Višekriterijska analiza prometnih rješenja u svrhu povećanja sigurnosti i mobilnosti pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova u zagrebačkom naselju Vrapče

Tomašević, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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:119:295823

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Mateo Tomašević

VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA PROMETNIH RJEŠENJA U SVRHU POVEĆANJA SIGURNOSTI I MOBILNOSTI PJEŠAKA U ZONAMA KRIŽANJA PJEŠAČKIH I ŽELJEZNIČKIH TOKOVA U ZAGREBAČKOM NASELJU VRAPČE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 28. travnja 2022.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6649

Pristupnik: **Mateo Tomašević (0135244212)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Višekriterijska analiza prometnih rješenja u svrhu povećanja sigurnosti i mobilnosti pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova u zagrebačkom naselju Vrapče**

Opis zadatka:

Istraživanje u diplomskom radu treba obuhvatiti analizu postojećeg stanja sigurnosti i mobilnosti pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova na području naselja Vrapče u Zagrebu, predložiti nova primjenjiva prometna rješenja, vrednovati ih odabranom metodom višekriterijske analize te izabrati optimalno rješenje koje može doprinijeti povećanju sigurnosti i mobilnosti pješaka u analiziranom području. Zaključno, autor treba dati svoj osvrt na rezultate provedenog istraživanja.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Danijela Barić

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA PROMETNIH RJEŠENJA U SVRHU POVEĆANJA SIGURNOSTI I MOBILNOSTI PJEŠAKA U ZONAMA KRIŽANJA PJEŠAČKIH I ŽELJEZNIČKIH TOKOVA U ZAGREBAČKOM NASELJU VRAPČE

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF TRAFFIC SOLUTIONS TO INCREASE PEDESTRIAN SAFETY AND MOBILITY IN ZAGREB VRAPČE PEDESTRIAN AND RAILWAY FLOW INTERSECTION ZONES

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

Student: Mateo Tomašević

JMBAG: 0135244212

Zagreb, rujan 2022.

SAŽETAK

Sigurnost i urbana mobilnost su bitni čimbenici prometnog sustava. U gradovima postoje uska prometna područja na kojima dolazi do presijecanja više vrsta prometnih tokova. Zone križanja pješačkih i željezničkih tokova zahtijevaju adekvatnu infrastrukturu i opremu kako bi omogućili zadovoljavajuću razinu sigurnosti bez ometanja prometnih tokova. Željezničko-cestovni prijelaz (ŽCP) mjesto je križanja željezničke pruge ili industrijskoga kolosijeka i ceste u istoj razini u sklopu kojeg u praksi postoji i pješački prijelaz ukoliko postoji promet pješaka. Zbog nedovoljno razvijene infrastrukture, loših prometnih rješenja ili lošeg stanja postojeće infrastrukture pješaci koriste improvizirane ilegalne prijelaze. Ovaj rad bavi se problematikom ilegalnih prijelaza preko pruge u zonama pješačkih i željezničkih križanja prometnih tokova u zagrebačkom naselju Vrapče. Promatrane lokacije sadrže infrastrukturu za siguran prijelaz preko pruge, ali iz nekoliko razloga većina pješaka ne koristi te prijelaze nego ilegalno prelaze preko pruge. Istraživanje u ovom radu obuhvatilo je detaljne analize postojeće prometne infrastrukture, postojećeg stanja sigurnosti i analizu prometnih tokova. Na temelju provedene analize predložena su nova prometna rješenja u svrhu uklanjanja postojeće problematike te povećanja razine sigurnosti i mobilnosti u promatranim zonama. Provedena je višekriterijska analiza primjenom metode Analitičkog hijerarhijskog procesa korištenjem programskog alata „Expert Choice“ kako bi se izabralo optimalno rješenje predloženih varijanata novih prometnih rješenja. Na kraju je izrađena analiza osjetljivosti i odabrano optimalno prometno rješenje.

Ključne riječi: sigurnost; urbana mobilnost; višekriterijska analiza; AHP; analiza osjetljivosti; „divlji prijelazi“ na željeznici; željezničko-cestovni prijelaz

SUMMARY

Safety and urban mobility are essential factors of the transport system. In every city there are narrow traffic areas where several types of traffic flows intersect. Pedestrian and railway crossing zones require adequate infrastructure and equipment to provide a satisfactory level of safety without disrupting traffic flows. Level crossing (LC) is a place of intersection of a railway or an industrial track and a road at the same level within a pedestrian crossing if there is pedestrian traffic. Due to insufficiently developed infrastructure, poor traffic solutions or poor condition of the existing infrastructure, pedestrians use improvised illegal crossings. This paper deals with the issue of illegal pedestrian crossings over the railway in Zagreb Vrapče pedestrian and railway flow intersection zones. The observed locations contain infrastructure for safe crossing over the railway, but for several reasons most pedestrians do not use these crossings but cross the railway illegally. The research in this paper included detailed analyzes of the existing traffic infrastructure, the current state of safety and the analysis of traffic flows. Based on the conducted analysis, new transport solutions were proposed in order to eliminate the existing problems and increase the level of safety and mobility in the observed zones. A multi-criteria analysis was performed using Analytic Hierarchy Process using the software tool "Expert Choice" in order to select the optimal solution of the proposed alternatives of new solutions. Finally, a sensitivity analysis was performed and the optimal traffic solution was selected.

