

OZLJEDE POVEZANE S ELEKTRIFICIRANIM ŽELJEZNIČKIM SUSTAVOM

Rogošić, Ante

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac
University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:825969>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied
Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ante Rogošić

**NESREĆE POVEZANE S
ELEKTRIFICIRANIM ŽELJEZNIČKIM
SUSTAVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Ante Rogošić

ACCIDENTS ASSOCIATED WITH ELECTRIFIED RAILWAY SYSTEMS

Final paper

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Ante Rogošić

**NESREĆE POVEZANE S
ELEKTRIFICIRANIM ŽELJEZNIČKIM
SUSTAVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

dr.sc. Vladimir Tudić, prof. struč. stud.

Karlovac, 2024.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J.J.Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni diplomski studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, kolovoz 2024.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Ante Rogošić

Matični broj: 0422422011

Naslov: Nesreće povezane s elektrificiranim željezničkim sustavima

Opis zadatka: Cilj ovog rada je analizirati nesreće povezane s elektrificiranim željezničkim sustavima korištenjem dostupnih statističkim podataka. Analiza će se fokusirati na prikupljanje i statističku analizu podataka o nesrećama s ciljem identificiranja ključnih rizika i prijedloga mjera za poboljšanje sigurnosti.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Travanj 2024.

Kolovoz 2024.

Rujan 2024.

Mentor:

dr.sc. Vladimir Tudić, prof. struč. stud.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

PREDGOVOR

Ovaj rad kao i njegova tema, nastali su u kontekstu ozljeda koje se gotovo svakodnevno događaju na željezničkim prugama, a posebice na elektrificiranim željezničkim sustavima. Prvotna namjena ovoga rada jest za potrebe diplomskog rada specijalističkog diplomskog stručnog studija sigurnosti i zaštite. Tijekom pisanja rada proučena je brojna domaća i svjetska literatura, te je ista korištena na akademski prihvatljiv način.

Tijekom pisanja ovoga rada od neizmjerne pomoći bio mi je mentor, X., kojem se ovim putem zahvaljujem.

Također, zahvaljujem se i Veleučilištu u Karlovcu u kojem sam tijekom studiranja stekao brojna znanja i vještine koje ću primijeniti u svom daljnjem radu i usavršavanju.

I na posljetku, zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na bezuvjetnoj podršci.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Ovaj rad obrađuje problematiku nesreća povezanih s elektrificiranim željezničkim sustavom kao i sigurnosne mjere, te opisuje predložene ideje poboljšanja istih.

Za te potrebe odrađeno je istraživanje na temelju analize dostupnih podataka o nesrećama na elektrificiranim željezničkim sustavima u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine daje uvid u stanje sigurnosti hrvatskih željeznica, vrste nesreća, broj teško ozlijeđenih, smrtno stradalih osoba, te su na kraju istaknute pojedinosti predloženih sustava sigurnosti i zaštite.

U radu su uspoređeni različiti dostupni statistički podaci nesreća na elektrificiranim željezničkim sustavima Republike Hrvatske. Autor zaključuje da uloga sustava sigurnosti i zaštite predstavlja bitnu ulogu u svakodnevnoj funkciji željezničkog prometa i sigurnosti putnika, radnika te same okoline. Rad je izrađen sukladno Pravilniku, a vodio i komentirao ga je mentor.

Ključni pojmovi: željeznice, elektrifikacija, nesreće, ozljede

SUMMARY AND KEYWORDS

This paper deals with the issue of accidents related to the electrified railway system as well as safety measures, and describes proposed ideas for improving them.

For these purposes, research was carried out based on the analysis of available data on accidents on electrified railway systems in the period from 2015 to 2020. It provides an insight into the state of safety of Croatian railways, the types of accidents, the number of seriously injured and fatal persons, and finally highlighted details of proposed safety and security systems.

The paper compares various available statistical data on accidents on the electrified railway systems of the Republic of Croatia. The author concludes that the role of the safety and protection system represents an essential role in the daily function of railway traffic and the safety of passengers, workers and the environment itself. The paper was prepared in accordance with the Rulebook, and was guided and commented by the mentor.

Keywords: railways, electrification, accidents, injuries

SADRŽAJ

STRANICA

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	III
SADRŽAJ	V
1. UVOD	1
1.1. Predmet i cilj rada.....	2
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja	3
2. ELEKTRIFIKACIJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA	4
2.1. Razvoj i karakteristike sustava za napajanje elektrificiranih pruga.....	4
2.2. Kontaktna mreža	6
2.3. Elektrifikacija željeznica u Republici Hrvatskoj	8
3. SIGURNOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA.....	11
3.1. Uzroci nesreća u željezničkom prometu.....	12
3.2. Nesreće uzrokovane strujnim udarom.....	13
3.3. Razina sigurnosti na hrvatskim željeznicama.....	15
3.4. Razina sigurnosti željezničkog sustava u EU.....	16
3.5. Pravni i regulatorni aspekti	18
3.5.1. Nacionalni i međunarodni zakoni o sigurnosti u željezničkom prometu .	18
3.5.2. Propisi i standardi za rad na elektrificiranim željezničkim sustavima	19
3.5.3. Postupci u slučaju nesreća i odgovornost.....	20
4. EKSPERIMENTALNI DIO	22
4.1. Metoda istraživanja	22
4.2. Uzorak.....	22
4.3. Analiza podataka.....	22

4.4. Rezultati	22
4.5. Rasprava.....	33
5. PRIJEDLOZI ZA POBOLJŠANJE SIGURNOSTI.....	37
6. ZAKLJUČAK.....	41
7. LITERATURA	43
8. PRILOZI.....	45
8.1. Popis simbola.....	45
8.2. Popis slika	46
8.3. Popis tablica.....	46
8.4. Popis grafikona	47

1. UVOD

Početak elektrifikacije željeznice datira od posljednjeg desetljeća 19. stoljeća. Mnoge glavne željezničke pruge su od tada pa sve do danas elektrificirane. Električna vuča zauzima vodeće mjesto prema obujmu prijevoza u svim zemljama koje su industrijski razvijene. U godinama nakon drugog svjetskog rata, elektrifikacija željeznica dosegla je pojačan tempo, posebice u Europi. Na elektrificiranim prugama vuču vlakova obavljaju električne lokomotive s teretnim ili putničkim vagonima, te elektromotorni vlakovi s vlastitim električnim pogonom. Neke od važnijih značajki uvođenja električne vuče na željeznicama su:

- ekonomski čimbenik zbog nižih troškova prijevoza,
- povoljnije korištenje izvora energije,
- veće prometne mogućnosti zbog težih i bržih vlakova, i povećanje propusne i prijevozne moći pruga po broju vlakova i količini transporta,
- te najviša tehnička razina u željezničkoj vuči [1].

Razvojem elektroindustrije i elektrotehnike su nastajali različiti sustavi elektrifikacije željezničkih pruga. Potkraj 20. stoljeća nastao je prvi i jedini takav sustav, odnosno, istosmjerni sustav napona od 600 V. Isti se primjenjivao na području podzemnih željeznica velikih gradova, dok se na željeznicama gotovo niti nije primjenjivao. Općenito, prema stupnju elektrotehnike usavršavala se i razvijala elektrifikacija željeznica, te je znatno utjecala na njezin razvoj. Jedan od tehničkih problema elektrifikacije željeznice jest bilo pronalaženje izvora koji je najpovoljniji, kao izvora za prijenos električne energije do lokomotive [1].

No, kao i u svakom poslu, nesreće i ozljede povezane s elektrificiranim željezničkim sustavom nisu rijetkost. Pa tako primjerice prema podacima dostupnim na Eurostatu u 2022. godini u Europskoj uniji (EU) je prijavljeno 1615 značajnih željezničkih nesreća. U ovim nesrećama ukupno je smrtno stradalo 808 osoba, dok su još 593 osobe teško ozlijeđene. Na razini EU-a broj poginulih u željezničkim nesrećama postupno se smanjivao tijekom posljednjeg desetljeća, s 1245 u 2010. na 808 u 2022., što je pad od 35,1%. Međutim, treba napomenuti da se od 2019. do 2021. smanjenje broja željezničkih nesreća, poginulih i teško ozlijeđenih osoba poklopilo s naglim padom željezničkog prijevoza putnika uzrokovanog pandemijom Covid-19. Veliko povećanje rada na daljinu i

školovanja od kuće, u kombinaciji s preporukama za izbjegavanje nepotrebnih putovanja tijekom pandemije, pridonijelo je skoro prepolovljavanju željezničkog prijevoza putnika u EU. Ukidanjem ograničenja, željeznički promet značajno je porastao, što može objasniti primijećeni porast broja nesreća, a posljedično i broja poginulih u 2022. u odnosu na 2021. (+18,3%) [2].

U ovom radu, analizirane su nesreće koje su se dogodile na elektrificiranim željezničkim sustavima. Analizirane su nesreće i ozljede na radu zaposlenika, putnika, te ostalih sudionika željezničkog prometa. Općenito, ozljeda na radu se prema Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo definira kao ozljeda koja je nastala kratkotrajnim i neposrednim fizikalnim, kemijskim i mehaničkim djelovanjem, ali i iznenadnim opterećenjem tijela, naglim promjenama položaja tijela i nekim drugim promjenama fiziološkog stanja organizma ukoliko je tako nastala ozljeda vezana uzročno uz obavljanje posla. Također, ozljedom na radu smatra se i bolest koja je nastala isključivo i izravno kao posljedica više sile ili nesretnog slučaja za vrijeme rada [3]. Osim toga, u radu su navedene i analizirane nesreće nastale od strujnog udara na Hrvatskim željeznicama (HŽ).

Ovim radom ukazati će se na utvrđivanje temeljnih mjera i potrebnih aktivnosti za sprječavanje protupravnih radnji i ostvarivanje određenog stupnja zaštite šticećenog sustava. [26]

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovoga rada su nesreće koje su se dogodile na elektrificiranim željezničkim sustavima u periodu od 2015. do 2020. godine. U ovom radu provedena je analiza nesreća, smrtnih slučajeva u željezničkom prijevozu, te nesreća uzrokovanih udarom električne struje na elektrificiranim željezničkim sustavima.

Cilj ovoga rada jest analizirati nesreće povezane s elektrificiranim željezničkim sustavima korištenjem dostupnih statističkih podataka. Nadalje, cilj ovog istraživanja i analize je vidjeti događa li se rast ili pad nesreća, ozljeda, smrtnih slučajeva u željezničkom prijevozu kroz dostupne godine iz statističkih podataka. Analiza je usredotočena na prikupljanje i statističku analizu podataka o ozljedama s ciljem identificiranja ključnih rizika i davanja prijedloga mjera za poboljšanje sigurnosti. U skladu sa važećim i dostupnim informacijama cilj izradbe je izraditi kvalitetan dokument kao podlogu za provođenje

predviđenih aktivnosti. U radu ne navode se cijene opreme (alarmnih sustava) i uređaja (video nadzora i sustava za kontrolu pristupa) koji su obuhvaćeni predloženim stupnjem zaštite, takvi detalji prepušteni su odabiru investitora i ovlaštenih tvrtki koje izvode navedene radove. [26]

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Tijekom pisanja rada preuzeti su različiti znanstveno istraživački radovi različitih autora koji su analizirani i korišteni na akademski prihvatljiv način. U radu je korištena deskriptivna metoda koja je posebno naglašena u uvodnom dijelu rada, te u prvom i drugom poglavlju gdje su pojašnjeni pojmovi važni za razumijevanje rada. Glavni dio rada čini eksperimentalni dio u kojemu su korištene metode analize i komparacije. U glavnom poglavlju je korištena i metoda deskripcije kako bi se rezultati istraživanja prikazali na jasniji način. Glavne misli rada sintetizirane su u zaključnom dijelu. Sve metode korištene su radi lakšeg razumijevanja teme i glavnih pojmova, te za konstrukciju zaključka.

2. ELEKTRIFIKACIJA ŽELJEZNIČKIH PRUGA

Na industrijskoj izložbi u Berlinu 1879. godine je predstavljena prva električna željeznica koja je bila duga oko 300m, a bila je izgrađena od strane Wernera von Siemens. Takva električna lokomotiva bila je pokretana od strane motora čija je snaga iznosila 9,6kW. Motor je dobivao električnu struju uz napon od 160V putem posebne kontaktne tračnice, tračnice po kojima se vlak kretao služile su kao povratni vodič. Ukupno je bilo 18 putnika, a tri su se mala vagona kretala brzinom od 7 km/h. Potom je u Njemačkoj uslijedilo istraživanje uporabe električne vuče, a odmah zatim i u Velikoj Britaniji, Austriji, Sjedinjenim Američkim Državama (SAD), Francuskoj i Irskoj. Godine 1881. za promet je bila otvorena prva urbana električna željeznica koja je povezivala Berlin i Lichterfeld. U Europi je prva električna lokomotiva vozila 1899. godine na relaciji Burgdorf – Thun, a pokretao ju je sustav za napajanje električne vuče koji je bio trofazni pod naponom od 750 V [1].

