three additional scenarios were analyzed in the preliminary design, so called scenarios 2B, 2C and 2D. These 3 scenarios foresee the length of the driving lanes to be 3.25 meters, 3.5 meters or 3.75 meters.

EIA study was prepared in year 2008 which had many issues like the protected cave of “Bela Voda” which had to be avoided. After many public debates and consultations in 2009 there was an approval of the EIA study from the Ministry of Environment and the EU.

Phases of making an investment decision

CBA was prepared in 2008 which analyzed the options 2B, 2C and 2D with recommendation

that optimal option is construction of motorway I driving lanes 3.5. meters wide or option 2C.

In 2009 and 2010 designer was engaged which prepared the detailed design for option 2C. In mid-2011 tender for section of contractor was published and on 06.12.2011, and 15 companies submitted bids. The contract with Contractor Actor AS was concluded on 04.07.2012 and work began, with IRD Engineering S.r.l, in consortium with Egis, as the Engineer.

On 23.04.2018 the motorway was opened for traffic with total construction cost of 217 million of euro and 3% budget increase.

From the Feasibility study in 2006 until the opening for traffic it took 14 years of from 2004 to 2018.



Image 1. Alternative 1 and Alternative 2; Source: EIA Impact study, 2009

The most challenging part of the whole process was the EIA study, The motorway being co-financed by the European Union and European Investment Bank had special emphasis on the environment. Namely, on the site there was a “Bela Voda” (White water) cave in which certain protect species of bats lived. Also, in the Demir Kapija Gorge lives a white-headed eagle which is also a protected and rare species.

One of the measures that was foreseen in the EIA study was that construction works on the entrance of the gorge was not allowed during the period of mating of the eagle. This was from April to September. So, the portals of the tunnels had to be excavated by March and works inside the tunnel could continue. A lot of NGO for environment were following the implementation of the Contract, sometimes hiding in the bushes which posed a risk of being overrun by a big truck or bulldozer.

When the Contract was completed (1999 RED FIDIC Book) the most important indicator was reached. Namely, since the Demir Kapija – Smokvica section was the only section of the whole Corridor X which was not up to motorway standards (the missing link), every summer it had 10-15 people dying in car crashes. There were mainly tourist going on a summer holiday to Greece or Turkey. With the opening for traffic this number of fatalities was reduced to 1 or 2 people dying on the road per year.



Image 2. Demir Kapija – Smokvica section opened for traffic in 2018 (with the gorge in the back); Source: Private photo archive

5. PRACTICAL EXAMPLE FOR THE CONSTRUCTION OF RAILWAY SECTION FROM KUMANOVO TO REPUBLIC OF BULGARIA

This project was a text book example of how project should not start. Namely, in the 1990's Macedonia was under embargo from Greece to import good from the port of Thessaloniki. So, the Government decided in 1994 to build a rail connection from Skopje to Sofia and exit the ports of Burgas and Varna, without any design or project documentation previously prepared, It engaged only local construction companies and no external financing-IFI's was available to provide budget stability and support. Construction was suspended in the late 1990's due to lack of funds in the national budget and 140 million of dollars spend. In the period 2000-2010 there were court cases from the Construction companies which were suing the state for damages.

In 2010 studies and new project documentation began with loans and grants from international financial institutions.

Now in 2025 on 17.01.2025 the first section of this railway line from Kumanovo to Beljakovce was opened for traffic and the other two section that should connect Skopje to Sofia are under construction and should be completed by year 2032.

Below are two pictures. One is from the old semi build bridges from 1994-2000 when the works stopped and the other is from opening of the first section Kumanovo to Beljakovce in January 2025 where IRD Engineering S.r.l was Engineer and STRABAG was Contractor.



Image 3. Opening ceremony LOT 1 Railway Section Kumanovo-Beljakovce; Source: IRD Engineering photo archive



Image 4. The old semi-built bridges along the route of Rail Corridor VIII; Source: Internet

There are a lot of examples where the project documentation is not properly prepared and some of the steps were skipped. Textbook example is when the Employer starts with preparation of the project document from the last step or preparation of detailed design.

The Employer hires a design to design a motorway with speed of 120km/h. When the detailed design is prepared the Employer presents it to IFI's and looks for financing (if the country is not rich enough the finance the construction from own budget). The IFI's most of the time require that all the phase of the preparation of project documentation need to be followed, starting from minimum the feasibility study.

The end result is “back to the drawing board” or “back to basic”. The Employer is stuck with detailed design and has to go back to prepare from the beginning a Feasibility Study, Preliminary design, EIA, CBA which at the end could mean the predetermined motorway solution with detailed design is completely unusable. The project is delayed for several years until the project documenting is not properly prepared. A lot of time and resources are wasted.

6. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Based on the analyses presented in the paper, the following conclusions and recommendations can be made:

1. Preparation is a key element. It is particularly important to conduct thorough EIA studies and prepare high-quality design documents before starting work. The better the project documentation is, the smoother the construction process will be. As Lincoln said: “Give me six hours to chop down a tree, and I will spend the first four sharpening the axe”.
2. Broader consultations are essential when making investment decisions that have a significant impact on the country’s debt, rather than allowing decisions to be made by politicians behind closed doors, without engaging relevant experts or seeking input from the broader public.
3. There is a need for public presentation and public availability of all feasibility studies prepared for certain investment projects in which the state is the investor/Employer is needed. The practice so far is that the studies are not publicly available, even though investment decisions weighing up to 700 million euros, i.e. one quarter of the country’s total annual budget, are based on them.
4. To avoid repeating past mistakes, all steps in the preparation of project documentation must be reflected in the relevant legislation, such as the Law on Construction, Law on Roads, and Law on Railways. A multisectoral approach is needed, including economic, financial, social, and environmental considerations, keeping in mind that resources are limited while human desires are limitless.

ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJELAZI: UZROCI, POSLJEDICE I PREVENCIJA NALETA NA POLUBRANIKE

LEVEL CROSSINGS: CAUSES, CONSEQUENCES AND PREVENTION OF COLLISIONS WITH HALF-BARRIERS

Prof. dr. sc. **Danijela Barić**, dbaric@fpz.unizg.hr

Silvestar Grabušić, mag. ing. traff., sgrabusic@fpz.unizg.hr

Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

SAŽETAK

Na mreži željezničkih pruga u Republici Hrvatskoj ukupno je 1.438 željezničko-cestovnih prijelaza od kojih 43 % ima aktivno osiguranje. Od 2012. do 2024. godine slomljeno je 5.963 polubranika uz trend rasta u zadnje četiri godine. U ovom radu prikazani su rezultati provedenog istraživanja u okviru projekta „Istraživanje uzroka i posljedica rizične vožnje preko željezničko-cestovnih prijelaza i prijedlog mjera prevencije prometnih nesreća i naleta na polubranike“ koji se provodi u sklopu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske. Analizom uzroka tvrđeno je da naleti na polubranike zbog rizične vožnje čine 95 % navedenih incidenata, što nameće zaključak da je ljudski čimbenik njihov glavni uzrok. Iako su posljedice ovog problema uglavnom materijalna šteta, svaki nalet na polubranik mogao je posljedično dovesti do ozbiljne nesreće jer su polubranici u većini slučajeva slomljeni neposredno prije prolaska vlaka, stoga predstavljaju izbjegnute nesreće. Uz detaljnu statističku analizu uzroka i posljedica lomova polubranika, u radu je dan pregled primjenjivih preventivnih mjera kategoriziranih kroz 5E pristup.

Gljučne riječi: željezničko-cestovni prijelaz, lomovi polubranika, rizično ponašanje, ljudski čimbenik, preventivne mjere

ABSTRACT

There are 1,438 level crossings on the Croatian railway network, of which 43 % have active protection. From 2012 to 2024, a total of 5,963 half-barriers were broken, with an increasing trend in the last four years. This paper presents the results of the research project “Investigation of the causes and consequences of risky driving over level crossings and proposal of measures to prevent traffic accidents and collisions with half-barriers” (Croatian National Road Safety Plan). An analysis of the causes of half-barrier breaks found that collisions due to risky driving make up 95% of the above incidents, which means that the human factor is their leading cause. Although the consequences of this problem are mainly material damage, any collision with a half-barrier could consequently lead to a severe accident since the half-barriers are usually broken just before the train passes, representing near-miss accidents. In addition to a detailed statistical analysis of the causes and consequences of half-barrier breaks, the paper provides an overview of applicable preventive measures categorised through the 5E approach.

Gljučne riječi: Level crossing, half-barrier fractures, risky behaviour, human factor, preventive measure

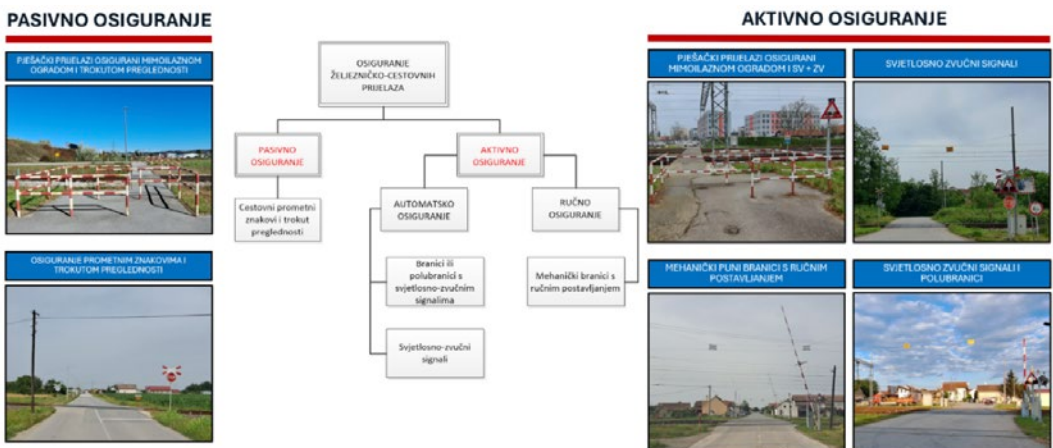
1. UVOD

Željezničko-cestovni prijelaz mjesto je križanja željezničke pruge ili industrijskoga kolosijeka i ceste u istoj razini koje može uključivati i križanje s pješačkom i biciklističkom stazom ili drugim putovima namijenjenim prolasku ljudi, životinja, vozila ili strojeva [1]. Građevinski gledano, to je mjesto križanja kolnika i gornjega ruba tračnice. S obzirom na definiciju, može se zaključiti da je željezničko-cestovni prijelaz specifična prometna točka ne samo zato što predstavlja mjesto križanja dviju prometnica nego zbog toga što je to mjesto sučeljavanja dvaju prometnih sustava, cestovnog i željezničkog, koji prema svim relevantnim prometnim, infrastrukturnim, tehničkim, tehnološkim i ostalim parametrima imaju različite značajke. Stoga s gledišta prometne sigurnosti željezničko-cestovni prijelaz predstavlja potencijalnu prometnu točku visokoga rizika, na što ukazuje i statistika ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata čije su direktne posljedice ljudske žrtve i materijalna šteta, ali značajne su i indirektno posljedice na društvo u cjelini [2, 3].

Cilj je ovog rada istražiti i s višim stupnjem detaljnosti analizirati značajke lomova polubranika i branika, odnosno incidenata na željezničko-cestovnim prijelazima s aktivnim osiguranjem u Republici Hrvatskoj te dati pregled mogućih kategorija preventivnih mjera kategoriziranih kroz tzv. Pristup 5E (Education, Engineering, Enforcement, Engagement, Evaluation). U radu su analizirani sekundarni podaci o značajkama lomova polubranika i branika, kao što su lokacija i prostorna distribucija, datum i vrijeme incidenata, udio lomova polubranika i branika s obzirom na razvrstavanje željezničkih pruga, pripadnost regionalnoj jedinici i odgovornost za nastali incident, a obuhvaćeno je razdoblje od 2021. do 2024. godine.

2. ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJELAZI

Željezničko-cestovni prijelaz službeno je mjesto na željezničkoj pruzi na kojemu je dozvoljen prelazak sudionika cestovnog prometa preko željezničke pruge. Svaki željezničko-cestovni prijelaz osiguran je određenom razinom odnosno načinom osiguranja. Stoga ne postoje neosigurani željezničko-cestovni prijelazi. Osnovna podjela načina osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza prema preporukama Agencije Europske unije za željeznice (eng. European Union Agency for Railways) podrazumijeva pasivno i aktivno osiguranje (Slika 1.) [4].



Slika 1. Načini osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza [autori izradili prema 4]

Pasivno osiguran železničko-cestovni prijelaz smatra se onaj koji je opremljen bilo kojim znakom upozorenja, uređajima ili nekom drugom zaštitnom opremom koja je stalna i koja se ne mijenja u ovisnosti o bilo kojoj prometnoj situaciji. U Republici Hrvatskoj pasivno osiguranje podrazumijeva uporabu cestovnoga prometnoga znaka Andrijin križ zajedno sa znakom Stop i propisanoga trokuta preglednosti. Kod pasivnoga je osiguranja vozač cestovnoga vozila, pješak, biciklist i svaki drugi korisnik železničko-cestovnog prijelaza sam odgovoran za promatranje željezničke pruge i uočavanje mogućnosti nailaska željezničkoga vozila.

Aktivnim se osiguranjem smatra svaki način osiguranja koji reagira promjenom svoga stanja (svjetlosno-zvučnoga ili zaštitnoga) pri nailasku željezničkoga vozila. Aktivni načini osiguranja železničko-cestovnih prijelaza mogu podrazumijevaju dvije vrste sustava, odnosno sustave koji imaju ručnu promjenu stanja i sustave koji imaju automatsku kontrolu promjene stanja (daljinski iz centralne postavnice ili sustavi koje uključuje/isključuje željezničko vozilo svojim prolaskom).

Na mreži željezničkih pruga u Republici Hrvatskoj duljine 2.617 km, ukupno je 1.438 železničko-cestovnih i pješačkih prijelaza od kojih 57 % ima pasivno, dok 43 % ima aktivno osiguranje [2, 3].

3. ANALIZA LOMOVA POLUBRANIK NA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIM PRIJELAZIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

3.1. PROMETNE NESREĆE U ŽELJEZNIČKOM PROMETNOM SUSTAVU

Prometne nesreće u željezničkom prometnom sustavu klasificiraju se u kategorije ozbiljnih nesreća, nesreća i incidenata. Statističke podatke o ozbiljnim nesrećama, nesrećama i incidentima od 2012. godine upravitelj željezničke infrastrukture HŽ Infrastruktura d. o. o. objavljuje javno na svojim mrežnim stranicama u godišnjim publikacijama pod nazivom Godišnje izvješće o mreži [5].

Ozbiljna nesreća je sudar vlakova ili iskliznuće vlaka koje ima za posljedicu smrt najmanje jedne osobe ili teške ozljede pet ili više osoba ili veliku štetu na vozilima, željezničkoj infrastrukturi ili okolišu, kao i svaka druga nesreća sa sličnim posljedicama koja ima očigledan utjecaj na sigurnost željezničkog sustava ili na upravljanje sigurnošću. Nesreća je neželjeni ili nenamjerni iznenadni događaj ili poseban slijed takvih događaja koji ima štetne posljedice; nesreće mogu biti sudar, iskliznuće, nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu ili pješačkom prijelazu preko pruge, nesreća s ljudskim žrtvama koja uključuje željezničko vozilo u pokretu, požar i ostalo. Incident je svaki događaj, osim nesreće ili ozbiljne nesreće, koji utječe ili može utjecati na sigurnost željezničkog prijevoza. Lomovi polubranika česti su incidenti na željezničko-cestovnim prijelazima i predstavljaju izbjegnute nesreće koje su mogle rezultirati nesrećama ili ozbiljnim nesrećama [1]. U ovom radu analizirani su samo lomovi polubranika na aktivno osiguranim željezničko-cestovnim prijelazima koji pripadaju kategoriji incidenata.

3.2. PRIKUPLJANJE PODATAKA

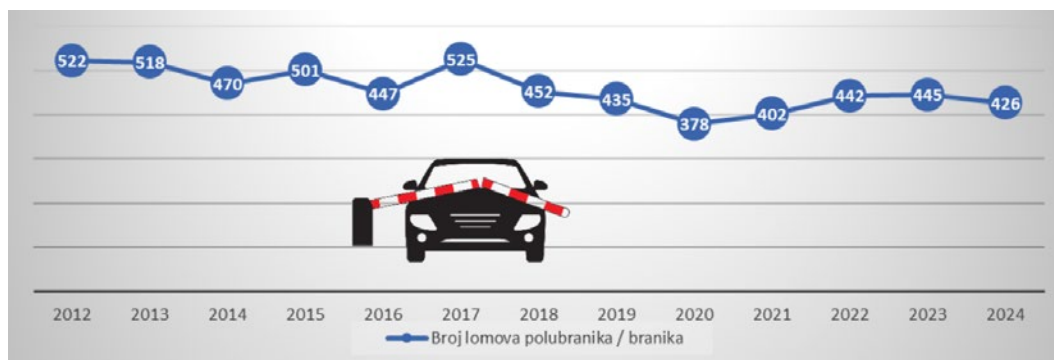
Istraživanje u ovom radu temelji se na sekundarnim podacima upravitelja željezničke infrastrukture, HŽ Infrastruktura d. o. o. [2, 3]. Baza podataka upravitelja infrastrukture HŽ Infrastrukture obuhvaća brojne parametre za detaljnu analizu nesreća, ozbiljnih nesreća

i incidenata. U ovo istraživanje uključeni su podaci o lomovima polubranika i branika, njihova prostorna i vremenska razdioba, udio s obzirom na kategoriju željezničke pruge, regionalnu jedinicu, uzroke i posljedice incidenata, etc. Iako su navedeni podatci o ukupnom broju lomova polubranika i branika od 2012. godine do danas, detaljna analiza obuhvatila je razdoblje od 2021. godine do 2024. godine, odnosno post-covid razdoblje. Analizom je utvrđeno da se od ukupnog broja lomova polubranika i branika, samo 0,037 % odnosilo na branike, stoga su iz detaljne analize izuzeti željezničko-cestovni prijelazi s branicima na kojima su se dogodili incidenti.

3.3. ANALIZA LOMOVA POLUBRANIKA NA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIM PRIJELAZIMA

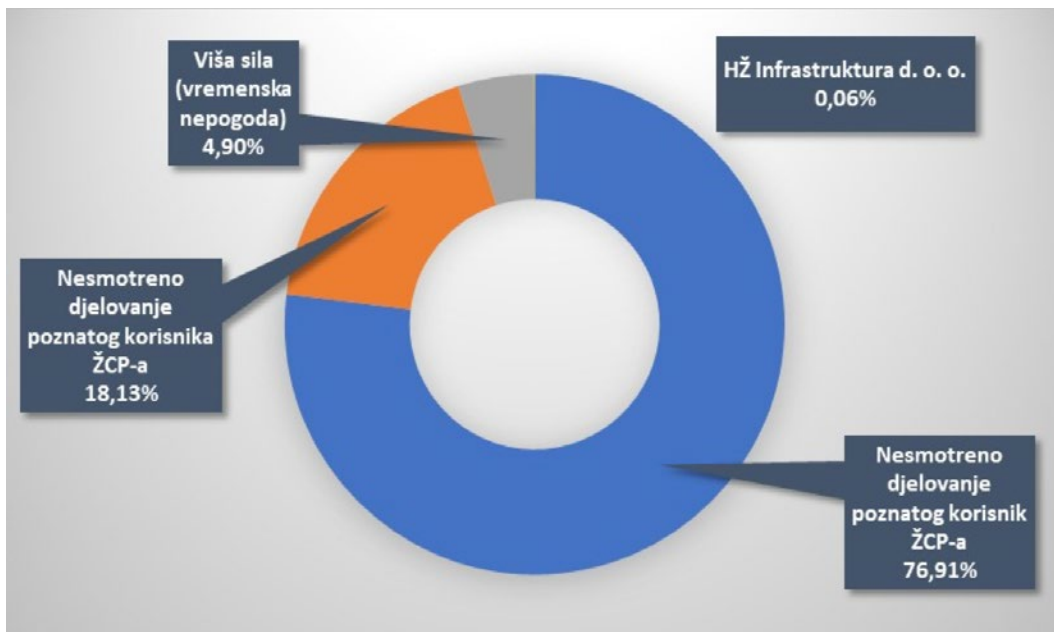
Lomovi polubranika na željezničko-cestovnim prijelazima mogu se okarakterizirati kao neposredno izbjegnute prometne nesreće, s obzirom da se događaju neposredno prije nailaska i prolaska željezničkoga vozila pa je svaki nalet cestovnog vozila na polubranik mogao rezultirati nesrećom ili ozbiljnom nesrećom. Iako analiza broja lomova polubranika u višegodišnjem razdoblju od 2012. godine do 2024. godine ukazuje na njihov blagi trend pada (Slika 2.) i dalje je gotovo petstotinjak lomova polubranika godišnje zabrinjavajući, jer je to ujedno i jedan od značajnijih pokazatelja prometne (ne)kulture i nepoštivanja prometnih propisa i pravila u Republici Hrvatskoj.

Analizom uzroka lomova polubranika u promatranom razdoblju od 2021. do 2024. godine, utvrđeno je da su u 95,04 % slučajeva lomovi polubranika posljedica nesmotrenog djelovanja korisnika željezničko-cestovnih prijelaza, odnosno naleta cestovnih vozila na polubranike, od kojih je samo u 18,13 % utvrđen identitet počinitelja, dok u ostalih 76,91 % počinitelj nije utvrđen (Slika 3.). Vremenske neprilike, u najvećoj mjeri jak vjetar, uzrok je lomova polubranika u 4,9 % slučajeva. Odgovornost upravitelja željezničke infrastrukture zabilježena je u promatranom četverogodišnjem razdoblju samo u jednom slučaju (0,06 %) i to zbog kvara uređaja za osiguranje na željezničko-cestovnom prijelazu lokalnog naziva Zdenčina (na pruzi M202, u km 448+415).



Slika 2. Broj lomova polubranika i branika razdoblju od 2012. do 2024. godine [3, 5]

Iako je zabilježen blagi trend pada ukupnog godišnjeg broja lomova polubranika, terenskim istraživanjem utvrđen je velik broj zaobilaženja polubranika (tzv. „cik-cak“, „slalom vožnja“) i nepoštivanja prometnih pravila vozača cestovnih motornih vozila, što posljedično može dovesti ne samo do incidenata s materijalnom štetom nego i do tragičnih posljedica [6, 7]. Podatci o broju lomova polubranika samo djelomično pokazuju stanje prometne (ne)kulture



Slika 3. Odgovornost za lomove polubranika u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

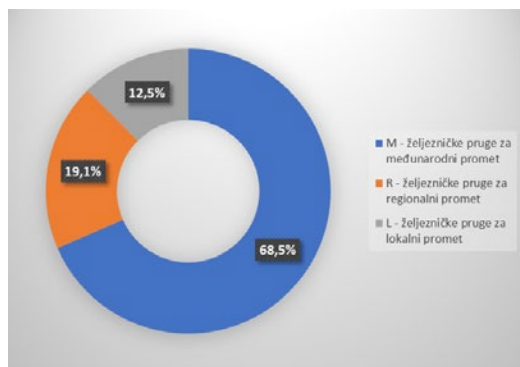
vozača jer se sustavno ne prikupljaju podatci o namjernim zaobilaženjima polubranika na željezničko-cestovnim prijelazima na kojima nije došlo do oštećenja ili lomova. Takvi podatci prikupljaju se u okviru specifičnih istraživanja [6, 7] koji ukazuju na značajan problem zaobilaženja spuštenih polubranika koji mogu posljedično rezultirati ozbiljnim nesrećama sa smrtnim posljedicama za sudionike u prometu (Slika 4.).



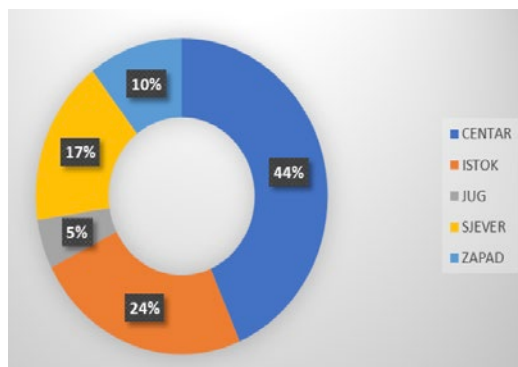
Slika 4. Primjer rizične vožnje na željezničko-cestovnom prijelazu u Ivankovu [6, 7]

Najveći broj lomova polubranika zabilježen je u promatranom razdoblju na željezničko-cestovnim prijelazima na željezničkim prugama za međunarodni promet (M) s udjelom od

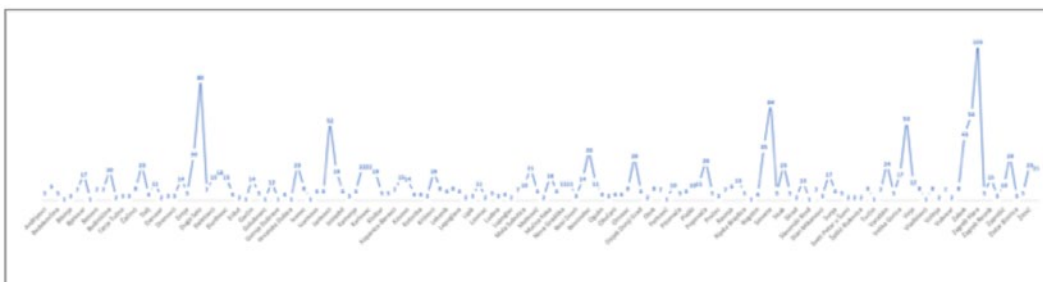
68,5 %, potom na željezničkim prugama za regionalni promet (R) s udjelom od 19,1 % te s udjelom od 12,5 % na željezničkim prugama za lokalni promet (Slika 5.). Pripadnost navedenih željezničko-cestovnih prijelaza regionalnim jedinicama (Centar, Istok, Sjever, Zapad, Jug) prikazan je na Slici 6., a udio lomova polubranika s obzirom na pripadnost željezničko-cestovnog prijelaza kolodvoru prikazan je na Slici 7.



Slika 5. Udio lomova polubranika s obzirom na razvrstavanje željezničkih pruga u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

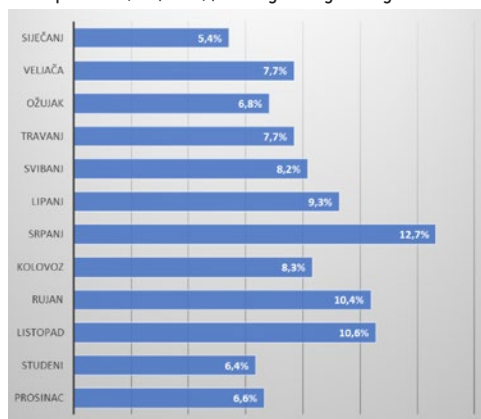


Slika 6. Udio lomova polubranika s obzirom na pripadnost regionalnoj jedinici u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]



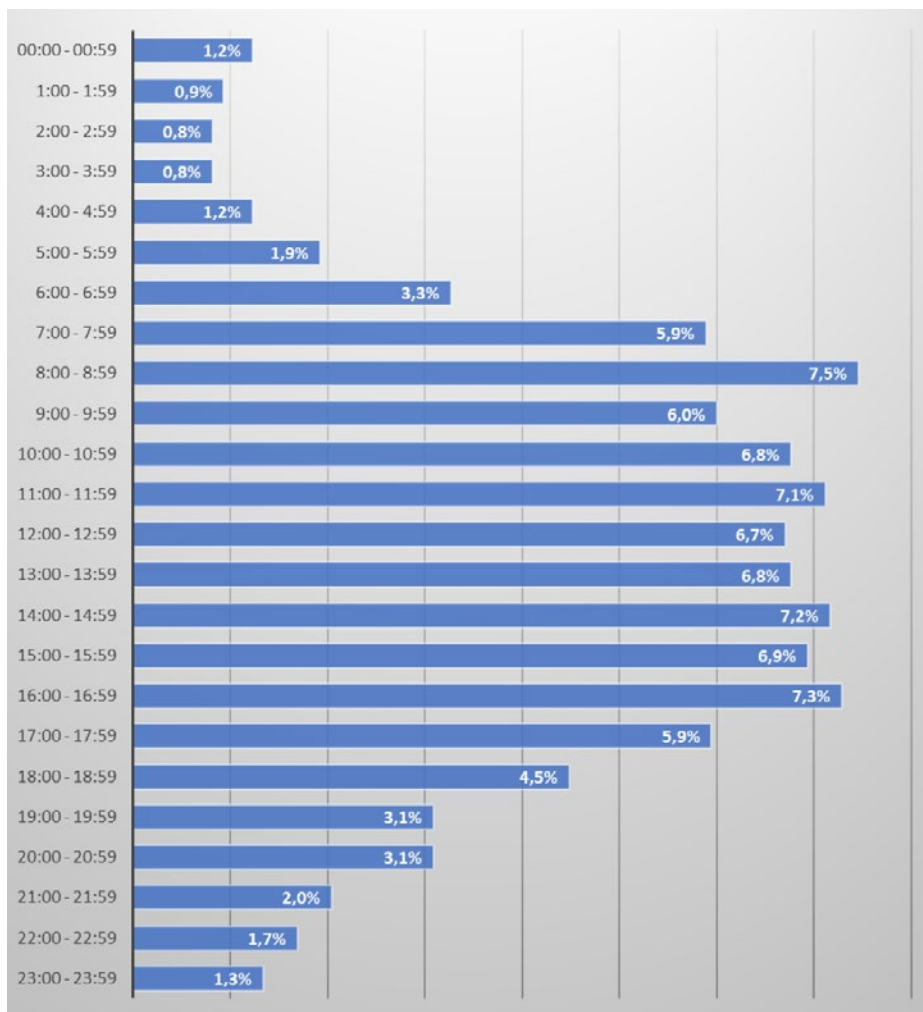
Slika 7. Udio lomova polubranika s obzirom na pripadnost željezničko-cestovnog prijelaza kolodvoru u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

Mjesečna razdioba lomova polubranika u promatranom razdoblju od 2021. do 2024. godine pokazuje da je najveći udio zabilježen tijekom srpnja (12,7 %), a potom tijekom rujna (10,4 %) i listopada (10,6 %), dok je najmanji udio od 5,4 % zabilježen tijekom siječnja (Slika 8.).



Slika 8. Udio lomova polubranika s obzirom na mjesec u godini u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

Prema vremenskoj razdiobi tijekom 24 sata u danu (Slika 9.) u svakom satu zabilježeni su lomovi polubranika. Najveći broj dogodio se u jutarnjem vršnom satu (od 8:00 do 9:00 sati) i poslijepodnevnom vršnom satu (od 16:00 do 17:00 sati), iako je značajan udio zabilježen i od 11:00 do 12:00 sati te 14:00 do 15:00 sati. Može se pretpostaviti da su to sati odlaska na posao i povratka s posla te vrijeme pauze za ručak. Najmanji udio lomova polubranika, ispod 1 % u satu, zabilježen je u vremenu od 1:00 do 4:00 sata.



Slika 9. Udio lomova polubranika u pojedinom satu tijekom dana u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

U promatranom razdoblju od 2021. do 2024. godine na čak 401 željezničko-cestovnom prijelazu dogodio se barem jedan lom polubranika. Na Slici 10. prikazani su podaci za željezničko-cestovne prijelaze na kojima je broj lomova polubranika najučestaliji.



Slika 10. Učestali lomovi polubranika na istom željezničko-cestovnom u razdoblju od 2021. do 2024. godine [3, 5]

4. PREVENCIJA NALETA NA POLUBRANIKE

Ne postoji jedinstvena preventivna mjera kojom bi se spriječile nesreće i incidenti na željezničko-cestovnim prijelazima, ali i općenito u prometu. Unatoč tehničkim i tehnološkim poboljšanjima infrastrukturnih elemenata kao i sustava osiguranja te značajki prijevoznih sredstava, broj nesreća i dalje je značajan što upućuje na utjecaj ljudskog čimbenika, odnosno primarnu odgovornost sudionika u cestovnom prometu (vozača cestovnih motornih vozila, biciklista, pješaka), a tek onda opreme.

Kako bi se smanjio rizik od nastanka prometnih nesreća i povećala sigurnost željezničko-cestovnih prijelaza, osmišljen je model 5E, sveobuhvatan pristup poboljšanju prometne sigurnosti u različitim prometnim okruženjima, a koji obuhvaća edukaciju, inženjerska rješenja, provedbu, angažiranje i evaluaciju (pet slova „E“ označavaju Education, Engineering, Enforcement, Engagement, Evaluation). Ovih pet elemenata zajedno čini robustan sigurnosni okvir koji pomaže u smanjenju nesreća, promiče sigurnosnu kulturu i osigurava usklađenost sa sigurnosnim standardima, što posljedično treba omogućiti sigurniji prometni sustav u cjelini [6, 7].

Edukacija (Education) obuhvaća poučavanje sudionika u prometu o sigurnom kretanju u prometu, prometnim pravilima i propisima, važnosti njihovog poštivanja i osvještavanju o posljedicama rizičnog ponašanja u prometu. U programe edukacije potrebno je uključiti sve kategorije sudionika u prometu, svih dobnih skupina, a posebice najranjivije sudionike u prometu. Edukacijom i učestalim preventivnim aktivnostima moguće je povećati svijest sudionicima u prometu o posljedicama rizičnog ponašanja i potaknuti na odgovorno i sigurno kretanje u prometu. Inženjerska rješenja (Engineering) obuhvaćaju tehnička rješenja za dopunu pasivnom i aktivnom načinu osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza, kao i suvremena rješenja za vozila. Inženjerska rješenja, primjeri dobre prakse, kao i ona koja su implementirana kroz pilot projekte, selektirana su i klasificirana u tzv. SAFER-LC Toolbox-u koji je razvijen u okviru europskog HORIZON 2020 projekta Safer Level Crossing by Integrating and Optimizing Road-Rail Infrastructure Management and Design [8] te klasificira sljedeće mjere: mjere u čijem je središtu čovjek, niskobudžetne mjere, inovativne mjere, tzv. samo-objašnjavajuće mjere i mjere koje „praštaju” ljudske pogreške. Provedba (Enforcement) osigurava poštivanje sigurnosnih pravila putem propisa i nadzora, uključujući i represivne mjere. Angažiranje (Engagement) podrazumijeva poticanje suradnje svih dionika te zajedničko motiviranje sudionika u prometu da slijede smjernice za sigurno sudjelovanje u prometu. Željeznički sustav treba razviti dobru suradnju sa svim dionicima na

svim razinama, od korisnika željezničko-cestovnih prijelaza, do nacionalne i lokalne uprave, upravitelja cestovne infrastrukture i općenito cestovnog sektora te akademske zajednice. Evaluacija (Evaluation) uključuje procjenu učinkovitosti osmišljenih mjera za povećanje sigurnosti i uvođenje potrebnih poboljšanja.

Na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu provode se istraživanja vezana za problematiku željezničko-cestovnih prijelaza u svrhu kreiranja dugoročnih i primjenjivih rješenja utemeljenih na pristupu 5E koja mogu spriječiti nesreće na željezničko-cestovnim prijelazima i utjecati na stupanj sigurnosti, odnosno sigurnije odvijanje prometa i promjene obrazaca rizičnog ponašanja korisnika željezničko-cestovnih prijelaza i ostalih sudionika u prometu. U okviru Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske provedena su istraživanja temeljem kojih su predložena i provode se preventivno-edukativna rješenja te su predložena inženjerska rješenja za projektiranje prometno-tehničkih elemenata ceste u zoni željezničko-cestovnog prijelaza, kao dopuna postojećem stupnju osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza, a u svrhu prevencije rizičnog ponašanja sudionika u prometu što bi posljedično trebalo utjecati na povećanje sigurnosti i smanjenje broja stradalih na željezničko-cestovnim prijelazima. Detaljan prikaz navedenih inženjerskih rješenja zbog sveobuhvatnosti i visokog stupnja detaljnosti koji obuhvaća i grafičke prikaze, nije moguće prikazati u okviru ovoga članka, no ona su sadržana u okviru projekta [6] te se očekuje njihova provedba i implementacija na terenu.

5. REKAPITULACIJA

Kompleksnost problematike željezničko-cestovnih prijelaza ogleda se već u definiciji prema kojoj željezničko-cestovni prijelazi predstavljaju mjesta neposrednog sučeljavanja željezničkog i cestovnog prometa, dva prometna sustava koji imaju različite značajke u svim segmentima, stoga posljedično predstavljaju prometno-rizične točke na cestovnoj i željezničkoj mreži.

U ovom radu fokus je bio na lomovima polubranika, odnosno naletima cestovnih vozila na polubranike koji predstavljaju posljedicu tipične rizične vožnje uzrokovane u najvećoj mjeri nepoštivanjem prometnih propisa i pravila vozača cestovnih motornih vozila. Dubinskom analizom uzroka lomova polubranika, kao kategorije incidenata u željezničkom prometnom sustavu, utvrđeno je kako su u 95 % slučajeva lomove uzrokovali sudionici cestovnoga prometa koji se nisu pridržavali prometnih pravila, svjesno (namjerni prekršaji) ili nesvjesno (nenamjerne pogreške). Temeljem navedenoga nameće zaključak da je primarni problem rizično ponašanje korisnika željezničko-cestovnih prijelaza, odnosno niski stupanj poštivanja prometnih propisa što upućuje primarno na odgovornost sudionika cestovnog prometa.

Ne postoji jedinstvena mjera koja bi spriječila prometne nesreće i nalete na polubranike na željezničko-cestovnim prijelazima. Ulaganje u modernizaciju i suvremena tehnička rješenja nužni su, no edukacija kojom će se osvijestiti korisnike željezničko-cestovnih prijelaza o posljedicama rizičnog ponašanja u prometu i motivirati ih na odgovorno ponašanje u prometu, ključ su prevencije. Analiza uzroka prometnih nesreća dokazuje da je svaka nesreća preventabilna i moguće ju je spriječiti. Također, sigurnost na željezničko-cestovnim prijelazima interdisciplinarna je problematika koja zahtjeva suradnju svih relevantnih dionika željezničkog i cestovnog sektora kako bi se uspješno upravljalo potencijalnim rizicima i spriječilo neželjene nesreće.

POPIS LITERATURE

- [1] Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava (NN 63/20)
- [2] Godišnje izvješće o sigurnosti 2023., Sustav upravljanja sigurnošću, HŽ Infrastruktura d. o. o., Zagreb, 2024.
- [3] Interni statistički podatci, HŽ Infrastruktura d. o. o., Zagreb, 2025.
- [4] European Union Agency for Railways. Dostupno na <https://www.era.europa.eu/>
- [5] Izvješća o mreži HŽ Infrastrukture d. o. o. Dostupno na <https://www.hzinfra.hr/naslovna/odnosi-s-javnoscu/publikacije/>
- [6] Projekt „Model projektiranja prometno-tehničkih elemenata ceste u zoni željezničko-cestovnih prijelaza“, Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa, Izvješće, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2024.
- [7] Projekt „Istraživanje uzroka i posljedica rizične vožnje preko željezničko-cestovnih prijelaza i prijedlog mjera prevencije prometnih nesreća i naleta na polubranike“, Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Interni podatci, Zagreb, 2025.
- [8] SAFER-LC Toolbox, Safer Level Crossing by Integrating and Optimizing Road-Rail Infrastructure Management and Design, European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 723205, HORIZON 2020

SIMULATING THE IMPACT ON ENERGY CONSUMPTION OF VARIOUS AUTONOMOUS AND HUMAN-DRIVEN VEHICLE APPROACHES TO PEDESTRIAN CROSSINGS

Szilard Szigeti^{1*} (szigeti.szilard@kti.hu)

Dr. Gábor Pauer² (pauer.gabor@kti.hu)

Dr. Dávid Földes³ (foldes.david@kjk.bme.hu)

¹ PhD student, research fellow

Department of Transport Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Budapest University of Technology and Economics, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3., Hungary

² Senior research fellow

Road Safety Research Centre, KTI Hungarian Institute for Transport Sciences and Logistics Non Profit Limited Liability Company, H-1119, Budapest Than Károly street 3-5., Hungary

³ Research associate

Department of Transport Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Budapest University of Technology and Economics, H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3., Hungary

ABSTRACT

In our research, we used Vissim traffic simulation model to analyze the deceleration of autonomous and conventional vehicles in the vicinity of pedestrian crossings. For human-driven vehicles, we applied three different deceleration strategies: cautious, normal, and aggressive. Autonomous vehicles adjusted their deceleration curves based on the position and speed of pedestrians crossing the street. A key aspect of the model design was to ensure that pedestrians could safely cross before vehicles arrived. For autonomous vehicles, we introduced two adjustable parameters: detection range and braking capability. This allowed us to simulate differences in sensor technologies and braking performance between vehicles. Energy consumption was modeled with Vissim External Emission Model by incorporating basic vehicle dynamics parameters. Finally, we compared the energy consumption differences across the various scenarios and recommended the most optimal approaches.

Keywords: traffic simulation; autonomous vehicle; speed optimization; fuel consumption, pedestrian crossing

1. INTRODUCTION

The rise of autonomous vehicles has drawn significant research interest due to their potential benefits. Studies show they can enhance road safety [1-3] and improve transport efficiency [4-5]. Research also explores their impact on fuel consumption and emissions. Gonder et al. estimated a 20% fuel savings through eco-driving techniques like reducing stops and optimizing acceleration [6]. Mersky and Samaras reported a 10% reduction [7], while Chen et al. found even greater savings of 30–45% [8]. Autonomous vehicles are also expected to positively impact emission levels [9].

Numerous studies have examined the impact of autonomous vehicles on traffic flow and fuel consumption from various vehicle control perspectives. Some research focused on platooning effects, where Barth et al. found 15–20% energy savings for autonomous vehicles maintaining a following distance under 4 meters [10]. Brown et al. estimated a 20% energy reduction for 50% of highway trips and a system-wide 10% efficiency gain from platooning [11]. Other studies explored the effects of dynamic route planning and V2I communication, enabling autonomous vehicles to synchronize with traffic lights, reducing stops, and improving traffic flow [12-14].

Understanding the pedestrian detection capabilities of autonomous vehicles was crucial in our research. Detection can be achieved with standalone sensors (cameras, radar, LIDAR), or with sensor fusion. Studies indicate that vehicle-mounted sensors and image-processing algorithms provide accurate detection up to 40–50 meters [15][16], while roadside sensors can detect pedestrians directly at crossings. Through V2I communication, this data can be transmitted to warn approaching autonomous vehicles, with a typical range exceeding 100 meters [17][18].

The studies above outlined the well-established benefits of autonomous vehicles on traffic flow, fuel efficiency, and emissions in various environments. However, energy consumption near pedestrian crossings remains underexplored. To address this gap, our study introduces a simulation model that adjusts the approaching speed of autonomous vehicles based on the spatial position and velocity of nearby pedestrians.

The methodology involved the development of an adaptive control algorithm that queries vehicle and pedestrian parameters at each simulation timestep, calculating an optimal approach speed for autonomous vehicles. Different detection ranges were considered for various autonomous vehicle types, with pedestrian detection commencing at 60, 70, or 80 meters. The simulation also included human-driven vehicles with 3 distinct deceleration profiles, to reflect different human behaviours. Six scenarios were simulated, three with autonomous vehicles and three with human-driven vehicles, each assessing the impact of different driving styles on fuel consumption and emissions.

The paper is structured as follows: Section 2 presents the methodology and the developed model, including the speed control logic for autonomous vehicles, and the fuel consumption and emission calculating algorithms. Section 3 presents the structure of the different scenarios. Section 4 discusses the results obtained from the simulations. Finally, the last section summarises the main findings and conclusions.

2. METHODOLOGY

2.1 DETERMINING OPTIMAL APPROACH SPEEDS FOR AUTONOMOUS VEHICLES

The simulation was developed in Vissim traffic simulation software, using the 2020 version of it. A conventional, traffic sign-controlled pedestrian crossing was positioned perpendicular to a 2x1 lane urban road segment. The geometric configuration and the overview of the model are presented in Figure 1.