Key words: safety; urban mobility; multicriteria analysis;, AHP; sensitivity analysis; trespass on the railway; level crossing

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. POLAZNE OSNOVE 3
2.1. Zona obuhvata 3
2.2. Pregled objavljenih znanstvenih radova srodnih problematici ovog rada u prometnom sustavu 10
3. METODE ISTRAŽIVANJA 12
3.1. Metoda analize 12
3.2. Metoda deskripcije 12
3.3. Metoda kompilacije 12
3.4. Statistička metoda 13
3.5. Matematička metoda 15
3.6. Metoda studija slučaja 15
3.7. Metoda promatranja 15
3.8. Metoda brojanja 15
3.9. Metoda mjerenja 16
3.10. Višekriterijsko odlučivanje 16
3.10.1. Višeciljno odlučivanje 17
3.10.2. Višeatributivno odlučivanje 17
3.10.3. Metoda Analitičkog hijerarhijskog procesa 17
4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA 21
4.1. Analiza postojeće prometne infrastrukture 26
4.2. Analiza prometnih tokova 32
4.3. Analiza sigurnosti postojećeg stanja 37
5. PRIJEDLOG NOVIH PROMETNIH RJEŠENJA 42
5.1. Varijanta 1 42
5.2. Varijanta 2 45
5.3. Varijanta 3 48
6. VREDNOVANJE PREDLOŽENIH RJEŠENJA VIŠEKRITERIJSKOM ANALIZOM 50
6.1. Rangiranje kriterija 51
6.2. Rangiranje potkriterija 52
6.2.1. Potkriteriji u skupini kriterija “Sigurnost” 52

6.2.2. Potkriteriji u skupini kriterija “Povećanje urbane mobilnosti” 52
6.2.3. Potkriteriji u skupini kriterija “Ekonomski pokazatelji” 53
6.2.4. Potkriteriji u skupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji” 54
6.2.5. Potkriteriji u skupini kriterija “Infrastrukturni pokazatelji” 55
6.2.6. Potkriteriji u skupini kriterija “Društveni pokazatelji” 55
6.3. Vrednovanje varijanata 56
6.3.1. Sigurnost 56
6.3.2. Povećanje urbane mobilnosti 58
6.3.3. Ekonomski pokazatelji 60
6.3.4. Prostorno-urbanistički pokazatelji 61
6.3.5. Infrastrukturni pokazatelji 63
6.3.6. Društveni pokazatelji 65
6.4. Izbor optimalne varijante 66
6.5. Analiza osjetljivosti 67
7. RASPRAVA I ZAKLJUČCI 69
Literatura 71
Popis slika 73
Popis tablica 76
Popis grafikona 78

1. UVOD

Razvojem prometnog sustava u urbanim sredinama razvijaju se i ostale djelatnosti kao na primjer trgovina, industrija, uslužne djelatnosti, a shodno tome razvijaju se i stambene zone, školske zone, sportsko – rekreacijske zone koje generiraju ili privlače kretanje određenih skupina stanovništva. Za veće udaljenosti putnici će koristiti javni gradski prijevoz ili prijevoz osobnim vozilima, dok će za srednje i manje udaljenosti pješačiti ili koristiti bicikl i električni romobil. U gradovima odnosno u urbanim sredinama gdje postoji nekoliko vrsta prometa na relativno uskom području dolazi do križanja odnosno presijecanja više vrsta prometnih tokova. Iz perspektive sigurnosti pješaci te biciklisti spadaju u najugroženiju skupinu sudionika u prometu.

Ovaj rad se bazira prvenstveno na križanja pješačkih i željezničkih tokova u određenoj zoni obuhvata koja se nalazi u zagrebačkom naselju Vrapče. Kroz rad se obrađuje problematika nedovoljno razvijene infrastrukture u zadanoj zoni obuhvata te se predlaže nekoliko varijanti rješenja koje će poboljšati razinu sigurnosti i mobilnosti pješaka te se korištenjem višekriterijske analize odabire optimalna varijanta.

Naslov diplomskog rada jest Višekriterijska analiza prometnih rješenja u svrhu povećanja sigurnosti i mobilnosti pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova u zagrebačkom naselju Vrapče. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Polazne osnove
3. Metode istraživanja
4. Analiza postojećeg stanja
5. Prijedlog novih prometnih rješenja
6. Vrednovanje predloženih rješenja višekriterijskom analizom
7. Rasprava i zaključci

Nakon uvodnog poglavlja, u drugom poglavlju opisane su polazne osnove na kojima se temelji ovaj rad. Navedena je motivacija za izradu rada te opisana problematika koja se obrađuje. Nakon toga definirana je zona obuhvata te je dan pregled objavljenih znanstvenih radova kojima se obrađuju srodne problematike u prometnom sustavu.

Treće poglavlje navodi metode istraživanja koje su korištene tijekom izrade rada. Ukratko je opisana svaka od korištene metode prilikom izrade znanstveno-istraživačkog rada.

Analiza postojećeg stanja je četvrto poglavlje, a sastoji se od analize postojeće infrastrukture, analize prometnih tokova i analize sigurnosti postojećeg stanja. Analizom postojeće infrastrukture navedeno je trenutno stanje infrastrukture koja služi za odvijanje prometa. Analizom prometnih tokova prikazani su prikupljeni podaci o pješačkim tokovima. Analizom sigurnosti postojećeg stanja obrađeno je stanje sigurnosti za promet pješaka na lokacijama interesa u gravitacijskom promatranom području.

U petom poglavlju nalaze se prijedlozi rješenja povećanja sigurnosti i mobilnosti prometa pješaka na lokacijama interesa u gravitacijskom promatranom području. Sastoje se

od tri varijante, a svaka varijanta sadrži prijedlog rješenja za istočnu i zapadnu lokaciju na kojima nastaju ilegalni prijelazi pješaka preko pruge.

Šesto poglavlje je vrednovanje predloženih rješenja višekriterijskom analizom korištenjem AHP metode. Sastoji se od rangiranja kriterija, rangiranja potkriterija, rangiranja varijanata, izbora optimalne varijante i analize osjetljivosti. Za provedbu AHP metode koristi se programski alat „Expert Choice“.

U sedmom poglavlju nalazi se kratka rasprava o problematici koja se obrađuje kroz diplomski rad te zaključna razmatranja na temelju obrađenih analiza i izvršenog vrednovanja predloženih rješenja.

2. POLAZNE OSNOVE

Motivacija izrade ovog rada je izlaganje ideja koje mogu unaprijediti trenutno stanje prometnog sustava. Predložena rješenja bi trebala unaprijediti svakodnevno odvijanje prometa pješaka prvenstveno iz aspekta sigurnosti i mobilnosti. Kvalitetno izvedena infrastruktura te kvalitetno organiziran i reguliran promet pješaka sigurno će povećati potražnju za korištenjem odnosno više ljudi će koristiti navedeni prometni sustav kao pješaci ili biciklisti što je pozitivni pokazatelj iz perspektive ekologije.

