

Višekriterijska analiza tehničkih rješenja za povećanje sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec

Grabušić, Silvestar

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:737697>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-17**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Silvestar Grabušić

**VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA
POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG
PRIJELAZA POZNANOVEC**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 1. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za cestovni promet**
Predmet: **Vrednovanje cestovnih projekata**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5949

Pristupnik: **Silvestar Grabušić (0135243722)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Višekriterijska analiza tehničkih rješenja za povećanje sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec**

Opis zadatka:

Željezničko-cestovni prijelaz (ŽCP) Poznanovec nalazi se u naselju Poznanovec u općini Bedekovčina, na križanju županijske ceste Ž2201 i pruge Zaprešić - Čakovec (R201). Ovaj ŽCP osiguran je svjetlosno-zvučnom signalizacijom, a nalazi se neposredno uz željezničko stajalište Poznanovec što ukazuje na značajne pješačke tokove u užem području ŽCP-a. Preliminarnom analizom postojećeg stanja sigurnosti na ovom ŽCP-u, utvrđeno je da su se na ovom prijelazu dogodile nesreće sa smrtno stradalima, a prometne površine u području obuhvata ŽCP-a kojima prometuju osobna vozila te pješaci i biciklisti nisu adekvatno uređene što dodatno ugrožava sigurnost sudionika u prometu.

Istraživanje u diplomskom radu treba obuhvatiti analizu postojećeg stanja sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec, analizu novih tehničkih rješenja koja se primjenjuju na globalnoj razini za osiguranje ŽCP-a te utvrditi mogućnost njihove primjene na ŽCP-u Poznanovec. Prijedloge novih mogućih tehničkih rješenja primjenjivih na ŽCP-u Poznanovec potrebno je vrednovati višekriterijskom analizom, a temeljem dobivenih rezultata odrediti optimalnu varijantu tehničkog rješenja za osiguranje ŽCP-a Poznanovec koja će povećati sigurnosti na navedenom ŽCP-u. Zaključno, autor treba dati svoj osvrt na izabrano optimalno rješenje dobiveno temeljem rezultata višekriterijske analize.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Danijela Barić

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA
POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG
PRIJELAZA POZNANOVEC**

**MULTI CRITERIA ANALYSIS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR
INCREASING SAFETY OF THE LEVEL CROSSING POZNANOVEC**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Danijela Barić

Student: Silvestar Grabušić

JMBAG: 0135243722

Zagreb, rujan 2020.

SAŽETAK

Željezničko-cestovni prijelaz (ŽCP) mjesto je križanja željezničke pruge ili industrijskoga kolosijeka i ceste u istoj razini. Kao takav predstavlja točku visokog rizika za nastanak prometne nesreće s poginulima, ozlijeđenim osobama ili s materijalnom štetom. U diplomskom radu opisani su i definirani osnovni pojmovi vezani uz željezničko-cestovne prijelaze, navedena je i opisana zakonska regulativa kojom se regulira promet na željezničko-cestovnim prijelazima, napravljena je analiza prometnih nesreća u svijetu i Republici Hrvatskoj uz kratak opis programa prevencije istih. Istraživanje u diplomskom radu obuhvatilo je detaljnu analizu postojećeg stanja sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec. Analizirana su nova tehnička rješenja koja se primjenjuju na globalnoj razini za osiguranje ŽCP-a te su utvrđene mogućnost njihove primjene na ŽCP-u Poznanovec. Predložena su nova moguća tehnička rješenja primjenjiva na ŽCP-u Poznanovec koja su potom vrednovana AHP metodom koja predstavlja jednu od metoda višekriterijske analize. Temeljem rezultata primijenjene AHP metode, izabrano je optimalno rješenje te je izrađena analiza osjetljivosti.

KLJUČNE RIJEČI: Željezničko-cestovni prijelaz, sigurnost, višekriterijska analiza, metoda analitičko hijerarhijskog procesa, analiza osjetljivosti, Poznanovec

SUMMARY

A level crossing (LC) is an intersection where a railway line crosses a road or an industrial track and a road at the same level. As such, it represents a point of high risk for the occurrence of a traffic accident with fatalities, injuries or material damage. The diploma thesis describes and defines the basic concepts related to level crossings, describes the legislation regarding level crossings, made an analysis of traffic accidents in the world and the Republic of Croatia with a brief description of prevention programs. The research in the diploma thesis included a detailed analysis of the current safety situation of the level crossing Poznanovec. New technical solutions that are applied at the global level for LCs are analysed and the possibility of their application at LC Poznanovec is determined. New possible technical solutions applicable to the Poznanovec LC were proposed, which were then evaluated by the AHP method, which is one of the methods of multi-criteria analysis. Based on the results of the applied AHP method, the optimal solution was selected and a sensitivity analysis was performed.

KEY WORDS: level crossing, railway and road traffic safety, technical solutions for safety improvement, AHP, sensitivity analysis

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJELAZI..... | 3 |
| 2.1. Način osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza..... | 3 |
| 2.1.1. Pasivno osiguranje željezničko cestovnog prijelaza | 4 |
| 2.1.2. Aktivno osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza | 8 |
| 2.2. Analiza prometnih nesreća u svijetu | 12 |
| 2.3. Prevencija prometnih nesreća u svijetu | 13 |
| 2.4. Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj | 14 |
| 2.5. Željezničko-cestovni prijelazi u Republici Hrvatskoj..... | 18 |
| 2.5.1. Analiza prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj | 20 |
| 2.5.2. Prevencija nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima u Republici Hrvatskoj | 24 |
| 3. NOVA TEHNIČKA RJEŠENJA ZA DOPUNU OSIGURANJU ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIH PRIJELAZA | 27 |
| 3.1. Tehnička rješenja za pasivno osigurane željezničko cestovne prijelaze | 28 |
| 3.2. Tehnička rješenja za aktivno osigurane željezničko-cestovne prijelaze | 36 |
| 3.3. Tehničke mjere za povećanje sigurnosti na svim željezničko-cestovnim prijelazima...41 | |
| 4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNA NOVEC | 48 |
| 4.1. Geoprometni položaj željezničko-cestovnog prijelaza | 48 |
| 4.2. Tehnička opremljenost željezničko-cestovnog prijelaza..... | 49 |
| 4.3. Analiza prometnih nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec | 52 |
| 4.4. Analiza prometnih tokova na željezničko-cestovnom prijelazu | 53 |
| 5. PRIJEDOLOZI NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA..... | 58 |
| 5.1. Varijanta 1 | 58 |
| 5.2. Varijanta 2 | 59 |
| 5.3. Varijanta 3 | 60 |
| 6. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNA NOVEC | 62 |
| 6.1. Hijerarhijska struktura AHP modela | 65 |
| 6.2. Rangiranje kriterija i potkriterija | 69 |
| 6.3. Rangiranje varijanata..... | 75 |
| 7. IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE I ANALIZA OSJETLJIVOSTI | 90 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 7.1. Izbor optimalne varijante..... | 90 |
| 7.1. Analiza osjetljivosti..... | 91 |
| 8. ZAKLJUČAK | 93 |
| POPIS SLIKA..... | 98 |
| POPIS TABLICA..... | 101 |
| POPIS GRAFIKONA..... | 103 |

1. UVOD

Sigurnost u prometu u današnje vrijeme predstavlja najvažniji aspekt prometa. Različite vrste prijevoza prolaze preko željezničko-cestovnog prijelaza (ŽCP) zbog čega je ovo mjesto podložno čestim prometnim nesrećama odnosno to je mjesto visokog rizika za sudionike u prometu u cijelom svijetu. Prema statističkim podacima posljedice prometnih nesreća u velikom broju slučajeva su gubitak ljudskog života i velika materijalna šteta. Kroz razna izvješća o sigurnosti prometa na željezničko-cestovnim prijelazima zaključuje se da su u pravilu za prometne nesreće odgovorni sudionici u prometu (vozači, pješaci, biciklisti itd.), međutim bolje osigurani prijelazi u velikom broju slučajeva sprečavaju nastanka prometne nesreće s većim posljedicama koje su nastale upravo zbog ljudske pogreške. Iz tog razloga željezničko-cestovne prijelaze potrebno je adekvatno osigurati, a jednako je važna i gustoća prometa te vrsta sudionika koji prolaze kroz prijelaz (pješaci, biciklisti, vozači motorni vozila). U današnje vrijeme pokušava se korištenjem raznih istraživanja i računalnih programa doći do boljih tehničkih rješenja kojima će se unaprijediti sigurnost na željezničko-cestovnim prijelazima. Cilj primjene novih tehničkih mjera na željezničko-cestovnim prijelazima je smanjenje prometnih nesreća i njezinih posljedica.

U ovom diplomskom radu, izbor i određivanje optimalnog tehničkog rješenja odrediti će se za željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec. Očekivani rezultat istraživanja je određivanje optimalnog varijantnog rješenja koje će se odrediti na temelju usporedbe predloženih varijanata višekriterijskom analizom s ciljem sigurnijeg odvijanja prometa na promatranom željezničko-cestovnom prijelazu i cestovnim prometnicama u okruženju.

Diplomski rad podijeljen je na osam glavnih dijelova:

1. UVOD
2. ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJEAZ
3. NOVA TEHNIČKA RJEŠENJA ZA DOPUNU OSIGURANJU ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIH PRIJELAZA
4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC
5. PRIJEDLOZI NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC

6. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC
7. IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE I ANALIZA OSJETLJIVOSTI
8. ZAKLJUČAK

U drugom poglavlju definiran je pojam željezničko-cestovni prijelaz i dana je osnovna podjela istog. Navedena je i zakonska regulativa koja uređuje promet na željezničko-cestovnim prijelazima, a ujedno je provedena i analiza prometnih nesreća i opisan program prevencije istih u svijetu i Republici Hrvatskoj.

U trećem poglavlju analizirana su i detaljno opisana nova tehnička rješenja za dopunu osiguranju željezničko-cestovnih prijelaza koja se uspješno primjenjuju u brojnim državama svijeta.

U četvrtom poglavlju analizirano je postojeće stanje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec, a sastoji se od analize opremljenosti i analize prometnih nesreća te kratke usporedbe prijelaza s drugim željezničko-cestovnim prijelazima u Hrvatskoj.

U petom poglavlju dani su prijedlozi novih tehničkih rješenja za osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec.

U šestom poglavlju provedeno je vrednovanje predloženih novih tehničkih rješenja za željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec primjenom AHP metode uz programsku podršku Expert Choice.

Temeljem prethodno provedene višekriterijske analize tehničkih rješenja, u sedmom poglavlju je utvrđena optimalna varijanta za unaprjeđenja sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec za koju je izrađena i analiza osjetljivosti u svrhu uvida u potencijali rizik za realizaciju odabranog rješenja.

U posljednjem poglavlju opisana su zaključna razmatranja na temelju rezultata svih analiza željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec.

2. ŽELJEZNIČKO-CESTOVNI PRIJELAZI

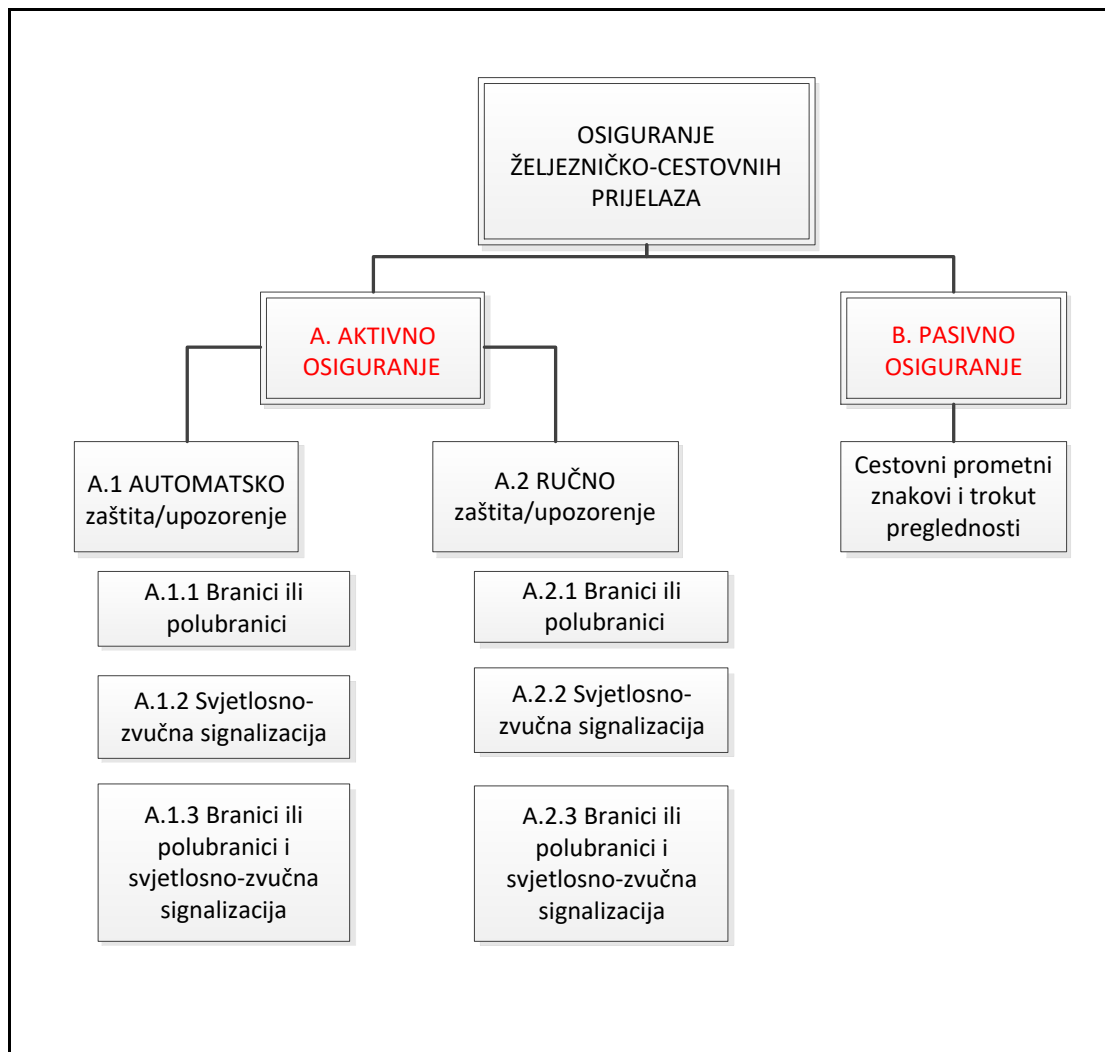
Željezničko-cestovni prijelaz jest mjesto križanja željezničke pruge ili industrijskog kolosijeka i ceste u istoj razini, može uključivati i križanje pruge s pješačkom i biciklističkom stazom ili drugi putovima koji su namijenjeni prelaženju ljudi, životinja, vozila i strojeva. S obzirom da na ovakvim mjestima dolazi do sučeljavanja nekoliko vrsta prijevoza potrebno ih je adekvatno tehnički opremiti kako bi se omogućilo sigurno kretanje svih sudionika u prometu [1].

Na prugama velikih brzina ne smije biti željezničko-cestovnih prijelaza, nego su obavezni nadvožnjaci i podvožnjaci. Kako bi se promet po pruzi mogao odvijati nesmetano i sigurno za sve sudionike, za cestovna vozila se koriste prometni znakovi "Andrijin križ", "Stop", svjetlosni signali te rampa s polubranicama ili branicima na prugama gdje je intenzitet prometa vrlo gust i gdje su brzine u prosjeku veće [2].

2.1. Način osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza

S obzirom da je željezničko-cestovni prijelaz mjesto sučeljavanja željezničkog i cestovnog prometa sa stajališta sigurnost predstavlja točku visokog rizika koju je potrebno osigurati na pravilan način odnosno u skladu s propisima [3].

Osnovna podjela osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza prema preporukama Europske željezničke agencije (eng. ERA–European Railway Agency) podrazumijeva pasivno i aktivno osiguranje [3]. Slika 1. prikazuje vrste osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza.



Slika 1. Shema vrste osiguranje željezničko-cestovnih prijelaza [3]

2.1.1. Pasivno osiguranje-željezničko-cestovnog prijelaza

Pasivno osiguran-željezničko-cestovni prijelaz smatra se svaki prijelaz 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. [4]

Pasivno osiguran željezničko-cestovni prijelaz obuhvaća elemente:

- Znak prijelaz ceste preko željezničke pruge s branicama ili polubranicama (A34)
- Znak prijelaz ceste preko željezničke pruge bez branika i polubranika (A35)
- Znak Andrijin križ (A37)
- Znak udaljenost do cestovno-željezničkog prijelaza (A36)

- Ostala oprema, uređaji, preglednost (trokut preglednosti, mimoilazna zaštitna ograda i slično) [4]

Znak prijelaza ceste preko željezničke pruge označuje blizinu prijelaza ceste preko željezničke pruge u razini koja nije osigurana s branicima i polubranicima. Kako bi znak bio vidljiv u svim vremenskim uvjetima izvodi se od retroreflektirajućeg materijala najmanjeg koeficijenta retrorefleksije razreda RA2 [4]. Slika 2. prikazuje znak prijelaz ceste preko željezničke pruge bez branika ili polubranika, a slika 3. znak prijelaz ceste preko željezničke pruge s branikom ili polubranikom.



Slika 2. A35 Prijelaz ceste preko željezničke pruge bez branika ili polubranika [4]



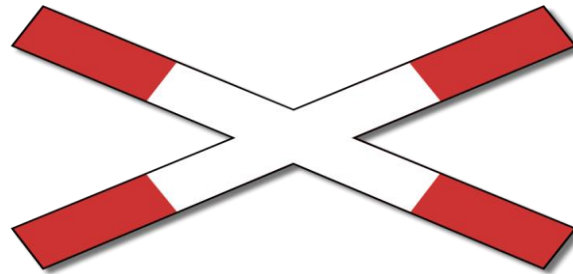
Slika 3. A34 Prijelaz ceste preko željezničke pruge s branikom ili polubranikom [4]

Pasivni način osiguranja obuhvaća i znak Andrijin križ koji označuje mjesto gdje cesta prelazi preko željezničke pruge u razini bez branika ili polubranika s jednim kolosijekom odnosno dva ili više kolosijeka [4].

Prometni znakovi postavljaju se na prijelazima koji su potpuno nezaštićenim ili gdje su postavljeni samo svjetlosni i zvučni znakovi bez branika ili polubranika. Postavljaju se na udaljenosti od 5 metara od najbliže željezničke tračnice, ali i na manjoj udaljenosti od 3 metara ili većoj na 10 metara ako to zahtijevaju posebni uvjeti [4].

Slika 4. prikazuje izgled znaka „Andrijin križ“ prema pravilniku. Ako je prijelaz ceste preko željezničke pruge u razini zaštićen uređajem za davanje svjetlosnih signala, znak se postavlja na istom stupu iznad svjetlosnih signala. Znak mora biti uočljiv s udaljenosti najmanje 50

metara, a kad uz cestu nema dostatno prostora za normalno postavljanje znaka, on se može postaviti tako da se zakrene za 90° udesno [4].



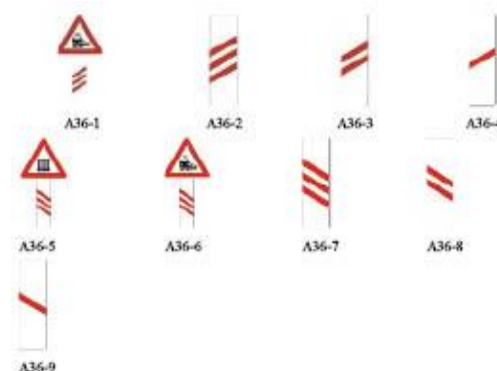
Slika 4. A37 Andrijin križ [4]

Kod osiguranog prijelaza ceste preko željezničke pruge u istoj ravnini, s desne strane ceste, postavlja se znak A36 (slika 5.), a kod nezaštićenog prijelaza znak A36-1. Znakovi A36, A36-1, A36-2, A36-3 i A36-4 postavljaju se s desne strane, a znakovi A36-5, A36-6, A36-7, A36-8 i A36-9 s lijeve strane kolnika. Ukoliko je okruženje takvo da onemogućuje postavljanje i pravovremeno uočavanje znakova A36-5, A36-6, A36-7, A36-8 i A36-9, isti se ne moraju postaviti [4]. Slika 6. prikazuje varijacije znaka A36.

Znakovi se postavljaju tako da se znakovi A36, A36-1, A36-2, A36-5, A36-6 i A36-7 postavljaju na 240 m ispred mjesta križanja ceste i željezničke pruge u razini, znakovi A36-3 i A36-8 na 160 m, a znakovi A36-4 i A36-9 na 80 m ispred mjesta križanja ceste i željezničke pruge u razini tako da je niža strana kosih crta bliža kolniku. Znakovi A36-3, A36-4, A36-8 i A36-9 postavljaju se samostalno ili u kombinaciji sa znakovima opasnosti prijelaz ceste preko željezničke pruge s branicima ili polubranicima (A34) ili prijelaz ceste preko željezničke pruge bez branika ili polubranika (A35) [4].

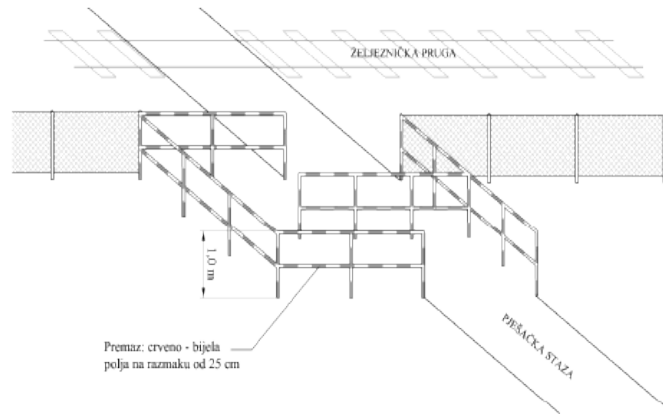


Slika 5. Znak A36 Udaljenost do željezničko-cestovnog prijelaza [4]



Slika 6. Varijacije znaka A36 Udaljenost do željezničko-cestovnog prijelaza [4]

Mimoilazna zaštitna ograda je zaštitna ograda za usmjeravanje pješaka koja se ugrađuje neposredno ispred pješačkoga prijelaza preko pruge kako bi se pješaci pravovremeno upozorili da slijedi prijelaz ceste preko željezničke pruge u istoj razini [5]. Mimoilazna zaštitna ograda prikazana je na slici 7.



Slika 7. Mimoilazna zaštitna ograda [5]

Trokut preglednosti određuje preglednost ceste na željezničku prugu. Trokutom preglednosti osigurava se sudionicima u cestovnom prometu nesmetan vidik na željezničku prugu s obje strane ceste radi pravodobnog uočavanja vlaka u cilju sigurnog prelaska preko željezničke pruge. Propisana preglednost s ceste na željezničku prugu ostvarena je kada sudionici u cestovnom prometu ispred željezničko-cestovnoga prijelaza s obje strane željezničke pruge imaju nesmetan vidik iz vozila na jednu i drugu stranu na udaljenost koja omogućuje pravovremeno uočavanje nadolazećega vlaka odnosno željezničkoga vozila, u cilju sigurnoga prelaska preko željezničke pruge. Nesmetan vidik podrazumijeva da je na udaljenosti za koju je ostvarena propisana preglednost omogućena potpuna vidljivost dijela slobodnog profila kolosijeka željezničke pruge namijenjenog za željeznička vozila [5].

Elementi trokuta preglednosti jesu :

- Da su kutovi križanja ceste i željezničke pruge različiti, ali ne manji od 20°
- Da se cestovno vozilo prije prelaska željezničke pruge mora zaustaviti, a nakon pokretanja kreće se jednoliko ubrzano dok ne postigne brzinu od 5 km/h uz ubrzanje od 1 m/s^2 .
- Da se točka zaustavljanja nalazi u ravnini sa prometnim znakom „Andrijin križ“
- Da su na prugama dopuštene različite brzine prolaska vlakova
- Da su različite duljine cestovnih vozila koja prelaze željezničku prugu [5]

Propisana preglednost s ceste na željezničku prugu određuje se u odnosu na dopuštenu infrastrukturnu brzinu na dijelu željezničke pruge na kojem se nalazi željezničko-cestovni prijelaz. Provjera trokuta preglednosti za cestovna vozila mora biti provedena na način da budu zadovoljeni uvjeti za cestovna vozila različite visine, odnosno za raspon od minimalne visine motrišta 1,0 m iznad ruba kolnika ceste do maksimalne visine motrišta 2,7 m iznad ruba kolnika ceste [5].

2.1.2. Aktivno osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza

Aktivno osiguran željezničko-cestovni prijelaz smatra se svaki način osiguranja koji reagira promjenom svoga stanja (svjetlosno-zvučnoga ili zaštitnoga) pri nailasku željezničkog vozila [5].

Ako cesta prelazi preko 2 ili više kolosijeka željeznički prijelaz potrebno je osigurati svjetlosnim signalima uz automatsko uključivanje i isključivanje signala koji se aktiviraju nailaskom vlaka na kolosiječne senzore. Kod brzina od 120 km/h željezničko-cestovni prijelazi moraju biti osigurani svjetlosni i zvučnim signalima, a kod manjih brzina minimalno mimoilaznim zaštitnim ogradama. Na križanju industrijskog kolosijeka sa cestom koji je osiguran uređajima, moraju se ugraditi iskliznice odnosno željeznički signali s obje strane prijelaza koji moraju biti u međusobnoj ovisnosti sa signalima na cesti [5].

Aktivno osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza može se ostvariti:

- Mehaničkim uređajima
- Elektroničkim uređajima [2]

Uređaji za osiguranje željezničko-cestovnih prijelaza:

- Uređaji s manualnim uključivanjem
- Uređaji koji se uključuju s centralne postavnice
- Automatski uređaji koji se uključuju nailaskom vlaka [2]

Polubranici i branici (prikaz na slikama 8. i 9.) povećavaju sigurnost sudionika u prometu na način da fizički sprječavaju prolaz preko željezničko-cestovnog prijelaza za sva cestovna vozila kada je uređaj za osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza uključen. Namijenjeni su zatvaranju prometa vozila i pješaka u smjer na koji su poprečno postavljeni [5].

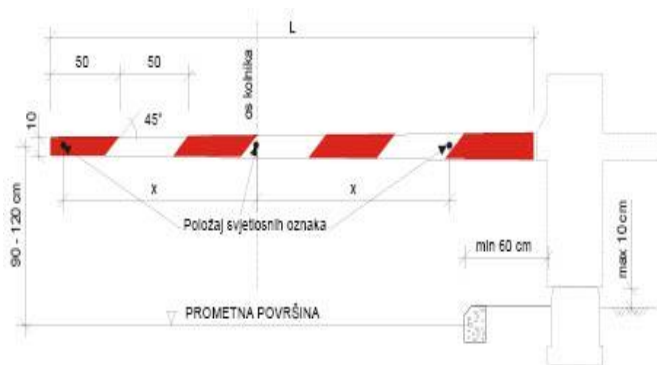


Slika 8. Željezničko cestovni prijelaz osiguran polubranikom [6]



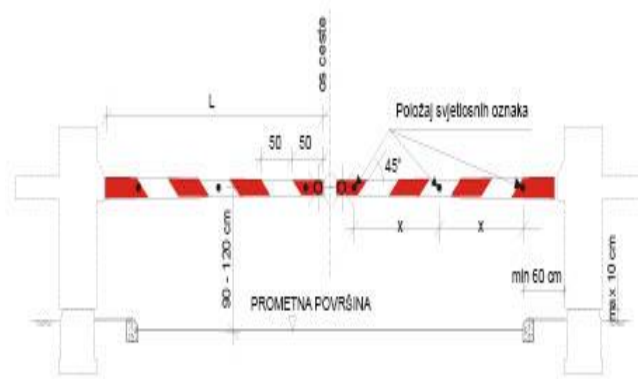
Slika 9. Željezničko cestovni prijelaz osiguran branikom [7]

Svjetlosno trepćuće svjetlo obavezno se postavlja na sredinu branika odnosno na kraju polubranika. Branici kojima se na prijelazu ceste preko željezničke pruge zatvara promet čitavom širinom ceste moraju biti označeni s najmanje tri crvena reflektirajuća stakla od kojih jedno mora biti smješteno na sredini branika, a druga dva na krajevima branika [6]. Slika 10. prikazuje branik.