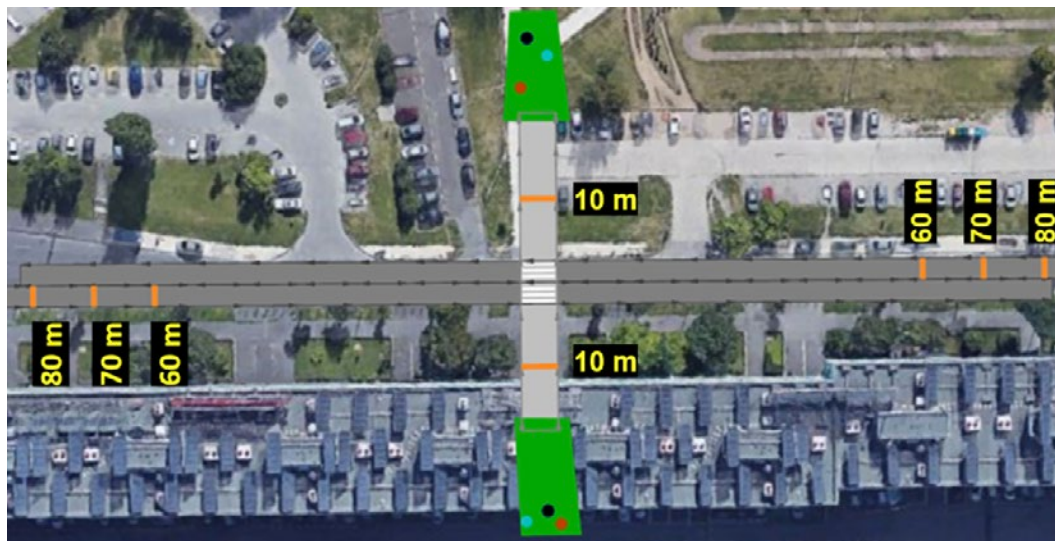


Figure 1. Overview of the pedestrian crossing design in the simulation

The physical model was built, containing the necessary infrastructure elements (vehicle and pedestrian paths). Traffic composition, volumes, and vehicle parameters (types, mass distribution, speed, and deceleration functions) were defined. A Python-based algorithm was used to control the speed of autonomous vehicles based on the movement of pedestrians. The Vissim External Emission Model DLL module was employed for fuel consumption and emissions calculations, with an external program code running via the COM interface for communication with Vissim. Calculations were performed at each simulation timestep, set to 0.2 seconds, providing detailed results with improved running performance compared to 0.1-second intervals. The model operation, input data, related modules, and output data are summarised in Figure 2.

The approach of autonomous vehicles to the pedestrian crossing was controlled using a complex control logic that integrated crossing geometry, vehicle and pedestrian positions, speed, and varying autonomous vehicle detection capabilities. The control algorithm was written in Python 3.7 software that communicated with Vissim via the COM (Component Object Model) interface. This enabled real-time data exchange and dynamic speed adjustments based on pedestrian presence and movement. The code was executed at the start of each simulation timestep, ensuring adaptive speed regulation for autonomous vehicles. The simplified control process is presented in Figure 3.

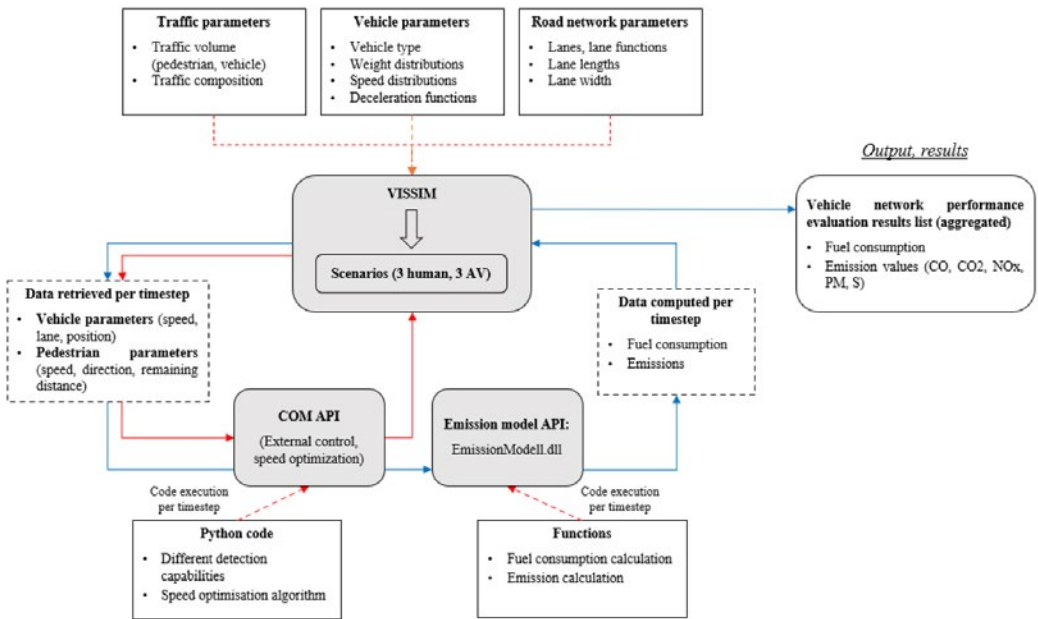


Figure 2. Overview of the structure and operation of the simulation model

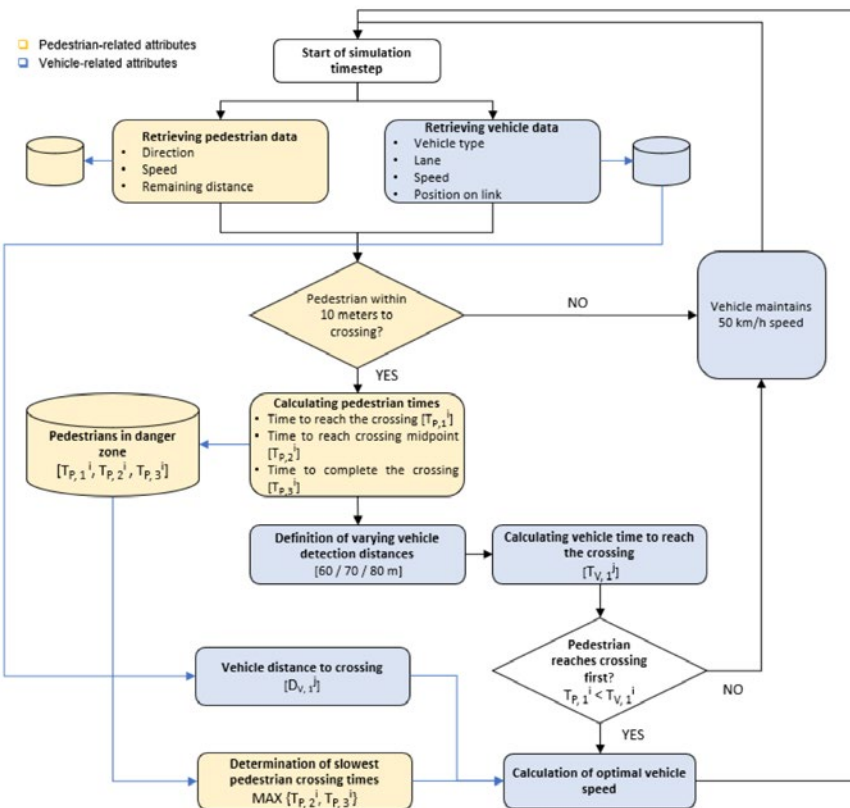


Figure 3. Structure of the autonomous vehicle speed control logic

At the beginning of each simulation timestep, the program retrieves the current data of pedestrians and vehicles. For pedestrians, these include their route, speed, and remaining distance to their destination (pedestrian area on the other side of the crossing). Since Vissim provides only the remaining distance parameter instead of position data for pedestrians, this has been used for further calculations. For vehicles, the retrieved data included vehicle type, speed, lane, and position.

In the next step, the program examined both directions to determine whether any pedestrians were within 10 meters of the road edge (danger zone). If no pedestrians were present, autonomous vehicles continued at the preset speed of 50 km/h. However, if pedestrians were detected within the danger zone, their walking speeds and calculated remaining distance data were used to obtain the relevant crossing times for each one as follows:

- Time to reach the crossing ($T_{p,1}^i$)
- Time to reach the crossing midpoint ($T_{p,2}^i$)
- Time to complete the crossing ($T_{p,3}^i$)

The differentiation of crossing times was necessary, as we assumed that a vehicle could begin accelerating once a pedestrian approaching from the right reached the midpoint of the crossing. In contrast, a pedestrian coming from the left needed to fully cross the road before the vehicle could proceed. This approach more accurately reflected real driver behaviour and aligned with Vissim's fundamental operation.

In the next step, we defined different detection capabilities for autonomous vehicles, distinguishing between three levels: 60, 70, and 80 meters. This meant that some vehicles detected pedestrians at 80 meters, others at 70 meters, and some only at 60 meters from the crossing (Figure 1). To simulate these varying detection capabilities, the model incorporated three distinct vehicle classes.

In each simulation timestep, once the autonomous vehicle reached the detection point, we calculated the time needed to reach the crossing ($T_{v,1}^i$). This time was compared to the pedestrian's time to reach the crossing ($T_{p,1}^i$), for each pedestrian in the danger zone. If a pedestrian from either direction reached the crossing before the autonomous vehicle, his/her relevant data was stored in a list. A maximum search algorithm was then applied to identify the pedestrian with the longest crossing time requirement from this list. Notably, pedestrians approaching from the right were considered based on their time to reach the road's midpoint, while those from the left were evaluated based on the time requirement to fully cross the road.

Overall, we identified the pedestrians within the danger zone who would reach the crossing before the autonomous vehicle, and selected the one with the slowest crossing time requirement. Based on this time requirement and the vehicle's distance from the crossing, an optimal speed was calculated for the vehicle in each simulation timestep. This ensured that the vehicle reached the pedestrian crossing only after the pedestrian had safely crossed, incorporating an additional 0.5-second safety margin.

2.2 MODELING FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS

Vissim External Emission Modell module was used to calculate real-time fuel consumption and emission values in the simulation. The model utilizes vehicle and environmental

parameters alongside user-defined computational algorithms. During the simulation, the program calculates fuel consumption and emissions at each simulation timestep based on our formulas.

Vehicle motion, which directly affects fuel consumption, was derived from the sum of the resultant forces acting on the vehicle. A simplified force model was used, considering inertial force (F_a), rolling resistance (F_r), and aerodynamical drag (F_d). Deceleration was not considered in fuel consumption calculations, since no energy recovery system was simulated. The total force acting on a moving vehicle is described by the following equation.

$$\Sigma F = \Sigma F_{a,t} + \Sigma F_{r,t} + \Sigma F_{d,t}$$

where:

ΣF : total force acting on the moving vehicle,

$F_{a,t}$: inertial (acceleration) force at timestep t ,

$F_{r,t}$: rolling resistance force at timestep t ,

$F_{d,t}$: aerodynamical force at timestep t .

The summation of forces in the equation is necessary because each force component is computed at every simulation timestep. The following sections provide a detailed breakdown of these force components.

The inertial force ($F_{a,t}$) was calculated as the multiplication of the vehicle mass and its instantaneous acceleration:

$$F_{a,t} = M \times a_t$$

where:

M : vehicle mass [kg],

a_t : current acceleration of the vehicle at timestep t [m/s^2].

The rolling resistance force ($F_{r,t}$) was calculated as the multiplication of the vehicle mass, the gravitational acceleration, and the rolling resistance coefficient:

$$F_{r,t} = M \times g \times f_r$$

where:

M : vehicle mass [kg],

g : gravitational acceleration [$9.81 m/s^2$],

f_r : rolling resistance coefficient [0.01].

The aerodynamical drag force ($F_{d,t}$) was calculated based on the vehicle frontal area, speed, air density, and the drag coefficient:

$$F_{d,t} = 1/2 \rho \times c_d \times A \times v_t^2$$

where:

ρ : air density [$1.275 kg/m^3$],

c_d : air drag coefficient [0.3],

A : vehicle frontal area [$2.3 m^2$],

v_t : vehicle speed at timestep t [m/s].

The forces acting on the vehicle (acceleration, rolling resistance, aerodynamic drag) described above, along with the vehicle instantaneous speed (v_t), can be used to calculate its instantaneous power:

$$P_t = (F_{a,t} + F_{rt} + F_{d,t}) \times v_t$$

The fuel consumption was derived from the instantaneous power (P_t), assuming gasoline-powered vehicles with a heating value of 33.7 MJ/l [19] and a 30% engine efficiency. After converting from Watts to MW, the instantaneous fuel consumption (C_t) [l/s] was computed using the following formula:

$$C_t = \frac{P_t}{H \times \eta \times 1000\,000}$$

where:

C_t : fuel consumption at timestep t [l/s],

P_t : instantaneous power at timestep t [W],

H : heating value of gasoline fuel [33.7 MJ/l],

η : the engine efficiency [0.3].

The calculation of emission values was based on the European Environment Agency’s (EEA) 2023 emission guidelines [20]. The Tier 1 methodology was used, which allows for the direct determination of emissions based on fuel consumption using emission factors. Since the guidelines provided emission values per kilogram of fuel, we first converted the consumption data from liters to kilograms using a 0.74 conversion factor for gasoline (1 liter $\approx$ 0.74 kg), as recommended by the Stockholm Convention Toolkit [21]. The numerical values for the emission factors are provided in TABLE I.

TABLE I Emission factors for gasoline-powered vehicles, based on 1 kg fuel consumption (EEA, 2023)

Fue type	CO [g/kg]	CO ₂ [kg/kg]	NO _x [g/kg]	Sulphur [g/kg]	PM [g/kg]
Gasoline	49	3.169	4.48	0.005	0.02

3. SCENARIO DEVELOPMENT

Simulation scenarios were built using the Vissim Scenario Manager module. Each scenario involved 300 vehicles/hour and 200 pedestrians/hour traffic. A total of six scenarios were simulated, each with a one-hour runtime and a random seed parameter of 3. The first three scenarios modeled human drivers, while the latter three modeled autonomous vehicles. Mixed traffic was not considered in this study.

Human drivers were classified into three categories based on their braking behaviour: cautious, normal, and aggressive. The desired deceleration function in Vissim was adjusted to reflect these driving styles: -2 m/s² for cautious drivers, -2.75 m/s² for normal drivers, and -3.5 m/s² for aggressive drivers. Autonomous vehicles, on the other hand, exhibited a constant desired deceleration of -2 m/s², indicating a gradual approach to the crossing.

Additionally, the maximum deceleration values were set at -5.5 m/s^2 for cautious, -7 m/s^2 for normal, and -8 m/s^2 for aggressive drivers. Autonomous vehicles, however, had a fixed maximum deceleration of -7 m/s^2 . Typically, the desired deceleration was applied, with the maximum deceleration activated only in emergency braking situations.

Another key difference was the varying detection ranges defined for the autonomous vehicles. In the three scenarios involving autonomous vehicles (scenarios 4–6), we analysed one vehicle class per scenario. The pedestrian detection range varied by vehicle class, with 60, 70, or 80 meters. Another significant distinction was that while human drivers' speeds followed a linear distribution between 48–58 km/h around the 50 km/h limit (Vissim's default setting), autonomous vehicles maintained a constant speed of 50 km/h. The main differences between the scenarios (deceleration values, speeds, and detection ranges) are summarized in TABLE II.

TABLE II Summary of scenario preferences

Scenarios	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Vehicle type	Human			Autonomous		
Speed	48-58 km/h (Vissim's default setting)			50 km/h		
Desired deceleration	-2 m/s^2	$-2,75 \text{ m/s}^2$	$-3,5 \text{ m/s}^2$	-2 m/s^2		
Maximum deceleration (at 50 km/h)	$-5,5 \text{ m/s}^2$	-7 m/s^2	-8 m/s^2	-7 m/s^2		
Detection ranges	-	-	-	80 m	70 m	60 m

4. RESULTS

During the 1-hour simulation, the vehicles collectively covered 115.3 km. Fuel consumption and emission data for the various scenarios are presented in TABLE III. Fuel consumption is expressed as the amount per 100 km. It is important to note that the emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOX), particulate matter (PM), and sulphur (S) are reported in grams, while carbon dioxide (CO₂) emissions are provided in kilograms.

TABLE III Simulation run results

Scenario	Vehicle type	Total distance [km]	Fuel consumption [l/100 km]	CO [g]	CO ₂ [kg]	NOX [g]	PM [g]	Sulphur [g]
1	Human - cautious	115.3240	7.3397	306.9245	19.8498	28.0616	0.1252	0.0313
2	Human - normal	115.3475	7.4616	312.0822	20.1834	28.5332	0.1273	0.0319
3	Human - aggressive	115.3336	7.5479	315.6530	20.4143	28.8597	0.1288	0.0322
4	Autonomous - 80 m	115.2753	6.5706	274.6446	17.7622	25.1103	0.1121	0.0280
5	Autonomous - 70 m	115.2641	6.6642	278.5310	18.0135	25.4656	0.1136	0.0284
6	Autonomous - 60 m	115.2577	6.7666	282.796	18.2894	25.8557	0.1154	0.0289

We compared the results of each scenario with the baseline values of the normal human driving style (Scenario 2). The percentage deviations from this baseline are presented in Figure 4.

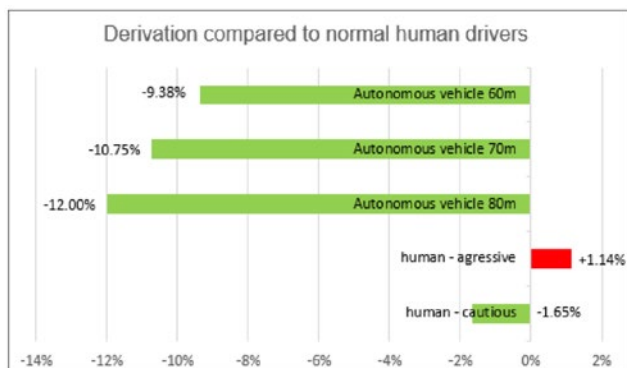


Figure 4. Fuel consumption variation with different driving styles

The simulation results clearly demonstrate that autonomous vehicles performed significantly better than human-driven vehicles in terms of both fuel consumption and emissions. Compared to the normal human driving style, autonomous vehicles showed a fuel consumption reduction of 0.7–0.89 liters per 100 km, corresponding to a decrease of 9.38–12%. Emission reductions were closely linked to fuel consumption, as emission values were calculated based on fuel use and appropriate emission factors.

However, to a lesser extent, variations in fuel consumption were also observed between different human driving (braking) styles, as shown in the first three rows. The difference between cautious and aggressive braking styles resulted in an approximately 0.2-liter difference in fuel consumption.

5. CONCLUSIONS

Modeling the behaviour of autonomous vehicles near pedestrian crossings presents a complex challenge with significant potential for improving traffic safety and energy efficiency. This research introduced an innovative simulation model that dynamically adjusts the speed of autonomous vehicles based on pedestrian positions and movement. The main objective was to model potential reductions in fuel consumption and emissions. To achieve this, an external calculation algorithm was developed using vehicle dynamics parameters. Key elements of the model development included:

- An adaptive control algorithm analysing pedestrian and vehicle parameters in real-time,
- Simulation of varying detection distances for autonomous vehicles (60–80 meters),
- An external algorithm calculating fuel consumption and emissions.

Simulation results clearly show that autonomous vehicles significantly outperformed human-driven vehicles in both fuel consumption and emissions. Fuel consumption was reduced by 0.7–0.89 liters per 100 km, corresponding to a 9.38–12% decrease. Emission reductions were directly linked to fuel consumption reductions.

The study demonstrates that autonomous vehicles can adjust their speed based on pedestrian movement, enhancing safety and efficiency. These findings offer valuable insights for improving traffic systems, reducing fuel consumption, and boosting safety. Future research should focus on the impact of autonomous vehicles on traffic flow and refining models to reduce computational time, paving the way for more efficient and sustainable transportation solutions.

ACKNOWLEDGMENT

PROJECT NO. KDP-IKT-2023-900-11-00000957/00000003 HAS BEEN IMPLEMENTED WITH THE SUPPORT PROVIDED BY THE MINISTRY OF CULTURE AND INNOVATION OF HUNGARY FROM THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION FUND, FINANCED UNDER THE KDP-2023 FUNDING SCHEME.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

REFERENCES

- [1] Fagnant Daniel J. – Kara Kockelman (2015): Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 77, 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.003>
- [2] Wang Jun -Li Zhang – Yanjun Huang – Jian Zhao (2020): Safety of autonomous vehicles, *Journal of advanced transportation* 2020:1, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/8867757>
- [3] Szűcs Herman – Jozefin Hézer (2022): Road safety analysis of autonomous vehicles: An overview, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 50:4, 426-434. <https://doi.org/10.3311/PPtr.19605>
- [4] Talebpour Alireza – Hani S. Mahmassani (2016): Influence of connected and autonomous vehicles on traffic flow stability and throughput, *Transportation research part C: emerging technologies* 71, 143-163. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.07.007>
- [5] Hoogendoorn Raymond – Bart van Arem – Serge Hoogendoorn (2014): Automated driving, traffic flow efficiency, and human factors: Literature review, *Transportation Research Record* 2422:1, 113-120. <https://doi.org/10.3141/2422-13>
- [6] Gonder, Jeffrey – Matthew Earleywine – Witt Sparks (2012): Analyzing vehicle fuel saving opportunities through intelligent driver feedback, *SAE International Journal of Passenger Cars-Electronic and Electrical Systems*, 5, 450-461. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0494>
- [7] Mersky Avi Chaim – Constantine Samaras (2016): Fuel economy testing of autonomous vehicles, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 65, 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.001>
- [8] Chen Yuche – Jeffrey Gonder – Stanley Young – Eric Wood (2019): Quantifying autonomous vehicles national fuel consumption impacts: A data-rich approach, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 122, 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.012>
- [9] Igliński Hubert – Maciej Babiak (2017): Analysis of the potential of autonomous vehicles in reducing the emissions of greenhouse gases in road transport. *Procedia engineering* 192, 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.061>
- [10] Barth Matthew – Kanok Boriboonsomsin – Guoyuan Wu (2014): Vehicle automation and its potential impacts on energy and emissions, *Road vehicle automation*, 103-112. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_10
- [11] Brown Austin – Jeffrey Gonder – Brittany Repac (2014): An analysis of possible energy impacts of automated vehicles, *Road vehicle automation*, 137-153. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05990-7_22
- [12] Rossi Federico – Zhang Rick – Hindy Yousef – Pavone Marco (2018) Routing

autonomous vehicles in congested transportation networks: Structural properties and coordination algorithms, *Autonomous Robots* 42, 1427-1442. <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9750-5>

- [13] Guo Liya – Shan Huang – Adel W. Sadek (2013): An evaluation of environmental benefits of time-dependent green routing in the greater Buffalo–Niagara region, *Journal of Intelligent Transportation Systems* 17:1, 18–30. <https://doi.org/10.1080/15472450.2012.704336>
- [14] Malikopoulos Andreas A. – Christos G. Cassandras – and Yue J. Zhang (2018): A decentralized energy-optimal control framework for connected automated vehicles at signal-free intersections, *Automatica* 93, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2018.03.056>
- [15] Chen Zhilu – Xinming Huang (2019): Pedestrian detection for autonomous vehicle using multi-spectral cameras, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 4:2, 211–219. <https://doi.org/10.1109/TIV.2019.2904389>
- [16] Dimitrievski Martin – Peter Veelaert – Wilfried Philips (2019): Behavioral pedestrian tracking using a camera and lidar sensors on a moving vehicle, *Sensors* 19:2, 391. <https://doi.org/10.3390/s19020391>
- [17] Giuliano Romeo – Vegni M. Anna – Loscrí Valeria – Innocenti Eros – Vizzari Alessandro – Mazzenga Franco (2023): MuSLi: a multi sensor LiDAR detection for C-V2X networks. *Computer Networks* 221, 109514. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109514>
- [18] Sewalkar Parag – Jochen Seitz (2019): Vehicle-to-pedestrian communication for vulnerable road users: Survey, design considerations, and challenges, *Sensors* 19:2, 358. <https://doi.org/10.3390/s19020358>
- [19] ACEA: Differences between Diesel and Petrol, European Automobile Manufacturers Association (ACEA), <http://www.acea.be/news/article/differencesbetween-diesel-and-petrol>. (2024. 09.10.)
- [20] European Environment Agency: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: technical guidance to prepare national emission inventories, ISBN 978-92-9480-598-0. <https://doi.org/10.2800/795737>
- [21] Stockholm Convention on persistent organic pollutants, Annex 29 Conversion Factors for Liquid and Gaseous Fuels. https://toolkit.pops.int/Publish/Annexes/A_29_Annex29.html (2024.09.10)

OBNOVA NADZORNIH CENTARA DARS SLOVENIJA

RENOVATION OF TRAFFIC CONTROL CENTERS DARS SLOVENIA

Robert Kompan, uni. dipl. ing. tehnol. prometa (DARS d. d.)

Mitja Stojnšek, dipl. ing. tehnologije prometa (DARS d. d.)

Služba za upravljanje prometom i sigurnošću u prometu, Odjel za promet

SAŽETAK

Družba DARS d. d. u Sloveniji zadužena je za održavanje, upravljanje, cestarinu i izgradnju autocesta i brzih cesta. U sklopu upravljanja autocestama i brzim cestama za potrebe nadzora i upravljanja prometom, odvija se kroz pet kontrolnih centara. U 2025. godini krećemo u intenzivnu fazu obnove tri kontrolna centra. Dva kontrolna centra, Ljubljana i Vransko, temeljito se preuređuju, a jedan, Slovenske Konjice, seli se na novu lokaciju u Maribor, gdje će biti osigurani znatno bolji uslovi za rad kontrolnog centra. U članku ćemo predstaviti proces obnove i predstaviti kako će centri izgledati nakon obnove.

ABSTRACT

DARS d. d. company in Slovenia is responsible for the maintenance, management, tolling and construction of highways and expressways. As part of the management of highways and expressways, there are five control centers for the purposes of traffic control and traffic management. In 2025, we will begin the intensive phase of the renovation of the three control centers. Two control centers, Ljubljana and Vransko, will be renovated and one, Slovenske Konjice, is moving to a new location in Maribor, where significantly better conditions for the control center will be provided. In the article, we will present the renovation process and present what the centers will look like after renovation.

1 UVOD

Društvo DARS d. d. zaduženo je za održavanje, upravljanje, naplatu cestarine i izgradnju autocesta i brzih cesta u Republici Sloveniji. U sklopu upravljanja autocestama i brzim cestama, petoro regionalnih nadzornih centara (RNC) nadzire i vodi promet. U 2025. godini prelazimo u intenzivnu fazu obnove triju centara za upravljanje prometom. Regionalni nadzorni centri Ljubljana i Vransko bit će temeljito obnovljeni, a Slovenske Konjice sele se na novu lokaciju u Mariboru gdje su osigurani znatno bolji uvjeti za rad nadzornika prometa.

2 RAZLOZI ZA OBNOVU I PRESELJENJE

2.1 RNC LJUBLJANA

RNC Ljubljana najveći je DARS-ov nadzorni centar koji u području upravljanja prometom graniči s trima nadzornim centrima, Kozinom, Hrušicom i Vranskim. Upravlja najprometnijim područjem, odnosno tzv. ljubljanskim prstenom te trasom od Vodica do graničnog prijelaza Obrežje (R Hrvatska). Zgrada se nalazi u Dragomlju kod Ljubljane. RNC Ljubljana izgrađen je 2009. godine u svrhu nadzora i vođenja prometa na slovenskim autocestama i brzim cestama. Uz nadzorni centar, objekt RNC Ljubljana obuhvaća Prometno-informacijski centar za državne ceste, Glavni nadzorni centar DARS (GNC), Centar za upravljanje prometom na državnim cestama i Nacionalni centar za upravljanje prometom. U prostorijama objekta otvoren je i glavni računalni centar za potrebe DARS-a. Zbog potrebe za novim prostorijama, zastarjele opreme i dotrajalosti određenih segmenata objekta, nužna je cjelovita obnova objekta.

Glavnom nadzornom centru DARS treba pružiti bolju tehnološku i prostornu podršku te povezivost i suradnju s Nacionalnim centrom za upravljanje prometom, a RNC Ljubljana osigurati dodatnu poboljšanu opremu i sustave, urediti prostorije za dodatna radna mjesta te omogućiti redundanciju nadzornom centru Hrušica. Implementacija novih tehnologija na cesti, proširenje postojećih sustava te obnova sustava i tehnološke infrastrukture zahtijevaju odgovarajuću prilagodbu i samog centra za upravljanje prometom. Pojedina tehnološka rješenja zastarjela su (videozidovi, strojna oprema, programska oprema sustava) i njihov opseg više nije dostatan. Aktivna oprema iz centra za operativno upravljanje bit će premještena iz centra u tehničku prostoriju za opremu. Uvodi se sustav centraliziranog upravljanja sustavima IP-KVM, suvremena multimedijaska oprema i središnji nadzorni sustavi za operatere i korisnike.

2.2 RNC VRANSKO

Regionalni nadzorni centar Vransko uspostavljen je 2002. godine i djelomično obnovljen 2005. otvaranjem u to vrijeme nove dionice autoceste na Trojanama koja je u cijelosti povezala os autoceste A1 Koper – Ljubljana – Maribor. Nadzornom centru nužno je osigurati potrebne uvjete za uspješan nadzor i vođenja prometa, stoga je osobito važna tehnološka nadogradnja opreme. U centru će se u potpunosti zamijeniti oprema videozidova i sva aktivna oprema centra koja će biti preseljena u tehnološku prostoriju, a svi sustavi bit će povezani u središnjem sustavu upravljanja tehnologijom IP-KVM, čime je omogućeno i redundantno upravljanje iz drugih lokacija u slučaju izvanrednih situacija. Obnovom će se općenito poboljšati sigurnost sustava i rad nadzornog centra, uz brže informiranje korisnika i interventnih službi.



Slika 1. RNC Ljubljana 2024.



Slika 2. RNC Vransko 2024.

2.3 RNC SLOVENSKE KONJICE

RNC Sl. Konjice jedan je od najopterećenijih nadzornih centara u smislu komunikacije jer pokriva područje čak triju baza AC-a i jedne ispostave. Ujedno upravlja prometom

na dionicama koje graniče s čak trima susjednim državama, Hrvatskom, Mađarskom i Austrijom. To je još jedan razlog zbog kojeg će biti preseljen iz Slovenskih Konjica u Maribor.

Regionalni nadzorni centar Slovenske Konjice uspostavljen je 1996. godine, a posljednji je put obnovljen 2008. Zbog povećanja opsega poslova te novoizgrađenih dionica i objekata prostorije centra više ne zadovoljavaju potrebe kvalitetne provedbe nadzora i vođenja prometa.

Iz navedenih razloga, u suradnji sa službama koje su u DARS-u zadužene za navedenu infrastrukturu i službama koje se koriste navedenom infrastrukturom, započela je izrada projektne dokumentacije u kojoj su definirane sve potrebne mjere za otvaranje regionalnoga nadzornog centra u sklopu prostorija ACB Maribor. Izrađena projektna dokumentacija objedinjuje sve potrebne aktivnosti za uspješnu uspostavu RNC-a Maribor, pri čemu je posebno naglašeno uvođenje nove tehnološke infrastrukture i stvaranje odgovarajućih uvjeta rada za nadzornike prometa osiguranjem suvremene interne opreme.



Slika 3. RNC Slovenske Konjice 2024.

3 OPIS OBNOVE RNC-A LJUBLJANA I RNC-A VRANSKO TE PRESELJENJA RNC-A SLOVENSKE KONJICE NA LOKACIJU MARIBOR

3.1 RNC LJUBLJANA

Cilj obnove je otvaranje visokotehnološkoga nadzornog centra za operativno upravljanje prometom, uz poseban naglasak na suvremene tehnologije, ergonomski opremljena radna mjesta nadzornika prometa i moderne videozidove. Središnji je dio obnove uređenje prikladne interne opreme centra za operativno vođenje prometa. Površina će biti ravna

zbog specifičnosti prostora i predviđenih vidnih kutova na pojedinačnim radnim mjestima. Videozid bi trebao biti sastavljen od tankih projekcijskih elemenata radi boljeg iskorištavanja prostora. Ključna stavka videozida bit će osiguranje dovoljnih kapaciteta za prikaz trenutanih sadržaja, mogućnost uključenja sadržaja iz prethodno predviđenih projekata nadogradnje i mogućnost modularne nadogradnje u slučaju dodatnih potreba.

Uvođenjem sustava za centralizirano upravljanje, nadzorni centri dobivaju snažno sredstvo u obliku integracije sustava na razini strojne opreme koje je sasvim neovisno o programskoj i strojnoj opremi pojedinačnih priključenih sustava i rješenja. Navedeno podrazumijeva naknadno priključenje bilo kojeg sustava na postojeći sustav bez ikakvih tehničkih intervencija. Sustav se sastoji od središnje periferne konzole (programabilna tipkovnica i miš), zasebne komunikacijske mreže, odašiljača i prijemnika IP prometa.

Također će se obnoviti sve ostale prostorije koje su dio i podrška radu nadzornog centra. U građevinskom smislu, zbog nedostatka prostora, uredit će se dodatni uredi i zamijeniti električne strojne instalacije radi maksimizacije energetske učinkovitosti objekta.

Osim zadovoljavanja ergonomskih uvjeta, prostorije će biti prikladno klimatizirane, akustične i osvijetljene u skladu s najnovijim smjernicama i standardima. Na krovu objekta bit će postavljena moderna solarna elektrana od 35 kW.



Slika 4. RNC Ljubljana 2025./2026.



Slika 5. RNC Ljubljana 2025./2026.



Slika 6. Soba za sestanke RNC Ljubljana 2025./2026.



Slika 7. Objekt RNC Ljubljana nakon obnove 2025./2026.

3.2 RNC VRANSKO

Predmet projektne obrade nadogradnja je i osuvremenjivanje postojećeg centra za vođenje prometa koji nadzire, upravlja i vodi promet na autocesti Žalec – Domžale.

Zadržavši svoj izvorni izgled, postojeći nadzorni centar otvoren je 2005. i već je premašio svoj očekivani životni vijek, zbog čega ga treba adekvatno nadograditi te osuvremeniti perifernu opremu na terenu te strojnu i perifernu opremu u nadzornom centru iz kojeg se nadzire i vodi promet na toj dionici AC-a.

Zadaća je ovog projekta analizirati trenutačno stanje radi pripreme odgovarajućih rješenja za osuvremenjivanje postojećeg stanja svih uređaja uključenih u postojeći centar na svim razinama.

Nadzorni centar mora biti obnovljen bez ometanja funkcija vođenja i nadzora prometa, što ne smiju osjetiti zaposlenici, a još manje korisnici autocesta i brzih cesta. Stoga će se nadzor, upravljanje i vođenje prometa obavljati s privremene rezervne lokacije tijekom obnove i osuvremenjivanja nadzornog centra. Sama obnova mora biti provedena učinkovito i brzo.

Nakon obnove djelatnici nadzornog centra moći će učinkovitije raditi u povoljnijim uvjetima.



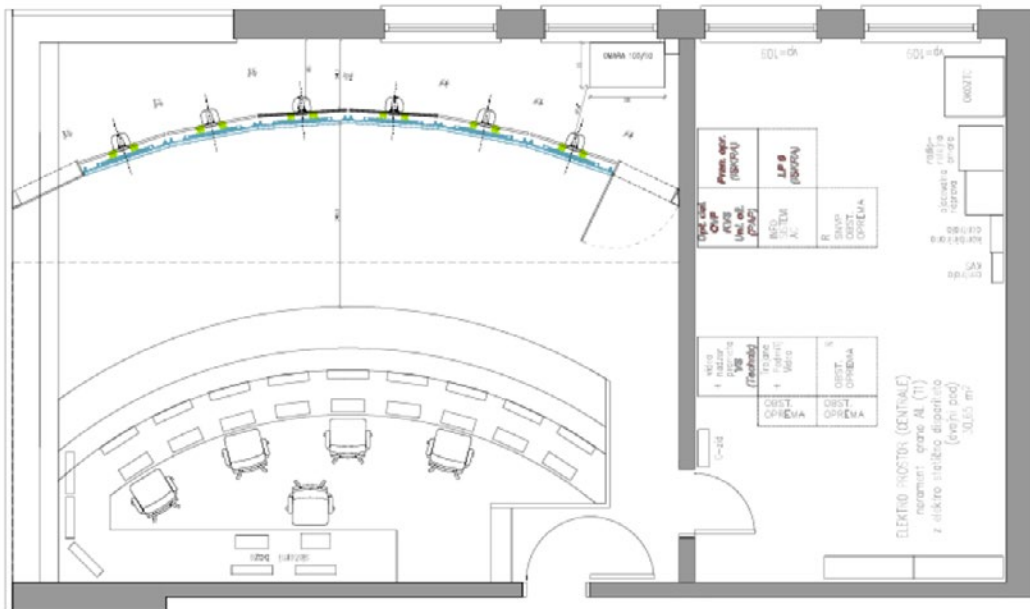
Slika 8. RNC Vransko 2025.



Slika 9. RNC Vransko 2025.

3.3 RNC SLOVENSKE KONJICE – RNC MARIBOR

Odgovarajuća informacijsko-komunikacijska infrastruktura prije svega mora zajamčiti visoku razinu pouzdanosti, cjelovitosti i sigurnosti kao temelj kvalitetnog rada nadzornih centara. Sljedom navedenog, kao jedan od glavnih ciljeva samog projektiranja postavljena je uspostava računalnog centra sa svim pripadajućim potpornim prostorijama, koji će biti izgrađen u skladu sa svim prikladnim europskim i lokalnim standardima, uzimajući u obzir smjernice i dobre prakse na navedenom segmentu. Regionalni nadzorni centar Maribor bit će opremljen strateški utemeljenom informacijsko-komunikacijsko infrastrukturom koja će i u budućnosti omogućiti neometanu provedbu poslovnih procesa, odgovarajuće tehnološke nadogradnje postojeće opreme, uvođenje automatiziranih i nadziranih radnih procesa te širenje informacijske podrške poslovanju.



Slika 10. RNC Vransko 2025.

Pritom valja posebno naglasiti da tehnološki modernim organizacijama ovisnima o informacijama, među koje nesumnjivo ubrajamo i naše društvo, prijete razne opasnosti koje mogu posljedično ugroziti rad uređaja i sustava informacijsko-komunikacijske tehnologije. Ovdje se ponajviše radi o izloženosti kvarovima ključne infrastrukture, obustavama opskrbe kao posljedice oštećenja ili nedostataka opskrbe potpore, utjecaja prirodnih nesreća i katastrofa te sve češćih prijetnji, kao što su računalni kriminal, špijunaža, sabotaza, krađa, vandalizam itd. Zbog navedenih razloga središnji će nadzorni sustav nadzirati cjelokupni rad centra i sve potporne infrastrukture.

Pri samoj uspostavi centra i cijele pripadajuće potporne infrastrukture uzimala se u obzir srednjoročna vizija mogućih dodatnih potreba i planirani budući projekti izgradnje novih dionica, a samim time i potrebe za osmišljavanjem tehnoloških rješenja za upravljanje njima. S obzirom na prostorne kapacitete objekta, postavili smo infrastrukturu na način koji nam u budućnosti omogućava dodatno proširenje samog centra u slučaju potrebe.

Pri planiranju preseljenja posebnu smo pažnju posvetili faznom izvođenju radova koje je ključno za kvalitetnu i uspješnu provedbu cijelog projekta. To se ponajviše odnosi na problematiku neometanog rada na trenutačnoj lokaciji u Slovenskim Konjicama, što podrazumijeva pružanje usluga preseljenja koje ni u jednom trenutku neće omesti nadzor i vođenje prometa u nadziranom dijelu sustava autocesta. Slijedom navedenog, preseljenje se namjerava provesti tako da se najprije uspostavi sva potrebna infrastruktura na lokaciji centra u Mariboru, a zatim i sve ostale funkcionalnosti centra u Mariboru, usporedno s radom centra u Slovenskim Konjicama, i naposljetku započne sa samim vođenjem na novoj lokaciji. Navedenim pristupom znatno se smanjuje vjerojatnost nepredviđenih i neželjenih prekida, što je glavni cilj preseljenja u smislu upravljanja prometom.

Predviđena interna oprema usklađena je sa smjernicama za uređenje prostorija nadzornih centara društva DARS i opremljena je suvremenim uređajima za optimalno obavljanje djelatnosti nadzora prometa. Same radne konzole također su usklađene sa smjernicama i praksama koje se primjenjuju u modernim nadzornim centrima u drugim državama EU.



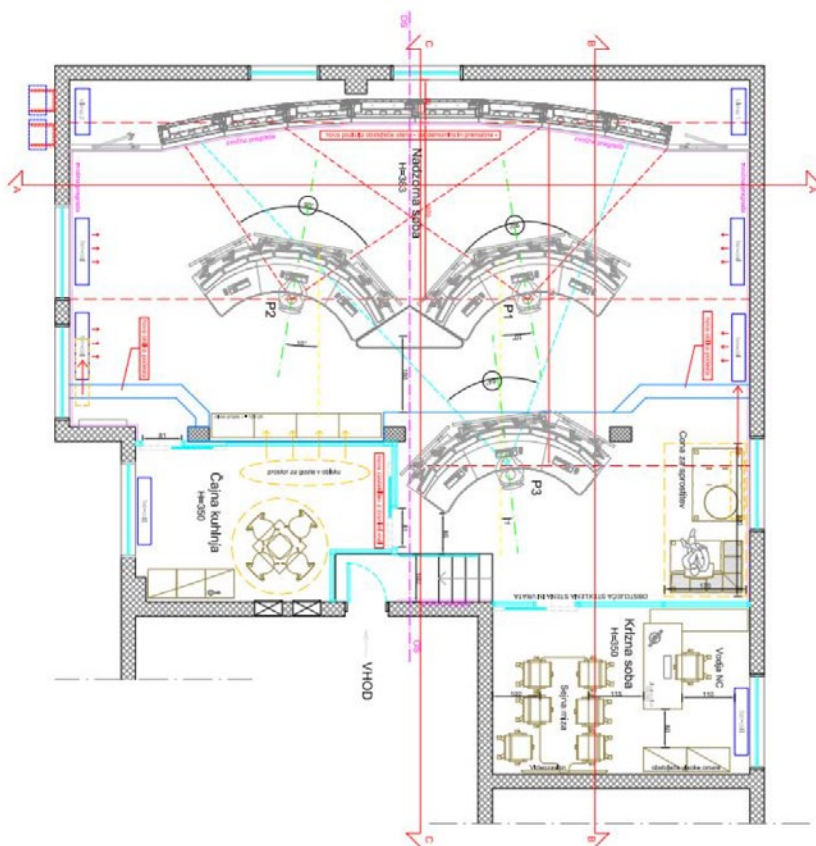
Slika 11. RNC Maribor 2025./2026.



Slika 12. RNC Maribor 2025./2026.



Slika 13. RNC Ljubljana 2025./2026



Slika 14. RNC Maribor 2025./2026.

4 ZAKLJUČAK

Opisani projekti obnove nadzornih centara već su započeli i bit će dovršeni do sredine 2026. godine. Najobuhvatnije se obnavlja RNC Ljubljana, zbog čega će se ondje najdulje izvoditi radovi koji uključuju mnogo građevinskih intervencija, proširenja i nadogradnju prostorija. Projekti su u cijelosti ili djelomično sufinancirani sredstvima EU-a, stoga propisan vremenski slijed provedbe samog projekta mora biti usklađen s relevantnim propisima. Nakon obnove, pri kojoj je poseban naglasak stavljen na ergonomiju mjesta rada, centralizirano upravljanje prometom i sve ostale povoljne radne uvjete, rad će biti usklađeniji, što od nas zahtijevaju prometni uvjeti.

Iako društvo DARS d. d. ulaže ogromna financijska sredstva u nadzorne centre, investicije će se zasigurno isplatiti jer tehnološke nadogradnje i obnove složenih sustava te bolji radni uvjeti za zaposlenike NC jamče višu razinu sigurnosti u prometu i protočnosti prometa na AC/HC u Republici Sloveniji.

5 IZVORI

- <https://dars.si>

PREVENTIVNE AKTIVNOSTI SAVJETA ZA SIGURNOST PROMETA PRIMORSKO-GORANSKE ŽUPANIJE

Prof.dr.sc.**Hrvoje Baričević**, Savjet za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije

Mail: baricevichrvoje@gmail.com

SAŽETAK

Savjet za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije osnovan je 1998. g. s ciljem promicanja i usklađivanja prometno-preventivnih aktivnosti. Iz navedenih razloga članovi ovog tijela imenuju se iz znanstveno-stručnih struktura u područjima relevantnim za sigurnost prometa iz državnih, županijskih i lokalnih tijela, te policije, pravosuđa, upravitelja cesta, školstva, zdravstva, autoklubova, stručnih organizacija i dr. Preventivne aktivnosti Savjeta brojne su i raznolike, te su često fokusirane na ranjive sudionike u prometu. U radu će biti elaborirane mnoge preventivne akcije u proteklih 26 godina. Poseban naglasak bit će na realizaciji preventivno-edukative akcije "Motociklom u život" koja se održava na Automotodromu Grobnik, a sastoji se od teoretskog i praktičnog dijela, odnosno vožnje po grobničkoj pisti. U radu će se prezentirati i druge aktivnosti Savjeta kao što su: Školske prometne jedinice, Prvi koraci u prometu, Program prometne kulture za najmlađe, Sekunda koja znači život i druge. U konačnici, aktualnost, kompleksnost te statistički pokazatelji ukazuju na ulogu i dosege Primorsko - goranske županije u promicanju povećanja stupnja sigurnost prometa.