Godine 1900. istosmjerni motor veće snage još uvijek nije postojao, pa se koristio trofazni izmjenični asinkroni motor. Takav se sustav pokazao vrlo složenim u praksi jer je za svoje korištenje zahtijevao dva međusobno izolirana kontaktna voda što je bilo nespretno kod skretnica. Dodatni trošak jest bio uzrokovan nemogućnošću izravnog povezivanja željezničke mreže na javnu elektroprivrednu mrežu. Zbog navedenog, nužno je bilo pronaći rješenje koje je jednostavnije. Istraživanja su se granala u dva smjera, istosmjerne i izmjenične struje [1].

2.1. Razvoj i karakteristike sustava za napajanje elektrificiranih pruga

Elektroenergetski infrastrukturni podsustav čine:

- stabilna postrojenja za napajanje električne vuče,
- te druga elektroenergetska postrojenja [4].

Osnovne dijelove svake elektrificirane pruge čine:

- elektrovuča,
- napajanje,
- kontaktna mreža,
- elektrovučne podstanice

- i daljinsko upravljanje [4].

Elektrovučni motori imaju zadaću u elektromotornim vlakovima i električnim lokomotivama pretvoriti električnu energiju kontaktne mreže u mehaničku radnju koja služi za vuču vlakova. Izvori napajanja podstanica obično su udaljene elektroprivredne transformatorske stanice visokog napona. Kontaktna mreža kao stabilno postrojenje električne vuče bit će detaljnije opisano dalje u radu. Elektrovučne podstanice imaju ulogu da električnu energiju visokog napona koja je dobivena putem dalekovoda transformiraju u drugu vrstu električne energije ili drugu visinu napona u svrhu napajanja kontaktne mreže elektrificiranih pruga. Kako bi se uštedjelo na radnoj snazi, s ručnog upravljanja prešlo se na daljinsko upravljanje. U daljinsko se upravljanje ubraja uključivanje i isključivanje osnovnih rastavljača i prekidača, mjerenje napona i struje, kao i dojava čitavog stanja u centralnu daljinsku komandu s udaljenih mjesta pruge [4].

O stupnju tehničkih rješenja električnog vučnog motora, kao i o prijenosu i proizvodnji električne energije do motora je je ovisio čitav razvoj elektrifikacije željeznica. Primjena elektrotehnike u elektroindustriji potkraj 19. i početkom 20. stoljeća ogleda se veći dio razvoja elektrifikacije željeznice. Tijekom tog razvoja donosila su se različita tehnička rješenja od kojih su neka danas rijetko u upotrebi ili su potpuno napuštena. Neka od tehničkih rješenja koja su se koristila bila su:

- Izvori struje i napona – za istosmjerne sustave napajanja su postojale vlastite istosmjerne elektrane, te hidroelektrane za sustave napajanja koji su koristili sniženu frekvenciju 16 Hz. Danas se koriste elektrovučne podstanice za izmjenične i istosmjerne sustave napajanja [1].
- Prijenos električne energije do elektrovučne podstanice – koristili su se vlastiti željeznički i elektroprivredni dalekovodi [1].
- Prijenos električne energije od elektrovučne podstanice do elektrolokomotive – koristili su se tramvajsko ovjes, potpuno kompenzirana i polukompenzirana kontaktna mreža, zračni vodni vod i slično [1].
- Povratni strujni put – povratno uže i tračnice željezničke pruge (samo jedna ili obje uzemljene) [1].
- Provodio se postupni razvoj izolatora i izolacija, kao i uređaja za više napone [1].

- Proizvodile su se električne lokomotive svih snaga, vrsta i veličina – za jednofaznu struju sniženih frekvencija 16 Hz, 15 kV, za istosmjernu struju napona 600 V, 1500 V i 3000 V, za trofaznu struju 3,3 kV, 50 Hz [1].

Danas se u najnovijim izvedbama lokomotiva nalaze četiri oduzimača struje na krovu, dok se na njihovim krajnjim položajima nalaze oduzimači izmjenične struje napajanja. Lokomotive su, isto tako, opremljene vakuumskim glavnim prekidačem za izmjenični sustav, kao i s istosmjernom brzom sklopkom za istosmjerni sustav koji se nalazi u strojarnici. Uz sve navedeno, na krovu lokomotive se nalaze i naponski pretvarači koji su osigurani od eksplozije kako bi se zaštitilo osoblje. Nadalje, transformator čini neizostavni dio napajanja lokomotive energijom, s tim da je glavni transformator zapravo jednofazni transformator koji je izveden za napone izmjeničnog sustava od 15 kV, 16 2/3 Hz i izmjenični sustav od 50 Hz, odnosno, 25 kV. U kotlu transformatora se nalaze željezna jezgra s primarnim i sekundarnim namotima i apsorpcijskom prigušnicom između dva vučna međukruga. Kao prigušnice mrežnog filtra, u istosmjernom sustavu napajanja se koriste namoti [1].

2.2. Kontaktna mreža

Kontaktna mreža (KM) jest stabilno postrojenje električne vuče koje je namijenjeno kvalitetnom i neprekidnom napajanju električnih vučnih vozila električnom energijom, i to u svim vremenskim uvjetima i pri svim brzinama. Kontaktna mreža je vrlo složen i skup objekt, te čini najveći dio svih investicija za izgradnju stabilnih postrojenja jer ista nema nikakvu rezervu u pogledu instalacija. Prema tome, kontaktnu mrežu potrebno je oprezno projektirati i izgraditi, ali i održavati kako bi bila kvalitetna njezina eksploatacija. Kontaktna mreža se sastoji od povratnog i voznog voda, te služi prijenosu električne energije do električne lokomotive od elektrovočne stanice. Naziv kontaktne mreže potječe od klizne žice ili kontaktnog vodiča. Energija se nekada prenosila uz pomoć izolirane treće tračnice koja je smještena duž kolosijeka, no to se danas koristi samo u podzemnim željeznicama. Na nosive konstrukcije iznad kolosiječnih postrojenja u postavljeni nadzemni vodiči kontaktne mreže. Osnovne elemente kontaktne mreže čine:

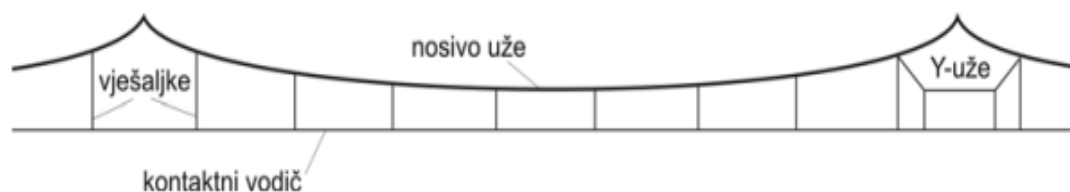
- naponski vod,
- vozni vod,
- nosive konstrukcije kontaktne mreže,

- oprema za električno rastavljanje,
- oprema za vješanje i automatsko zatezanje,
- te povratni vod i tračnice [1].

Kontaktni vodič ima na sebi provjes čiji iznos ovisi o brojnim čimbenicima među kojima je najznačajnija temperatura. Isto tako, kontaktni vodič mora stalno biti na istoj visini, te bi trebao biti što više paralelan s kolosijekom s ciljem bržeg gibanja vlaka. Ovdje vrlo važnu ulogu ima i nosivo uže jer vješaljka pridržava kontaktni vodič kako bi on s prugom bio paralelan [1].

Prema konstrukciji kontaktna mreža se dijeli na:

- prostu (tramvajsku) kontaktnu mrežu – u pravilu ima samo jedno nosivo uže i jedan kontaktni vodič kao što je prikazano na slici 1,
- i lančastu kontaktnu mrežu – naziv je dobila po obliku nosivog užeta koje osigurava ravnomjerniju i veću elastičnost, te horizontalni položaj kontaktnog vodiča. Isto tako, lančasta kontaktna mreža omogućava brzinu kretanja vlakova više od 200 km/h [1].



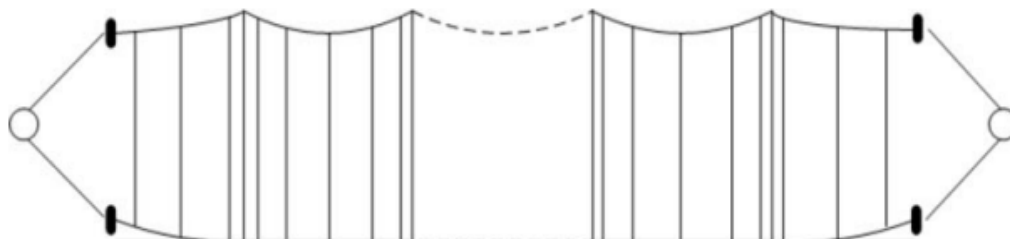
Slika 1. Lagana kontaktna mreža [1]

S obzirom na način zatezanja i ovješnja, postoje tri vrste kontaktne mreže, a to su:

- nekompensirana,
- polukompensirana,
- i kompenzirana kontaktna mreža [1].

Nekompensirana kontaktna mreža (slika 2) jest ona mreža kod koje su kontaktni vodič i nosivo uže čvrsto ukotvljeni. Ista je pogodna za kratke kolosijeke i male brzine. Nadalje, kod polukompensirane kontaktne mreže, čvrsto je ukotvljeno nosivo uže, a utezima je

nategnut kontaktni vodič preko kolotura na oba kraja uz pomoć sustava automatskog zatezanja. Isto tako, polukompenzirana kontaktna mreža jest građena za brzinu do 120 km/h [1]. Kompenzirana kontaktna mreža jest ona mreža kod koje su nosivo uže i kontaktni vodič zategnuti uz pomoć uređaja za automatsko zatezanje [5].



Slika 2. Nekompenzirana kontaktna mreža [1]

Ukupna dužina kontaktne mreže na željezničkim prugama u Hrvatskoj iznosi 1.775,109 kilometara. Od toga, HŽ Infrastruktura ima elektrificirano samo 37,2% pruga, što je ukupno 970,143 kilometara. Od ove dužine, 966,817 kilometara elektrificirano je izmjeničnim sustavom (25 kV, 50 Hz), dok je 3,326 kilometara elektrificirano istosmjernim sustavom (3 kV) na dionici pruge Šapjane-DG. Zbog nedostatnog ulaganja u prethodnom razdoblju, stabilna postrojenja za napajanje električne vuče nisu u zadovoljavajućem stanju. Rekonstrukcije ovih postrojenja, s ciljem tehničkog poboljšanja i modernizacije kako bi se osigurala sigurna i nesmetana vožnja električnih vlakova, nisu izvršene u potrebnoj mjeri. Posljedica toga je smanjena operativna pouzdanost uređaja, opreme, konstrukcija i postrojenja u cjelini [4].

2.3. Elektrifikacija željeznica u Republici Hrvatskoj

U RH sve do 1955. godine je jedino parna vuča služila potrebama na hrvatskim željeznicama. Prijelazni period je započeo nakon 1955. godine kada se postupno uvodila dizel – električna lokomotiva. Nakon toga, započinje proces elektrifikacije hrvatskih željeznica u razdoblju od 1952. do 1964. godine, a potom se od 1964. pa sve do 1970. godine modernizirao značajan dio željeznice. Prema tome, od 1970. godine, električna vuča i elektrifikacija pruga postala je glavni i osnovni pokretač vuče na magistralnim

prugama. Propusna moć pruge se povećala za 60% elektrifikacijom pruge, a pothvati i nabava materijala se financirala vanjskim i domaćim kreditima, a dio i vlastitim sredstvima HŽ-a. Općenito, električnom vučom i elektrifikacijom pruga ostvarila se modernizacija željezničke vuče s manje ljudi i manjim brojem snažnijih električnih lokomotiva, što je dovelo do velike uštede i brže otplate sredstava koji su uloženi [4].