Slika 10. K26 Branik [4]

Polubranici, kojima se na prijelazu ceste preko željezničke pruge u razini zatvara promet samo do polovice širine kolnika moraju biti označeni s najmanje tri crvena reflektirajuća stakla postavljena na odgovarajućim razmacima po čitavoj dužini polubranika, od kojih jedno mora biti smješteno na samom kraju polubranika [4]. Slika 11. prikazuje polubranik.



Slika 11. K27 Polubranik [4]

Osiguranje branicima i polubranicima koristi se obično u naseljima i na mjestima učestalog prometa. Branici se postavljaju na udaljenosti 3 m od najbliže tračnice. Branicima se može upravljati ručno. Uređajem rukuje čuvar cestovnog prijelaza neposredno uz sam prijelaz ili s određene udaljenosti s koje ima preglednost prijelaza. Postavljanje branika se može izvesti i daljinski žicovodom ili elektromotorom. Prije spuštanja branika sudionici se opominju pred zvonjenjem u trajanju od 15 do 25 sekundi [4].

Svjetlosni znakovi za označivanje prijelaza ceste preko željezničke pruge u razini mogu biti znakovi za označivanje branika i polubranika i znakovi kojima se najavljuje približavanje vlaka odnosno zatvaranje prijelaza branicima ili polubranicima. Sastoji se od dvije crvene lanterne sa sjenilima na trokutastoj ploči, priključnog ormarića, stupa te opcionalno Andrijinog križa. Modularni dizajn signala omogućuje laku dostupnost za održavanje svake pojedinačne komponente [6]. Slika 12. prikazuje cestovni signal na željezničko-cestovnom prijelazu.



Slika 12. Cestovni signal CS-LHR [6]

Brojači osovina (slika 13.) su uređaji za detekciju vlaka na željezničkoj pruzi putem induktivnih senzora željezničkog kotača. Koriste se u nizu aplikacija gdje imaju ulogu davanja informacije o poziciji vlaka. Zbog svoje fleksibilnosti, niskih troškova održavanja i dodatnih funkcionalnosti, brojači osovina se sve više koriste umjesto detekcije vlaka putem izoliranih odsjeka [6].



Slika 13. BO23 Brojač osovina [6]

Gradnja podvožnjaka i nadvožnjaka najsigurniji je način razdvajanja razina. Dovoljna razina sigurnosti postiže se ugradnjom signalnih uređaja koji obavještavaju sudionike u cestovnom prometu o približavanju željezničkog vozila. Na željezničko-cestovnom prijelazu se daje prednost pružnim vozilima jer ona imaju veću masu, kreću se prisilnom putanjom i imaju dulji zaustavni put. To podrazumijeva da se kod nailaska vlaka, cestovni promet obustavlja [2].

Najčešći uzroci nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu su nepoštivanje prometnih znakova, neprilagođena brzina vožnje, prelazak automobila ispod spuštenih branika, nepažnja vozača cestovnih vozila i pješaka te loše označeni i osigurani prijelazi. Zbog duljeg zaustavnog puta i manje učestalosti prolaza, prioritet se daje uvijek željeznici. Nastoji se potpuno ukinuti željezničko-cestovni prijelazi u istoj razini [2]. Dakako, to uvijek nije moguće te se teži smanjivanju njihova broja, što se postiže na sljedeće načine :

- Zamjena prijelaza nadvožnjacima-podvožnjacima
- Zamjenom dvaju ili više susjednih prijelaza jednim
- Osiguranjem cestovnih prijelaza u razini, suvremenim tehnološkim sredstvima
- Na tehničkim neosiguranim prijelazima, omogućavanjem potrebne vidljivosti [2]

2.2. Analiza prometnih nesreća u svijetu

Željezničko-cestovnih prijelaz je mjesto gdje se susreću dvije vrste prijevoza, cestovni i željeznički. Iz tog razloga na takvom mjestu često dolazi do prometnih nesreća koje mogu imati ozbiljne posljedice s materijalnim štetom, a često i poginulim [8].

Prema Federalnoj željezničkoj organizaciji (eng. Federal Railway Administration) u Sjedinjenim Američkim Državama od 2007. do 2016. godine na željezničko-cestovnim prijelazima dogodila se 21.763 nesreća s 2.611 poginulih što čini gotovo 35% svi nesreća u željezničkom prometu. U Australiji se na 23.532 željezničko-cestovna prijelaza u prosjeku događa 78 nesreća i 38 poginulih dok se u Europskoj uniji u razdoblju od 2006. do 2015. godine dogodilo 7.067 nesreća što čini 29% od ukupnog postotaka svih nesreća povezanih s željezničkim prijevozom. Ukupan broj poginulih u Europskoj uniji iznosi 3.377 odnosno 30% od svih nesreća povezanih s željezničkim prijevozom [8].

Najvažniji razlog za veliki broj prometni nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima je neadekvatno osiguranja istog. Primjer je Australija u kojoj od ukupnog broja željezničko-cestovnih prijelaza njih samo 33% imaju aktivno osiguranje (branici, polubranici, svjetlosno-zvučna signalizacija itd.) [8].

U Republici Hrvatskoj, koja je ujedno i članica Europske unije, u 2018. dogodilo se 55 nesreća, što je u odnosu na petogodišnji prosjek smanjenje od 28 %. Velik dio tih nesreća (55%) odnosio se na izvanredne događaje na željezničko-cestovnim prijelazima. Riječ je o 30 nesreća (pet na prijelazima osiguranima signalno-sigurnosnim uređajima, 24 na prijelazima osiguranima cestovnim prometnim znakovima i jedna na pješačkom prijelazu) [9].

U Europskoj uniji 49% željezničko-cestovnih prijelaza je aktivno osigurano odnosno više od pola je pasivno osigurano (prometni znakovi). Republika Hrvatska je ispod europskog prosjeka s 37% aktivno osiguranih željezničko-cestovnih prijelaza. Česti uzrok nesreća je i probijanje branika i polubranika gdje dolazi do pucanja ili oštećenja istog od strane osobnog automobila. Prema podacima Hz infrastrukture iz 2018. godine broj slomljenih ili oštećenih polubranika je 452 [9].

Drugi najvažniji razlog nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima je ljudska pogreška. Čovjek često ne uoči nadolazeći vlak ili krivo procjeni njegovu blizinu i brzinu što se najčešće događa na pasivno osiguranim prijelazima. Te pogreške mogu biti uzrokovane kognitivnim

čimbenicima, uključujući nepažnja, odvratanje pažnje, umor, slabo znanje, pogrešna prosudba, loše osvjetljenje i ograničena udaljenost vida [8].

2.3. Prevencija prometnih nesreća u svijetu

Željezničko-cestovni prijelazi nalaze se na sučelju između cestovne prometnice i željezničke pruge te kao takvi predstavljaju poseban problem glede sigurnosti prometa i njegovih sudionika.

Najčešći uzrok prometnih nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima u svijetu:

- ljudska pogreška (nepažnja, vožnja u alkoholiziranom stanju, umor itd.)
- Neadekvatno osigurani željezničko-cestovnih prijelazi [3]

Ljudske pogreške zbog kojih dolazi do prometnih nesreća mogu biti namjerne i nenamjerne. Razlog nenamjernih pogrešaka najčešće je umor, loša preglednost željezničko-cestovnih prijelaza, dvosmisleni prometni znakovi, loši vremenski uvjeti (kiša, poledica, magla), ostale aktivnosti tijekom vožnje (korištenje mobitela i satelitske navigacije, konzumiranje jela i pića, pušenje, razgovor s drugim putnicima u vozilu, vanjski čimbenici poput okolne buke, reklamnih plakata i slično). Namjere pogreške sudionika u prometu su događaji koje sudionici u prometu svjesno rade bez drugih utjecaja (nenamjernih) te tako krše zakonsku regulativu i prometna pravila, a to mogu biti prebrza vožnja pri približavanju željezničko-cestovnom prijelazu (duži put kočenja), nepoštivanje prometnoga znaka Stop na pasivnim prijelazima ili obilaženje spuštenih polubranika. Uzroci nesreća prouzročeni namjernim pogreškama sudionika u prometu mogu biti zbog vožnje vozača u alkoholiziranom stanju, nestrpljivost vozača, nepoznavanje prometnih znakova itd [10].

Postoji niz mjera za povećanje razine sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima. S obzirom na veliki broj smrtno stradalih osoba na željezničko-cestovnim prijelazima, prometne nesreće predstavljaju ozbiljan problem prometne politike kako na nacionalnoj razini tako i na razini cijele Europe i svijeta. Kako bi se taj broj smanjio potrebno je prikupiti podatke o uzrocima i posljedicama čime bi se utvrdila moguća rješenja odnosno mjere prevencije prometnih nesreća [3].

Dosadašnja istraživanja koja su vezana uz problematiku željezničko-cestovnih prijelaza mogu se podijeliti u nekoliko kategorija, a to su:

- nacionalni i međunarodni programi
- edukativni programi
- tehničko-tehnološka rješenja i inteligentni transportni sustavi (ITS) [9]

Prometne nesreće na željezničko-cestovnim prijelazima potrebno je rješavati sustavno, a kako bi se to ostvarilo potrebna je suradnja željezničkih i cestovnih uprava, edukacija svih sudionika u prometu, korištenje i primjena suvremenih inženjerskih rješenja osiguravanja željezničko-cestovnih prijelaza i nadogradnji pasivnih prijelaza aktivnima, donošenje nove zakonske regulative s ciljem poboljšanja postojećih prometnih pravila i zakona te vrednovanju učinkovitosti prethodno provedenih mjera [3].

2.4. Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj

Zakonska regulativa vezana za željezničko-cestovne prijelaze u Republici Hrvatskoj opisana je u sljedećim zakonima i pravilnicima:

- Zakon o željeznici (NN 32/19)
- Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava (NN 82/13, NN 18/15, 110/15, 70/17)
- Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/2019)
- Pravilnik o uvjetima za određivanje križanja željezničke pruge i drugih prometnica (NN 111/15)
- Pravilnik o načinu osiguravanja prometa na željezničko-cestovnim prijelazima i pješačkim prijelazima preko pruge (NN 111/15)
- Pravilnik o općim uvjetima za građenje u zaštitnom pružnom pojasu (NN 93/10)
- Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkoga prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge (NN128/08) [11]

Zakon o željeznici uređuje pravila koja se primjenjuju na upravljanje željezničkom infrastrukturom i na usluge željezničkog prijevoza, neovisnost upravitelja infrastrukture i željezničkih prijevoznika, izdavanje i ukidanje dozvola, željezničke usluge i naknade, uvjete za pristup željezničkoj infrastrukturi i željezničkim uslugama, izvješće o mreži, dodjelu i korištenje infrastrukturnog kapaciteta te pravni status željezničke infrastrukture [12].

Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava uređuje sigurnost i interoperabilnost željezničkog sustava, mjere za razvoj i upravljanje sigurnošću, uvjeti za postizanje interoperabilnosti željezničkog sustava Europske unije, utvrđuju se uvjeti za sigurno upravljanje željezničkim prometom i za sigurno odvijanje željezničkog prometa, uvjeti za obavljanje djelatnosti upravitelja infrastrukture i željezničkih prijevoznika, uvjeti za strojovođe i ostale izvršne radnike, postupanje tijela nadležnog za sigurnost željezničkog prometa i tijela za istraživanje željezničkih nesreća te nadzor sigurnosti i inspekcijski nadzor. Sigurnost željezničkog sustava mora se sustavno održavati i trajno unaprjeđivati, uzimajući u obzir razvoj zakonodavstva Europske unije i tehnički i znanstveni napredak, a naročito s ciljem sprječavanja ozbiljnih nesreća [12].

Uvjeti koji se moraju ispuniti radi postizanja interoperabilnosti željezničkog sustava odnose se na projektiranje, izgradnju, puštanje u uporabu, modernizaciju, obnovu, uporabu i održavanje dijelova željezničkog sustava, kao i na stručnu osposobljenost te zdravstvene i sigurnosne uvjete osoblja koje doprinosi njegovom radu, funkcioniranju i održavanju [13].

Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama propisuje se namjena, vrsta, značenje, oblik, boja, dimenzije, karakteristike i postavljanje prometnih znakova, signalizacije i opreme na cestama, koje se koriste za cestovni promet [4].

Pravilnik o uvjetima za određivanje križanja željezničke pruge i drugih prometnica uređuje se:

- uvjeti za određivanje križanja željezničke pruge i ceste koja ne smiju biti u istoj razini
- uvjeti za određivanje križanja željezničke pruge i pješačke staze koja ne smiju biti u istoj razini
- uvjeti za određivanje križanja željezničke pruge s drugim željezničkim prugama i tračničkim sustavima
- uvjeti za svođenje i određivanje zajedničkoga mjesta i načina križanja željezničke pruge i ceste u istoj razini (željezničko-cestovni prijelaz)
- uvjeti za svođenje i određivanje zajedničkoga mjesta i načina križanja željezničke pruge i pješačke staze u istoj razini (pješački prijelaz preko pruge)
- uvjeti za otvaranje novih stalnih i privremenih prijelaza te za premještanje i zatvaranje za promet postojećih prijelaza [14]

Ovisno o vrsti prometnica, razvrstavanju željezničkih pruga i drugih prometnica, intenzitetu prometa na željezničkim prugama i drugim prometnicama, topografskim i urbanističkim uvjetima, propisanim uvjetima za siguran tijek prometa i drugim propisanim uvjetima, križanje željezničke pruge s drugim prometnicama izvodi se kao: [14]

- križanje izvan razine
- križanje u istoj razini

Pravilnik o načinu osiguravanja prometa na željezničko-cestovnim prijelazima i pješačkim prijelazima preko pruge uređuje se:

- način osiguravanja prometa na željezničko-cestovnom prijelazu
- način osiguravanja prometa na pješačkom prijelazu preko pruge
- način osiguravanja prometa na križanju industrijskoga kolosijeka s prugom lake željeznice
- propisana preglednost na željezničku prugu odnosno industrijski kolosijek
- tehnički uvjeti kojima moraju udovoljavati mimoilazne zaštitne ograde [5]

Pravilnikom općim uvjetima za građenje u zaštitnom pružnom pojasu uređuju se opći uvjeti za građenje građevina u zaštitnom pružnom pojasu, na temelju kojih upravitelj infrastrukture određuje posebne uvjete u postupcima izdavanja akata za provedbu dokumenata prostornoga uređenja odnosno odobravanja građenja po posebnom propisu [15].

Pravilnikom o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkoga prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge uređuju se tehnički uvjeti za siguran, uredan, redovit i nesmetan tijek željezničkoga prometa, kao i temeljni funkcionalni uvjeti za željezničke infrastrukturne podsustave, kojima moraju udovoljavati željezničke pruge u Republici Hrvatskoj. Pri projektiranju, građenju, rekonstrukciji, obnovi, održavanju, nadzoru i uporabi željezničkih pruga moraju se primjenjivati uvjeti propisani zakonima i drugim propisima koji reguliraju sigurnost u željezničkom prometu, zaštitu okoliša, prostorno uređenje i gradnju te drugi propisani uvjeti [16].

Na željezničkim prugama smiju se primjenjivati tehničko-tehnološka rješenja koja nisu suprotna uvjetima propisanim pripadajućim zakonima, drugim propisima te odredbama ovoga Pravilnika, i to na propisani način i u skladu s propisanim postupcima [16].

Križanja željezničke pruge s drugim prometnicama i sustavima (instalacijama) moraju biti izvedena na način da budu ispunjeni odgovarajući uvjeti za siguran tijek prometa na željezničkim prugama i drugim prometnicama odnosno za sigurnu uporabu drugih sustava. Pri projektiranju, građenju, rekonstrukciji, obnovi, održavanju i uporabi križanja željezničke pruge s drugim prometnicama i sustavima (instalacijama) moraju se primjenjivati hrvatske norme, priznate strukovne norme, propisi kojima se uređuje zaštita okoliša, prostorno uređenje i gradnja, propisi kojima se uređuju željeznički infrastrukturni podsustavi te propisi kojima se uređuju druge prometnice i sustavi (instalacije) koji se križaju sa željezničkom prugom [16].

Na postojećim željezničkim prugama u uporabi, svi novosagrađeni prijelazi moraju biti osigurani uređajima za osiguravanje prijelaza. Uređaji za osiguravanje prijelaza mogu biti uređaji za davanje znakova kojima se sudionicima u cestovnom i/ili pješačkom prometu najavljuje približavanje vlaka odnosno željezničkoga vozila i/ili uređaji kojima se zatvara cestovni promet po cijeloj širini kolnika (branic) odnosno po širini jedne prometne trake (polubranici) [16].

Tehnički uvjeti kojima moraju udovoljavati uređaji za osiguravanje prijelaza, kao i uvjeti o načinu njihovoga rada, propisuju se posebnim propisima kojima se uređuje prometno-upravljački i signalno-sigurnosni infrastrukturni podsustav [16].

Na željezničko-cestovnom prijelazu preko dva ili više kolosijeka, čija je međusobna udaljenost takva da se između tih kolosijeka ne mogu sigurno smjestiti cestovna vozila najveće dopuštene duljine, cestovni svjetlosni signali i/ili branici odnosno polubranici uređaja za osiguravanje prijelaza moraju biti postavljeni s vanjske strane krajnjih kolosijeka [16].

Električni uređaj za osiguravanje prijelaza koji se uključuje automatski nailaskom vlaka odnosno željezničkoga vozila, ili kojim se upravlja daljinski, mora imati kontrolu ispravnosti. Kontrola ispravnosti uređaja mora biti osigurana uređajem za trajnu daljinsku kontrolu ili kontrolnim signalom na željezničkoj pruži [16].

Na željezničko-cestovnom prijelazu s branicima, ako je dopušteno da su branici redovito u položaju kojim se zatvara cestovni promet, moraju biti postavljeni uređaji pomoću kojih sudionici u cestovnom prometu smiju tražiti otvaranje prijelaza za cestovni promet [16].

2.5. Željezničko-cestovni prijelazi u Republici Hrvatskoj

Željezničko-cestovni prijelaz je mjesto križanja željezničke pruge ili industrijskog kolosijeka i ceste u istoj razini, a može uključivati i križanje pruge s pješačkom stazom ili drugim putovima namijenjenima prelaženju ljudi, životinja, vozila ili strojeva. Nevezano o prometnici s kojom se križa željeznička pruga, željeznički prijelaz uvijek mora biti izveden tako da promet na obje prometnici teče sigurno [9].

HŽ Infrastruktura d.o.o. je društvo s ograničenom odgovornošću u stopostotnome vlasništvu Republike Hrvatske i upravitelj je željezničkom infrastrukturom u Republici Hrvatskoj. Mreža željezničkih pruga duga je 2605 kilometara, od čega 37 % čine elektrificirane pruge, a 10 % dvokolosiječne pruge [9]. Tablica 1. prikazuje vrstu osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza u Hrvatskoj.

Tablica 1. Vrsta osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza u Republici Hrvatskoj [9]

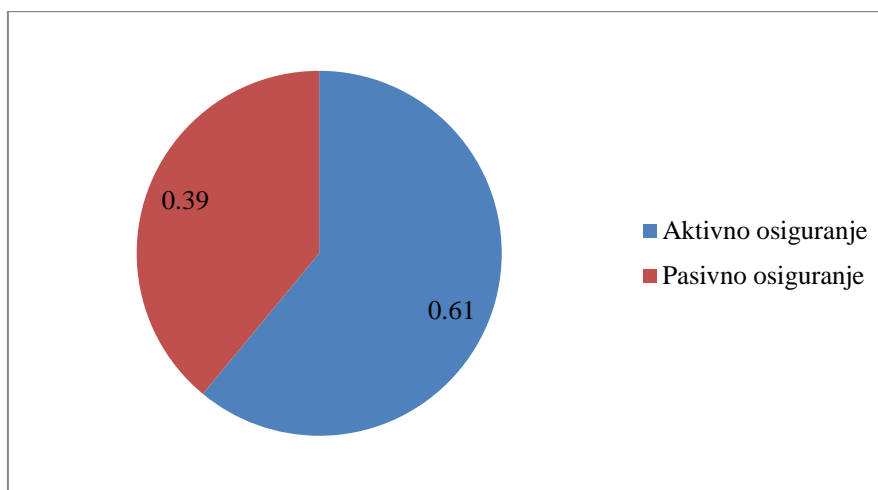
| OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIH PRIJELAZA | | |
|---|---|---|
| AKTIVNO OSIGURANJE | | PASIVNO OSIGURANJE |
| Automatska zaštita | Ručna zaštita | Cestovni prometni znakovi + trokut preglednosti |
| Branici ili polubranici | Branici ili polubranici | |
| Svjetlosno-zvučna signalizacija | Svjetlosno-zvučna signalizacija | |
| Branici ili polubranici + Svjetlosno-zvučna signalizacija | Branici ili polubranici + Svjetlosno-zvučna signalizacija | |

Ukupan broj željezničko-cestovnih prijelaza u Republici Hrvatskoj je 1.512 i svi su osigurani u skladu s zakonskom regulativom Republike Hrvatske. Na pružnoj mreži HŽ Infrastrukture svi prijelazi i obilježeni su primjerenim tehničkim osiguranjem. Sigurnosna razina osiguranja u skladu je s nacionalnim planovima razvoja i održavanja prijelaza te je određena zakonskim propisima u kojima je točno navedeno koja sigurnosna razina mora postojati na pojedinome prijelazu [8]. Tablica 2. prikazuje statističke podatke o broju željezničko-cestovnih prijelaza u Hrvatskoj.

Tablica 2. Broj željezničko-cestovnih (ŽCP) i pješačkih prijelaza u Republici Hrvatskoj [9]

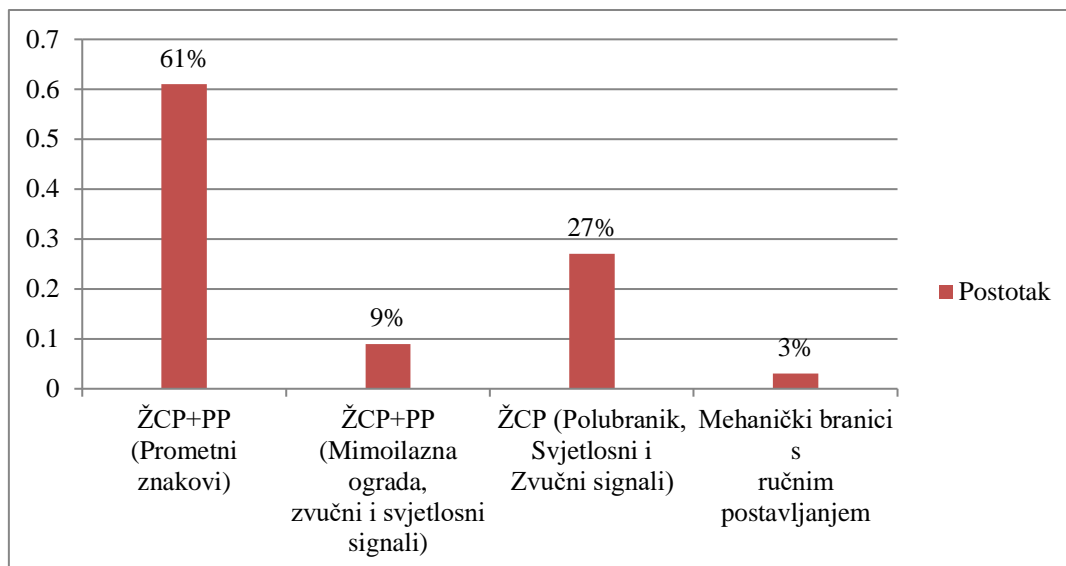
| ŽCP-i Osigurani PZ + trokut preglednosti | Pješački prijelazi osigurani MO+ trokut preglednosti | Pješački Prijelazi osigurani MO+SV+ ZV | ŽCP-i osigurani automatskim i mehaničkim uređajem | | | |
|---|--|--|---|---------------|-------|--------------------|
| | | | Mehanički branici s ručnim postavljanje m | SV+ZV+ POL | SV+ZV | UKUPNO ŽCP + PP |
| | | | | | | |

Na malo više od polovine svih željezničko-cestovnih prijelaza u Europskoj uniji koristi se pasivno osiguranje (51 posto). U odnosu na prosjek EU Hrvatska ima znatno manji postotak pasivno osiguranih prijelaza u odnosu na aktivno osigurane (grafikon 1).



Grafikon 1. Odnos vrsta osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza u Republici Hrvatskoj [9]

Analizirajući vrstu osiguranja prijelaza u grafikonu 2., više od pola prijelaza osigurano je samo prometnim znakovima i to 61 % (s pješačkim prijelazima). Nakon toga najviše ih je osigurano polubranikom te svjetlosnim i zvučnim signalima odnosno 27 %. Treći najzastupljeniji način osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza je mimoilazna zaštitna ograda zajedno s zvučnim i svjetlosnim signalima s 9%. Ostatak od 3% odnosi se na prijelaze koji su osigurani mehaničkim branicima [8].



Grafikon 2. Broj željezničko-cestovnih (ŽCP) i pješačkih (PP) prijelaza izražen u postocima [9]

2.5.1. Analiza prometnih nesreća u Republici Hrvatskoj

Izvješće o sigurnost željezničkog prometa za svaku godinu izdaje HŽ infrastruktura. Kada se uspoređi prosjek za razdoblje od 2013. do 2017. godine i podaci iz 2018. godine dolazi se do zaključka da je broj ukupnih prometnih nesreća smanjen za 21% [9].

U 2018. godini dogodilo se 18 ozbiljnijih nesreća, a odnosu na prosjek iz prethodnog razdoblja to je povećanje od 17%. Najveći broj nesreća događa se zbog nepažnje sudionika u prometu odnosno zbog naleta željezničkog vozila na osobu ili automobil. Ukupan broj nesreća je 55 što je smanjenje za 28% ako se podaci usporede s prethodnim godinama. Najveći broj nesreća dogodio se na željezničko-cestovnim prijelazima odnosno njih 30 (pet na željezničko-cestovnim prijelazima osiguranima signalno-sigurnosnim uređajima, 24 na osiguranima cestovnim prometnim znakovima i jedna na pješačkom prijelazu) [9].

Tablica 3. prikazuje ukupan broj prometnih nesreća za razdoblje od 2013. do 2018 godine. Iz tablice je vidljiv pad broj prometnih nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima koji su osigurani signalno-sigurnosnim uređajima dok se broj prometnih nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima osiguranim samo prometnim znakovima povećao u odnosu na prethodnih pet godina. Usporedbom je jasno da su prijelazi koji su aktivno osigurani znatno sigurniji zbog čega HŽ infrastruktura ulaže sve više kapitala u njihovu izgradnju [9].

Tablica 3. Ukupan broj prometnih nesreća na željezničko-cestovnih prijelazima (2013.-2018.) [9]

| NESREĆE | | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|----------------------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ŽCP | Osiguran signalno – sigurnosni uređajima | 11 | 11 | 9 | 8 | 9 | 5 |
| | Osiguran prometnim znakovima | 18 | 22 | 14 | 17 | 22 | 24 |
| | Pješački prijelaz | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Ukupan broj nesreća | | 29 | 33 | 24 | 25 | 31 | 30 |

U 2018. (tablica 4.) dogodilo se sedam ozbiljnih nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima i to pet na prijelazima osiguranim signalno-sigurnosnim uređajem i dvije na prijelazima osiguranim prometnim znakovima. Broj ozbiljnih nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima povećan je u odnosu na petogodišnji prosjek za 34% [9].