Ključne riječi: sigurnost prometa, regionalna uprava, preventivne aktivnosti, strategija prometne sigurnosti

SUMMARY

The Road Safety Council of the Primorje-Gorski Kotar County was founded in 1998 with the aim of promoting and harmonizing traffic prevention activities. For the stated reasons, the members of this body are appointed from scientific and professional structures in areas relevant to traffic safety from state, county and local bodies, as well as the police, judiciary, road managers, education, health, car clubs, professional organizations, etc. The preventive activities of the Council are numerous. are also diverse, and are often focused on vulnerable road users. The paper will elaborate on many preventive actions over the past 26 years. A special emphasis will be placed on the implementation of the preventive and educational campaign "Motorcycle for Life", which is held at the Grobnik Automotodrom, and consists of a theoretical and practical part, i.e. driving on the Grobnik runway. The paper will also present other activities of the Council, such as: School traffic units, First steps in traffic, Program of traffic culture for the youngest, Second that means life and others. In the end, the actuality, complexity and statistical indicators indicate the role and achievements of the Primorsko-goranska County

Keywords: traffic safety, regional administration, preventive activities, traffic safety strategy

1. UVOD

Stupanj cestovno-prometne sigurnosti određeni je pokazatelj prometne kulture, ali i odraz složenosti svekolikih odnosa u društvu. Stoga je prevencija cestovno-prometnih nesreća vrlo kompleksna djelatnost u kojoj je bitno znanstveno-stručno sagledati uzroke te pronaći načine povećanja sigurnosti i načina utjecaja na sudionike u prometu da bi se postigli prevencijski ciljevi. Europska unija postavlja okvire i definira ambiciozne ciljeve, te stimulira napore na svim razinama za postizanje viših sigurnosnih standarda u cestovnom prometu. Predložene smjernice ove politike daju opći sadržaj u okviru kojeg će se na različitim odgovarajućim razinama; europskoj, nacionalnim, regionalnim ili lokalnim, moći poduzimati primjerene akcije i inicijative. Pojedinačne mjere moraju biti predmetom pravilne procjene utjecaja u skladu s utvrđenim EU načelima bolje regulacije cestovnog prometa. Komisija ima ulogu davanja prijedloga po pitanjima za koja je kompetentna, a u svim drugim pitanjima podržava inicijative poduzete na raznim razinama kako bi inicirala razmjenu informacija, te utvrdile metode i instrumentarij za postizanje boljih rezultata.

2. PRIMJENA DOBRE PRAKSE EU U REGIONALNOJ I LOKALNOJ UPRAVI REPUBLIKE HRVATSKE

Iako je u području cestovne sigurnosti u Europskoj uniji ostvaren opći napredak, Europska komisija kontinuirano naglašava potrebu dodatnog pojačanja napora za njezino poboljšanje. Ključne točke ove problematike navedene su u Priopćenju Komisije evropskog parlamenta, vijeća i Europskom društvenom i gospodarskom odboru te Udboru a regije, odnosno prema zoni europske sigurnosti na cestama, smjernice za cestovnu sigurnost 2021.-2030. Cilj smjera europske politike cestovne sigurnosti (2021-2030) je osigurati opći okvir i izazovne ciljeve za usmjeravanje nacionalnih i lokalnih strategija, u skladu s načelom supsidijarnosti. Unutar općeg okvira, Komisija ističe potrebu za stvaranjem okvira za suradnju na temelju razmjene najboljih praksi diljem EU-a. Također potiče donošenje strategije za ozljede i prvu pomoć za rješavanje potrebe smanjivanja broja ozljeda na cesti. Komisija uspostavlja 3 glavna načela:

- Postizanje najviših standarda cestovne sigurnosti u cijeloj Europi – poticanjem građana EU-a da preuzmu glavnu odgovornost za vlastitu sigurnost i sigurnost ostalih na cestama EU-a, s naglaskom na poboljšanje sigurnosti ugroženijih sudionika u prometu,
- supsidijarnost, razmjernost i zajednička odgovornost – putem koncepta zajedničke odgovornosti, obveze i praktičnog djelovanja na svim razinama od zemalja EU-a i njihovih tijela do regionalnih i lokalnih tijela
- integrirani pristup cestovnoj sigurnosti – kroz suradnju s drugim područjima politike EU-a, kao što su energija, okoliš, obrazovanje, inovacije, tehnologije te pravosuđe.

U svom priopćenju "Europa 2020. – Strategija pametnog, održivog i uključivog rasta", Komisija je naglasila važnost europske društvene kohezije, zelenije ekonomije, obrazovanja i inventivnosti. Ovi ciljevi trebaju se odražavati u različitim aspektima europske prometne politike čiji cilj treba biti osiguranje održive mobilnosti za sve građane, dekarbonizacija prometa i potpuno korištenje tehnoloških dostignuća. Sigurnost cestovnog prometa ima važnu ulogu u Bijeloj knjizi prometne politike za razdoblje 2020.-2030. budući da je smanjenje broja smrtno stradalih na cestama ključni element unaprijeđenja cjelokupne učinkovitosti prometnog sustava i zadovoljenja potreba, te očekivanja društva u cjelini. Direktna i otvorena suradnja između zemalja EU-a i Komisije olakšava provedbu politike

cestovne sigurnosti EU-a. Usporedno s tim, zemlje EU-a također imaju nacionalne planove sigurnosti na cestama koji uključuju specifične nacionalne ciljeve, a koji su individualizirani prema njihovoj konkretnoj situaciji. Komisija će nastaviti s poboljšanjem postojećih alata za prikupljanje i analizu podataka, kao što je CARE, baza podataka EU-a o prometnim nesrećama uspostavljena u skladu s Odlukom Vijeća 93/704/EZ te Europski opservatorij za cestovnu sigurnost (ERSO), a koje javnosti čini dostupnima putem internetskih podataka o cestovnoj sigurnosti i znanju na europskoj razini. Aktualna zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj ne propisuje obvezu donošenja jedne takve nacionalne strategije prometne sigurnosti, niti planova prometne sigurnosti na nižim razinama. Jedinicama lokalne i regionalne samouprave (JLS) prepuštena je inicijativa koja počiva na determiniranom senzibilitetu prema problematici cestovne sigurnosti, raspoloživoj infrastrukturi, ljudskim resursima, te financijskoj potpori od strane osnivača takvih stručnih tijela/organa.



Slika 1: Sjednica Županijskog savjeta (arhiva Pgž)

3. AKTIVNOSTI ŽUPANIJSKOG SAVJETA PGŽ

Poglavarstvo Primorsko-goranske županije donijelo je 10. srpnja 1998. godine Odluku o osnivanju Županijskog savjeta za sigurnost prometa na cestama ove Županije (u daljnjem tekstu Savjet). Županijski savjet je tijelo Župana. Osnovan je s ciljem promicanja i usklađivanja prometno-preventivnih aktivnosti sigurnosti u prometu i razvijanju prometne kulture sudionika u prometu na cestama Primorsko-goranske županije. Stupanj cestovno-prometne sigurnosti određeni je pokazatelj prometne kulture, ali i odraz složenosti svekolikih odnosa u društvu. Prevencija cestovno-prometnih nesreća iznimno je složena i zahtjevana zadaća. Naime, bitno je poznavanje svih čimbenika i atributa kao uzročnika, načina povećanja sigurnosti i metodologija izučavanja utjecaja na sudionike u prometu da bi se postigli preventivski ciljevi. Dakle, razvidno je da sigurnost na cestama nije samo prometni već i globalni društveni problem. Zato treba kontinuirano i sustavno djelovati širokim spektrom tehnoloških rješenja, tehničkih standarda i drugim instrumentima u izrazito multidisciplinarnom okruženju. Iz navedenih razloga članovi Savjeta imenuju se iz znanstveno-stručnih struktura u područjima značajnim provedbi aktivnih i pasivnih mjera

sigurnosti prometa na cestama. Također, iz redova državnih, županijskih i lokalnih tijela, te institucija kao što su: obrazovne ustanove (visoko i srednje školstvo u području prometa), policija, pravosuđe, prometna inspekcija, upravitelji cesta na državnoj, županijskoj i lokalnoj razini, ustanove zdravstvene skrbi i medicinskog zbrinjavanja, autoklubovi, stručne organizacije i drugi. Za ostvarenje takve zamisli bilo je potrebno ispuniti mnoge vrlo zahtjevne uvjete tj. materijalne i ljudske resurse uz pretpostavku da će se vremenom i javno mijenje senzibilizirati za takav oblik prevencije u ublažavaju pošasti koja svakodnevno svjedoči ljudskim žrtvama i materijalnim gubicima u prometu na cestama. Nota bene, prvi i najveći čimbenik koji je bio presudan u ostvarivanju takve zamisli bila je spremnost i volja osnivača. Providnost i originalnost takve zamisli potvrđena je u narednim godinama kada se po istom obrascu počinju osnivati slični savjeti i odbori u drugim županijama. Neskromno je, ali i objektivno ustvrditi da je ovaj Savjet ostao ne samo prvo takvo savjetodavno tijelo jedinice lokalne i regionalne samouprave u Hrvatskoj, nego je i postavio temeljnu paradigmu u formiranju i oblikovanju sustavnog pristupa za rješavanje jedne tako složene problematike koja opterećuje cijeli svijet. Dakle, djelovanjem Savjeta postupno se tijekom 25 godina prožimao javni diskurs i interaktivan odnos sa sudionicima u prometu na području Županije. Savjet stoga posebnu pozornost posvećuje dostupnosti njegovog rada javnosti na način da se na sjednice pozivaju predstavnici tiska i elektronskih medija. Dakle, odluku o imenovanju članova županijskog Savjeta temeljem svih navedenih činjenica i postulata donosi Župan. Savjet se imenuje na razdoblje od 4 godine. U cilju boljeg sagledavanja kompleksne problematike koja direktno ili indirektno utječe na povećanu sigurnost svih subjekata u cestovnom prometu, članovi Savjeta sukladno svojim profesionalnim zaduženjima i osobnim afinitetima izrađuju izvješća iz područja kojim se profesionalno bave. Izvješća se na sjednicama zajednički analiziraju, te donose odgovarajuće odluke. Na temelju provedenih analiza i uočenih slabosti svake godine donosi se Plan i program rada koji je formalni temelj za djelovanje sukladno zajednički utvrđenim prioritetima. U provedbi planiranih aktivnosti zadužuju se članovi Savjeta ili se iste provode uz pomoć Upravnog odjela za pomorsko dobro, promet i veze, angažiranjem meritornih stručnih tvrtki, ustanova i institucija. U svom radu članovi Savjeta posebnu pozornost posvećuju dostupnosti svoga rada javnosti na način da se sjednice u pravilu održavaju uz nazočnost predstavnika tiska i elektronskih medija. Stručnost i kompetencije članova imaju za posljedicu uspješan rad i dugoročno prepoznatljiv utjecaj u procesu podizanja stupnja sigurnosti svih čimbenika u cestovnom prometu, jer su u mogućnosti relevantno sagledati probleme i ponuditi učinkovita rješenja. Doprinos povećanju sigurnosti u prometu i posljedično smanjenju broja stradalih na cestama provode kroz brojne i raznovrsne aktivnosti.

Županijskom Savjetu dodijeljeno je više priznanja za njegov rad. Između ostalih je 2009. uručeno Godišnje priznanje za poseban doprinos na promicanju prometne kulture i povećanju sigurnosti u prometu od strane Hrvatskog autokluba u Zagrebu, a Policijska uprava primorsko-goranske je 2011. tajniku Savjeta g. Zdravku Lisac dodijelila Zahvalnicu za iznimni doprinos u suradnji s Policijskom upravom.

Županijski savjet svoje aktivnosti provodi na temelju stručno-znanstvenih analiza glavnih uzročnika prometnih nesreća, te sukladno donesenim zaključcima predlaže razne preventivne i represivne mjere prema pojedinim ciljanim skupinama uz uvažavanje društvenih i kulturnih dimenzija (tehničkih, pravnih, političkih, ekonomskih, psiholoških, moralnih,...). Bit rješavanja konkretnih zadataka u kontekstu je cjelovitih, provedivih i dugoročnih ostvarenja. U proteklih 27 godina Županijski savjet izradio je brojne elaborate, projekte i studije kojima su prepoznati problemi i realizirane stručne analize i rješenja. U cilju promjene ponašanja sudionika u prometu osmišljeni su brojni edukativno-preventivni programi prilagođeni

pojedininim akterima, kao i raznovrsne promidžbene aktivnosti

3.1. AKCIJA PRVI KORACI UZ PROMETU

Akciju „Prvi koraci u prometu“ na području Primorsko-goranske županije u organizaciji Županijskog savjeta realiziraju djelatnici Doma mladih i pripadnici prometne policije MUP-a Primorsko-goranske županije. Svrha ove preventivno-edukativne manifestacije je obuka i upoznavanje djece prvih razreda svih osnovnih škola na području Županije s temeljnim prometnim pravilima i propisima uz usvajanje pozitivnog ponašanja na cestama. Edukacija se provodi kroz jednodnevnu nastavu koja se sastoji iz teorijskog i praktičnog dijela. Učenici prvih razreda upoznaju se s ponašanjem u prometu u konkretnim prometnim situacijama. Inicijativa je rezultat provedenih anketa među učiteljima tehničke kulture u osnovnim školama koji su zaduženi za vođenje izvannastavnih aktivnosti prometne kulture. Došlo se do spoznaje da učenici relativno dobro poznaju prometne propise i pravila, ali se problemi javljaju kada ta usvojena znanja treba primijeniti. Akcija je izazvala veliko zanimanje i naišla na izrazito odobravanje posebno od strane roditelja i nastavnika, a osobito joj se raduju učenici udaljenijih škola na području Županije koji rijetko imaju priliku za ovakve načine stjecanja znanja i vještina u ranoj životnoj dobi.



Slika 2: Praktični dio obuke u Domu mladih (arhiva Pgž)

3.2. PROGRAM OSNIVANJA ŠKOLSKIH PROMETNIH JEDINICA

Županijski savjet je pokrenuo Program osnivanja i razvoja školskih prometnih jedinica u osnovnim školama, sa svrhom pouke u zaštiti i samozaštiti te razvijanju trajnih navika pravilnog ponašanja mladih u sve zahtjevnijim prometnim situacijama. Provodi se od strane stručnih djelatnika Doma mladih i pripadnika prometne policije MUP-a Primorsko-goranske županije tj. Upravnog odjela za pomorsko dobro, promet i veze Primorsko-goranske županije, mentora i medija.



Slika 3: Smotra nove generacije školskih prometnih jedinica (arhiva Pgž)

Tečaj se realizira u trajanju od 25 školskih sati. U realizaciji Programa sudjeluju imenovani učitelji-mentori bez čijeg rada i pomoći se ova akcija ne bi mogla provesti. Županijski savjet ovu aktivnost podržava trajno jer se obuka mora provoditi kontinuirano iz jednostavnog razloga što obučeni pripadnik ŠPJ, zbog smjene školske generacije, može biti aktivan najviše tri školske godine. Nastavni fond je proveden u trajanju od 25 školskih sati, te su imenovani učitelji mentori bez čijeg rada i pomoći ova akcija se ne bi mogla provesti. Županijski savjet ovu akciju nastoji podržavati trajno (iako za to nisu uvijek ispunjeni svi uvjeti), jer iako su u proteklom razdoblju obuhvaćene sve osnovne škole u Primorsko-goranskoj županiji za koje se utvrdilo da se nalaze u blizini opasnih prometnica, obuka se mora provoditi i dalje iz jednostavnog razloga što obučeni pripadnik ŠPJ, zbog smjene školske generacije, može biti aktivan najviše tri školske godine. Stoga je potrebno obuku periodično provoditi svake godine u onim osnovnim školama gdje se ukaže potreba za popunu postojećeg broja pripadnika ŠPJ.

3.3.AKCIJA “MOTOCIKLOM U ŽIVOT”

Jedan od osnovnih ciljeva i zadataka Županijskog savjeta za sigurnost prometa na cestama Primorsko – goranske županije je poduzimanje preventivne aktivnosti u informiranju i promidžbi o prometnim rizicima i opasnostima, te aktivnostima u području edukacije i osposobljavanja djece i mladih vozača i drugih sudionika u prometu. U 2004. godini na području Primorsko-goranske županije od ukupno 48 poginulih osoba čak 15 bilo u svojstvu vozača i suvozača na motociklima. Zbog tih zastrašujućih statističkih podataka Županijski savjet je u svom Planu i Programu rada za 2005. godinu odlučio posebnu pažnju posvetiti edukaciji vozača motocikla, koja prvi put je osmišljena i realizirana na Automotodromu “Grobnik”. Zbog velikog interesa i dobrih rezultata odlučeno je da se s akcijom nastavi svake godine u proljeće. Ideja je kroz zanimljiv i dinamičan program upoznati ovaj segment motociklističke populacije s važnim temama u cilju povećanja sigurnost u prometu. Akcija se

održava kroz dvije cjeline, a teoretski i praktični dio provode kompetentni predavači. U prvom dijelu kroz teoretsko predavanje kandidati se upoznaju sa značajem nabavke odgovarajuće opreme za motocikl u domeni aktivne i pasivne zaštite i vozači. Predstavnici policije ukazuju na najčešće i najopasnije prekršaje, a HAK-ovi ovlašteni ispitivači kroz prigodne testove polaznike podsjećaju što su sve zaboravili od prometnih propisa i sigurnosnih pravila, ali i poučavaju o aktualnostima i promjenama u zakonskim propisima.



Slika 4: Okupljanje motociklista na poligonu Automotodroma Grobnik (arhiva Pgž)

3.4. PROGRAM PROMETNE PREVENTIVE ZA NAJMLAĐE

Primorsko-goranska županija kroz djelovanje Savjeta podržava aktivnosti u sklopu "Programa prometne kulture za najmlađe", u kojima sudjeluju učenici od drugog do četvrtog razreda osnovnih škola. Program prometne kulture za najmlađe edukacijski je koncept za djecu nižeg osnovnoškolskog uzrasta koji obuhvaća teme prometa, prve pomoći, zaštite od požara i minsko-eksplozivnih sredstava. Program provode tvrtka Mini Auti Hrvatska (Jumicar) i MUP-RH u suradnji s partnerima HCK, HVZ, te HCR.

3.5. IZGRADNJA PROMETNIH POLIGONA U DJEČJIM VRTIĆIMA

Projekt prometnih poligona u dječjim vrtićima dio je provedbe aktivnosti "Poticanje i praćenje sigurnosti prometa na cestama" koje provodi Županijski savjet za sigurnost prometa na cestama PGŽ. Cilj projekta je omogućiti djeci usvajanje znanja i osposobljavanje za što sigurnije sudjelovanje u prometu. Prometnim elaboratom uređenja poligona za edukaciju djece u prometu daju se prijedlozi rješenja prometnih poligona na kojima je moguće



simulirati razne situacije u realnom okruženju cestovnog prometa.

Slika 5: Akcija Programa prometne kulture za najmlađe u OŠ Kostrena (arhiva Pgž)

Cilj je u kontroliranim uvjetima naučiti i prilagoditi ponašanje najmlađe populacije kako bi se sigurno snalazili u svojstvu pješaka, biciklista, vozača romobila i drugih cestovnih prometala



(angažirano Veleučilište u Rijeci).

Slika 6: Prometni poligoni za najmlađe na odabranim lokacijama (arhiva Pgž)

4. STRATEŠKO PLANIRANJE PREVENTIVE CESTOVNE SIGURNOSTI U LOKALNOJ ZAJEDNICI

U mnogim zemljama članicama EU postoji zakonska obaveza donošenja Strategije prometne sigurnosti na razini države, koji predstavlja bazni dokumenti za rad na prometnoj sigurnosti. Zakonska obaveza je, da se na temelju tog dokumenta donose Županijski planovi prometne sigurnosti, a gradovi i općine imaju obavezu donijeti svoje Lokalne planove prometne

sigurnosti. Današnja zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj ne propisuje obvezu donošenja jedne takve nacionalne strategije prometne sigurnosti, niti planova prometne sigurnosti na nižim razinama. Ipak, Županijski savjet za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije u svom Planu i Programu rada za 2018. godinu odlučio je pokrenuti projekt izrade Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa u Primorsko-goranskoj županiji. Imenovan je Radni tim za izradu Projektnog zadatka koji treba definirati sadržaj Strategije. Izrada predmetnog strateškog plana temelji se, upravo na iskustvima zemalja EU u kojima se takvi strateški dokumenti vezani za sigurnost prometa donose na razini države, regije i/ili gradova. Izradom predmetnog Strateškog plana Primorsko-goranska županija bila bi prva županija u Hrvatskoj koja bi na institucionalnoj razini izradila jedan takav strateški dokument na kojemu bi se temeljio daljnje sustavno poboljšavanje prometnoj sigurnosti. Kroz predloženi Strateški plan definirale bi se smjernice i ključna područja na kojima treba djelovati, te bi se formirao akcijski plan i mjere provedbe prema specifičnim segmentima učinkovitog djelovanja. Na temelju izrađenog i prihvaćenog Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa dala bi se (budući još uvijek ne postoji zakonska obveza) da pristupe preporuka jedinicama lokalne samouprave izradi Lokalnih planova prometne sigurnosti na svom području, u kojima bi se te mjere primjenjivale na konkretnim lokacijama, te pratio njihov učinak. Pretpostavlja se da bi već sama preporuka od strane Županije imala pozitivne reperkusije i da bi JLS započele sa izradom Lokalnih planova sigurnosti prometa. Osnova za izradu Lokalnog plana prometne sigurnosti bio bi Županijski plan prometne sigurnosti, dokumentacija i analitika statistike prometne sigurnosti koju vodi MUP, baze podataka o prometnoj infrastrukturi koju vode HC, ŽUC, JLS, zatim prijedlozi od strane zainteresiranih dionika; škole, vrtići, poduzeća i ostale institucije i organizacije, te pojedinci. U Lokalnom planu definirali bi se konkretni ciljevi, zadaci i rokovi provedbe pojedinih mjera na konkretnim lokacijama na području JLS koje bi se primijenile po stupnjevima prioriteta, te dala ekonomska evaluacija predloženih mjera. Kroz kontakt s medijima osiguralo bi se medijsko praćenje projekta i njegove realizacije. Predviđa se formiranje odbora ili savjeta na razini JLS, Plan se usvaja za period od 4 godine, nakon čega slijedi evaluacija cjelovitog projekta. Prije usvajanja, Plan bi morao dobiti prethodnu suglasnost od strane MUP-a, kao što je današnjom zakonskom regulativom i predviđeno. Radna skupina izradila je Projektni zadatak Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa u Primorsko-goranskoj županiji, koji sadrži:

- UVOD
 - Metodologija izrade
 - Temeljna načela i ciljevi
 - Usvajanje principa "VIZIJE 0"
- TREND OVI SIGURNOSTI PROMETA U EU I RH
 - Europska razina
 - Razina sigurnosti prometa u RH
- ORGANIZACIJA I UPRAVLJANJE SUSTAVOM SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA U RH
 - Zakonska regulativa
 - Ovlasti i odgovornosti u sustavu sigurnosti cestovnog prometa
 - Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa (NPSCP)
 - Županijski savjeti/odbori za sigurnost cestovnog prometa

• ANALIZA STANJA SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA U PGŽ

- Analiza periodičnog stanja sigurnosti cestovnog prometa
- Ocjena stanja trendova prometne sigurnosti
- Potencijalna opasna mjesta na cestovnoj mreži Primorsko-goranske županije
- Vozači dostavnih i teretnih vozila
- Ceste u naseljima i izvan naselja (ograničenje brzina)
- Željezničko-cestovni prijelazi

• ANALIZA TZV. RANJIVIH SUDIONIKA U PROMETU

- Pješaci
- Biciklisti
- Djeca
- Starije osobe
- Mladi (novi) vozači
- Vozači skutera, mopeda, četverokotača (Quad-ovi) i dr..
- Motociklisti
- Vozači pod utjecajem alkohola i droga
- Recidivisti

• AKCIJSKI PLAN I MJERE PROVEDBE

- Tehničko – inženjerske mjere
 - o Ulaganja u infrastruktura
 - o Planiranje i projektiranje cestovne mreže
 - o Ograničenja brzine
 - o Održavanje cestovne infrastrukture
 - o Baze podataka
 - Prometna infrastruktura (na razini upravitelja cesta)
 - Prometne nesreće
 - Statistika pogibelji
 - o Sanacija opasnih mjesta
 - o Revizija cestovne sigurnosti Direktiva 2008/96/EC
- Edukacijske mjere
 - o edukacija na svim razinama: vrtići, osnovne škole, srednje škole, mladi vozači, starije osobe
 - o promidžbe aktivnosti
 - o nagrade i stimulacije za poticanje sigurnog ponašanja u prometu

- Preventivno-represivne mjere

- o Unaprjeđenje svijesti o štetnosti upravljanja vozilom pod utjecajem alkohola
- o Unaprjeđenje sustava zaštite najugroženijih kategorija sudionika u prometu
- o Mjere usmjerene prema vozačima skutera, mopeda i motocikala
- o Mjere usmjerene prema vozačima dostavnih i teretnih vozila
- o Mjere prema recidivistima u prometu
- o Kamere za nadzor brzine
- o Represivne mjere / sankcije

- Posebno rizično ponašanje: prekoračenje brzine, vožnje pod utjecajem alkohola i opijata, nevezanje sigurnosnog pojasa, upotrebe mobilnog telefona i dr.

- Prometno redarstvo na razini JLS - promet u mirovanju.

- Koordinacija rada na provođenju Lokalnih planova prometne sigurnosti za JLS

- Evaluacija rezultata istraživanja i provedenih mjera

Županijski savjet Primorsko-goranske županije prihvatio je projektni zadatak za izradu Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa, te je zadužen kandidirati se na natječaj za sufinanciranje projekta iz sredstava koje osigurava Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske.

5. ZAKLJUČAK

Današnja zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj ne propisuje obvezu donošenja nacionalne strategije prometne sigurnosti, niti planova prometne sigurnosti na nižim razinama. Jedinicama lokalne i regionalne samouprave prepuštena je inicijativa koja počiva na determiniranom senzibilitetu prema problematici cestovne sigurnosti, raspoloživoj infrastrukturi, ljudskim resursima, te financijskoj potpori od strane osnivača takvih stručnih tijela. U tom kontekstu, osnovan je Županijski savjet za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije s ciljem promicanja i usklađivanja prometno-preventivnih aktivnosti sigurnosti u prometu. Aktualni, šesti sastav Županijskog savjeta ima 18 članova, a organizacijski ga čini predsjednik, dva dopredsjednika, tajnik i 14 članova. U cilju boljeg sagledavanja kompleksne problematike koja direktno ili indirektno utječe na povećanu sigurnost svih subjekata u cestovnom prometu, članovi Županijskog savjeta sukladno svojim profesionalnim zaduženjima i osobnim afinitetima izrađuju izvješća koja se na sjednicama zajednički analiziraju, te donose odgovarajuće odluke. Županijski savjet za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije u svom Planu i Programu rada za 2018. godinu odlučio je pokrenuti projekt izrade Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa u Primorsko-goranskoj županiji. Imenovan je Radni tim za izradu Projektnog zadatka koji treba definirati sadržaj Strategije. Izrada predmetnog strateškog plana temelji se, upravo na iskustvima zemalja EU u kojima se takvi strateški dokumenti vezani za sigurnost prometa donose na razini države, regije i/ili gradova. Izradom predmetnog Strateškog plana Primorsko-goranska županija bila bi prva županija u Hrvatskoj koja bi na institucionalnoj razini izradila jedan takav strateški dokument na kojemu bi se temeljio daljnje sustavno poboljšavanje prometnoj sigurnosti. Ključne točke ove problematike

navedene su u Priopćenju Komisije evropskog parlamenta, vijeća i Europskom društvenom i gospodarskom odboru te Udboru regije, odnosno Prema zoni europske sigurnosti na cestama: smjernice za cestovnu sigurnost 2021.-2030. Cilj smjera europske politike cestovne sigurnosti (2021-2030) je osigurati opći okvir i izazovne ciljeve za usmjeravanje nacionalnih i lokalnih strategija, u skladu s načelom supsidijarnosti. Unutar općeg okvira, Komisija ističe potrebu za stvaranjem okvira za suradnju na temelju razmjene najboljih praksi diljem EU-a. Također potiče donošenje strategije za ozljede i prvu pomoć za rješavanje potrebe smanjivanja broja ozljeda na cesti. Komisija uspostavlja 3 glavna načela: postizanje najviših standarda cestovne sigurnosti u cijeloj Europi – poticanjem građana EU-a da preuzmu glavnu odgovornost za vlastitu sigurnost i sigurnost ostalih na cestama s naglaskom na poboljšanje sigurnosti ugroženijih sudionika u prometu; supsidijarnost, razmjernost i zajednička odgovornost – putem koncepta zajedničke odgovornosti, obveze i praktičnog djelovanja na svim razinama od zemalja EU-a i njihovih tijela do regionalnih i lokalnih tijela; integrirani pristup cestovnoj sigurnosti kroz suradnju s drugim područjima politike EU-a, kao što su energija, okoliš, obrazovanje, inovacije, tehnologije te pravosuđe. Kroz predloženi Strateški plan definirale bi se smjernice i ključna područja na kojima treba djelovati, te bi se odredile dinamika i mjere provedbe prema specifičnim segmentima učinkovitog djelovanja. Na temelju izrađenog i prihvaćenog Strateškog plana sigurnosti cestovnog prometa dala bi se preporuka jedinicama lokalne samouprave (budući još uvijek ne postoji zakonska obveza) pristupanju izradi Lokalnih planova prometne sigurnosti na svom području, u kojima bi se te mjere primjenjivale na konkretnim lokacijama, te pratio njihov učinak. Pretpostavlja se da bi već sama preporuka od strane Županije imala pozitivne reperkusije i da bi JLS započele sa izradom Lokalnih planova sigurnosti prometa. Osnova za izradu Lokalnog plana prometne sigurnosti bio bi Županijski plan prometne sigurnosti, dokumentacija i analitika statistike prometne sigurnosti koju vodi MUP, baze podataka o prometnoj infrastrukturi koju vode HC, ŽUC, JLS, zatim prijedlozi od strane zainteresiranih dionika; škole, vrtići, poduzeća i ostale institucije i organizacije, te pojedinci. Podržava se i rad Ureda pravobranitelja za djecu kao neovisnog tijela koje temeljem Zakona o pravobranitelju za djecu prati, štiti i promiče prava i interese djece do 18 godina. Institucionalno djelovanje njegovog područnog ureda u Rijeci i Savjeta za sigurnost prometa trebao bi biti temelj buduće misije u senzibilizaciji i zaštiti ove ranjive skupine sudionika u prometu na cestama. Primorsko goranske županije. U konačnici, u Lokalnom planu definirali bi se konkretni ciljevi, zadaci i rokovi provedbe pojedinih mjera na konkretnim lokacijama na području JLS koje bi se primijenile po stupnjevima prioriteta, te dali puni doprinos ostvarenju preventivnih aktivnost prometne sigurnosti.

LITERATURA:

- [1] Baričević, H., Vilke, S.: Logistika i sigurnost kopnenog prometa (sveučilišni udžbenik), Pomorski fakultet, Rijeka, 2014.
- [2] Baričević, H., Lisac, Z., Perić. M.: Promidžbene aktivnosti Savjeta za sigurnost prometa Primorsko-goranske županije, TOM signal, d.o.o, Rovinj, 2018.
- [3] Baričević, H., Bužanić, V., Perić. M.: Sigurnosne revizije kao iskorak u poboljšanju cestovne infrastrukture, KoREMA, Automatizacija u prometu, Osijek/Budimpešta, 2018.
- [4]. Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija – Ususret europskom području sigurnosti na cestama: smjer politike cestovne sigurnosti za razdoblje 2011.-2020. (COM/2010, 389 završna verzija od 20. srpnja 2010.)

[5] Odluka o osnivanju Županijskog savjeta za sigurnost prometa na cestama Primorsko-goranske županije, "Službene novine" broj 15/98,

[6] Retrospektiva (monografija) povodom dvadesetpet godina djelovanja Savjeta za sigurnost prometa Primorsko-goranske županije, izdavač PGŽ, Rijeka, prosinac 2023.

Internet izvori:

www.pgz.hr

www.ak-rijeka.hr

www.zmigavac.hr

www.mup.hr/ Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa

www.hak.hr

SIGURNIJI PJEŠAČKI PRIJELAZI – TEHNIČKA REGULATIVA (ENG. SAFE PEDESTRIAN CROSSINGS – TECHNICAL DOCUMENTS)

Autori:

Bojan Fišer, mag.ing.el.

SAŽETAK

Povećanje sigurnosti na pješačkim prijelazima zadano je kao tema koja se nametnula u Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. godine.

Ovim radom želimo pokazati da izvođenje novih tehnoloških rješenja gdje prilikom gradnje pješačkih prijelaza može smanjiti broj nesreća u kojima učestvuju pješaci. Sa danas dostupnim novim tehnologijama možemo pravilno izvesti osvijetljavanje i signalizaciju pješačkih prijelaza i izgraditi sigurne pješačke prijelaze koje će vozači uočiti iz daljine, vidjeti pješaka i na vrijeme smanjiti brzinu i po potrebi zaustaviti vozilo na vrijeme.

Gradnja jednog modernog pješačkog prijelaza kojeg nazivamo „Pametan i siguran pješački prijelaz“ zahtjeva od projektanta analize i određene radnje koje su unapređene u odnosu na dosadašnji postupak. Prije svega je potrebno usuglasiti ishodenje tehničke dokumentacije za početak građenja na razini Hrvatske. Trenutno ishodenje dokumentacije i dozvola je različito ovisno o regijama te traje 2 mjeseca do 1 godine. Potrebno je analizirati mogućnost izgradnje temelja i stupova za rasvjetu i signalizaciju, odabrati rasvjetu koja udovoljava svjetlo tehničke norme RH, upotrijebiti pravilnu signalizaciju nove tehnologije, te na posljetku odabrati i primijeniti pametno upravljanje koje služi na dobrobit pješaka.

Krajnji cilj je donošenje pravilnika za pješačke prijelaze koji definira sve potrebne zahtjeve i uvijete za izgradnju sigurnog pješačkog prijelaza.

Ključne riječi: Sigurnost, pješački prijelaz, rasvijetljenost, signalizacija, sigurni pješaci, tehnička regulativa.

UVOD

Povećanje sigurnosti na cestama je neiscrpna tema za sve stručnjake i osobe koje se bave poslovima u svezi sa cestama i prometom. Na posljetku svi smo mi ljudi učesnici u prometu i zajednički cilj svima je povećanje sigurnosti na cestama.

Kroz ovaj rad koji objavljujemo želimo ispitati mišljenje struke o načinu ishođenja tehničke dokumentacije.

Pješački prijelazi su mjesta koja čine pješaka najranjivijim jer okomito prelazi pravac ceste koja se uglavnom prihvaća kao mjesto namijenjeno za prometovanje sa vozilima.

Svatko od nas, pa i najoprezniji vozač, imamo priču kada na zdrave oči i potpuno prisebni nismo vidjeli pješaka na vrijeme i morali smo naglo kočiti. Sretni su oni koji su izbjegli nesreću.

Pješački prijelaz možemo izgraditi da bude siguran za pješaka i za osobu koja sjedi u vozilu na način da primijenimo nova razmišljanja o mjestu prelaska pješaka preko ceste te upotrebom novih rješenja osvijetljenja i signalizacije.

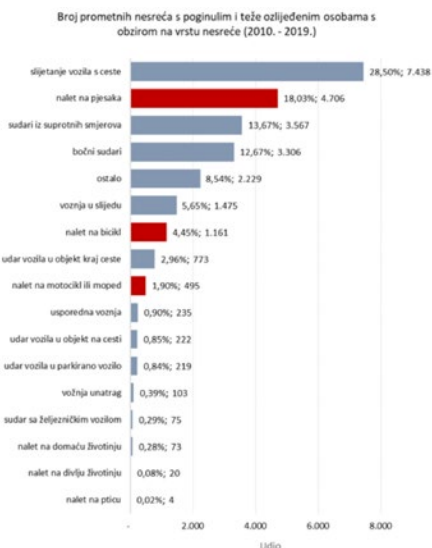
Na posljetku vrijeme je da se donese pravilnik o pješačkim prijelazima u skladu sa tehnologijom i vremenom u kojem živimo.

Razradu donosimo u poglavljima:

- Sigurnost na cesti
- Prometne norme
- Građevinske norme
- Svjetlo tehničke norme
- Zaključak

SIGURNOST NA CESTI

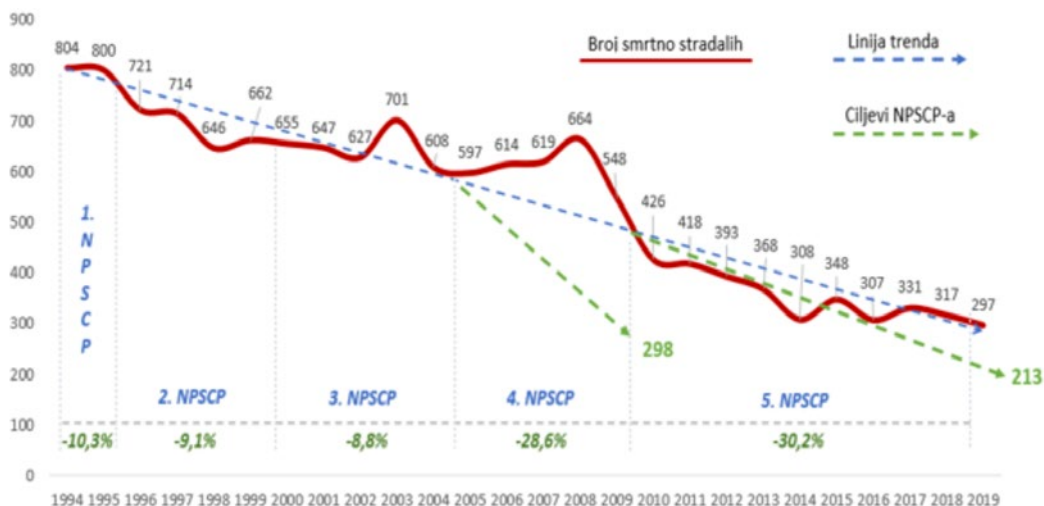
U Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. do 2030. godine, opisane su jako dobro (nažalost) nesreće koje su se dogodile na cestama Republike Hrvatske u razdoblju od 2010 do 2019 godine. Druga skupina po ukupnom broju nesreća je „Nalet na pješaka“, ukupno 4706 slučajeva, učestvuje sa 18.03% od ukupnog broja nesreća, tablica 1. (literatura 1.).



Tablica 1.

Također iz literature 1. možemo iščitati sve prometne nesreće koje su se dogodile u zadnjih 10 godina. Evidentno je da je broj poginulih u opadanju; vidi tablicu 2. (iz literature 1.)

Na web stranici MUP RH (literatura 2.) iz Statističkog pregleda za 2019 godinu iščitavamo da su se dogodile 31.367 prometne nesreće. U tim je nesrećama poginulo 297 osoba. Evidentirano je 1270 naleta vozila na pješaka pri čemu je poginuo 61 pješak, i to čini udio od 20,53%.



Tablica 2.

Ozlijeđeno je 1336 osoba. U svezi ozljeda 1/3 je teških ozljeda sa trajnim invaliditetom. Na samim pješačkim prijelazima dogodilo se je 218 nesreća od toga 6 osoba je smrtno stradalo, vidi tablicu 3. (literatura 2.). Iz navedenog vidimo da su pješaci i u 2019 godini na drugom mjestu po ukupnoj smrtnosti u prometnim nesrećama.

Nastradali sudionici u prometnim nesrećama

Nastradali sudionici	Poginuli		+ - %	Ozlijeđeni		+ - %
	2018.	2019.		2018.	2019.	
Vozači	193	186	-3,6	8.697	8.099	-6,9
Putnici	59	50	-15,3	3.870	3.439	-11,1
Pješaci	65	61	-6,2	1.422	1.336	-6,0
Ostali					11	
UKUPNO	317	297	-6,3	13.989	12.885	-7,9

Tablica 3.

U prometnim nesrećama sa stradalim pješacima uglavnom su bili krivi vozači, a nešto manje sami pješaci. Uzroci događanja tako visokog broja nesreća svakako treba tražiti i u slaboj vidljivosti, lošoj osvjetljenosti i signalizaciji pješačkih prijelaza.

Dakle zaključimo da ulaganjem u izgradnju modernih i sigurnih pješačkih prijelaza svakako ćemo smanjiti brojke ozlijeđenih i poginulih. Ništa nije vrijednije od života čovjeka.

PROMETNE NORME

Znakovi moraju biti sa pozadinskim osvetljenjem izvedeni prema normama HRN EN 12899 a signalna svjetla prema HRN EN 12352 te Pravilnikom o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN br. 92/19)

GRAĐEVINSKE I ELEKTROTEHNIČKE NORME



SVJETLOTEHNIČKE NORME

Trenutno stanje

U Republici Hrvatskoj je trenutno na snazi pravilnik svjetlo-tehničkih normi za rasvjetljenost pješačkih prijelaza koji je dio norme HRN EN 13201-2:2016 Cestovna rasvjeta -- 2. dio: Zahtijevana svojstva.

Rasvjetljenost pješačkih prijelaza opisana je u „Annex B (informative) Lighting of pedestrian crossings“. Dio koji opisuje rasvjetljenost glasi:

„Lokalno osvjetljenje može se organizirati tako da osigura dovoljno osvjetljenja pješaka sa strane nailaska prometa, na svim mjestima područja prijelaza ceste. Vertikalna osvjetljenost treba biti znatno veća od vodoravne osvjetljenosti koju stvara cestovna rasvjeta. Zone na oba kraja prijelaza ceste, gdje pješaci čekaju da uđu u prijelaz, treba dobiti odgovarajuće osvjetljenje. Osvjetljenje ograničeno na uski pojas oko prijelaza proizvodi dramatičan afekt pomažući u privlačenju pozornosti.

U Pravilniku o zonama rasvjetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvjetljavanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima (NN 128/2020) u članku 23, opisana je potrebna rasvjetljenost pješačkog prijelaza na sličan način.

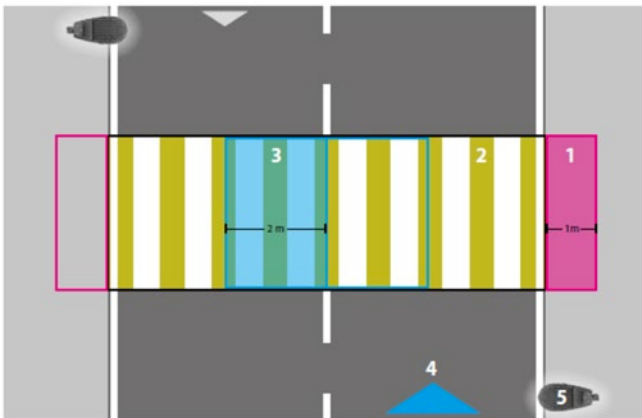
Prema preporuci HRN EN 13201-2:2016 mogu se predložiti minimalne vrijednosti vertikalne rasvjetljenosti pješaka:

Tablica 2. Prikaz horizontalnih vrijednosti klasa M2-M6 i primjena vrijednosti na vertikalno osvjetljenje

SVJETLOTEHNIČKI PARAMETRI PROMETNICE (cesta širine 7m)								
KLASA PROMETNIC E	SJAJNOST (tražene vrijednosti i za klasu prema HRN 13201)	SJAJNOST (vrijednosti iz svjetlotehničko g proračuna za klasu sukladno HRN 13201)	HORIZONTALNA RASVIJETLJENOST (vrijednosti iz svjetlotehničkog proračuna za klasu sukladno HRN 13201)			VERTIKALNA RASVIJETLJENOST U OSI PRIJELAZA (predložene vrijednosti za klasu sukladno HRN 13201)		
	L _{av} [cd/m ²]	L _{av} [cd/m ²]	E _m [lx]	E _{min} [lx]	E _{max} [lx]	E _{v,min} [lx]		
M1	2	2,07	34	14,5	59,4	-	-	-
M2	1,5	1,57	26	11	45,1	26		
M3	1	1,07	17,4	7,48	30,6	18		
M4	0,75	0,81	11,4	5,63	19,5	11		
M5	0,5	0,61	8,77	3,42	19,1	9		
M6	0,3	0,4	5,51	1,94	11	6		

Praksa zemalja u Europskoj uniji je da ovi uvjeti vrijednosti vertikalne komponente osvjetljenja nisu dovoljni. Postoji potreba da se definiraju mjerne točke, gdje mjeriti vertikalnu rasvjetljenost osobe na pješačkom prijelazu.