Problem nastaje kod križanja pješačkih i ostalih prometnih tokova, a u ovom radu karakteristična su križanja pješačkih i željezničkih tokova. Zbog loše izvedenih postojećih i previše udaljenih pothodnika ljudi svakodnevno koriste improvizirane prijelaze odnosno tzv. „divlje prijelaze“. Takvim rizičnim ponašanjem svakodnevno ugrožavaju svoje živote. Problem sigurnosti pješaka očituje se i zbog nedostatka zaštitnih ograda uz prugu. Pješaci se svakodnevno kreću u blizini pruge te postoje improvizirane „utabane“ staze nastale svakodnevnim migracijama ljudi.

2.1. Zona obuhvata

Zona obuhvata je područje interesa na kojem se obrađuje prometni problem. Šire područje zone obuhvata naziva se makrolokacija, a uže područje naziva se mikrolokacija. Na promatranoj makrolokaciji može postojati više mikrolokacija koje su od interesa.

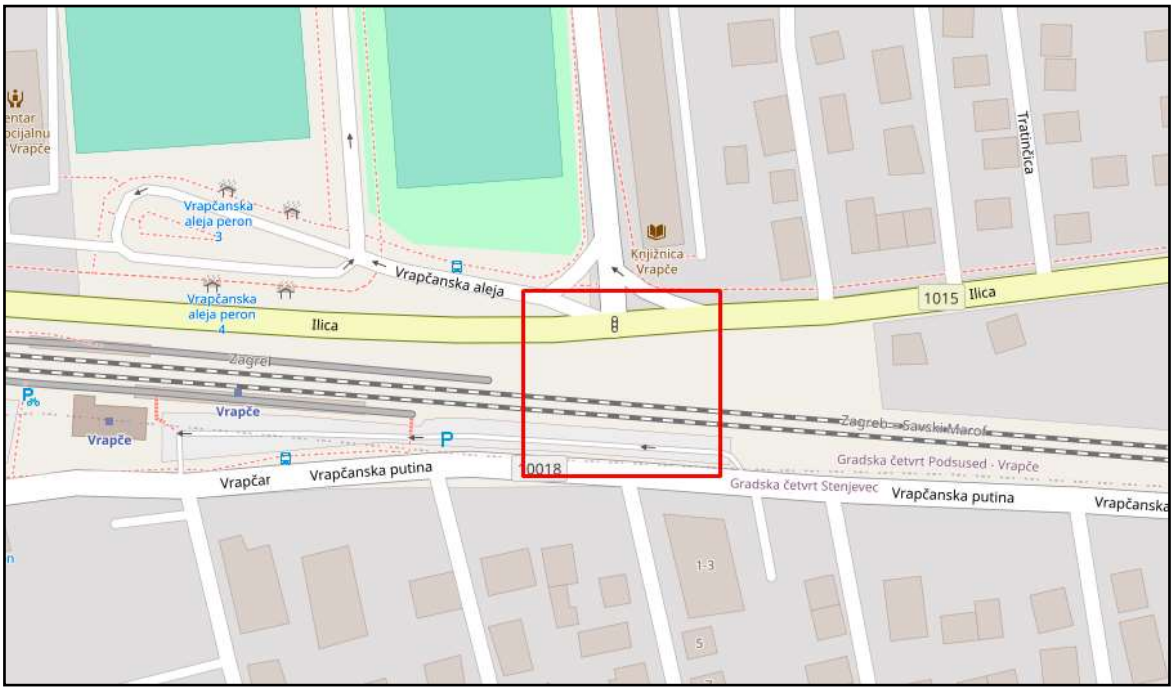
Slika 1 prikazuje makrolokaciju zone obuhvata koja se proteže od zapadnog dijela na kojem se nalazi željeznička postaja Vrapče te autobusni terminal Vrapče pa do istočnog dijela zone obuhvata do ulice Oranice gdje se nalazi raskrižje izvan razine te pothodnik za pješake. Makrolokacija se proteže na udaljenosti od 900 metara zračne linije.



Slika 1. Makrolokacija zone obuhvata, [1]

Slika 2 prikazuje mikrolokaciju broj 1 koja se nalazi u području između željezničke postaje Vrapče i autobusnog terminala Vrapče na kojem nastaju „divlji prijelazi“. Navedeno područje nije uređeno za kretanje pješaka pa ne postoji ni pješački prijelaz na raskrižju ulice Ilica i Ulice Majke Terezije i ulice Aleja Bologne. Slika 3, 4 i 5 prikazuju terenski izgled mikrolokacije broj 1.

Slika 6 prikazuje mikrolokaciju broj 2 gdje postoje „divlji prijelazi” preko pruge Zagreb – Savski Marof između potoka Vrapčak i ulice Oranice koja je izvedena u razini te prolazi ispod ulice Kožinčev put i ispod pruge Zagreb – Savki Marof. Slika 7-13 prikazuju terenski izgled mikrolokacije 2.



Slika 2. Mikrolokacija broj 1, [1]