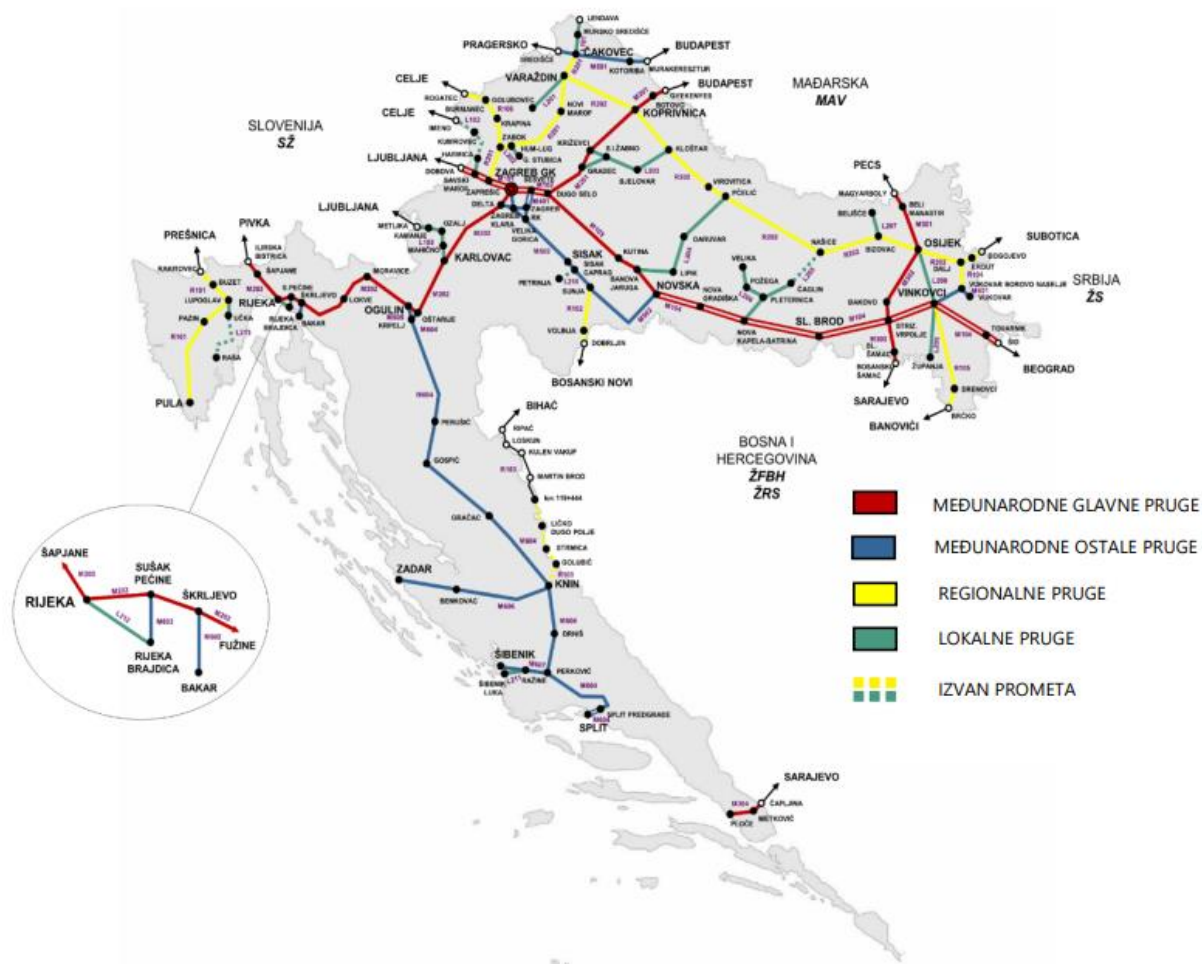
Uloga HŽ-a ima vrlo važnu i značajnu ulogu u privredi RH, a prva elektrificirana linija bila je na relaciji Rijeka – Pivka. Njezina ukupna duljina iznosila je 64 km, od čega samo 28 km pripada Hrvatskoj (Rijeka – Šapjane). Nadalje, u periodu od 1952. godine, pa sve do 1966. godine, izvedena je elektrifikacija na relaciji Zagreb – Rijeka u duljini od 229 km, s 3 kV sustavom. Bivše Jugoslavenske željeznice su se sredinom šezdesetih godina opredijelile za sustav 25 kV, odnosno, 50 Hz. Za novu elektrifikaciju, prva pruga koja je bila određena je bila na relaciji Zagreb – Beograd što je ujedno bila i najvažnija pruga bivše države. Njezina je elektrifikacija završena početkom 1969. godine, a sredinom te iste godine završena je elektrifikacija pruge na relaciji Sarajevo – Ploče (22 km te pruge je na teritoriju RH) potpuno novim sustavom napajanja. Godine 1981. dovršena je elektrifikacija linije Zagreb – Koprivnica. Također, Savski most u Zagrebu imao je dva kolosijeka koji su bili odvojeni, a to su istočni kolosijek prema Bosni i Sisku koji se napajao izmjeničnom strujom, dok je drugi bio prema Rijeci, a napajao se istosmjernim naponom od 3 kV [4].

Generalna rekonstrukcija dionice između Drivenika i Škriljeva na riječkoj pruzi je izvršena 1999. godine. Sukladno tomu bilo je potrebno uskladiti kontaktnu mrežu s novo obnovljenim kolosijekom, a potrebna uklađivanja nije bilo moguće izvršiti s postojećim konzolama od 3 kV zbog promjena središnje osi i razine tračnica. Navedeno je bilo dobra prilika za izmjenu istrošenih starih konzola s novima od 25 kV. Isto tako, stara kontaktna mreža bila je polukompenzirana, dok je nova potpuno kompenzirana. Izmjena se vršila sve do svibnja 2000. godine, a sav je zamjenski materijal bio proizveden u RH [4].

Pruge u hrvatskom željezničkom sustavu su ukupne duljine 2.617 km, te su razvrstane na:

- međunarodne željezničke pravce (duljine 1.460 km),
- regionalne pravce (duljine 626 km),
- pravce lokalne važnosti (duljine 531 km [6].

Na slici 3 prikazan je željeznička pruga u RH te podjela pruge na lokalne, međunarodne, regionalne i ostale pruge [6].



Slika 3. Željezničke pruge u RH [6]

3. SIGURNOST ŽELJEZNIČKOG PROMETA

Sigurnost u prometu predstavlja suvremeni fenomen, a sigurnost u željezničkom prometu se može definirati kao najveća moguća vjerojatnost da će prometni sustav u cijelosti ili njegov određeni podsustav sigurno funkcionirati, ali uz unaprijed određene radne uvjete. Ukoliko iz bilo kojeg razloga dođe do ugroženosti pravilnog toka željezničkog prometa, svi uređaji moraju biti projektirani, programirani i ugrađeni te izvedeni pouzdano i bezuvjetno tako da pređu na višu razinu sigurnosti čak i po cijenu ukupne obustave prometa. Do izvanrednih događaja koji onemogućavaju ili otežavaju vožnju, nanose materijalnu štetu i ugrožavaju ljudske živote, dolazi unatoč potrebi i obvezi urednog, sigurnog i nesmetanog toka željezničkog prometa [7].

Kako bi pojam sigurnosti željezničkog prometa bio jasniji, važno je poznavati određene pojmove. Pa se tako prema Pravilniku o izvanrednim događajima u željezničkom prometu izvanredni događaj definira kao nenamjerni, neočekivani ili neželjeni događaj ili pak slijed takvih događaja koji za posljedicu ima bilo koju vrstu štete bez obzira na njezinu visinu. Nesreća je jedan od izvanrednih događaja koji ima štetne posljedice poput težih tjelesnih ozljeda do četiri osobe, ili šteta koja se procjenjuje do određenog novčanog iznosa. Za razliku od nesreće, ozbiljna nesreća za posljedicu ima smrt najmanje jedne osobe, i/ili veću štetu i tešku tjelesnu ozljedu pet osoba i više. U svakoj nesreći prisutni su sudionici, pa je prema tome sudionik izvanrednog događaja radnik koji je u radnom odnosu kod željezničkog prijevoznika, odnosno, upravitelja infrastrukture, pravne osobe koja obavlja željeznički prijevoz za vlastite potrebe, vlasnika vučnog vozila ili neke treće osobe koja je bila sudionik tog izvanrednog događaja (u poglavlju rezultata i rasprave takve osobe navedene su pod "ostali"). Oštećenik jest osoba koja trpi štetu bilo da se radi o materijalnoj šteti ili drugim posljedicama izvanrednog događaja [8].

U tablici 1. prikazana je vrsta putničkog prijevoza i broj nesreća izražen u milijardama po kilometru. Prema tablici, rizik od smrti putnika u željezničkom

prometu je tri puta manji od smrtnosti putnika u autobusnom prijevozu, te oko 27 puta manji od smrtnosti osoba u osobnim automobilima, što svrstava željeznički promet među najsigurnije načine prijevoza [7].

Tablica 1. Vrsta prijevoza i broj nesreća u EU [7]

Vrsta putničkog prijevoza	Broj nesreća (mrd.pkm)
<i>Zračni prijevoz</i>	0,1
<i>Željeznički prijevoz</i>	0,16
<i>Autobusni prijevoz</i>	0,43
<i>Prijevoz osobnim automobilima</i>	4,45
<i>Prijevoz vozilima na dva kotača</i>	52,59

Neki izvanredni događaji koji se smatraju ozbiljnom nesrećom u željezničkom prometu su:

- nalet vlaka – nastaje kada vlak manevarski sastav, pojedinačno vozilo ili skupinu vozila koji se kreću obrnuto ili stoje na kolosijeku,
- iskliznuće vlaka – kada isklizne dio vlaka ili cijeli vlak s tračnica,
- sudar vlakova – udar vlaka u bok ili čelo drugog vlaka, bez obzira na to kreće li se samo jedan od njih ili oba,
- požar ili eksplozija – ukoliko se dogodio na ili u vlaku te ugrožava sudionike željezničkog prometa,
- te ostale ozbiljne nesreće poput ispadanja osoba iz vlaka, odron, uskakivanje ili iskakivanje osoba iz vlaka, izvanredni događaji na otvorenoj pruzi i slično [8].

3.1. Uzroci nesreća u željezničkom prometu

Najčešći uzroci nesreća u željezničkom prometu su:

- osobni propusti zaposlenika upravitelja infrastrukture,
- tehnički nedostatak na infrastrukturnim podsustavima ili željezničkim vozilima HŽ-a.
- osobni propusti zaposlenika željezničkog prijevoznika,

- tehnički nedostatak na željezničkim vozilima željezničkog prijevoznika,
- nesmotreno ili nenamjerno djelovanje drugih osoba,
- vremenska nepogoda [8].

3.2. Nesreće uzrokovane strujnim udarom

Jedan od tipova nesreća koje se događaju na elektrificiranim željezničkim sustavima su i nesreće nastale uslijed strujnog udara. Takve nesreće nastaju zbog pojave opasnog dodirnog napona na električnim uređajima i električnim instalacijama i dodir čovjeka s dijelom instalacije koji je neispravan ili primjerice s kućištem neispravnog uređaja. Analizu, odnosno, vještačenje uzroka nesreća koje su nastale strujnim udarom provodi vještak specijaliziran za elektrotehnička vještačenja. Analiza uzroka strujnog udara se provodi ispitivanjem električnih uređaja i instalacija na mjestu nesreće te njihovim pregledom. Isto tako, vještače se i izuzeti električni uređaji koji u pod sumnjom da su svojim kvarom mogli dovesti do strujnog udara. Dakle, riječ je o vještačenju koje je kombinirano, a za koje je, osim elektrotehničkog vještačenja, potrebno provesti i sudsko vještačenje kako bi se utvrdile ozljede i način smrti unesrećene osobe [9].

Strujni udar može biti izazvan neizravnim (indirektnim) i izravnim (direktnim) dodiranjem dijelova koji su pod naponom i nastaju kao posljedica kvara na izolaciji električnih uređaja. Približavanje dijelovima koji su pod visokim naponom također može uzrokovati strujni udar. U željezničkim kolodvorima, najčešći uzrok udara električne struje visokog napona jest neznan, igre i nemara, a najčešće se događa mlađim osobama ili djeci. Posljedice često zahtijevaju dugotrajno liječenje ili su čak smrtne [9].

Kao što je ranije u radu rečeno, željeznička infrastruktura električnu energiju osigurava iz električne mreže putem kontaktne mreže i elektrovučnih podstanica te time omogućuje električnu vuču. U RH elektrificirano 980 km željezničke pružne mreže, od čega je 977 km elektrificirano izmjeničnim sustavom električne vuče pod naponom od 25 kV, odnosno, 50 Hz, a samo 3

km pružne mreže istosmjernim sustavom od 3 kV. Pravilnikom o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom propisuje sigurnosne udaljenosti za rad u blizini napona prema kojemu je sigurna udaljenost za napon od 25 kV najmanje 2000 mm [9]. Tablica 2 prikazuje nazivni napon mreže u kilovatima i sigurnosnu udaljenost u milimetrima.

Tablica 2. Sigurnosne udaljenosti Ds [9]

<i>Nazivni napon mreže (kV)</i>	<i>Sigurnosna udaljenost Ds (mm)</i>
<i>do 1</i>	1000
<i>od 1 do 35</i>	2000
<i>od 35 do 110</i>	3000

Pravilnikom je rad dopušten rad bez primjene zaštitnih mjera u blizini dijelova postrojenja koji su pod naponom za radnike koji nisu električarske struke samo ako su razmaci između dijelova pod naponom i radnika veći od propisane sigurnosne udaljenosti [10]. Isto tako, odrasla osoba ili dijete može penjanjem na vagone ispod kontaktnog voda dodirnuti kontaktni vodič ili doći u blizinu njegova kontakta na razmak manji od propisanog sigurnosnog razmaka i time se dovesti u opasnost od udara električne struje koja je visokog napona zbog preskoka i električnog luka [9].