Tablica 4. Broj ozbiljnih prometnih nesreća na željezničko-cestovnim i pješačkim prijelazima (2013.-2018.) [9]

| OZBILJNE NESREĆE | | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|----------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ŽCP | Osiguran signalno – sigurnosni uređajima | 5 | 1 | 4 | 0 | 5 | 5 |
| | Osiguran prometnim znakovima | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| | Pješački prijelaz | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ukupan broj nesreća | | 8 | 4 | 6 | 2 | 6 | 7 |

Ukupan broj smrtno stradalih osoba povećan je u odnosu na petogodišnji prosjek 16%, odnosno smrtno je stradalo 20 osoba, i to njih osam na željezničko-cestovnim prijelazima, 10 osoba podletjelo je pod vlak jer su se kretale odnosno prelazile prugu na mjestima koja nisu predviđena za to, a dvije osobe usmrćene su prilikom nedopuštenog penjanja na vagon ulaskom u zonu opasnosti kontaktne mreže (strujni udar). U odnosu na petogodišnji prosjek smanjen je broj teže ozlijeđenih osoba za 65% (sedam teško ozlijeđenih osoba prikazano u tablici 4) [9].

Tablica 5. prikazuje statističke podatke o ukupnom broju stradalih na željezničko-cestovnim prijelazima.

Tablica 5. Broj smrtno stradalih na željezničko-cestovnim prijelazima (2013.-2018.) [9]

| SMRTNO STRADALI | | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|--------------------------------|--|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| ŽCP | Osiguran signalno – sigurnosni uređajima | 6 | 1 | 6 | 0 | 6 | 6 |
| | Osiguran prometnim znakovima | 5 | 5 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| | Pješački prijelaz | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ukupno smrtno stradalih | | 11 | 7 | 8 | 2 | 7 | 8 |

U 2018. u željezničkim nesrećama na željezničko-cestovnim prijelazima teže je ozlijeđeno pet osoba, i to tri vozača cestovnog vozila i dva suvozača. Prema podacima iz tablice 5. vidi se manji broj teže ozlijeđenih u 2018. godini u odnosu na prethodnih pet godina na prijelazima koji su osigurani signalno-sigurnosnim uređajima. Broj teže ozlijeđenih na prijelazima koji su osigurani samo prometnim znakovima nije se bitno mijenjao [9]. Tablica 6. prikazuje statističke podatke o broju teže ozlijeđenih osoba na željezničko-cestovnim prijelazima.

Tablica 6. Broj teže ozlijeđeni na željezničko-cestovnim prijelazima (2013.-2018.) [9]

| TEŽE OZLIJEĐENI | | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|--------------------------------|--|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| ŽCP | Osiguran signalno – sigurnosni uređajima | 7 | 0 | 7 | 2 | 2 | 1 |
| | Osiguran prometnim znakovima | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| | Pješački prijelaz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ukupno teže ozlijeđenih | | 12 | 5 | 11 | 5 | 5 | 5 |

Prema podacima iz tablice 7. 2018. zabilježeno je 10 naleta vlaka ili željezničkih vozila na osobe koje su prelazile preko pruge ili su se kretale uz nju na mjestima na kojima to nije dozvoljeno. U tim je naletima 9 osoba poginulo, a jedna je teško ozlijeđena [9].

Tablica 7. Stradanje neovlaštenih osoba izvan željezničko-cestovnog prijelaza i pješačkog prijelaza [9]

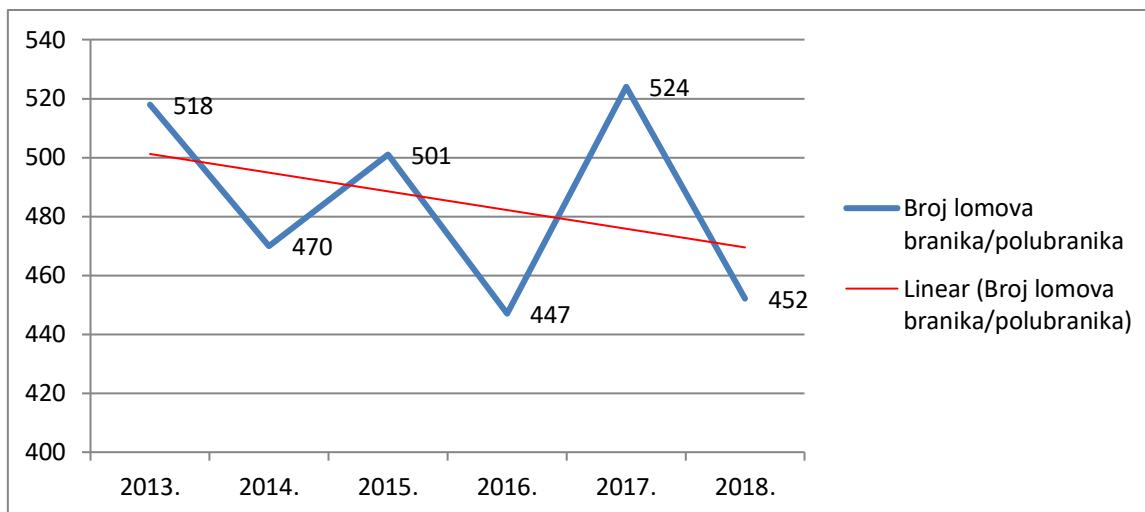
| VRSTA IZVANREDNOG DOGAĐAJA | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ozbiljna nesreća | 7 | 11 | 7 | 9 | 13 | 9 |
| Nesreća | 7 | 9 | 12 | 8 | 7 | 1 |
| Ukupni broj nesreća | 14 | 20 | 19 | 17 | 20 | 10 |

Tablica 8. prikazuje podatke o prometnim nesrećama s ozbiljnim i manjim posljedicama koje su nastale kao posljedica neodgovornog ponašanja neovlaštenih osoba koje su prelazile prugu ili su se kretale uz nju na mjestima gdje je to zabranjeno. Posljedice takvog ponašanja dovele su do smrti i teških ozljeda sudionika u prometu, zastoja u prometu vlakova te materijalne štete [9]

Tablica 8. Posljedice neodgovornog ponašanja kod prijelaza željezničke pruge [9]

| POSLJEDICE | 2013. | 2014. | 2015. | 2016. | 2017. | 2018. |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Smrtno stradali | 7 | 12 | 7 | 9 | 13 | 9 |
| Teže ozlijeđeni | 7 | 9 | 9 | 6 | 5 | 1 |
| Prekid prometa(h) | 23 | 21 | 19 | 33 | 25 | 19 |
| Zakašnjenje vlakova (min) | 3252 | 2452 | 2366 | 8054 | 8061 | 2457 |
| Otkazano vlakova | 4 | 6 | 7 | 8 | 3 | 3 |

Prema podacima iz grafikona 3. u 2018. zabilježena su 452 loma polubranika ili branika na željezničko-cestovnim prijelazima. Budući da su polubranici ili branici na željezničko-cestovnim prijelazima u većini slučajeva polomljeni neposredno prije prolaska vlaka radi kojeg su bili spuštani, svaki lom polubranika ili branika mogao je dovesti do nesreće. Materijalna šteta počinjena HŽ Infrastrukturi uslijed lomova polubranika u 2018. procijenjena je na 0,5 milijuna kuna [9].



Grafikon 3. Broj lomova branika/polubranika na željezničko-cestovnim prijelazima (2013.-2018.) [9]

2.5.2. Prevencija nesreća na željezničko-cestovnim prijelazima u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj problematika sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima do sada se obrađivala u individualnim istraživanjima stručnjaka čiji su rezultati prikazani u znanstvenim i stručnim radovima. Preventivno-edukativne akcije na terenu provode se zadnjih dvadesetak godina u okviru programa „Vlak je uvijek brži“ HŽ Infrastrukture [17]

Sustavna znanstvena istraživanja započela su na *Fakultetu prometnih znanosti* u okviru sveučilišnoga znanstvenoga projekta *Istraživanje mjera povećanja sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima*. Kako su prethodni načini i dinamika rješavanja problema sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima većinom imali težište na poboljšanju tehničkih i tehnoloških parametara, a tek se manji značaj davao ljudskom čimbeniku, cilj se istraživanja u okviru navedenoga projekta ogledao u istraživanju učinkovitih mjera koje prvotno uključuju ljudski čimbenik korisnika prijelaza u svrhu poboljšanja postojećega stanja i postizanja veće sigurnosti cestovnoga i željezničkoga prometa na željezničko-cestovnim prijelazima [17].

Od 2016. do 2018. godine u Republici Hrvatskoj provodio se projekt *Implementacija mjera za povećanje sigurnosti najranjivijih sudionika u prometu na željezničko-cestovnim prijelazima* u okviru *Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011.–2020. godine* Ministarstva unutarnjih poslova Republike Hrvatske. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu nositelj je ovog projekta, a HŽ Infrastruktura s preventivno-edukativnom akcijom „Vlak je uvijek brži“ partner na projektu [18].

Cilj projekta bio je doprinijeti smanjenju rizičnog ponašanja najranjivijih sudionika u prometu i broja stradalih odnosno povećanju njihove svijesti o posljedicama rizičnog ponašanja na željezničko-cestovnim prijelazima. Skupini najranjivijih sudionika u prometu pripadaju djeca, pješaci, biciklisti, motociklisti, starije osobe i osobe s invaliditetom. Ovim zajedničkim projektom Fakultet prometnih znanosti i HŽ Infrastruktura doprinijeli su povećanju svijesti najranjivijih sudionika u prometu o posljedicama rizičnog ponašanja na željezničko-cestovnim prijelazima koje bi trebalo doprinijeti povećanju sigurnosti i smanjenju rizičnog ponašanja te u konačnici smanjenju broja stradalih na željezničko-cestovnim prijelazima [19].

U svibnju 2019. HŽ Infrastruktura i Končar–Inženjering za energetiku i transport potpisali su ugovor kojim će se nabaviti i ugraditi oprema za osiguranje 49 željezničko-cestovnih prijelaza i jednog pješačkog prijelaza preko pruge. Vrijednost radova iznosi 72,9 milijuna kuna + PDV, a radovi i nabava opreme financiraju se u sklopu projekta Svjetske banke “Održive hrvatske željeznice u Europi”. U 2020. godini u planu je puštanje u promet 20 moderniziranih prijelaza [9].

Rješavanje problema sigurnosti željezničko-cestovnim prijelazima i pješačkim prijelazima utvrđeno je Strategijom prometnog razvoja Republike Hrvatske 2017.-2030. kao jedna od mjera povećanja sigurnosti željezničkog i cestovnog prometa. Program se sastoji od mjera za rješavanje problema sigurnost na željezničko-cestovnim i pješačkim prijelazima za razdoblje od 2018. do 2022. godine. Programom su obuhvaćeni prijelazi koji su u postupku rješavanja, zatim prijelazi koji su u obuhvatu projektnih prijava kojima su osigurana sredstva kao i oni koji nisu u obuhvatu postojećih investicijskih programa, a nužno ih je osigurati [9].

Svrha je Programa povećanje razine osiguranosti željezničko-cestovnih i pješačkih prijelaza u cilju povećanja razine sigurnosti željezničkog i cestovnog prometa.

Ciljevi ovog Programa su:

- dati pregled postojećih prijelaza na željezničkim prugama
- utvrditi listu prioriteta rješavanja željezničko-cestovnih prijelaza i pješačkih prijelaza koji se ne smatraju konačno riješenim s vremenskim planom rješavanja,
- odrediti načine rješavanja svakog pojedinog željezničko-cestovnog i pješačkog prijelaza primjenjujući predviđene zakonske načine rješavanja; denivelacija, ukidanje sa ili bez

svođenja, osiguravanje uređajem, nadopuna ili promjena postojećeg načina osiguranja uređajem,

- utvrditi dodatne mjere unapređenja sigurnosti željezničko-cestovnih i pješačkih prijelaza [9]

Kriteriji za određivanje prioriteta pri osiguravanju željezničko-cestovnih prijelaza uređajem propisani su u Zakonu o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava kao i u Pravilniku o načinu osiguravanja prometa na željezničko-cestovnim prijelazima i pješačkim prijelazima preko pruge [9].

3. NOVA TEHNIČKA RJEŠENJA ZA DOPUNU OSIGURANJU ŽELJEZNIČKO-CESTOVNIH PRIJELAZA

Sigurnost željezničko-cestovnih prijelaza može se unaprijediti na razne načine kroz primjeru postojećih i inovativnih rješenja. Poboljšanja u sigurnosti mogu se odnositi kako na pasivne tako i na aktivno osigurane željezničko-cestovne prijelaze.

Neke od mjera za unaprjeđenje sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima su:

1. Mjere u čijem je središtu čovjek
2. Niskobudjetne mjere
3. Nove ili inovativne mjere
4. Samo objašnjavajuće mjere
5. Mjere koje “praštaju” ljudske pogreške [20]

Mjere u čijem je središtu čovjek su mjere čiji se efekt postiže tako da se utječe na ponašanje korisnik ceste na željezničko-cestovnim prijelazima, posebno pojačavanjem adaptivnog ponašanja. Mjera bi se mogla odnositi i na zaposlenike u željezničkom sustava (vozači vlakova, signalisti, radnici na prugama itd.) [20].

Niskobudjetne mjere su mjere koje su financijski jeftinije od klasične nadogradnje (opremanje prethodno pasivnih željezničko-cestovnih prijelaza s polubranicima, postavljanje branika na željezničko-cestovnom prijelazu koje je prethodno bilo opremljeno s polubranikom) kada se primjenjuje na velikom broju željezničko-cestovnih prijelaza [20].

Nove ili inovativne mjere su mjere koje se još ne koriste u zaštiti željezničko-cestovnih prijelaza u europskim zemljama. Radi se o mjerama koje su u eksperimentalnoj ili planskoj fazi [20].

Samo objašnjavajuće mjere odnose se na jasan i prikladan dizajn primijenjenih mjera sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima koje podržavaju odgovarajuću svijest sudionika u prometu o situaciji na željezničko-cestovnom prijelazu, što znači da podržava:

- otkrivanje i percepcija situacije
- razumijevanje značenja znakova koji se postavljaju u sklopu mjere
- mogućnost projiciranja trenutnog stanja prometne situacije na željezničko-cestovnim prijelazima [20]

Mjere koje “opraštaju” ljudske pogreške uključuju odgovarajuće mjere za suzbijanje lošeg ponašanja korisnika ceste (pogreške, kršenja ili ignoriranje prometnih pravila), a svrha mjere je ispraviti pogrešku napravljenu od strane čovjek i/ili ublažiti njene posljedice [20].

3.1. Tehnička rješenja za pasivno osigurane željezničko cestovne prijelaze

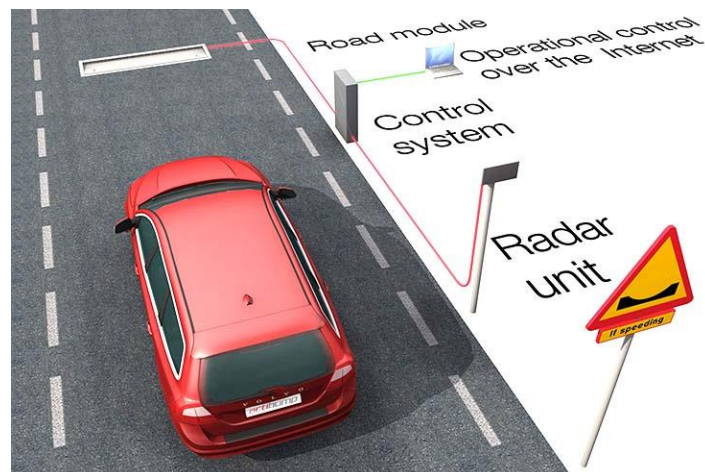
Uspornici koji se aktiviraju pomoću senzora aktiviraju se samo ako je brzina približavajućeg vozila veća od dopuštene u blizini željezničko-cestovnog prijelaza. Tijekom aktivacije, otvor (integriran u cestu) spušta površinu kolnika za nekoliko centimetara, stvarajući uspornik. Sustav je testiran 2018. godine u Švedskoj [20]. Tehničko rješenje nalazi se na slici 14.

Prednosti željezničko-cestovnog prijelaza s uspornicima koji se aktiviraju detekcijom senzora:

- Smanjuje brzinu prilazećeg vozila
- Smanjuje mogućnost ljudske pogreške [20]

Nedostaci željezničko-cestovnog prijelaza s uspornicima koji se podižu pomoću senzora:

- Otežana implementacija u područjima s čestim padalinama (snijeg)
- Češća potreba za održavanjem od konvencionalnih uspornika
- Potencijalno opasni za bicikliste i motoriste (zbog gubitka ravnoteže vozila) [20]

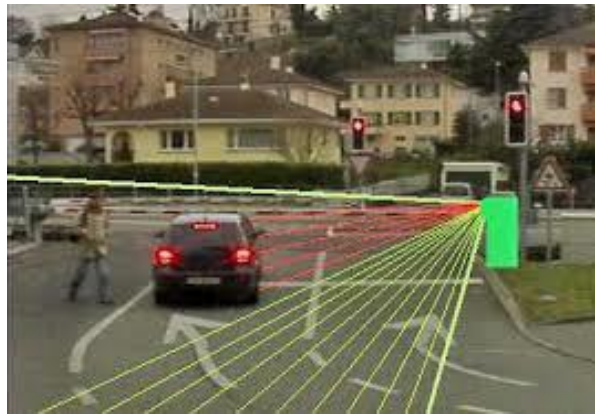


Slika 14. Uspornici koji se aktiviraju putem senzora [21]

Lasersko osvjetljenje željezničko-cestovnog prijelaza (slika 15.) još jedna je od tehničkih rješenja za povećanje sigurnosti na pasivnim željezničko-cestovnim prijelazima, a radi na principu solarnog pogona kako bi se povećala njegova vidljivost (radi i kada se stavi na sloj snijega). Za rad je potrebno malo snage te može koristiti i bateriju. Može proizvoditi uzorak poput laserske svjetlosne emisije i aktivira se kada prepozna dolazeći vlak ili automobil. Ovo tehničko rješenje poboljšava detekciju željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Potencijalni nedostaci laserskog osvjetljenja željezničko-cestovnog prijelaza:

- Na efektivnost utječu razni vremenski uvjeti i vanjsko osvjetljenje
- Vozači moraju biti obavješteni o postavljenoj mjeri kako bi shvatili njezino značenje
- Kompleksnost u upravljanju i podešavanju [20]



Slika 15. Lasersko osvjetljenje željezničko-cestovnog prijelaza [22]

Proces prepoznavanja željezničko-cestovnih prijelaza od strane cestovnog vozila koje se približava željezničko-cestovnom prijelazu koristi za otkrivanje prijelaza kamere i procesor slika. Upozorenje da se približava željezničko-cestovnom prijelazu vozač dobiva putem head-up zaslona. Ova mjera također se može koristiti za otkrivanje prilazećeg vlaka pod uvjetom da vozač odnosno vozilo ima dovoljnu preglednost. Potencijalno može unaprijediti detekciju vlaka i željezničko-cestovnih prijelaza [20].

Nedostaci ovog tehničkog rješenja su sljedeći:

- Mjera se odnosi samo na vozila koja imaju potrebnu opremu
- Smanjenje pozornost vozača na događaje na cesti
- Rizik od prekomjerne pouzdanosti u ovaj izvor informacija [20]

Važno je obavijestiti vozače automobila da ova mjera nije u potpunosti sigurna (mogu postojati željezničko-cestovni prijelazi i/ili željeznička vozila koja nisu registrirana od strane sustava ili kamere vozila, a potencijalno se može dogoditi da proces slika nije ispravan. Korisnici ceste trebali bi biti svjesni funkcioniranja mjere (pružajući informacije vozačima o instalaciji ove mjere ili upute o korištenju ovog programa na svom head-up zaslonu u vozilu, objave u medijima za poticanje svijesti javnosti i razumijevanja ove mjere) [20].

Trepćuća svjetla koja privlače vozačevu pozornost rade na principu detekcije automobila putem senzora koji se nalazi na cesti, a nakon detekcije automobila dva svjetla koja se nalaze na periferiji željezničko-cestovnog prijelaza počnu treptati. Izvor svjetlosti pojavljuje se u periferiji vidnog polja vozača. Vidljiva treptajuća svjetla pokreću automatsku i jednostavnu vizualnu orijentaciju vozača prema perifernom području željezničko-cestovnog prijelaza koje zahtjeva vizualno skeniranje kako bi detektiralo vlak. Ova mjera poboljšava detekciju dolazećeg vlaka. Emisija svjetlosti može uznemiriti stanovnike tijekom noći. Oprema za sjenčanje može se dodati kako bi se izbjegao ovaj problem [20].

Za maksimalni efekt preporučuje se koristiti treptajuća svjetla na sljedeći način:

- Potrebno je prilagoditi položaj treptajućih svjetla na odgovarajućem željezničko-cestovni prijelaz za optimalnu vidljivost iz vozila različitih visina i različite prednje strukture vozila.
- Maksimalna korisnost na željezničko-cestovnim prijelazima koja se nalaze pod kutom oko 90° u odnosu na cestu.
- Za prijenos poruka potrebno je primijeniti svijetle boje koje se ne koriste u drugim prometnim područjima (optimalno bijela, dok se preporuča izbjegavanja crvene, zelene i žute boje zbog problema s licenciranjem).
- Ovisno o mjestu, sustav može biti solarno napajan. U tamnim područjima napajanje se mora osigurati na drugi način.
- S odgovarajućim senzorom za otkrivanje, mjera će također biti korisna za pješake i bicikliste. [20]

Svijetla koja naglašavaju stop liniju rade na principu integriranje niza obojenih svjetala u površinu ceste, okomito na smjer prilaska kako je prikazano na slici 16. Svjetla se aktiviraju kod prilaska željezničkog (u slučaju aktivno osiguranog željezničko-cestovnog prijelaza zaštićenog signalnim svjetlima upozorenja) ili cestovnog vozilo (u slučaju pasivnog željezničko-cestovnog prijelaza). Cilj svjetla je stvaranje "vizualne barijere", povećavajući tako

pažnju sudionika u prometu kako bi se zaustavio ispred željezničko-cestovnog prijelaza. Kao i ostala tehnička rješenja povećava detekciju željezničko vozila i kontrolira mogućnost prelaska željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Potencijalno negativne strane ovog tehničkog rješenja su:

- Smanjenje spremnosti vozača na zaustavljanje na konvencionalno osiguranim željezničko-cestovnim prijelazima zbog promjene u navikama
- Učinkovitost može varirati u različitim vremenskim i svjetlosnim uvjetima (smanjena vidljivost, posebice u lošim vremenskim uvjetima) [20]



Slika 16. Svijetla koja naglašavaju stop liniju [23]

Uspornici na prilazu željezničko-cestovnim prijelazima (slika 17.) postavljaju se u zoni prilaza željezničko-cestovnih prijelaza da bi se smanjila naletna brzina vozila, čime se maksimizira vrijeme dostupno vozaču za obradu informacija kako bi donio (ispravnu) odluku [20].

Potencijalno negativne posljedice uspornika mogu biti:

- Pojačano zagađenje bukom, posebno u neopterećenim kamionima i traktorima (bez tereta)
- Kod nekih vozača uspornici izazivaju neugodan osjećaj
- Zbog potencijalno slabog prihvaćanja ove mjere za smirenje od strane korisnika ceste, njihova pažnja možda nije usmjerena na sigurnosne oznake ili sigurne akcije, nego prema osjećaju frustracije ili o tome kako izbjeći neravnine na cesti [20]

Preporuke za implementaciju uspornika su:

- Prije opće implementacije preporučljivo je provesti probne vožnje preko uspornika
- Izgled uspornika mora spriječiti mogućnost obilaska automobilom (preporuča se postaviti uspornik duž cijele širine ceste)
- Uspornik je potrebno postaviti na odgovarajućoj udaljenosti od željezničko-cestovnog prijelaza, a potrebno je odabrati visinu uspornika koja odgovara ciljanoj dopuštenoj brzini prije željezničko-cestovnog prijelaza
- U slučaju postavljanja na makadamskoj cesti uspornik zahtijeva poseban način održavanja [20]



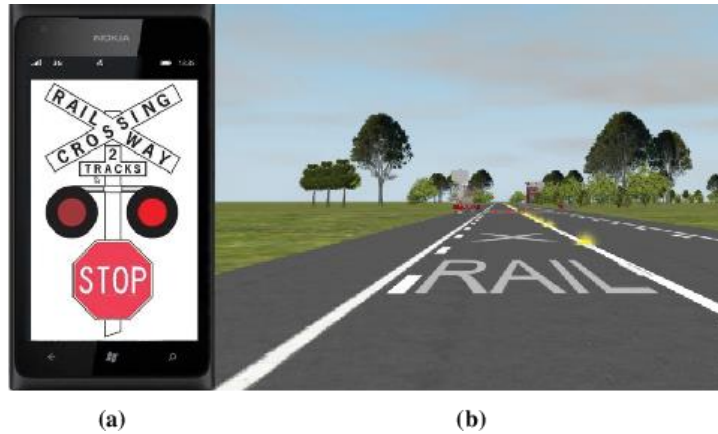
Slika 17. Uspornik na prilazu željezničko-cestovnom prijelazu [24]

Trepćući markeri na cesti aktiviraju se prilaskom vlaka (slično kao piste na zračnim lukama), a cilj je poboljšati ponašanje vozača na željezničko-cestovnom prijelazu naznačivanjem mjesta na kojem se očekuje da će vozači zaustaviti svoje vozilo. Na pasivnim željezničko-cestovnim prijelazima svjetla mogu biti aktivirana 20 sekundi prije dolaska vlaka. Povećava svijest o ispravnom ponašanju i opasnostima željezničko-cestovnih prijelaza te daje točne informacije o njegovom stanju. Kako bi ovo tehničko rješenje pravilno funkcioniralo potrebno je informirati vozače da nije u potpunosti ne pogrešivo, a posebno treba obratiti pozornost na održavanje sustava [20]. Tehničko rješenje nalazi se na slici 18.

Potencijalno negativne strane trepćućih markera na cesti:

- Preveliko oslanjanje vozača na ovo tehničko rješenje (posebice ako radi nepravilno)
- Učinak svjetla može se smanjiti materijalom koji pokriva cestu (snijeg, lišće, prljavština)

- Učinkovitost može varirati u različitim vremenskim i svjetlosnim uvjetima (ako se korisnik navikao voditi svoje postupke na temelju ovih vizualnih informacija, to može imati sigurnosne posljedice u slučaju ograničenja vidljivost ili kvar na svjetlima) [20]

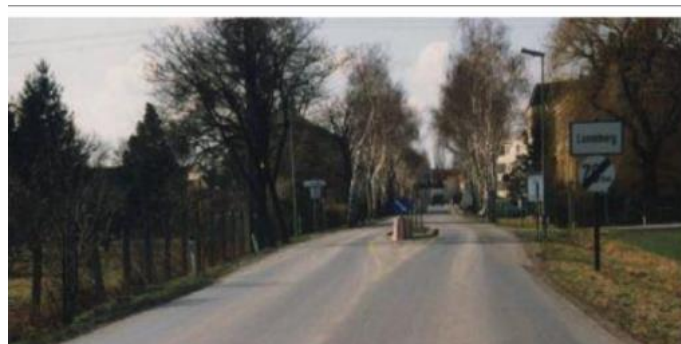


Slika 18. Trepćući markeri na cesti [25]

Savijanje puta ceste (slika 19.) kod pristupa željezničko-cestovnom prijelazu ima za efekt smanjenja brzine i pojačanje pažnje kod sudionika u promet. Smanjenjem brzine dolazi do lakšeg uočavanja željezničko-cestovnog prijelaza. Ovo rješenje je potrebno koristiti kada to dopušta samo pružanje ceste i sam okoliš te je potrebna implementacija na odgovarajućoj udaljenosti kako bi se osigurala vidljivost željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Negativne strane savijanja puta ceste:

- Odvraća pozornost vozača od željezničko-cestovnog prijelaza
- Neki vozači će ubrzati nakon prolaska dijela ceste koji je zakrivljen [20]



Slika 19. Savijanje puta ceste [20]

Uređaj za upozoravanje sudionika u prometu, prikazan na slici 20., na željezničko-cestovnim prijelazima upozorava korisnike cesta na opasnosti na prijelazima i na nadolazeće vlakove ili željeznička vozila sa žutim treptajućim LED svjetlima. Cilj uređaja je poboljšati sigurnost svih sudionika u prometu koji koriste željezničko-cestovne prijelaze poboljšavajući vidljivost istog [20].