Primjer u Italiji je zaseban pravilnik o sigurnosti na pješačkim prijelazima UNI/TS 11726 i slični pravilnici u ostalim Europskim zemljama. Definiraju se zone pješačkog prijelaza i mjerne točke vertikalne rasvjetljenosti.



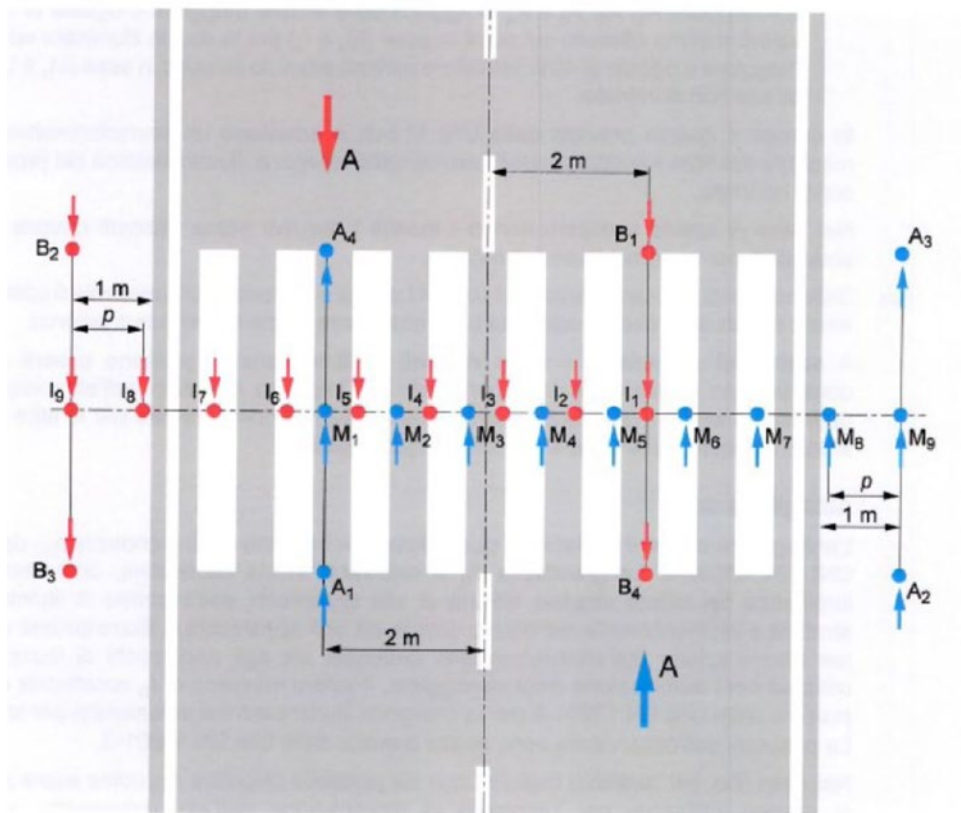
Slika XX – Definicija zona pješačkog prijelaza

Zone pješačkog prijelaza se definiraju kao:

- 1) Zona prilaza/čekanja gdje pješak prilazi prijelazu, iz te zone ima namjeru da prijeđe cestu
- 2) Zona Prijelaza, označava srednji dio pješačkog prijelaza gdje je pješak najugroženiji
- 3) Tranzicijska zona, označava dio pješačkog prijelaza gdje je pješak izložen naletima automobila iz suprotnog smjera

U tim zonama za oba prometna pravca, potrebno je osigurati dovoljno vertikalne komponente rasvjetljenosti pješaka.

Kako bi takvo planiranje i izvedba bili mogući, definirane su mjerne točke:



Slika XX Izvadak iz TS 1776, mjerne točke rasvjetljenosti pješačkog prijelaza

ZAKLJUČAK

U praksi se pokazalo ishođenje tehničke dokumentacije i suglasnosti za početak radova, u trajanju od 2 mjeseca do 1 godine. Od 2020 g. do 2024 godine izvedeno je preko 250 lokacija ua Republici Hrvatssskoj. Neke regije izdaju suglasnosti na razini prometnog elaborata, a neke regije na razini glavnog i elektrotehničkog projekta. Cilj struke je da odredi anketom, pravilan način rada te ishođenja tehničke dokumentacije.

LITERATURA:

1. NACIONALNI PLAN SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA REPUBLIKE HRVATSKE ZA RAZDOBLJE OD 2021. DO 2030. GODINE, Vlada Republike Hrvatske, nositelj MUP, dostupno na web platformi e-savjetovanje RH.
2. Bilten o sigurnosti cestovnog prometa u 2019., dostupno na: <https://mup.gov.hr/pristup-informacijama-16/statistika-228/statistika-mup-a-i-bilteni-o-sigurnosti-cestovnog-prometa/283233> (10.11.2020.)

3. Odluka o donošenju smjernica za prometnu svjetlosnu signalizaciju na cestama (NN br. 61/01),
4. Opći tehnički uvjeti za radove na cestama (IGH d.d. Zagreb, 2001.); primjenjuju se u onom dijelu u kojemu su važeći,
5. Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN br. 112/17, 34/18, 36/19, 98/19, 31/20, 74/22, 155/23),
6. Pravilnik o načinu osiguranja prometa na željezničko – cestovnim prijelazima i pješačkim
7. prijelazima preko pruge (NN br. 111/15),
8. Pravilnik o održavanju cesta (NN br. 90/14, 3/21),
9. Pravilnik o opravdanim slučajevima i postupku zatvaranja javne ceste (NN br. 119/07),
10. Tehnički propis o osiguranju pristupačnosti građevina osobama s invaliditetom i smanjene pokretljivosti (NN br. 12/22),
11. 12. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN br. 110/01 i 90/22),
12. Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN br. 92/19),
13. Pravilnik o sadržaju, namjeni i razini razrade prometnog elaborata za ceste (NN br. 140/13),
14. Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izgradnju priključaka i prilaza na javnu cestu (NN br.95/14),

IZAZOVI I UTJECAJI UVOĐENJA NAPLATE CESTARINE ZA TERETNA VOZILA: ZAKONSKI, OPERATIVNI I SIGURNOSNI ASPEKT

CHALLENGES AND IMPACTS OF INTRODUCING TOLLING FOR HEAVY VEHICLES: LEGAL, OPERATIONAL, AND SAFETY ASPECTS

izv. prof. dr. sc. **MARKO ŠEVROVIĆ**, msevrovic@fpz.unizg.hr

izv. prof. dr. sc. **MARKO ŠOŠTARIĆ**, msostaric@fpz.unizg.hr

doc. dr. sc. **MARIJAN JAKOVLJEVIĆ**, mjakovljevic@fpz.unizg.hr

DAVID GRUHONJIĆ, mag. ing. traff., dgruhonjic@fpz.unizg.hr

University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences

Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, Croatia

SAŽETAK

Teretna vozila predstavljaju značajan rizik za sigurnost prometa na državnim cestama, a pored toga i značajno utječu na ubrzano smanjenje kvalitete cestovne infrastrukture i dovode do povećanih emisija ispušnih plinova. Jedan od načina za smanjenje negativnih utjecaja ove grupe vozila na državnim cestama je uvođenje naplate cestarine za teretna vozila na ovim cestama, što često dovodi do prebacivanja teretnih vozila na autoceste, na kojima je negativni utjecaj teretnih vozila značajno manji. Ovaj rad se prvenstveno fokusira na analizu legislativnih prepreka za uvođenje naplate cestarine za teretna vozila na državnim cestama u Hrvatskoj te istraživanje postojećih sustava naplate i njihovih učinaka u europskim zemljama. U okviru rada, sagledan je trenutni zakonski okvir u Hrvatskoj i identificirane su pravne prepreke za implementaciju naplate. Kroz analizu tih prepreka, pruža se uvid u mogućnosti prilagodbe zakonodavstva praksama pojedinih država Europske unije. Također, rad sadrži i pregled nekoliko europskih sustava naplate cestarine za teretna vozila na državnim cestama, njihovu primijenjenu tehnologiju i metode implementacije. U okviru rada, analizira se i utjecaj uvođenja naplate u ovim državama na prometne tokove i sigurnost prometa. Rezultati ove analize pružaju smjernice koje su od velikog značaja za predviđanje potencijalnog utjecaja uvođenja sličnog sustava u Hrvatskoj. Cilj rada je pružanje znanstvenog okvira za istraživanje i diskusiju o mogućnostima implementacije naplate cestarine za teretna vozila na hrvatskim državnim cestama, s krajnjim ciljem povećanja razine sigurnosti prometa, smanjenja emisija ispušnih plinova i poboljšanja kvalitete cestovne infrastrukture.

Ključne riječi: teretna vozila, državne ceste, sigurnost prometa, cestarina

Heavy vehicles pose a significant risk to traffic safety on state roads and also contribute to the accelerated deterioration of road infrastructure quality and increased exhaust emissions. One approach to mitigating the negative impacts of this group of vehicles on state roads is the introduction of tolling for heavy vehicles on these roads, which often leads to the diversion of heavy vehicles to highways, where their negative impact is significantly reduced. This paper primarily focuses on analysing the legislative barriers to implementing tolling for heavy vehicles on state roads in Croatia, as well as examining

existing tolling systems and their effects in European countries. The study reviews the current legal framework in Croatia and identifies legal obstacles to the implementation of tolling. By analysing these aspects, the paper provides insights into the possibilities for aligning Croatian legislation with the practices of individual EU countries. The paper also includes an overview of several European tolling systems for heavy vehicles on state roads, detailing their applied technology and implementation methods. Furthermore, it analyses the impact of toll implementation in these countries on traffic flows and safety. The results of this analysis offer valuable guidelines for predicting the potential impact of introducing a similar system in Croatia. The goal of this paper is to provide a scientific framework for researching and discussing the feasibility of implementing tolling for heavy vehicles on Croatian state roads, with the aim of improving traffic safety, reducing exhaust emissions, and enhancing the quality of road infrastructure.

Key words: heavy goods vehicles, state roads, road safety, tolling

1. UVOD

Sigurnost cestovnog prometa jedna je od ključnih tema, a posebnu pažnju zahtijevaju izazovi povezani s teretnim vozilima. Zbog svoje veličine, mase i frekventnosti korištenja, teretna vozila imaju značajan utjecaj na prometni sustav, posebno na državnim cestama. Njihovo sudjelovanje u prometnim nesrećama često dovodi do ozbiljnih posljedica, što naglašava potrebu za boljim razumijevanjem rizika koji prate njihovo kretanje u prometu [1]. Njihovo prisustvo na državnim cestama povećava rizik nastanka prometnih nesreća. Za razliku od autocesta, državne ceste imaju specifične karakteristike koje povećavaju rizik od nesreća, uključujući veći broj raskrižja, niže tehničke standarde i česte prolaze kroz naseljena područja. Također, interakcije između teretnih vozila i ostalih sudionika u prometu, poput biciklista i pješaka, znatno doprinose složenosti prometne situacije na ovim cestama.

Da bi se unaprijedila sigurnost, ključno je identificirati dionice državnih cesta s povećanim rizikom od nesreća te razmotriti uvođenje određenih sustava koji mogu dovesti do smanjenja broja prometnih nesreća sa teretnim vozilima na ovim dionicama. Jedan od sustava koji može dovesti do povećanja sigurnosti na ovim cestama je sustav naplate cestarine za teretna vozila na državnim cestama. Ovaj sustav je isproban u velikom broju europskih zemalja i dokazan je kao efikasan, ukoliko je adekvatno projektiran. Da bi se ovakav sustav uveo, potrebno je izmijeniti legislativu i uskladiti ju sa preporukama Europske unije iz ove oblasti.

2. ZAKONSKI IZAZOVI UVOĐENJA NAPLATE CESTARINE ZA TERETNA VOZILA

Europska unija donijela je nekoliko direktiva koje su povezane sa uvođenjem sustava naplate cestarine za teretna vozila na državnim cestama. Svaka država treba uskladiti svoje zakonodavstvo sukladno ovim direktivama. Direktive EU/1999/62 i EU/2022/362 reguliraju naplatu cestarina za teška teretna vozila s ciljem smanjenja emisija ispušnih plinova, zagušenja i financiranja cestovne infrastrukture [2,3]. Naknade se temelje na emisijskim razredima vozila, pri čemu vozila s višim emisijama plaćaju više. Direktiva iz 2022. godine uvodi naknadu za zagušenje, primjenjivu na prometno opterećenim dionicama, s mogućim izuzećem za ekološki prihvatljiva vozila. Definiraju se dvije vrste naknada: korisnička naknada (paušalna) i cestarina prema prijađenom putu, pri čemu se preferira cestarina prema prijađenom putu jer preciznije odražava troškove korištenja. Od 2030. paušalne naknade za teretna vozila na glavnim mrežama bit će zabranjene. Direktive sprječavaju istovremenu naplatu različitih naknada na istoj dionici te omogućuju izuzeća za vozila s nultom emisijom i osobe s invaliditetom. Preporučuju se digitalni sustavi naplate i interoperabilnost među članicama.

Direktiva EU/2019/520 osigurava interoperabilnost sustava naplate cestarina kroz Europski elektronički sustav naplate cestarine (EENC) [4]. EENC omogućuje plaćanje putem jednog ugovora i uređaja u svim državama članicama Europske unije. Sustav smanjuje administrativne prepreke i olakšava prekogranični promet, posebno za teretna vozila, omogućujući bržu i jednostavniju naplatu cestarina. Sudionici sustava uključuju korisnike, pružatelje usluga, subjekte za naplatu i tijela za mirenje, koji zajedno osiguravaju njegovu učinkovitost.

Kada je u pitanju postojeće hrvatsko zakonodavstvo, ispod je dan pregled postojeće legislative koja se odnosi na uvođenje cestarine za teretna vozila na državnim cestama.

Zakon o cestama (NN 133/2023) uređuje pravni status javnih i nerazvrstanih cesta, razvrstavanje i upravljanje cestama, financiranje te održavanje i naplatu naknada [5]. Definirane su kategorije naplate za korištenje infrastrukture, uključujući cestarinu za autoceste i određene objekte poput mostova i tunela, godišnju naknadu koja se plaća pri registraciji vozila te korisničku naknadu za teška vozila s masom iznad 3,5 tona na pojedinim javnim cestama. Zakon također propisuje tehnologije za nove elektroničke sustave naplate cestarine, uključujući satelitsko određivanje položaja, mobilne komunikacije i mikrovalnu tehnologiju. Ove tehnologije osiguravaju precizniju i učinkovitiju naplatu.

Planirani Zakon o naplati cestarine, koji je još u fazi izrade, ima za cilj izdvojiti odredbe vezane za naplatu cestarine iz Zakona o cestama i uskladiti nacionalno zakonodavstvo s Direktivom EU/2022/362. Ovim zakonom proširila bi se pravila vezana za naplatu cestarine te bi se regulirala pitanja koja dosad nisu bila obuhvaćena. Postojeći pravilnik o cestarini (NN 114/22) definira kategorije vozila podložnih naplati cestarine i metodologiju izračuna [6]. Trenutno se naplata odnosi samo na autoceste. Naknada se sastoji od infrastrukturne pristojbe, koja ovisi o troškovima izgradnje i održavanja, te pristojbe za vanjske troškove poput buke. Vozila koja ispunjavaju najstrože ekološke standarde (EURO IV, V, VI) ostvaruju pravo na smanjenje infrastrukturne pristojbe do 13%. Pravilnik nije usklađen s Direktivom EU/2022/362 jer je donesen prije njezina stupanja na snagu, no pruža temelj za prilagodbu budućim zahtjevima.

Pravilnik o naplati godišnje naknade za uporabu javnih cesta (NN 130/2012) uređuje način naplate godišnje naknade za uporabu javnih cesta, postupak uplate, izdvajanje sredstava i evidenciju [7]. Prihod se koristi za održavanje lokalnih i županijskih cesta. Izuzeci od plaćanja uključuju osobe s invaliditetom, dok se za odjavljena vozila može zatražiti povrat dijela naknade. Pravilnik o visini godišnje naknade (NN 98/2015) određuje iznos naknade koja se plaća prilikom registracije vozila [8]. Naknada se izračunava prema osnovnoj vrijednosti i korektivnom koeficijentu koji ovisi o tehničkim karakteristikama vozila. Prihod od naknade usmjerava se županijskim upravama za ceste ili Gradu Zagrebu.

Pravilnik o tranzitnom prometu teretnih vozila (NN 51/2021) određuje ceste namijenjene tranzitnom prometu vozila mase preko 7,5 tona [9]. Tranzit se odvija na autocestama i određenim državnim cestama, što je detaljno definirano putem tablica i grafičkih prikaza u pravilniku. Cilj je osigurati optimalan prometni pravac za teška vozila uz smanjenje opterećenja lokalne cestovne mreže. Pravilnik o ograničavanju uporabe cesta (NN 20/2019) propisuje ograničenja za teška vozila mase iznad 7,5 tona na cestama koje imaju alternativne pravce s boljim tehničkim karakteristikama [10]. Ovim ograničenjem smanjuje se prometno opterećenje na cestama lošije kvalitete, što doprinosi sigurnosti i očuvanju infrastrukture.

Spomenuta Direktiva EU/2022/362 zahtijeva prilagodbu nacionalnog zakonodavstva u skladu s europskim standardima, a trenutni zakoni i pravilnici u Hrvatskoj nisu u potpunosti usklađeni. Ključna prepreka je ograničenje iz Zakona o cestama (NN 133/2023), koji omogućuje naplatu cestarine samo na autocestama i određenim objektima na državnim cestama, ali ne na cijelim dionicama državnih cesta. Za proširenje sustava naplate potrebno je dodati izraz "državne ceste" u više članaka zakona te jasno definirati da se naplata odnosi samo na teretna vozila.

Odgovornosti za naplatu cestarine trenutno su isključivo povjerene Hrvatskim autocestama. Ako se, zbog proširenja naplate na državne ceste, planira uključiti Hrvatske ceste u ovaj proces, potrebno je izmijeniti članke zakona koji definiraju nadležnosti i tok sredstava od naplate cestarine. Također, treba proširiti odredbe o sniženim infrastrukturnim pristojbama za ekološki prihvatljiva vozila kako bi se bolje uskladile s europskim praksama. Pravilnik o

cestarini (NN 114/2022) zahtijeva izmjene koje uključuju dodavanje državnih cesta u odredbe te uvođenje emisijskih razreda kao kriterija za naplatu. Tablice iznosa cestarina trebaju biti prilagođene emisijskim razredima, težini vozila i broju osovina, u skladu s prilogima Direktive EU/2022/362.

Donošenje novog Zakona o naplati cestarine pruža priliku za uklanjanje ovih nedostataka i usklađivanje nacionalnog zakonodavstva s europskim standardima. Osim toga, potrebno je regulirati nadzor nad naplatom i način korištenja prikupljenih sredstava, uspostaviti inspeksijska tijela i sustav za praćenje te sankcioniranje neplaćanja cestarine. Ovo će omogućiti učinkovitije upravljanje sustavom i osigurati sredstva za održavanje i unapređenje cestovne infrastrukture.

3. EUROPSKI PRIMJERI DOBRE PRAKSE SUSTAVA NAPLATE CESTARINE ZA TERETNA VOZILA NA DRŽAVNIM CESTAMA

Ovo poglavlje analizira sustave naplate cestarina za teška teretna vozila na cestama niže kategorije od autocesta, koje koriste države članice Europske unije i Švicarska. Od ukupno 28 država, 9 ih već ima sustav naplate temeljen na prijedenoj udaljenosti na cestama niže kategorije, dok Danska i Nizozemska planiraju njegovo uvođenje. Države s postojećim sustavima su Austrija, Belgija, Bugarska, Češka, Mađarska, Njemačka, Poljska, Slovačka i Švicarska. Razlikuju se prema tehnologijama naplate koje koriste, uključujući GNSS (satelitski sustav za praćenje), DSRC (komunikacija kratkog dometa), ANPR (prepoznavanje registarskih oznaka) ili kombinaciju tih tehnologija.

GNSS omogućuje praćenje položaja vozila putem satelitskog signala i koristi elektronički uređaj u vozilu (OBU) za izračun udaljenosti. Prednosti su fleksibilnost i jednostavno proširenje mreže, dok nedostaci uključuju troškove uređaja i povremenu nepouzdanost signala. DSRC koristi komunikaciju kratkog dometa putem uređaja u vozilu i kontrolnih točaka na cestama. Prikadan je za sve vrste vozila, ali zahtijeva dodatnu infrastrukturu i značajne troškove održavanja [11]. ANPR koristi kamere za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka, čime eliminira potrebu za uređajima u vozilu. Ipak, zahtijeva visokokvalitetno snimanje registarskih oznaka i dodatnu manualnu kontrolu ako prepoznavanje nije precizno [12].

Analiza sustava naplate cestarine u Europskoj uniji i Švicarskoj pokazuje značajne razlike u primjeni, ovisno o vrstama cesta i lokalnim uvjetima. Austrija, koja ima najvišu prosječnu tarifu od 0,32 €/km, primjenjuje naplatu na autocestama i brzim cestama koristeći DSRC tehnologiju putem uređaja GO-Box [13]. Slično tome, Njemačka koristi kombinaciju GNSS-a, DSRC-a i ANPR-a za naplatu na autocestama i savezним cestama, s prosječnom cijenom od 0,30 €/km [14]. Švicarska primjenjuje naplatu na svim cestama, uključujući i lokalne, koristeći GNSS, DSRC i tahografe, uz prosječnu tarifu od 0,28 €/km [15]. Države poput Belgije i Poljske proširuju naplatu izvan autocesta na regijske, lokalne i državne ceste, s tarifama od 0,19 €/km u Belgiji i 0,09 €/km u Poljskoj [16,17]. Češka i Bugarska, s najnižim prosječnim tarifama od 0,05 €/km, naplaćuju cestarine na cestama 1. i 2. klase te autocestama, koristeći GNSS i DSRC tehnologije [18,19]. Danska i Nizozemska planiraju uvesti naplatu na autocestama, državnim i dijelovima lokalnih cesta, primjenjujući kombinaciju GNSS-a, DSRC-a i ANPR-a, s prosječnim tarifama od 0,14 €/km i 0,17 €/km [20,21]. Razlike u tarifama i tehnologijama odražavaju prilagodbu lokalnim potrebama i ciljevima, poput financiranja infrastrukture, smanjenja emisija i optimizacije prometnih tokova. Primjena ovakvih sustava omogućuje pravedniju naplatu koja se temelji na stvarnom korištenju infrastrukture i potiče ekološki prihvatljiviji prijevoz.

4. UTJECAJ UVOĐENJA SUSTAVA NAPLATE CESTARINE ZA TERETNA VOZILA NA DRŽAVNIM CESTAMA

Uvođenje cestarina za teška teretna vozila na cestama niže kategorije od autocesta može donijeti značajne pozitivne učinke. Jedan od ključnih učinaka je povećanje logističke učinkovitosti. Cestarine potiču optimizaciju korištenja kapaciteta teretnih vozila, smanjenje praznih kilometara i optimizaciju ruta prijevoza. Na primjer, u Njemačkoj je uvođenje cestarine smanjilo udio praznih vožnji za 1-2% [22].

Još jedan važan učinak odnosi se na pomlađivanje voznog parka prijevoznika. Naplata cestarine temeljena na emisijskim standardima potiče prijevoznike na korištenje vozila koja ispunjavaju više Euro norme ili prelazak na vozila s niskim ili nultim emisijama. U Njemačkoj je kombinacija sniženih cestarina za ekološka vozila i državnih subvencija dovela do znatnog povećanja udjela ovakvih vozila u prometu. Modalna razdioba tereta također se može promijeniti uvođenjem cestarine. Visoke cestarine, poput onih u Švicarskoj, potiču preusmjeravanje tereta na ekološki prihvatljivije oblike prijevoza, poput željeznice. Preusmjeravanje teretnih vozila na autoceste je još jedan značajan učinak. Autoceste nude uravnoteženiji režim vožnje, što dovodi do smanjenja emisija ispušnih plinova i razine buke. Također, prebacivanje teretnih vozila s državnih cesta na autoceste smanjuje trošenje kolnika na državnim cestama i povećava sigurnost prometa, pod uvjetom da se pravilno odaberu dionice koje će biti pod naplatom.

Iako postoje brojni pozitivni učinci, naplata cestarine može izazvati i neželjene posljedice. Jedan od njih je preusmjeravanje prometa na ceste koje nisu pod naplatom. U Austriji i Njemačkoj zabilježeno je djelomično preusmjeravanje teretnih vozila na paralelne ceste bez naplate. Međutim, u Švicarskoj, gdje se cestarina naplaćuje na cijeloj cestovnoj mreži, ovakva pojava nije zabilježena. Druga potencijalna posljedica je povećanje troškova prijevoza. U Njemačkoj je naplata cestarine rezultirala povećanjem troškova cestovnog prijevoza za 5 do 7% [22].

Uvođenje cestarine ima značajan utjecaj na okoliš, prvenstveno kroz smanjenje zagađenja zraka i buke. Naplata prema Euro emisijama potiče prelazak na vozila s višim Euro normama ili vozila s niskim i nultim emisijama, čime se smanjuje udio ekološki neprihvatljivih vozila [23]. Njemačka je, zahvaljujući ovakvom sustavu i subvencijama, ostvarila konstantan pad vozilo-kilometara vozila nižih Euro razreda, dok je udio vozilo-kilometara ekološki prihvatljivijih vozila u porastu [24]. Preusmjeravanje prometa na autoceste dodatno smanjuje emisije ispušnih plinova jer vozila na autocestama voze stabilnije, bez čestog usporavanja i ubrzavanja koje je prisutno na državnim i lokalnim cestama [24]. Osim smanjenja emisija, smanjuje se i buka u naseljenim područjima, jer se promet teretnih vozila premješta na prometnice udaljene od naselja, što doprinosi boljoj kvaliteti života stanovnika uz državne ceste.

Teretna vozila trenutno sudjeluju u 17% ukupnih prometnih nesreća, uključujući 13% teških nesreća. Većina nesreća s lakim teretnim vozilima događa se na nerazvrstanim cestama (60%) i državnim cestama (23%), dok se nesreće s teškim teretnim vozilima bilježe na nerazvrstanim (50%) i državnim cestama (29%). Autoceste, gdje se događa samo 6 do 14% ovakvih nesreća, pružaju sigurnije uvjete za promet. Uvođenje cestarine može povećati sigurnost preusmjeravanjem prometa s državnih na autoceste, ali i potaknuti modernizaciju voznog parka prijevoznika, što doprinosi sigurnijem prometu. Ipak, postoji opasnost od preusmjeravanja prometa na ceste nižeg ranga bez naplate [25]. U Njemačkoj i Austriji samo 3 do 5% teretnih vozila prešlo je na takve ceste, dok pažljivo planiranje mreže pod naplatom može spriječiti ovaj problem [26,27].

5. ZAKLJUČAK

Naplata cestarine za teretna vozila na državnim cestama može biti učinkovito sredstvo za unapređenje sigurnosti prometa, smanjenje utjecaja na okoliš i osiguranje održivog financiranja cestovne infrastrukture. Analize pokazuju da primjena ovog sustava, uz pažljivo planiranje i prilagodbu lokalnim uvjetima, može donijeti brojne koristi.

Jedan od ključnih učinaka naplate cestarine je povećanje logističke učinkovitosti i optimizacija prometnih tokova. Smanjenje praznih kilometara, pomlađivanje voznog parka prijevoznika i poticanje prelaska na ekološki prihvatljivija vozila su također efekti uvođenja naplate koji doprinose smanjenju emisija štetnih plinova i buke. Naplata cestarine također ima pozitivan utjecaj na modalnu razdiobu tereta, povećavajući udio ekološki prihvatljivih oblika prijevoza, poput željeznice. Preusmjeravanje teretnih vozila na autoceste dodatno smanjuje trošenje kolnika na državnim cestama i povećava sigurnost prometa, posebno u naseljenim područjima. Autoceste omogućuju uravnoteženiji režim vožnje, čime se smanjuje učestalost prometnih nesreća i njihov intenzitet.

Iako su koristi značajne, potrebno je pažljivo upravljati potencijalnim izazovima. Preusmjeravanje prometa na ostale ceste bez naplate može negativno utjecati na sigurnost i okoliš, ali se ovaj problem može minimizirati pravilnim odabirom cesta za naplatu i proširenjem mreže pod naplatom. Iskustva iz Švicarske pokazuju da sveobuhvatan sustav naplate, koji obuhvaća cijelu mrežu državnih cesta, može u potpunosti eliminirati ovaj problem. Kako bi Hrvatska uspješno implementirala sustav naplate cestarine za teretna vozila na državnim cestama, ključno je uskladiti nacionalno zakonodavstvo s Direktivama Europske unije, razviti održive tarifne modele i osigurati odgovarajuću infrastrukturu za naplatu. Ovaj pristup ne samo da će doprinijeti sigurnosti prometa, već će omogućiti dugoročno očuvanje i unaprjeđenje cestovne mreže, istovremeno smanjujući negativan utjecaj na okoliš.

6. LITERATURA

- [1] F. Chen and S. Chen, »Injury severities of truck drivers in single- and multi-vehicle accidents on rural highways,« *Accident; Analysis and Prevention*, vol. 43, no. 5, pp. 1677-1688, 2011.
- [2] European Parliament and the Council of the European Union, »Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures,« Brussels: Official Journal of the European Union, 1999.
- [3] European Parliament and the Council of the European Union, »Directive (EU) 2022/362 amending Directives 1999/62/EC, 1999/37/EC and (EU) 2019/520, as regards the charging of vehicles for the use of certain infrastructures,« Brussels: Official Journal of the European Union, 2022.
- [4] European Parliament and the Council of the European Union, »Directive (EU) 2019/520 on the interoperability of electronic road toll systems and facilitating cross-border exchange of information on the failure to pay road fees in the Union,« Brussels: Official Journal of the European Union, 2019.
- [5] Republika Hrvatska, »Zakon o cestama (NN 133/2023),« Zagreb: Narodne novine, 2023.
- [6] Republika Hrvatska, »Pravilnik o cestarini (NN 114/22),« Zagreb: Narodne novine, 2022.
- [7] Republika Hrvatska, »Pravilnik o naplati godišnje naknade za uporabu javnih cesta (NN

- 130/2012), «Zagreb: Narodne novine, 2012.
- [8] Republika Hrvatska, »Pravilnik o visini godišnje naknade (NN 98/2015), «Zagreb: Narodne novine, 2015.
- [9] Republika Hrvatska, »Pravilnik o tranzitnom prometu teretnih vozila (NN 51/2021), «Zagreb: Narodne novine, 2021.
- [10] Republika Hrvatska, »Pravilnik o ograničavanju uporabe cesta (NN 20/2019), «Zagreb: Narodne novine, 2019.
- [11] Auto Talks, »DSRC technology,« [Online]. Dostupno na: <https://auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>.
- [12] Royal Automobile Club UK (RAC), »What is ANPR and how does it work?,« [Online]. Dostupno na: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/cameras/what-is-anpr-and-how-does-it-work/>.
- [13] ASFiNAG Austria, »GO toll for trucks, buses and heavy motorhomes,« [Online]. Dostupno na: <https://www.asfinag.at/en/toll/go-toll/>.
- [14] Toll Collect Germany, »Toll Rates,« [Online]. Dostupno na: https://www.toll-collect.de/en/toll_collect/bezahlen/maut_tarife/p1745_mauttarife_07_2024.html.
- [15] Impargo, »Toll Rates in Switzerland,« [Online]. Dostupno na: <https://impargo.de/en/blog/switzerland-hgv-toll-price-2024-heavy-trucks>.
- [16] Viapass, »Practical info,« [Online]. Dostupno na: <https://www.viapass.be/en/practical-info/>.
- [17] Impargo, »Toll Rates in Poland,« [Online]. Dostupno na: <https://impargo.de/en/blog/hgv-toll-poland-2024-price-roads>.
- [18] MytoCZ, »Electronic Toll,« [Online]. Dostupno na: <https://myto.cz/en/>.
- [19] Toll Pass Bulgaria, »Toll Rates,« [Online]. Dostupno na: <https://tollpass.bg/en/toll-rates/tariff/>.
- [20] Sund & Bælt Danska, »Kilometer-based toll for trucks,« [Online]. Dostupno na: <https://sundogbaelt.dk/media/qtulkutq/aftaetekst-uk.pdf>.
- [21] G. o. t. Netherlands, »Plans for introduction of HGV toll,« [Online]. Dostupno na: <https://government.nl/topics/freight-transportation/plans-for-introduction-of-hgv-toll>.
- [22] C. Doll, L. Mejia-Dorantes i J. Manuel Vassallo, »Economic impact of introducing road charging for Heavy Goods Vehicles,« 2016. [Online]. Dostupno na: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2017_04_road_tolls_report_EN_exec_summary.pdf.
- [23] I. Vierth i H. Schleussner, »Impacts of different environmentally differentiated truck charges on mileage, fleet composition and emissions in Germany and Sweden,« [Online]. Dostupno na: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:686235/FULLTEXT01.pdf>.
- [24] I. Vierth, H. Schleussner i S. Mandell, »Road Freight Transport Policies and their Impact – a Comparative Study of Germany and Sweden,« 2015. [Online]. Dostupno na: <https://www.transportportal.se/swopec/CTS2015-16.pdf>.
- [25] P. F. Swan i M. H. Belzer, »Tolling and Economic Efficiency: Do the Pecuniary Benefits Exceed the Safety Costs?,« Public Works Management & Policy, 18(2), pp. 167-184.

UTJECAJ TERETNIH VOZILA NA SIGURNOST PROMETA NA DRŽAVNIM CESTAMA – STATISTIČKA ANALIZA

IMPACT OF HEAVY VEHICLES ON TRAFFIC SAFETY ON STATE ROADS – A STATISTICAL ANALYSIS

izv. prof. dr. sc. **MARKO ŠEVROVIĆ**, msevrovic@fpz.unizg.hr

MARKO ŠVAJDA, mag. ing. traff., msvajda@fpz.unizg.hr

JURAJ LEONARD VERTLBERG, mag. ing. traff., jvertlberg@fpz.unizg.hr

MARIO MATAIJA, mag. ing. traff., mmataija@fpz.unizg.hr

MATIJA EZGETA, mag. ing. traff., mezgeta@fpz.unizg.hr

University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences

Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, Croatia

SAŽETAK

Teretna vozila predstavljaju značajan rizik za sigurnost u cestovnom prometu, osobito na državnim cestama. U okviru ovog rada analiziraju se karakteristike prometnih nesreća u kojima su sudjelovala teretna vozila na državnim cestama, s ciljem razumijevanja okolnosti koje najčešće dovode do ove vrste nesreća. Analizirani su različiti podaci vezani za ovu vrstu prometnih nesreća, kao što je udio teretnih vozila u ukupnom broju nesreća na državnim cestama, vrste nesreća, posljedice, doba godine, vremenski uvjeti, karakteristike ceste i stanje prometne signalizacije. Također, u okviru rada je istražena korelacija između udjela teretnih vozila u ukupnom prometu i udjela teretnih vozila u prometnim nesrećama na državnim cestama. Rezultati jasno pokazuju ključne karakteristike prometnih nesreća sa teretnim vozilima na državnim cestama, i ukazuju na specifične karakteristike ceste i uvjete koji dovode do povećane vjerojatnosti nastanka prometnih nesreća sa teretnim vozilima. Analizom je potvrđeno da postoji korelacija između udjela teretnih vozila i udjela prometnih nesreća s teretnim vozilima, što, zajedno sa karakteristikama ceste i uvjetima nastanka nesreća, omogućuje identifikaciju specifičnih dionica državnih cesta s povećanim rizikom od nesreća. Ovi nalazi pružaju važan temelj za unapređenje cestovne sigurnosti, kao i za napredak u istraživanju ove oblasti, s ciljem smanjenja broja prometnih nesreća i njihovih posljedica.

Ključne riječi: sigurnost prometa, teretna vozila, državne ceste, prometne nesreće

Heavy vehicles pose a significant risk to road traffic safety, particularly on state roads. This paper analyses the characteristics of traffic accidents involving heavy vehicles on state roads, with the aim of understanding the circumstances that most frequently lead to this type of accident. Various data related to these traffic accidents has been analysed, including the share of heavy vehicles in the total number of accidents on state roads, types of accidents, consequences, time of year, weather conditions, road characteristics, and the condition of traffic signalisation. Furthermore, the study investigates the correlation between the share of heavy vehicles in overall traffic and their share in traffic accidents on state roads. The results clearly highlight the key characteristics of traffic accidents involving heavy vehicles on state roads and point to specific road features and conditions that increase the likelihood of such accidents. The analysis confirms a correlation between the share of heavy vehicles and the share of traffic accidents involving heavy vehicles, which, along with road characteristics and accident conditions, enables the identification of specific state road segments with an increased risk of accidents. These findings provide a crucial basis for improving road safety and advancing research in this field, with the aim of reducing the number of traffic accidents and their consequences.

Key words: traffic safety, heavy goods vehicles, state roads, road accidents

1. UVOD

Teretna vozila igraju ključnu ulogu u prijevozu robe i gospodarstvu, ali istovremeno predstavljaju značajan izazov za sigurnost u cestovnom prometu. Zbog svoje veličine, mase i specifičnih dinamičkih karakteristika, sudjelovanje teretnih vozila u prometnim nesrećama često dovodi do težih posljedica nego što je to slučaj s drugim vrstama vozila, a ovaj problem posebno dolazi do izražaja na državnim cestama [1].

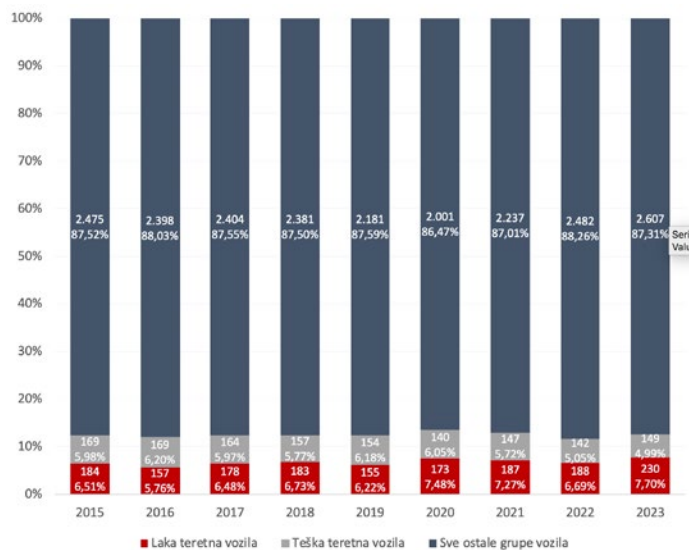
Državne ceste često imaju specifične karakteristike koje povećavaju rizik od nesreća s teretnim vozilima. U usporedbi s autocestama, državne ceste imaju niže tehničke standarde, veći udio raskrižja, manje mogućnosti za pretjecanje i često se protežu kroz naseljena mjesta, što povećava mogućnost sukoba s ostalim sudionicima u prometu. Osim toga, na državnim cestama češće dolazi do interakcije između različitih vrsta vozila, poput osobnih automobila, biciklista i pješaka, što dodatno povećava rizik od nesreća.

Jedan od ključnih izazova u ovoj problematici je razumijevanje okolnosti koje dovode do nesreća s teretnim vozilima na državnim cestama. To uključuje analizu čimbenika kao što su vrste cesta, vremenski uvjeti, prometna signalizacija, stanje kolnika i ponašanje vozača. Identifikacija dionica s povećanim rizikom od nesreća te razumijevanje uzroka ključni su koraci za unapređenje cestovne sigurnosti.

2. PROMETNE NESREĆE SA TERETNIM VOZILIMA NA DRŽAVNIM CESTAMA

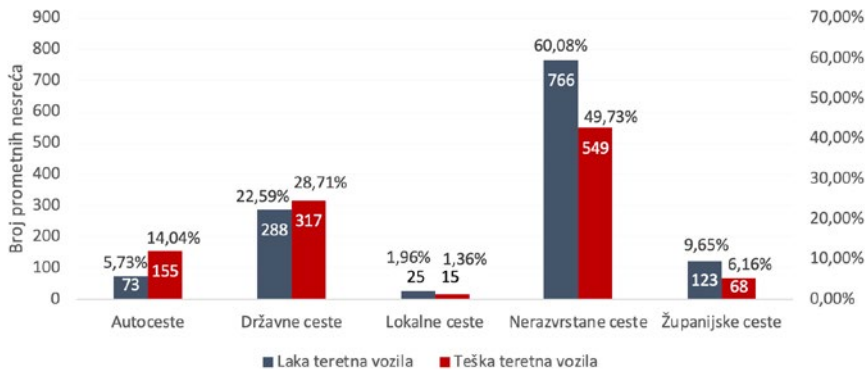
Analiza teških prometnih nesreća na državnim cestama u kojima su sudjelovala teretna vozila obuhvatila je razdoblje od 2015. do 2023. godine. Temeljena je na podacima Ministarstva unutarnjih poslova, koji uključuju sve prometne nesreće u Republici Hrvatskoj tijekom ovog perioda.

Promatrajući sve prometne nesreće prema vrsti vozila, prosječni udio teških teretnih vozila iznosi 8%, lakih teretnih vozila 9%, dok ostale vrste vozila čine preostalih 83%. Grafikon 1 prikazuje udjele istih skupina vozila u teškim prometnim nesrećama po godinama.



Grafikon 1. Udio i broj vozila prema vrsti vozila u svim teškim prometnim nesrećama u Republici Hrvatskoj

U ovom slučaju, udio teških teretnih vozila iznosi prosječnih 6%, lakih teretnih vozila 7%, dok ostale vrste vozila čine 87%. Grafikon 2 prikazuje sve teške prometne nesreće s teretnim vozilima u analiziranom razdoblju, razvrstane prema kategoriji ceste te podijeljene na nesreće s lakim i teškim teretnim vozilima.



Grafikon 2. Teške prometne nesreće sa teretnim vozilima kategorizirane prema kategoriji ceste

Kod lakih teretnih vozila, najveći udio teških prometnih nesreća zabilježen je na nerazvrstanim cestama (60%), dok je na državnim cestama udio 23%. Na županijskim cestama dogodilo se 10% takvih nesreća, dok autoceste i lokalne ceste bilježe 6% i 2%. Kod teških teretnih vozila, većina teških nesreća također se dogodila na nerazvrstanim cestama (50%) i državnim cestama (29%). Na autocestama je zabilježeno 14% nesreća ovog tipa, dok županijske i lokalne ceste imaju udjele od 6% i 1%. Fokusirajući se samo na državne ceste, laka teretna vozila sudjeluju u 8% svih teških prometnih nesreća, dok teška teretna vozila čine 9%. Zaključno, teretna vozila sudjeluju u ukupno 17% svih teških prometnih nesreća na državnim cestama.

U analiziranom razdoblju, na državnim cestama prosječno se godišnje dogodilo oko 800 prometnih nesreća u kojima su sudjelovala teretna vozila. Grafikon 3 prikazuje trend tih nesreća, pri čemu je vidljiv pad njihovog broja tijekom godina. Od ukupnog broja, oko 80 nesreća godišnje činile su teške prometne nesreće. U cijelom razdoblju zabilježeno je ukupno 7.380 prometnih nesreća s teretnim vozilima na državnim cestama, od kojih je 723 (10%) svrstano u kategoriju teških nesreća.



Grafikon 3. Trend prometnih nesreća sa teretnim vozilima na državnim cestama

Većina prometnih nesreća (69%) odnosi se na one s materijalnom štetom, dok nesreće s lakšim ozljedama čine 21%, s teškim ozljedama 7%, a sa smrtnim posljedicama 3%. Što se tiče vremenskog okvira, najveći broj prometnih nesreća dogodio se tijekom turističke sezone. Polovica teških nesreća zabilježena je između svibnja i rujna, pri čemu su srpanj (12,8%) i kolovoz (11,7%) najkritičniji mjeseci. S druge strane, siječanj i travanj bilježe najmanje nesreća (po 4,7%).

Analizirajući vrste teških prometnih nesreća, najčešći su sudari iz suprotnih smjerova, s udjelom od 43,8%, dok bočni sudari čine 15,6%. Slijetanje vozila s ceste i sudari zbog vožnje u slijedu imaju udjele od 11,9% i 11,4%. Značajni su još naleti na pješake (4,8%) i bicikliste (3,5%), dok su ostale vrste nesreća manje zastupljene. Najčešći uzroci teških prometnih nesreća uključuju brzinu neprilagođenu uvjetima (30,1%), nepropisno kretanje vozila (15,7%) i nepoštivanje prednosti prolaska (10,9%). Od ostalih uzroka, značajno su zastupljeni nepropisno pretjecanje (10,6%), greške vozača (9,1%), vožnja na nedovoljnoj udaljenosti (5,1%) i nepropisna brzina (4,1%). Ostali uzroci imaju manji udio u ukupnom broju nesreća.