Jedan od primjera strujnog udara na elektrificiranim željezničkim sustavima dogodio se u Rijeci kada je na kontejnerskom terminalu došlo do strujnog udara uslijed kojega je jedna osoba teško ozlijeđena, a jedna osoba je smrtno stradala. Naime, dvojica mladića su se popela na kontejner na teretnome vagonu te su stradali dodirnuvši kontaktni vod koji se nalazio na visini od 1,32 m iznad kontejnera i bio je pod naponom od 25 000 volti. Na tijelu smrtno stradalog mladića, kao i na njegovoj odjeći i obući bila su vidljiva termička oštećenja, a na tijelu su bile vidljive opekotine. Na kontaktnoj mreži bili su vidljivi tragovi taljenja bakra, dok su na metalnome krovu kontejnera pronađeni tragovi zacrnjenja, izgorene boje i taljenja [9].

3.3. Razina sigurnosti na hrvatskim željeznicama

Prema godišnjem izvješću o nesrećama objavljenim od strane HŽ infrastrukture istaknuto je da kada se uspoređuju podatci za 2020. godinu i prosjek za razdoblje od 2015. godine do 2019. godine uočeno smanjenje broja izvanrednih događaja poput incidenata, nesreća i ozbiljnih nesreća za 12,5%. No, i dalje nesmotrenost trećih osoba čini značajan dio uzroka izvanrednih događaja. Izvanredni događaji čine velik udio u ukupnome broju izvanrednih događaja, njih je ukupno bilo 17 u razdoblju od 2015.-2020. godine, a od čega je 15 bilo posljedica penjanja na vagone, jedan slučaj je bilo penjanje na lokomotivu, a jedan slučaj penjanje na stup kontaktne mreže. Ukupno je poginulo 6 osoba, a 12 ih je teško ozlijeđeno. U dobi do 18 godina je bilo 8 teško ozlijeđenih osoba, a jedna je smrtno stradala. Navedeni podatci su zabrinjavajući te je HŽ u svojem izvješću apelirao na širu društvenu akciju roditelja, škola i drugih društvenih čimbenika poput policije. No, važno je istaknuti kako predstavnici HŽ infrastrukture već duži niz godina obilaze škole i učenike upoznaju s posljedicama strujnog udara [11]. Detaljnija statistika biti će prikazana u eksperimentalnom dijelu rada.

Prema planu poslovanja hrvatskih željeznica u vremenskom periodu od 2020. do 2024. godine povećanje sigurnosti željezničkog sustava je jedan od najvažnijih korporativnih ciljeva. Strateški cilj HŽ-a jest postati liderom upravitelja infrastrukture u ovom dijelu Europe te se priključiti vodećim upraviteljima infrastrukture u EU na temelju kontinuiranog razvoja i unapređenja sustava sigurnosti uz korištenje svih dostupnih izvora financiranja s ciljem modernizacije postojećih strukturnih podsustava, a sve za dobrobit komitenata i zaposlenika HŽ Infrastrukture [6].

3.4. Razina sigurnosti željezničkog sustava u EU

Razina sigurnosti željezničkog sustava EU-a i dalje je vrlo visoka, to je zapravo jedan od najsigurnijih željezničkih sustava na svijetu. U multimodalnoj usporedbi, željeznica se čini najsigurnijim kopnenim načinom prijevoza u EU, sa stopom smrtnosti putnika sličnoj onoj za putnike u zrakoplovu. Broj značajnih nesreća i posljedičnih žrtava se do 2010. godine značajno smanjivao, međutim, u 2021. i 2022. godini zabilježen je porast [12].

Velike nesreće s pet ili više smrtnih slučajeva postale su rijetke. Navedene se nesreće nisu dogodile 2018., 2020. i 2021., godine, ali se pet takvih nesreća dogodilo 2022. i 2023. (uključujući tragičnu nesreću u Tempiju, Grčka, u veljači 2023. što je uzrokovalo 57 smrtnih slučajeva). Broj smrtonosnih sudara vlakova i iskakanja vlakova kontinuirano se smanjivao od 1990. godine. Međutim, u periodu od 2020. – 2022. godine dogodio se blagi porast, odnosno, bilo je 18 takvih nesreća u željezničkom prometu. Stope značajnih nesreća, poginulih i teških ozljeda znatno su se smanjili od 2010. godine s najnižim vrijednostima registriranim 2020. i 2021. godine [12].

Rezultati najnovije procjene postignuća sigurnosnih ciljeva (koju godišnje provodi ERA – *European Union Agency for Railways*¹) pokazuju da je sigurnosna izvedba i dalje prihvatljiva na razini EU. Iza ukupnih pozitivnih trendova posljednjih desetljeća stoje .realnosti koje zahtijevaju pažnju i željezničkog sektora i kreatora politike sigurnosti željeznica. Unatoč ukupnom smanjenju u broju značajnih nesreća od 2010. godine, u 2021. i 2022. godini zabilježen je porast broja "unutarnjih" nesreća (sudari, iskakanje iz tračnica, požari u željezničkom vozilu i druge nesreće), dok je 2022. godine zabilježen najveći broj "vanjskih" nesreća. Ukupan trošak željezničkih nesreća i dalje je

¹ Ova agencija osnovana je s ciljem unaprjeđenja sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava unutar Europske unije. ERA je odgovorna za postavljanje i nadzor sigurnosnih standarda, izdavanje sigurnosnih certifikata, te razvoj tehničkih specifikacija za interoperabilnost (TSI) među željezničkim sustavima država članica EU. Više o tome dostupno je na: <https://www.era.europa.eu/>, pristupljeno 28.07.2024.

visok, dakle ekonomski trošak je značajan, pa je tako primjerice isti u 2022. godini iznosio 4 milijarde eura [12].

Napredak u poboljšanju sigurnosti također je vrlo neujednačen među državama članicama, s velikim varijacijama u razinama sigurnosti. Ostvareni su dobri rezultati u smanjenju smrtnih slučajeva trećih strana (nasilnici i samoubojstva), sa sličnim smanjenjem ukupne stope smrtnosti od samoubojstava. Međutim, posljednjih godina nije uočen jasan napredak u smanjenju stradavanja radnika željeznica. Svake godine (osim 2019. godine) zabilježeno je blizu 30 smrtnih slučajeva među radnicima željeznica. Osim toga, godišnje je više od 40 djelatnika teško ozlijeđeno. Od 2006. postoji značajno smanjenje stope smrtnosti zaposlenika željeznica, međutim, posljednjih godina, pojavio se blago rastući trend. Sigurnost na željezničkim prijelazima poboljšana je u periodu od 2010. – 2016. godine, no u narednim godinama (2017. – 2022.) uočen je stagnirajući trend (osim pada u 2020. godini koji je vjerojatno povezan s pandemijom COVID-19). Osim toga, stope nesreća na željezničkim prijelazima i dalje se znatno razlikuju među državama članicama EU-a. Čini se da je jedan od glavnih pokretača razlika u razinama sigurnosti među državama članicama razina sigurnosti željezničke infrastrukture, te uvođenje naprednih sustava za zaštitu vlakova (TPS – *Train Protection Systems*), uključujući Europski sustav kontrole vlakova (ETCS – *The European Credit Transfer System*). Uređaji za zaštićene željezničko-cestovne prijelaze uvelike se razlikuju diljem Europe [12].

Kao što zahtijeva Direktiva o sigurnosti željeznice (Direktiva EU 2016/798) [13], razvoj sigurnosti oslanja se na kulturu uzajamnog povjerenja i učenja u kojoj svi doprinose. Agencija za sigurnost je razvila europski model kulture željezničke sigurnosti kao konceptualni i evaluacijski okvir koji korisniku omogućuje procjenu sigurnosne kulture i identificirati područja za poboljšanje. Također, Agencija je promovirala Europsku deklaraciju o kulturi sigurnosti željeznice s ciljem podizanja svijesti i promicanja pozitivne sigurnosne kulture. Od lansiranja na prvom Europskom summitu o sigurnosti željezničkog prometa u Dubrovniku 2018. godine, istu je deklaraciju potpisalo više od 250 željezničkih čelnika i organizacija. Prema tome može se reći kako je Europska deklaracija o kulturi i

sigurnosti željeznice snažan simboličan čin koji pokazuje predanost organizacije stalnom poboljšanju kulture sigurnosti [8].

3.5. Pravni i regulatorni aspekti

Pravni i regulatorni aspekti elektrificiranih željezničkih sustava igraju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnosti radnika, putnika i javnosti. U ovom poglavlju ćemo se fokusirati na nacionalne i međunarodne zakone o sigurnosti u željezničkom prometu, propise i standarde za rad na elektrificiranim željezničkim sustavima, postupke u slučaju nesreća te pravne slučajeve povezane s ozljedama na elektrificiranim željeznicama [14].

3.5.1. Nacionalni i međunarodni zakoni o sigurnosti u željezničkom prometu

Zakoni i regulacije u željezničkom prometu osiguravaju okvir za sigurnost, pouzdanost i održavanje željezničke infrastrukture i operacija. Oni se razlikuju ovisno o državi, no mnoge zemlje slijede međunarodne standarde i smjernice kako bi osigurale interoperabilnost i usklađenost sa globalnim sigurnosnim praksama [14].

a) Neki od nacionalnih zakona koji se primjenjuju u ovom području su:

- Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog prometa - u mnogim zemljama postoje specifični zakoni koji reguliraju sigurnost u željezničkom prometu. Ovi zakoni obično pokrivaju područja kao što su održavanje infrastrukture, obuka osoblja, sigurnosni standardi za opremu, te postupci u slučaju nesreća [14].
- Zakon o radu - ovaj zakon obuhvaća sigurnosne standarde i zaštitu radnika na radnom mjestu, uključujući specifične propise za rad u opasnim uvjetima kao što su elektrificirani željeznički sustavi [15].

b) Međunarodni zakoni i standardi:

- Međunarodna željeznička unija (UIC – *Union Internationale des Chemins de fer*²) - postavlja standarde za tehničke aspekte, sigurnost i interoperabilnost željezničkih sustava na globalnoj razini. Njihove smjernice pokrivaju područja kao što su standardi za kontaktne mreže, sigurnosni protokoli i postupci u slučaju nesreća [16].
- Europska agencija za željeznice – u Europskoj uniji, ERA postavlja regulatorni okvir za sigurnost željezničkog prometa. Njihove regulacije uključuju sigurnosne certifikate, standarde za infrastrukturu i interoperabilnost, te propise za obuku radnika [12].
- Međunarodna organizacija rada (ILO - *International Labour Organization*³) - ILO postavlja standarde za sigurnost i zdravlje na radu, koji uključuju i specifične smjernice za rad u elektrificiranim okruženjima [17].

3.5.2. Propisi i standardi za rad na elektrificiranim željezničkim sustavima

Specifični propisi i standardi za rad na elektrificiranim željezničkim sustavima obuhvaćaju niz tehničkih i operativnih smjernica koje imaju za cilj smanjiti rizik od nesreća i ozljeda.

Neki od tehničkih standarda su:

- Standardi za kontaktne mreže - postoje detaljni propisi koji reguliraju dizajn, instalaciju, održavanje i inspekciju kontaktnih mreža. Ovi

² Ova organizacija je osnovana 1922. godine s ciljem promicanja suradnje između različitih željezničkih kompanija diljem svijeta, standardizacije tehničkih specifikacija, te poboljšanja sigurnosnih i operativnih standarda u željezničkom prometu. UIC igra ključnu ulogu u razvoju globalnih željezničkih mreža i osiguravanju interoperabilnosti između različitih sustava. Više o tome dostupno je na: <https://uic.org/>, pristupljeno: 29.07.2024.

³ Ova specijalizirana agencija Ujedinjenih naroda osnovana je 1919. godine s ciljem promicanja socijalne pravde i međunarodno priznatih ljudskih i radnih prava. ILO se bavi pitanjima vezanim uz radne standarde, radne uvjete, prava radnika, te osigurava smjernice i podršku za poboljšanje radnih uvjeta diljem svijeta. Više o tome dostupno je na: <https://www.ilo.org/>, pristupljeno 30.07.2024.

standardi uključuju minimalne sigurnosne udaljenosti, izolaciju, visinu vodiča, te zahtjeve za signalizaciju [14].