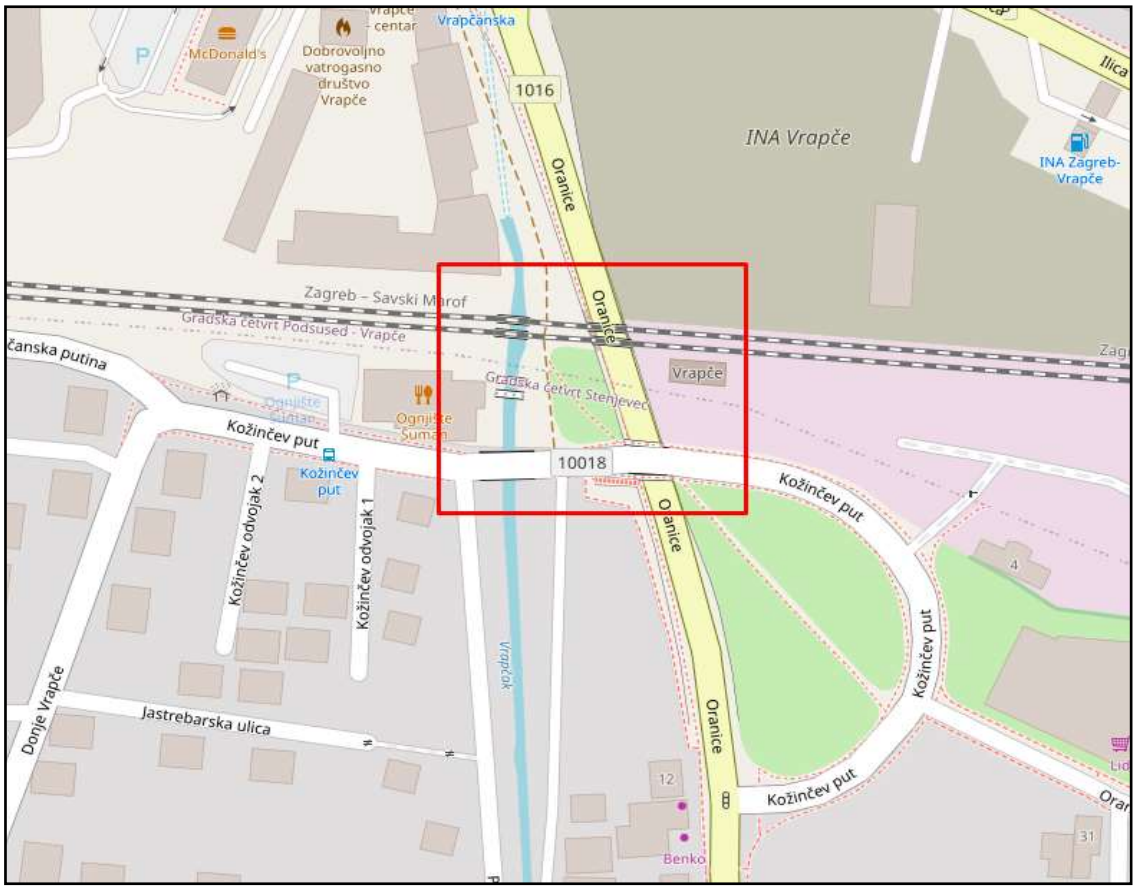
Slika 3. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled s istoka



Slika 4. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled s jugoistoka



Slika 5. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled sa zapada



Slika 6. Mikrolokacija broj 2, [1]



Slika 7. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled s juga, zapadno od ulice Oranice



Slika 8. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled s jugoistoka, zapadno od ulice Oranice



Slika 9. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera, zapadno od ulice Oranice



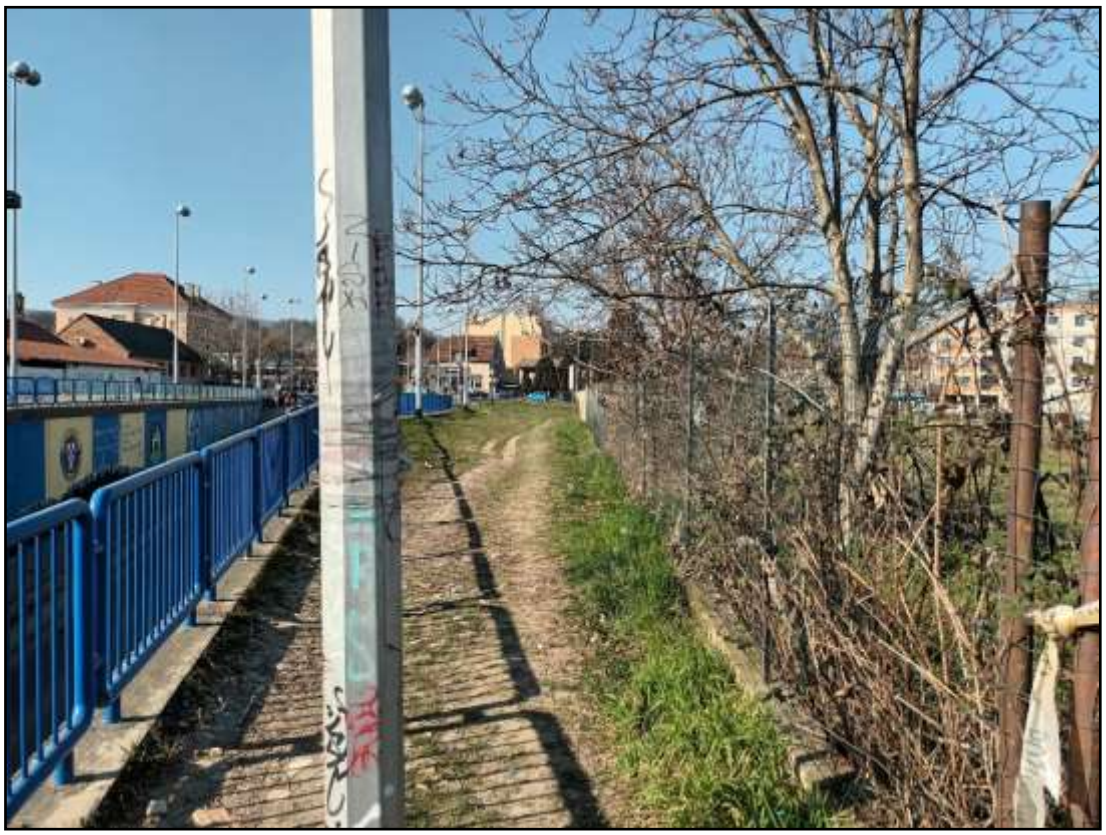
Slika 10. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera, istočno od ulice Oranice



Slika 11. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled prema sjeveru (ulica Ilica), istočno od ulice Oranice



Slika 12. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera u blizini pruge, istočno od ulice Oranice



Slika 13. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled od pruge prema sjeveru (ulica Ilica), istočno od ulice Oranice