Najveći udio teških prometnih nesreća na državnim cestama u kojima su sudjelovala teretna vozila zabilježen je na ravnim dionicama (42,2%) i u zavojima (38,2%). Oko 17% ovih nesreća dogodilo se na različitim vrstama raskrižja, dok su ostale lokacije manje zastupljene. Velika većina nesreća (98%) dogodila se na kolnicima čije je stanje ocijenjeno kao dobro. Također, 78% nesreća dogodilo se na suhom i čistom kolniku, dok se 19% nesreća dogodilo na mokrom kolniku. Ostali uvjeti kolničke površine imali su neznatne udjele.

Na dionicama s adekvatnom vertikalnom signalizacijom dogodilo se 96% nesreća, dok je horizontalna signalizacija bila prisutna u 98% slučajeva. Samo 4% nesreća dogodilo se na dionicama bez vertikalne signalizacije, a 1% na dionicama bez horizontalne signalizacije. Šezdeset posto nesreća dogodilo se na lokacijama bez javne rasvjete, dok je 29% zabilježeno na lokacijama gdje rasvjeta nije bila u funkciji. Na lokacijama s javnom rasvjetom dogodilo se 11% nesreća.

Teške nesreće s teretnim vozilima na državnim cestama najčešće se događaju tijekom dana (76%), dok se noću događa 19%. Nesreće koje su se dogodile tijekom svitanja ili sumraka zastupljene su s 3%, odnosno 2%. Najveći broj nesreća dogodio se po vedrom vremenu (59%), dok su oblačno vrijeme (20,8%), kiša (9,1%) i ostali vremenski uvjeti (7,1%) bili manje zastupljeni. Većina dionica državnih cesta na kojima su se dogodile teške nesreće nalaze se izvan naselja (79%), dok se preostalih 21% odnosi na dionice unutar naseljenih područja.

3. UTJECAJ TERETNIH VOZILA NA SIGURNOST PROMETA NA DRŽAVNIM CESTAMA

Analizom je identificirano devet državnih cesta na kojima se u promatranom razdoblju najčešće događale teške prometne nesreće s lakim teretnim vozilima. Državna cesta D8 ima najveći udio (25,3%), slijedi D1 s udjelom od 9,7%. Ostale ceste s udjelom većim od 2% uključuju D3 (2,8%), D2 (2,8%), D518 (2,4%), D7 (2,4%), D20 (2,1%) i D53 (2,1%). Ove prometnice čine 27% mreže državnih cesta, ali na njima se događa 50% svih teških nesreća s lakim teretnim vozilima. Ceste D8 i D1 posebno se ističu, čineći 9% i 6% duljine mreže, dok njihov udio u ukupnom broju teških nesreća iznosi 25% i 10%. Slično tome, devet državnih cesta dominira i po broju teških prometnih nesreća s teškim teretnim vozilima. Državna cesta D8 ima najveći udio (21,4%), a D1 slijedi s 13,9%. Ostale značajne ceste su D2 (8,5%), D7 (5,7%), D3 (4,4%), D55 (2,8%) i D36 (2,2%). Ove prometnice također čine 27% mreže državnih cesta, a na njima se događa 59% svih teških nesreća s teškim teretnim vozilima. D8 i D1 ponovno prednjače, s

udjelom duljine od 9% i 6%, dok njihov udio u ukupnom broju teških nesreća iznosi 21% i 14%.

Od devet identificiranih cesta, osam je odabrano za detaljniju analizu: D8, D1, D2, D7, D3, D55, D518 i D36. Analizom, koja je uključivala podatke o brojanju prometa Hrvatskih cesta, utvrđena je povezanost između količine teretnog prometa i broja teških prometnih nesreća. Prosječan udio teretnog prometa na ovih osam cesta iznosi oko 10%, što je više od prosjeka na svim državnim cestama (8,9%). Na tri ceste (D1, D2 i D55) udio teretnog prometa premašuje ovaj prosjek. Kada se promatraju apsolutne vrijednosti teretnog prometa, prosječan dnevni promet teretnih vozila na odabranim cestama iznosi 686 vozila, dok je na svim državnim cestama taj prosjek 444 vozila. Pet od osam cesta (D8, D1, D2, D7 i D55) imaju količinu teretnog prometa veću od prosjeka.

Prosječan udio teretnih vozila u teškim prometnim nesrećama na osam odabranih državnih cesta iznosi približno 19,4%, što je više od prosječnog udjela na svim državnim cestama, koji iznosi oko 16,6%. Na šest od osam odabranih cesta (sve osim D8 i D3), udio teretnih vozila u teškim prometnim nesrećama premašuje prosjek za državne ceste.

Iz ovih podataka proizlazi zaključak da postoji korelacija između količine teretnog prometa i broja teških prometnih nesreća u kojima sudjeluju teretna vozila na državnim cestama. Iako na nekim od najkritičnijih prometnica udjeli teretnog prometa mogu biti ispod prosjeka, apsolutne vrijednosti prometa na tim cestama i dalje su značajno iznad prosjeka za sve državne ceste. Na najopasnijim državnim cestama, teretni promet često prelazi prosjek, a veći je i udio teških prometnih nesreća s teretnim vozilima.

Zaključno, povećani promet teretnih vozila na državnim cestama negativno utječe na sigurnost prometa. U trenutnim uvjetima prijevoznici često koriste državne ceste kako bi izbjegli plaćanje cestarine. Jedna od mjera koja bi mogla smanjiti nastanak prometnih nesreća sa teretnim vozilima je uvođenje cestarine za teretna vozila na državnim cestama. Ovo bi moglo potaknuti preusmjerenje teretnog prometa na autoceste, gdje ova vozila predstavljaju značajno manji rizik, čime bi se povećala ukupna sigurnost prometa.

Postoji opasnost da bi se uvođenjem ovakvog sustava teretna vozila premjestila na ceste nižeg ranga, radi izbjegavanja naplate cestarine. Istraživanja pokazuju da uvođenje naplate u pravilu ne izaziva značajan prelazak teretnih vozila na ceste nižeg ranga. Jedan od glavnih razloga za ovu pojavu je činjenica da je, na cestama nižeg ranga, vrijeme putovanja teretnim vozilom značajno veće, te su vremenski gubici korištenjem ceste nižeg ranga veći nego financijski gubici uzrokovani plaćanjem naknade na cesti višeg ranga [2]. Primjerice, u Njemačkoj je oko 5% teretnih vozila prešlo na ceste nižeg ranga [3], dok je taj udio u Austriji iznosio oko 3% [4]. Sa druge strane, uvođenjem pravilnog sustava mogu se postići značajni rezultati u vidu teretnih vozila koja se zbog naplate prebacuju na autoceste.

Potrebno je voditi računa o tome da mreža pod naplatom bude adekvatno projektirana. Nepravilno definirana mreža cesta pod naplatom može negativno utjecati na sigurnost prometa na cestama koje nisu pod naplatom [5]. Ovaj problem može se izbjeći pažljivim planiranjem mreže naplate, uključivanjem većeg broja prometnica u sustav naplate ili zabranom prometovanja teretnih vozila na ključnim dionicama bez naplate [4]. Na taj način moguće je umanjiti negativne posljedice za sigurnost prometa. Veliki broj europskih zemalja se odlučio za uvođenje ovakvog sustava, s obzirom na to da se pokazao kao vrlo efikasan. Također, Europska unija ohrabruje uvođenje ovakvih sustava u državama članicama.

4. ZAKLJUČAK

Teretna vozila predstavljaju značajan rizik za sigurnost na državnim cestama, a njihovo sudjelovanje u prometnim nesrećama često rezultira težim posljedicama. Analiza je pokazala da teretna vozila sudjeluju u oko 17% ukupnih prometnih nesreća na državnim cestama, dok u teškim prometnim nesrećama taj udio iznosi 13%. Laka i teška teretna vozila podjednako doprinose tom riziku, s naglaskom na nerazvrstane i državne ceste, gdje se događa većina ovih nesreća.

Identificirane su specifične dionice državnih cesta s povećanim rizikom, među kojima se ističu prometnice poput D8 i D1. Na ovim cestama udio teretnog prometa i broj teških prometnih nesreća značajno premašuju prosjek, što ukazuje na potrebu za dodatnim mjerama sigurnosti. Ključni čimbenici koji doprinose nesrećama uključuju brzinu neprilagođenu uvjetima, nepropisno kretanje vozila i tehničke karakteristike cesta.

Istraživanje je također istaknulo utjecaj uvođenja naplate cestarine na sigurnost cestovnog prometa. Iako uvođenje naplate može potaknuti prelazak dijela prometa na ceste nižeg ranga, pažljivo planiranje mreže cesta pod naplatom može značajno umanjiti negativne posljedice. Uključivanje većeg broja prometnica u sustav naplate, zabrana prometa teretnih vozila na ključnim dionicama bez naplate te unaprjeđenje infrastrukture doprinose povećanju sigurnosti.

Dobiveni rezultati pružaju važan temelj za daljnje istraživanje i razvoj strategija za smanjenje prometnih nesreća s teretnim vozilima. Implementacijom ciljanih mjera moguće je smanjiti rizik i posljedice prometnih nesreća, čime se doprinosi sigurnosti svih sudionika u prometu, što se primjećuje na osnovu uspješnih iskustava iz drugih europskih zemalja.

5. LITERATURA

[1] F. Chen and S. Chen, »Injury severities of truck drivers in single- and multi-vehicle accidents on rural highways,« *Accident; Analysis and Prevention*, vol. 43, no. 5, pp. 1677-1688, 2011.

[2] I. Vierth, H. Schleussner i S. Mandell, »Road Freight Transport Policies and their Impact – a Comparative Study of Germany and Sweden,« 2015. [Online]. Dostupno na: <https://www.transportportal.se/swopec/CTS2015-16.pdf>.

[3] A. McKinnon, »A review of European truck tolling schemes and assessment of their possible impact on logistics systems,« *A Leading Journal of Supply Chain Management*, 9:3, pp. 191-205.

[4] P. Baumgarten i J. Middelkamp, »On interurban road pricing schemes and the impacts of traffic diversion on road safety in Germany: Empirical findings and implications,« *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15 (2), 2015.

[5] P. F. Swan i M. H. Belzer, »Tolling and Economic Efficiency: Do the Pecuniary Benefits Exceed the Safety Costs?,« *Public Works Management & Policy*, 18(2), pp. 167-184.

UNAPRJEĐENJE SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA KROZ RAZVOJ REGULATORNOG OKVIRA ZA ODABIR PROJEKTNIH RJEŠENJA: HRVATSKA PERSPEKTIVA I MEĐUNARODNE USPOREDBE

ENHANCING ROAD SAFETY THROUGH REGULATORY FRAMEWORK IMPROVEMENTS IN THE SELECTION OF ROAD DESIGN SOLUTIONS: A CROATIAN PERSPECTIVE WITH INTERNATIONAL COMPARISONS

izv. prof. dr. sc. **MARKO ŠEVROVIĆ**, msevrovic@fpz.unizg.hr

izv. prof. dr. sc. **MARKO ŠOŠTARIĆ**, msostaric@fpz.unizg.hr

doc. dr. sc. **MARIJAN JAKOVLJEVIĆ**, mjakovljevic@fpz.unizg.hr

University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences

Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, Croatia

JOSIP MATAIJA, dipl. ing., jmataija@mup.hr

Ministry of Internal Affairs, Traffic Police Service

Ilica 335, 10000 Zagreb, Croatia

mr. sc. **MIRON HULJAK**, dipl. ing., mhuljak@mup.hr

Zagreb Police Directorate, Road Traffic Safety Service

Ilica 335, 10000 Zagreb, Croatia

SAŽETAK

Proces odabira projektnih rješenja cestovne infrastrukture nije uvijek u potpunosti prilagođen rješavanju različitih aspekata sigurnosti cestovnog prometa. Kako bi se to promijenilo, ključno je prilagoditi regulatorni okvir kako bi sigurnost cestovnog prometa dobila istaknutiju ulogu, osiguravajući da svaka projektna odluka doprinosi sigurnijoj prometnoj mreži. Ovaj rad najprije ocjenjuje relevantne hrvatske zakone, propise i smjernice kako bi se identificirali ključni pravni instrumenti koji oblikuju projektiranje infrastrukture i proces odabira projektnih rješenja. Također, rad uključuje pregled predloženih izmjena postojećih hrvatskih propisa. Rad pruža analizu postojećih okvira u odabranim zemljama koje služe kao referentni primjeri, nudeći uvide u uspješnu svjetsku praksu koja daju veliki značaj sigurnosti prometa u procesu odabira projektnih rješenja. Na temelju tih saznanja, predstavljene su preporuke za poboljšanje ovog procesa. Ove preporuke unapređuju postojeći regulatorni okvir i usklađuju ga s primjerima dobre prakse, pridonoseći sigurnijem prometnom okruženju i, u konačnici, postizanju nacionalnih ciljeva sigurnosti cestovnog prometa.

Ključne riječi: sigurnost prometa, sigurno projektiranje cesta, regulatorni okvir, primjeri dobre prakse

ABSTRACT

The process of selecting road design solutions is not always fully suited to addressing all aspects of road safety. To address this, it is crucial to adapt the regulatory framework to give road safety a more prominent role, ensuring that every design decision supports a safer road network. This paper firstly assesses relevant Croatian laws, regulations, and guidelines to pinpoint key legal instruments that shape infrastructure design and the road design solutions selection process. It also includes an overview of the proposed amendments to the current Croatian regulations. The paper provides an analysis of existing frameworks in selected countries which serve as benchmarks, offering insights into successful international practices that prioritize safety in the process of selecting road design solutions. Based on these findings, a set of recommendations for improving this process is presented. These suggestions address gaps within the current framework and align with best practices, contributing to a safer road transport environment, ultimately leading to the achieving of national road safety objectives.

Key words: traffic safety, safe road design, regulatory framework, best practice examples

1. UVOD

Projektiranje i održavanje cestovne infrastrukture ključni su čimbenici u osiguravanju sigurnosti i učinkovitosti prometnog sustava. Značaj cestovne infrastrukture u kontekstu sigurnosti ogleda se u tome da je oko 35% prometnih nesreća nastalo kao rezultat kombinacije ljudskog faktora i cestovne infrastrukture. Kako bi se ovakve nesreće izbjegle, cestovnu je infrastrukturu potrebno adekvatno projektirati te definirati vrijednosti geometrijskih elemenata ceste kroz pravilnike i smjernice. U Hrvatskoj su ove vrijednosti definirane kroz Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/2001) koji postavlja stroge tehničke standarde definirajući ključne parametre poput kategorizacije cesta, geometrijskih elemenata trase, preglednosti i sigurnosnih zona [1]. Cilj mu je osigurati sigurnost prometa kroz jasno određene tehničke parametre, pružajući referentni okvir za projektante i nadzorne organe. Poseban naglasak stavljen je na minimalne i maksimalne vrijednosti različitih elemenata, poput poprečnih nagiba, duljine pravaca između zavoja, širine prometnih trakova i preglednosti. Također, pravilnik propisuje tehničke uvjete za zaštitne zone, prometnu signalizaciju i geometriju raskrižja radi smanjenja rizika nesreća. Ovaj pravilnik, zajedno sa Zakonom o sigurnosti prometa na cestama (NN 145/2024), predstavlja jedinu relevantnu regulativu za projektiranje cestovne infrastrukture u Hrvatskoj. Takav pristup razlikuje se od prakse u većini drugih zemalja koje se smatraju primjerima dobre prakse, budući da u tim državama postoji veći broj pravilnika i smjernica koje pomažu u procesu projektiranja u različitim uvjetima. Istodobno, australske smjernice nude drugačiji pristup, a u međuvremenu je objavljen i prijedlog izmjena postojećeg hrvatskog pravilnika. Cilj ove usporedbe je analizirati razlike i sličnosti između hrvatskog pravilnika, njegovih predloženih izmjena i australskih smjernica, s naglaskom na ključne geometrijske i sigurnosne elemente, kao i na sigurni sustav (Safe System Approach). Postojeća regulativa analizirana je upravo sa stajališta sigurnog sustava, pri čemu su glavni elementi uspoređeni s pozitivnim primjerima iz australskih smjernica. Na taj način omogućuje se bolje razumijevanje prednosti i nedostataka pojedinih pristupa te definiranje potencijalnih smjernica za buduće unaprjeđenje hrvatskog pravilnika. Trenutačno u Hrvatskoj ne postoje smjernice ovakvog tipa, a australske su odabrane za usporedbu jer vrlo detaljno proučavaju različite aspekte cestovne infrastrukture, pri čemu naglasak stavljaju upravo na sigurnost prometa. Australske smjernice sastoje se od 14 knjiga koje pokrivaju ključne elemente projektiranja cesta te obuhvaćaju i smjernice iz drugih država. Sigurnost prometa integrirana je u sve njihove elemente. Usporedba hrvatskog pravilnika s australskim smjernicama provedena je s ciljem dobivanja objektivnih rezultata, kako bi se utvrdilo u kojim dijelovima pravilnika postoji značajan prostor za unaprjeđenje. Poseban naglasak stavljen je na činjenicu da postojeći pravilnik ne uzima u dovoljnoj mjeri u obzir percepciju vozača i okolinu, već je gotovo isključivo usmjeren na infrastrukturu. Također, važno je istaknuti da u Hrvatskoj ne postoji nijedan pravilnik ni smjernice koje se bave cestama u naseljima, unatoč tome što se upravo na tim cestama događa najveći broj prometnih nesreća. Osim toga, treba naglasiti da je Hrvatska potpisnica Stockholmske deklaracije, čime se obvezala da neće graditi nesigurne ceste. Međutim, postojeća regulativa i godina njezina izdavanja ne idu u prilog ispunjavanju te obveze. Značaj adekvatnog projektiranja cesta očituje se i u rastućoj važnosti revizija cestovne sigurnosti. U Hrvatskoj je, prilikom provođenja revizija cestovne sigurnosti, utvrđeno da 29,7% nalaza spada u kategoriju srednjeg rizika, a 5,5% u kategoriju visokog rizika. Od toga je 77% nalaza srednjeg rizika u potpunosti prihvaćeno, dok je 9,2% djelomično prihvaćeno. Također, 87,5% nalaza visokog rizika u potpunosti je prihvaćeno, dok je 12,5% djelomično prihvaćeno. Ovi podaci dodatno naglašavaju važnost sigurne cestovne infrastrukture.

2. USPOREDBA KLJUČNIH ELEMENATA PRAVILNIKA I SMJERNICA

U ovom poglavlju uspoređuju se pristupi iz originalnog Pravilnika o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/2001), predloženih izmjena pravilnika koje je 2021. godine izradio Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu te australskih smjernica za projektiranje cesta, s posebnim naglaskom na geometrijske i sigurnosne parametre [2, 3, 4]. Cilj je identificirati sličnosti i razlike u metodologiji projektiranja, razini normativne preciznosti te fleksibilnosti u donošenju projektnih odluka. Obradene teme uključuju kategorizaciju cesta, geometrijske karakteristike trase, poprečne nagibe, preglednost te sigurnosne i ostale čimbenike.

2.1. KATEGORIZACIJA CESTA I BRZINE

Važeći hrvatski pravilnik dijeli javne ceste prema razredima i prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP), dok je njihova kategorizacija temeljena na društveno-gospodarskom značaju i prometnim karakteristikama. Prijedlog izmjena pravilnika uvodi podjelu prema projektnim klasama, koja nije povezana s PGDP-om, već s vrstom terena, vrstom prometa dozvoljenog na cesti te funkcijom povezivanja. Ova podjela u prijedlogu izmjena odnosi se isključivo na javne ceste izvan naselja, za koje su definirane karakteristike poput projektne brzine, karakterističnih poprečnih presjeka i razine usluge. Australske smjernice primjenjuju drugačiju metodologiju, definirajući klase cesta kroz funkcionalne opise koji uključuju opterećenje i prometne karakteristike, pri čemu je razina preciznosti manja u usporedbi s hrvatskim pravilnikom i prijedlogom njegovih izmjena. Prema ovim smjernicama, ceste se svrstavaju u ruralne i urbane, a zatim dijele na arterijske i lokalne, ovisno o prometnom opterećenju i funkciji povezivanja.

Što se tiče planskog razdoblja, predložene izmjene pravilnika zadržavaju gotovo isti koncept kao i važeći pravilnik, dok australske smjernice također naglašavaju važnost dugoročnog planiranja i životnog vijeka cestovne infrastrukture. Hrvatski pravilnik i prijedlog njegovih izmjena definiraju plansko razdoblje od 20 godina za novogradnju, dok australske smjernice predviđaju plansko razdoblje od 30 godina.

Vrste terena u hrvatskom pravilniku definirane su kroz četiri osnovne kategorije: ravničarski, brežuljkasti, brdski i planinski. Predložene izmjene dodatno proširuju ovu podjelu uključivanjem tablice s karakteristikama terena. Australske smjernice, iako nemaju specifičnu tablicu za kategorizaciju terena, u većini slučajeva pri određivanju geometrijskih elemenata primjenjuju iste kategorije terena.

Kad je u pitanju brzina, predložene izmjene hrvatskog pravilnika i australske smjernice donose značajne promjene. Dok važeći hrvatski pravilnik u velikoj mjeri koristi pojam računske brzine (V_r) za određivanje različitih geometrijskih elemenata, predložene izmjene ovaj koncept uklanjaju i fokusiraju se na projektnu brzinu (V_p). S druge strane, australske smjernice primarno se oslanjaju na operativnu brzinu i željenu brzinu (desired speed), ali donekle i na projektnu brzinu (V_p).

Postojeći hrvatski pravilnik koristi projektnu brzinu za određivanje graničnih vrijednosti tlocrtnih i visinskih elemenata trase. Definirano je da se V_p određuje na temelju kategorije ceste, terena i ograničenja brzine. Izmjene pravilnika daju sličnu definiciju i ulogu projektnoj brzini, pri čemu je njezina uloga dominantnija u odnosu na važeći pravilnik, jer se koristi za većinu proračuna i određivanja geometrijskih elemenata. Australske smjernice pridaju veći

značaj operativnoj brzini u odnosu na projektnu brzinu, koristeći je kao temeljni parametar za proračun geometrijskih elemenata ceste. Navodi se da projektna brzina (V_p) ne smije biti manja od operativne brzine, a važnost se pridaje i željenoj brzini (desired speed) te ograničenju brzine. Također, naglašava se da bi operativna brzina trebala biti jednaka ili neznatno viša (do 5 km/h) od ograničenja brzine.

Australske smjernice naglašavaju važnost projektiranja cesta s minimalnim razlikama između projektne i željene brzine kako bi cesta bila predvidiva i sigurna za vozače. Projektna brzina ne smije biti manja od operativne brzine, a ako operativna brzina varira duž ceste, projektna brzina može se prilagoditi sukladno tome. Promjene brzine trebaju biti postupne kako bi se izbjegli nagli prijelazi koji mogu utjecati na sigurnost. Na cestama višeg ranga željena brzina obično je jednaka operativnoj brzini, dok na cestama s varijabilnom operativnom brzinom željena brzina često premašuje operativnu. Na takvim cestama projektna brzina treba osigurati da smanjenje brzine zbog zavoja ostane unutar prihvatljivih granica, kako bi se izbjegle nagle promjene koje mogu dovesti do nesreća. Ako su okolno područje ceste, karakteristike ceste i ograničenje brzine slični prije i nakon zavoja ili nekog drugog izoliranog elementa, željena brzina ostaje ista. Željena brzina mijenja se samo ako dođe do značajne promjene u okolnom području ili karakteristikama ceste na duljoj dionici.

Dodatno, važeća verzija pravilnika zahtijeva ujednačenost računske brzine unutar određenih duljina dionica, dok se u predloženim izmjenama ta stavka ne spominje. Australske smjernice preporučuju da projektna brzina ne bi trebala varirati više od 10 km/h unutar iste dionice. Također, australske smjernice uvode pojam matematičkog modela za određivanje operativne brzine. Ovaj model se temelji na promatranju ponašanja vozača na australskim cestama i koristi se za procjenu brzina vozila duž cestovnih dionica, pri čemu se posebna pažnja posvećuje horizontalnim i vertikalnim elementima trase. Ovaj pristup omogućuje projektantima da realno predvide brzine kojima će se vozila kretati na pravcima i zavojima te prilagode geometrijske elemente ceste kako bi osigurali sigurnost i konzistentnost prilikom projektiranja. Primjena ovog modela omogućuje projektantima da identificiraju sekcije ceste s homogeno raspoređenim operativnim brzinama i optimiziraju prijelaz između različitih geometrijskih elemenata kako bi se minimizirale nagle promjene brzine.

2.2. HORIZONTALNI I VERTIKALNI GEOMETRIJSKI ELEMENTI

U postojećem hrvatskom pravilniku primjena pravaca definirana je detaljnim parametrima, dok prijedlog izmjena unosi promjene u ovom aspektu. Australske smjernice, s druge strane, ne definiraju preporučene vrijednosti već se oslanjaju na opisne smjernice koje objašnjavaju problematiku prekratkih i predugačkih pravaca bez navođenja konkretnih numeričkih ograničenja.

Postojeći hrvatski pravilnik sadrži strogo definirane tablice i grafikone koji opisuju odnos polumjera minimalnih horizontalnih zavoja i računske brzine (V_r). Prijedlog izmjena zadržava sličnu strukturu, ali mijenja vrijednosti za pojedine kategorije cesta i uvodi novu klasifikaciju brzina, zamjenjujući V_r s V_p . Australske smjernice se oslanjaju na drugačiji pristup, gdje se minimalni polumjer horizontalnih zavoja određuje formulama, bez izravne tablične usporedbe s projektiranom brzinom. U postojećem hrvatskom pravilniku usklađenost trase osigurava se pomoću grafikona koji definira prihvatljive polumjere susjednih zavoja, dok predložene izmjene zadržavaju isti pristup, uz prilagodbu vrijednosti za različite klase cesta. Australske smjernice umjesto grafikona koriste tablice koje uzimaju u obzir različite vrste cesta, specifične situacije poput velikih nagiba i razlike u brzinama između geometrijskih

elemenata. Bitno je napomenuti da australske smjernice, u ovisnosti o kontekstu i temi, najčešće propisuju minimalne ili preporučene vrijednosti za različite geometrijske elemente, a u nekim situacijama i maksimalne vrijednosti za određene elemente.

Omjer duljine pravca i polumjera zavoja u hrvatskom pravilniku definiran je putem tablice, dok predložene izmjene eliminiraju V_r , ali zadržavaju osnovni princip. Australske smjernice ne koriste ekvivalentnu tablicu, već preporučuju izbjegavanje kratkih pravaca između zavoja radi konzistentnosti trase i smanjenja naglih promjena brzine. Ako su kratki pravci neizbježni, njihova duljina mora biti minimalno jednaka operativnoj brzini izraženoj u metrima (npr. 80 km/h = 80m), a kod malog razmaka zavoja preporučuje se njihovo spajanje u jedan zavoj većeg polumjera.

Postojeći hrvatski pravilnik dopušta primjenu košarastih zavoja (zavoja bez prijelaznica) u određenim uvjetima, dok ih prijedlog izmjena ne spominje. Australske smjernice jasno preporučuju izbjegavanje košarastih zavoja ili njihovu zamjenu jednim zavojem s kontinuiranim polumjerom. Ako je njihova primjena neizbježna, preporučuje se da polumjer ne bude manji od 1.000 m, a ako je manji, razlika projektnih brzina između dva zavoja ne smije biti veća od 5 km/h. Također, ne preporučuje se projektiranje više od dva uzastopna košarasta zavoja s progresivnim smanjenjem polumjera, posebno na nizbrdicama. Smjernice naglašavaju opasnost košarastih zavoja za motocikliste i teška vozila, te sugeriraju snižavanje brzine prije takvih zavoja, osiguravanje blage tranzicije između njih i održavanje konzistentne kvalitete kolnika radi poboljšanja sigurnosti.

U postojećem hrvatskom pravilniku prijelaznice su detaljno obrađene kroz proračune i tablice, uključujući duljinu prijelaznice u odnosu na projektnu brzinu (V_p), minimalni polumjer (R_{min}) i dopušteni bočni potisak. U predloženim izmjenama ove tablice ne postoje, dok australske smjernice zadržavaju analizu prijelaznica, ali kroz drugačiji pristup – definirajući maksimalni polumjer zavoja za koji su prijelaznice potrebne te dajući tablične prikaze minimalnih duljina prijelaznica u odnosu na operativnu brzinu.

Također, odnos relativnog nagiba bankine i projektne brzine u prijedlogu novog hrvatskog pravilnika je uklonjen, dok australske smjernice uključuju tablicu koja prikazuje kako se relativni nagib mijenja s operativnom brzinom i brojem prometnih trakova. Primjena prijelaznica u različitim situacijama u postojećem pravilniku je opširno objašnjena, dok je u predloženim izmjenama opis značajno skraćen. Australske smjernice, s druge strane, jasno definiraju primjenu i svrhu prijelaznica, osiguravajući dosljednost u projektiranju i prilagodbu različitim prometnim uvjetima.

Hrvatski pravilnik temelji proračun vertikalnog zaobljenja na minimalnom polumjeru (R_{min}) i računskoj brzini (V_r), dok predložene izmjene spajaju tablice odnosa V_p i R_{min} te dodaju smjernice za minimalnu duljinu tangente u konveksnim krivinama. Australske smjernice koriste složeniji model koji uključuje operativnu brzinu, preglednost i prometne uvjete. Posebno se fokusiraju na duljinu zavoja za promjenu nagiba od 1%, uzimajući u obzir visinu svjetlosnog snopa, prepreke i rasvjetu. Također, nude dodatne formule za neosvijetljene ceste i tri tablice za prilagodbu duljine vertikalnog zavoja prema operativnoj brzini, reakciji vozača i vrsti vozila.

Kada su u pitanju serpentine, u postojećem pravilniku najmanji polumjer serpentina je definiran prema kategoriji ceste, dok u predloženim izmjenama više nije vezan uz kategoriju, već su postavljene granice unutar kojih polumjer mora biti. Granica polumjera horizontalnog zavoja serpentina povećana je s 25m na 45m, a dijagonalni nagib ograničen na 10%, uz formulu za njegov izračun. Australske smjernice ne definiraju specifične vrijednosti, već

preporučuju korištenje proračuna ili računalnih programa, posebno swept path analysis, kako bi se odredilo potrebno proširenje za sigurno kretanje vozila.

U postojećem pravilniku proširenje kolnika u zavoju definirano je prema polumjeru zavoja i mjerodavnom vozilu, dok australske smjernice detaljnije razmatraju faktore poput širine trake, dimenzija vozila i slobodnog profila. Preporučuje se proširenje u zavoju na cestama gdje širina traka ne prelazi 3,5 m. Kod proširenja u kružnom luku, postojeći pravilnik postavlja prag na 45m, dok australske smjernice koriste tablični prikaz proširenja u odnosu na polumjer zavoja i referentno vozilo. Proširenje u prijelaznici u predloženim izmjenama gotovo je u potpunosti izbačeno, dok australske smjernice razmatraju mogućnost dodatnog proširenja s unutarnje strane prijelaznice za prolazak većih vozila, uz prilagodbu razdjelne linije kako bi se očuvala širina prometnih traka.

2.3. ELEMENTI POPREČNOG PRESJEKA

Postojeći hrvatski pravilnik jasno definira kako širina prometnog traka ovisi o V_p te uvodi specifične vrijednosti za pojedine kategorije cesta. U predloženim izmjenama, ovaj aspekt nije obrađen u toliko detalja. Australske smjernice, za razliku od hrvatskih propisa, ne povezuju izravno širinu traka s projektnom brzinom, već koriste alternativne metode analize koje uključuju funkcionalne zahtjeve ceste i sigurnosne kriterije.

U postojećem pravilniku, širina rubnih trakova definirana je preciznim vrijednostima, dok prijedlog izmjena smanjuje detaljnost obrade ovih elemenata. U australskim smjernicama, funkcionalna svrha rubnih trakova detaljno je objašnjena, uz grafičke prikaze optimalnih i nepoželjnih rješenja. U postojećem pravilniku razdjelni pojasevi definirani su kroz osnovne uvjete primjene i širinu, dok predložene izmjene dodaju segment o prijelazima za preusmjeravanje prometa. Australske smjernice detaljnije obrađuju ovu temu, uključujući različite vrste pojaseva, njihove funkcije, sigurnosne razmake, mogućnosti prilagodbe širine i grafičke prikaze različitih izvedbi i nagiba u odnosu na cestu.

Hrvatski pravilnik precizno definira uvjete pod kojima se zaustavni trak izvodi ili izostavlja, dok prijedlog izmjena pojednostavljuje ove kriterije. Australske smjernice ne definiraju stroga pravila za zaustavni trak, već ga analiziraju kroz kontekst sigurnosnih i prometnih potreba. Postojeći hrvatski pravilnik precizno određuje širinu bankina, dok predložene izmjene ovaj segment obrađuju manje detaljno. Australske smjernice dodatno obrađuju funkcionalne aspekte bankina i daju preporuke za njih, uključujući tablične prikaze širine bankine u odnosu na tip ceste i funkcionalne zahtjeve.

U postojećem pravilniku nogostupi su definirani kroz tehničke parametre poput minimalne širine, visine rubnjaka i uvjeta izvedbe uz prometni trak, dok su u predloženim izmjenama ti detalji premješteni u segment prometnih i slobodnih profila. Australske smjernice nogostupe obrađuju deskriptivnije, uz referencu na smjernice 6A koje detaljnije obrađuju ovu temu, pritom naglašavajući ovisnost širine o lokaciji i broju pješaka te potrebu za proširenjima u zonama visokog pješačkog prometa.

Hrvatski pravilnik definira biciklističke staze kroz tehničke parametre poput širine i uvjeta izvođenja uz prometni trak, dok su u predloženim izmjenama ti detalji premješteni u segment prometnih i slobodnih profila. Australske smjernice pristupaju temi detaljnije, naglašavajući važnost fizičkog odvajanja biciklista od motornog prometa, posebno na cestama s većim brzinama i prometnim opterećenjem. Također, pružaju tablične i grafičke prikaze operativnih brzina biciklista, širine traka, razmaka od parkiranih vozila te posebne preporuke za situacije poput uspona, autobusnih stajališta i contra-flow traka.

Hrvatski pravilnik definira tipske poprečne presjeke prema kategoriji ceste i projektnoj brzini, dok predložene izmjene uvode prilagodbu prema klasama cesta. Australske smjernice pristupaju fleksibilnije, analizirajući širinu elemenata presjeka u odnosu na tip ceste, grupe vozila i PGDP. Dodatni trakovi u hrvatskom pravilniku ovise o brzini teretnih vozila i nagibu ceste, dok australske smjernice detaljnije razmatraju uvjete primjene, uključujući PGDP i sigurnosne čimbenike. Preporučuju se na usponima gdje brzina kamiona padne na 40 km/h ili niže, s duljinom do 1.500 m, uz tablice koje određuju minimalne duljine prema operativnoj brzini. Također, preporučuje se izbjegavanje dodatnih trakova unutar 3 km od naselja i njihovo postavljanje na dionicama sa slabom preglednošću ili većim zavojima, uz grafičke prikaze mogućih rješenja.

2.4. POPREČNI I UZDUŽNI NAGIB

U postojećem hrvatskom pravilniku definirani su minimalni i maksimalni poprečni nagibi, dok prijedlog izmjena uvodi dodatne vrijednosti za poprečni nagib u kružnom luku. Australske smjernice, s druge strane, naglašavaju važnost poprečnog nagiba u odnosu na materijal kolnika i uvjete na cesti, sugerirajući da je minimalni nagib od 3% sigurniji u većini okolnosti. Odnos polumjera zavoja i poprečnog nagiba je u postojećem pravilniku prikazan kroz grafik, koji je u predloženim izmjenama promijenjen, uz dodatni tekst koji naglašava kako se ne određuje poprečni nagib samo na temelju tabličnih vrijednosti, već i u kontekstu specifičnih uvjeta trase. Australske smjernice imaju slične grafike, ali s detaljnijom obradom različitih vrsta cesta, uzimajući u obzir poprečne nagibe i bočno trenje. Također, australske smjernice sadrže tablicu koja pokazuje koji je maksimalni dopušteni poprečni nagib za različite vrste cesta i brzine.

Postojeći pravilnik koristi tablične vrijednosti za određivanje minimalnog polumjera u kojem se koristi protunagib. Prijedlog izmjena donosi ažurirane vrijednosti, uz dodatna objašnjenja u tekstu. Australske smjernice nude još detaljniji pristup, uključujući tablicu koja povezuje minimalni polumjer zavoja s vrstom kolnika i uvjetima vožnje.

U postojećem pravilniku opisuje se vitoperenje unutar prijelaznica, dok je u predloženim izmjenama način objašnjenja ostao sličan. Australske smjernice detaljno opisuju svrhu vitoperenja i njegov utjecaj na stabilnost vozila, uključujući preporuke za specifične situacije i detaljnije proračune kroz jednadžbe i tablice. U postojećem pravilniku najveći i najmanji nagib kosine vitoperenja definirani su kroz granične vrijednosti, dok australske smjernice naglašavaju proračun adekvatnog nagiba u odnosu na operativnu brzinu i broj traka. Također, dok su pojedini grafički prikazi u izmjenama pravilnika izbačeni, australske smjernice sadrže dijagrame koji prikazuju vitoperenje i njegovu primjenu na različitim dijelovima ceste.

U postojećem pravilniku uzdužni nagibi nivelete definirani su prema kategorijama cesta, dok predložene izmjene prelaze na projektne klase uz dodatak vrste terena. Australske smjernice pristupaju fleksibilnije, dajući maksimalne vrijednosti nagiba za različite tipove cesta, uz napomenu da se veći nagibi, poput 10%, ne preporučuju u većini situacija. Također, za zaobljavanje prijeloma nivelete više se ne koristi kvadratna parabola, već se primjenjuju opće i specifične formule ovisno o duljini vertikalnog zavoja i preglednosti, uz grafičke prikaze različitih vrsta vertikalnih zaobljenja.

2.5. PREGLEDNOST

Postojeći hrvatski pravilnik definira zaustavnu preglednost kroz odnos s Vr, dok prijedlog

izmjena ovu temu premješta u drugi dio pravilnika, koristi Vp umjesto Vr i uvodi drugačije tablice za izračun. Australske smjernice pristupaju ovom problemu detaljnije, pružajući opsežnu analizu faktora koji utječu na zaustavni put, uključujući proračune, dijagrame i grafičke prikaze različitih scenarija.

U postojećem pravilniku pretjecajna preglednost vezana je uz Vr, dok prijedlog izmjena koristi Vp, uz dodatnu tablicu za analizu vidljivosti. Australske smjernice detaljnije obrađuju pretjecajnu preglednost, uzimajući u obzir brzinu, duljinu pretjecanja i sigurnosne margine. Zaustavna preglednost u hrvatskom pravilniku definirana je tablicama i grafikonima, dok izmjene donose manje prilagodbe. Australske smjernice nude detaljnije analize različitih uvjeta vožnje te kombiniraju grafičke prikaze, proračune i dijagrame za preciznije određivanje optimalne preglednosti.

U postojećem pravilniku zaustavna preglednost definirana je temeljem ograničenja brzine, dok australske smjernice dodatno obrađuju preglednost u specifičnim uvjetima, poput tunela, zaštitnih ograda i noćnih dionica bez rasvjete. Pretjecajna preglednost u postojećem pravilniku određena je kao postotak dužine ceste, dok australske smjernice ne postavljaju precizne postotke već preporučuju osiguranje pretjecajne preglednosti svakih 5 km ili na svakih 3 do 5 minuta vožnje, ovisno o operativnoj brzini.

Vertikalna preglednost u postojećem pravilniku definirana je tablicom ovisnosti o visini prepreka, dok je u australskim smjernicama visina prepreka i objekata varijabilna ovisno o kategoriji vozila, visini farova i položaju prepreke uz cestu. Umjesto tabličnog proračuna, vertikalna preglednost je integrirana s kriterijima za zaustavnu preglednost kako bi se osigurala sigurnost u različitim prometnim uvjetima.

2.6. OSTALE STAVKE

U postojećem pravilniku, koeficijent otpora klizanja definiran je kroz tablice koje uključuju specifične vrijednosti za različite uvjete kolnika. Prijedlog izmjena zadržava tablični format, ali mijenja pojedine vrijednosti. U australskim smjernicama se ovaj koeficijent spominje samo kao dio formula za kretanje u kružnim lukovima, bez tablica koje bi definirale njegove vrijednosti u različitim uvjetima. Radijalni koeficijent otpora klizanja u postojećem hrvatskom pravilniku predstavljen je kao važan parametar u određivanju sigurnosnih uvjeta u zavojima. U predloženim izmjenama, tablica s radijalnim koeficijentima mijenja vrijednosti. Australske smjernice ne izdvajaju ovaj parametar u tablice, već ga obrađuju kroz općenitiji pristup analizi sigurnosti u zavojima, gdje se naglasak stavlja na interakciju između geometrije ceste i vozila.

U postojećem pravilniku koncept fazne gradnje prisutan je kao način predviđanja budućeg razvoja cestovne mreže. U prijedlogu izmjena, fazna izgradnja se ne spominje. Australske smjernice naglašavaju važnost fazne izgradnje kao ključnog elementa razvoja prometne mreže, uz preporuke da se u početnim fazama ostavi prostor za proširenje infrastrukture kako bi se prilagodila prometnom opterećenju.

Razine usluge na kraju planskog razdoblja u postojećem hrvatskom pravilniku definiraju minimalne standarde koje ceste trebaju zadovoljiti kako bi osigurale odgovarajuću prometnu funkciju. Prijedlog izmjena premješta ovu temu na početak pravilnika. Australske smjernice koriste sličan pristup, ali umjesto strogo definiranih tabličnih vrijednosti, primjenjuju koncept prilagodljivih razina usluge, koje se mogu mijenjati ovisno o prometnim uvjetima i budućim projekcijama rasta prometa.

Vrste projekata za ceste u postojećem pravilniku podijeljene su prema razinama složenosti i fazama realizacije. U prijedlogu izmjena ovaj segment detaljnije je opisan, dok australske smjernice ne koriste strogu podjelu vrsta projekata, već naglašavaju fleksibilan pristup, gdje se projektni zahtjevi definiraju na temelju lokalnih uvjeta.

Predložene izmjene pravilnika uvode poglavlje o rekonstrukciji, uključujući procjenu postojećeg stanja ceste i određivanje planirane Vp i projektne klase. Definiraju se uvjeti povećanja Vp tijekom rekonstrukcije, uz obvezno poštovanje pravilnika. Australske smjernice fokusiraju se manje na rekonstrukciju, već naglašavaju projektiranje koje smanjuje potrebu za kasnijim intervencijama. Također, dok izmjene hrvatskog pravilnika odstupanja definiraju kroz obrazloženja vezana uz troškove i prostorna ograničenja, australske smjernice pristupaju fleksibilnije, s naglaskom na prilagodljivost projektiranja.

3. ZAKLJUČAK

Usporedba hrvatskog pravilnika, njegovih predloženih izmjena i australskih smjernica pokazuje ključne razlike u pristupu projektiranju cestovne infrastrukture. Hrvatski pravilnik koristi strogo normativni okvir s fiksnim tehničkim vrijednostima, što dovodi do nekonzistentnih rješenja i ne omogućava prilagodbu lokalnim uvjetima. Također, uz pravilnik, u Hrvatskoj ne postoje sustavne smjernice koje bi osigurale dosljedna rješenja, posebno sa stajališta sigurnosti prometa. Također, ne postoje pravilnik ili smjernice koje posebnu pažnju posvećuju urbanim zonama. S druge strane, australske smjernice koriste Safe System Approach, gdje je sigurnost integrirana u svaki aspekt projektiranja, umjesto da se promatra kao dodatni kriterij. Australske smjernice nude fleksibilniji pristup temeljen na operativnoj brzini i funkcionalnim svojstvima cesta, omogućujući veću prilagodbu stvarnim uvjetima. Jedna od ključnih razlika leži u operativnoj brzini – dok hrvatski pravilnik temelji projektiranje na projektnoj brzini (Vp), australske smjernice prilagođavaju geometrijske elemente stvarno očekivanim brzinama kretanja vozila, čime osiguravaju sigurnost i protočnost. Australske smjernice također preciznije definiraju preglednost, uzimajući u obzir različite prometne scenarije poput noćne vožnje i vremenskih uvjeta. Sigurnosni aspekti poput vitoperenja, širine prometnih trakova i rubnih zona prilagođeni su prometnom ponašanju, dok hrvatski pravilnik koristi fiksne vrijednosti. Iako predložene izmjene pravilnika donose određene pomake, i dalje su restriktivnije u usporedbi s australskim smjernicama. Australski model može poslužiti kao primjer kako osigurati sigurniju, prilagodljiviju i dugoročno održiviju cestovnu infrastrukturu kroz veću fleksibilnost i prilagodbu realnim prometnim uvjetima.