Uređaj se sastoji od dva dijela:

1. Odašiljač ugrađen u vlak i ostala željeznička vozila
2. Uređaj za upozoravanje sudionika u prometu (upozorava vozača) koji se nalazi u blizini željezničko-cestovnog prijelaza [20]

Odašiljač ugrađen u vlak ili drugo željezničko vozilo šalje podatke o lokaciji na temelju GNSS-a do uređaja za upozoravaju sudionika u prometu koju putem žutog treptajućeg svjetla upozorava sudionike kada se vlak ili drugo željezničko vozilo nalazi u blizini željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Potencijalno negativne strane uređaja za upozoravanje sudionika u prometu:

- Uređaj za upozoravanje sudionika u prometu nije u potpunosti siguran (ako postoji željezničko vozilo bez odašiljača, ako nema upozorenja za vozače da uređaj privremeno ne radi)
- Važno je da se korisnici ceste obavijeste da ova mjera nije u potpunosti sigurna te pozvati na pažnju kod prilaska željezničko-cestovnim prijelazima
- Potrebno je informiranje sudionika u prometu o postavljenom uređaju
- Efektivnost može varirati u različitim vremenskim uvjetima [20]

Preporuke za korištenje uređaje za upozorenje sudionika u prometu:

- ✓ Procjenjuje se da je uređaj za upozorenja deset puta jeftinije od konvencionalnog polubranika, uređaj pogoni solarna energija i pogodan je za željezničko-cestovne prijelaze s malom zapreminom cestovnih vozila
- ✓ Ovo rješenje je prikladno uglavnom za željezničko-cestovne prijelaze s malim protokom vozila i bez blizine električnog voda
- ✓ Mjera se može kombinirati s zvučnim uređajem [20]



Slika 20. Uređaj koji upozorava vozača da prilazi željezničko-cestovnom prijelazu [23]

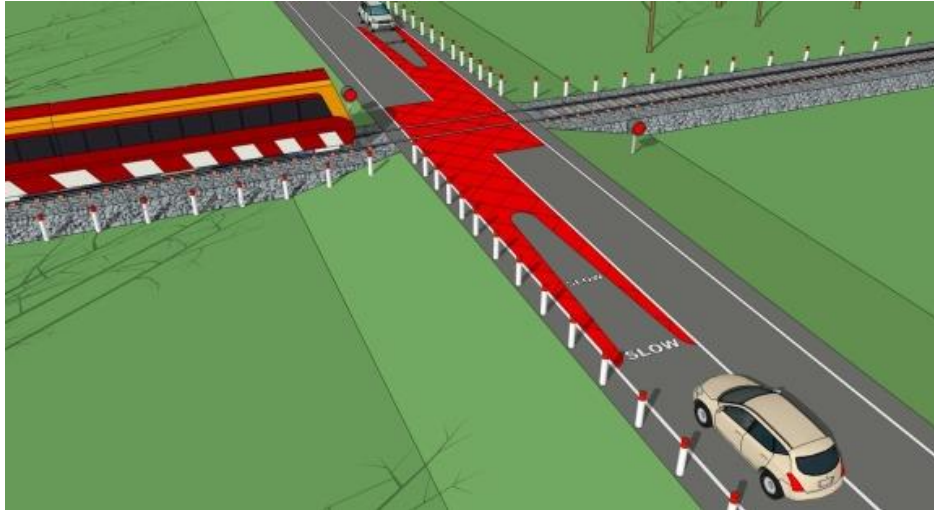
Obojene oznake za označavanje opasne zone je mjera dizajnirana za podršku donošenja odluke korisnika (gdje obratiti pozornost na dolazeći vlak) na pasivnim željezničko-cestovnim prijelazima. On pruža informacije putnicima o tome gdje im prijeti opasnost od udara vlakova, a gdje ih nema. To omogućuje pojedincima da sami odluče gdje će provjeriti ima li nadolazećih vlakova u skladu s vlastitim pojedinačnim razlikama u prikupljanju i obradi informacija. Ova mjera se može kombinirati s odgovarajućim natpisima. Povećava svijest o ispravnom ponašanju, opasnostima željezničko-cestovnog prijelaza, a omogućava sigurniji prijelaz željezničko-cestovnog prijelaza ranjivim sudionicima u prometu (stariji, osobe s invaliditetom, djeca) [20]. Prikaz rješenja nalazi se na slici 21.

Potencijalno negativne strane obojenih oznaka za označavanje opasne zone:

- Potencijalno preopterećenje vozača s raznim informacijama ako se koriste u kombinaciji s puno znakova
- Potrebno je paziti na površinski materijal oznake kako ne bi bio opasan za motocikliste ili bicikliste u mokrim uvjetima
- Efektivnost je ograničena u snježnim uvjetima [20]

Preporuke za korištenje obojenih oznaka za označavanje opasnih mjesta:

- ✓ Sudionici u prometu trebali bi imati na umu da još uvijek moraju biti pažljivi kod prelaska željezničko-cestovnog prijelaza (kombinacijom mjere i dodatnih znakova)
- ✓ Potrebno je organizirati redovno održavanje kako bi se zadržala učinkovitost mjera [20]



Slika 21. Obojene oznake za označavanje opasne zone [26]

3.2. Tehnička rješenja za aktivno osigurane željezničko-cestovne prijelaze

Prilagodavanje vremena zatvaranja željezničko-cestovnog prijelaza stvarnoj brzini kretanja vlak unaprjeđuju se postojeći sustavi koji su prethodno funkcionirali na bazi izračuna sigurnosne udaljenost od željezničko-cestovnog prijelaza za najbrži vlak što je uzrokovalo da sporiji vlakovi uzrokuju duže vrijeme čekanja na prijelazu. Prilagodavanje vremena zatvaranja željezničko-cestovnog prijelaza stvarnim brzinama kretanja vlaka (neovisno o tome koji je najbrži) smanjuje se vrijeme čekanja na željezničko-cestovnim prijelazima. Negativna strana ove mjere je da moraju postojati pouzdane informacije o brzini kretanja vlaka. Korisnici bi trebali biti obaviješteni o ovoj promjeni i vremenu zatvaranja željezničko-cestovnog prijelaza, tako da znaju da je predviđeno vrijeme čekanja apsolutno nužno [20].

Nadzor željezničko-cestovnog prijelaza pomoću kamera na prijelazu s polubranicama i svjetlosnom zaštitom s ciljem kažnjavanja sudionika u prometu koji se ne pridržavaju prometnih propisa čime se potiče vozače na pažnju prilikom prolaska kroz željezničko-cestovni prijelaz. Direktno utječe na odluku vozača i njegovu pozornost prilikom prolaska željezničko-cestovnim prijelazom [20]. Prikaz tehničkog rješenja nalazi se na slici 22.

Potencijalno negativne strane ovog tehničkog rješenja:

- Sudionici u prometu mogu protestirati protiv ove mjere (žalbe se mogu uložiti što dovodi do skupih pravnih postupaka)
- Potencijalni vandalizam protiv mjere
- Nije izvedivo za pješake i bicikliste
- Poteškoće u primjeni za motocikliste (registarske pločice samo na stražnjoj strani)

- Kapaciteti potrebni za administrativni rad (zaposlenike) povezan s žalbama sudionika u prometu [20]

Preporuke za korištenje kamera za nadzor:

- ✓ Ispitivanje i razmatranje pravnih osnova u zemlji u kojoj će se mjera provoditi
- ✓ Brzi odgovor na kršenja propisa čime se povećava vjerojatnost da će sudionici u prometu biti procesuirani povećava efektivnost ove mjere [20]



Slika 22. Kamera za nadzor željezničko-cestovnog prijelaza [27]

Dodatne informacije „dva vlaka“ (slika 23.) ugradnjom dodatnog zaslona radi informiranja korisnika ceste da će proći dva vlaka kroz željezničko-cestovni prijelaz. Cilj ove mjere je spriječiti da sudionici u prometu prerano krenu preko željezničko-cestovnog prijelaza odnosno prije nego se ugasi crveno svjetlo. Mjera pruža ažurne informacije o stanju željezničko-cestovnog prijelaza i poboljšava otkrivanje vlaka. Vidljivost se može smanjiti u određenim uvjetima osvjetljenja, a to se može ublažiti korištenjem opreme za zasjenjenje ili dinamičko podešavanje svjetline [20].

Preporuke za korištenje ove tehničke mjere:

- ✓ Vremenski interval između dva vlaka ne smije biti predug
- ✓ Korisnici bi trebali biti obaviješteni o promjeni mjere i o značenju informacije prikazane na uređaju tako da je ne zanemaruju (informiranjem putem medija, dodatnim natpisima uz cestu) [20]



Slika 23. Dodatne informacije "dva vlaka" [28]

Dodatna zaštitna zona ispred željezničko-cestovnog prijelaza između pruge i barijere omogućuju vozaču da prođe kroz prijelaz ili da se vrati na sigurno područje ako napravi pogrešku i ostane zarobljen između barijere (barijere su udaljenije od željezničko-cestovnog prijelaza). Zaštitna zona mora biti jasno naznačena [20].

Potencijalno negativne strane stvaranja dodatne zaštitne zone:

- Korisnik ponekad nije siguran gdje se zaštitna zona točno nalazi
- Potrebno je ponovno izračunati i kalibrirati vrijeme zatvaranja barijere kada se premjeste [20]

Zvučno upozorenje na željezničko-cestovnom prijelazu upućuje na to da vlak prilazi željezničko-cestovnom prijelazu. Zvučno upozorenje je proizvedeno samo kada se približava vlak. Mjera bi mogla biti učinkovita i na pasivnom željezničko-cestovnom prijelazu u slučaju da se prethodno instalira dodatna oprema za detekciju vlaka. Poboljšava detekciju vlaka i pruža ažurne informacije o stanju željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Potencijalno negativna strana zvučnog upozorenja:

- Uznemiravanje buke u obližnjim mjestima, posebno ako se željezničko-cestovni prijelaz nalazi u blizini stambenog prostora, bolnice, škole itd.
- Zvuk možda neće doprijeti do svih sudionika u prometu (onih u automobilima sa glasnom glazbom, pješaci s slušalicama, osobe s oštećenjem sluha itd.) [20]

Preporuke za korištenje zvučnog upozorenja:

- ✓ Na željezničko-cestovnim prijelazima s branikom ili polubranikom zvučni signali upozorenja mogu se povezati s signalom zatvaranja. Dodatna opcija je primijeniti uređaj za detekciju vozila uz cestu tako da se zvučni signal uključi samo kada je vozilo prisutno na željezničko-cestovnom prijelazu
Da bi bio učinkovit za korisnike motornih vozila zvučni signal mora biti dovoljno intenzivan da bi se čuo u zatvorenoj kabini [20]

Fizičko odvajanje traka ispred željezničko-cestovnog prijelaza s polubranicima podrazumijeva ugradnju elemenata (razdjelne stupove, šipke, prometni otoci prikazani na slici 24.) čime se na fizički način odvajaju trake neposredno ispred polubranika kako bi se spriječilo da sudionici u prometu voze oko zatvorenih ili zatvarajućih polubranika. Mogući problem u održavanju posebice u zimskim uvjetima. Elementi koji se koriste trebaju biti dizajnirani tako da ne ometaju normalan promet ili ne prouzroče novu opasnost za sudionike u prometu [20].



Slika 24. Fizičko odvajanje trakova ispred željezničko-cestovnog prijelaza s polubranicima [29]

Zvučni signal u opasnoj zoni željezničko-cestovnog prijelaza podrazumijeva pružanje zvučne poruke vozačima kada su u opasnoj zoni željezničko-cestovnog prijelaza. Ova mjera bi mogla biti djelotvoran i na pasivnom željezničko-cestovnom prijelazu, pod uvjetom da je tehnička infrastruktura (npr. opskrba električnom energijom) dostupna ili se može uspostaviti. Mjera povećava svijest o ispravnom ponašanju i opasnosti željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Potencijalno negativne strane ove mjere:

- Potencijalne ometanje života u obližnjim područjima, posebno u slučaju željezničko-cestovnih prijelaza smještenih u blizini stambenih područja, bolnica, škola itd.
- U urbanim područjima na jačinu zvučnog signala mogu utjecati ostalih zvukovi u pozadini [20]

Preporuke za korištenje ove mjere:

- ✓ Alternativno, zvučni signal se može postaviti prije opasne zone kako bi se upozorilo vozače da se ispred njih nalazi sporo vozilo i tako se spriječilo stajanje vozila na tračnicama
- ✓ Korisnici bi trebali biti obaviješteni o ovoj mjeri da ih ne bi iznenadila u vožnji
- ✓ Intenzitet zvuka može se dinamički prilagoditi pozadinskoj buci da se upozorenja čuju u neposrednoj blizini željezničko-cestovnog prijelaza, ali bez uznemiravanja stanovnika [20]

Informacija o vremenu zatvaranja željezničko-cestovnog prijelaza sudionicima u prometu se u sekundama daje informacija o zatvaranju prijelaza kako bi se na vrijeme mogli zaustaviti. Kako bi mjera bila efektivna i sigurna mora pružati ažurne informacije o stanju željezničko-cestovnog prijelaza. Najčešće kršenje mjere događa se kad sudionici u prometu pokušavaju proći kroz željezničko-cestovni prijelaz s mišljenjem da mogu biti brži od nadolazećeg vlaka što je i česti uzrok prometnih nesreća [20].

Preporuka za implementaciju mjere:

- ✓ Može se koristiti ekran na kojem su prikazane informacije
- ✓ Vrijeme do zatvaranja može se dobiti od kontrole željezničko-cestovnog prijelaza [20]

Kompletan ciklus zatvaranja/otvaranja željezničko-cestovnog prijelaza predložen ovom mjerom želi osigurati da se barijere ne počnu otvarati ako nema dovoljno vremena za kompletan ciklus zatvaranja (bez ove mjere barijere se počnu otvarati odmah čim prođe prvi vlak, a otvaranje se odmah prekine čim se registrira dolazak drugog vlaka). Nadalje, ako se drugi vlak približava, trepćuća svjetla ne bi trebala ostati samo aktivna, nego je sudionicima u prometu potreban i prikaz dodatnih informacija o drugom vlaku. Opasnost postoji u slučaju da sudionici u prometu predugo čekaju na prolaz preko željezničko-cestovnog prijelaza što uzrokuje frustraciju i spremnost na prihvaćanje rizika prolaska preko zatvorenog željezničko-cestovnog prijelaza [20].

Preporuke za implementacije ove mjere:

- ✓ Korisnici bi trebali biti obaviješteni o provedbi ove mjere
- ✓ Dulje vrijeme čekanja moglo bi imati za posljedicu da korisnik vjeruje da je nešto pogrešno s barijerama i stoga razmotriti njihovo obilaženje (minimizirati vrijeme čekanja)
- ✓ Preporuča se u kombinaciji s mjerom dodatnih informacija „dva vlaka“ [20]

3.3. Tehničke mjere za povećanje sigurnosti na svim željezničko-cestovnim prijelazima

Prikaz i dijeljenje informacije putem uređaj u automobilu vozači dobivaju informacije o nadolazećem vlaku i upozoreni su da je potrebno stati na željezničko-cestovnom prijelazu. Različita tehnologija može se upotrijebiti za detekciju vlaka kao npr. senzori ugrađeni u željezničku prugu (radar, nadzvučni senzor i ostali), Geo lokacija vlaka i inteligentni transportni sustavi koji odašilju informacije. Također, različiti uređaji mogu se koristiti za prikaz informacije (postojeći ili dodatno ugrađen displej u autu, putem mobilnog telefona) [20].

Potencijalni nedostaci ove tehnologije:

- Može odvratiti pozornost vozača od ceste, problem se može riješiti koristeći glasovno upozorenje umjesto vizualnog
- Opasnost postoji ako sustav nije ispravan ili se vozač previše oslanja na dobivene informacije (najveća opasnost na pasivno osiguranim željezničko-cestovnim prijelazima)
- U slučaju čestog kvara ili netočnih informacija korisnik više neće koristiti ovaj uređaj [20]

Preporuke za implementaciju ove mjere:

- ✓ Informacije koje vozač dobiva trebaju biti prilagođene vrsti željezničko-cestovnog prijelaza (npr. na pasivnom željezničko-cestovnom prijelazu upozorenje za vozača o smanjenju brzine i potrebnoj povećanoj pozornosti)
- ✓ Kao alternativa pokretanju takvog sustava na temelju blizine vlaka, također bi bilo poželjno pružiti podršku informacije na temelju blizine željezničko-cestovnog prijelaza ako tehnička provedba detekcije vlaka izgleda previše izazovno.
- ✓ Korisnik treba biti informiran da sustav ne pruža uvijek točne informacije [20]

Svijetla za bolju detekciju vlaka prikazana na slici 25. predstavlja tehničku mjeru za poboljšanje sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza s svrhom ranije detektiranja dolazećeg vlaka. Razne vrste ove mjere su moguće kao npr. zamjena konvencionalnih svjetla s LED tehnologijom. Svjetla će treperiti u slučaju dolaska vlaka, jačina svjetla mijenjat će se ovisno o udaljenosti vlaka od željezničko-cestovnog prijelaza. Cilj mjere je stvaranje dojma da je vlak većih dimenzija nego u stvarnosti (to je moguće postići pomoću lasera ili svjetlosne zrake usmjere prema naprijed) [20].

Potencijalno negativne strane svjetala za bolju detekciju vlaka:

- Zasljepljenje sudionika u prometu i odvratanje njihove pozornosti od drugih situacija i stvari u prometu
- Potrebno je opremiti sve vlakove ovom tehničkom mjerom inače će vlakovi s konvencionalnim svjetlima postati manje uočljivi (sudionik u prometu navikne se na bolju vidljivost vlaka)
- Ometanje života stanovništva koje živi blizu željezničko-cestovnog prijelaza (posebice ako je svjetlo velike jačine) [20]

Preporuke za korištenje svjetala za bolju detekciju vlaka

- ✓ Iako se mjera prvenstveno koristi na pasivno osiguranim željezničko-cestovnim prijelazima mjera se može primjenjivati i na aktivnim kako bi se spriječili prekršaji
- ✓ Svijetla je potrebno aktivirati samo kod prilaska vlaka željezničko-cestovnom prijelazu
- ✓ Izbjegavati povezivanje s drugim vrstama prijevoza [20]



Slika 25. Model vlaka s ugrađenim LED svjetlima [27]

Zvučno upozorenje za pješake kod prolaska željezničko-cestovnim prijelazom predstavlja poboljšano način informiranja pješaka o vlaku koji se približava željezničko-cestovnom prijelazu. Upozorenje može biti zvučno u obliku poruke „Pazi, vlak prilazi željezničko-cestovnom prijelazu“ ili alarma [20].

Potencijalno negativne strane zvučnog upozorenja za vozače:

- Uznemiravanje buke u obližnjim područjima, posebno u slučaju kada je željezničko-cestovni prijelaz smješten u blizini stambenih područja, bolnica, škola itd.
- Korisnici ceste koji ne očekuju zvučno upozorenje mogli bi se iznenaditi zvukom
- Ako se koristi u gradskom području, akustična poruka mogla bi se "izgubiti" zbog ostalih zvukova u okolini željezničko-cestovnog prijelaza [20]

Preporuke za korištenje zvučnog upozorenja za pješake:

- ✓ Intenzitet zvuka mogao bi se dinamički prilagoditi pozadinskoj buci, tako da se upozorenja čuju samo u neposrednoj blizini željezničko-cestovnog prijelaza, ali ne smetaju stanovnicima
- ✓ Upozorenje treba biti vrlo kratko da bi pješak imao dovoljno vremena za procesuirati zvučne informacije, razumjeti i postupiti u skladu s njima
- ✓ Potrebno je postepeno pojačavati jačinu zvučnog upozorenja zbog lakše prilagodbe pješaka [20]

Proširenje zone u kojoj je zabranjeno zaustavljanje sprečava vozače automobila da se zaustave na željezničkoj pruzi u slučaju velike gustoće prometa čime se smanjuje opasnost od prometne nesreće [20].

Potencijalno negativna strana proširenja zone u kojoj je zabranjeno zaustavljanje:

- Vidljivost oznaka na cesti može se pogoršati zbog materijala koji pokrivaju željezničko-cestovni prijelaz (snijeg, lišće, prljavština)
- Može stvoriti veliku gustoću prometa na raskrižju
- Optimalna dodatna duljina zone „bez zaustavljanja“ još nije utvrđena [20]

Preporuke za implementaciju proširene zone u kojoj je zabranjeno zaustavljanje:

- ✓ Potrebno je organizirati održavanje oznaka na kolniku
- ✓ Preporuča se korištenje oznaka na kolniku u kombinaciji s kratkom tekstualnom porukom („Ne zaustavljajte se na željezničko-cestovnom prijelazu“) [20]

Poruka na pametnom telefonu kako bi se obavijestilo sudionike u prometu o vlaku koji dolazi. Poruka može prekinuti sve ostale aplikacije (poput radija) ili transmisije (poput Wi-Fi-ja, Bluetooth-a) i oglašava alarm (i / ili ometa veze) kad se detektira vlak [20].

Potencijalni negativne strane ovog tehničko rješenja:

- Aplikacija bi mogla stvoriti dodatni izvor ometanja kod putnika koji inače ne koriste mobitel u vožnji
- Potencijalno prekomjerno oslanjanje na ovu vrstu mjera moglo bi odvratiti pozornost vozača s ceste i željezničko-cestovnog prijelaza [20]

Preporuke za korištenje mjere:

- ✓ Podesiti mobilni uređaj na način da korisnik dobije upozorenje samo ako trenutno koristi mobitel u autu kako bi se izbjegle negativne posljedice konstantnog gledanja na mobitel
- ✓ Mjera ne smije dodatno opterećivati vozača u vožnji
- ✓ Potrebno je upozoriti sudionike u prometu da sustav nije u potpunosti točan ni siguran [20]

Obojene oznake na kolniku za označavanje opasne zone (slika 26.) željezničko-cestovnog prijelaza kojima je cilj smanjiti broj vozila koja se zaustavljaju unutar označene opasne zone i na taj način smanjiti mogućnost da je vozilo na kolosijeku kad vlak prilazi. Tu mjeru treba kombinirati sa odgovarajućom signalizacijom [20].

Potencijalno negativne strane obojenih oznaka na kolniku:

- Efektivnost oznaka može se umanjiti česticama na kolniku (npr. Snijeg, lišće, prljavština)
- Površinski materijal potencijalno može biti opasan za motocikliste ili bicikliste u mokrim uvjetima [20]

Preporuke za implementaciju obojenih oznaka na kolniku:

- ✓ Potrebno je organizirati redovito održavanje kako bi se održala učinkovitost ove mjere (tj. da zadrži svijetlu boju)
- ✓ Korisnici bi trebali biti obaviješteni u slučaju da se ova mjera provede (npr. putem obavijesti u lokalnim medijima, dodatna privremena signalizacija) [20]



Slika 26. Obojene oznake na kolniku za označavanje opasne zone [30]

Inteligentni sustav Santava će prikazati rute za izbjegavanje željezničko-cestovnog prijelaza i prikazati najbolju rutu do odredišta što je posebno dobro za profesionalne vozače. Može se ažurirati u stvarnom vremenu na temelju podataka o vremenu dolaska vlaka na željezničko-cestovni prijelaz te vozač tako može „izbjeći“ vlak koji prilazi. Socijalni inteligencija je područje znanosti koje konstantno raste, koristi više izvora podataka i daje prosječnu brzinu na ruti i sugerira koja je ruta najbolja. Korisnici bi mogli izbjeći sve željezničko-cestovne prijelaze ili samo one opremljene branicima ili polubranicima kako bi izbjegli duže vrijeme čekanja. Učinak ove mjere mogu osjetiti samo korisnici ove tehnologije. Korisničko sučelje treba biti jednostavno dizajnirano za lako razumijevanje i imati mali potencijal odvratanja pozornosti vozača s ceste i okoline [20].

Odbrojavanje do dolaska vlaka podrazumijeva uređaj (displej slika 27.) koji prikazuje vrijeme do dolaska sljedećeg vlaka na željezničko-cestovni prijelaz. Cilj joj je pružiti ažurne informacije svim sudionicima u prometu (pješači, vozači, biciklisti itd.) [20].

Potencijalno negativne strane ove tehničke mjere:

- Sudionici u prometu mogu koristiti informaciju o dolasku vlaka kako bi prošli kroz željezničko-cestovni prijelaz iako je zatvoren
- Sustav nije u potpunosti siguran
- Kako bi se koristila kod pasivnih željezničko-cestovnih prijelaza potrebna je dodatna tehnologija za detekciju vlaka

Preporuka za korištenje ove tehničke mjere:

- ✓ Na pasivnim željezničko-cestovnim prijelazima potrebno je vozaču osigurani dovoljno vremena za odluku hoće li stati ili krenuti na prijelazu
- ✓ Lakše je implementirati uređaj koji će prikazivati sljedeće vrijeme zatvaranja željezničko-cestovnog prijelaza



Slika 27. Displej s informacijama o dolasku vlaka na željezničko-cestovni prijelaz [31]

Prometni znakovi opremljeni LED svjetlima podrazumijeva ugradnju LED svjetla na različite prometne znakove (STOP, trokut prednosti, zabranjeno zaustavljanje na tračnicama itd.) s ciljem privlačenja vozačeva pozornosti tokom vožnje. Nedostaci mjere su smanjena efektivnost kod različitih vremenskih uvjeta (postavlja se pitanje da li će se jačina svjetla regulirati ovisno o vremenskim uvjetima) [20].

Preporuka za korištenje prometnih znakova opremljenih LED svjetlima:

- ✓ Potrebno je optimizirati boju i jačinu svjetla ovisno o svjetlosnim uvjetima u okolini
- ✓ Ovisno o gustoći prometa svjetlo može uvijek raditi ili biti aktivirano senzorom kad detektira vozilo koje se približava željezničko-cestovnom prijelazu [20]

Prometni znak koji upozorava vozača da ne staju na tračnicama što je posebno prisutno kod velike gustoće prometa gdje vozač može zbog ne pažnje ili drugih razloga stati na tračnicama. Ima negativne posljedice u slučaju lošeg dizajna, a samim time može dodatno opteretiti vozača tokom vožnje. Osim tekstualne poruke na znaku je potrebno ucrtati i simbol jer neki vozači možda neće razumjeti značenje poruke [20].

Preporuka za korištenje ovakvih znakova:

- ✓ Povećana efektivnost ako se koristi s ostalim mjerama (npr. oznake na kolniku)
- ✓ Poruka na znaku mora biti kratka i jasna
- ✓ Koristiti dodatne simbole koje će vozač brzo prepoznati što se posebice odnosi na strane državljane koji ne govore lokalni jezik [20]

4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC

4.1. Geoprometni položaj željezničko-cestovnog prijelaza

Željezničko-cestovni prijelaz smješten je u naselju Poznanovec u Republici Hrvatskoj, koje se nalazi u sastavu Općine Bedekovčina, Krapinsko-zagorska županija. Na slici 28. prikazana je makrolokacije željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec [32]. Nalazi se na KM 32+898 pruge R201 Zaprešić-Zabok-Varaždin [33]. Najveća dopuštena brzina prometovanja vlakova na navedenoj dionici iznosi 100 [km/h], a prosječna brzina je 60 [km/h] [34].

Željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec nalazi se na relaciji željezničke pruge Zaprešić–Zabok-Varaždin. Pruga Zagreb–Zaprešić–Zabok-Varaždin jednokolosječna je neelektrificirana pruga, iako će projektom rekonstrukcije pruge Zaprešić-Zabok dio pruge biti obnovljen i elektrificiran. Pruga je duljine 100 km i najvećim dijelom prolazi kroz Hrvatsko zagorje te tako povezuje Hrvatsko zagorje i Varaždin s Zagrebom. Pruga se dalje nastavlja prema Međimurju i Mađarskoj. U željezničkom kolodvoru Zaprešić pruga se odvaja od međunarodne pruge Savski Marof-Zagreb Glavni kolodvor [32]. Na pruži su najznačajnija željeznička čvorišta Zabok, gdje se odvajaju lokalne pruge Zabok–Krapina–Đurmanec i do Gornje Stubice, Varaždin, gdje se odvaja lokalna pruga za Ivanec i Golubovec te regionalna pruga za Koprivnicu i Osijek, te Čakovec. U Čakovcu se pruga spaja na međunarodnu prugu Pragersko–Ptuj–Čakovec–Kotoriba–Nagykanizsa. U Čakovcu se također odvaja i lokalna pruga za Mursko Središće i slovensku Lendavu [34, 35, 36].