2.2. Pregled objavljenih znanstvenih radova srodnih problematici ovog rada u prometnom sustavu

Brendan Ryan et al. u znanstvenom radu *Collecting evidence from distributed sources to evaluate railway suicide and trespass prevention measures* opisuju primjenu metode za identifikaciju i evaluaciju širokih preventivnih mjera za samoubojstvo u željezničkom prometu i smrtne slučajeve zbog neovlaštenih prelazaka preko pruge. Dokazi iz literature i industrijskih izvora prikupljeni su i pregledani u procesu u dvije faze kako bi se postigao konsenzus među stručnjacima o vjerojatnim učincima mjera i čimbenicima koji utječu na njihovu provedbu. Višekriterijska evaluacija korištena je za ispitivanje mjera iz različitih perspektiva. Ograđivanje, kampanje podizanja svijesti i različite vrste organizacijskih inicijativa preporučene su za daljnje testiranje. Kako je navedeno, ovo je prvi put da su međunarodno prikupljeni dokazi o takvom nizu preventivnih mjera. [2]

U sklopu studije *Prevention of railway trespassing by automatic sound warning - A pilot study* autora Veli Pekka Kallberg i Anne Silla obavljeno je terensko testiranje prevencije ilegalnih prelazaka preko pruge pomoću sustava zvučnih upozorenja. Terensko testiranje je provedeno na dvije lokacije u Finskoj gdje postoje „divlji prijelazi" na kojima je zabilježeno prosječno 18 prelazaka dnevno na svakoj lokaciji. Rezultati su pokazali smanjenje prelazaka na svakoj lokaciji na 44%. Zaključeno je da na lokacijama gdje postoje „divlji prijelazi" na kojima nije moguće postaviti zaštitnu ogradu, sustavi zvučnih upozorenja predstavljaju dobro rješenje za prevenciju ilegalnih prelazaka preko pruge. [3]

Projektiranje željeznice složeno je i usko povezano s ekološkim pitanjima navedeno je u znanstvenom radu *GIS-based multi-criteria railway design with spatial environmental considerations* autora Taoran Song et al. Kako bi se riješio ovaj problem, predložena je dvostupanjska metoda koja razmatra tri kategorije čimbenika okoliša (topografija, ekologija i geologija) i demonstrirana primjenom na stvarni slučaj u Kini. Prva faza usmjerena je na procjenu utjecaja na okoliš. Karta visinske pristupačnosti generira se određivanjem prostorno dostupnih raspona pruge željeznice. Zatim se tri kategorije čimbenika okoliša dijele na 12 podfaktora i analiziraju se njihovi prostorni odnosi sa željeznicama pomoću GIS-a. Nakon toga se izrađuje karta prikladnosti za okoliš kombiniranjem utjecaja ovih podfaktora uz korištenje višekriterijske analize. Druga faza usmjerena je na automatizirano projektiranje željeznice. Područje istraživanja najprije se sužava na temelju dvije karte kako bi se odredili izvedivi prostori za pretraživanje. Zatim se algoritam transformacije udaljenosti prilagođava traženju trasa željeznice. Tijekom pretraživanja integrirana je višekriterijska analiza kako bi se optimizirala rješenja za poravnanje. Na kraju se analiziraju rezultati primjene dvostupanjske metode. Rezultati otkrivaju da dvije karte vezane uz okoliš pružaju učinkovit opis područja istraživanja. Kroz usporedbe između računalno generirane željeznice i najbolje alternative koju su izradili iskusni projektanti, također se raspravlja o poboljšanjima korištene metode. [4]

U znanstvenom radu *Prevalence and dynamics of distracted pedestrian behaviour at railway level crossings: Emerging issues* autora Grégoire S. Larue i Christopher N.Watling promatrani su pješaci na cestovnim i željezničkim prijelazima u Australiji u gradu Brisbane. Zabilježene su razine distrakcije odnosno nedovoljno posvećene pažnje na promet oko njih. Distrakcije su kategorizirane u tri razine, a to su niska, srednja i visoka. Distrakcija izazvana korištenjem mobitela je bila najzastupljenija i iznosila je 41,9% od ukupnih distrakcija. Promatrani su pješaci koji su koristili mobitel samo prilikom čekanja na dopušteni prolaz kroz

raskrižje ili preko pružnog prijelaza i pješaci koji su nastavili koristiti mobitel prilikom same radnje prelaska kroz raskrižje ili preko pružnog prijelaza. [5]

U studiji pod nazivom *Improving the safety of distracted pedestrians with in-ground flashing lights. A railway crossing field study* autora Grégoire S. Larue et al. ocjenjivani su učinci LED dioda ugrađenih u podlogu na pružnom prijelazu zaštićenim mimoilaznom zaštitnom ogradom. LED diode se aktiviraju prilikom detektiranja ulaza pješaka na prijelaz. Ovo rješenje je namijenjeno kako bi se skrenula pozornost pješacima koji koriste mobitel sa mobitela prilikom prelaska na pružnom prijelazu te kako bi usmjerili pažnju na provjeru ima li vlakova koji prilaze prijelazu. Rezultati su se pokazali pozitivni jer su usmjeravali pažnju svih pješaka na potrebnu provjeru potencijalnih prilaska vlakova. [6]

Nasuprot sve manjem broju smrtnih slučajeva zbog sudara vlaka i vozila na prijelazima autocesta-željeznica, broj poginulih pješaka i biciklista na prijelazima pješačka staza-željeznica povećao se u zadnjih desetak godina navedeno je u *Pedestrian Safety at Rail Grade Crossings: Focus Areas* autora Paul Metaxatos i P.S. Sriraj. Dok su inženjerska rješenja i predložene su inicijative za obrazovanje i provedbu i implementirani, malo se zna o njihovoj učinkovitosti ublažavanja incidenata. Ovaj rad izvještava o podacima iz literature i podacima dobivenih razgovorom sa stručnjacima u javnom i privatnom sektoru uključenih u sigurnost željezničko – cestovnih prijelaza. [7]

Utvrđeno je da su glavna područja gdje su potrebna poboljšanja [7]:

- unaprjeđenje dosljednih standarda sustava i uređaja za upozorenje,
- unaprjeđenje dosljednih pristupa za upravljanje rizikom pješaka i biciklista,
- nastavak razvoja obrazovanja, inženjeringa i napori da dioničari odnosno upravitelji pruže adekvatna sredstva za održavanje i razvoj infrastrukture.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

Metode istraživanja koje se koriste u ovom diplomskom radu su:

- metoda analize,
- metoda deskripcije,
- metoda kompilacije,
- statistička metoda,
- matematička metoda,
- metoda studija slučaja,
- metoda promatranja,
- metoda brojanja i
- metoda mjerenja.