4. LITERATURA

[1] Ministarstvo pomorstva, prometa i veza, Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa (NN 110/2001), Narodne novine, 2001.

[2] Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Prijedlog novog Pravilnika o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljiti sa stajališta sigurnosti prometa, 2021.

[3] Austroads, Guide to Road Design Part 3: Geometric Design, 2021.

[4] Austroads, Guide to Road Design Part 1: Objectives of Road Design, 2021.

ANALIZA SIGURNOSTI BIKIKLISTIČKOG PROMETA U REPUBLICI HRVATSKOJ

ANALYSIS OF CYCLIST TRAFFIC SAFETY IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Doc. dr. sc. tech. **Mario Ćosić**, mcosic@fpz.unizg.hr

Julijan Jurak, univ. mag. ing. traff., jjurak@fpz.unizg.hr

Matija Sikirić, univ. mag. ing. traff., msikiric@fpz.unizg.hr

Luka Vidan, univ. mag. ing. traff., lvidan@fpz.unizg.hr

Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu; Vukelićeva 4, 10 000 Zagreb

SAŽETAK

Biciklisti su jedna od najranjivijih skupina sudionika u prometu. Na njihov visok rizik od stradanja utječu brojni čimbenici poput nepažnja vozača motornih vozila, smanjeni uvjeti vidljivosti tijekom noćne vožnje i u uvjetima smanjenje vidljivosti, neadekvatne biciklističke infrastrukture te druge prometne okolnosti. U razdoblju od 2021. do 2023. godine u Republici Hrvatskoj zabilježene su 33 prometne nesreće u kojima je došlo do naleta na biciklistu sa smrtnim posljedicama. U istom razdoblju dogodilo se 1,118 naleta na bicikliste s teško ili lako ozlijeđenim biciklistima, te 247 naleta na biciklista koji su rezultirale materijalnom štetom. Cilj ovog rada je identificirati lokacije gdje je došlo do prometnih nesreća koje uključuju nalet na bicikliste te analizirati prometne čimbenike koji doprinose njihovom nastanku. Na temelju rezultata nastojat će se predložiti mjere za povećanje sigurnosti biciklista i prevenciju budućih nesreća. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao temelj za unaprjeđenje prometne infrastrukture i razvoj učinkovitijih sigurnosnih strategija.

Ključne riječi: biciklisti; prometna nesreća; sigurnost

ABSTRACT

Cyclists are one of the most vulnerable groups of road users. Their high risk of accidents is influenced by numerous factors, such as the inattention of motor vehicle drivers, reduced visibility conditions during nighttime riding and low-visibility conditions, inadequate cycling infrastructure, and other traffic-related circumstances. Between 2021 and 2023, a total of 33 traffic accidents involving a fatal collision with a cyclist were recorded in the Republic of Croatia. During the same period, there were 1,118 collisions with cyclists resulting in serious or minor injuries, as well as 247 collisions that led to material damage. The aim of this study is to identify locations where traffic accidents involving cyclists occurred and to analyze the traffic factors contributing to their occurrence. Based on the results, measures will be proposed to enhance cyclist safety and prevent future accidents. The findings of this research may serve as a foundation for improving traffic infrastructure and developing more effective road safety strategies.

Keywords: cyclists; traffic accident; safety

1. UVOD

Sigurnost biciklista u cestovnom prometu sve je važnija tema u kontekstu urbane mobilnosti i održivog razvoja. Bicikljanje se promiče kao ekološki prihvatljiv način prijevoza koji pozitivno utječe na zdravlje pojedinca i smanjuje prometne gužve u urbanim sredinama. Međutim, unatoč tim prednostima, biciklisti su jedna od najranjivijih skupina sudionika u prometu. Prometne nesreće u kojima sudjeluju biciklisti često imaju teške posljedice, a u Republici Hrvatskoj značajan broj biciklista strada svake godine.

Prema Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa, biciklisti sudjeluju u 13% teških prometnih nesreća, a u 62% tih nesreća upravo su oni uzrok sudara. Dodatno, 16% biciklista uključenih u teške nesreće su maloljetnici, dok 21% čine starije osobe iznad 65 godina. Statistika ukazuje na potrebu za dodatnim mjerama zaštite biciklista, uključujući poboljšanje infrastrukture, edukaciju i prilagodbu prometnih pravila.

Cilj ove analize je istražiti stanje sigurnosti biciklista u Republici Hrvatskoj, identificirati ključne uzroke nesreća i predložiti mjere za smanjenje broja stradalih. Kroz analizu postojećih podataka i strategija, naglasit će se važnost integriranog pristupa sigurnosti biciklističkog prometa.

U drugom poglavlju razmatra se napredak u poboljšanju sigurnosti cestovnog prometa u Hrvatskoj, uz naglasak na smanjenje broja nesreća i smrtnih stradanja u posljednjim godinama. Također, analizira se Šesti Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa (2021.-2030.), koji postavlja cilj smanjenja smrtnih slučajeva i teških ozljeda za 50% do 2030. godine, kroz implementaciju mjera usmjerenih na poboljšanje infrastrukture, edukaciju i zakonske regulative.

U trećem poglavlju obradit će se glavni čimbenici biciklističkih nesreća, uključujući nedostatak biciklističke infrastrukture, nepridržavanje prometnih pravila, lošu vidljivost biciklista i nedovoljnu upotrebu zaštitne opreme. Kroz analizu uzroka nesreća identificirat će se kritične točke koje zahtijevaju hitnu intervenciju kako bi se smanjio broj stradalih biciklista.

U četvrtom poglavlju analizirati će se podatci o prometnim nesrećama u kojima su sudjelovali biciklisti u razdoblju od 2021. do 2023. godine. Fokus će biti na prometnim nesrećama gdje se dogodio nalet na biciklistu sa poginulim osobama, teže ili lakše ozlijeđenim ili samo s materijalnom štetom.

U posljednjem, petom poglavlju, sažeti će se ključni nalazi analize te će se iznijeti preporuke za daljnje mjere usmjerene na povećanje sigurnosti biciklističkog prometa u Republici Hrvatskoj. Poseban naglasak stavit će se na integrirani pristup koji uključuje sudjelovanje biciklista, vozača motornih vozila, prometnih stručnjaka i nadležnih institucija u cilju smanjenja broja nesreća i zaštite biciklista kao ranjive skupine sudionika u prometu.

2. NACIONALNI PLAN SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Sigurnost cestovnog prometa u Republici Hrvatskoj bilježi pozitivne pomake, što se jasno vidi kroz statističke pokazatelje koji svake godine pokazuju trend smanjenja broja nesreća i smrtnih stradanja. Godina 2019. označila je najnižu smrtnost sudionika u prometu od samostalnosti Republike Hrvatske, s 297 poginulih osoba. Preliminarni rezultati za 2020. godinu upućuju na daljnje smanjenje broja smrtnih nesreća, što je djelomično rezultat implementacije mjera iz petog Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa (2011. - 2020.). Iako cilj smanjenja broja poginulih na 213 nije bio u potpunosti ostvariv, zabilježen

je značajan trend smanjenja smrtnih slučajeva, koji ukazuje na uspjeh dosadašnjih napora u poboljšanju sigurnosti na cestama. [1]

U cilju nastavka tog pozitivnog trenda, izrađen je Šesti Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje 2021.-2030. Ovaj plan ima za cilj smanjenje broja smrtnih i teških ozljeda na cestama za 50% do 2030. godine. Plan je usklađen s međunarodnim smjernicama i zakonodavstvom, uključujući Deklaraciju iz Vallette, Okvirnu politiku EU-a za sigurnost na cestama (2021-2030), te Deklaraciju o sigurnosti prometa iz Stockholma, koje promoviraju smanjenje smrtnog stradavanja i teških ozljeda na cestama. Kroz implementaciju ovog plana, temeljenog na iskustvima iz prethodnih programa, te uzimajući u obzir nove izazove poput pandemije COVID-19, Hrvatska se obvezala poduzeti sve potrebne mjere kako bi osigurala sigurniji promet i smanjila broj teških nesreća. [1]

Opći cilj Nacionalnog plana je smanjenje broja poginulih osoba i teških prometnih nesreća, s naglaskom na "teške prometne nesreće" koje uključuju nesreće s fatalnim posljedicama ili teškim ozljedama. Kroz jasno definirane kvantitativne ciljeve i mjere, plan se usmjerava na poboljšanje infrastrukture, edukaciju sudionika u prometu i unapređenje zakonskih regulativa. Uspjeh ovog plana ovisi o učinkovitoj provedbi mjera od strane svih odgovornih institucija, a financiranje će biti osigurano iz različitih izvora. [1]

Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa predstavlja ključni strateški dokument Republike Hrvatske, čiji je cilj unaprijediti sigurnost na cestama do 2030. godine i tako doprinijeti smanjenju broja nesreća i teških posljedica za sudionike u prometu. [1]

2.1. USVOJENA ZAKONSKA REGULATIVA IZ PODRUČJA SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Usvojeno je devet zakonskih regulativa na europskoj i svjetskoj sceni iz područja sigurnosti cestovnog prometa, te Samim time su i obuhvaćene u Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa 2021.-2030.

- Deklaracija iz Vallete – Sigurnost cestovnog prometa u EU [2]
- Globalni akcijski plan cestovne sigurnosti prometa za 2011.2020. [3]
- Europske smjernice politike sigurnosti cestovnog prometa za 2011.-2020 [4]
- Stockholmska deklaracija [5]
- Okvir europske politike sigurnosti cestovnog prometa za 2021.-2030. [6]
- Ciljevi održivog razvoja [7]
- Sigurnost u prometu u Europskoj uniji: Trenutna Stanja i Izazovi
- Ususret 12 dragovoljnih globalnih ciljeva za sigurnost na cestama [8]
- Radar projekt – Dunavski transnacionalni program 2018 [9].

2.2. ANALIZA NACIONALNOG PLANA SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA ZA RAZDOBLJE 2021.-2030.

Biciklisti su jedna od najranjivijih skupina sudionika u prometu te često stradavaju u prometnim nesrećama. Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa za razdoblje 2021.-2030. godine prepoznaje ovu problematiku i donosi niz statističkih pokazatelja, uzroka nesreća te prijedloga mjera za poboljšanje sigurnosti biciklističkog prometa. [1]

Prema podacima Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa, biciklisti sudjeluju u značajnom broju prometnih nesreća s teškim posljedicama, prikaz Tablica 1. Udio biciklista u ukupnim teškim prometnim nesrećama iznosi 13%, dok su biciklisti u 62% slučajeva sami uzrok nesreće. Među stradalim biciklistima, 16% su maloljetnici, a 21% osobe starije od 65 godina, što ukazuje na potrebu za dodatnim mjerama zaštite ovih osjetljivih skupina. Nadalje, naleti na bicikliste čine 4,3% svih prometnih nesreća s poginulim i teško ozlijeđenim osobama. [1]

POKAZATELJ	POSTOTAK / BROJ SLUČAJEVA
Udio biciklista u teškim prometnim nesrećama	13%
Biciklisti uzrok nesreće	62% (8% ukupnih teških nesreća)
Maloljetni biciklisti u nesrećama	16%
Biciklisti stariji od 65 godina	21%
Udio naleta na bicikliste u nesrećama	
s teškim posljedicama	4,3%

Glavni uzroci nesreća u kojima sudjeluju biciklisti su nedostatak kvalitetne biciklističke infrastrukture, nepravilno ponašanje biciklista i drugih sudionika u prometu, slaba vidljivost biciklista, posebice noću i u uvjetima smanjene vidljivosti, te nedovoljna uporaba zaštitne opreme, poput kaciga i reflektirajućih prsluka. Problemi su također povezani s nedostatnim prometnim regulativama koje ne pružaju dostatnu zaštitu biciklistima u urbanim i ruralnim područjima.

Kako bi se smanjio broj nesreća i povećala sigurnost biciklista, Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa predviđa niz strateških mjera [1]:

Edukacija i preventivne aktivnosti

- Provođenje edukativnih programa za bicikliste s naglaskom na sigurnosnu opremu i pravilno ponašanje u prometu.
- Uvođenje biciklističkih ispita za povećanje prometne pismenosti biciklista.

Unapređenje biciklističke infrastrukture

- Prilagodba biciklističkih staza potrebama biciklističkog prometa.
- Implementacija sigurnosnih mjera u prometnim rješenjima s ciljem zaštite biciklista.

Izmjena zakonske regulative

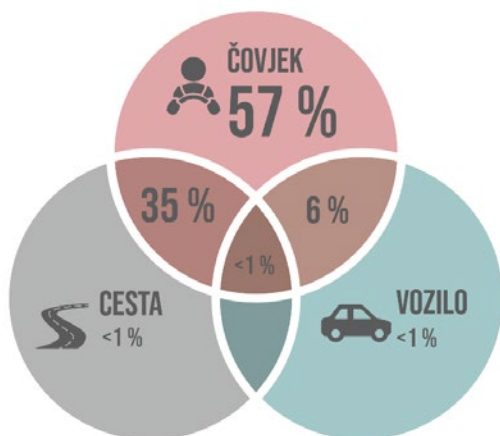
- Uvođenje strožih prometnih propisa za povećanje zaštite biciklista.
- Bolja integracija biciklističkog prometa u zakonske okvire cestovnog prometa.

Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa postavio je ambiciozan cilj smanjenja broja teških nesreća biciklista za 50% do 2030. godine. Kako bi se taj cilj postigao, potrebno je sustavno provoditi edukaciju, ulagati u infrastrukturu i prilagoditi prometne propise.

3. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA PROMETNE NESREĆE BIKIKLISTA

Biciklisti su jedna od najranjivijih skupina sudionika u prometu zbog svoje izloženosti i ograničene zaštite u slučaju sudara. Razumijevanje uzroka prometnih nesreća u kojima sudjeluju biciklisti ključno je za predlaganje i implementaciju mjera koje mogu smanjiti broj stradalih. Među najvažnijim čimbenicima su ponašanje vozača motornih vozila, greške i rizična ponašanja biciklista, uvjeti vidljivosti i vremenske prilike te kvaliteta biciklističke infrastrukture.

Prema analiziranim podacima, čovjek je potencijalni uzrok 57 % teških prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj. U kombinaciji s cestom, čovjek je potencijalni uzrok 35 % teških prometnih nesreća, dok je u kombinaciji s vozilom čovjek potencijalni uzrok 6 % teških prometnih nesreća. [1]



Slika 1 Osnovni čimbenici sigurnosti cestovnog prometa, Izvor: [1]

3.1. PONAŠANJE VOZAČA MOTORNIH VOZILA

Vozači motornih vozila često doprinose nesrećama s biciklistima zbog nepažnje, nepoštivanja prometnih propisa ili nesvjesnosti o prisutnosti biciklista u prometu.

- Neprilagođena brzina i nepoštivanje prednosti prolaska – Veliki broj nesreća događa se na raskrižjima gdje vozači motornih vozila ne ustupe prednost biciklistima [10].
- Vožnja pod utjecajem alkohola i droga – Alkoholizirani vozači imaju smanjene reflekse i percepciju, što povećava rizik od sudara
- Nepažnja i ometanje vozača – Korištenje mobilnih uređaja tijekom vožnje rezultira kašnjenjem u reakciji i smanjenom sposobnošću uočavanja biciklista
- Problem mrtvog kuta kod teretnih vozila i autobusa – Vozači većih vozila često ne vide bicikliste prilikom skretanja, što dovodi do ozbiljnih nesreća.

3.2 GREŠKE I RIZIČNA PONAŠANJA BIKIKLISTA

Biciklisti također mogu doprinijeti nastanku nesreća zbog nepoštivanja prometnih pravila ili neprilagođene vožnje.

- Nepoštivanje prometnih propisa – Neki biciklisti ne poštuju crvena svjetla, voze u suprotnom smjeru ili ne koriste za to predviđenu biciklističku infrastrukturu
- Vožnja bez reflektirajuće opreme i svjetala tijekom noći – Nedostatak odgovarajuće rasvjete na biciklima povećava rizik od nesreća u uvjetima smanjene vidljivosti
- Nedovoljna biciklistička edukacija i iskustvo – Nedostatak edukacije o sigurnoj vožnji bicikla može rezultirati opasnim situacijama

3.3 UVJETI VIDLJIVOSTI I VREMENSKE PRILIKE

Vidljivost i vremenski uvjeti značajno utječu na sigurnost biciklista, posebno u urbanim sredinama gdje postoji veća gustoća prometa.

- Utjecaj kiše, magle i snijega na sigurnost biciklista – Skliske ceste, smanjena vidljivost i dulji zaustavni put povećavaju rizik od nesreća
- Problem slabog osvjetljenja biciklističkih staza i kolnika – Loša javna rasvjeta pridonosi sudarima, osobito na prijelazima i raskrižjima
- Sezonske nesreće i učestalost stradanja biciklista tijekom ljeta – Ljetni mjeseci karakterizirani su povećanim brojem biciklista, što rezultira i većim brojem nesreća

3.4 INFRASTRUKTURA I KVALITETA BIKIKLISTIČKIH PROMETNICA

Kvaliteta biciklističke infrastrukture ključna je za sigurnost biciklista, a njezina neadekvatnost doprinosi povećanoj vjerojatnosti prometnih nesreća.

- Kvaliteta biciklističke infrastrukture – Loše održavane ili prekinute biciklističke staze mogu dovesti do rizičnih situacija u kojima se biciklisti moraju kretati prometnim trakama namijenjenima motornim vozilima
- Opasna križanja i nepregledne točke – Mjesta s lošom preglednošću, poput nepreglednih raskrižja i kružnih tokova, značajno povećavaju rizik od naleta na bicikliste
- Interakcija biciklista s pješacima i javnim prijevozom – Dijeljeni prostori između biciklista i pješaka ili biciklista i tramvajskih pruga mogu uzrokovati dodatne opasnosti.

4. ANALIZA PROMETNIH NESREĆA S BIKIKLISTIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U razdoblju od 2021. do 2023. godine u Republici Hrvatskoj zabilježeno je 33 prometne nesreće u kojima je došlo do naleta na biciklista s fatalnim posljedicama, 1.118 prometnih nesreća u kojima je došlo do naleta na biciklista s težim ili lakšim posljedicama te 247 prometnih nesreća u kojima je došlo do naleta na biciklista, a koje su rezultirale materijalnom štetom. Važno je napomenuti da su ovo podaci dobiveni od strane Ministarstva unutarnjih

poslova (MUP), te da brojke mogu biti veće zbog neprijavljenih prometnih nesreća, osobito onih koje su rezultirale isključivo lakšim ozljedama ili materijalnom štetom.

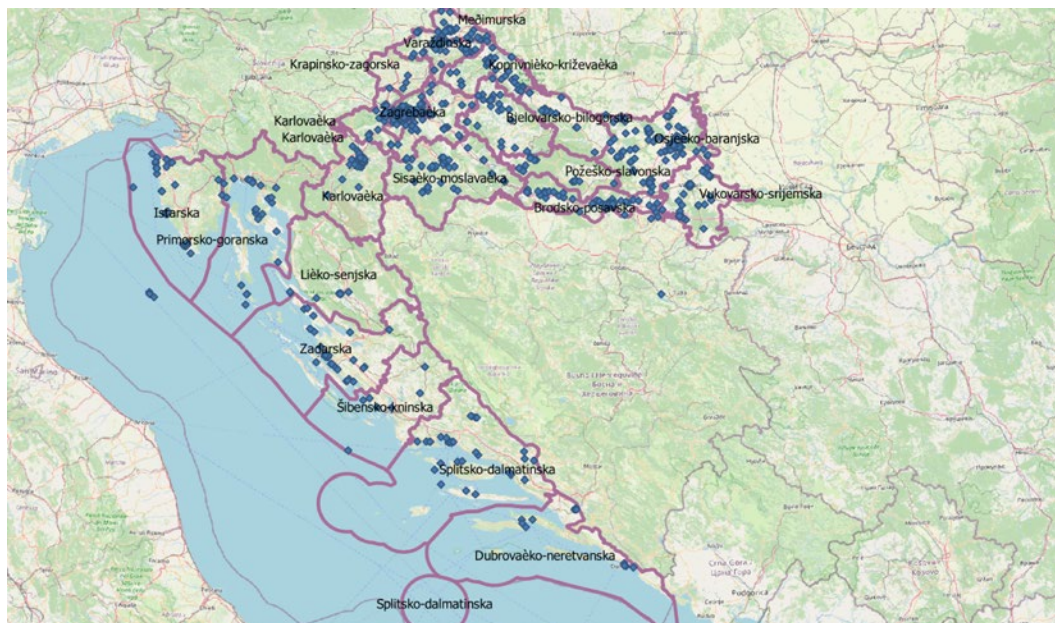
Slika 2 prikazuje prometne nesreće u RH u kojima je došlo do naleta na bicikl, ali koje su rezultirale isključivo materijalnom štetom, za razdoblje od 2021. do 2023. godine. Prema slici, vidljivo je da se najveći broj naleta dogodio u Gradu Zagrebu, njih 74, zatim u Osječko-baranjskoj županiji, njih 57, te u Brodsko-posavskoj županiji, njih 22. U ostalim županijama također su se dogodile nesreće s naletima na bicikliste koje su rezultirale materijalnom štetom, ali u manjim brojevima.



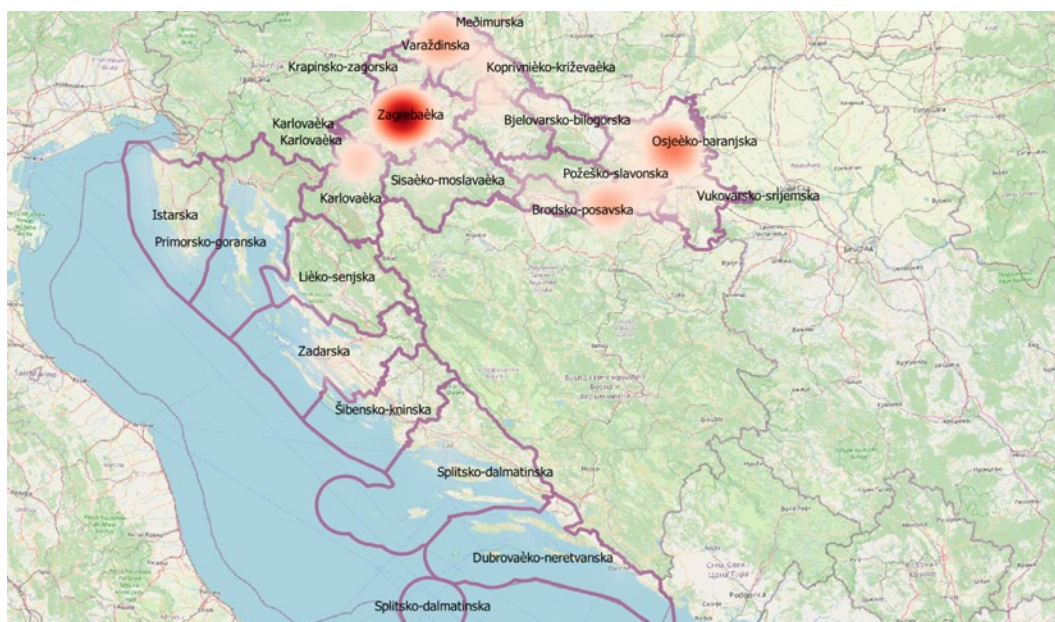
Slika 2. Prometne nesreće u RH u razdoblju od 2021.–2023. – Nalet na bicikl s materijalnom štetom

Slika 3 prikazuje prometne nesreće u RH u kojima je došlo do naleta na bicikl, a u kojima je biciklist teško ili lako stradao, za isto razdoblje. Zbog velikog broja prometnih nesreća, jasniju sliku prikazuje Slika 4, koja predstavlja žarišnu mapu predmetnih prometnih nesreća. Jasno je vidljivo kako je najveće žarište u Gradu Zagrebu s 235 prometnih nesreća, zatim Varaždinska županija s 70 prometnih nesreća, Osječko-baranjska županija s 202 prometne nesreće, te Brodsko-posavska županija s 101 prometnom nesrećom.

Slika 5 prikazuje prometne nesreće u RH u kojima je došlo do naleta na bicikl s poginulim osobama u istom vremenskom razdoblju. Ukupno su se dogodile 33 prometne nesreće u 15 županija s smrtnim posljedicama. U razdoblju analize zabilježene su dvije prometne nesreće u Gradu Zagrebu, tri u Zagrebačkoj županiji, pet u Varaždinskoj županiji, dvije u Međimurskoj županiji, dvije u Sisačko-moslavačkoj županiji, jedna u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji, jedna u Virovitičko-podravskoj županiji, jedna u Brodsko-posavskoj županiji, sedam u Osječko-baranjskoj županiji, dvije u Vukovarsko-srijemskoj županiji, dvije u Karlovačkoj županiji, jedna u Istarskoj županiji, jedna u Primorsko-goranskoj županiji, jedna u Zadarskoj županiji te dvije u Splitsko-dalmatinskoj županiji.



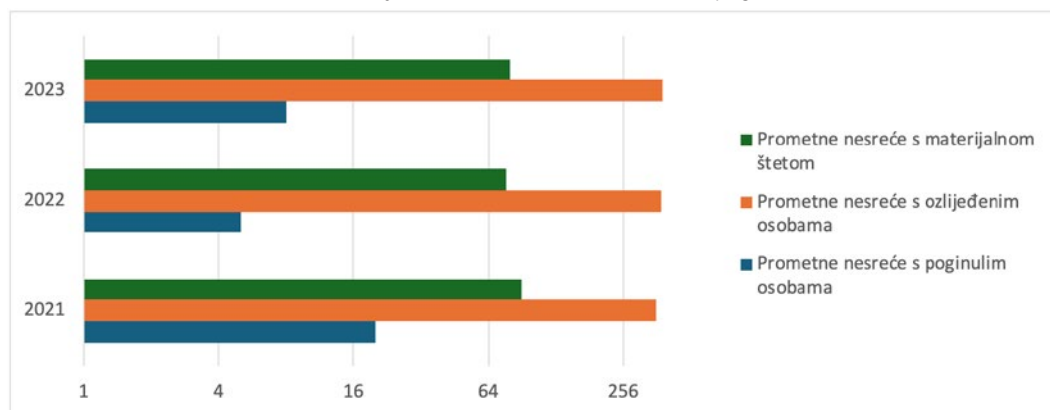
Slika 3. Prometne nesreće u RH u razdoblju od 2021.–2023. - Nalet na bicikl s teško i lako ozlijeđenima



Slika 4. Žarišna mapa prometnih nesreća u RH - nalet na bicikl s teško i lako ozlijeđenima



Slika 5. Prometne nesreće u RH u razdoblju od 2021.–2023. – nalet na bicikl s poginulim osobama



Grafikon 1. Prometne nesreće s naletom na biciklista prema godinama

Grafikon 1 prikazuje podatke o prometnim nesrećama s naletom na bicikliste tijekom razdoblja od 2021. do 2023. godine, s obzirom na vrstu nesreće.

U 2021. godini zabilježeno je 20 nesreća s poginulim osobama, pri čemu je broj nesreća s ozlijeđenim osobama iznosio 359, a s materijalnom štetom 90. U 2022. godini došlo je do značajnog smanjenja broja nesreća s poginulim biciklistima na 5, pri čemu je broj nesreća s ozlijeđenim osobama porastao na 376, a nesreća s materijalnom štetom smanjen na 77. Godina 2023. bilježi blagi porast broja nesreća s poginulim osobama na 8, pri čemu su nesreće s ozlijeđenim osobama porasle na 383, a nesreće s materijalnom štetom porasle na 80. Ukupni broj nesreća u 2021. godini iznosio je 469, u 2022. godini smanjen je na 458, pri čemu je 2023. godine porastao na 471.

Analizirajući ove podatke, primjećujemo se da broj prometnih nesreća s poginulim osobama značajno opada u 2022. godini, što ukazuje na uspješnost mjera za poboljšanje sigurnosti na cestama. Međutim, blagi porast u 2023. godini može ukazivati na potrebe za dodatnim sigurnosnim mjerama i pažnjom u ovom segmentu. S druge strane, broj nesreća s ozlijeđenim

osobama i dalje raste, što zahtijeva daljnje napore u prevenciji ozljeda, osobito onih lakših, koji čine najveći postotak nesreća. Smanjenje nesreća s materijalnom štetom u 2022. godini također ukazuje na potencijalne pozitivne promjene u ponašanju vozača, iako blagi porast u 2023. godini sugerira potrebu za dodatnim naporima.

Ukupno gledajući, iako je došlo do smanjenja broja nesreća s poginulim osobama, broj nesreća s ozlijeđenim osobama i materijalnom štetom nije značajno opao, a u nekim je slučajevima zabilježen blagi porast. Ovo pokazuje da i dalje postoji potreba za kontinuiranim poboljšanjem prometne sigurnosti, osobito u prevenciji lakših ozljeda i smanjenju materijalne štete. Osim toga, potrebno je analizirati specifične čimbenike koji utječu na ove nesreće kako bi se implementirale ciljanije strategije za daljnje smanjenje ukupnog broja nesreća i poboljšanje sigurnosti na cestama.

Grafikon 2 prikazuje kako su najčešći uzroci nesreća povezani s nepravilnim ponašanjem vozača, pri čemu se ističu nepropisno uključivanje u promet (375 nesreća), nepoštivanje prednosti prolaska (302 nesreće) te brzina neprimjerena uvjetima (108 nesreća). Ovi podaci ukazuju na potrebu za poboljšanjem prometne kulture i dodatnim mjerama za povećanje sigurnosti u cestovnom prometu.

Posebno zabrinjavaju nesreće sa smrtnim ishodom, kojih je najviše uzrokovano brzinom neprimjerenom uvjetima (7 smrtnih slučajeva), nepropisnim pretjecanjem (4 smrtna slučaja), nepropisnim skretanjem (4 smrtna slučaja) te nepropisnim okretanjem vozila na kolniku (4 smrtna slučaja). Ovi podaci potvrđuju da neodgovorno i rizično ponašanje vozača, osobito pri neprilagođenoj brzini i nepravilnim manevrima, može imati fatalne posljedice.

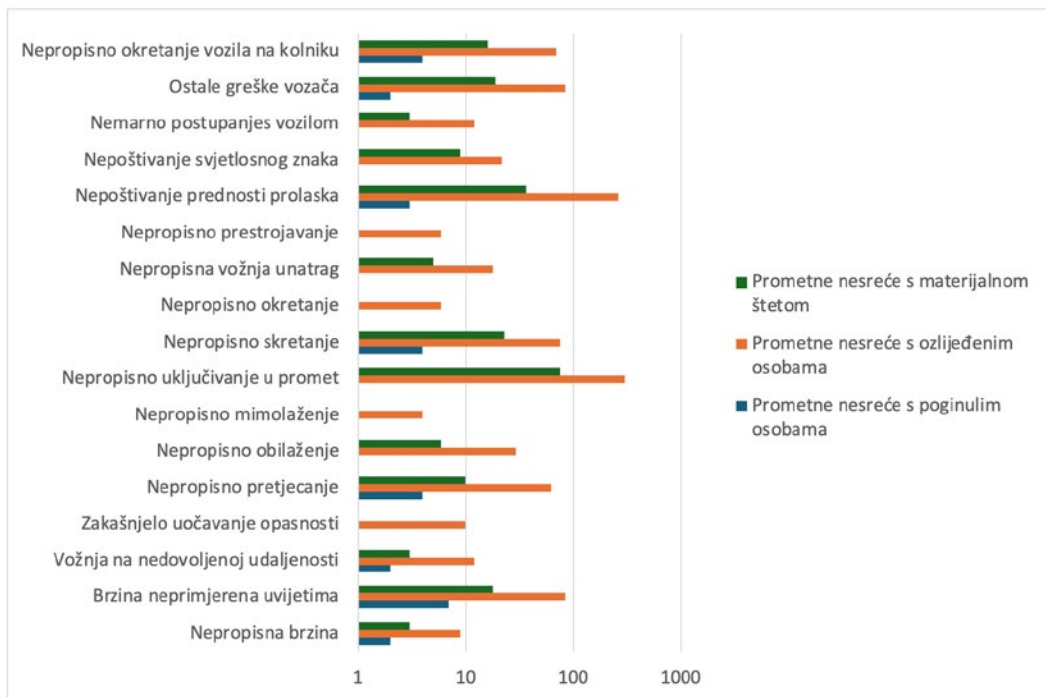
Kada se promatraju nesreće s ozlijeđenim osobama, ističu se nepropisno uključivanje u promet (299 nesreća s ozlijeđenima), nepoštivanje prednosti prolaska (263 nesreće) i brzina neprimjerena uvjetima (83 nesreće). Ovi podaci naglašavaju važnost dosljedne primjene prometnih pravila i kontinuirane edukacije vozača kako bi se smanjio broj nesreća s težim posljedicama.

S druge strane, najčešći uzroci nesreća s materijalnom štetom su nepropisno uključivanje u promet (76 slučajeva), nepropisno skretanje (23 slučaja) te nepropisno okretanje vozila na kolniku (16 slučajeva). Iako ove nesreće ne rezultiraju teškim posljedicama za sudionike, one i dalje predstavljaju značajan problem u prometu, uzrokujući ekonomske troškove i smanjenje protoka prometa.

Grafikon 3 prikazuje posljedice prometne nesreće s biciklistima prema okolnostima, ali gdje su nastale prometne nesreće zbog greške pješaka ili ostalih sudionika u prometu. Ukupno je zabilježeno 73 prometne nesreće.

Najčešći uzrok u ovoj skupini su ostale greške i propusti s ukupno 40 nesreća, od kojih su 2 završile sa smrtnim ishodom, 26 s ozlijeđenim osobama, a 12 s materijalnom štetom. Ovi podaci upućuju na postojanje širokog spektra individualnih grešaka koje ne ulaze u klasične kategorije uzroka prometnih nesreća, ali i dalje značajno doprinose ukupnoj nesigurnosti u prometu.

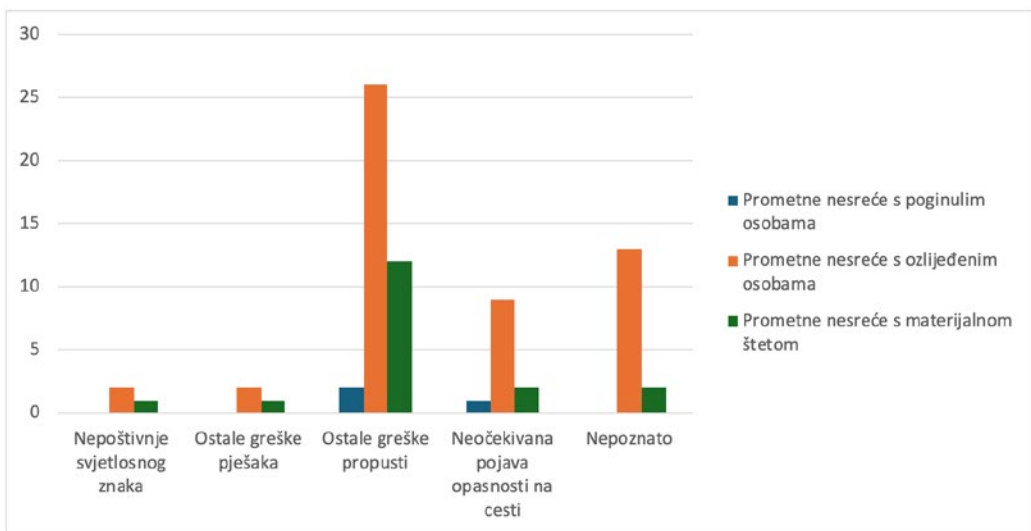
Neočekivana pojava opasnosti na cesti uzrokovala je 12 nesreća, među kojima je 1 bila sa smrtnim ishodom, 9 s ozlijeđenima, a 2 s materijalnom štetom. Ovaj podatak naglašava važnost brzih reakcija vozača u neočekivanim situacijama te potrebu za boljim sustavima signalizacije i prevencije opasnosti na cestama.



Grafikon 2. Posljedice prometnih nesreća s biciklistima prema okolnostima – greške vozača

Nepoznati uzroci odgovorni su za 15 nesreća, uključujući 13 s ozlijeđenim osobama i 2 s materijalnom štetom. Ovaj segment ukazuje na mogućnost nedostatka preciznih podataka prilikom obrade nesreća ili složenost situacija koje nisu mogle biti jasno definirane.

Osim toga, nepoštivanje svjetlosnog znaka i ostale greške pješaka pridonijele su svaka sa po 3 nesreće, pri čemu su u oba slučaja 2 nesreće rezultirale ozlijeđenim osobama, a 1 materijalnom štetom. Ovo ukazuje na potrebu za podizanjem svijesti o prometnim pravilima među svim sudionicima u prometu, uključujući i pješake.



Grafikon 3. Posljedice prometne nesreće s biciklistima prema okolnostima – greške pješaka i ostalih sudionika

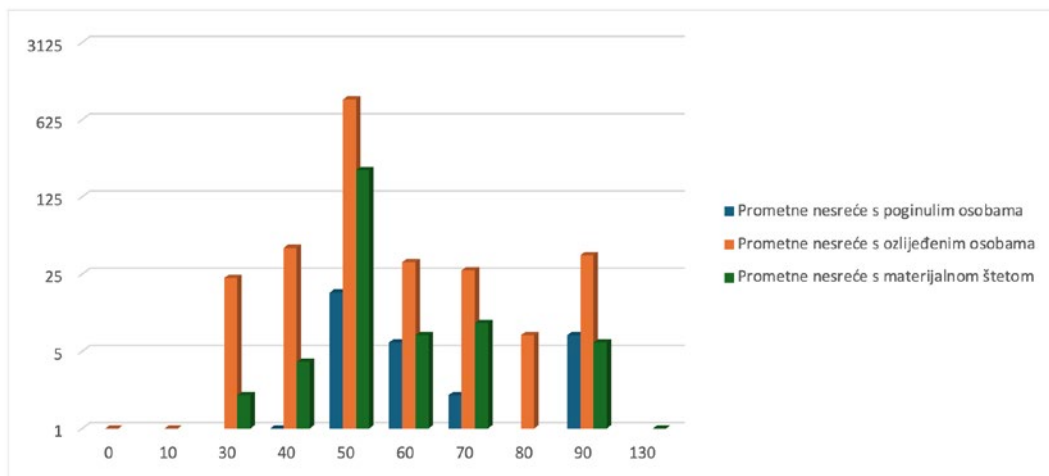
Grafikon 4 prikazuje prometne nesreće prema ograničenju brzine koje je postavljeno na predmetnim prometnicama na kojima se dogodila prometna nesreća.

Analiza pokazuje da je najveći broj nesreća zabilježen pri ograničenju od 50 km/h, s ukupno 1182 nesreće, što čini značajan udio u ukupnom broju nesreća (1398). Unutar te kategorije zabilježeno je 17 nesreća sa smrtnim ishodom, 947 nesreća s ozlijeđenim osobama, te 218 nesreća s materijalnom štetom, što potvrđuje da su upravo gradske prometnice, gdje se najčešće primjenjuje ograničenje od 50 km/h, područja visokog rizika.

Sljedeća najrizičnija kategorija je 40 km/h, s ukupno 48 nesreća, od čega je 1 nesreća bila sa smrtnim ishodom, 43 s ozlijeđenim osobama, a 4 s materijalnom štetom. Također, brzine od 30 km/h zabilježile su 25 nesreća, pri čemu su 2 bile s materijalnom štetom, dok je čak 23 nesreće uključivalo ozlijeđene osobe, što ukazuje na to da i relativno niske brzine ne isključuju rizik od nesreća s težim posljedicama.

U višim kategorijama brzine, pri 90 km/h je zabilježeno 50 nesreća, pri čemu su 7 bile sa smrtnim ishodom, 37 s ozlijeđenim osobama, te 6 s materijalnom štetom. Brzine od 60 km/h i 70 km/h rezultirale su ukupno sa 45 i 38 nesreća, s time da su obje kategorije uključivale nesreće sa smrtnim posljedicama (6 i 2 slučaja). Kategorija 80 km/h imala je 7 nesreća, dok je kod 130 km/h zabilježena samo jedna nesreća, ali s materijalnom štetom.

Posebno treba naglasiti da je u kategoriji nepoznate ili neutvrđene brzine (0 km/h, 10 km/h) registriran minimalan broj nesreća, što može ukazivati na nesvrstanost u bazu podataka ili slučajeve gdje brzina nije bila ključan faktor.



Grafikon 4. Prometne nesreće s biciklistima prema ograničenju brzine

5. ZAKLJUČAK

Analizom dostupnih podataka uočava se da su biciklisti izrazito ranjiva skupina u cestovnom prometu. Unatoč rastućem trendu korištenja bicikla kao prijevoznog sredstva, sigurnosni aspekti biciklističkog prometa nisu dovoljno razvijeni. Problem nedostatka kvalitetne biciklističke infrastrukture, nesavjesnost ostalih sudionika u prometu te nepridržavanje prometnih pravila s obje strane značajno doprinose povećanom broju prometnih nesreća u kojima sudjeluju biciklisti.

Statistički podaci prikazuju da biciklisti često stradaju zbog naleta motornih vozila, pri čemu su nepropisno uključivanje u promet, nepoštivanje prednosti i neprilagođena brzina najčešći uzroci prometnih nesreća. Poseban problem predstavlja loša vidljivost odnosno uočljivost biciklista, osobito u noćnim uvjetima ili nepovoljnim vremenskim prilikama, što dodatno povećava rizik događanja prometne nesreće. Također, upotreba zaštitne opreme poput kaciga i reflektirajućih prsluka i dalje nije dovoljno raširena među biciklistima, unatoč jasnim dokazima o njihovoj učinkovitosti u smanjenju ozljeda.

Mjere predložene u Nacionalnom planu sigurnosti cestovnog prometa uključuju poboljšanje biciklističke infrastrukture, strožu zakonsku regulativu i jačanje edukacijskih programa. Planirani cilj smanjenja teških prometnih nesreća biciklista za 50% do 2030. godine može biti ostvariv jedino uz sustavni pristup i kontinuirana ulaganja u sigurnost.

U konačnici, sigurnost biciklističkog prometa ne može biti izolirana odgovornost jedne skupine sudionika u prometu. Potrebna je suradnja između biciklista, vozača motornih vozila, prometnih stručnjaka i donositelja politika kako bi se stvorilo sigurno okruženje za sve sudionike u prometu. Edukacija biciklista, ali i drugih sudionika u prometu, u kombinaciji s kvalitetnim infrastrukturnim rješenjima i zakonskim mjerama, ključna je za smanjenje broja prometnih nesreća i poboljšanje sigurnosti biciklista u Republici Hrvatskoj.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo unutarnjih poslova, "NACIONALNI PLAN SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA REPUBLIKE HRVATSKE ZA RAZDOBLJE OD 2021. DO 2030.," MUP, Zagreb, 2021.
- [2] iPAAC, "The Valletta Declaration," 2018. [Online]. Available: <https://www.ipaac.eu/roadmap/detail/5>. [Accessed 11 03 2025].
- [3] UN, "Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020," 2011. [Online]. Available: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/documents/un-road-safety-collaboration/global_plan_doa_2011-2020.pdf?sfvrsn=a34009ff_3&download=true. [Accessed 10 03 2025].
- [4] European commission, "Eur-Lex," 09 05 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/road-safety-policy-orientations-on-road-safety-2011-20.html?fromSummary=32>. [Accessed 10 03 2025].
- [5] UN, "Environment and sustainable development," [Online]. Available: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>. [Accessed 11 03 2025].
- [6] European parliament, "European Parliament resolution of 6 October 2021 on the EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Recommendations on next steps towards 'Vision Zero' (2021/2014(INI))," 06 10 2021. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0407_EN.html. [Accessed 10 03 2025].
- [7] UN, "United Nations," [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals>. [Accessed 11 03 2025].
- [8] Global Road Safety Partnership, "Voluntary global targets for road safety," 12 02 2020. [Online]. Available: <https://www.grsroadsafety.org/voluntary-global-targets-for-road-safety/>. [Accessed 10 03 2025].
- [9] RADAR project, "The RADAR project presents its Status Report on the analysis of road safety performance, knowledge and practice in 10 countries across the Danube area," Interreg Danube Transnational Programme, 2018.