Slika 28. Makrolokacija željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec [37]

Slika 29. prikazuje mikrolokaciju željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec gdje su ucrtane ulice koje prolaze ili se nalaze u blizini prijelaza. Ulica Zagorske brigade i Ulica Rudolfa Jakuša Španca dio su državne ceste D24. Državna cesta D24 nalazi se na sjeverozapadu Hrvatske te povezuje Zlatar Bisticu s državnom cestom D29, u blizini autoceste D14 čvorište Zlatar Bistrica, Novi Marof na državnoj cesti D3, autocestu A4 čvorište Novi Marof i Ludbreg na državnoj cesti D2. Ulica Narodnih heroja također se nalazi u blizini prijelaza te povezuje okolna mjesta s državnom cestom D24. Ulica koja direktno prolazi kroz željeznički prijelaz je Stubička ulica i spaja se na državnu cestu D24, a ujedno je i dio dionice ceste koja povezuje okolna mjesta (Dubovec, Banšćica, Modrovec itd.) s državnom cestom D14 i Donjom Stubicom.



Slika 29. Prikaz željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec u odnosu na ostale prometnice [37]

4.2. Tehnička opremljenost željezničko-cestovnog prijelaza

Željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec (slika 30.) smješten je na željezničkoj pruzi Zaprešić-Varaždin te je osiguran svjetlosnim i zvučnim signalima i uređajima odnosno predstavlja aktivno osiguran željezničko-cestovni prijelaz. Prijelaz je prethodno bio osiguran samo prometnim znakovima (znak STOP i Andrijn križ), međutim zbog brojnih nesreća 2012. godine dolazi do rekonstrukcije prijelaza. Problem prometnih nesreća nije se uspio eliminirati rekonstrukcijom te se na ovom prijelazu i dalje događaju prometne nesreće (više u poglavlju analiza prometnih nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec).



Slika 30. Prikaz željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec

Tehnička opremljenost željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec:

- Polubranik
- Svjetlosni i zvučni uređaj
- Nadzorne kamere
- LED svjetla na kolniku

Rekonstrukcijom 2012. godine na željezničko-cestovni prijelaz postavljen je polubranik s ciljem sprečavanja ilegalnog prolaza sudionika u prometu kroz prijelaz. Istraživanjem na terenu utvrđeno je da se spuštanje polubranika događa nakon prethodnog zvučnog upozorenja o dolasku vlaka na željezničko-cestovni prijelaz u trajanju od 10 sekundi. Polubranik omogućuje obilaženje s druge strane kolnika. Slika 31. prikazuje polubranik na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec (iako je širina kolnika neadekvatna za mimoilaženje dva vozila).



Slika 31. Polubranik na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec

Uređaj za zvučno upozoravanje sudionika u prometu uključuje se na detekciju vlaka. Vrijeme uključivanje traje prosječno 1 minute i 30 sekundi što potencijalno može uzrokovati da sudionici u prometu ignoriraju zvučne signale i riskiraju prolazak kroz zatvoreni željezničko-cestovni prijelaz što u čestim slučajevima može uzrokovati prometne nesreće s smrtno stradalim osobama ili velikom materijalnom štetom. Slika 32. prikazuje uređaj za zvučno upozoravanje na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec.



Slika 32. Uređaj za zvučno upozoravanje na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec
Željezničko cestovni prijelaz Poznanovec opremljen je kamerom za nadzor prijelaza s ciljem kažnjavanja sudionika u prometu koji se ne pridržavaju prometnih propisa čime se potiče vozače na pažnju prilikom prolaska kroz željezničko-cestovni prijelaz. Slika 33. prikazuje kameru za nadzor prijelaza postavljenu na stupu zajedno s uređajem za zvučno upozorenje sudionika u prometu. Važno je napomenuti da kamere trenutno nisu u funkciji.



Slika 33. Nadzorna kamera na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec

LED svjetlima na cesti pojačano je upozorenje za vozače i pješake. Senzori pokrivaju 800 metara prijelaza s obje strane pruge. Svjetla povećavaju vidljivost i privlače pozornost sudionika u prometu u noćnim uvjetima. Na slici 34. prikazana su LED svjetla na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec.



Slika 34. LED svjetla ugrađena u cestu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec

4.3. Analiza prometnih nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec

Željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec nalazi se na pruzi R 201 Zaprešić-Čakovec. Prijelazom u najvećoj mjeri prolaze motorna vozila uz manji broj pješak. Prema statističkim podacima prikazanim u tablici 9. željezničko-cestovni prijelaz Poznanovec ima velik broj prometni nesreća na relativno malo protok vozila. Najvažniji uzrok prometni nesreća je nepažnja sudionika u prometu i loša preglednost željezničko-cestovnog prijelaza.

Tablica 9 Statistika prometni nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec za razdoblje od 1. siječnja 2001. do 31. prosinca 2019. [38]

| IZVANREDNI DOGAĐAJI NA ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOM PRIJELAZU POZANOVEC ZA RAZDOBLJE OD 01.01.2001. DO 31.12.2019. | | | | | |
|--|----------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| OZBILJNE NESREĆE | NESREĆE | LOMOVI POLUBRANIKA | USMRĆENI | TEŠKO OZLIJEĐENI | LAKŠE OZLIJEĐENI |
| 2 | 1 | 1 | 4 | 1 | 0 |

4.4. Analiza prometnih tokova na željezničko-cestovnom prijelazu

Brojanje ili snimanje prometa čini osnovu za planiranje prometa, a njime se dobiva uvid u trenutno stanje prometa, te podaci koji upućuju na potrebe rekonstrukcije, izgradnju novih prometnih pravaca ili ostale mjere poboljšanja postojećeg i budućeg prometa. Prikupljanje podataka potrebno je zbog prometnog i urbanističkog planiranja, zbog planiranja buduće prometne mreže ili oblikovanja nekog čvorišta, zbog eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže i izgradnje novih prometnih pravaca [39].

Prije prijedloga varijanata za unaprjeđenje željezničko-cestovnog prijelaza Pozanovec potrebno je provesti analizu prometnih tokova metodom brojanja prometa. Na slici 35. prikazano je mjesto gdje je provedena analiza prometnih tokova. U analizi uzeti su u obzir samo vršni satovi (jutarnji vršni sat 7:00-8:00 te popodnevni vršni sat 16:00-17:00) zbog neznatnog manjeg broja vozila u ostalim satima iako je brojanje provedeno od 7:00-10:00 i 14:00-17:00.

Brojanje prometa provedeno je u dva smjera:

1. Državna cesta D24 (Pozanovec)–Dubovec
2. Dubovec–Državna cesta D24 (Pozanovec)



Slika 35. Prikaz mjesta brojanja prometa

Izvor: www.google.com/maps/place/Pozanovec/

Dana 19. lipnja 2020. godine provedeno je brojanje prometa na lokaciji prikazanoj na slici 35. Tablica 10. sadrži podatke u brojanju prometa za smjer Državna cesta D24 (Pozanovec)–Dubovec. Brojanje prometa provedeno je u jutarnjem vršnom satu (7:00–8:00). Cilj brojanja

prometa bio je da se utvrdi struktura i broj vozila te ponašanje sudionika u promet kod prelaska kroz željezničko-cestovni prijelaz. Smjer Poznanovec–Dubovec opterećeniji je od smjera Dubovec-Poznanovec u jutarnjem vršnom satu. Struktura vozila je mješovita, odnosno osobni automobili predstavljaju 91%, a teretna vozila 9% ukupno izbrojanog prometa.

Tablica 10. Podaci o brojanju prometa (Smjer Poznanovec-Dubovec) jutarnji vršni sat

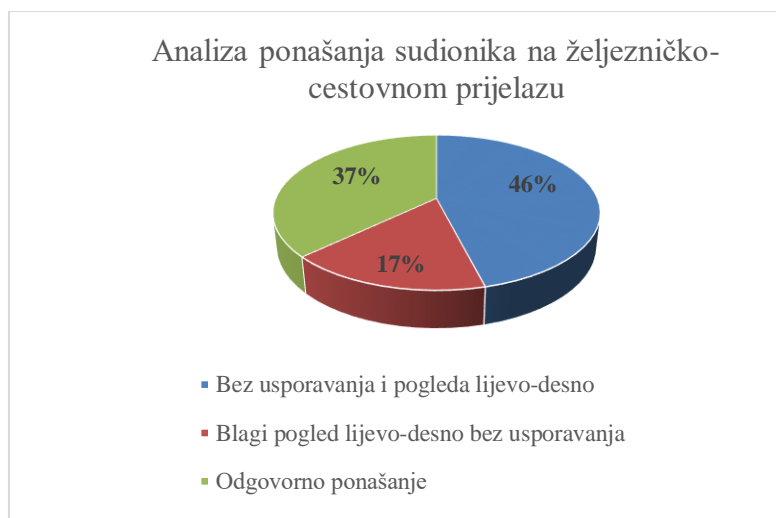
| Sat | Smjer | 15'-int | Osobni automobil | Lako teretno vozilo | Srednje teretno vozilo | Teško teretno vozilo | Motor |
|-------------|--|---------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------|
| 7:00 – 8:00 | Državna ceste D24 (Poznanovec) – Dubovec | 0-15' | 27 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | | 15-30' | 32 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | 30-45' | 25 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | 45-60' | 16 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| | | Ukupno | 100 | 6 | 1 | 3 | |

Podaci u tablici 11. prikazuju količinu i strukturu prometa u smjeru Dubovec-Poznanovec u jutarnjem vršnom satu koji je manje opterećen u odnosu na suprotan smjer. Ukupni promet utvrđen metodom brojanja prometa je 51 voz/h. Struktura prometa pretežito se sastoji od osobnih automobila koja čine 80% dok teretna vozila čine 20% (lako teretno, srednje teretno i teško teretno vozilo) ukupnog prometa.

Tablica 11. Podaci o brojanju prometa (smjer Dubovec-Poznanovec) jutarnji vršni sat

| Sat | Smjer | 15'-int | Osobni automobil | Lako teretno vozilo | Srednje teretno vozilo | Teško teretno vozilo | Motor |
|-------------|---------------------------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------|
| 7:00 – 8:00 | Dubovec-Državna ceste D24(Poznanovec) | 0-15' | 13 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | | 15-30' | 9 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| | | 30-45' | 8 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| | | 45-60' | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Ukupno | 41 | 6 | 2 | 2 | |

Tijekom provedenog istraživanja posebna pozornost obraćena je i na individualno ponašanje sudionika u prometu (pogled lijevo-desno, usporenje kod prilaska željezničko-cestovnom prijelazu itd.). Ukupan broj vozila koji je prošao kroz prijelaz u jutarnjem vršnom satu je 161. Prikupljeni podaci pokazali su da čak 46% odnosno 74 vozača nije usporilo kod prilaska željezničko-cestovnom prijelazu te tako zanemaruju prijelaz ili se u potpunosti oslanjaju na ispravan rad uređaja koji se nalaze na željezničko-cestovnom prijelazu. Nadalje, 27 vozača pogledalo je lijevo-desno kod prolaska kroz željezničko-prijelaz odnosno 17% bez usporavanja kod prilaza željezničko-cestovnom prijelazu. Odgovorno ponašanje pokazalo je tek 37% vozača što pokazuje da bi željezničko-cestovni prijelaz trebalo dodatno naglasiti drugim tehničkim mjerama. Grafikon 4. prikazuje podatke o ponašanju sudionika tijekom brojanja prometa u jutarnjem vršnom satu.



Grafikon 4. Rezultati analize ponašanja sudionika u prometu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec (jutarnji vršni sat)

Podaci u tablici 12. prikazuju količinu i strukturu prometa u smjeru Poznanovec-Dubovec u jutarnjem vršnom satu koji je manje opterećen u odnosu na suprotan smjer (tijekom brojanja u jutarnjem vršnom satu ovo je bio opterećeniji smjer). Metodom brojanja prometa utvrđeno je da je ukupni promet 75 voz/h. Struktura prometa pretežito se sastoji od osobnih automobila koja čine 84% dok teretna vozila čine 15%, a motori 1% od ukupnog prometa.

Tablica 12. Podaci o brojanju promet (smjer Poznanovec-Dubovec) popodnevni vršni sat

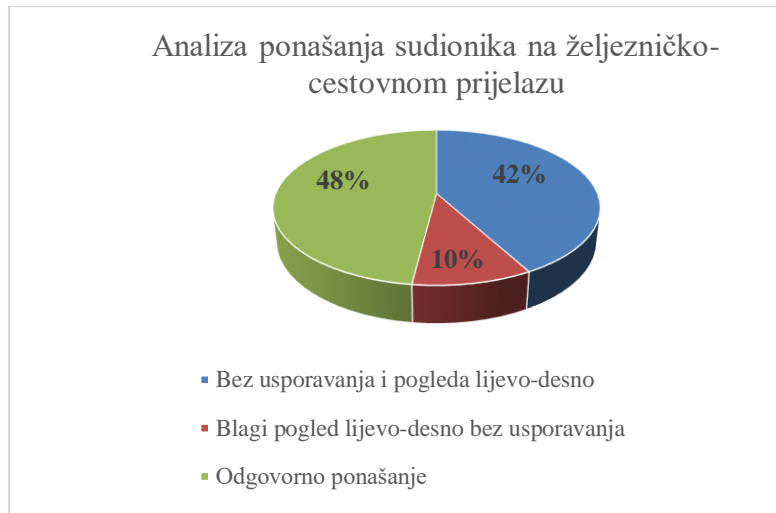
| Sat | Smjer | 15'-int | Osobni automobil | Lako teretno vozilo | Srednje teretno vozilo | Teško teretno vozilo | Motor |
|---------------|---------------------------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------|
| 16:00 – 17:00 | Državna cesta D24(Poznanovec)-Dubovec | 0-15' | 12 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | | 15-30' | 22 | 1 | 1 | 2 | 0 |
| | | 30-45' | 17 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | | 45-60' | 12 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| | | Ukupno | 63 | 7 | 2 | 2 | 1 |

Tablica 13. sadrži podatke o brojanju prometa za smjer Dubovec-Državna cesta D24 (Poznanovec). Brojanje prometa provedeno je u popodnevnom vršnom satu (16:00–17:00). Smjer Dubovec-Poznanovec opterećeniji je od smjera Poznanovec-Dubovec što je suprotno u odnosu na jutarnji vršni sat. Tijekom brojanja utvrđeno je da ukupni promet iznosi 114 voz/h. Struktura vozila je mješovita, odnosno osobni automobili predstavljaju 83%, teretna vozila 14%, a motori 3% od ukupnog prometa

Tablica 13. Podaci o brojanju prometa (smjer Dubovec-Poznanovec) popodnevni vršni sat

| Sat | Smjer | 15'-int | Osobni automobil | Lako teretno vozilo | Srednje teretno vozilo | Teško teretno vozilo | Motor |
|---------------|---------------------------------------|---------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------|
| 16:00 – 17:00 | Dubovec-Državna cesta D24(Poznanovec) | 0-15' | 28 | 4 | 2 | 0 | 2 |
| | | 15-30' | 26 | 2 | 2 | 0 | 1 |
| | | 30-45' | 23 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | | 45-60' | 18 | 4 | 0 | 1 | 0 |
| | | Ukupno | 95 | 10 | 4 | 2 | 3 |

Grafikon 5. prikazuje da je ukupan broj vozila koji je prošao kroz prijelaz u popodnevnom vršnom satu (16:00-17:00) 189 voz/h. Prikupljeni podaci pokazali su da 42% odnosno 80 vozača nije usporilo kod prilaska željezničko-cestovnom prijelazu (bez usporavanja ili pogleda lijevo-desno). Nadalje, 20 vozača pogledalo je lijevo-desno kod prolaska kroz željezničko-prijelaz odnosno 10% međutim isti nisu dodatno usporili kod prilaza željezničko-cestovnom prijelazu. Odgovorno ponašanje pokazalo je 48% vozača čime su dobiveni rezultati bolji za 11% u odnosu na jutarnji vršni sat, međutim i dalje na daju zadovoljavajući postotak.



Grafikon 5. Rezultati analize ponašanja sudionika u prometu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec (popodnevni vršni sat)

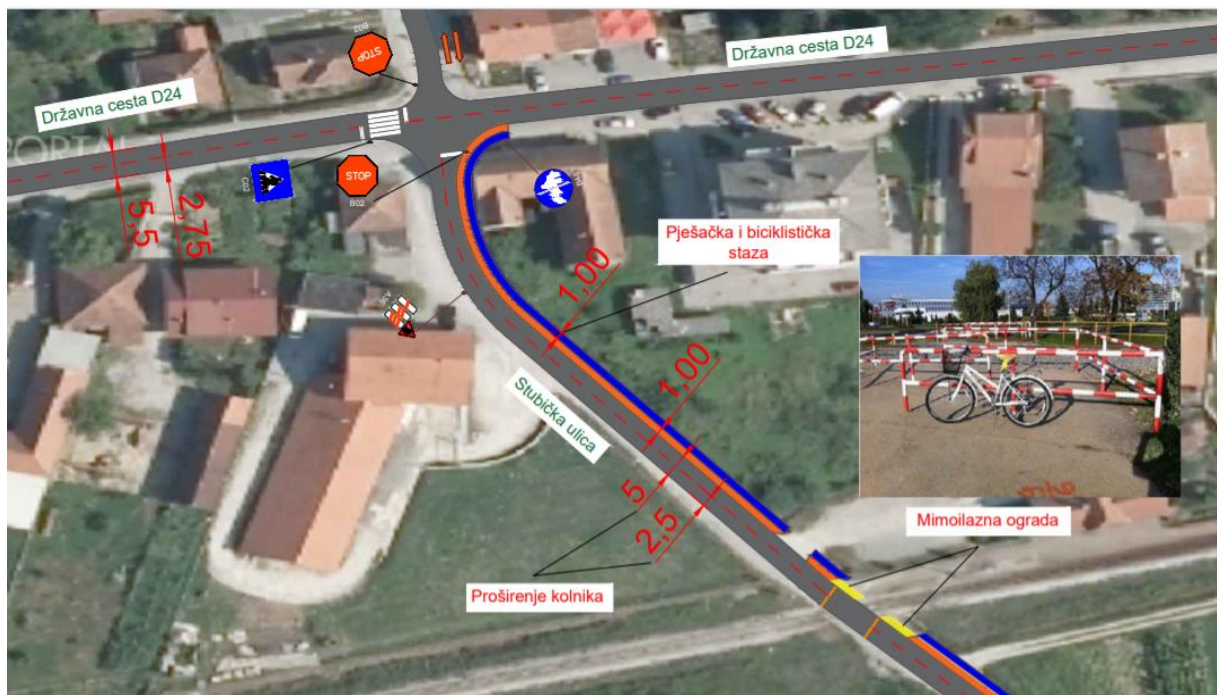
Brojanjem pješaka značajno je samo prilikom dolaska vlaka. Kod jutarnjeg brojenja ukupno su prošla 3 vlaka (2 u smjeru Zagreb-Varaždin, 1 u smjeru Varaždin-Zagreb tijekom kojeg se izmijenilo 16 putnika. Kod popodnevnog brojanje pješaka ukupno su prošla 3 vlaka (1 smjer Zagreb-Varaždin, 2 smjer Varaždin-Zagreb) gdje je ukupno izbrojano 13 putnika. Tijekom brojanja željezničko-cestovnim prijelazom prošlo je i 12 biciklista.

5. PRIJEDOLOZI NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA

Ovo poglavlje sadrži prijedlog varijanta za osiguranje željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec. Potrebno je istražiti mogućnost primjene novih tehničkih rješenja čime bi se povećala sigurnost prijelaza odnosno cilj predloženih varijanata je unaprjeđenje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec, a u skladu s time predložene su tri varijante između koji će se birati ona optimalna. Svaka varijanta sastoji se od kombinacije tri tehnička rješenja.

5.1. Varijanta 1

Prijedlog Varijante 1 sastoji se od proširenja kolnika (širina prometne trake 2,5 metara), izgradnja pješačke staze za pješake, biciklističke staze i dodavanje zaštitne ograde (mimoilazne ograde) za pješake uz željezničku prugu. Trenutna širina kolnika od 4 metara u blizini i na željezničko-cestovnom prijelazu neadekvatna je za mimoilaženje dva motorna vozila bez pomicanja jednog od vozila na bankinu, a poseban problem predstavlja susret dva dostavna vozila (iznad 3,5 tona nosivosti). Iz razloga ograničenosti prostora odabrana je širina kolnika od 2,5 metara. Zbog željezničke stanice koja privlači ostale putnike (pješake i bicikliste) predlaže se i izgradnja pješačke i biciklističke staze kojom bi se fizički odvojila motorna vozila od ostalih sudionika u prometu ukupne širine 2 metra. Dodavanjem mimoilazne ograde na željezničko-cestovnom prijelazu dodatno bi se povećala sigurnost pješaka koji prelazi preko prijelaza. Zadatak mimoilazne ograde je da upozorava pješake da se nalaze na mjestu koje je klasificirano kao potencijalno opasno te da moraju povećati pozornost na situaciju u njihovoj okolini. Slika 36. prikazuje kombinaciju tehničkih rješenja Varijante 1.



Slika 36. Varijanta 1

5.2. Varijanta 2

Prijedlog Varijante 2 je dodavanje polubranika s obje strane kolnika, dodavanje uspornika ispred željezničko-cestovnog prijelaza i postavljanje obojenih oznaka na kolniku koja dodatno naglašuju i omogućuju sudionicima u prometu bržu percepciju prijelaza. Postavljanjem obojanih polubranika vozačima se sprječava obilazak barijere (potencijalna mogućnost nastanka prometne nesreće zbog nestrpljivosti i neodgovornosti vozača) u odnosu na polubranik s jedne strane gdje postoji mogućnost obilaska suprotnom prometnom trakom. Korištenje uspornika ispred željezničko-cestovnog prijelaza vozači će s manjom brzinom prilaziti prijelazu što će im dati više vremena da donese ispravnu odluku bez ugrožavanja svoje sigurnosti i sigurnosti drugih sudionika u prometu. Dodavanjem obojenih oznaka na kolniku dodatno će se naglasiti opasna zona željezničko-cestovnog prijelaza između barijera čime se može smanjiti mogućnost da vozilo stane na kolosijeku u trenutku kada vlak prilazi. Slika 37. prikazuje tehničku skicu Varijante 2.



Slika 37. Varijanta 2

5.3. Varijanta 3

Prijedlog Varijante 3 za unaprjeđenje sigurnost na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec je zamjena polubranika s branikom (slično kao i kod Varijante 2), korištenje LED svjetla na prometnim znakovima (koji naglašavaju da se vozači približavaju željezničko-cestovnom prijelazu) te opremanje prijelaza ekranom koji pokazuje vrijeme dolaska sljedećeg vlaka na željezničko-cestovni prijelaz. Cilj LED svjetla je da privlače vozačevu pozornost na prometne znakove kojim se obilježava željezničko-cestovni prijelaza. Uz svjetla može se postaviti senzor koji detektira dolazak vozila. Odbrojavanje do dolaska vlaka podrazumijeva uređaj koji prikazuje vrijeme do dolaska sljedećeg vlaka na željezničko-cestovni prijelaz. Cilj joj je pružiti ažurne informacije svim sudionicima u prometu (pješači, vozači, biciklisti itd.). Kombinacija ova tri rješenja čini tehničku skicu varijante 2 prikazane na slici 38.



Slika 38. Varijanta 3

6. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA NOVIH RJEŠENJA ZA OSIGURANJE ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC

Višekriterijska analiza konstruira problem odlučivanja kao nekoliko mogućih varijanata i istovremeno ih ocjenjuje prema različitim kriterijima. Postoji nekoliko metoda za višekriterijsko odlučivanje, usporedbu i/ili odabir najprikladnijih opcija prema odabranim kriterijima. Ove metode uključuju tehnike za strukturiranje problema za donošenje odluke, analizu osjetljivosti, poboljšavaju transparentnost, poboljšavaju rezultat i vizualizaciju itd. Ovisno o metodi, svaki se kriterij također može mjeriti na različite načine, kvalitativno ili kvantitativno. Glavna prednost metoda višekriterijskog odlučivanja je njihova sposobnost da integriraju različite kriterije na višedimenzionalni način i da se prilagodi velikom rasponu konteksta. Postupci i rezultati dobiveni metodama višekriterijskog odlučivanja mogu se poboljšati interakcijom sudionika, a u tom su pogledu metode višekriterijskog odlučivanja posebno pogodne za korištenje u kombinaciji s metodama sudjelovanja. Priroda metoda višekriterijskog odlučivanja čini ih posebno prikladnim za rješavanje problema u procjeni učinka i ocjeni održivosti. Višekriterijsko odlučivanje podrazumijeva višeciljno odlučivanje i višeatributivno odlučivanje (višekriterijska analiza) prikazano na slici 39. Višeciljno odlučivanje primjenjuje se u rješavanju tzv. dobro strukturiranih problema, a karakterizira ga više kriterijskih funkcija, dok višeatributivno odlučivanje predstavlja loše strukturiran problem, odnosno problem čiji su kriteriji definirani atributima, cilj je loše definiran (implicitan), ograničenja su neaktivna (uključena su u attribute) i odnose se, u pravilu, na izbor varijanata (rješenja koja su poznata) [40].



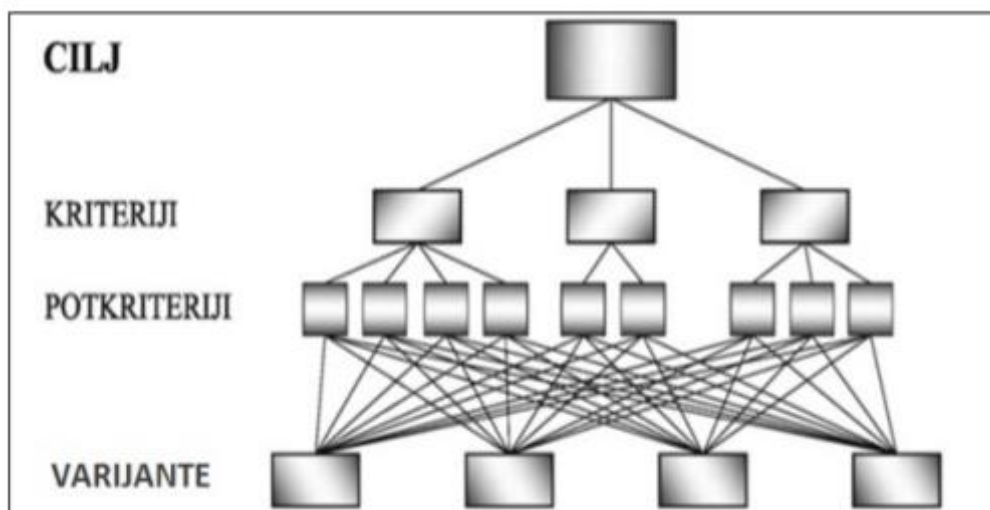
Slika 39. Metode višekriterijskog odlučivanja [40]

Višekriterijsko odlučivanje predstavlja proces optimizacije jedne ili više funkcija cilja na skupu mogućih rješenja. Višekriterijski problemi (u usporedbi s jednokriterijskim problemima) podrazumijevaju postojanje:

- više kriterija (funkcija cilja, funkcija kriterija) za odlučivanje
- više varijanata (rješenja) za izbor
- proces izbora jedne konačne varijante [40]

Za vrednovanje predloženih varijanata koristiti će se AHP metoda (metoda analitičkog hijerarhijskog procesa) koja predstavlja jednu od metoda višekriterijske analize. AHP metoda je kvantitativna metoda za donošenje odluka koju je razvio Thomas Saaty, a pogodna je, između ostalog, za odlučivanje u prometu. Jedna je od najpoznatijih i najčešće korištenih metoda donošenja odluke, odnosno metoda za višekriterijsku analizu. Softverski paket Expert Choice koji je razvijen za ovu metodu olakšava njeno korištenje. Osnovna prednost ove metode očituje se u mogućnosti prilagodbe donositelja odluke u smislu broja atributa, odnosno kriterija i varijanata o kojima se istovremeno odlučuje, a koje je moguće opisati i kvantitativno i kvalitativno. Prema tome, AHP metoda omogućava fleksibilnost procesa odlučivanja i pomaže donositeljima odluke postaviti prioritete, te donijeti najbolju odluku uzevši u obzir i kvalitativne i kvantitativne aspekte odluke [40].