- Standardi za lokomotive i vlakove - električne komponente lokomotiva i vagona moraju ispunjavati određene tehničke standarde kako bi se osigurala sigurnost putnika i operativnog osoblja. Ovi standardi pokrivaju područja kao što su elektromagnetska kompatibilnost, zaštita od preopterećenja i sigurnosne značajke [14].
- Standardi za zaštitnu opremu - propisi definiraju minimalne standarde za zaštitnu opremu koju radnici moraju koristiti pri radu u blizini elektrificiranih vodova, uključujući izolacijske rukavice, kacige, obuću, i druge zaštitne elemente [14].

Neki od operativnih propisa su:

- Sigurnosni protokoli - sigurnosni protokoli uključuju postupke za sigurno isključivanje napona, izolaciju radnih područja, te pravilno označavanje i signalizaciju tijekom radova na ili u blizini elektrificiranih željezničkih sustava [5].
- Obuka i certifikacija - radnici koji rade na održavanju i upravljanju elektrificiranim sustavima moraju proći specifičnu obuku i steći certifikate koji potvrđuju njihovu sposobnost za siguran rad. Ova obuka obuhvaća tehničke aspekte, sigurnosne protokole, te hitne postupke u slučaju nesreća [5].

3.5.3. Postupci u slučaju nesreća i odgovornost

U slučaju nesreća povezanih s elektrificiranim željezničkim sustavima, jasno definirani postupci i pravila odgovornosti ključni su za osiguranje brzog odgovora, minimalizaciju štete i određivanje odgovornosti [14].

Postupci u slučaju nesreća su:

- Hitna evakuacija - u slučaju nesreće, prioritet je osiguranje sigurnosti putnika i radnika. Postoje protokoli za hitnu evakuaciju iz opasnih

područja, uključujući uporabu sigurnosnih izlaza, evakuacijskih puteva i koordinaciju s hitnim službama [14].

- Isključenje napona - jedan od prvih koraka nakon nesreće je isključivanje napona u pogođenom dijelu sustava kako bi se spriječile daljnje ozljede. Ovo se radi u skladu sa sigurnosnim protokolima, uz koordinaciju s kontrolnim centrima i operativnim osobljem [14].
- Istraga nesreće - nakon nesreće, provodi se detaljna istraga kako bi se utvrdili uzroci i okolnosti događaja. Ova istraga može uključivati inspekciju opreme, pregled sigurnosnih kamera, uzimanje izjava svjedoka i tehničku analizu [14].

Odgovornost:

- Odgovornost operatera - željeznički operateri obično snose primarnu odgovornost za osiguranje sigurnosti sustava i postupanje u skladu s regulativama. Ako se utvrdi da je nesreća rezultat nemara ili nepoštivanja sigurnosnih standarda, operater može biti pravno odgovoran za štetu [14].
- Odgovornost proizvođača opreme - ako se utvrdi da je nesreća uzrokovana tehničkim kvarom ili neispravnom opremom, proizvođač ili dobavljač te opreme može biti odgovoran za odštetu. Ova odgovornost može uključivati troškove popravka, medicinske troškove i druge povezane troškove [14].
- Radnička odgovornost - u slučajevima gdje je nesreća posljedica ljudske pogreške, odgovornost može snositi i pojedinac, ovisno o okolnostima. Međutim, odgovornost se često dijeli s poslodavcem ako nije osigurana odgovarajuća obuka ili zaštitna oprema [14].

4. EKSPERIMENTALNI DIO

Zadatak ovog istraživanja je uvidjeti ključne točke, rizike i predložiti način poboljšanja sigurnosti i zaštite na željezničkom prijevozu i na elektrificiranim željezničkim sustavima.

4.1. Metoda istraživanja

Metoda na kojoj se bazira ovo istraživanje je statistička analiza ozljeda, nesreća, smrtnih slučajeva u željezničkom prijevozu prema vrsti nesreće I kategoriji osobe u vremenskom razdoblju od 2015. do 2020. godine. Također provedena je specifična analiza nesreća uzrokovanih udarom električne struje u vremenskom razdoblju od 2012. – 2017. Dostupni podaci su prikupljeni sa “Državnog zavoda za statistiku” i sa stručnog rada “Nesreće uzrokovane udarom električne struje – nesreće na željeznici” autora Nenada Papića, dipl. ing. el.

4.2. Uzorak

Istraživanje je provedeno na uzorku ukupnog broja ljudi po kategorijama nesreća, osoba iz dostupnih statističkih podataka

4.3. Analiza podataka

Dostupni statistički podaci uneseni su u računalni program “MS Office Excel” gdje su obrađeni, analizirani i pripremljeni u svrhu korištenja ovoga rada s ciljem analize istih podataka.

4.4. Rezultati

U vremenskom periodu od 2015. godine pa sve do 2020. godine na hrvatskim željeznicama se dogodilo ukupno 319 izvanrednih događaja, od čega se najveći broj takvih događaja dogodio tijekom 2017. godine, te potom 2015. godine.

Tablica 3 prikazuje broj izvanrednih događaja prema godini u kojoj se dogodio, broju nesreća, broju smrtno stradalih osoba te broju teško ozlijeđenih osoba.

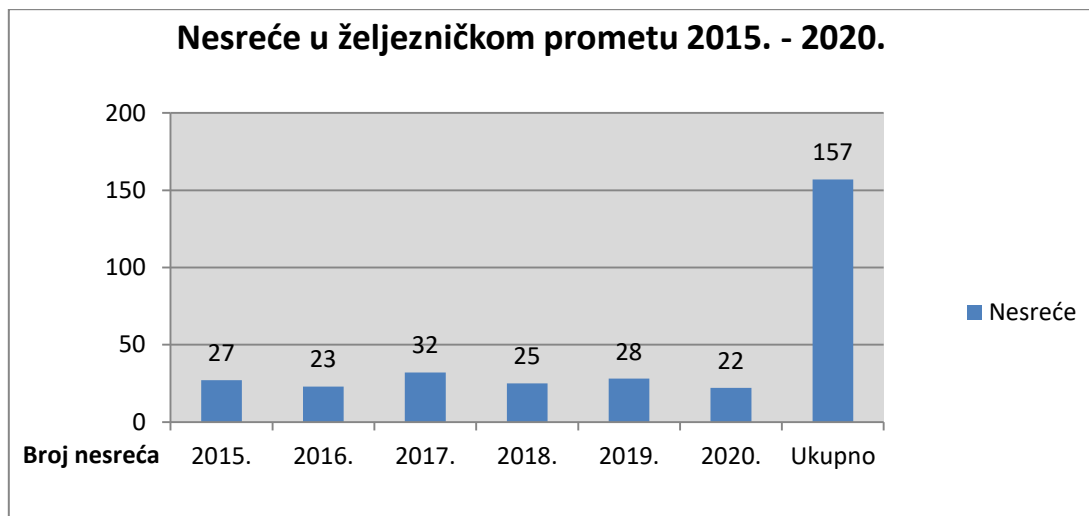
Tablica 3. Prikaz ukupnog broja izvanrednih događaja na hrvatskim željeznicama po godinama [18,19]

Prikaz izvanrednih događaja po godinama

<i>Godina</i>	Broj nesreća	Smrtno stradali	teško ozlijeđeni	Ukupno
<i>2015.</i>	27	15	20	62
<i>2016.</i>	23	11	13	47
<i>2017.</i>	32	20	11	63
<i>2018.</i>	25	18	6	49
<i>2019.</i>	28	13	13	54
<i>2020.</i>	22	10	12	44
<i>Ukupno</i>	157	87	75	319

U razdoblju od 2015. – 2020. sveukupno je bilo 157 nesreća. Od kojih je u 2015. bilo 27 (17%), 2016. 23 (15%), 2017. 32 (20%), 2018. 25 (16%), 2019. 28 (18%), 2020. 22 (14%). Prosječan broj nesreća u periodu od 2015. – 2020. godine iznosi 26 nesreća na godinu. Navedena statistika prikazana je u grafičkoj predodžbi broj 1.

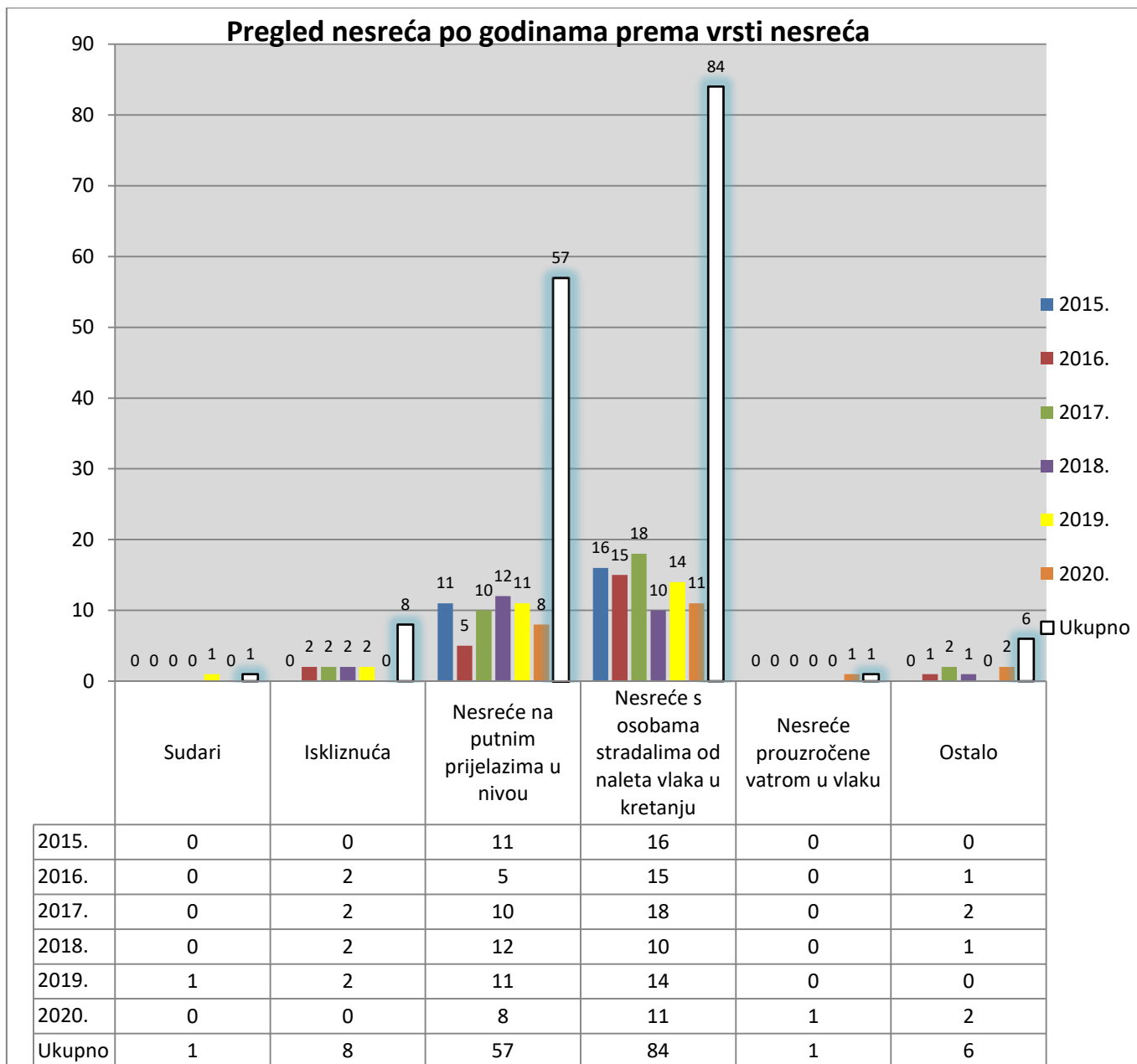
Grafička predodžba 1. Broj nesreća u željezničkom prometu od 2015. - 2020. godine [18,19]



Prema vrsti nesreće, prvu skupinu čine sudari, drugu skupinu čine iskliznuća, treću skupinu čine nesreće na putnim prijelazima u nivou, četvrta skupina su nesreće s osobama stradalima od naleta vlaka u kretanju, peta skupina su nesreće prouzročene vatrom u vlaku, dok su šesta skupina ostale nesreće.

Grafička predodžba 2. prikazuje pregled nesreća po godinama i prema vrsti nesreće. Iz pregleda grafikona vidljivo je da je najveći postotak nesreća u rasponu od 2015. – 2020. Prouzročen stradanjem osoba od naleta vlaka u kretanju – sveukupno 84 (53.50%), zatim nesreće na putnim prijelazima u nivou – 57 (36.31%), nakon toga su iskliznuća – 8 (5.10%), ostale nesreće – 6 (3.82%), nesreće prouzročene vatrom u vlaku kao i sudari broje samo 1 nesreću za obje vrijednosti (0.64%, 0.64%).