3.1. Metoda analize

Metoda analize je postupak znanstvenog istraživanja i objašnjenja stvarnosti putem raščlanjivanja složenih misaonih tvorevina (pojmova, sudova i zaključaka) na njihove jednostavnije sastavne dijelove i elemente i izučavanje svakog dijela (i elementa) za sebe i u odnosu na druge dijelove, odnosno cjeline. Ova metoda omogućuje uočavanje, otkrivanje i izučavanje znanstvene istine. Analiza je napredovanje od složenog ka jednostavnome. To je jedna od primjerenijih definicija, jer se kod definiranja analize pretpostavlja neka složena pojava koja se raščlanjuje na njezine činitelje, elemente, dijelove, aspekte. [8]

3.2. Metoda deskripcije

Metoda deskripcije je postupak jednostavnog opisivanja i ocrtavanja činjenica, procesa i predmeta u prirodi i društvu te njihovih empirijskih potvrđivanja odnosa i veza, ali bez znanstvenog tumačenja i objašnjavanja. Ova se metoda primjenjuje u početnoj fazi znanstvenog istraživanja, a ima veću vrijednost ako je jednostavno opisivanje povezano s objašnjenjima o uočenim važnijim obilježjima opisivanih činjenica, predmeta i procesa, njihovih zakonitosti i uzročnih veza i odnosa. Kvalitetan opis pojave koja se istražuje izravno upućuje istraživača u pravcu postavljanja osnovnih hipoteza i objašnjenja pojave koja se istražuje. Jednostavno opisivanje stvari ili pojava onako kako izgledaju ili kako su se događaji razvijali ne bi trebao biti cilj ove metode, kao što to ne bi trebao biti cilj ni znanstvenog istraživanja općenito, jer je za znanost važno utvrditi uzroke i posljedice takvih stvari i pojava, kako bi se na temelju takvih rezultata mogle odrediti znanstvene činjenice, stavovi, zaključci, zakoni, teorije. [8]

3.3. Metoda kompilacije

Metoda kompilacije je postupak preuzimanja tuđih rezultata znanstveno-istraživačkog rada, odnosno tuđih opažanja, stavova, zaključaka i spoznaja. Ova se metoda, dakle, temelji na oponašanju drugih, pri čemu se često preuzimaju dijelovi tuđih radova. U stvari, kompilacija je nesamostalno iz više djela sastavljeno literarno djelo. Kompilacija ponekad prelazi u plagijat za što plagijator snosi odgovarajuće sankcije. Zbog toga što pojedini autori svojim radovima ne citiraju tuđa zapažanja, stavove i zaključke, odnosno izvode iz tuđih djela, kompilacija je najčešće pod udarom kritike. Međutim, metoda kompilacije može se vrlo korisno upotrijebiti u kombinaciji s drugim metodama u znanstveno-istraživačkom radu, tako da djelo nosi u što većoj mjeri osobni pečat autora kompilatora, koji će, uz osobni pristup

pisanju znanstvenog ili stručnog djela korektno i na uobičajen način citirati sve ono što je od drugih preuzeo. [8]

3.4. Statistička metoda

Statistička metoda je u dvadesetom stoljeću postala jedna od najvažnijih znanstvenih metoda. Ovu metodu s pravom nazivaju opće znanstvenom metodom, jer se vrlo često koristi u znanstveno-istraživačkom radu u svim znanstvenim područjima i znanstvenim disciplinama. O statistici odnosno statističkoj metodi postoji brojna literatura i više definicija te znanstvene metode. U ovom djelu spominju se samo dvije definicije, koje, ne ulazeći u dublju kritičku kvalitativnu analizu tih definicija, odražavaju suštinu te značajne znanstvene metode. Prema Serdaru: „Statistika je znanost o metodama za istraživanje masovnih pojava s pomoću brojčanog izražavanja.“ Na sličan način, ali mnogo kompleksnije Čaval definira tu metodu, i to: „Statistika je znanost o metodama pomoću kojih analiziramo pojave koje nas okružuju, tako da pomoću grafikona i izračunatih pokazatelja otkrivamo njihove strukture, karakteristike i zakonitosti u pojedinim vremenskim intervalima te uzročno-posljedične veze između tih pojava.“ [8]

Statistika se kao znanstvena metoda vrlo brzo razvija, tako da se gotovo svakodnevno javljaju nove statističke metode (statistički postupci) koje korištenjem suvremene računalne opreme (hardvera) i suvremenih programa (softvera) omogućuju obavljanje najsuptilnijih analiza, odnosno rješavanje vrlo kompleksnih predmeta znanstvenog istraživanja. S obzirom na brojne specifičnosti pojedinih znanstvenih područja, odnosno znanstvenih disciplina i vrstu pojave značajke i obilježja kojih se utvrđuju statističkim metodama u novije vrijeme počele su se razvijati, u većoj ili manjoj mjeri, i pojedine specijalističke, aplikativne statističke metode, koje su primjerene pojedinim znanstvenim područjima i njihovim disciplinama. Tako, na primjer, postoji statistika u ekonomskim i društvenim istraživanjima, statistika u prometu, statistika u medicini, itd. [8]

Elaborirajući bitne momente statističke metode Šešić navodi šest relativno različitih kompleksnih bitnih momenata, i to [8]:

1) Izbor i utvrđivanje statističke mase kao predmeta primjene statističke metode i prikupljanje podataka i informacija o jedinicama statističke mase.
2) Grupiranje podataka prema odabranim statističkim značajkama: prema spolu, vrsti djelatnosti, godinama starosti, udaljenosti u km, iznosu plaća po godinama unutar promatranog razdoblja ili po mjesecima, itd.
3) Statistička analiza, odnosno faza primjene statističke metode.
4) Tabelarno i grafičko predstavljanje statističkih serija i matematičkih funkcija.
5) Ocjena ili sud o odabranoj karakteristici cijele skupine, na temelju podataka o jedinicama iz uzorka, kao jednom od najvažnijih metodskih postupaka statističke metode uzoraka.
6) Izvođenje općih zaključaka, tumačenje rezultata statističke analize i postavljanja hipoteza o zakonitosti masovnih pojava.