Metoda je zasnovana na usporedbama parova varijanata, svaka sa svakom, gdje donositelj odluke izražavate intenzitet, težinu preferencije jedne varijante u odnosu na drugu unutar definiranih kriterija. Na isti način i kriterije se uspoređuju prema vlastitim preferencijama i njihovom intenzitetu. AHP je snažan i fleksibilan postupak za donošenje odluka koji pomaže u određivanju prioriteta i dovodi do optimalne odluka u slučajevima kada su kvantitativni i kvalitativni aspekti uzeti u obzir. Svođenjem kompleksnog odlučivanja na usporedbe između parova varijanata i sintezom dobivenih rezultata, AHP ne samo da pomaže u donošenju odluka nego dovodi do racionalne odluke [40]. Slika 40. prikazuje hijerarhijsku strukturu AHP modela.



Slika 40. Hijerarhijska struktura analitičko hijerarhijskog procesa [40]

Potrebno je odrediti skup elemenata koji čine varijante, kriteriji i eventualno potkriteriji koje se žele razmatrati. Tako formiran skup se onda slaže u hijerarhijsku strukturu čiji su elementi kriteriji, potkriteriji i varijante. Nakon definiranja tog skupa izrađuje se matematički modela pomoću kojega se računaju prioriteta (težine, važnosti) elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture [40]. Tablica 14. prikazuje Saaty-evu skalu važnosti. Postupak rješavanja problem AHP metodom opisan u 6 koraka.

Postupak rješavanja problema primjenom AHP metode:

- strukturiranje problema (funkcija cilja, kriteriji, potkriteriji, varijante)
- prikupljanje podataka
- definiranje relativne važnosti kriterija u odnosu na cilj istraživanja, odnosno rangiranje kriterija (usporedba relativne važnosti kriterija po svim parovima kriterija-Saatyjeva skala, proračun težina kriterija)
- Rangiranje pojedinih varijanata s obzirom na pojedini kriterij, odnosno proračun vrijednosti varijanata prema kriterijima
- proračun ukupnog prioriteta za svaku varijantu
- odabir najbolje varijante [40]

Tablica 14. Saaty-eva skala važnosti [40]

| Intenzitet važnost | Skala | Objašnjenje |
|--------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Jednako važno | Dva atributa jednako pridonose cilju |
| 3 | Umjereno važnije | Umjerena prednost jednom atributu u odnosu na drugi |
| 5 | Strogo važnije | Strogo se favorizira jedan atribut u odnosu na drugi |
| 7 | Vrlo stroga, dokazana važnost | Jedan atribut izrazito se favorizira u odnosu na drugi |
| 9 | Ekstremna važnost | Favorizira se jedan atribut u odnosu na drugi s najvećom uvjerljivošću |
| 2, 4, 6, 8 | Međuvrijednosti | Vrijednost kompromisa među odgovarajućim susjednim vrijednostima |

6.1. Hijerarhijska struktura AHP modela

Početak i ujedno najzahtjevniji dio AHP metode je strukturiranje problema. Odabir realnih težinskih udjela odabranih kriterija i potkriterija isto je važan za konačno donošenje odluke. Rezultati primijenjene AHP metode značajni su za donošenje konačne odluke o izgradnji ili implementaciji nekog tehničkog rješenja. Iz razloga što se drugačijom strukturom modela i raspodjelom težinskih udjela mogu dobiti drugačiji rezultati potrebno je napraviti i analizu osjetljivosti. Hijerarhijska struktura predloženog modela prikazana je na Slici 41. Prema mišljenju autora izabrani kriteriji i potkriteriji najviše utječu na unaprjeđenje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec.



Slika 41. Hijerarhijska struktura modela analitičko hijerarhijskog procesa

Izbor optimalne varijante vršit će se prema kriterijima i potkriterijima:

Kriterij Sigurnost na željezničko-cestovnom prijelazu koji se odnosi na stupanj sigurnost odvijanja prometa u kojem sudjeluju razni sudionici (vozači, pješaci, biciklisti itd.) odnosno na uklanjanje ili minimiziranje opasnosti koje prijete svim sudionicima u prometu na što se treba reflektirati i odabrana optimalna varijanta.

- Potkriterij: *Mogućnost nastanka prometne nesreće* predstavlja rizik nastanka prometne nesreće na nekoj dionici, dijelu dionice ili mjestu na dionici ceste (opasnosti koje prijete od strane infrastrukture i opreme na cesti odnosno njihov utjecaj na smanjenje istih).
- Potkriterij: *Posljedice prometne nesreće* odnosi se na težinu prometne nesreće (materijalna šteta, lako ili teže ozlijeđeni te poginuli) odnosno na koji način će infrastruktura i oprema na cesti (prema prijedlogu varijanata) smanjiti posljedice istih.
- Potkriterij: *Sigurnost pješaka i biciklista* obuhvaća najranjivije skupine sudionika u prometu. S obzirom da pješaci često krše prometne propise odnosno prelaze ili se kreću cestom na mjestu gdje to nije predviđeno potreban je dodatan oprez vozača. Stupanj sigurnosti pješaka i biciklista ovise i o opremljenosti ceste odnosno željezničko-

cestovnog prijelaza kojom se kreću (npr. postojanje nogostupa, biciklističke staze, mimoilazne zaštitne ograde itd.), a prema tome se odabire i optimalna varijanta.

- Potkriterij: *Razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza* odnosi se na stupanj opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza odnosno da li je prijelaz pasivno (prometni znakovi) ili aktivno (npr. branici ili polubranici) osiguran. U izboru optimalne varijante veću važnost ima varijanta čija oprema više doprinosi sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza.

Financijski kriterij odnosi se prvenstveno na kapital potreban za realizaciju pojedine varijante.

- Potkriterij: *Trošak izgradnje* predstavlja potreban uloženi kapital za rekonstrukciju pojedinog rješenja i prema tome najveću važnost dobiva varijanta koja ima manje troškove izgradnje.
- Potkriterij: *Trošak održavanja* odnosi se na troškove redovitog i izvanrednog održavanja svake od varijanata. Veća važnost daje se varijanti koja ima manje troškove održavanja.
- Potkriterij: *Trošak otkupa zemljišta* odnosi se na otkup dodatne površine uz kolniku potreban za realizaciju svake od varijanata. Varijanta s manjim troškovima otkupa ujedno će imati najveću važnost.

Građevinski kriterij u izboru optimalne varijante očituje se u vremenskom roku i složenosti izgradnje te vijeku trajanja implementiranih rješenja.

- Potkriterij: *Složenost izvedbe* predstavlja stupanj potrebnih građevinskih zahvata te ostalih radnji (potrebne dokumentacije) za realizaciju svake od varijanata. Varijanta koja je manje građevinski zahtjevnija ima veću važnost.
- Potkriterij: *Period implementacije* odnosi se na vrijeme potrebno za izgradnju svake od varijanata. Veću važnost prema tome ima varijanta koja se brže implementira.
- Potkriterij: *Vijek trajanja infrastrukture* odnosi se na vremenski rok za koji je izgrađena ili implementirana pojedina varijanta (npr. 5, 10, 20 godina). Već važnost ima varijanta se dužim vijekom trajanja.

Ekološki kriterij prema kojem se važnost pojedinoj varijanti daje ovisno o štetnim ekološkim utjecajima koje pojedina varijanta ima na okoliš, sudionike u prometu te floru i faunu.

- Potkriterij: *Emisija ispušnih plinova* prema kojem se veća važnost daje varijanti koja više utječe na smanjenje ispušnih plinova od strane motornih vozila.

- Potkriterij: *Utjecaj na floru i faunu* odnosi se na stupanj degradacije (uništavanja) okoliše zbog potrebe realizacije varijanta npr. staništa životinja, zelenila itd. Veću važnost prema tome dobiva varijanta koja ima najmanji utjecaj na navedeno.
- Potkriterij: *Razina buke* prema kojoj se veća važnost daje onoj varijanti koja najmanje utječe na povećanje razine buke na mjestu prelaska ceste preko željezničke pruge. Razine buke izražava se u decibelima, a analizirana je prema obilježjima svake varijante (u kojoj mjeri skup tehničkih rješenja utječe na razinu buke-smanjenje ili povećanje).

Prostorno-urbanistički kriterij odnosi se na prostor koju zauzima svaka varijanta (u m²) i ukupni utjecaj svake varijante na poboljšanje života stanovništva u blizini željezničko-cestovnog prijelaza na temelju čega se veća važnost daje varijanti koja ima veći utjecaj na navedeno.

- Potkriterij: *Zauzeće prostora* prema kojem se veća važnost daje varijanti koja zauzima manje prostora (m²). Prostor potreban za realizaciju svake varijante izračunat je prema izvorima navedenim u radu.
- Potkriterij: *Utjecaj na stanovništvo* prema kojem se veća važnost daje varijanti koja najviše utječe na poboljšanje ukupnog života stanovništva.

Prometno-tehnološki kriterij sastoji se od nekoliko usko povezanih potkriterija koji međusobno utječu jedan na drugog (smanjenje ili povećanje važnosti). Za izbor optimalne varijante u obzir su uzeti potkriteriji koji najviše utječu na željezničko-cestovni prijelaz.

- Potkriterij: *Prosječno vrijeme čekanja* prema kojem je veća važnost dodijeljena varijanti koja osigurava kraće vrijeme čekanja na prolazak željezničko-cestovnim prijelazom. Vrijeme čekanja izračunato je na temelju nekoliko mjerenja zatvorenosti prijelaza na temelju kojeg se dobilo prosječno vrijeme čekanja izraženo u sekundama.
- Potkriterij: *Duljina repa čekanja* prema kojoj je važnost pojedine varijante dodijeljena prema broju vozila koja čekaju na slobodan prolaz željezničko-cestovnim prijelazom. Za izračun se koristio broj ukupan protok vozila u jednom satu i prosječna zatvorenost željezničko-cestovnog prijelaza.
- Potkriterij: *Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika* odnosi se na vrijeme za koje se poveća putovanje do odredišta zbog prolaska kroz željezničko-cestovni prijelaz. Prema tome najveću važnost dobiva varijanta koja najmanje utječe na povećanje vremena dolaska na odredište.

- Potkriterij: *Preglednost željezničko-cestovnog prijelaza* odnosi se na preglednost željezničko-cestovnog prijelaza prilikom prilaska vozača istom (odnosi se na konkretan prostor) i preglednost svih ostalih sudionika u prometu s ciljem izbjegavanja nastanka prometne nesreće. Prema tome varijanta koja pridonosi boljoj preglednosti željezničko-cestovnog prijelaza imati će veću važnost.

6.2. Rangiranje kriterija i potkriterija

Predložene varijante za unaprjeđenje sigurnost na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec vrednovati će se AHP metodom u programskom alatu Expert Choice. Temelj vrednovanja varijanata su kriteriji i potkriteriji prikazani grafički kao struktura modela analitičko hijerarhijskog procesa. Vrednovanje kriterija i potkriterija radi se u parovima na temelju Saaty-eve skale važnosti prema kojoj se jednom od kriterija ili potkriterija dalje veća važnost u odnosu na drugi.

Važnost svih kriterija određen je prema procjeni autora. Kriterij sigurnost na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec dodijeljena je najveća važnost zbog većeg broja teško stradalih i poginulih te iz razloga što je sigurnost svih sudionika u prometu uvijek najvažniji kriterij prilikom svake izgradnje i rekonstrukcije. Sljedeći kriterij po važnosti je Prometno-tehnološki kriterij koji za cilj ima povećanje brzine pražnjenja repa čekanja koji se stvorio ispred zatvorenog željezničko-cestovnog prijelaza koji utječu i na prosječno vrijeme kašnjenja korisnika. Unutar istog kriterija nalazi se i potkriterij preglednost željezničko-cestovnog prijelaza gdje problem predstavlja pružanje ceste u zavoju što znatno smanjuje preglednost prijelaza. Konačni cilj ovog kriterija je povećati protočnost motornih vozila i utjecati na sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza zbog čega je ovaj kriterij drugi po važnosti. Treći po važnosti je ekološki kriterij koji u današnje vrijeme dobiva sve veći značaj kod projektiranja prometne infrastrukture čime se slijedi trend ekološki prihvatljive izgradnje i odvijanja prometa. Četvrti po važnosti je financijski kriterij kojim se opravdava uložnost kapitala u odnosu na dobivene koristi koji prema procjeni autora ima manju važnost jer se naglasak želi staviti na sigurnost željezničko-cestovnog prijelaza. Peti po važnosti je građevinski kriterij kojem se daje manji značaj, a odnosi se na složenost izvedbe, period izgradnje i sam vijek prometne infrastrukture iz razloga što prema procjeni autora jedini potkriteriji koji ima veći utjecaj na izbor optimalne varijante vijek trajanja infrastrukture. Posljednji po važnosti je prostorno-urbanistički kriterij iz razloga jer same varijante neće imati veliki utjecaj na zauzeće

prostora niti će bitno narušiti okolinu. Slika 42. prikazuje rangiranje kriterija u programu Expert Choice . Prema navedenom i procjeni autora najvažniji kriteriji za izbor optimalne varijante su sigurnost, prometno-tehnološki kriterij i ekološki kriterij koji zapravo predstavljaju kriterije budućnosti čime prati trend izgradnje i implementacije novih prometnih građevina i opreme.



Slika 42. Rangiranje kriterija

Kako bi se dobila konačna optimalna varijanta potrebno je rangirati i potkriterije. Kriterij sigurnosti ima četiri potkriterija, a prema procjeni najvažniji kriterij predstavlja mogućnost nastanka prometne nesreće koje za cilj ima smanjenje nastanka prometnih nesreća. Svi ostali potkriteriji su gotovo jednako važni zbog čega im je pridodana ista ili umjerena važnost. Ocjene i rangiranje potkriterija prikazuje tablica 15. i slika 43.

Tablica 15. Ocjene za potkriterije kriterija sigurnost

| | Mogućnost nastanka prometne nesreće | Posljedice prometne nesreće | Sigurnost pješaka i biciklista | Razina opremljenosti prijelaza |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Mogućnost nastanka prometne nesreće | 1 | 1 | 3 | 3 |
| Posljedice prometne nesreće | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Sigurnost pješaka i biciklista | 1/3 | 1/3 | 1 | 1 |
| Razina opremljenosti prijelaza | 1/3 | 1 | 1 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Sigurnost



Slika 43. Prikaz rangiranih potkriterija kriterija Sigurnost

Financijski kriterij sadrži potkriterije trošak izgradnje, trošak održavanja i trošak otkupa zemljišta. Važan je kako bi se utvrdila korisnost izgradnje neke infrastrukture u odnosu na njezine koristi. Prema procjeni autora najveća važnost pridodala se trošku izgradnje koji se odnosi na zamjenu postojeće infrastrukture, opreme, rekonstrukciju kolnika i površina za kretanje ostalih sudionika u prometu. Drugi po važnost je potkriterij trošak održavanje infrastrukture, a najmanja važnost dodijeljena je potkriteriju trošak otkupa zemljišta. Ocjene i rangiranje potkriterija prikazuje tablica 16. i slika 44.

Tablica 16. Ocjene za potkriterije financijskog kriterija

| | Trošak izgradnje | Trošak održavanja | Trošak otkupa zemljišta |
|-------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| Trošak izgradnje | 1 | 3 | 5 |
| Trošak održavanja | 1/3 | 1 | 3 |
| Trošak otkupa zemljišta | 1/5 | 1/3 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Financijski Kriterij



Slika 44. Prikaz rangiranih potkriterija Financijskog kriterija

Građevinski kriterij određen je potkriterijima vijek trajanja infrastrukture koji ujedno i predstavlja potkriterij kojem se prema procjeni autora pridodaje najveća važnost u izboru optimalne varijante. Česte korekcije i rekonstrukcije u konačnici mogu biti zahtjevnije u građevinskom, a u konačnici skuplje i u financijskom smislu. Prema procjeni autora manju važnost imaju potkriteriji trošak održavanja i složenost izvedbe. Tablica 17. i slika 45. prikazuju ocjene i rangiranje potkriterija.

Tablica 17. Ocjene za potkriterije građevinskog kriterija

| | Vijek trajanja infrastrukture | Period implementacije | Složenost izvedbe |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Vijek trajanja infrastrukture | 1 | 5 | 7 |
| Period implementacije | 1/5 | 1 | 3 |
| Složenost izvedbe | 1/7 | 1/3 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Građevinski kriterij



Slika 45. Prikaz rangiranih potkriterija Građevinskog kriterija

Ekološki kriterij odnosi se na štetan utjecaj koje mogu imati emisija štetnih plinova i povećana razina buke na stanovništvo te sama izgradnje prometne infrastrukture na floru i faunu. Potkriteriji emisija ispušnih plinova i razina buke prema procjeni autora imaju najveći važnost kod odabira optimalne varijante. S obzirom da u blizini željezničko-cestovnog prijelaza nema flore i faune koju je potrebno očuvati (grmlje i raslinje) važnost utjecaja na floru i faunu je manja. Tablica 18. i slika 46. prikazuje ocjene i rangiranje potkriterija.

Tablica 18. Ocjene za potkriterije Ekološkog kriterija

| | Emisija ispušnih plinova | Razina buke | Utjecaj na floru i faunu |
|--------------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|
| Emisija ispušnih plinova | 1 | 1 | 3 |
| Razina buke | 1 | 1 | 3 |
| Utjecaj na floru i faunu | 1/3 | 1/3 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Ekoloski kriterij



Slika 46. Prikaz rangiranih potkriterija Ekološkog kriterija

Prostorno-urbanistički kriterij sastoji se od dva potkriterija te se prema procjeni autora potkriteriju utjecaj na stanovništvo daje umjerena važnost u odnosu na potkriterij zauzeće prostora. Važnosti ovih potkriterija posebno se ističe u gusto naseljenim područjima, međutim ovdje to nije slučaj. Ocjene i rangiranje potkriterija prikazani su u tablici 19. i slici 47.

Tablica 19. Ocjene za potkriterij prostorno-urbanističkog kriterija

| | Utjecaj na stanovništvo | Zauzeće prostora |
|-------------------------|-------------------------|------------------|
| Utjecaj na stanovništvo | 1 | 3 |
| Zauzeće prostora | 1/3 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Prostorno-urbanistički kriterij



Slika 47. Prikaz rangiranih potkriterija Prostorno-urbanističkog kriterija

Prometno-tehnološki kriterij predstavlja kriterij koji je drugi po važnost za izbor optimalne varijante. Prema procjeni autora potkriterij koji ima najveću važnost je preglednost željezničko-cestovnog prijelaza. Preglednost se odnosi na konkretan prostor prijelaza koji vozač uočava s određene udaljenosti (nije isto što i vidljivost). Trenutan preglednost željezničko-cestovnog prijelaza otežana je zbog oštrog zavoja koji se nalazi u blizini prijelaza. Ostali potkriteriji duljina repa čekanja, prosječno vrijeme kašnjenja korisnika i prosječno vrijeme čekanja su međusobno usko povezani te im se dodaje ista važnost. Ocjene i rangiranje potkriterija prikazani su u tablici 20. i slici 48.

Tablica 20. Ocjene za potkriterije Prometno-tehnološkog kriterija

| | Preglednost željezničko- cestovnog prijelaza | Prosječno vrijeme čekanja | Duljina repa čekanja | Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika |
|--|---|------------------------------|-------------------------|--|
| Preglednost željezničko- cestovnog prijelaza | 1 | 4 | 4 | 4 |
| Prosječno vrijeme čekanja | 1/4 | 1 | 1 | 1 |
| Duljina repa čekanja | 1/4 | 1 | 1 | 1 |
| Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika | 1/4 | 1 | 1 | 1 |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Prometno-tehnološki kriterij



Slika 48. Prikaz rangiranja potkriterija Prometno-tehnološkog kriterija

6.3. Vrednovanje varijanata

Kako bi se postigao konačan cilj izbora optimalne varijante potrebno rangirati varijante s obzirom na kriterije i potkriterije. Kriterij sigurnost predstavlja najvažniji kriterij u izboru optimalne varijante zbog većeg broja prometnih nesreća s težim posljedicama na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec u posljednjim godinama. U Tablici 21. nalaze se rangovi varijanata potkriterija mogućnost nastanka prometne nesreće Slika 49. prikazuje rangiranje varijanata prema kriteriju sigurnost na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec u programskom alatu Expert Choice. Iz ovih prikaza se može vidjeti da je prema procjeni autora Varijanta 1 rangirana najbolje prema navedenom kriteriju posebice iz razloga proširenja kolnika za motorna vozila i fizičkog odvajanja pješaka i biciklista na posebne površine.

Tablica 21. Rangiranje varijanta prema potkriteriju Mogućnost nastanka prometne nesreće

| VARIJANTE | Mogućnost nastanka prometne nesreće | RANG |
|-------------|---|------|
| VARIJANTA 1 | Manja mogućnost nastanka prometne nesreće | 1. |
| VARIJANTA 2 | Srednji stupanj nastanka prometne nesreće | 2. |
| VARIJANTA 3 | Veći stupanj nastanka prometne nesreće | 3. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Sigurnost
>Mogućnost nastanka prometne nesreće



Slika 49. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju mogućnost nastanka prometne nesreće u programu Expert Choice

Prema potkriteriju posljedice prometne nesreće koji je usko povezan s prethodno navedenim potkriterijem Varijanta 1 prema procjeni autora je najbolja rangirana. Posljedice prometne nesreće mogu biti materijalna šteta, lako i teže ozlijeđene, a često i poginule osobe. Najčešći razlozi prometne nesreće su neprilagođena brzina uvjetima na cesti, nepažnja, vožnja u alkoholiziranom stanju itd. To se posebice vidi iz analize prometnih nesreća sadašnjeg stanja željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec. U tablici 22. nalazi se prikaz rangova varijanta prema kriterijima i potkriterijima, a na slici 50. rangiranje istih u programu Expert Choice.

Tablica 22. Rangiranja varijanta prema potkriteriju posljedice prometne nesreće

| VARIJANTE | Posljedice prometne nesreće | RANG |
|-------------|-------------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | Manje posljedice prometne nesreće | 1. |
| VARIJANTA 2 | Srednje posljedice prometne nesreće | 2. |
| VARIJANTA 3 | Veće posljedice prometne nesreće | 3. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Sigurnost
>Posljedice prometne nesrece



Slika 50. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju posljedice prometne nesreće

Prema postojećem stanju utvrdilo se nepostojanje pješačke i biciklističke staze što predstavlja poseban problem zbog željezničke stanice koja se nalazi odmah nakon željezničko-cestovnom prijelaza gdje se izmjenjuju putnici. Širina kolnika koji je nedovoljan za mimoilaženje dva vozila bez usporavanja i pomicanja jednog vozila na bankinu dodatno predstavlja problem za sigurno kretanje pješaka. Fizičkim odvajanjem pješaka i biciklista prema procjeni autora čini Varijantu 1 najbolje rangiranom. Tablica 22. prikazuje rangiranje varijanta prema potkriteriju sigurnost pješaka i biciklista. Slika 51. prikazuje rangiranje istog kriterija u programu Expert Choice.

Tablica 23. Rangiranje varijanta prema potkriteriju sigurnost pješaka i biciklista

| VARIJANTE | Sigurnost pješaka i biciklista | RANG |
|-------------|--------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | Visoka | 1. |
| VARIJANTA 2 | Srednja | 2. |
| VARIJANTA 3 | Niska | 3. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Sigurnost
>Sigurnost pjesaka i biciklista



Slika 51. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju sigurnost pješaka i biciklista

Prema potkriteriju razina opremljenost željezničko-cestovnog prijelaza i procjeni autora varijanta 2 predstavlja najbolje rangiranu varijantu. Varijanta 2 na već postojeću opremu željezničko-cestovnog prijelaza dodaje nove polubranike, obojene oznake za označavanje dodatne zone i uspornike. Varijanta 3 nadopunjuje postojeću opremu s displejom koji prikazuje informacija o dolasku vlaka. Najlošiju varijanta predstavlja varijanta 1. Tablica 24. prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju razina opremljenost željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec. Slika 52. prikazuje rangiranje potkriterija razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza u programu Expert Choice.

Tablica 24. Rangiranje varijanata prema potkriteriju razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza

| VARIJANTE | Razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | Niža | 3. |
| VARIJANTA 2 | Viša | 1. |
| VARIJANTA 3 | Srednja | 2. |



Slika 52. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza u programu Expert Choice

Prema potkriteriju troškovi izgradnje i procjeni autora najbolje rangirana varijanta je Varijanta 3. Kod utvrđivanja troškova uzima se u obzir trošak same rekonstrukcije, implementacije opreme i dodatni troškovi (npr. troškovi dokumentacije).

Trošak Varijante 1 je izračunat na sljedeći način prema navedenim cijenama:

- Pješačka staza 800,00 kn/m² [41]
- Biciklistička staza 1.000,00 kn/m² [41 i procjena autora]
- Mimoilazna zaštitna ograda 10.000,00 kn (procjena autora)
- Asfalt 200 kn/m² [42]

- Dodatni troškovi – 100.000,00 kn (procjena autora)

Trošak Varijante 2 sastoji se od postavljanja 6 uspornika iz svakog smjera (Dubovec-Poznanovec, Poznanovec-Dubovec), polubranika i obojenih oznaka prema sljedećim cijenama:

- Uspornik-3.000,00 [43]
- Polubranik-200.000,00 kn [44]
- Obojenje oznake na kolnik 20.000,00 kn (procjena autora)

Trošak Varijante 3 sastoji se od zamjene klasičnih znakova s LED znakovima, zamjena polubranika s branikom i postavljenje panela iznad kolnika koji pokazuje vrijeme do dolaska sljedećeg vlaka prema sljedećim cijenama:

- Cijena LED znakova–5.500,00 kn [45]
- Cijena branika–150.000,00 kn (procjena u odnosu na polubranik)
- Instalacija panela–15.000,00 kn (procjena autora)

Tablica 25 prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak izgradnje, a slika 53. prikazuje rangiranje istih u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 25. Rangiranje varijanta prema potkriteriju trošak izgradnje

| VARIJANTE | Trošak izgradnje [kn] | RANG |
|-------------|-----------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 510.000,00 | 3. |
| VARIJANTA 2 | 229.000,00 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 181.500,00 | 1. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Financijski Kriterij
>Trošak izgradnje



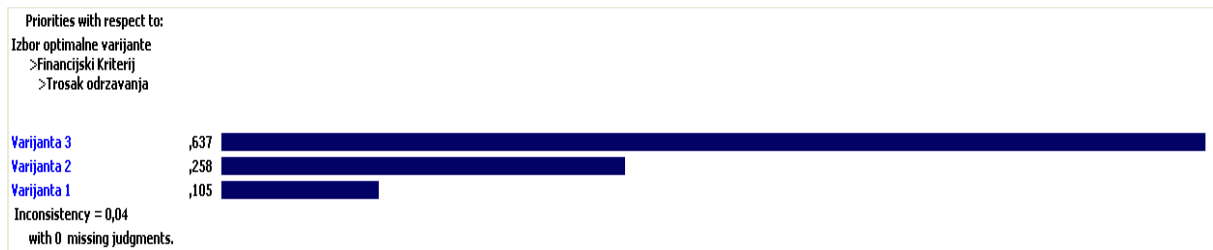
Slika 53. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju trošak izgradnje u programu Expert Choice

Kod potkriterija Troškovi održavanja, Varijanta 1 prema procjeni autora predstavlja najskuplju varijantu jer najveći trošak održavanja predstavlja novo izgrađeni kolnik (čišćenje, potencijalna potreba za obnovom kolnika zbog oštećenja). Varijanta 2 rangirana je kao druga prema trošku

održavanja jer se održavanje odnosi na opremu koja je postavljena prema ovoj varijanti i potencijale troškove zamjene u slučaju oštećenja iste. Varijanta 3 predstavlja najjeftiniju varijantu za održavanje iz razloga što su LED znakovi jednostavni za održavanje, a izvor napajanja za LED svjetla ima dugi vijek trajanja pa ga nije potrebno često mijenjati. Potencijalno može biti izvor većih troškova u slučaju loma branika. Tablica 26. prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak održavanja. Slika 54. prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak održavanja u programu Expert choice. Cijena održavanja svake varijante je prema slobodnoj procjeni autora.