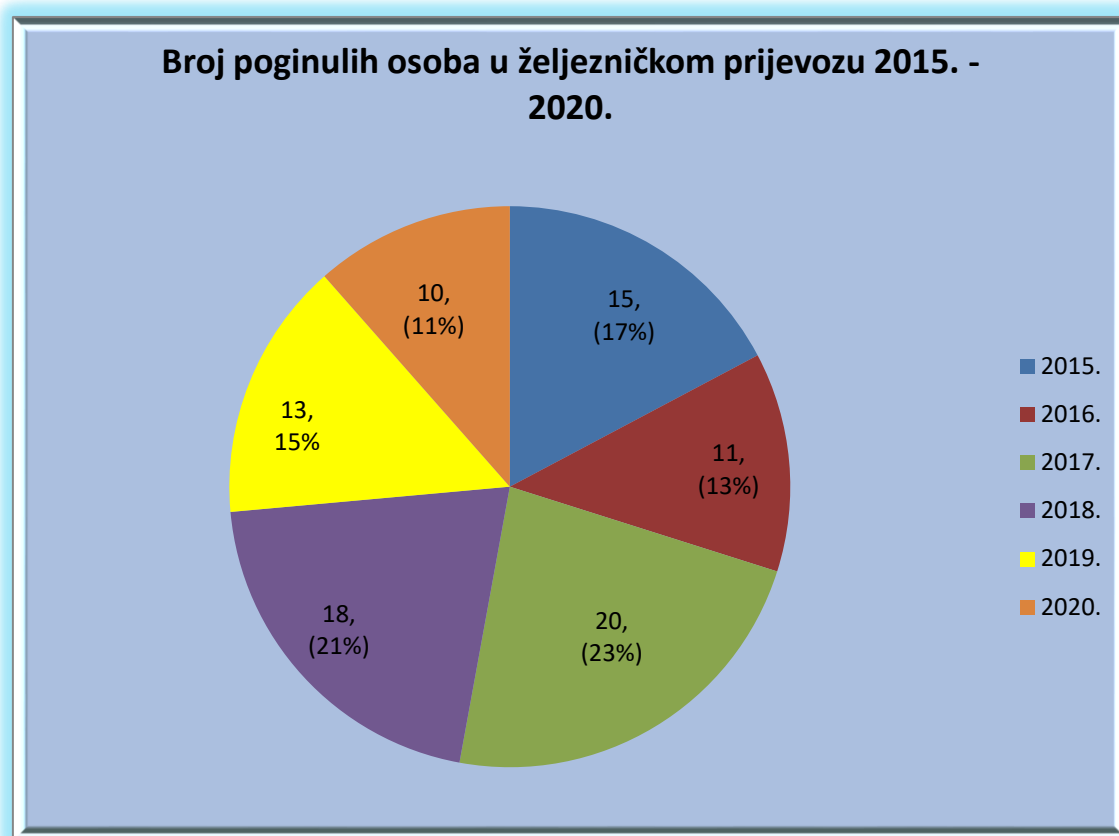
Grafička predodžba 2. Pregled nesreća po godinama i prema vrsti nesreće [18,19]



Grafička predodžba 3. prikazuje broj poginulih osoba u željezničkom prometu u vremenskom periodu od 2015. pa sve do 2020. godine. Iz dostupnih podataka, statističkom analizom vidljivo je da postotak smrtnih ishoda varira, te da je 2017. godina s najvećim postotkom smrtnosti. 2015. – 15 smrtnih slučajeva, 2016. – 11 smrtnih slučajeva, 2017. – 20 smrtnih slučajeva, 2018. – 18 smrtnih slučajeva, 2019. – 13 smrtnih slučajeva, 2020. – 10 smrtnih slučajeva. Sveukupan broj smrtnih slučajeva u rasponu od 2015. – 2020. iznosi 87.

Prosječan broj smrtnih slučajeva promatrano od 2015. – 2020. Iznosi 15 smrtnih slučajeva po godini.

Grafička predodžba 3. Broj poginulih osoba u željezničkom prijevozu od 2015. – 2020. godine [18,19]



Iz dostupnih podataka, statističkom analizom vidljivo je da postotak smrtnih ishoda varira, te da je 2017. Godina s najvećim postotkom smrtnosti. 2015. – 15 smrtnih slučajeva, 2016. – 11 smrtnih slučajeva, 2017. – 20 smrtnih slučajeva, 2018. – 18 smrtnih slučajeva, 2019. – 13 smrtnih slučajeva, 2020. – 10 smrtnih slučajeva. Sveukupan broj smrtnih slučajeva u rasponu od 2015. – 2020. Iznosi 87. Prosječan broj smrtnih slučajeva promatrano od 2015. – 2020. Iznosi 15 smrtnih slučajeva po godini.

Tablica 4. prikazuje podjelu uzroka smrti i broj smrtno stradalih zaposlenika željeznice u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine gdje je vidljivo kako je samo jedna osoba stradala naletom vlaka.

Tablica 4. Uzrok smrti i broj smrtno stradalih zaposlenika željeznice [18,19]

ZAPOSLENICI ŽELJEZNICE							
VRSTA	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
NESREĆE				.		.	
<i>Sudari</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iskliznuća</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće na putnim prijelazima u nivou</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće nastale u naletu vlaka</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Nesreće prouzročene vatrom u vlaku</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ostalo</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ukupno</i>	1	0	0	0	0	0	1

Tablica 5. prikazuje broj smrtnih ishoda ostalih sudionika željezničkog prometa prema vrsti nesreće. Prema tablici, najveći broj smrtno stradalih osoba je bio od naleta vlaka u kretanju kroz godine, njih 50, dok je nešto manji broj smrtno stradalih osoba bilo zbog nesreća na putnim prijelazima na nivou, ukupno 35

stradalih u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine. Zanimljiv podatak iz analize je da u statističkoj bazi podataka iz 2015. – 2020. nije zabilježen niti jedan slučaj smrtnosti putnika, tj. korisnika željezničkog transportnog sustava.

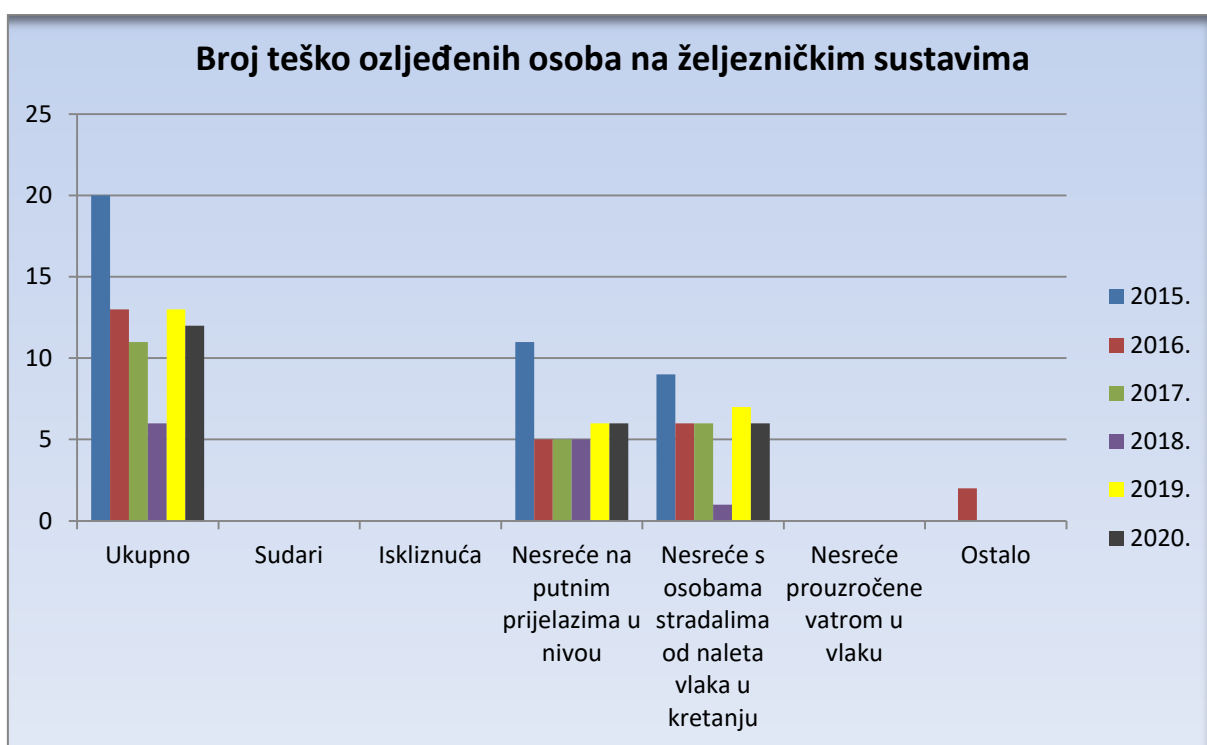
Tablica 5. Broj smrtno stradalih ostalih sudionika željezničkog prometa od 2015. do 2020. godine prema vrsti nesreće [18,19]

OSTALI SUDIONICI ŽELJEZNIČKOG PROMETA

VRSTA NESREĆE	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
<i>Sudari</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iskliznuća</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće na putnim prijelazima u nivou</i>	8	2	7	8	6	4	35
<i>Nesreće nastale u naletu vlaka</i>	6	9	13	10	7	5	50
<i>Nesreće prouzročene vatrom u vlaku</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ostalo</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Ukupno</i>	14	11	20	18	13	10	86

Grafička predodžba 4. prikazuje broj teško ozlijeđenih osoba na željezničkim sustavima u periodu od 2015. do 2020. godine. Prema grafikonu, u navedenom vremenskom periodu ukupno je bilo 38 nesreća na putnim prijelazima na nivou, zatim 35 nesreća nastalih naletom vlaka u kretanju, te su bile dvije ostale nesreće. Također, prema grafikonu je vidljivo da je prosječan broj teških ozljeda na godinu bio 13.

Grafička predodžba 4. Broj teško ozlijeđenih osoba na željezničkim sustavima u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine [18,19]



Tablica 6. prikazuje broj teško ozlijeđenih putnika u željezničkom prometu u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine prema vrsti nesreće. Iz tablice je vidljivo kako je najveći broj stradalih putnika bio u naletu vlaka u kretanju tijekom navedenog vremenskog perioda.

Tablica 6. Broj teško ozlijeđenih putnika željezničkog prometa prema vrsti nesreće u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine [18,19]

PUTNICI

VRSTA NESREĆE	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
<i>Sudari</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iskliznuća</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće na putnim prijelazima u nivou</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće nastale u naletu vlaka</i>	1	0	1	0	1	1	4
<i>Nesreće prouzročene vatrom u vlaku</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ostalo</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ukupno</i>	1	0	1	0	1	1	4

Tablica 7. prikazuje broj teško ozlijeđenih zaposlenika željeznice u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine. Iz tablice je vidljivo kako je uzrok nesreće najvećeg broja zaposlenika bio nalet vlaka.

Tablica 7. Broj teško ozlijeđenih zaposlenika željeznice prema vrsti nesreće u vremenskom periodu od 2015. do 2020. [18,19]

ZAPOSLENICI ŽELJEZNICE

VRSTA NESREĆE	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
<i>Sudari</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iskliznuća</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće na putnim prijelazima u nivou</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće nastale u naletu vlaka</i>	2	0	2	0	0	0	4
<i>Nesreće prouzročene vatrom u vlaku</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ostalo</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ukupno</i>	2	0	2	0	0	0	4

Tablica 8. prikazuje teško ozlijeđene ostale sudionike željezničkog prometa u vremenskom periodu od 2015. godine do 2020. godine prema vrsti nesreće. Najveći broj osoba je stradao na putnim prijelazima na nivou, ukupno njih 35, dok je nešto manji broj osoba stradao u naletu vlaka.

Tablica 8. Teško ozlijeđeni "ostali" sudionici željezničkog prometa u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine prema vrsti nesreće [18,19]

OSTALI SUDIONICI ŽELJEZNIČKOG PROMETA

VRSTA NESREĆE	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
<i>Sudari</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Iskliznuća</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nesreće na putnim prijelazima u nivou</i>	11	2	5	5	6	6	35
<i>Nesreće nastale u naletu vlaka</i>	6	9	3	1	6	5	30
<i>Nesreće prouzročene vatrom u vlaku</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ostalo</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ukupno</i>	17	11	8	6	12	11	65

Još jedan od načina stradavanja sudionika željezničkog prometa jest stradavanje od strujnog udara koji se događa ulaskom osobe u zonu opasnosti kontaktne mreže. Tablica 9 prikazuje ukupan broj stradalih osoba, broj umrlih i teško ozlijeđenih osoba od dodira s kontaktnom mrežom pod naponom prema načinu kontakta.