Ispitivanje dijela skupa na temelju slučajnog izbora jedinica naziva se metoda uzorka. Relevantne informacije o statističkoj masi mogu se dobiti na temelju djelomičnog ispitivanja relativno malog broja slučajno odabranih jedinica iz statističkog skupa koji se naziva uzorkom. Osnovni cilj obrade podataka iz uzorka, odnosno njegove analize sastoji se u tome da se, primjenom statističkih metoda, ocijene nepoznati parametri statističkog skupa iz kojeg je

uzorak izabran, ili da se na temelju podataka o jedinicama iz uzorka provjeri istinitost nekih pretpostavki (hipoteza) o određenoj karakteristici osnovnog skupa. [8]

Kod primjene metode uzorka posebnu pažnju treba posvetiti [8]:

1) načinu izbora skupa, koji se može izvršiti bez raščlanjivanja osnovnog skupa (npr. jednostavni izbor bez ponavljanja i jednostavan izbor s ponavljanjem), i sa raščlanjivanjem osnovnog skupa (npr. tipski, sustavni i serijski izbor);
2) statističkoj ocjeni na temelju uzorka, pri čemu treba praviti razliku između reprezentativnog statističkog suda (npr. ocjena aritmetičke sredine osnovnog skupa i ocjena sastava osnovnog skupa) i sadržavajućeg statističkog suda i
3) statističkim testovima na temelju uzorka.

U znanstveno-istraživačkom radu vrlo se često primjenjuje grafičko prikazivanje statističkih podataka, jer se raznim vrstama grafičkih prikaza mogu zamijeniti opširne deskripcije, a brojne složenije pojave reljefnije i zornije prikazati. Iz podataka najbolje konstruiranih tablica obično nije moguće brzo, sigurno i kvalitetno uspoređivanje dviju ili više pojava. Da bi se brojčani podaci, prikazani u tablicama, učinili shvatljivim, jasnim i pristupačnim, statistika te podatke prikazuje u obliku grafikona. Grafičkim prikazivanjem statističkih podataka omogućuje se interpretacija rezultata statističkog istraživanja. Ima više načina grafičkog prikazivanja rezultata znanstveno-istraživačkog, odnosno statističkog rada, koji ovise o vrstama osnovnih obilježja i prirode određenih pojava i cilja znanstvenog istraživanja. [8]

Međutim, svi se oni mogu sistematizirati u četiri skupine, i to [8]:

1) Grafičko prikazivanje strukture pojava. Za grafičko prikazivanje strukture određene homogene statističke mase, koja se promatra neovisno o drugim pojavama najčešće se upotrebljavaju: stupci i strukturni krugovi. Histogrami ili stupci mogu biti jednoistavni, razdijeljeni, dvostruki ili višestruki. Strukturni krugovi upotrebljavaju se kada se želi prikazati struktura određene pojave kao cjeline. Površina kruga predstavlja pojavu u cjelini, a pojedini dijelovi kruga (isječci) predstavljaju njene sastavne dijelove. Da bi se krug podijelio na dijelove, potrebno je izračunati koliko stupnjeva u krugu zauzimaju odgovarajući dijelovi mase.
2) Grafičko prikazivanje kretanja statističke mase. Kretanje statističke mase najčešće se prikazuje pomoću: linijskih dijagrama i polarnih krugova. Linijski dijagrami jesu takvi grafički prikazi u kojima se prikazuje dinamika statističke mase crtama. Vrste linijskih dijagrama jesu: linijski dijagram s aritmetičkim mjerilom ili logaritamskim mjerilom na ordinati koordinatnog sustava. Polarni dijagram (polarna mreža) služi za grafičko prikazivanje sezonskih i cikličkih varijacija vremenskih serija. Konstruira se pomoću polarnog koordinatnog sustava na taj način što kut predstavlja vrijeme, a polumjer intenzitet pojave.
3) Grafičko prikazivanje prostornog razmještaja statističke mase. Prostorni (teritorijalni) razmještaj jedne ili više pojava najčešće se prikazuje kartogramima. Kartogrami imaju ograničenu uporabu u statistici, jer služe samo za prikazivanje geografskih serija.
4) Grafičko prikazivanje razdioba frekvencija. Svaki raspored frekvencija može se prikazati grafički u obliku: histograma frekvencija, poligona frekvencija ili krivulje frekvencija.

3.5. Matematička metoda

Matematička metoda je znanstveni sustavni postupak koji se sastoji u primjeni matematičke logike, matematičkih formula, matematičkih simbola i brojnih matematičkih operacija i uopće matematičkog načina zaključivanja u znanstveno-istraživačkom radu. Ta se metoda može primjenjivati u svim znanstvenim područjima i znanstvenim disciplinama (i subdisciplinama). U znanstveno-istraživačkom radu posebice se primjenjuju ekonometrijske metode i matematički modeli i metode simulacije. Metode simulacije omogućuju, posebice uporabom suvremenih računala, teorijsko oponašanje pojava i procesa u stvarnosti kako bi se između velikog broja mogućih rješenja konzistentno pronašlo u datim uvjetima ono najpovoljnije. [8]

3.6. Metoda studija slučaja

Studij slučaja je postupak kojim se izučava neki pojedinačni slučaj iz određenog znanstvenog područja (npr. ekonomije, prava, geografije, tehnologije prometa itd.). Ova metoda nije u pravom smislu riječi znanstvena, ona je samo prva faza u znanstvenoj metodi, jer se samo na temelju rezultata promatranja više slučajeva mogu izvući određene zakonitosti. [8]