Tablica 26. Rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak održavanja

| VARIJANTE | Trošak održavanja [kn/godišnje] | RANG |
|-------------|---------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 30.000 | 3. |
| VARIJANTA 2 | 15.000 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 5.000 | 1. |



Slika 54. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju trošak održavanja u programu Expert Choice

Prema trošku otkupa zemljišta i procjeni autora Varijanta 1 predstavlja najskuplju varijantu zbog potrebe otkupa zemljišta za izgradnju pješačke i biciklističke staze te proširenja kolnika. Cijena otkupa zemljišta računa se po cijeni od 250 kn/m² (procjena autora). Potrebno je otkupiti 400 m² za potrebe rekonstrukcije. Zbog ovog razloga varijanta 1 je prema kriteriju trošak otkupa zemljišta ekonomski najmanje opravdana. Varijante 2 i 3 isto su rangirane jer ne zahtijevaju otkupa zemljišta. Tablica 27. prikazuje rangiranje varijanta prema potkriteriju trošak otkupa zemljišta. Slika 55. prikazuje rangiranje varijanata prema istom potkriteriju u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 27. Rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak otkupa zemljišta

| VARIJANTE | Trošak otkupa zemljišta [kn/m ²] | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | 100.000,00 | 2. |
| VARIJANTA 2 | 0 | 1. |
| VARIJANTA 3 | 0 | 1. |



Slika 55. Prikaz rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak otkupa zemljišta u programu Expert Choice

Potkriterij složenost izgradnje odnosi se na samu složenost zahvata odnosno količinu potrebnih korekcija na postojećoj infrastrukturi, potrebnu dokumentaciju ili dozvole. Prema procjeni autora složenost izgradnje varijanta 2 i 3 isto su rangirane. Varijanta 1 je najlošije rangirana. Tablica 28. prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju složenost izvedbe. Slika 56. prikazuje rangiranje varijanata prema istom kriteriju i programu Expert Choice.

Prometne građevine svrstavaju se obično po obujmu obilježja procjene navedenih u sljedeće stupnjeve složenosti:

1. Stupanj složenosti I:

- jednostavne prometnice, pješački i biciklistički putevi, jednostavne prometne površine, parkirališta izvan naselja.

2. Stupanj složenosti II:

- složene cestovne prometnice, parkirališta unutar naselja, ceste izvan naselja bez posebnih zadanih uvjeta, ceste izvan naselja u ravničarskom terenu, glavne i sporedne ceste u novoizgrađenim naseljima, jednostavna raskrižja u nivou.

3. Stupanj složenosti III:

- cestovne prometnice izvan naselja s posebno zadanim uvjetima, ceste izvan naselja u brežuljkastim terenu, ceste i trgovi unutar naselja, složena raskrižja u jednom nivou i jednostavna čvorišta u dva nivoa.

4. Stupanj složenosti IV:

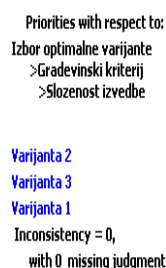
- ceste izvan naselja s mnogobrojnim posebnim zadanim uvjetima; ceste izvan naselja u brdovitom terenu, ceste i trgovi unutar naselja s velikim prometno-tehničkim zahtjevima ili u teškoj urbanističkoj situaciji, veoma složena čvorišta na istom nivou, složen čvorišta na više nivoa.

5. Stupanj složenosti V:

- složene brdske ceste, složene ceste i trgovi unutar naselja s veoma velikim prometno-tehničkim zahtjevima ili u veoma složenoj urbanističkoj situaciji, veoma složena čvorišta na više nivoa [46].

Tablica 28. Rangiranje varijanata prema potkriteriju složenost izvedbe

| VARIJANTE | Složenost izvedbe | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | Stupanj složenosti 1 | 2. |
| VARIJANTA 2 | Jednostavna zamjena i dodavanje opreme | 1. |
| VARIJANTA 3 | Jednostavna zamjena i dodavanje opreme | 1. |



Slika 56. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju složenost izvedbe u programu Expert Choice

Potkriterij period implementacije tehničkog rješenja odnosi se na vremenski period izgradnje ili rekonstrukcije prometne infrastrukture odnosno instalacije prometne opreme na željezničko-cestovni prijelaz. Prema procjeni autora Varijanta 1 je najlošije rangirana. Druga rangirana varijanta je Varijanta 3 zbog svjetlećih znakova koje je potrebno pažljivo postaviti. Varijanta 2 je najbolje rangirana prema potkriteriju period implementacije. Tablica 28. prikazuje rangiranje varijanata prema potkriteriju period implementacije. Slika 57. prikazuje rangiranje varijanta prema istom kriteriju u programu Expert Choice.

Tablica 29. Rangiranje varijanta prema potkriteriju period implementacije

| VARIJANTE | Period implementacije [mjesec] | RANG |
|-------------|--------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 6 | 2. |
| VARIJANTA 2 | 1 | 1. |
| VARIJANTA 3 | 3 | 1. |

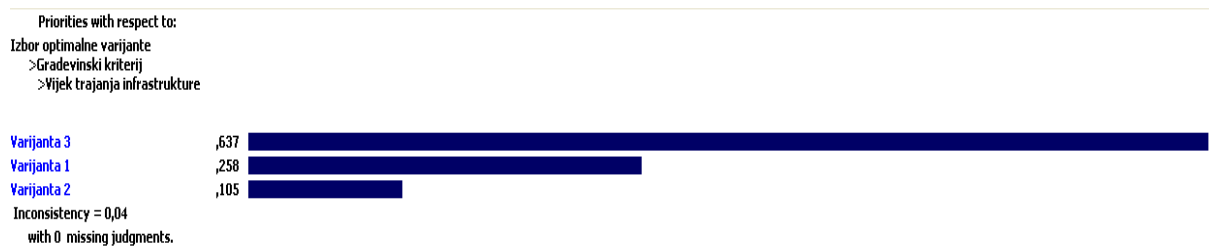


Slika 57. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju period implementacije u programu Expert Choice

Potkriterij vijek trajanja infrastrukture odnosi se na vremenski period od rekonstrukcije ili implementacije infrastrukture i oprema do potrebe za mijenjanjem iste. Period trajanja izračunat je prema prosječnom trajanja svih tehničkih mjera koje su uključene u pojedinu varijantu. Prema prosjeku vijek trajanja i procjeni autora najbolje rangirana je Varijanta 3 (svjetleći znakovi imaju dugi vijek trajanja) dok je Varijanta 1 rangirana kao druga najbolja odnosno Varijanta 2 kao najlošije rangirana varijanta. Tablica 30. prikazuje rangiranje varijanta prema potkriteriju vijek trajanja infrastrukture. Slika 58. prikazuje rangiranje varijanta prema istom potkriteriju u programu Expert Choice.

Tablica 30. Rangiranje varijanata prema potkriteriju vijek trajanja infrastrukture

| VARIJANTE | Vijek trajanja infrastrukture [godina] | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | 10 | 1. |
| VARIJANTA 2 | 8 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 12 | 2. |



Slika 58. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju vijek trajanja infrastrukture u programu Expert Choice

Potkriterij emisija ispušnih plinova podrazumijeva količinu emisije zagađenja kod svake varijante. Najčešći ispušni plinovi su vodena para, ugljikov dioksid, metan itd. Važno je napomenut da je prema različitim izvorima promet u prosjeku zaslužan za više od 30 % emisije ispušnih plinova (posebice od strane auta, kamiona, vlakova itd.). Prema potkriteriju razina ispušnih plinova i procjeni autora najviši rang dobiva ona varijanta koja će najviše biti zaslužna za smanjenje emisije štetnih ispušnih plinova što je povezano i s kraćim zadržavanjem na željezničko-cestovnom prijelazu (prazan hod), većim protokom i brzinama vožnje. Rezultati rangiranja varijanata prikazani su u Tablici 31. i na Slici 59.

Tablica 31. Rangiranja varijanata prema potkriteriju emisija ispušnih plinova

| VARIJANTE | Emisija ispušnih plinova (prema postojećem stanju) | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | Smanjena | 1. |
| VARIJANTA 2 | Ne mijenja se | 2. |
| VARIJANTA 3 | Ne mijenja se | 2. |



Slika 59. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju emisija ispušnih plinova u programu Expert Choice

Potkriterij utjecaj na floru i faunu odnosi se štetne posljedice koje će svaka od varijanta imati na životinjski i biljni svijetu u blizini željezničko-cestovnog prijelaza posebice iz razloga jer je znanstveno utvrđeno da se biljke i životinje te priroda teže prilagođavaju na svaku promjenu u

njihovoj okolini. Prema procjeni autora Varijanta 1 predstavlja najlošije rangiranu varijantu iz razloga što na potezu ceste od 200 metara uništava zelena površina zbog izgradnje pješačke i biciklističke staze. Važno je napomenutu da se pri tome ne uništavaju prirodna staništa životinja ni okoline koja zahtjeva posebnu zaštitu. Prostor namijenjen za izgradnju Varijante 1 prekriven je niskom travom i grmljem. Za realizaciju Varijante 2 nije potrebno dodatno zauzimanje prostora, ali postavljanje uspornika može imati negativne posljedice za prirodu. Varijanta 3 predstavlja najbolje rangiranu varijantu. Tablica 32. i slika 60. prikazuju rangiranje varijanta prema potkriteriju utjecaj na floru i faunu.

Tablica 32. Rangiranje varijanata prema potkriteriju utjecaj na floru i faunu

| VARIJANTE | Utjecaj na floru i faunu [stupanj utjecaja] | RANG |
|-------------|---|------|
| VARIJANTA 1 | Viši | 3. |
| VARIJANTA 2 | srednji | 2. |
| VARIJANTA 3 | Niski | 1. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Ekološki kriterij
>Utjecaj na floru i faunu



Slika 60. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju utjecaj na floru i faunu u programu Expert Choice

Potkriterij razine buke odnosi se na štetne posljedice koje povećana buke može imati na okoliš i stanovništvo. Posebne negativne posljedice buke očituju se u naseljenim područjima i područjima gdje životinje imaju staništa. Konstantno izlaganje povećanoj buci (više od 60 decibela) može neizravno utjecati na podraživanje simpatičnog dijela autonomnog živčanog sustava, na ubrzani rad srca, znojenje, povišeni krvni tlak, znojenje, depresiju, bronhitis itd. Čovjeku je smanjena sposobnost koncentracije, raspoloženje, povećana agresivnost, poremećen san i nervoza. Prema navedenom potrebno je pronaći varijantu koja će imati najmanje razinu buke. Prema procjeni autora Varijanta 1 povećava protok vozila (proširenjem kolnika) te samim time i omogućavaju veće brzine (povećana buke prilikom kretanja vozila s mjesta, posebice kod teretnih vozila ako je protok vozila manji) ona predstavlja najbolje rangiranu varijantu. Varijanta 3 ne mijenja niti ne utječe na smanjenje razine buke dok Varijanta 2 povećava razinu

buke uslijed vožnje preko uspornika. Tablica 33. i slika 61. prikazuju rangiranje varijanti prema potkriteriju razina buke.

Tablica 33. Rangiranje varijanta prema potkriteriju razina buke

| VARIJANTE | Razina buke [dB] | RANG |
|-------------|------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 75 | 1. |
| VARIJANTA 2 | 85 | 3. |
| VARIJANTA 3 | 80 | 2. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Ekoloski kriterij
>Razina buke



Slika 61. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju razina buke u programu Expert Choice Potkriterij zauzeće prostora očituje se u prostoru potrebnom za izgradnju odnosno za realizaciju svake varijante. Prema katastru Općine Bedekovčine i slobodnoj procjeni autora potrebna površina za realizaciju Varijante 1 je 600 m² za proširenje kolnika, izgradnju pješačke i biciklističke staze. Varijanta 2 i 3 ne zahtijevaju dodatno zauzimanje površine za svoju realizaciju zbog čega su jednako rangirane. Tablica 34. i slika 62. prikazuju rangiranje varijanata prema potkriteriju zauzeće prostora.

Tablica 34. Rangiranje varijanata prema potkriteriju zauzeće prostora

| VARIJANTE | Zauzeće površine [m ²] | RANG |
|-------------|------------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 600 | 2. |
| VARIJANTA 2 | / | 1. |
| VARIJANTA 3 | / | 1. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Prostorno-urbanistički kriterij
>Zauzeće prostora



Slika 62. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju zauzeće prostora u programu Expert Choice

Podkriterij utjecaj na stanovništvo odnosi se na same koristi koji će društvo imati prema svakoj varijanti. Očituje se u povećanju mobilnost pješaka, biciklista i vozača motornih vozila, doprinosu opće sigurnost prilikom kretanja dijelom dionice prije i na mjestu prijelaza preko željezničko-cestovnog prijelaza. Najbolje rangirana varijanta ujedno mora doprinijeti i poboljšanju opće kulture koju pokazuju vozači, pješaci i biciklisti odnosno pridonijeti korekciji njihovog neodgovornog ponašanja. Prema procjeni autora upravo najveći utjecaj na navedeno ima varijanta 1. Varijanta 2 rangirana je kao druga, a najlošije rangirana varijanta je 3. Tablica 35. i slika 63. prikazuju rangiranje varijanata prema potkriteriju utjecaj na stanovništvo.

Tablica 35. Rangiranje varijanata prema potkriteriju utjecaj na stanovništvo

| VARIJANTE | Utjecaj na stanovništvo | RANG |
|-------------|-------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | Visok | 1. |
| VARIJANTA 2 | Srednji | 2. |
| VARIJANTA 3 | Nizak | 3. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Prostorno-urbanistički kriterij
>Utjecaj na stanovništvo



Slika 63. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju utjecaj na stanovništvo u programu Expert Choice

Potkriterij prosječno vrijeme čekanja izračunato je na temelju više mjerenja zatvorenosti željezničko-cestovnog prijelaza. Mjerenje se provodilo paralelno s brojanjem prometa. Prosječno vrijeme zatvorenosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec 150 sekundi (potrebno je uzeti u obzir da se blizu željezničko-cestovnog prijelaza nalazi željeznička stanica koja značajno produžuje vrijeme zatvorenosti željezničko-cestovnog prijelaza). Prema autora

varijanta 3 najbolje je rangirana zbog displeja koji pruža ažurne informacije vozačima, pješacima i biciklistima o vremenu dolaska vlaka. Smatra se da Varijanta 1 i 2 ne utječu značajno na smanjenje vremena čekanja. Tablica 36 i slika 64. prikazuju rangiranje varijanta prema potkriteriju prosječno vrijeme čekanja.

Tablica 36. Rangiranje varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme čekanja

| VARIJANTE | Prosječno vrijeme čekanja [s] | RANG |
|-------------|-------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 150 | 2. |
| VARIJANTA 2 | 150 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 130 | 1. |

Priorities with respect to:
Izbor optimalne varijante
>Prometno-tehnološki kriterij
>Prosječno vrijeme čekanja



Slika 64. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme čekanja u programu Expert Choice

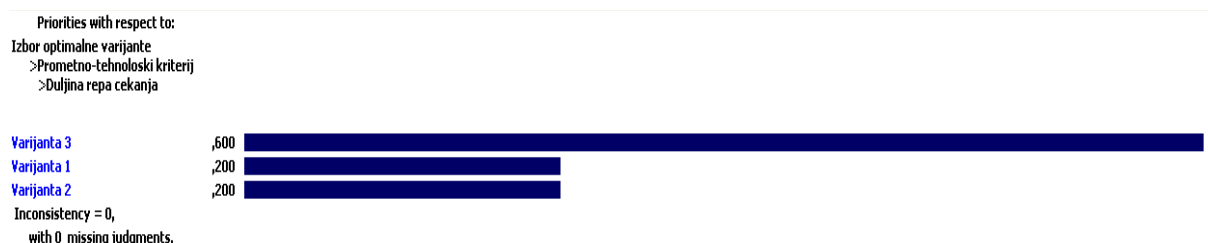
Potkriterij duljina repa čekanja, pri kojem je u obzir uzeto vrijeme kada je željezničko cestovni prijelaz zatvoren izračunat je na sljedeći način:

- Prosječna zatvorenost željezničko-cestovnog prijelaza kod varijante 1 i 2-2 minute i 30 sekundi odnosno kod varijante 3-2 minute i 10 sekundi
- Prosječan broj vozila na željezničko-cestovnom prijelazu 1,6 voz/min (podatak dobiven iz analize brojanja prometa)
- *Varijanta 1 i 2*=1,6 voz/min x 2,5 min=4 vozila
- *Varijanta 3*=1,6 voz/min x 2,17 min=3 vozila

Prema izračunu prosječna duljina repa čekanja na zatvorenom željezničko-cestovnom prijelazu kod varijante 3 iznosi 3 vozila, a kod varijante 1 i 2 duljina repa čekanja iznosi 4 vozila. Tablica 37. i slika 65. prikazuju rangiranje varijanta prema potkriteriju duljina repa čekanja.

Tablica 37. Rangiranje varijanata prema potkriteriju duljina repa čekanja

| VARIJANTE | Duljina repa čekanja [vozila] | RANG |
|-------------|-------------------------------|------|
| VARIJANTA 1 | 4 | 2. |
| VARIJANTA 2 | 4 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 3 | 1. |



Slika 65. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju duljina repa čekanja u programu Expert Choice

Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika podrazumijeva razliku između planiranog vremena dolaska na odredište i stvarnog vremena dolaska. Spomenuto kašnjenje prouzročilo je čekanje na željezničko-cestovnom prijelazu (na slobodan prolaz i sam prolaz). Tijekom istraživanja na terenu primijećen je problem mimoilaženja vozila nakon otvaranja željezničko-cestovnog prijelaza (zbog kolnika nedovoljne širine) što je posebno problem kada se mimoilaze teretna dostavna vozila čime se potencijalno prosječno vrijeme kašnjenja produžuje ili smanjuje za 30 sekundi (mjerenjem autora). U konačnici to ima za posljedicu da je vrijeme kašnjenja korisnika na odredište najmanje kod varijante 1. Varijanta 3 rangirana je kod druga, a Varijanta 2 predstavlja najlošije rangiranu varijantu. Tablica 38. i slika 66. prikazuju rangiranje varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme kašnjenja korisnika.

Tablica 38. Rangiranje varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme kašnjenja korisnika

| VARIJANTE | Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika [sekunda] | RANG |
|-------------|---|------|
| VARIJANTA 1 | 120 | 1. |
| VARIJANTA 2 | 180 | 3. |
| VARIJANTA 3 | 160 | 2. |

Priorities with respect to:
 Izbor optimalne varijante
 >Prometno-tehnoloski kriterij
 >Prosječno vrijeme kašnjenja korisnika



Slika 66. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme kašnjenja korisnika u programu Expert Choice

Kod rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec prema procjeni autora veća važnost dodjeljuje se varijanti koja osigurava bolju preglednost na ŽCP-u. Problem preglednost već je objašnjen u analizi postojećeg stanja (problem ceste u zavoju kod prilaska prijelazu). Prema Varijanti 1 proširenjem kolnika i dodavanjem pješačke i biciklističke staze povećava se preglednost zavoja (prema procjena autora do 50 metara) što je čini najbolje rangiranom varijantom prema kriteriju preglednost željezničko-cestovnog prijelaza. Varijantom 2 i 3 ne mijenja se preglednost prijelaza te su stoga rangirane isto. Tablica 39. i slika 67. prikazuju rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost željezničko-cestovnog prijelaza.

Tablica 39. Rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost na željezničko-cestovnom prijelazu

| VARIJANTE | Preglednost željezničko-cestovnog prijelaza [u metrima] | RANG |
|-------------|--|------|
| VARIJANTA 1 | 150 | 1. |
| VARIJANTA 2 | 100 | 2. |
| VARIJANTA 3 | 100 | 2. |

Priorities with respect to:
 Izbor optimalne varijante
 >Prometno-tehnoloski kriterij
 >Preglednost željezničko-cestovnog prijelaza



Slika 67. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost željezničko-cestovnog prijelaza u programu Expert Choice

7. IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE I ANALIZA OSJETLJIVOSTI

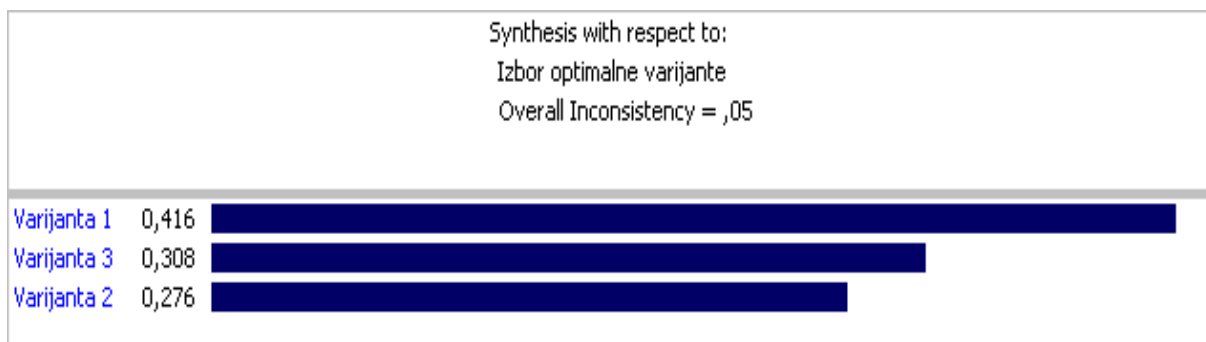
U ovom poglavlju prikazan je izbor optimalne varijante tehničkog rješenja te je prikazana analiza osjetljivosti. Analiza osjetljivosti omogućuje određivanje „kritičkih“ varijabli ili parametara modela, a njezin osnovni cilj je procijeniti prihvatljivost projekta ako vrijednosti kritičnih parametara projekta budu promijenjene

7.1. Izbor optimalne varijante

Primjenom AHP metode i programskog alata Expert choice u konačnici se dobilo optimalno rješenje, odnosno varijanta za poboljšanje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec. Optimalna varijanta je Varijanta 1 koja predviđa proširenje kolnika čime se povećava protok vozila i preglednost samo željezničko-cestovnog prijelaza. Fizičkim odvajanjem pješaka i biciklista od ostalog prometa znatno se smanjuje mogućnost nastanka nesreće, a mimoilazna ograda na samom prijelazu upozorava pješake da se nalaze na opasnom mjestu i trebaju biti oprezniji. Slika 67. prikazuje da vrijednost Varijante 1 iznosi 41,6%.

Drugu varijantu predstavlja Varijanta 3 kojom se predviđa pomoću displej (postavljenim na panelu) upozoriti odnosno informirati vozače od dolaska vlaka na željezničko-cestovni prijelaz, dodavanje branika na željeznički prijelaz čime bi se spriječio obilaženje vozilo s druge strane te zamjena klasičnih prometnih znakova s svjetlosnim koji imaju dug vijek trajanja i dodatno će naglasiti vozaču da se približava željezničko-cestovnom prijelazu (posebice noću). Vrijednost Varijante 3 iznosi 30,8%

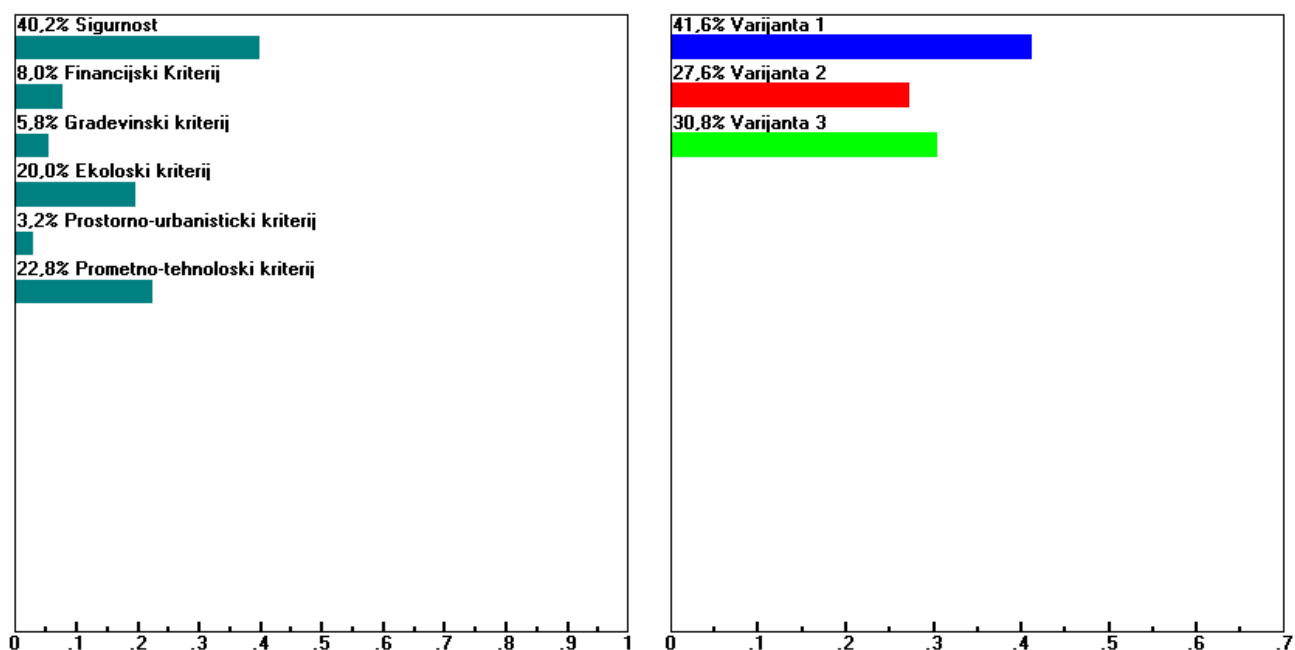
Treću varijantu predstavlja Varijanta 2, odnosno ugradnja novi polubranika s obje strane kolnika, označivanje opasne zone posebnim obojenim oznakama (mjesto između polubranika) te ugradnja uspornika ispred željezničko-cestovnog prijelaza. Vrijednost Varijante 2 iznosi 27,6%.