Tablica 9. Prikaz broja stradalih osoba od strujnog udara prema načinu stradanja na hrvatskim željeznicama u vremenskom periodu od 2008. do 2017. godine [9]

Prikaz broja stradalih od strujnog udara prema načinu stradanja

<i>Stradavanje</i>	Broj stradalih	Smrtno stradanje	Teško ozljeđivanje	Ukupno
<i>Penjanje na vagone</i>	20	4	16	40
<i>Dodir štapom za pecanje</i>	3	1	2	6
<i>Krađa dijelova pod naponom</i>	1	0	1	2
<i>Penjanje na stup kontaktne mreže</i>	1	0	1	2
<i>Policijski službenik prilikom potrage</i>	1	0	1	2
Ukupno	26	5	21	52

4.5. Rasprava

Na hrvatskom željezničkom elektrificiranom sustavu je u periodu od 2015. do 2020. godine bilo ukupno 319 izvanrednih događaja. Od toga je najveći broj takvih događaja bio tijekom 2017. godine, ukupno njih 63, a iste je godine bilo i najviše nesreća (32 nesreće) i smrtno stradalih osoba, njih 20. Najviše je teško ozljeđenih osoba bilo tijekom 2015. godine, ukupno 20 osoba. Najmanji broj izvanrednih događaja dogodio se tijekom 2020. godine što vrlo vjerojatno možemo prepisati izvanrednom stanju u državi uzrokovanom potresima u gradu Zagrebu, te pandemijom virusa COVID 19.

Prema vrsti nesreće koja se dogodila u navedenom vremenskom periodu, najveći broj nesreća bilo je uzrokovano naletom vlaka u kretanju, njih 84 što čini postotak od 53,50% svih nesreća. Potom slijede nesreće na putnim prijelazima na nivou kojih je u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine bilo 57 (36,31%). Najmanji broj nesreća bili su sudari i nesreće prouzročene vatrom u

vlak, jedan sudar dogodio se 2019. godine, dok se jedan požar u vlak, dogodio 2020. godine.

Broj poginulih osoba u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine iznosio je 87, od toga je najveći broj osoba poginuo tijekom 2017. godine, njih 20 što čini 23% od ukupnog broja poginulih. Zatim slijedi 2018. godina kada je na elektrificiranim željezničkim sustavima poginulo 18 (21%) osoba. Najmanji broj poginulih osoba bio je tijekom 2020. godine kada je poginulo ukupno 10 (11%) osoba. U prosjeku je u navedenom vremenskom periodu poginulo 15 osoba.

Statistika o poginulim zaposlenicima željeznice u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine pokazuje kako je samo jedan zaposlenik smrtno stradao od naleta vlaka u kretanju u 2015. godini. Nadalje, prema dostupnim statističkim podacima u istom vremenskom periodu je na hrvatskim elektrificiranim željezničkim sustavima poginulo ukupno 86 osoba, od toga je 50 osoba poginulo od naleta vlaka u kretanju, 35 osoba poginulo je u nesrećama na putnim prijelazima na nivou, a samo jedna osoba poginula je u nesrećama koje se klasificiraju kao "ostalo" (odroni, uskakivanja i slično). Ukupno 13 osoba je tijekom 2017. godine smrtno stradalo od naleta vlaka u kretanju što ujedno čini i najveći broj poginulih osoba u jednoj godini od te vrste nesreće. Zatim slijedi 2018. godina kada je od naleta vlaka u kretanju smrtno stradalo 10 osoba. Najmanji broj smrtno stradalih osoba od naleta vlaka u kretanju bio je 2020. godine (jedna osoba). Drugi najčešći uzrok stradavanja bile su nesreće na putnim prijelazima u nivou od kojih je 8 osoba smrtno stradalo tijekom 2018. godine što čini najveći broj smrtno stradalih osoba od te vrste nesreće u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine. Zatim, od iste nesreće je tijekom 2017. godine poginulo 7 osoba, a najmanji broj osoba poginulih na putnim prijelazima u nivou bio je tijekom 2016. godine kada su poginule dvije osobe.

U vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine ukupno je na hrvatskim elektrificiranim željezničkim sustavima teško ozlijeđeno 75 osoba. Od toga je 38

osoba stradalo u nesrećama na putnim prijelazima u nivou, 35 osoba u naletu vlaka u kretanju, te su se dogodile dvije nesreće koje su klasificirane kao "ostalo". Zanimljiv je podatak kako u navedenom vremenskom periodu nije bila niti jedna teško ozlijeđena osoba u sudarima, isključivima te niti nesrećama prouzročenima vatrom u vlaku.

Kada je riječ o stradavanju putnika, niti jedan putnik nije smrtno stradao u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine, ali bilo ih je teško ozlijeđenih. Ukupno ih je bilo 4 teško ozlijeđena putnika. Od toga je tijekom 2015., 2017., 2019., i 2020. godine bio po jedan teško ozlijeđen putnik, dok tijekom 2016. i 2018. godine nije bio niti jedan teško ozlijeđeni putnik. Svi teško ozlijeđeni putnici su bili ozlijeđeni uslijed naleta vlaka u kretanju.

Ukupan broj teško ozlijeđenih zaposlenika hrvatskih željeznica bio je isti kao i ozlijeđenih putnika tijekom vremenskog razdoblja od 2015. do 2020. godine, ukupno 4 zaposlenika. Od toga su po dva zaposlenika teško ozlijeđena u naletu vlaka u kretanju tijekom 2015. i 2017. godine, dok preostalih godina nije bilo teško ozlijeđenih zaposlenika hrvatskih željeznica.

Za razliku od teško ozlijeđenih putnika i zaposlenika hrvatskih željeznica, tijekom vremenskog perioda od 2015. do 2020. godine dogodio se znatno veći broj ozljeda ostalih sudionika željezničkog prometa. Ukupno je bilo 65 ozlijeđenih osoba, od toga je najveći broj osoba bio tijekom 2015. godine, njih 17, a najmanji broj tijekom 2018. godine kada je teško ozlijeđeno 6 osoba. Nesreće na putnim prijelazima u nivou bile su najčešće, a u istima je u navedenom vremenskom periodu teško ozlijeđeno 35 osoba. Potom slijede nesreće uzrokovane naletom vlaka u kretanju u kojima je teško ozlijeđeno 30 osoba. Najveći broj teško ozlijeđenih osoba na putnim prijelazima u nivou bio je tijekom 2015. godine (11 osoba), a najmanji broj teško ozlijeđenih osoba od iste vrste nesreće je bio 2016. godine (2 osobe). Od naleta vlaka u kretanju je najviše teško ozlijeđeno 9 osoba tijekom 2016. godine, a jedna osoba je teško ozlijeđena tijekom 2018. godine. Od preostalih vrsta nesreće tijekom

vremenskog perioda od 2015. do 2020. godine nije bila niti jedna teško ozlijeđena osoba.

Osim navedenih izvanrednih događaja koji su se dogodili u hrvatskom željezničkom prometu, još neke od najčešćih nesreća su one prouzrokovane udarom električne energije visokog napona. Uzroci strujnog udara na elektrificiranim željezničkim sustavima od najčešćeg do najrjeđeg su redom – penjanje na vagone, dodir štapom za pecanje, krađa dijelova pod naponom, penjanje na stup kontaktne mreže, te je bilo i stradalih policijskih službenika prilikom potrage. U vremenskom periodu od 2008. do 2017. godine su ukupno 52 osobe stradale od strujnog udara, od toga je 21 osoba teško ozlijeđena, 5 ih je smrtno stradalo, dok su preostale nesreće prošle bez težih ozljeda. Najveći broj stradalih od strujnog udara je bio zbog penjanja na vagone, ukupno 20 osoba, od toga ih je 16 teško ozlijeđenih, a 4 su smrtno stradale. Tri osobe su stradale od dodira štapa za pecanje s kontaktnom mrežom, od toga su dvije teško ozlijeđene, a jedna je smrtno stradala. Zatim, po jedna osoba je bila teško ozlijeđena uslijed strujnog udara prilikom krađe dijelova pod naponom, penjanja na stup kontaktne mreže i jedan je bio stradali policijski službenik prilikom potrage.

5. PRIJEDLOZI ZA POBOLJŠANJE SIGURNOSTI

Elektrificirani željeznički sustavi imaju posebne sigurnosne mjere koje su osmišljene kako bi se zaštitili djelatnici, putnici, te oprema i infrastruktura. Poboljšanje sigurnosti u željezničkom prometu važno je za smanjenje rizika od nesreća i osiguranje pouzdanog prijevoza putnika i tereta. Neki od prijedloga su:

- Modernizacija infrastrukture - modernizacija željezničke infrastrukture predstavlja izuzetno važan korak prema povećanju sigurnosti. U Hrvatskoj, postoje dijelovi željezničke mreže koji su stari i zahtijevaju obnovu. Modernizacija uključuje zamjenu starih kolosijeka, mostova, tunela i postavljanje naprednih signalizacijskih sustava. Uvođenje sustava poput automatskog nadzora vlaka (*Automatic Train Control* - ATC) može automatski kontrolirati brzinu vlaka i aktivirati kočnice u slučaju potencijalnog sudara ili prijetnje. Prednosti modernizacije su te što smanjuje vjerojatnost tehničkih kvarova, osigurava bolje upravljanje prometom i smanjuje rizik ljudskih pogrešaka. No, izazov su visoki troškovi ulaganja i potreba za dugoročnim planiranjem te potencijalne smetnje u prometu tijekom radova [19].
- Edukacija i osposobljavanje zaposlenika - ljudski faktor je važan u sigurnosti željezničkog prometa. Redovita obuka zaposlenika, uključujući strojovođe, dispečere i osoblje za održavanje, od suštinskog je značaja. Obuka treba uključivati simulacije izvanrednih situacija, tehničku obuku za rukovanje novim tehnologijama i opremom te teoretsku obuku o sigurnosnim procedurama i propisima. Kvalitetno obučeni zaposlenici bolje su pripremljeni za reagiranje u kriznim situacijama, čime se smanjuje mogućnost nesreća i povećava operativna efikasnost. No izazov u ovom području su svakako financije. Potreba za stalnim ažuriranjem obuka i programa, kao i osiguravanje financijskih i vremenskih resursa za obuku [20].
- Poboljšanje sigurnosnih protokola i procedure - sigurnosni protokoli i procedure moraju biti jasno definirani i redovito revidirani kako bi

odgovarali suvremenim zahtjevima i tehnologijama. Važno je osiguranje da su svi sigurnosni protokoli redovno pregledani i ažurirani u skladu s najnovijim industrijskim standardima i tehnološkim dostignućima. To uključuje strože kontrole i revizije sigurnosnih procedura, koje bi obuhvatile redovito održavanje vozila i infrastrukture, implementaciju sigurnosnih standarda i protokola za upravljanje izvanrednim situacijama. Jasno definirani sigurnosni protokoli pomažu u prevenciji nesreća te omogućuju brzu i efikasnu reakciju u slučaju nesreća ili izvanrednih situacija. Izazov u ovom području je potreba za stalnim ažuriranjem protokola i osiguravanjem da svi zaposlenici razumiju i slijede navedene procedure [21]. Potrebno je određivanje potrebnih nivoa kategorija zaštite kao i stupanj tehničke zaštite za određeni slučaj. S obzirom na stupanj tehničke zaštite mora se obuhvatiti: odabir vrste, tipa i opsega tehničke zaštite, odabir uređaja i opreme, razradbu koncepcije tehničke zaštite. [26]

- Primjena novih tehnologija i inovacija - tehnološki napredak pruža širok spektar mogućnosti za poboljšanje sigurnosti u željezničkom prometu. Uvođenje digitalnih sustava nadzora, kao što su sustavi za praćenje stanja pruge i vozila, pametnih senzora koji otkrivaju nepravilnosti te IoT (*Internet of Things*) tehnologija za komunikaciju između različitih dijelova infrastrukture, može značajno poboljšati sigurnost. Zatim, korištenje sustava za nadzor i prikupljanje podataka u stvarnom vremenu omogućava brzu identifikaciju problema u napajanju i električnoj mreži, čime se smanjuje rizik od kvarova koji bi mogli ugroziti sigurnost. Postavljanje kamera i termalnih senzora duž pruge i na ključnim točkama omogućava rano otkrivanje anomalija kao što su pregrijavanje, iskrenje ili neovlašteni pristup. Ovakav pristup omogućuje brzu identifikaciju problema i njihovo rješavanje prije nego što uzrokuju nesreću, smanjuje ljudske pogreške i optimizira održavanje. Izazov su svakako visoki početni troškovi i potreba za stručnom obukom za korištenje novih tehnologija [22].