PREGLED I ANALIZA LOKACIJA PROMETNIH NESREĆA S POGINULIM PJEŠACIMA NA ŽUPANIJSKIM, LOKALNIM I OSTALIM NERAZVRSTANIM CESTAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

REVIEW AND ANALYSIS OF LOCATIONS OF TRAFFIC ACCIDENTS WITH FATAL PEDESTRIAN CASUALTIES ON COUNTY, LOCAL, AND OTHER UNCLASSIFIED ROADS IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Izv. prof. dr. sc. **Željko Šarić**, Andrej Kunštek, mag. ing. traff., **Tomislav Kučinić**, mag. ing. traff., **Ivana Vuk**, univ. bacc. ing. traff.

Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

SAŽETAK

Pješaci čine specifičnu kategoriju sudionika u cestovnom prometu, pri čemu se pješački promet ističe svojom dostupnošću, neovisno o dobi ili poznavanju prometnih pravila. Za razliku od drugih sudionika u prometu, pješaci nisu izloženi određenoj vrsti sigurnosnih sustava kao vozači i putnici u vozilima te samim time predstavljaju najranjiviju skupinu sudionika u cestovnom prometu. U prometnim nesrećama u kojima su sudjelovali pješaci, čak 95% sudionika je zadobilo lake ili teške ozljede, a s obzirom da prometne nesreće u kojima su sudjelovali pješaci čine samo 4% ukupnih prometnih nesreća, one predstavljaju približno 16% svih prometnih nesreća s poginulim osobama, što ukazuje na izrazitu ranjivost ove skupine sudionika u cestovnom prometu. S ciljem boljeg razumijevanja ovog problema, u ovom radu je provedena analiza prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci tijekom trogodišnjeg razdoblja u Republici Hrvatskoj. Također, a kako bi se utjecalo na smanjenje broja prometnih nesreća sa poginulim pješacima i omogućilo predlaganje mjera za povećanje sigurnosti cestovnog prometa, a sve na temelju utvrđenih nedostataka na određenoj lokaciji, u radu su prikazani rezultati do sad pregledanih i analiziranih lokacija prometnih nesreća sa poginulim pješacima, tijekom 2022. i 2023. godine, na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama Republike Hrvatske.

SUMMARY

Pedestrians represent a specific category of road users, with pedestrian traffic being notable for its accessibility, regardless of age or knowledge of traffic regulations. Unlike other road users, pedestrians are not protected by specific safety systems like drivers and passengers in vehicles, making them the most vulnerable group in road traffic. In traffic accidents involving pedestrians, as many as 95% of those involved sustained minor or severe injuries. Although pedestrian-related accidents account for only 4% of all traffic accidents, they represent approximately 16% of all fatal outcomes, highlighting the extreme vulnerability of this group. To gain a better understanding of this issue, this study analyzes pedestrian-involved traffic accidents over a three-year period in the Republic of Croatia. Furthermore, to reduce the number of fatal pedestrian accidents and facilitate the proposal of measures to improve road traffic safety—based on identified deficiencies at specific locations—this study presents the results of analyzed accident locations involving pedestrian fatalities on county, local, and other unclassified roads in the Republic of Croatia during 2022 and 2023.

1. UVOD

U svrhu dobivanja detaljnog uvida u cjelokupno stanje sigurnosti pješaka u Republici Hrvatskoj, neophodno je analizirati statističke podatke o prometnim nesrećama u kojima su sudjelovali pješaci, kroz određeni vremenski period. Upravo iz tog razloga, u ovom radu, u vremenskom periodu od tri godine odnosno od 2021. do 2023. godine, analizirane su prometne nesreće u kojima su sudjelovali pješaci. Statističkom analizom utvrđeno je da prometne nesreće u kojima su sudjelovali pješaci čine 4% ukupnih prometnih nesreća, ali generalno one predstavljaju približno 16% svih smrtnih ishoda u cestovnom prometu [1]-[3]. S obzirom na navedeno, potrebno je detaljnije i dublje analizirati takve prometne nesreće, a i imajući u vidu i različita međunarodna iskustva, pristupiti i terenskom pregledu lokacije iste, a sve kako bi se pokušali utvrditi eventualni nedostaci koji su mogli utjecati na nastanak konkretne prometne nesreće.

U sklopu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2021 – 2030. drugu godinu za redom provodi se projekt „Pregled lokacija prometnih nesreća s poginulim osobama na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama s prijedlogom mjera za povećanje sigurnosti temeljem utvrđenih nedostataka na lokacijama“. Projekt obuhvaća pregled svih lokacija prometnih nesreća s poginulim osobama na gore navedenim cestama, ali s obzirom da su pješaci najranjivija skupina sudionika u prometu, poseban naglasak je stavljen na lokacije prometnih nesreća s poginulim pješacima odnosno pregledu i analizi istih pristupilo se detaljnije, s ciljem predlaganja učinkovitih mjera za povećanje sigurnosti prometa, a samim time i smanjenju broja takvih prometnih nesreća na konkretnim lokacijama.

Lokacije prometnih nesreća s poginulim pješacima na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama, koju su bile za pregled na terenu, određene su temeljem prikupljenih statističkih podataka o prometnim nesrećama na navedenim cestama tijekom 2022. i 2023. godine odnosno u dvije godine za koje se provodi prethodno navedeni projekt. Za svaku lokacija koja je bila uspješno geografski pozicionirana izrađen je obrazac pregleda, koji je sadržavao osnovne podatke o prometnoj nesreći te dio namijenjen unosu geometrijsko-tehničkih izmjera ceste i uočenih nedostataka prilikom pregleda predmetne lokacije na terenu. Nakon provedenog pregleda lokacije prometne nesreće s poginulim pješakom, pristupilo se analizi prikupljenih podataka te eventualnom predlaganju mjera za povećanje sigurnosti prometa.

2. PODJELA PROMETNIH NESREĆA NALETA NA PJEŠAKA

Analiza prometnih nesreća u kojima su sudjelovala vozila i pješaci zahtijevaju poseban pristup zbog kompleksnosti sudarnih procesa. Naletom na pješaka smatra se svaki kontakt tijela pješaka s vozilom koje je u pokretu. Specifičnost takvih sudara leži u činjenici da je brzina pješaka u trenutku naleta manja od brzine kretanja vozila. Zbog razlike u masi pješaka i vozila, težište tijela pješaka tijekom frontalnog naleta usmjereno je u smjeru kretanja vozila. Prema tome, duljina i smjer odbačaja pješaka ne ovisi samo o brzini kretanja vozila već i o konstrukcijskoj značajci prednjeg dijela vozila [4]. Prema vrsti naleta, nalet vozila na pješaka može se podijeliti frontalni nalet, bočno okrznuće i pregaženje prikazano u Grafikonu 1., a još se može podijeliti prema primarnom kontaktu tijela pješaka i vozila.



Grafikon 1. Podjela prometnih nesreća naleta na pješaka, Izvor: [4]

Frontalnim naletom smatra se udar prednjeg dijela vozila u tijelo pješaka koje se nalazi potpuno ili djelomično unutar konture vozila. Ovisno o položaju pješaka, razlikuju se potpuni i djelomični frontalni nalet. Kod potpunog frontalnog naleta, tijelo pješaka u potpunosti se nalazi unutar konture vozila te tijekom sudarnog procesa djelomično ili potpuno poprima brzinu kretanja vozila.

Djelomični frontalni nalet odnosi se na udar prednjeg dijela vozila u tijelo pješaka kada se pješak ne nalazi u potpunosti unutar konture prednjeg dijela vozila. Ako se pješak u trenutku naleta kreće u izlaznoj putanji, odnosno napušta konturu prednjeg dijela vozila, riječ je o djelomično frontalnom izlaznom naletu. S druge strane, ako se pješak kreće prema putanji kretanja vozila i djelomično ulazi u njegovu konturu, tada se radi o djelomično frontalnom ulaznom naletu.

Prometna nesreća okarakterizirana kao bočno okrznuće nastaje kada pješak dolazi u kontakt s bočnim dijelom vozila. Tipično okrznuće podrazumijeva dodir tijela pješaka s bočnom stranom vozila, i to s dijelom smještenim iza ravnine prednjeg dijela vozila. Tijekom ovog tipa sudara, vektor težišta tijela pješaka usmjeren je prema naprijed i u stranu, uz mogućnost rotacije oko središnje vertikalne osi težišta. S druge strane, atipično okrznuće događa se kada pješak dođe u kontakt s isturenim dijelovima vozila ili s odvojenim dijelovima koji se odvoje s vozila i udare u pješaka. To mogu biti, primjerice, bočna vanjska zrcala ili teret smješten na krovu vozila [4].

Posljednja kategorija sudarnog procesa između pješaka i vozila jest pregaženje. Ono se definira kao prometna nesreća u kojoj vozilo prelazi preko tijela pješaka, pri čemu tijelo nije u izravnom kontaktu s kotačima, već samo s donjim postrojem vozila. Ako vozilo barem jednim kotačem prijeđe preko dijela tijela pješaka, takav slučaj naziva se pregaženje s prelaskom. Osim toga, pregaženje se može klasificirati kao jednostavno ili kompleksno, ovisno o položaju tijela neposredno prije prometne nesreće. Jednostavno pregaženje nastaje kada pješak već leži na podlozi prije naleta, a to ležanje nije uzrokovano prethodnim kontaktom s vozilom. S druge strane, kompleksno pregaženje nastaje kada je tijelo pješaka u ležećem položaju zbog prethodnog naleta vozila, nakon čega dolazi do pregaženja [5].

3. STANJE SIGURNOSTI PJEŠAKA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Općenito, u Republici Hrvatskoj u trogodišnjem razdoblju od 2021. – 2023. godine dogodilo se ukupno 98.618 prometnih nesreća evidentiranih od strane Ministarstva unutarnjih poslova, što prosječno iznosi 32.873 prometne nesreće godišnje. U promatranom razdoblju

najviše prometnih nesreća je zabilježeno u 2023. godini, njih čak 34.604, dok je najmanje prometnih nesreća u istom razdoblju zabilježeno u 2021. godini, a što se može pridodati godini koja je bila zahvaćena pandemijom Covid-19. Detaljan prikaz prometnih nesreća s obzirom na posljedice i trogodišnje razdoblje prikazan je u Tablici 1.

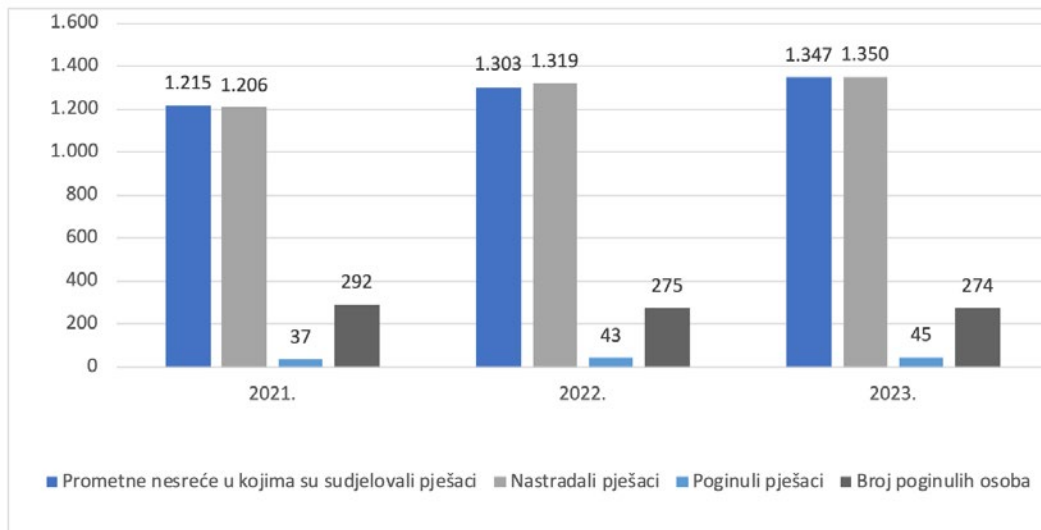
Tablica 1. Broj prometnih nesreća u trogodišnjem razdoblju u Republici Hrvatskoj s obzirom na posljedice, Izvor: [1]–[3]

	2021.	2022.	2023.
Ukupan br. prometnih nesreća	31.453	32.561	34.604
Prometne nesreće s materijalnom štetom	22.307	22.556	23.971
Prometne nesreće s ozlijeđenim osobama	8.883	9.762	10.382
Prometne nesreće s poginulim osobama	263	243	251

Prometne nesreće mogu se podijeliti na nekoliko različitih kategorija, a jedna od kategorija je s obzirom na posljedice. Prema tome, prometne nesreće s obzirom na posljedice dijele se na prometne nesreće kod kojih je nastala samo materijalna šteta, zatim na prometne nesreće s ozlijeđenim osobama te na prometne nesreće s poginulim osobama. Prema Tablici 1. proizlazi da prometne nesreće s materijalnom štetom čine najveći udio svih prometnih nesreća u iznosu od oko 69%, zatim slijede prometne nesreće s ozlijeđenim osobama s postotkom od oko 30% i na kraju s 1% prometne nesreća s poginulim osobama. Analizirajući prometne nesreće s poginulim osobama u promatranom razdoblju, vidljivo je da je najviše prometnih nesreća s istima bilo u 2021. godini, godinu poslije taj broj je pao za 20 prometnih nesreća, a u 2023. godini isti se opet povećao te je iznosio kao 251 prometna nesreća s poginulim osobama [1]–[3].

Pješaci su uz motocikliste i bicikliste najranjivija skupina sudionika u prometu, a upravo je pješački promet i najdostupniji oblik prometa. U Republici Hrvatskoj u vremenskom periodu od 2021. do 2023. godine dogodilo se 98.618 prometnih nesreća, od kojih je 29.027 prometnih nesreća zabilježeno s ozlijeđenim osobama. Kao vrsta prometne nesreće nalet na pješaka, u trogodišnjem razdoblju, ukupno je zabilježeno 3.865 prometnih nesreća u kojima je smrtno stradalo 125 pješaka, a ozlijeđeno 3.875 pješaka [1]–[3]. Prema tome, udio prometnih nesreća koje su okarakterizirane kao nalet na pješaka iznosi oko 4% ukupnog broja prometnih nesreća u promatranom razdoblju, a ako se promatra broj sudionika u prometnim nesrećama, nastradali pješaci čine oko 10% istih od ukupnog broja. Kako je i ranije navedeno, u promatranom razdoblju smrtno je stradalo 125 pješaka, a što čini oko 15% svih smrtno stradalih sudionika u prometnim nesrećama, kako je to grafički prikazano na Grafikonu 2.

Na Grafikonu 2. vidljivi su međusobni odnosi prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci, broj nastradalih pješaka, broj poginulih pješaka te ukupan broj poginulih osoba u prometu za promatrano razdoblje. Analizirajući broj prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci po godinama, vidljivo je da isti kontinuirano raste iz godinu u godinu, pa je prema tome u 2023. godini bilo oko 10% više prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci nego u 2021. godini. Isti slučaj je vidljiv i sa brojem nastradalih i poginulih pješaka u promatranom razdoblju. U 2023. godini, oko 11% više pješaka je nastradalo u prometnim nesrećama u odnosu na 2021. godinu, dok je također u navedenoj godini 18% više pješaka poginulo u istima.



Grafikon 2. Broj prometnih nesreća, poginulih i nastradalih pješaka u trogodišnjem razdoblju, Izvor: [1]–[3]

Analizirajući prometne nesreće u kojima su sudjelovali pješaci prema karakteristikama ceste na kojima su se iste dogodile, proizlazi da su u promatranom trogodišnjem razdoblju te prometne nesreće evidentirane na 18 različitih karakteristika cesta vidljivih iz Tablice 2. u nastavku.

Iz Tablice 2. vidljivo je da je najviše prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci, ako se promatra karakteristika ceste, zabilježeno na ravnom cestovnom potezu odnosno oko 34% istih. Slijede pješački prijelazi sa 15% zabilježenih prometnih nesreća te četverokraka raskrižja na kojima je ukupno evidentirano 14,5% prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci. U navedenoj tablici, prikazan je i ukupan broj prometnih nesreća u kojima je bilo smrtno stradalih pješaka, a isti je za promatrano razdoblje od 2021. do 2023. godine iznosio 119. Iz navedenih statističkih podataka proizlazi da je u promatranom razdoblju najviše pješaka poginulo na ravnom cestovnom potezu, čak 42%. Druga po redu od karakteristika ceste na kojoj je bilo poginulih pješaka je pješački prijelaz sa 13%, a slijede ga T-raskrižje sa 12% i zavoj sa 11% prometnih nesreća od ukupnog broja prometnih nesreća s poginulim pješacima.

U slijedećoj tablici odnosno Tablici 3. prikazane su sve zastupljene okolnosti koje su prethodile nastanku prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci. Najviše prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci prema evidenciji Ministarstva unutarnjih poslova, nastalo je zbog ostalih grešaka pješaka odnosno oko 25% od ukupnog broja prometnih nesreća s istima. Slijedeća okolnost koja je prethodila nastanku prometnih nesreća s pješacima je brzina neprimjerena uvjetima sa 15%, a nakon čega slijedi nepropisna vožnja unatrag sa zastupljenošću u prometnim nesrećama s pješacima od oko 11%. Također, važno je napomenuti da policijski službenici u 170 prometnih nesreća odnosno u 4% istih, nisu naveli okolnost koja prethodila nastanku prometne nesreće. Nadalje, ako se promatra broj prometnih nesreća s poginulim pješacima, iz ranije navedene tablice proizlazi da je čak u 38% prometnih nesreća okolnost nastanka iste bila brzina neprimjerena uvjetima, slijede ju ostale greške vozača sa 13% i ostale greške pješaka sa 6% [1]–[3].

Tablica 2. Broj prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci te broj prometnih nesreća s poginulim pješacima u odnosu na karakteristiku ceste, Izvor: [1]-[3]

Karakteristika ceste	Broj prometnih nesreća	Broj prometnih nesreća s poginulim pješacima
Biciklistička staza	24	1
Četverokrako raskrižje	563	9
Raskrižje u više razina	6	1
Kružni tok	62	3
Most	4	1
Nadvožnjak	1	0
Nogostup	45	0
Ostalo	150	3
Parkiralište	209	2
Pješačka zona	143	1
Pješački prijelaz	575	16
Podvožnjak	1	0
Prijelaz preko željezničke pruge	1	0
Ravni cestovni potez	1326	50
T-raskrižje	513	14
Y-raskrižje	70	5
Zavoj	166	13
Zona smirenog prometa	6	0
UKUPNO	3.865	119

Tablica 3. Okolnosti nastanka prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci

Okolnosti nastanka prometnih nesreća	Broj prometnih nesreća	Broj prometnih nesreća s poginulim pješacima
Brzina neprimjerena uvjetima	592	45
Iznenadni kvar vozila	1	0
Naglo usporavanje - kočenje	1	0
Nekorištenje obilježenog pješačkog prijelaza	203	7
Nekorištenje pothodnika/nathodnika	3	1
Nemarno postupanje s vozilom	13	0
Neočekivana pojava opasnosti na cesti	28	1
Nepoštivanje prednosti prolaska	187	3
Nepoštivanje svjetlosnog znaka	122	1

Okolnosti nastanka prometnih nesreća	Broj prometnih nesreća	Broj prometnih nesreća s poginulim pješacima
Nepropisna brzina	18	0
Nepropisna vožnja unatrag	412	6
Nepropisno kretanje vozila na kolniku	151	7
Nepropisno mimoilaženje	2	0
Nepropisno obilaženje	26	1
Nepropisno okretanje	1	0
Nepropisno parkiranje	2	0
Nepropisno prestrojavanje	1	0
Nepropisno pretjecanje	78	5
Nepropisno skretanje	149	3
Nepropisno uključivanje u promet	51	0
Ostale greške pješaka	320	9
Ostale greške propusti	90	1
Ostale greške vozača	950	16
Vožnja na nedovoljnoj udaljenosti	14	0
Zakašnjelo uočavanje opasnosti	173	5
Zakašnjelo uočavanje pješaka	107	5
Nepoznato	170	3
UKUPNO	3.865	119

4. PREGLED I ANALIZA LOKACIJA PROMETNIH NESREĆA S POGINULIM PJEŠACIMA

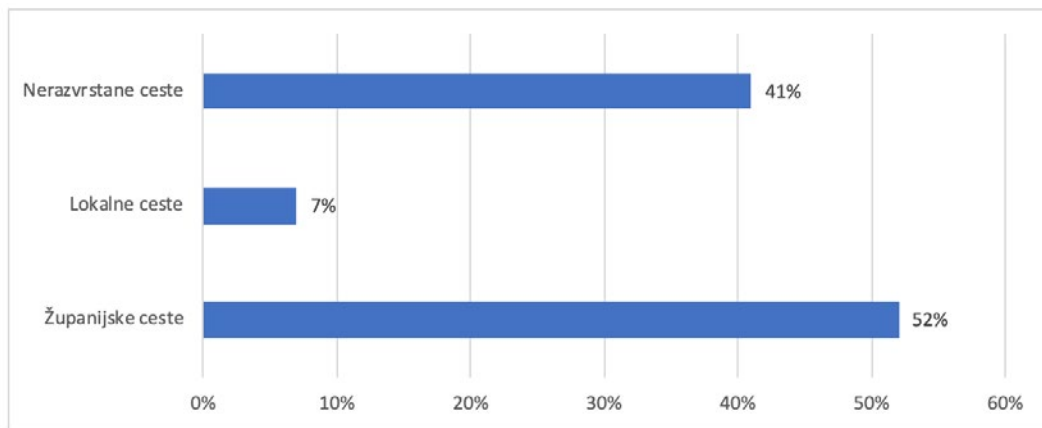
Imajući u vidu gore navedene statističke podatke, a posebice broj prometnih nesreća s smrtno stradalim sudionicima i u cilju smanjenja tog broja, u sklopu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2021 – 2030. provodi se projekt „Pregled lokacija prometnih nesreća s poginulim osobama na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama s prijedlogom mjera za povećanje sigurnosti temeljem utvrđenih nedostataka na lokacijama“. Cilj projekta je da se na temelju prikupljenih podataka o prometnim nesrećama s poginulim osobama na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama, pregledaju i analiziraju lokacije prometnih nesreća na kojima je bilo smrtno stradalih osoba te da se nastoji utvrditi predstavlja li na tim lokacijama određen nedostatak ceste ili njezine opreme eventualan uzrok nastanka prometnih nesreća [6]. Upravo iz tog razloga, poseban naglasak je stavljen na lokacije prometnih nesreća s poginulim pješacima, a za čije preglede i analize su korišteni podaci o prometnim nesrećama tijekom evidentirani tijekom 2022. i 2023. godine.

U svrhu provedbe projekta analizirana je dostupna znanstveno-stručna literatura o pregledu lokacija s poginulim osobama s ciljem definiranja obrasca za pregled takvih lokacija. Definirani obrazac sastoji se od tri dijela. Prvi dio obrasca obuhvaća osnovne

podatke o prometnoj nesreći, koji se unose prije samog pregleda. Drugi dio prikazuje lokacije prometnih nesreća, uključujući fotografije prometne nesreće (ako su dostupne) i prikaz lokacije na karti kako bi se olakšala identifikacija tijekom terenskog pregleda. Treći dio namijenjen je prikupljanju tehničkih podataka o lokaciji prometne nesreće izravno na terenu (izmjere i stanje geometrijskih elemenata ceste, stanje i položaju opreme ceste, opis uočenih nedostataka na lokaciji pregleda i sl.) Nakon definiranja obrasca za pregled lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima, pristupilo se provođenju pregleda lokacija na terenu u timu s minimalno tri člana projektnog tima, a koji su po završetku pregleda analizirali prikupljene podatke.

Na osnovu prikupljenih statističkih podataka o prometnim nesrećama, utvrđeno je da je tijekom 2022. i 2023. godine na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama zabilježeno ukupno 49 prometnih nesreća s poginulim pješacima. Važno je napomenuti da određene lokacije prometnih nesreća nije bilo moguće točno pozicionirati jer za njih nisu bile dostupne točne GPS koordinate. Osim toga, te lokacije nisu smještene u blizini kućnih brojeva ili drugih prepoznatljivih obilježja koja bi omogućila njihovo precizno određivanje. Također, neke lokacije nisu uključene u detaljnu analizu zbog složenosti terena i sigurnosnih razloga koji su onemogućili provođenje pregleda.

Prema tome, do sada, a s obzirom da se navedeni projekt još uvijek provodi, ukupno je pregledano i detaljno analizirano 27 lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima. Na Grafikonu 3. vidljivo je kako od 27 pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima, 52% lokacija je zabilježeno na županijskim cestama, 7% lokacija na lokalnim cestama, dok je 41% lokacija zabilježeno na nerazvrstanim cestama. Također, važno je napomenuti da se 70% pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima nalazilo unutar naseljenog mjesta.



Grafikon 3. Grafički prikaz lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima razvrstanih prema vrsti ceste

Tijekom terenskog pregleda lokacija prometnih nesreća provedene su izmjere geometrijskih elemenata i cestovne opreme, a lokacije su dokumentirane fotografijama s detaljnim prikazima uočenih nedostataka. U prethodno definirani obrazac uneseni su rezultati izmjera, kao i identificirani nedostaci pojedinih lokacija. Kako bi se omogućila temeljita analiza pregledanih lokacija, uočeni karakteristični nedostaci razvrstani su u 13 indikatora, čime je osiguran kvalitetniji uvid u specifične značajke svake lokacije [6]. Navedeni indikatori detaljno su opisani u sljedećoj tablici.

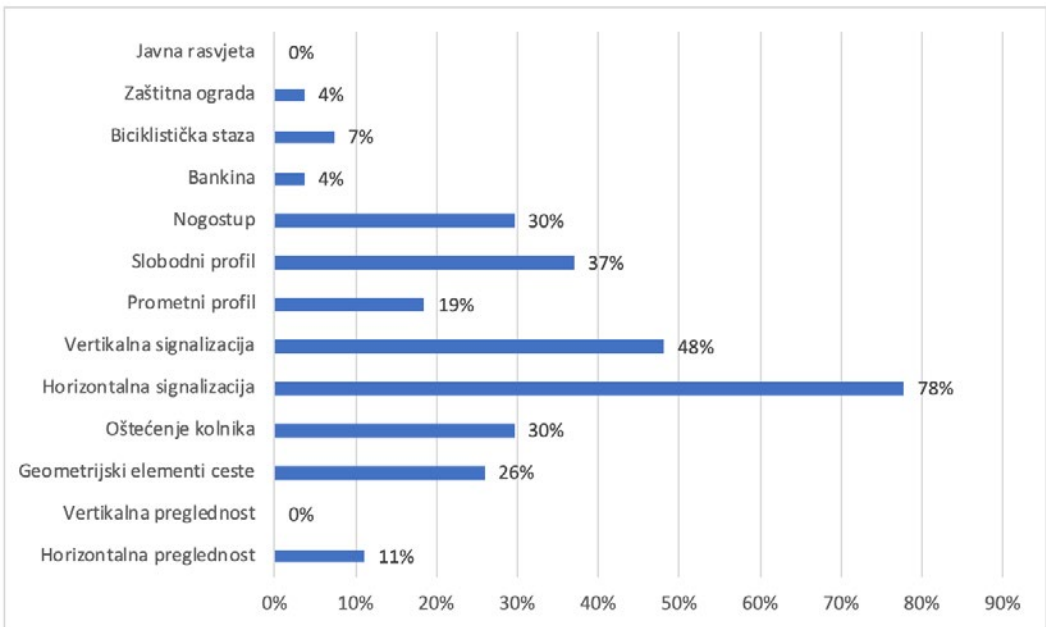
Tablica 4. Definirani indikatori i njihova objašnjenja

INDIKATOR	OBJAŠNENJE
Horizontalna preglednost	Smanjena horizontalna preglednost koju vozač ima u horizontalnoj ravnini pri nailasku na određenu lokaciju na cesti.
Vertikalna preglednost	Smanjena vertikalna preglednost koju vozač ima u vertikalnoj ravnini prilikom nailaska na određenu lokaciju na cesti zbog vertikalnog prijeloma ceste.
Geometrijski elementi ceste	Širina prometnih traka (kolnika) koja nije adekvatna dozvoljenom ograničenju brzine, nedovoljna duljina prijelaznice/međupravca, neadekvatan nagib kolnika.
Oštećenja kolnika	Uočena oštećenja na kolničkom zastoru ili nedostatak istog na dijelovima kolnika.
Horizontalna signalizacija	Slaba vidljivost, oštećena ili nedostatak horizontalne signalizacije.
Vertikalna signalizacija	Slaba vidljivost, oštećena ili nedostatak vertikalne signalizacije.
Prometni profil	Neadekvatan ukoliko u isti zadire prepreka koja onemogućuje nesmetano odvijanje prometa.
Slobodni profil	Neadekvatan ukoliko u isti zadire prepreka
Nogostup	Nedovoljna širina, neadekvatna izvedba, oštećenje ili nedostatak nogostupa.
Bankina	Nedovoljna širina ili nedostatak iste.
Biciklistička staza	Nedovoljna širina, neadekvatna izvedba, oštećenje ili nedostatak biciklističke staze.
Zaštitna ograda	Neadekvatna izvedba, oštećena ili nedostatak zaštitne ograde.
Javna rasvjeta	Neispravna ili nedostatak javne rasvjete.

Prema provedenoj analizi lokacija, od ukupno 27 do sada pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama, na 26 lokacija utvrđen je barem jedan nedostatak-indikator, što čini više od 96% svih analiziranih lokacija.

Grafikon 4. prikazuje analizu 27 pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na promatranim cestama, pri čemu je utvrđeno da se najveći broj nedostataka odnosi na horizontalnu signalizaciju – čak 78% analiziranih lokacija ima neki oblik nedostatka u ovom indikatoru. Sljedeći najčešći nedostatak odnosi se na vertikalnu signalizaciju, koja je neadekvatna ili nedostaje na 48% pregledanih lokacija. Na 37% lokacija utvrđen je nedostatak u slobodnom profilu kolnika, dok je na 30% lokacija evidentirano oštećenje ili potpuni nedostatak nogostupa te oštećenja na kolničkom zastoru. Geometrijski elementi ceste predstavljaju peti najčešći nedostatak, zabilježen na 26% lokacija. Neadekvatan prometni profil uočen je na 19% lokacija, dok je smanjena horizontalna preglednost utvrđena na 11% lokacija. Najmanje nedostataka je evidentirano na biciklističkim stazama (7% lokacija), bankini i zaštitnoj ogradi (4%). Niti na jednoj od pregledanih i analiziranih lokacija nije utvrđena smanjena vertikalna preglednost niti su evidentirani nedostaci na javnoj rasvjeti. Najveći broj zabilježenih nedostataka na jednoj lokaciji iznosi osam.

U nastavku su prikazane fotografije četiri najzastupljenijih karakterističnih nedostataka snimljenih tijekom pregleda lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama. Na prvoj fotografiji s lijeva vidljiv je nedostatak na horizontalnoj signalizaciji odnosno ista je slabo vidljiva i dotrajala, dok je fotografiji pokraj, vidljiv nedostatak vertikalne signalizacije koji obilježava pješački prijelaz preko kolnika. Na donjoj fotografiji s lijeva vidljivo da je drveće zadire u slobodni profil ceste, a samim time i djelomično zaklanja prometni znak. Zadnja fotografija s desna prikazuje udarnu rupu na kolniku odnosno oštećenje kolničkog zastora koje je uočeno na lokaciji pregleda.



Grafikon 4. Uočeni nedostaci prilikom pregleda lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama



Slika 1. Fotografije karakterističnih nedostataka snimljenih tijekom pregleda lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama

Analizom pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima prema karakteristikama ceste utvrđeno je da se najveći broj takvih prometnih nesreća dogodio na ravnom cestovnom potezu, gdje je zabilježeno 13 prometnih nesreća. Slijede prometne nesreće na pješačkim prijelazima, gdje je evidentirano 7 istih, te T-raskrižju gdje su zabilježene ukupno 2 prometne nesreće sa smrtnim ishodom. Po jedna prometna nesreća s poginulim pješakom zabilježena je na biciklističkoj stazi, kružnom toku, pješačkoj zoni, Y-raskrižju te u zavoju, kako je to vidljivo iz Tablice 5.

Tablica 5. Broj pregledanih lokacija i utvrđenih nedostataka prema karakteristikama ceste

Karakteristika ceste	Broj pregledanih lokacija	Broj utvrđenih nedostataka	Postotak utvrđenih nedostataka prema karakteristikama ceste (%)
Biciklistička staza	1	2	2,50%
Kružni tok	1	4	5,10%
Pješačka zona	1	4	5,10%
Pješački prijelaz	7	20	25,30%
Ravni cestovni potez	13	33	41,80%
T-raskrižje	2	6	7,60%
Y-raskrižje	1	8	10,10%
Zavoj	1	2	2,50%
UKUPNO	27	79	100%

Iz gore navedene tablice, ako se analiza broj utvrđenih nedostataka prema određenoj karakteristikama ceste, proizlazi da je najviše nedostataka utvrđeno u prometnim nesrećama s poginulim pješacima, na ravnom cestovnom potezu – 41,80 % i pješačkom prijelazu – 25,30%, dok treći po redu udio kao karakteristika ceste otpada na Y-raskrižje s 10,10%. Takva raspodjela utvrđenih nedostataka, odnosno da je najviše istih utvrđeno na ravnom cestovnom potezu i pješačkom prijelazu može pripisati upravo tome da je na te dvije karakteristike ceste evidentirano i najviše prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci, a ujedno na istima je poginuo najveći broj istih.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju prikupljenih statističkih podataka o prometnim nesrećama, utvrđeno je da je tijekom 2022. i 2023. godine na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama zabilježeno ukupno 49 prometnih nesreća s poginulim pješacima. Navedene prometne nesreće predstavljaju dio lokacija koje se terenski pregledavaju već drugu godinu za redom u projektu „Pregled lokacija prometnih nesreća s poginulim osobama na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama s prijedlogom mjera za povećanje sigurnosti temeljem utvrđenih nedostataka na lokacijama“, a koji se provodi u sklopu Nacionalnog plana sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske, od 2021. do 2030. U dosadašnjem dijelu provedbe projekta, uz ostale lokacije, ukupno je pregledano i detaljno analizirano 27 lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima uz napomenu da neke od lokacija prometnih nesreća nije bilo moguće točno pozicionirati u prostoru zbog netočnih GPS koordinata dok neke nije bilo moguće pregledati zbog kompleksnosti i sigurnosnih razloga. Po završetku pozicioniranja lokacija u prostoru, pristupilo se pregledu lokacija na terenu u stručnom timu sastavljenom od minimalno tri člana, a koji su po završetku pregleda lokacije na terenu vršili

i analizu prikupljenih podataka.

Od 27 ukupno pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima, 14 lokacija je zabilježeno na županijskim cestama, 2 lokacije na lokalnim cestama, dok je 11 lokacija zabilježeno na nerazvrstanim cestama. Također, važno je napomenuti da se 70% pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima nalazilo unutar naseljenog mjesta. Nadalje, na 26 lokacija utvrđen je barem jedan nedostatak-indikator, što čini više od 96% svih analiziranih lokacija.

Temeljem 27 pregledanih lokacija prometnih nesreća s poginulim pješacima na promatranim cestama, utvrđeno je da se najveći broj nedostataka odnosi na indikator horizontalna signalizacija odnosno na čak 78% analiziranih lokacija uočen je nedostatak na horizontalnoj signalizaciji koja je bila slabo vidljiva, oštećena ili je nedostajala na istoj. Drugi po redu najčešći nedostatak utvrđen je na vertikalnoj signalizaciji, koja je bila neadekvatna ili nedostajala na 48% pregledanih lokacija. Na 37% lokacija utvrđen je nedostatak u slobodnom profilu kolnika, dok je na 30% lokacija evidentirano oštećenje ili potpuni nedostatak nogostupa te oštećenja na kolničkom zastoru. Geometrijski elementi ceste predstavljaju peti najčešći nedostatak, zabilježen na 26% lokacija. Neadekvatan prometni profil uočen je na 19% lokacija, dok je smanjena horizontalna preglednost utvrđena na 11% lokacija. Najmanje nedostataka je evidentirano na biciklističkim stazama (7% lokacija), bankini i zaštitnoj ogradi (4%). Niti na jednoj od pregledanih i analiziranih lokacija nije utvrđena smanjena vertikalna preglednost niti su evidentirani nedostaci na javnoj rasvjeti. Najveći broj zabilježenih nedostataka na jednoj lokaciji iznosi šest. Budući da je druga godina provedbe projekta još uvijek u tijeku i da nisu uz ostale lokacije pregledane i sve lokacije prometnih nesreća s poginulim pješacima na promatranim cestama, stručni tim će u nastavku provedbe projekta analizirati utvrđene nedostatke na pojedinim lokacijama te će na temelju istih predložiti određene sigurnosne mjere s ciljem smanjenja posljedica budućih prometnih nesreća.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo unutarnjih poslova, "Republika Hrvatska, Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2021," Zagreb, 2022.
- [2] Ministarstvo unutarnjih poslova, "Republika Hrvatska, Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2022," Zagreb, 2023.
- [3] Ministarstvo unutarnjih poslova, "Republika Hrvatska, Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023," Zagreb, 2024.
- [4] Kučinić, T., Rajsman, M., Kunštek, A., Velić, Ž.: Analysis of pedestrian road safety in the Republic of Croatia // XXXi International scientific conference trans&MOTAUTO '23, Varna, Bugarska
- [5] H. Burg and A. Moser, Handbook of Accident Reconstruction, First edit. Linz, 2013.
- [6] Nacionalni plan sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2021–2030. godine, „Pregled lokacija prometnih nesreća s poginulim osobama na županijskim, lokalnim i ostalim nerazvrstanim cestama s prijedlogom mjera za povećanje sigurnosti temeljem utvrđenih nedostataka na lokacijama“

THE EFFECT OF CHANGING THE TARIFF SYSTEM ON THE CHARACTERISTICS OF PARKING IN THE CENTRAL ZONE OF NOVI SAD

Associate professor Phd **Milja Simeunović**, mlekovic@uns.ac.rs

Full professor Phd **Zoran Papić**, z.papic@uns.ac.rs

Assistant Phd **Nenad Saulić**, n.saulic@uns.ac.rs

Faculty of Technical Sciences, Department of traffic engineering,

Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

The disproportion between the demand for parking and the available number of parking spaces is present in cities around the world. The increasing level of motorization cannot be accompanied by an increase in the number of parking spaces, so it is necessary to introduce a regime on existing parking areas that will allow the satisfaction of parking demand by as many users as possible. This paper presents a comparative analysis of certain determinants of parking in the parking lot in the inner central zone of Novi Sad, on the basis of which it is possible to see the effects of the implemented measures in the parking system in the past period.

Keywords: tariff policy, parking characteristics, on street parking

1. INTRODUCE

Road network and parking areas are the basic transport infrastructure in the development of cities and settlements. Traffic problems arise at the moment of excessive growth of demands and needs of users of traffic infrastructure on the one hand, and limited space, financial and organizational resources on the other hand. The increase in the number of users of transport infrastructure is generally caused by the constant increase in the number of inhabitants of cities, as well as the increase in the degree of motorization. Every trip requires parking the vehicle before and after the trip. When vehicles are stationary, it is necessary to provide adequate parking areas for them. Providing a sufficient number of parking spaces is a very big challenge for the city authorities, and due to the limited resources for expanding parking spaces, it is necessary to manage the existing capacities in the most efficient way. One of the measures used to manage the parking system is the pricing policy. Through the tariff policy, the utilization of the existing parking areas is increased, but it also affects the reduction of negative effects that arise as a result of the act of parking [1].

Within the framework of this paper, a comparative analysis of the basic determinants of parking in certain parking lots in the narrower central zone of Novi Sad was given. The period for which the comparative analysis was given includes different payment systems and parking time limits that were applied within the observed parking zone.

2. ON STREET PARKING

On street parking is a common form of parking that is known for its efficiency in terms of land use and convenience for drivers, allowing them to park vehicles closer to their destinations [2]. In practice, however, on street parking is often criticized because of the numerous disadvantages associated with this type of parking organization. These disadvantages are most often reflected in the threat to road user safety, reduced road capacity, increased travel time, disruption of traffic flow due to maneuvering vehicles entering and exiting parking lots, etc. Some studies show that approximately 15% of all traffic accidents are caused by the presence of parked vehicles [3]. One of the disadvantages of on-street parking is that parked vehicles obstruct access for ambulances, fire trucks, utility vehicles, delivery vehicles, etc.



Figure 1. Example of on street parking [source: 3]

On street parking still exists on most city streets because there is not enough space, especially in the narrower central city zone, to move parking lots and organize them as off-street parking. Research conducted in the area of Novi Sad shows that 99% of the existing parking areas belong to the on street parking.

3. RESEARCH METHODOLOGY

In this paper, data obtained through research in different time periods were used for the purpose of analyzing the state of the parking system in the area of Novi Sad. The research was carried out manually by recording the number of vehicles entering and leaving the parking lot. Vehicles were recorded in fifteen minute intervals, in the period from 7:00 am to 9:00 pm. The data were then systematized and processed to determine the characteristics of the parking lot: parking accumulation, parking occupancy, parking load, parking turnover, parking duration, parking efficiency.

3.1. RESEARCH LOCATION

All research was conducted in the narrow and wider central zone of Novi Sad. In this paper, the Bulevar Mihajla Pupina street was chosen, from the intersection of this street with the Žarka Zrenjanina street to the intersection of the Bulevar Mihajla Pupina street with the Jevrejska street. Bulevar Mihajla Pupina is located in the narrow central zone, in a part of the city where there is a large number of buildings of general importance, i.e. numerous business, public, commercial and catering facilities, as well as cultural institutions. Since a large number of employees, visitors and tourists move in this part of the city, it can be concluded that the need for free parking spaces in this area is very high.

3.2. RESEARCH RESULTS

In the following, the results of the research on the parking lot in Bulevar Mihajla Pupina street for the years 2005, 2009, 2017 and 2023 are presented. The results from May 2005 show the state of the parking system immediately before the introduction of the municipal order in this area. At that time there was no public company in charge of parking in the city, nor was there a parking fee. As a result of the conducted research and the obtained results, in the same year the municipal order was introduced into the parking system by dividing the parking lots into zones, systematizing them according to the type of payment, introducing modern forms of payment, and promoting a new way of controlling and sanctioning violations. The results of the October 2005 survey already show the effects achieved after the introduction of the above-mentioned measures. Over the past years, the same concept of parking organization has been maintained, with the fact that the parking zones have been changed and expanded, the price has been changed, as well as the ways of controlling and sanctioning violations.

Parking on Bulevar Mihajla Pupina street is organized as street parking at an angle of 60°. In the period from October 2005 to November 2022, these parking lots belonged to the red zone, where parking was limited to 2 hours and the price was 0.43 EUR/h. After this period, an extra zone was introduced into the parking system, which included the parking lots on Mihajla Pupina Boulevard. Within this zone, parking is limited to one hour and the price of parking is 0.7 EUR/h. A comparative analysis of the data for the characteristic research periods is given in the following graphs.

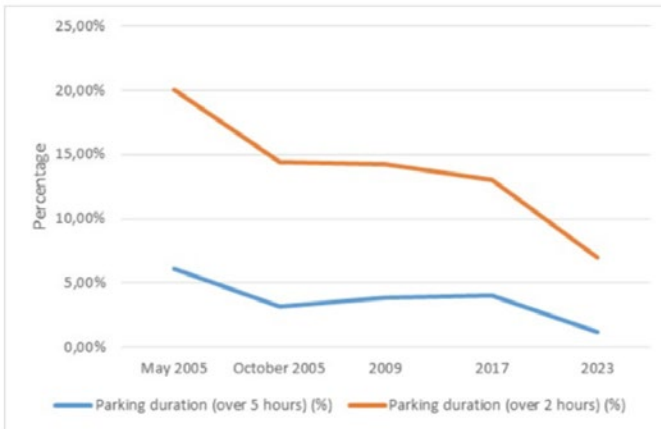


Figure 2. Comparison of parking duration by research year

Figure 2 shows the long-term vehicle dwell times recorded during the survey. In May 2005, there was no time limit for parking in the observed parking lot, so it is expected that long-term parking is represented in a high proportion. The vehicle parking duration is reduced immediately after the introduction of the fee and the parking limit of 2 hours. It is possible to notice a certain stagnation until 2023, when the effect of the introduction of the extra zone on the time of vehicle parking duration becomes evident.