Slika 68. Izbor optimalne varijante

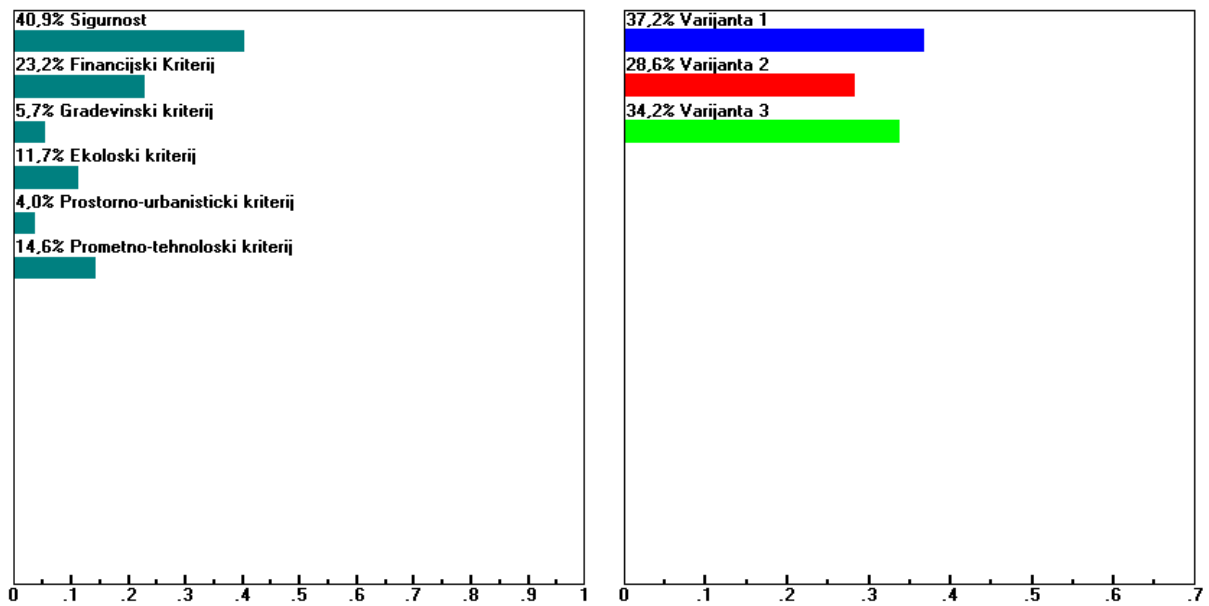
7.1. Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti omogućuje određivanje „kritičkih“ varijabli ili parametara modela te procijene prihvatljivosti projekta ako vrijednosti kritičnih parametara projekta budu promijenjene. Cilj analize osjetljivosti projekta je procjena prihvatljivosti projekta, ako se vrijednosti kritičnih parametara projekta budu razlikovale od planiranih u tijeku dosadašnje analize. Pod kritičnim parametrima projekta razumijevaju se oni elementi koji značajno utječu na njegovu učinkovitost, ali koji su istovremeno i naglašeno neizvjesni.[47] Prema podacima iz slike 68. najbolje rangirana varijanta je Varijanta 1. Najviše rangiran kriterij predstavlja sigurnost (40,2%), drugi je prometno-tehnološki (22,8%), treći ekološki (22,8%), četvrti financijski (8%), peti građevinski (5,8%) i posljednji kriterij je prostorno-urbanistički (3,2%).



Slika 69. Dinamički graf postojećeg stanja

Kako bi se testirala osjetljivost varijanata o pojedinim kriterijima promijenjen je redoslijed važnosti istih. S obzirom da prilikom realizacije projekta često dolazi do promjene odnosno povećanja troškova (koji na početku nisu bili uključeni u cijenu) testirao se utjecaj promjene važnost financijskog kriterija na izbor optimalne varijante. Financijski kriterij sada postaje drugi po važnosti u izboru optimalne varijanta. Povećava se njegova važnost za ukupno 15%, a smanjena je važnost prometno-tehnološko i ekološkog kriterija. Prema slici 69. Varijanta 1 i dalje ostaje optimalna, a Varijanta 3 druga po važnosti, međutim ako bi se značaj financijskog kriterija i dalje povećavao postoji mogućnost na Varijanta 3 postane optimalna.



Slika 70. Dinamički graf promijenjenog stanja

8. ZAKLJUČAK

Promet danas predstavlja najvažniju granu gospodarstva uz konstantan rast prijevoza robe i ljudi. Iz ovog razloga prisutan je sve veći problem sigurnosti u prometu posebice na željezničko-cestovnim prijelazima. Mjesta na kojima kolnik prelazi preko željezničke pruge često je neadekvatno zaštićen što znatno smanjuje sigurnosti pješaka i biciklista kao i vozača motornih vozila. Ostale negativne posljedice na sigurnost mogu imati loše stanje kolnika, preglednost samog prijelaza te loše zaštićeni pješaci i biciklisti. Prema podacima prometnih nesreća u svijetu u Sjedinjenim Američkim Državama prometne nesreće na željezničko-cestovnom prijelazu predstavljaju 35% svih nesreća u željezničkom prometu dok u Europskoj uniji to iznosi 29%. Prema analizu prometni nesreća u svijetu i Republici Hrvatskoj utvrđen je veliki broj prometni nesreća povezani s lomovima branika ili polubranika, nesmotrenim kretanje pješaka i biciklista, neopreznost vozača povezana s većim brzinama itd. U Hrvatskoj ukupno smanjenje broje nesreća 2018. u odnosu na petogodišnje razdoblje je 21%. Ukupan broj nesreća u 2018. godini je 55 (30 na pasivno, 34 na aktivno osiguranim željezničko-cestovnim prijelazima i jedan na pješačkim prijelazima). Ukupan broj smrtno stradalih povećan je za 16% u odnosu na petogodišnje razdoblje. Na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec poginule su 4 osobe u razdoblju od 1.1.2001. do 31.12.2019.

Metoda korištena tijekom ovog istraživanja za prikupljanje podataka je metoda brojanja prometa (motornih vozila i pješaka). Metoda brojanja provela se kako bi se dobio uvid u podatke o broju korisnika koji prelaze preko željezničko-cestovnog prijelaza kao i podaci o prometnom opterećenju prometnih tokova. Prema rezultatima brojanja prometa koje je provedeno ukupno 6 sati u jutarnjem razdoblju od 7:00-10:00 odnosno popodnevnom od 14:00 do 17:00 utvrđena je neznatna razlika u broju vozila u jutarnjem odnosno popodnevnom brojanju. Iz tog razloga u diplomskom radu prezentiran je samo jutarnji vršni sat (7:00-8:00) i popodnevni vršni sat (16:00-17:00). Analizom podataka utvrđeno je da je više opterećen smjer u jutro bio Poznanovec - Dubovec, a popodne Dubovec - Poznanovec.

Prema analizi sadašnjeg stanja željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec oprema postavljena na prijelaz nije adekvatno implementirana ili nije u funkciji. Prisutan je i značajan problem sigurnosti dionice ceste koja prelazi preko željezničko-cestovnog prijelaza, a on se očituje u kolniku nedovoljne širine (otežana mogućnost mimoilaženja dva teretna dostavna vozila pa čak i dva osobna vozila) i lošoj sigurnosti pješaka i biciklista. Problem se javlja i kod samih

sudionika u prometu koji u velikom broju slučajeva prelaze nesmotreno preko željezničko-cestovnog prijelaza. Praćenjem ponašanja vozača tijekom jutarnjeg brojanja prometa na željezničko-cestovnom prijelazu došlo se do zaključka da njih 34% pokazuje neodgovorno odnosno njih 46% odgovorno ponašanje, a ostatak neznatno uspori ili blago okrene glavu lijevo-desno. Tijekom popodnevnog vršnog sata odgovorno ponašanje pokazalo je 48% vozača dok neodgovorno 42%. Kako bi se riješio problem sigurnosti predlažu se nova tehnička rješenja za povećanje iste. Navedeni čimbenici kao i novi prijedlozi rješenja utječu na konačne rezultate diplomskog rada odnosno izbor optimalne varijante za povećanje sigurnosti željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec.

Nakon analize postojećeg stanja željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec predložene su tri varijante za povećanje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu. Varijanta 1 predviđa proširenje kolnika, izgradnju pješačke i biciklističke staze i mimoilazne zaštitne ograde. Varijanta 2 predviđa postavljanje uspornika ispred željezničko-cestovnog prijelaza, postavljanje polubranika s obje strane kolnika i označivanje opasne zone željezničko-cestovnog prijelaza posebnom bojom. Varijanta 3 predviđa postavljanje branika, displeja na panelu koji prikazuje vrijeme do dolaska sljedećeg vlaka i zamjena konvencionalnih prometnih znakova s svjetlećim prometnim znakovima.

Za izbor optimalne varijante koristila se AHP metoda i programski alat Expert Choice. Na temelju kriterija i potkriterija vrednovala se svaka varijanta. Osnovna prednost ove metode očituje se u mogućnosti prilagodbe donositelja odluke u smislu broja atributa, odnosno kriterija i varijanata o kojima se istovremeno odlučuje, a koje je moguće opisati i kvantitativno i kvalitativno. Najznačajniji kriteriji za izbor bila je sigurnost, zatim prometno-tehnološki i ekološki kriterij. Rezultat analize pokazao je da je Varijanta 1 optimalna za povećanje sigurnosti na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec. Usporedbom s ostalim varijantama najviše pridonosi sigurnosti vozača, pješaka i biciklista. Varijanta 1 proširenjem kolnika utječe na protočnost i brzinu kretanja vozila te na samu udobnost vožnje (lakše mimoilaženje vozila). Fizičko odvajanje pješaka i biciklista od ostalog prometa značajno će smanjiti mogućnost i posljedice nastanka prometne nesreće. Ujedno će utjecati na prosječno vrijeme kašnjenja korisnika na odredište odnosno smanjiti će ga. U odnosu na druge varijante koje u manjoj mjeri smanjuju razinu buke upravo zbog veće protočnosti smanjiti će se vrijeme zadržavanja vozila na željezničko-cestovnom prijelazu zbog mimoilaženja što ima i pozitivni utjecaj na emisiju ispušnih plinova (veća potrošnja goriva kod nižeg stupnja prijenosa mjenjača).

POPIS LITERATURE

- [1] HŽ infrastruktura. Preuzeto sa: <https://www.hzinfra.hr/> [pristupljeno: travanj 2020.]
- [2] Prometna signalizacija Preuzeto sa: <https://www.prometna-signalizacija.com/oprema-cestezeljeznicko-cestovni-prijelazi-zcpr/> [pristupljeno: travanj 2020.]
- [3] Barić D, Starčević M, Pilko H. Analiza ponašanja sudionika u prometu na željezničko-cestovnim prijelazima. *Željeznice* 21. 2016;15(3): 7-17.
- [4] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 92/2019)
- [5] Pravilnik o načinu osiguravanja prometa na željezničko-cestovnim prijelazima i pješačkim prijelazima preko pruge (NN 111/15)
- [6] Altpro d.o.o. Preuzeto sa: <https://altpro.hr/hr> [pristupljeno: travanj 2020.]
- [7] SIBENIKIN Preuzeto sa: <https://m.sibenik.in/> [pristupljeno: travanj 2020.]
- [8] Barić D, Havârneanu GM, Mairean C. Transportation Research Part F. Traffic Psychology and Behaviour. ScienceDirect. Elsevier Ltd. 2020; 69: 335-348
- [9] Godišnje izvješće o sigurnosti 2018., HŽ Infrastruktura d.o.o., 2018.
- [10] Barić D, Pilko H, Starčević M. Introducing experiment in pedestrian behaviour and risk perception study at urban level crossing. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2016;25(1): 102-112, DOI: 10.1080/17457300.2017.1341934
- [11] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture Preuzeto sa: <https://mmpi.gov.hr/promet/zeljeznicki-promet-129/propisi-i-drugi-dokumenti/13829> [pristupljeno: travanj 2020.]
- [12] Zakon o željeznici (NN 32/19)
- [13] Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava (NN 63/20)
- [14] Pravilnik o uvjetima za određivanje križanja željezničke pruge i drugih prometnica (NN 111/15)
- [15] Pravilnik o općim uvjetima za građenje u zaštitnom pružnom pojasu (NN 93/10)
- [16] Pravilnik o tehničkim uvjetima za sigurnost željezničkoga prometa kojima moraju udovoljavati željezničke pruge (NN 128/08)
- [17] Sveučilišni projekt Istraživanje mjera povećanja sigurnosti na željezničko-cestovnim prijelazima, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- [18] Fakultet prometnih znanosti, Projekt Implementacija mjera za povećanje sigurnosti najranjivijih sudionika u prometu na željezničko-cestovnim prijelazima, Zagreb, 2011-2020.; <https://www.fpz.unizg.hr/projekt-sigurnost-na-zcp/>

- [19] Barić D, Starčević M, Anić I, Paić S. Contribution of Educational and Preventive Program to Traffic Safety on Level Crossings: The Case of Croatia. 4. BIH Kongres o Željeznicama, Sarajevo, 2017
- [20] Dressler A, Silla A, Kortsari A, Havârneanu GM., Whalley S, Lorenzo L, Grippenkov J. Definition of new human-centred low-cost countermeasures, SAFER-LC Project – Europska Komisija, 2018.
- [21] Curtin University Preuzeto sa: <https://properties.curtin.edu.au/news/171124-actibumps.cfm> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [22] Fakhfakh N, Khoudour L, El-Koursi E, Jacot J, Dufaux A. A video-based object detection system for improving safety at level crossings. Open transportation journal, supplement on "safety at Level Crossings", 2010, 15p. fhal-00542416f
- [23] LIGHTGUARD SYSTEMS Preuzeto sa: <https://www.lightguardsystems.com> [pristupljeno: svibanj 2020.]
- [24] The Irish Times Preuzeto sa: <https://www.irishtimes.com/life-and-style/homes-and-property/can-management-firm-install-speed-bumps-in-our-complex-1.3063637> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [25] ResearchGate Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/TS-devices-a-video-in-vehicle-and-b-on-road-flashing-markers_fig2_283578534 [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [26] Beanland V, Grant E, Read GJM, Stevens N, Thomas M, Lenné MG, S Neville A, Salmon PM. Challenging conventional rural rail level crossing design: Evaluating three new systems thinking-based designs in a driving simulator. ScienceDirect. Elsevier Ltd. 2018; 110: 100-114
- [27] Flickr Preuzeto sa: <https://www.flickr.com/> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [28] Routeto Germany Preuzeto sa: <https://routetogermany.com/drivinginGermany/city-driving> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [29] Canadian Consulting Engineer Preuzeto sa: <https://www.canadianconsultingengineer.com/features/alternatives-to-grade-separation-for-railway-crossings/> [Pristupljeno: svibanj 2020.]
- [30] TRANSPO Industries, Inc. Preuzeto sa: <https://www.transpo.com/roads-highways/materials/pavement-marking-material/airfield-markings-2> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [31] British Columbia Preuzeto sa: <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/home> [Pristupljeno: srpanj 2020.]

- [32] Google Maps Preuzeto sa: <https://www.google.com/maps/place/Poznanovec/> [Pristupljeno kolovoz 2020.]
- [33] Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. Program rješavanja željezničko-cestovnih i pješačkih prijelaza preko pruge za razdoblje od 2018. do 2022. godine., Zagreb, 2018.
- [34] Krapinsko-zagorska županija (Službena web stranica) Preuzeto sa: <http://www.kzz.hr/promet> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [35] HŽ infrastruktura d.o.o. Preuzeto sa: <https://www.hzinfra.hr/modernizacija-i-elektrifikacija-pruge-zapresic-zabok-2/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [36] Hrvatska tehnička enciklopedija Preuzeto sa: <https://tehnika.lzmk.hr/zeljeznica/> [Pristupljeno: lipanj 2020]
- [37] Google Maps Preuzeto sa: <https://www.google.com/maps/place/Op%C4%87ina+Bedekov%C4%8Dina> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [38] HŽ Infrastruktura, interna statistika 2020.
- [39] Prometna zona Preuzeto sa :<https://www.prometna-zona.com/brojanje-ili-snimanje-prometa/> [Pristupljeno: lipanj 2020.]
- [40] Barić D. Nastavni materijali iz kolegija Vrednovanje cestovnih projekata, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2019./2020.
- [41] Troškovnik Građevinskih radova, Izgradnja pješačke staze, Naselje Završje, Općina Sibinj. 2018.
- [42] EMajstor Preuzeto sa: <https://www.emajstor.hr/cijene/asfaltiranje> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [43] Kaiser + Kraft Preuzeto sa: <https://www.kaiserkraft.hr/ogradjivanje-i-oznacavanje/uspornici-za-kolnik/c/63878-KK/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [44] EPodravina.hr Preuzeto sa: <https://epodravina.hr/vrijedi-li-ljudski-zivot-manje-od-polubranika/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [45] Solar Shop Preuzeto sa: <https://www.solarno.hr/katalog/proizvod/LED-PJE%C5%A0AK/solarna-led-signalizacija-pjesaci-oprez> [Pristupljeno: kolovoz 2020.)
- [46] Hrvatska komora Arhitekta Preuzeto sa: <https://www.arhitekti-hka.hr/hr/komora/akti-komore/pravilnici/pravilnik-o-cijenama-usluga/gradevni-projekti-cesta/> [pristupljeno kolovoz 2020.]
- [47] Barić D. Model planiranja prometno-tehnoloških projekata u funkciji razvoja željeznice. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, doktorska disertacija; 2010

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Shema vrste osiguranje željezničko-cestovnih prijelaza..... | 4 |
| Slika 3. A34 Prijelaz ceste preko željezničke pruge s branikom ili polubranikom..... | 5 |
| Slika 2. A35 Prijelaz ceste preko željezničke pruge bez branika ili polubranika | 5 |
| Slika 4. A37 Andrijin križ..... | 6 |
| Slika 5. Znak A36 Udaljenost do željezničko-cestovnog prijelaza..... | 6 |
| Slika 6. Varijacije znaka A36 Udaljenost do željezničko-cestovnog prijelaza | 6 |
| Slika 7. Mimoilazna zaštitna ograda | 7 |
| Slika 8. Željezničko cestovni prijelaz osiguran polubranikom..... | 9 |
| Slika 9. Željezničko cestovni prijelaz osiguran branikom..... | 9 |
| Slika 10. K26 Branik | 9 |
| Slika 11. K27 Polubranik..... | 10 |
| Slika 12. Cestovni signal CS-LHR..... | 10 |
| Slika 13. BO23 Brojač osovina | 11 |
| Slika 14. Uspornici koji se aktiviraju putem senzora | 28 |
| Slika 15. Lasersko osvjetljenje željezničko-cestovnog prijelaza | 29 |
| Slika 16. Svjetla koja naglašavaju stop liniju | 31 |
| Slika 17. Uspornik na prilazu željezničko-cestovnom prijelazu | 32 |
| Slika 18. Trepćući markeri na cesti..... | 33 |
| Slika 19. Savijanje puta ceste..... | 33 |
| Slika 20. Uređaj koji upozorava vozača da prilazi željezničko-cestovnom prijelazu | 35 |
| Slika 21. Obojene oznake za označavanje opasne zone | 36 |
| Slika 22. Kamera za nadzor željezničko-cestovnog prijelaza..... | 37 |
| Slika 23. Dodatne informacije "dva vlaka" | 38 |
| Slika 24. Fizičko odvajanje trakova ispred željezničko-cestovnog prijelaza s polubranicama | 39 |
| Slika 25. Model vlaka s ugrađenim LED svjetlima..... | 42 |
| Slika 26. Obojene oznake na kolniku za označavanje opasne zone | 45 |
| Slika 27. Displej s informacijama o dolasku vlaka na željezničko-cestovni prijelaz | 46 |
| Slika 28. Makrolokacija željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec..... | 48 |
| Slika 29. Prikaz željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec u odnosu na ostale prometnice..... | 49 |
| Slika 30. Prikaz željezničko-cestovnog prijelaza Poznanovec | 50 |
| Slika 31. Polubranik na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec | 50 |
| Slika 32. Uređaj za zvučno upozoravanje na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec..... | 51 |
| Slika 33. Nadzorna kamera na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec | 51 |
| Slika 34. LED svjetla ugrađena u cestu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec | 52 |
| Slika 35. Prikaz mjesta brojanja prometa | 53 |
| Slika 36. Varijanta 1 | 59 |
| Slika 37. Varijanta 2 | 60 |
| Slika 38. Varijanta 3 | 61 |
| Slika 39. Metode višekriterijskog odlučivanja..... | 62 |
| Slika 40. Hijerarhijska struktura analitičko hijerarhijskog procesa | 64 |
| Slika 41. Hijerarhijska struktura modela analitičko hijerarhijskog procesa | 66 |
| Slika 42. Rangiranje kriterija | 70 |

| | |
|---|----|
| Slika 43. Prikaz rangiranih potkriterija kriterija Sigurnost..... | 71 |
| Slika 44. Prikaz rangiranih potkriterija Financijskog kriterija..... | 71 |
| Slika 45. Prikaz rangiranih potkriterija Građevinskog kriterija | 72 |
| Slika 46. Prikaz rangiranih potkriterija Ekološkog kriterija | 73 |
| Slika 47. Prikaz rangiranih potkriterija Prostorno-urbanističkog kriterija | 73 |
| Slika 48. Prikaz rangiranja potkriterija Prometno-tehnološkog kriterija..... | 74 |
| Slika 49. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju mogućnost nastanka prometne nesreće u programu Expert Choice | 75 |
| Slika 50. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju posljedice prometne nesreće | 76 |
| Slika 51. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju sigurnost pješaka i biciklista | 76 |
| Slika 52. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza u programu Expert Choice | 77 |
| Slika 53. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju trošak izgradnje u programu Expert Choice | 78 |
| Slika 54. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju trošak održavanja u programu Expert Choice | 79 |
| Slika 55. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju trošak otkupa zemljišta u programu Expert Choice..... | 80 |
| Slika 56. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju složenost izvedbe u programu Expert Choice | 81 |
| Slika 57. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju period implementacije u programu Expert Choice | 82 |
| Slika 58. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju vijek trajanja infrastrukture u programu Expert Choice | 83 |
| Slika 59. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju emisija ispušnih plinova u programu Expert Choice | 83 |
| Slika 60. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju utjecaj na floru i faunu u programu Expert Choice..... | 84 |
| Slika 61. Prikaz rangiranja varijanta prema potkriteriju razina buke u programu Expert Choice | 85 |
| Slika 62. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju zauzeće prostora u programu Expert Choice | 86 |
| Slika 63. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju utjecaj na stanovništvo u programu Expert Choice..... | 86 |
| Slika 64. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme čekanja u programu Expert Choice | 87 |
| Slika 65. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju duljina repa čekanja u programu Expert Choice..... | 88 |
| Slika 66. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme kašnjenja korisnika u programu Expert Choice | 89 |
| Slika 67. Prikaz rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost željezničko-cestovnog prijelaza u programu Expert Choice | 89 |
| Slika 68. Izbor optimalne varijante | 91 |
| Slika 69. Dinamički graf postojećeg stanja | 91 |

Slika 70. Dinamički graf promijenjenog stanja.....92

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Vrsta osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza u Republici Hrvatskoj | 18 |
| Tablica 2. Broj željezničko-cestovnih (ŽCP) i pješačkih prijelaza u Republici Hrvatskoj | 19 |
| Tablica 3. Ukupan broj prometnih nesreća na željezničko-cestovnih prijelazima (ŽCP) (2013.-2018.) | 21 |
| Tablica 4. Broj ozbiljnih prometnih nesreća na željezničko-cestovnim i pješačkim prijelazima (2013.-2018.) | 21 |
| Tablica 5. Broj smrtno stradalih na željezničko-cestovnim prijelazima (ŽCP) (2013.-2018.) | 22 |
| Tablica 6. Broj teže ozlijeđeni na željezničko-cestovnim prijelazima (ŽCP) (2013.-2018.) [9] | 22 |
| Tablica 7. Stradanje neovlaštenih osoba izvan željezničko-cestovnog prijelaza i pješačkog prijelaza | 23 |
| Tablica 8. Posljedice neodgovornog ponašanja kod prijelaza željezničke pruge | 23 |
| Tablica 9 Statistika prometni nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec za razdoblje od 01.01.2001. do 31.12.2019. | 52 |
| Tablica 10. Podaci o brojanju prometa (Smjer Poznanovec-Dubovec) jutarnji vršni sat..... | 54 |
| Tablica 11. Podaci o brojanju prometa (smjer Dubovec-Poznanovec) jutarnji vršni sat | 54 |
| Tablica 12. Podaci o brojanju promet (smjer Poznanovec-Dubovec) popodneveni vršni sat | 56 |
| Tablica 13. Podaci o brojanju prometa (smjer Dubovec-Poznanovec) popodneveni vršni sat .. | 56 |
| Tablica 14. Saaty-eva skala važnosti | 65 |
| Tablica 15. Ocjene za potkriterije kriterija sigurnost | 70 |
| Tablica 16. Ocjene za potkriterije financijskog kriterija | 71 |
| Tablica 17. Ocjene za potkriterije građevinskog kriterija | 72 |
| Tablica 18. Ocjene za potkriterije Ekološkog kriterija | 72 |
| Tablica 19. Ocjene za potkriterij prostorno-urbanističkog kriterija | 73 |
| Tablica 20. Ocjene za potkriterije Prometno-tehnološkog kriterija | 74 |
| Tablica 21. Rangiranje varijanta prema potkriteriju Mogućnost nastanka prometne nesreće .. | 75 |
| Tablica 22. Rangiranja varijanta prema potkriteriju posljedice prometne nesreće | 76 |
| Tablica 23. Rangiranje varijanta prema potkriteriju sigurnost pješaka i biciklista | 76 |
| Tablica 24. Rangiranje varijanata prema potkriteriju razina opremljenosti željezničko-cestovnog prijelaza | 77 |
| Tablica 25. Rangiranje varijanta prema potkriteriju trošak izgradnje | 78 |
| Tablica 26. Rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak održavanja..... | 79 |
| Tablica 27. Rangiranje varijanata prema potkriteriju trošak otkupa zemljišta | 80 |
| Tablica 28. Rangiranje varijanata prema potkriteriju složenost izvedbe..... | 81 |
| Tablica 29. Rangiranje varijanta prema potkriteriju period implementacije | 82 |
| Tablica 30. Rangiranje varijanata prema potkriteriju vijek trajanja infrastrukture..... | 82 |
| Tablica 31. Rangiranja varijanata prema potkriteriju emisija ispušnih plinova | 83 |
| Tablica 32. Rangiranje varijanata prema potkriteriju utjecaj na floru i faunu | 84 |
| Tablica 33. Rangiranje varijanta prema potkriteriju razina buke | 85 |
| Tablica 34. Rangiranje varijanata prema potkriteriju zauzeće prostora | 85 |
| Tablica 35. Rangiranje varijanata prema potkriteriju utjecaj na stanovništvo..... | 86 |
| Tablica 36. Rangiranje varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme čekanja | 87 |

| | |
|---|----|
| Tablica 37. Rangiranje varijanata prema potkriteriju duljina repa čekanja | 88 |
| Tablica 38. Rangiranje varijanata prema potkriteriju prosječno vrijeme kašnjenja korisnika . | 88 |
| Tablica 39. Rangiranja varijanata prema potkriteriju preglednost na željezničko-cestovnom prijelazu | 89 |

POPIS GRAFIKONA

| | |
|---|----|
| Grafikon 1. Odnos vrsta osiguranja željezničko-cestovnih prijelaza u Republici Hrvatskoj .. | 19 |
| Grafikon 2. Broj željezničko-cestovnih (ŽCP) i pješačkih (PP) prijelaza izražen u postocima | 20 |
| Grafikon 3. Broj lomova branika/polubranika na željezničko-cestovnim prijelazima (2013.-2018.) | 24 |
| Grafikon 4. Rezultati analize ponašanja sudionika u prometu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec (jutarnji vršni sat) | 55 |
| Grafikon 5. Rezultati analize ponašanja sudionika u prometu na željezničko-cestovnom prijelazu Poznanovec (popodnevi vršni sat) | 57 |

PRILOZI



| | |
|---|--|
| SVEUČILIŠTE U ZAGREB FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNA NOVEC | |
| Prilog 1. Varijanta 1 | Mjerilo: 1:1000 |
| Student: Silvestar Grabušić | Mentorica: izv. prof. dr. sc. Danijela Barić |



Obojene oznake na kolniku
(Opasna zona)



| | |
|---|--|
| SVEUČILIŠTE U ZAGREB FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI | |
| VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNANOVEC | |
| Prilog 1. Varijanta 2 | Mjerilo: 1:1000 |
| Student: Silvestar Grabušić | Mentorica: izv. prof. dr. sc. Danijela Barić |



| | |
|---|--|
| SVEUČILIŠTE U ZAGREB FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNA NOVEC | |
| Prilog 1. Varijanta 3 | Mjerilo: 1:1000 |
| Student: Silvestar Grabušić | Mentorica: izv. prof. dr. sc. Danijela Barić |



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

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

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada
pod naslovom **VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA TEHNIČKIH RJEŠENJA ZA**

POVEĆANJE SIGURNOSTI ŽELJEZNIČKO-CESTOVNOG PRIJELAZA POZNAOVEC

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

U Zagrebu, 11.9.2020 _____

Student/ica: _____
(potpis)