- Sigurnosne zone i fizičke barijere - ova mjera uključuje postavljanje i održavanje fizičkih barijera i sigurnosnih zona oko željezničke infrastrukture kako bi se spriječio neovlašteni pristup, smanjio rizik od nesreća i povećala opća sigurnost. Ovdje je vrlo važna definicija sigurnosnih zona - sigurnosne zone su područja oko željezničkih pruga i infrastrukture u kojima je pristup strogo kontroliran ili zabranjen za neovlaštene osobe. Ove zone uključuju prostor oko kontaktnih vodova, električnih postrojenja i drugih osjetljivih dijelova infrastrukture. Proširenje sigurnosnih zona može uključivati dodatne mjere poput povećanja udaljenosti između pruge i područja dostupnih javnosti, što smanjuje rizik od nesreća, posebno na područjima gdje postoji gust promet putnika ili blizina stambenih zona. Uvođenje standardiziranih sigurnosnih udaljenosti na temelju međunarodnih normi, prilagođenih lokalnim uvjetima, osigurava konzistentan pristup sigurnosti širom željezničke mreže. Isto tako, moguće je postavljanje čvrstih i visokih ograda duž pruge, posebno na područjima gdje postoji opasnost od neovlaštenog pristupa, kao što su urbana područja, blizina škola, ili mjesta gdje pruga prelazi cestu. Ove ograde trebaju biti dovoljno visoke i čvrste da spriječe prelaženje. Zatim, bilo bi dobro postaviti i posebno dizajnirane barijere koje otežavaju ili onemogućavaju penjanje, postavljene na kritičnim točkama poput prijelaza i mostova. Nadalje, pored sigurnosne funkcije, zidovi za zaštitu od buke mogu služiti i kao dodatna fizička prepreka između pruge i okolnih područja. [23].
- Povećanje sigurnosti na cestovno – željezničkim prijelazima – željezničko - cestovni prijelazi često su mjesta gdje dolazi do nesreća zbog nepažnje vozača ili nedostatne signalizacije. Povećanje sigurnosti na ovim prijelazima može se postići instalacijom dodatnih sigurnosnih barijera, poput automatskih rampi koje se spuštaju prije dolaska vlaka, svjetlosnih i zvučnih signala, te nadzornih kamera. Edukativne kampanje za vozače i pješake mogu također poboljšati svijest o opasnostima. Time se smanjuje broj nesreća na željezničko - cestovnim prijelazima te poboljšava ukupnu sigurnost. Izazov je ponovno isti, a to su troškovi

instalacije i održavanja novih sigurnosnih uređaja te potreba za koordinacijom između različitih institucija (željeznica, cestovni promet, lokalne vlasti). Zatim važno je i osiguravanje da su ograde i druge fizičke barijere redovito pregledavane i održavane kako bi zadržale svoju funkcionalnost i učinkovitost. Ovo uključuje popravke oštećenja, zamjenu starih ili dotrajalih dijelova, te osiguranje da sve barijere ispunjavaju aktualne sigurnosne standarde. Redovne inspekcije kako bi se osiguralo da su sigurnosne zone jasno označene, bez prepreka i opasnosti koje bi mogle ugroziti sigurnost djelatnika i putnika. Općenito, mjere koje uključuju sigurnosne zone i fizičke barijere predstavljaju temeljnu komponentu sigurnosne infrastrukture elektrificiranih željezničkih sustava. Ove mjere sprječavaju neovlašteni pristup, smanjuju rizik od nesreća i pružaju jasne fizičke i vizualne barijere koje pomažu u zaštiti ljudi i infrastrukture. Kombinacija čvrstih fizičkih prepreka s naprednim tehnološkim rješenjima pruža visoku razinu sigurnosti i pouzdanosti u radu željezničkih sustava. [24].

- Jačanje regulative i nadzora - zakonodavni okvir i nadzor nad njegovim provođenjem ključni su za održavanje visokih sigurnosnih standarda. Potrebno je osigurati da regulativa bude usklađena s najboljim praksama EU-a te da uključuje stroge kazne za nepoštivanje sigurnosnih standarda. Osim toga, redovite inspekcije i revizije ključni su za osiguravanje pridržavanja propisa. Ovakav pristup osigurava visoku razinu odgovornosti i smanjuje mogućnost nesreća uzrokovanih nemarom ili lošim održavanjem. No, implementacija novih propisa može biti izazovna i zahtijeva resurse za nadzor i inspekciju [25].

6. ZAKLJUČAK

Željeznički transportni sustav predstavlja bitnu stavku svakodnevnog prometa ljudi, te transporta sredstva i dobara. S obzirom na svakodnevni promet istih, takav sustav podložen je mnogim problemima i nesrećama pri transportu, uporabi ili održavanju toga sustava. A posebnu pažnju i opasnosti iziskuje kontaktna mreža kao dio elektrificiranih željezničkih sustava.

Jedna od bitnih točaka ovoga diplomskog rada i analize dostupnih podataka je ukazati da elektrificirani željeznički sustavi kao sredstvo prometa i transporta, te kontaktna mreža kao dio tog sustava mogu itekako ostaviti posljedice po ljudski život te ugroziti svakodnevnu sigurnost. Samim time povećati ljudske nesreće i ozljede što dovodi do zdravstvenih troškova, troškova osiguranja, smanjenje produktivnosti, a ono najvažnije, mogu ugroziti ljudski život.

Tema je zadana i vođena od mentora, te statistička analiza dostupnih podataka u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine pokazala je da se najveći postotak i broj nesreća na željezničkim sustavima dogodio zbog naleta vlaka u kretanju te nesreća nastalih na putnim prijelazima na nivou. Isto tako, statistička analiza dostupnih podataka o nesrećama koje su se dogodile na elektrificiranim željezničkim sustavima, u vremenskom periodu od 2008. pa sve do 2017. godine uslijed strujnog udara, pokazuje kako se najveći postotak takvih nesreća dogodio kao posljedica strujnog udara nakon ulaska u zonu opasnosti kontaktne mreže zbog ljudskog nemara, odnosno, penjanja na vagone.

Ova analiza upućuje na to da je potrebno ulagati u edukaciju stanovništva i radnika, te povećati mjere sigurnosti i zaštite na elektrificiranim željezničkim sustavima. Također, vrlo je važno podizanje svijesti o zakonski obveznoj uporabi osobnih zaštitnih sredstava pri radu na elektrificiranim željezničkim sustavima i kontaktnoj mreži.

No unatoč tome, može se pretpostaviti da će postojati određeni postotak onih koji će se oglušiti na sigurnosne mjere zaštite, jer se najviše nesreća događa upravo zbog ljudske pogreške i nemara. U tom slučaju potrebno je unaprijediti mjere sigurnosti i zaštite. Alarmni i detekcijski sustavi predstavljaju zanimljivu

opciju prilikom detektiranja automobila i ljudi na prijelaznim nivoima, te zonama opasnosti. Također, zvučni alarmi pri detekciji pokušaja penjanja na vlakove predstavljaju zanimljivo rješenje. Uz potrebnu adekvatnu edukaciju ljudi potrebno je paralelno ulagati u tehničku zaštitu i uređaje nadzorne opreme. Težnja postizanja najvišeg stupnja zaštite sa svojim odredbama treba biti primarni fokus elektrificiranih željezničkih sustava. Uvođenje strožih kazna za kršenje sigurnosnih mjera zaštite sigurno pridonosi unapređenju opće sigurnosti i zaštite na elektrificiranim željezničkim sustavima.

7. LITERATURA

1. **Uglešić I., Mandić M.:** „*Napajanje električne vuče*“, Graphis, Zagreb, (2014.)
2. Eurostat: Railway safety statistics in the EU, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/94376.pdf>, pristupljeno 26.7.2024.
3. Hrvatski zavod za javno zdravstvo: Ozljede na radu, <https://www.hzzzs.hr/index.php/porefesionalne-bolesti-i-ozljede-na-radu/ozljede-na-radu/>, pristupljeno 27.7.2024.
4. Električne željeznice, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, (2011.), <https://www.scribd.com/doc/71463630/Elektricne-zeljeznice-skripta>, pristupljeno 28.7.2024.
5. Pravilnik o tehničkim uvjetima kojima mora udovoljavati željeznički elektroenergetski infrastrukturni podsustav, NN 129/2010
6. HŽ Infrastruktura d.o.o: Plan poslovanja od 2020. do 2024. godine, https://www.hzinfra.hr/wp-content/uploads/2020/02/PLAN-POSLOVANJA-2020-2024_internet.pdf, pristupljeno 30.7.2024.
7. **Pupovac D., Knežević J.:** „*Analiza izvanrednih događaja u željezničkom prometu*“, Sigurnost, **63**, (2021.), 2, 155 – 164.
8. Pravilnik o izvanrednim događajima u željezničkom prometu, NN 64/2009
9. **Papić N.:** „*Nesreće uzrokovane udarom električne struje – nesreće na željeznici*“, Željeznice 21, **18** (2019.), 2, 37 - 42.
10. Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom, NN 88/2012
11. HŽ infrastruktura d.o.o.: Godišnje izvješće o sigurnosti u 2020. godini, <https://www.hzinfra.hr/wp-content/uploads/2021/07/Sigurnost-2020-web.pdf>, pristupljeno 30.07.2024.
12. **European Union Agency for Railways.:** „*Report on Railway Safety and Interoperability in the EU*“, Publications Office of the European Union, Luxembourg, (2024.)

13. European Union: Direktiva (EU) 2016/798 Europskog parlamenta i Vijeća od 11. svibnja 2016. o sigurnosti željeznica, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32016L0798>, pristupljeno 30.7.2024.
14. Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava, NN 63/20
15. Zakon o radu, NN 93/14, 127/17, 89/19, 151/22, 46/23, 64/23
16. Union Internationale des Chemins de fer: About UIC, <https://uic.org/about/about-uic/>, pristupljeno: 29.07.2024.
17. International Labour Organization, <https://www.ilo.org/>, pristupljeno 30.07.2024.
18. Državni zavod za statistiku: Priopćenja i statistička izvješća; transport i komunikacije, <https://web.dzs.hr/>, pristupljeno 04.08.2024.
19. Vlastita obrada autora
20. European Union Agency for Railways.: Railway Safety Directive Implementation Report (2019), <era.europa.eu>, pristupljeno 07.08.2024.
21. **Rudić D.:** „Osnove željezničkog prometa“, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
22. **Ambrož D.:** „Sigurnost željezničkog prometa“, HŽ Infrastruktura, Zagreb, 2015.
23. **Savić I.:** „Primjena informacijskih sustava u povećanju sigurnosti željezničkog prometa“, *Promet*, **24**, (2012.), 6, 451-457.
24. European Commission.: European Railway Safety Performance Report (2019), <ec.europa.eu>, pristupljeno 07.08.2024.
25. **Todorović I.:** „Pravni okvir sigurnosti željezničkog prometa u Europskoj uniji“, Pravni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2017.
26. **V. Tudić.:** „Moderni koncepti sigurnosti i procjena rizika kod izrade sigurnosnog elaborata“, Skripta VUKA , 2021.g.

8. PRILOZI

8.1. Popis simbola

ATC - Automatic Train Control

ETCS - The European Credit Transfer System

ERA - European Union Agency for Railways

EU – Europska unija

Hz – Herc

HŽ – Hrvatske željeznice

ILO - International Labour Organization

IoT - Internet of Things

m – metar

mm - milimetar

KM – Kontaktna mreža

km/h – kilometara na sat

kW – kilovat

SAD – Sjedinjene Američke Države

TPS - Train Protection Systems

UIC - Union Internationale des Chemins de fer

V – Volt

8.2. Popis slika

Slika 1. Lagana kontaktna mreža	7
Slika 2. Nekompenzirana kontaktna mreža	8
Slika 3. Željezničke pruge u RH	10

8.3. Popis tablica

Tablica 1. Vrsta prijevoza i broj nesreća u EU	12
Tablica 2. Sigurnosne udaljenosti D_s	14
Tablica 3. Prikaz ukupnog broja izvanrednih događaja na hrvatskim željeznicama po godinama	23
Tablica 4. Uzrok smrti i broj smrtno stradalih zaposlenika željeznice	27
Tablica 5. Broj smrtno stradalih ostalih sudionika željezničkog prometa od 2015. do 2020. godine prema vrsti nesreće	28
Tablica 6. Broj teško ozlijeđenih putnika željezničkog prometa prema vrsti nesreće u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine	30
Tablica 7. Broj teško ozlijeđenih zaposlenika željeznice prema vrsti nesreće u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine	31
Tablica 8. Teško ozlijeđeni "ostali" sudionici željezničkog prometa u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine prema vrsti nesreće	32
Tablica 9. Prikaz broja stradalih osoba od strujnog udara prema načinu stradavanja na hrvatskim željeznicama u vremenskom periodu od 2008. do 2017. godine	33

8.4. Popis grafičkih predodžbi

Grafička predodžba 1. Broj nesreća u željezničkom prometu od 2015. - 2020. godine	24
Grafička predodžba 2. Pregled nesreća po godinama i prema vrsti nesreće...	25
Grafička predodžba 3. Broj poginulih osoba u željezničkom prijevozu od 2015. – 2020. godine.....	26
Grafička predodžba 4. Broj teško ozlijeđenih osoba na željezničkim sustavima u vremenskom periodu od 2015. do 2020. godine	29