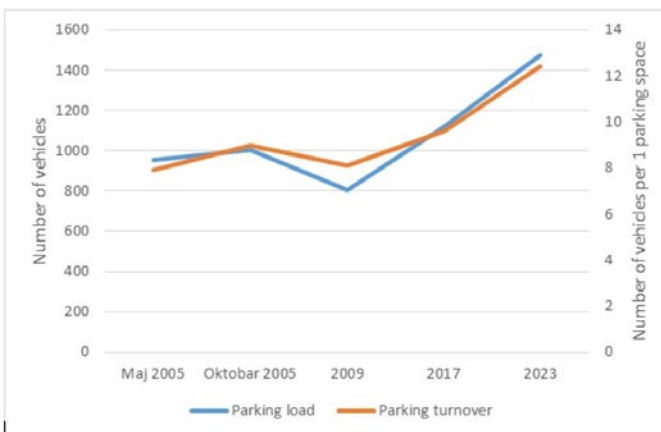


Figure 3. Comparison of parking characteristics (load and turnover) by survey year

The tariff policy also affected other parking characteristics, such as parking load and turnover (Figure 3). Parking turnover increased from 7.9 to 12.4 vehicles per parking space, indicating that the number of vehicles using a parking space is significantly higher. The number of vehicles recorded in the monitored lot during the day also increased by approximately 65% compared to the period when there was no parking charge.

The average parking efficiency was also recorded during the observation periods. The research data shows that there is a downward trend in this value, which is to be expected given the parameters discussed previously.



Figure 4. Average parking efficiency by survey year

4. DISCUSSION

Establishing an appropriate tariff policy is very important in the parking system. The policies introduced have a significant impact on the parking duration and thus on other parking characteristics. Vehicles that remain in the parking lot after the time limit are sanctioned, so the recorded long-term parking is attributed to vehicles of public companies or private companies that have special reservations. The increase in the parking load was certainly influenced by the increase in the number of registered vehicles in the area of Novi Sad, but also by the simultaneous increase in the degree of motorization (Figure 5).

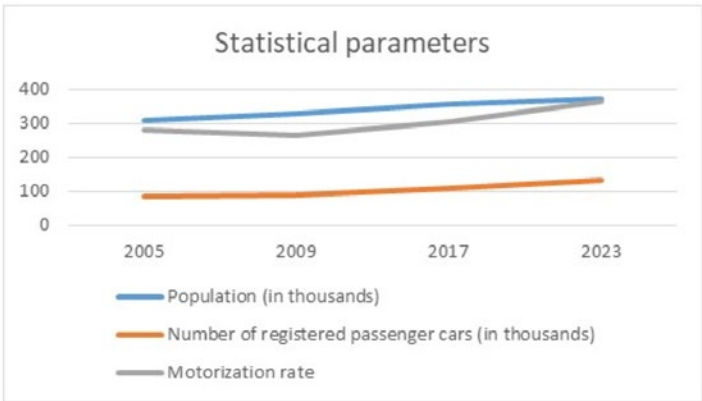


Figure 5. Statistical parameters in the area of the city of Novi Sad [source: 5]

The number of registered vehicles follows the trend of population growth, which is a common problem in all major urban areas. The transportation infrastructure, especially in the central areas of the cities, does not have the possibility of expansion, and the demand for parking spaces is increasing. Therefore, as a last resort, the introduction of an adequate tariff policy remains, which, if well measured, can have positive effects on the parking characteristics. The introduction of a extra zone in the parking lots on Bulavar Mihajla Pupina Street has had a significant impact on the increase in parking turnover, i.e. the increase in the number of vehicles using one parking space, and consequently on the parking load. Although it is obvious that it is now easier to find a free parking space in this zone, the measure introduced

cannot be accepted as a long-term solution. It is expected that the ongoing construction of parking garages in the central zone will further improve parking conditions in the study area.

5. CONCLUSION

In the past period, which spans almost two decades, constant work has been done to improve the parking system in the area of Novi Sad. The establishment of municipal order in this area was necessary in order to solve the existing problems, mainly illegal and long-term parking. The biggest problem of the parking system is the insufficient capacity of the parking lot in relation to the existing requirements for this system. It turns out that the demand for parking spaces is constantly increasing, especially in the central area of the city, while the possibility of expanding the capacity is limited. Monitoring of the situation in the parking system, implementation and adjustment of the tariff policy, as well as other measures, contributed to the improvement of the situation in the parking lot on Bulevar Mihajla Pupina street in Novi Sad. It should be noted that in 2023, the number of parking spaces in the monitored parking lot decreased in comparison to the previous period. With the beginning of the construction of parking garages in the immediate vicinity of this parking lot, taxis were moved to the parking lot in Bulevar Mihajla Pupina street, which reduced the capacity of the parking lot by 20 spaces. However, despite the reduction in the capacity of the parking lot in question, the positive effects of the measures taken to limit the parking time to one hour and to increase the price of parking in this zone are noticeable.

In the following period it would be good to carry out an analysis of the existing traffic safety conditions in the observed parking zone. It is noticeable that there is still a large number of illegally parked vehicles in the area of the monitored parking lots, most of which are short-term parking on the street for up to 15 minutes. Also, after the construction of the parking garages is completed and they are put into operation, it will be necessary to see how the additional capacities will affect the functioning of parking in this part of Bulevar Mihajla Pupina street.

REFERENCE

- [1] Cats, O., Zhang, C., & Nissan, A. (2016). Survey methodology for measuring parking occupancy: Impacts of an on-street parking pricing scheme in an urban center. *Transport Policy*, 47, 55-63.
- [2] Rifai, A. I., Wibowo, T., Isradi, M., & Mufhidin, A. (2020). On-Street Parking and Its Impact on Road Performance: Case Comersil Area in Jakarta City. *World Journal of Civil Engineering*, 1(01), 10-18.
- [3] Sisiopiku, V. P. (2001, August). On-street parking on state roads. In *ITE Annual Meeting Compendium*, Washington DC, USA.
- [4] internet adresa: <https://parkingns.rs/vesti/naplata-parkiranja-u-okolini-stranda-2024/> (14.12.2024.)
- [5] Republički zavod za statistiku (internet adresa: <https://www.stat.gov.rs>)

ACKNOWLEDGMENTS

This research has been supported by the project “Development and Implementation of Sustainable Traffic, Transport, and Logistics Technologies in Education and Practice“, founded by the Department of Traffic Engineering, Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, University of Novi Sad, Republic of Serbia.

PROMETNA ANALIZA SLAVONSKE AVENIJE U GRADU ZAGREBU

TRAFFIC ANALYSIS OF SLAVONSKA AVENUE IN THE CITY OF ZAGREB

Autori: Dr. sc. **Ivo Peko**¹, doc. dr. sc. **Damir Budimir**², **Danijel Žižić Gušo**, ing.²

¹ Veleučilište "Nikola Tesla" u Gospiću, Bana Ivana Karlovića 16, 53000 Gospić, ivo.peko1@gmail.com

² Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, dbudimir@fpz.unizg.hr

³ Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, 0296018480@fpz.hr

SAŽETAK

Slavonska avenija jedna je od ključnih prometnih arterija grada Zagreba, koja predstavlja središnji element urbane mobilnosti i povezuje zapadni i istočni dio grada. Ova prometnica ima značajnu ulogu u svakodnevnom prometnom sustavu Zagreba te osigurava povezanost grada s ostatkom Hrvatske putem autocesta i obilaznice Zagreba. Slavonska avenija svakodnevno podržava visok intenzitet prometa, no istovremeno se suočava s izazovima poput zagušenja, sigurnosnih rizika i potrebe za održivim razvojem prometne infrastrukture. Cilj ovog rada je analizirati postojeće stanje prometne opterećenosti na Slavonskoj aveniji i predložiti infrastrukturna i organizacijska rješenja za poboljšanje protočnosti, smanjenje zagušenja i povećanje sigurnosti prometa. Rezultati rada doprinose planiranju održivog razvoja prometne mreže i optimizaciji ključnih koridora u Zagrebu.

Ključne riječi: Slavonska avenija, Prometne gužve, Sigurnost, Infrastrukturna rješenja, Optimizacija raskrižja, Održivi promet

ABSTRACT

Slavonska Avenue is one of the key traffic arteries in the city of Zagreb, serving as a central element of urban mobility and connecting the western and eastern parts of the city. This road plays a significant role in Zagreb's daily traffic system, ensuring the city's connectivity with the rest of Croatia via highways and the Zagreb bypass. Slavonska Avenue accommodates high traffic volumes daily but simultaneously faces challenges such as congestion, safety risks, and the need for sustainable development of transport infrastructure. The aim of this paper is to analyze the current state of traffic load on Slavonska Avenue and propose infrastructural and organizational solutions to improve traffic flow, reduce congestion, and enhance road safety. The results of this study contribute to the planning of sustainable transport network development and the optimization of key corridors in Zagreb.

Keywords: Slavonska Avenue, Traffic Congestion, Safety, Infrastructure Solutions, Intersection Optimization, Sustainable Traffic

1. UVOD

Slavonska avenija predstavlja ključnu prometnicu u urbanom tkivu Zagreba, povezujući istočne i zapadne dijelove grada te osiguravajući vitalnu tranzitnu vezu s autocestama i okolnim regijama. Kao važan koridor za regionalni promet i svakodnevno kretanje građana, ova prometnica ima ključnu ulogu u prometnom sustavu grada. Brojne studije o urbanom prometu potvrđuju značaj glavnih prometnica u unapređenju mobilnosti u velikim gradovima [1]. Međutim, povećana prometna opterećenost, procijenjena na više od 70.000 vozila dnevno, uzrokuje zagušenja, produljeno vrijeme putovanja i smanjenje protočnosti [2]. Uz to, Slavonska avenija je jedna od najopasnijih prometnica u Zagrebu, s visokom stopom prometnih nesreća, posebno na semaforiziranim raskrižjima poput onih s Ulicom Hrvatske bratske zajednice i Svetog Ivana [3]. Ovi izazovi ističu potrebu za uvođenjem inovativnih prometnih rješenja koja bi unaprijedila upravljanje prometnim tokovima i povećala sigurnost.

Tehnološka rješenja, poput pametnih semaforskih sustava koji prilagođavaju svjetlosne signale trenutnom prometnom opterećenju, već su se pokazala učinkovitima u mnogim urbanim sredinama [4]. Uz to, primjena informacijskih sustava putem digitalnih panela pomaže vozačima u donošenju odluka o alternativnim rutama, smanjujući opterećenje na kritičnim točkama [5]. Slavonska avenija također se suočava s infrastrukturnim izazovima, poput potrebe za rekonstrukcijom prometnica, proširenjem kapaciteta na ključnim raskrižjima te izgradnjom nadvožnjaka. Takve mjere neophodne su za povećanje protočnosti i smanjenje negativnih utjecaja zagušenja na kvalitetu života i okoliš [6].

Planovi razvoja prometa grada Zagreba do 2027. godine naglašavaju važnost kombiniranja infrastrukturnih intervencija s unaprjeđenjem javnog prijevoza kako bi se stvorio održiv prometni sustav [7]. Cilj ovog rada je pružiti detaljan pregled trenutnog stanja Slavonske avenije, analizirati ključne probleme i predložiti mjere za povećanje protočnosti i sigurnosti. Rad se temelji na dostupnim podacima i preporukama relevantnih istraživanja, pružajući podlogu za donošenje informiranih odluka o budućim prometnim intervencijama.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA PROMETNE OPTEREĆENOSTI SLAVONSKE AVENIJE

Slavonska avenija, kao jedna od najvažnijih prometnica Zagreba, suočava se s izazovima uzrokovanim povećanim prometnim opterećenjem, budući da je broj vozila na zagrebačkim ulicama u posljednjem desetljeću porastao za 50%, dok je razvoj prometne infrastrukture bio minimalan, što je rezultiralo značajnim problemima u upravljanju prometom [8]. Postojeći semaforski sustavi nisu prilagođeni intenzivnim prometnim tokovima, osobito tijekom vršnih sati, što često uzrokuje zastoje i produžuje vrijeme putovanja. Prema podacima Policijske uprave Zagrebačke, Slavonska avenija je identificirana kao najopasnija prometnica u Zagrebu, s prosjekom od jedne prometne nesreće svaka 37 sati tijekom 2021. godine, pri čemu je ozlijeđeno 99 osoba [9][10].

2.1 IMPLEMENTACIJA ZAGUŠENJA PO DIONICAMA NA SLAVONSKOJ AVENIJI

Upravljanje prometnim zagušenjem ključno je za poboljšanje protočnosti i sigurnosti na Slavonskoj aveniji, pri čemu proces implementacije uključuje analizu kritičnih točaka poput raskrižja i uskih grla kako bi se utvrdila mjesta koja zahtijevaju intervencije. Prilagodba

semaforских ciklusa stvarnom prometnom opterećenju jedan je od prioriteta jer može smanjiti vrijeme čekanja na ključnim raskrižjima [11]. Dodatne mjere uključuju uvođenje uljevno-izljevnihih traka na prometnim raskrižjima, što omogućuje kontinuirani promet bez zaustavljanja, dok rekonstrukcija prometnica, poput proširenja kolnika, značajno doprinosi poboljšanju protočnosti na kritičnim dionicama. Ove intervencije ne samo da smanjuju zagušenja, već i povećavaju sigurnost svih sudionika u prometu.

2.2 KRITIČNI PROMETNI PARAMETRI

Prometni parametri, poput intenziteta prometa, trajanja semaforских ciklusa i geometrije raskrižja, ključni su čimbenici koji utječu na protočnost Slavonske avenije. Na primjer, raskrižje Trnje bilježi stupanj zasićenja od 1,18, što ukazuje na potrebu za hitnim infrastrukturnim intervencijama [12]. Prosječna brzina u uvjetima vršnog opterećenja na pojedinim dionicama iznosi tek 16,7 km/h, što je znatno ispod očekivane brzine za prometnice ove kategorije. S dnevnim prometnim opterećenjem od 72.800 vozila, Slavonska avenija jedna je od najopterećenijih prometnica u Zagrebu, što dodatno naglašava potrebu za optimizacijom [13]. Izvorno zamišljena kao južna obilaznica grada Zagreba i prometnica koja povezuje gradske kvartove, Slavonska avenija se, uslijed prostorno-prometnog razvoja novih kvartova poput Španskog, Vrbana i Rudeša, s vremenom pretvorila u unutar kvartovsku poveznicu na toj dionici. Sa sedam uzastopnih križanja u razini, smještenih na razmaku od 600 do 800 metara i opremljenih semaforima, najveći problemi trenutnog zagušenja prometa pojavljuju se upravo na ovim dionicama.

2.3 SPECIFIČNA KRIŽANJA NA SLAVONSKOJ AVENIJI

Slavonska avenija obuhvaća nekoliko ključnih križanja koja značajno utječu na sigurnost i protočnost prometa. Analiza ovih raskrižja ističe specifične izazove vezane uz intenzitet prometa, učestalost nesreća i infrastrukturne probleme.

- Križanje s Ulicom Hrvatske bratske zajednice: Ovo raskrižje zabilježilo je 25 prometnih nesreća tijekom 2023. godine, s osam ozlijeđenih osoba te je jedna od najkritičnijih točaka s obzirom na sigurnost i potrebu za prilagodbom signalizacije.
- Križanje s Ulicom Svetog Ivana: Na ovom raskrižju zabilježeno je sedam prometnih nesreća, uključujući dvije s fatalnim ishodom, što ukazuje na potrebu za poboljšanjem prometne signalizacije i rekonstrukciju infrastrukture.
- Križanje s Branimirovom ulicom: Iako nedostaju detaljni podaci o broju nesreća, ovo raskrižje poznato je po velikim prometnim opterećenjima i čestim zastoјima, osobito tijekom vršnih sati.
- Križanje s Ulicom Donje Svetice: Zabilježeno je 21 prometna nesreća s osam ozlijeđenih osoba. Povećano opterećenje na ovom raskrižju zahtijeva analizu trajanja semaforских ciklusa i prilagodbu prometnih tokova.
- Križanje s Ulicom Marohnićeva: Ovo raskrižje često pati od infrastrukturnih problema, uključujući pojavu rupa na kolniku (ugrožava sigurnost prometa). Sanacija kolnika i optimizacija signalizacije trebale bi biti prioritetne mjere.

Detaljna analiza navedenih križanja ključna je za razumijevanje glavnih prometnih izazova na Slavonskoj aveniji te pruža temelj za predlaganje mjera za povećanje sigurnosti i protočnosti. Prometni parametri koji utječu na protočnost uključuju geometriju raskrižja, trajanje

semaforskih ciklusa i intenzitet prometa. Neadekvatni geometrijski uvjeti često otežavaju protočnost na kritičnim dionicama, dok neprilagođeni semaforški ciklus produžuju vrijeme čekanja. Na dionici od čvora Trnje do City centra, povećanje kapaciteta kroz proširenje traka, optimizaciju signalizacije, uvođenje rješenja desno-desno, izgradnjom nadvožnjaka i podvožnjaka moglo bi značajno poboljšati promet [14].

2.4 OPĆA ISTRAŽIVANJA I ANALIZE

Primjeri iz znanstvene literature:

- Znanstvena istraživanja pokazala su da primjena modernih prometnih tehnologija može značajno smanjiti zagušenja. Na primjer, Chen i Yang (2019) pokazali su da prilagodljivi semaforški sustavi smanjuju vrijeme čekanja na raskrižjima za 15% [13].
- Slično, Zhang i suradnici (2020) dokazali su da povećanje prosječne brzine vozila s 20 km/h na 40 km/h može smanjiti ukupno vrijeme putovanja za 30-40% [15].

Ova istraživanja naglašavaju važnost kombiniranja naprednih tehnologija upravljanja prometom i ulaganja u infrastrukturu kako bi se povećala protočnost na urbanim prometnim koridorima poput Slavonske avenije.

2.5 MOGUĆNOSTI PLANIRANJA PROMETNE INFRASTRUKTURE

- Rekonstrukcija dionica: Proširenje kolnika i izgradnja nadvožnjaka moglo bi značajno povećati kapacitet Slavonske avenije i smanjiti prometne gužve.
- Uvođenje podvožnjaka i nadvožnjaka: Kružni tokovi na ključnim raskrižjima u dva nivoa omogućuju kontinuirani protok vozila, smanjujući zastoje i povećavajući sigurnost [16] [17].

3. PROMETNE ZNAČAJKE I MOGUĆNOSTI OPTIMIZACIJE NA SLAVONSKOJ AVENIJI

Slavonska avenija, jedna od najvažnijih prometnica u Zagrebu, proteže se u dužini od 21,2 km od Ivanje Reke na istoku do čvora Jankomir na zapadu grada, a karakteriziraju je visoka prometna opterećenost i značajan broj prometnih nesreća, što je čini kritičnim dijelom gradske prometne infrastrukture. Uz ovu važnost, suočava se s izazovima poput zagušenja, sigurnosnih problema i potrebe za optimizacijom prometnih tokova, pri čemu su analiza prometnih značajki i implementacija mjera optimizacije ključni za povećanje učinkovitosti i sigurnosti ove prometnice. Ova avenija obuhvaća velik broj ključnih prometnih križanja, među kojima su neka, poput onih s Ulicom Hrvatske bratske zajednice, Ulicom Svetog Ivana i Ulicom Gordana Lederera, identificirana kao "crne točke" zbog visoke učestalosti prometnih nesreća i funkcije uskih grla koja značajno utječu na protočnost prometa.

3.1 UZROCI ZAGUŠENJA PO DIONICAMA

Prema podacima iz 2023. godine, Slavonska avenija zabilježila je 136 prometnih nesreća, što ukazuje na ozbiljne probleme s protočnošću i sigurnošću. Najveći broj nesreća dogodio se na križanjima poput onog s Ulicom Hrvatske bratske zajednice, gdje je zabilježeno 25 prometnih

nesreća, pri čemu ova križanja često postaju uska grla zbog visokog intenziteta prometa, osobito tijekom vršnih sati [2]. Prometne gužve izrazito su izražene u jutarnjim (od 7 do 9 sati) i poslijepodnevnom špicama (od 15 do 18 sati), kada broj vozila na aveniji značajno raste, što dodatno povećava vrijeme čekanja i smanjuje ukupnu učinkovitost prometnog sustava. Analize propusnosti raskrižja pokazale su značajan utjecaj trajanja semaforских ciklusa na protočnost, pri čemu bi optimizacija trajanja zelenog svjetla na raskrižju Slavonske avenije i Ulice Hrvatske bratske zajednice mogla povećati kapacitet raskrižja i smanjiti čekanja.

Planirane rekonstrukcije, uključujući izgradnju dodatnih traka za desne skretače i nadvožnjaka, ključne su za smanjenje zagušenja. Ove infrastrukturne mjere ne samo da smanjuju vrijeme čekanja već i povećavaju sigurnost svih sudionika u prometu. [18]

3.2 KLJUČNI KORACI ZA ANALIZU SLAVONSKE AVENIJE

1. Prikupljanje podataka:

Analiza Slavonske avenije zahtijeva detaljno prikupljanje podataka o prometnom opterećenju, geometrijskim karakteristikama, signalizaciji, prosječnim brzinama i učestalosti prometnih nesreća. Također je važno uzeti u obzir podatke o javnom prijevozu na ovoj dionici kako bi se dobila cjelovita slika.

2. Analiza raskrižja:

3. Slavonska avenija ima 12 ključnih raskrižja na dionici dužoj 7 kilometara. Analiza bi trebala obuhvatiti vrijeme čekanja, omjer zelenog svjetla u ciklusima semafora i kapacitet raskrižja. Identifikacija raskrižja s najvećim zagušenjem ključna je za prioritetne intervencije

4. Izračun vremena putovanja:

Izračuni vremena putovanja koristeći simulacije u različitim uvjetima prometa, uključujući vršne sate i periode smanjene gužve, mogu pružiti uvid u učinkovitost trenutnih mjera i potrebu za optimizacijom.

5. Usporedba s referentnim primjerima:

Slični prometni koridori u gradovima poput Stockholma i Pariza pokazali su da implementacija adaptivnih semafora i povećanje kapaciteta može smanjiti vrijeme putovanja za 20% i smanjiti emisije CO₂.

3.3 PREPORUČENI ALATI I METODE

• Softverske simulacije:

Softveri poput PTV Vissim i Aimsun omogućuju detaljne simulacije prometnih tokova na Slavonskoj aveniji. Ovi alati pružaju mogućnost testiranja različitih scenarija optimizacije i procjenu njihovih učinaka na protočnost.

• GIS alati:

Alati poput ArcGIS-a mogu pomoći u vizualizaciji podataka o prometnim gužvama u stvaranju karata zagušenja, što može olakšati donošenje odluka.

• IoT senzori i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu:

Korištenje IoT senzora za praćenje protoka prometa omogućuje prikupljanje točnih podataka

o trenutnom stanju na prometnici, što je ključno za donošenje odluka o optimizaciji.

3.4 Proširenje postojeće analize

Proširenje analize uključuje segmentaciju Slavonske avenije na kraće dionice i procjenu sigurnosnih i prometnih parametara za svaku dionicu. Uključivanje podataka o broju vozila po smjeru, trajanja čekanja i sigurnosnim problemima može pružiti detaljniji uvid u trenutne izazove i potencijalna rješenja. Dodatno, korištenje simulacijskih alata i referentnih primjera iz drugih gradova moglo bi pridonijeti donošenju informiranih odluka za optimizaciju.

4. POSTAVKA PROBLEMA I PRETPOSTAVKE

4.1 KLJUČNI KORACI ZA ANALIZU SLAVONSKE AVENIJE

Za provođenje analize prometnih uvjeta na Slavonskoj aveniji, potrebno je definirati ključne korake i parametre:

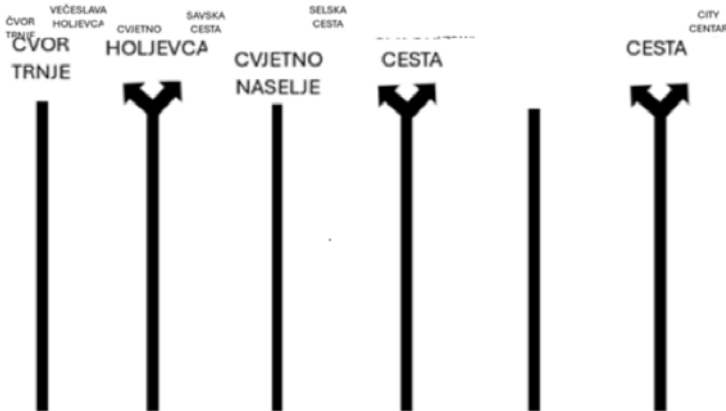
1. Prikupljanje podataka:

- o Prometna opterećenja: Broj vozila po satu, vršni sati, kategorije vozila.
- o Geometrijske karakteristike ceste: Broj prometnih traka, širina traka, raskrižja, stanje kolnika.
- o Signalizacija i semaforizacija: Trajanje semaforskih ciklusa, duljina zelenog svjetla, broj pješačkih prijelaza.
- o Prosječna brzina: Analiza brzine tijekom vršnih sati i razdoblja smanjene gužve.
- o Trajanje putovanja: Vrijeme potrebno za prolazak dionice i pojedinih segmenata.
- o Prometne nesreće: Broj i lokacije nesreća.
- o Podaci o javnom prijevozu: Prisutnost i učestalost linija javnog prijevoza na analiziranoj dionici.

Na temelju postojećih podataka identificirano je nekoliko ključnih prometnih parametara za dionicu od 7 kilometara (od križanja Trnje do hotela Antunović) s ukupno 12 raskrižja. Ključni ulazni podaci uključuju:

- o Duljina dionice: 7 km.
- o Prosječna brzina u trenutnom stanju: $V=16.7\text{ km/h}(4.63\text{ m/s})$ u vršnim dnevnim opterećenjima.
- o Broj raskrižja: 12, od kojih su 9 u razini i 3 u dva nivoa
- o Trajanje putovanja na dionici: $T\text{ trenutno}=25\text{ min}(1500\text{ s})$.

Na slici 1 prikazana su raskrižja koja se odnose na dionicu Slavonske avenije. Slika vizualno prikazuje lokacije najopterećenijih raskrižja, poput raskrižja s Avenijom Marina Držića, Heintelovom ulicom i Avenijom Dubrava, koja su identificirana kao ključne točke zagušenja. Ova raskrižja, zbog velikog intenziteta prometa i neadekvatne protočnosti, predstavljaju prioritet za implementaciju predloženih mjera poput izgradnje nadvožnjaka, uvođenja "zelenih valova" i optimizacije prometnih tokova. Slika 1 služi kao osnova za razumijevanje prostornih odnosa i analizu specifičnih karakteristika svake točke.



Slika 1 Prikazuje raskrižja na Slavonskoj aveniji, pri čemu su tri raskrižja označena strelicama jer su u dva nivoa.

2. Pretpostavke:

- o Raskrižja su semaforizirana s prosječnim vremenom čekanja od 50 s po raskrižju, kada dominantni cestovni smjer istok-zapad miruje, ukupno trajanje intervala većinom 140 sekundi.
- o Kapacitet ceste: dvije prometne trake u svakom smjeru.
- o Vrlo prometni koridor s maksimalnim prometnim opterećenjem od 1820 vozila/sat u svakom smjeru.

3. Ciljevi analize:

- o Kvantificirati utjecaj zagušenja na vrijeme putovanja.
- o Predložiti mjere za optimizaciju prometnog toka.

4.2 KLJUČNI POKAZATELJI I ANALITIČKI PRISTUP

Za kvantifikaciju prometnih uvjeta definirani su ključni pokazatelji: ukupno vrijeme putovanja, indeks zagušenja i kapacitet raskrižja.

1. Ukupno vrijeme putovanja

Vrijeme putovanja dionicom izračunava se kao ukupna vremena vožnje i vremena čekanja na raskrižjima.

2. Uvjeti:

- o Duljina dionice: $s=7$ km.
- o Prosječna brzina: $v=16.7$ km/h ili 4.63 m/s.
- o Vrijeme čekanja na jednom raskrižju: t raskrižja=50.
- o Broj raskrižja u razini: $N=9$.

3. Izračuni za vršno opterećenje:

- o Vrijeme vožnje:

$$T_{\text{vožnje}} = \frac{s}{v} = \frac{7000}{4,63} = 1512 \text{ s} = 25.2 \text{ min}$$

Ukupno vrijeme čekanja na raskrižjima u vršnom dnevnom opterećenju (od 7 do 9 sati i 15 do 18 sati):

$$T_{\text{čekanja}} = T_{\text{raskrižja}} \times N = (50 \times 2.0) \times 9 \text{ raskrižja u razini} = 900 \text{ s} = 15 \text{ min},$$

koeficijent čekanja u vršnom opterećenju semaforiskog sustava na dionici (2.0)

Ukupno vrijeme vožnje - čekanje na semaforima:

$$T = T_{\text{vožnje}} - T_{\text{čekanja}} = 25.2 - 15 = 10.2 \text{ min.}$$

4. Izračun za dnevno opterećenje od 9 sati do 15 sati:

o Duljina dionice: $s = 7 \text{ km}$

o Prosječna brzina: $v = 28.0 \text{ km/h}$ ili 7.78 m/s

o Vrijeme čekanja na raskrižju: 50 s .

o Broj raskrižja u razini: $N = 9$.

5. Izračun za normalno dnevno opterećenje od 9 do 15 sati:

$$T_{\text{vožnje}} = 7000 / 7.78 = 900 \text{ s} = 15 \text{ min}$$

$$T_{\text{čekanja}} = T_{\text{raskrižje}} \times N = (50 \text{ s} \times 0.7); 9 \text{ raskrižja} = 300 \text{ s} = 5 \text{ min},$$

gdje je koeficijent čekanja 0.7 na semaforima

$$T = T_{\text{vožnje}} - T_{\text{raskrižje}} = 15 - 5 = 10 \text{ min}$$

4.3 UTJECAJ POVEĆANJA BRZINE NA VRIJEME PUTOVANJA RJEŠENJEM DESNO-DESNO

Uvećanjem prosječne brzine na dionici na v povećano = 40 km/h (11.1 m/s), vrijeme vožnje smanjuje se kako slijedi; Novo vrijeme vožnje:

$$T_{\text{vožnje-novo}} = \frac{s}{v \text{ povećano}} = \frac{7000}{11.1} = 10.5 \text{ min.}$$

o Novo ukupno vrijeme putovanja:

$$T_{\text{novo}} = T_{\text{vožnje-novo}} + T_{\text{čekanja}} = 10.5 + 0 = 10.5 \text{ min.},$$

čekanja nema ukidanjem semaforiskog sustava

4.4. UTJECAJ POVEĆANJA BRZINE NA VRIJEME PUTOVANJA RJEŠENJEM NADVOŽNJAKA ILI PODVOŽNJAKA

Uvećanje prosječne brzine na dionici V povećano = 60 km/h (16.66 m/s), vrijeme vožnje smanjuje se kako slijedi:

$$T_{\text{vožnje}} = 7000/16.66 = 7 \text{ min}$$

$$T = T_{\text{vožnje}} - T_{\text{čekanja}} = 7.0 - 0 = 7.00 \text{ min,}$$

(čekanja nema ukidanjem semaforiskog sustava)

Navedenim rješenjima postojeća prometna propusnost Slavonske avenije povećala bi se s trenutno ograničenih 72000 vozila dnevno, zbog semaforizacije, na minimalno 92000 vozila dnevno. To bi smanjilo vršna prometna opterećenja s pet sati na manje od jednog sata dnevno. Budući da na pojedinim dijelovima avenije postoji šesterotračna cesta, implementacija predloženih mjera poboljšala bi sve prometne parametre, uključujući, prije svega, sigurnost prometa.

4.5. INDEKS ZAGUŠENJA.

Indeks zagušenja (k) definira se kao omjer stvarnog i teoretskog vremena putovanja (bez čekanja na raskrižjima).

$$K = \frac{T_{\text{stvarno}}}{T_{\text{teoretski}}}$$

o Za trenutne uvjete:

$$k_{\text{trenutno}} = \frac{35,2}{25,2} = 1.4$$

o Za uvjete s povećanom brzinom:

$$k_{\text{novo}} = \frac{20,5}{10,5} = 1.95 .$$

Interpretacija: Vrijednosti $k > 1$ ukazuju na prisutnost zagušenja, dok veće vrijednosti k označavaju ozbiljnije zagušenje.

4.6 KAPACITET RASKRIŽJA

Kapacitet raskrižja (C) definira se kao maksimalan broj vozila koji može proći kroz raskrižje u jedinici vremena:

$$C = \frac{3600 \times g}{c},$$

gdje je:

- g: trajanje zelenog svjetla (pretpostavljeno $g = 30 \text{ s}$),
- c: ukupno trajanje ciklusa (pretpostavljeno $c = 90 \text{ s}$).

Izračun za jedno raskrižje:

$$C = \frac{3600 \times 30}{90} = 1200 \text{ vozila/sat},$$

Ukupni kapacitet za 12 raskrižja:

$$C_{\text{ukupno}} = 12 \times 1200 = 14\,400 \text{ vozila/sat}.$$

Napomena: Ako prometno opterećenje premaši kapacitet raskrižja, dolazi do dodatnih zastoja, što dodatno produžava vrijeme putovanja.

Na temelju provedene analize, omogućeno je detaljno razumijevanje trenutnog stanja prometnih uvjeta na Slavonskoj aveniji te su identificirani ključni čimbenici koji pridonose zagušenjima. Dobiveni rezultati pružaju čvrstu osnovu za daljnju optimizaciju prometnog sustava na analiziranoj dionici.

4.7 PRIJEDLOG POBOLJŠANJA PROTOČNOSTI NA DIONICI SLAVONSKE AVENIJE

Na temelju analize trenutnog stanja prometa na Slavonskoj aveniji, predložene su ključne mjere koje bi mogle unaprijediti protočnost, smanjiti zagušenja te povećati sigurnost i učinkovitost prometnog sustava na ovoj dionici. Slavonska avenija, kao jedna od glavnih prometnih arterija Zagreba, suočava se s velikim prometnim opterećenjem, posebice na raskrižjima s Avenijom Marina Držića i drugim frekventnim prometnicama. Prijedlozi za poboljšanje uključuju infrastrukturne i organizacijske mjere osmišljene za prilagodbu prometnih tokova povećanom intenzitetu vozila.

Mogućnosti poboljšanja:

1. Izgradnja podvožnjaka i nadvožnjaka na najprometnijim raskrižjima

o Izgradnja nadvožnjaka, primjerice na raskrižju Slavonske avenije i Avenije Marina Držića, mogla bi značajno smanjiti zagušenja, omogućiti neprekidan protok prometa i povećati sigurnost. Takva rješenja eliminiraju konfliktne točke između prometnih tokova i smanjuju zadržavanje vozila, što posebno dolazi do izražaja u vršnim satima.

2. Uvođenje "desno-desno" rješenja

o Uvođenje posebnih prometnih traka za desno skretanje omogućilo bi vozilima da prolaze kroz raskrižja bez zaustavljanja na semaforima, čime bi se smanjilo vrijeme čekanja i povećala protočnost. Ovo rješenje bilo bi osobito učinkovito na raskrižjima s velikim udjelom desnih skretanja, poput onih na raskrižjima Slavonske avenije s Avenijom Dubrava ili Ulicom Heinzelova.

3. Optimizacija semaforske regulacije putem "zelenih valova"

o Primjena "zelenih valova" omogućila bi koordinaciju semaforskih ciklusa duž Slavonske avenije, čime bi vozila mogla prolaziti kroz više uzastopnih raskrižja bez zaustavljanja. Ovo bi značajno smanjilo vrijeme putovanja, posebice tijekom vršnih sati, te doprinijelo smanjenju emisija CO₂.

4. Uklanjanje pješačkih prijelaza i izgradnja pothodnika

o Na najfrekventnijim raskrižjima, uklanjanje pješačkih prijelaza i izgradnja pothodnika za pješake omogućilo bi nesmetan prometni tok te dodatno povećalo sigurnost. Ovo rješenje moglo bi se primijeniti na ključnim točkama kao što su raskrižja Slavonske avenije s Avenijom Marina Držića ili Heinzelovom ulicom, gdje su prometne gužve najizraženije.

5. Izgradnja nadvožnjaka na najprometnijim raskrižjima predstavlja dugoročno rješenje za smanjenje zagušenja i povećanje sigurnosti

- o Smanjenje vremena putovanja na dionici.
- o Smanjenje emisija CO₂ uslijed smanjenog zastoja vozila.
- o Povećanje prometne sigurnosti kroz eliminaciju konfliktnih točaka između vozila i pješaka.
- o Povećanje atraktivnosti i vrijednosti prostora u blizini zbog smanjene razine zagušenja i buke.

6. Alternativno rješenje za poboljšanje protočnosti prometa uključuje uklanjanje semafora na odabranim raskrižjima te implementaciju "desno-desno" rješenja u kombinaciji s kružnim tokovima.

- o Ovakav pristup može značajno smanjiti vrijeme zadržavanja vozila, ali zahtijeva detaljno planiranje kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u prometu, uključujući pješake i bicikliste.

5. DISKUSIJA

Slavonska avenija, kao ključna prometna arterija Zagreba, suočava se s visokim intenzitetom prometa, što zahtijeva strateški pristup u planiranju i implementaciji predloženih mjera. Dva glavna prijedloga, izgradnja nadvožnjaka i optimizacija raskrižja, razmatraju se u kontekstu njihovih potencijala, izazova i utjecaja na prometni sustav. Izgradnja nadvožnjaka na ključnim raskrižjima, poput spoja s Avenijom Marina Držića, predstavlja dugoročno i održivo rješenje za smanjenje prometnih zagušenja, omogućujući kontinuirani protok prometa, osobito tijekom vršnih sati, te smanjenje negativnih utjecaja prometa na okoliš. Očekivani učinci:

- Smanjenje vremena putovanja: Na najopterećenijim dijelovima dionice promet bi se odvijao nesmetano, eliminirajući zastoj uzrokovan čekanjem na semaforima.
- Smanjenje emisija CO₂: Kontinuirani prometni tok rezultirao bi manjim emisijama uzrokovanim zaustavljanjem i kretanjem vozila u zastoju.
- Povećanje atraktivnosti prostora: Smanjenje razine zagušenja i buke pozitivno bi utjecalo na kvalitetu života u blizini nadvožnjaka, čime bi se povećala atraktivnost stambenih i poslovnih prostora u okolini.

Kao dodatna mogućnost, predlaže se optimizacija raskrižja putem uvođenja "desno-desno" rješenja i kružnih tokova, uz ukidanje semafora na odabranim lokacijama. Ova mjera nudi troškovno efikasniju alternativu u usporedbi s izgradnjom nadvožnjaka, ali zahtijeva precizno planiranje. Prednosti koje bi se tako postigle:

- Povećanje protočnosti: Uklanjanjem semafora smanjuju se zastoje na raskrižjima, a vozila se mogu kretati neprekidno uz pravilnu regulaciju tokova.

- Sigurnost za sudionike u prometu: Kružni tokovi smanjuju rizik ozbiljnih nesreća jer usporavaju prometne tokove i uklanjaju konfliktne točke.
- Prilagodba za alternativne oblike prijevoza: Planiranje kružnih tokova i raskrižja uključivalo bi i biciklističke i pješačke staze, čime se potiče održiva mobilnost.

Međutim, primjena ovog rješenja zahtjeva detaljnu analizu udjela skretanja, kapaciteta raskrižja i prometnih tokova kako bi se izbjeglo preopterećenje kružnih tokova i omogućila sigurnost svih sudionika. Osim toga, pješaci i biciklisti mogu naići na poteškoće ako infrastruktura nije adekvatno prilagođena njihovim potrebama.

6. ZAKLJUČAK

Analiza Slavonske avenije ukazuje na složene prometne izazove koji zahtijevaju sveobuhvatan, sustavan i multidisciplinarni pristup kako bi se poboljšala protočnost, sigurnost i održivost ove ključne prometnice Zagreba. S obzirom na specifičnosti prometnih tokova, identificirane su prioritetne mjere, uključujući proširenje kapaciteta ceste, optimizaciju semaforских sustava, rekonstrukciju raskrižja te poticanje korištenja javnog prijevoza. Ove intervencije imaju potencijal značajno unaprijediti prometne uvjete na Slavonskoj aveniji, uz istovremeno smanjenje zagušenja i negativnih utjecaja na okoliš.

Posebno se ističu dva infrastrukturna pristupa: izgradnja nadvožnjaka na ključnim raskrižjima te optimizacija raskrižja primjenom "desno-desno" rješenja i kružnih tokova. Nadvožnjaci omogućuju dugoročni kontinuitet prometa na najopterećenijim točkama, dok organizacijska rješenja poput "zelenih valova" i kružnih tokova nude manje financijski zahtjevnu, ali učinkovitu alternativu. Uz to, mjere poput pothodnika za pješake i sustava prilagodljivih semafora dodatno bi povećale sigurnost i učinkovitost prometnog sustava.

Za uspješnu implementaciju predloženih mjera potrebno je provesti detaljne analize izvodljivosti, troškova i utjecaja na okolinu, uzimajući u obzir specifične karakteristike svake dionice i raskrižja Slavonske avenije. Praćenje rezultata implementiranih mjera ključno je za procjenu dugoročnih učinaka na protočnost, sigurnost i kvalitetu života građana, pri čemu ključni pokazatelji, poput smanjenja broja nesreća, prosječnog vremena putovanja i emisija štetnih plinova, omogućuju pravovremenu prilagodbu strategija u skladu s promjenama prometnih tokova. Kako bi se dodatno unaprijedila učinkovitost predloženih mjera, preporučuje se simulacija različitih scenarija, uključujući optimizaciju semafora, proširenje kapaciteta ključnih raskrižja i uvođenje kružnih tokova, dok bi participativni pristup, uz uključivanje lokalne zajednice i relevantnih stručnjaka, dodatno osigurao uspješnost i prihvaćanje mjera.

Dugoročne koristi implementiranih rješenja uključuju povećanje prometne brzine, smanjenje zagušenja i emisija štetnih plinova te poboljšanje kvalitete života građana. Zaključno, Slavonska avenija ima potencijal postati moderna, funkcionalna i održiva prometnica uz pažljivo planiranje i implementaciju predloženih mjera. Integrirani pristup, koji uključuje prometnu analizu, infrastrukturne intervencije, ekološke aspekte i sudjelovanje zajednice, ključan je za stvaranje sigurnog, učinkovitog i održivog prometnog sustava u Zagrebu.

REFERENCE

- [1] Urban Traffic Management Reports. (2022). Urban Mobility and Traffic Flow Analysis. *International Journal of Urban Planning*, 10(2), pp. 45–67.
- [2] PU Zagrebačka. (2023). Prometne analize i izvještaji nesreća za Slavonsku aveniju. Policijska uprava Zagrebačka.
- [3] Statistika nesreća. (2021). Godišnji izvještaj o prometnim nesrećama u Zagrebu. Zavod za prometne studije.
- [4] Istraživanja o pametnim semaforским sustavima. (2020). Optimizacija prometnih signala u urbanim sredinama. *Urban Traffic Review*, 12(4), pp. 89–102.
- [5] Case Studies on Urban Traffic Solutions. (2019). Effective Measures for Reducing Congestion in City Centers. *Traffic Engineering Journal*, 8(3), pp. 112–130.
- [6] Master Plan razvoja prometa Zagreba. (2027). Strateški plan razvoja prometne infrastrukture. Grad Zagreb.
- [7] Prometne strategije za urbane sredine. (2025). Izazovi i prilike za održivi promet. *Proceedings of the Urban Mobility Conference*.
- [8] PU Zagrebačka. (2023). Prometne analize i izvještaji nesreća za Slavonsku aveniju. Policijska uprava Zagrebačka.
- [9] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V., Kotsialos, A., & Wang, Y. (2003). Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, 91(12), 2043–2067. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2003.819610>
- [10] Statistika nesreća, Slavonska avenija, 2021. Zavod za prometne studije.
- [11] Vlahogianni, E. I., Karlaftis, M. G., & Golias, J. C. (2005). Optimized and integrated traffic corridor management. *Transportation Research Part A*, 39(5), 445–460. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.02.005>
- [12] Zhang, L., Wang, Y., & Huang, W. (2020). Simulation-based evaluation of urban traffic corridors. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(2), 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.001>
- [13] Chen, X., & Yang, H. (2019). Optimization of Traffic Signal Timing for Urban Intersections. *Transportation Research Part C*, 102, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.03.015>
- [14] Master Plan razvoja prometa Zagreba. (2027). Strateški plan razvoja prometne infrastrukture. Grad Zagreb.
- [15] Zhang, L., & Huang, W. (2020). Traffic simulation analysis. *Journal of Traffic Research*.
- [16] Papageorgiou, M., & Wang, Y. (2003). Road traffic control strategies. *IEEE*.
- [17] Vlahogianni, E. I., & Karlaftis, M. G. (2005). Corridor optimization. *Transportation Analysis Reports*.
- [18] Master Plan razvoja prometa Zagreba. (2027). Strateški plan razvoja prometne infrastrukture. Grad Zagreb.

PLATINUM SPONSOR



GOLD SPONSORS



SILVER SPONSORS



BRONZE SPONSORS



PARTNERS