3.7. Metoda promatranja

Prema Žugaju promatranje (opažanje) je prva i osnovna metoda svakog znanstveno-istraživačkog rada, njime se na izravan način istraživač upoznaje s predmetom, pojavama i procesima. Pomoću te metode prikupljaju se podaci i informacije o činjenicama, pojavama i procesima, te se upoznaju odnosi i veze među njima. Prema tome, promatranje predstavlja temeljnu i važnu pretpostavku za istraživanje i otkrivanje objektivnih spoznaja, stavova, zakona i teorija o pojavama i procesima. Organiziranim i sistematskim promatranjem istražuju se i otkrivaju pozitivni i negativni utjecaji pojedinih činitelja i uvjeta, kao i objektivne i subjektivne smetnje i prednosti činitelja i uvjeta. Takvo promatranje omogućuje izučavanje važnih pitanja. [8]

3.8. Metoda brojanja

Brojanje je metodski postupak kojim se utvrđuje broj elemenata ili članova nekog skupa ili klase. Ono nije moguće u okviru kontinuiranih cjelina, nego samo tamo gdje ima više različitih predmeta. Brojanje je moguće samo u znanstvenom istraživanju skupova u kojima ima sličnih predmeta. U rezultatu brojanja zanemarene su kvalitativne razlike među predmetima koji čine neki skup, a ostaje samo njihov broj. Da bi se moglo obaviti prebrojavanje skupina, potrebno je da se skupine jasno razlikuju. Metoda brojanja može se upotrebljavati u svim znanstvenim područjima i svim znanstvenim disciplinama bilo kao samostalna metoda bilo u kombinaciji s drugim znanstvenim metodama. [8]

Brojanje prometa vrši se zbog određivanja opterećenja pojedinih prometnica i određivanja vrsta vozila na prometnicama te smjerovi kretanja vozila, odnosno, za određivanje strukture prometnog toka, broja pješaka, biciklista i vremensku razdiobu opterećenja. Brojanje prometa služi kao početna faza za planiranje prometa. Kao izlazni rezultat dobiva se uvid u postojeće stanje prometa na prometnicama, isto tako dobiveni podaci upućuju na predlaganje novih rješenja za poboljšanje odvijanja prometa i prometnog sustava u cjelini. Brojanje prometa potrebno je provoditi zbog prometnog i urbanističkog planiranja, planiranja prometne mreže nekog većeg područja ili oblikovanje prometnih

čvorova te zbog rekonstrukcije postojeće prometne mreže ili izgradnje novih prometnih pravaca. [9]

Neke od prednosti koje donosi brojanje prometa su: mogućnost dobivanja rezultata o broju vozila, strukturi prometnog toka, smjerovima kojima se vozila kreću unutar raskrižja, brojači mogu zapaziti određene anomalije prilikom brojanja i zabilježiti ih (prometne nesreće, kvar semafora, kvarovi na branicima i polubranicima i sl.), a obrasci se lako koriste pri daljnjoj obradi podataka, relativno niski troškovi brojanja ako se radi o brojanju u kraćem vremenskom periodu. [9]

3.9. Metoda mjerenja

Brojanje i mjerenje osnova su za sva mjerljiva istraživanja, a susreću se u svim područjima i djelatnostima ljudskog stvaralaštva: u proizvodnji, prometu, tokovima roba, kapitala, znanja i drugih odnosa među ljudima. Mjerenje je jedan od najvažnijih postupaka za prikupljanje, verifikaciju i analizu podataka. Rezultati mjerenja su u pravilu, znanstveni podaci. Mjerenje se može definirati kao metodski postupak kojim se uz pomoć nekog instrumenta utvrđuje brojčana vrijednost nekog ekstenzivnog svojstva. Ili, mjerenje je uspoređivanje dvije istovrsne veličine, tako da se utvrdi njihov omjer. [8]

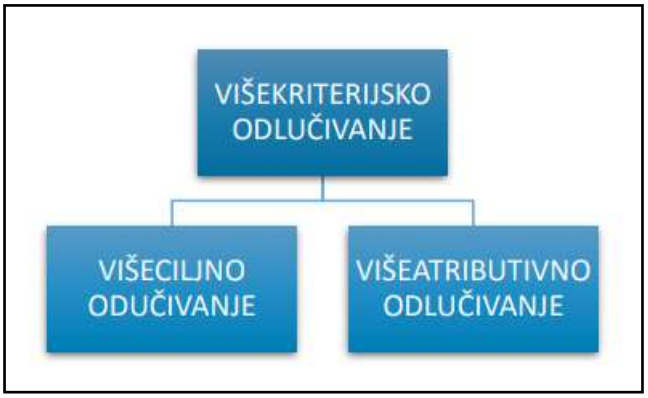
3.10. Višekriterijsko odlučivanje

Donošenje odluka odnosno odlučivanje prisutno je u svim područjima ljudske aktivnosti, a predstavlja rezultat odabira između više mogućih odluka na raspolaganju odnosno varijanata. Proces donošenja odluke u uskoj je vezi s procesom optimizacije, čiji je osnovni zadatak odabrati najbolje rješenje iz niza mogućih ili povoljnih s obzirom na usvojeni kriterij, pa se prema tome optimizacija može definirati kao složen proces dolaženja do rješenja. Donošenje odluka u prometu temelji se na rezultatima ocjene predloženih varijanata projekta. [10]

Višekriterijsko odlučivanje predstavlja proces optimizacije jedne ili više funkcija cilja na skupu mogućih rješenja. Višekriterijski problemi (u usporedbi s jednokriterijskim problemima) podrazumijevaju postojanje [11]:

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

Slika 14 prikazuje podjelu višekriterijskog odlučivanja koje se dijeli na višeciljno odlučivanje i višeatributivno odlučivanje.



Slika 14. Podjela višekriterijskog odlučivanja, [11]

3.10.1. Višeciljno odlučivanje

Model višeciljnog odlučivanja je primjeren za "dobro strukturirane" probleme (engl. well-structured problems). Dobro strukturirani problemi su oni kod kojih je poznato sadašnje stanje i željeno konačno stanje (ciljevi) kao i način postizanja željenog stanja. Model obuhvaća beskonačan ili vrlo velik broj varijanti rješenja koje nisu eksplicitno poznate na početku, postoje ograničenja, a do najbolje varijante se dolazi rješavanjem matematičkog modela. U metode višeciljnog odlučivanja se ubrajaju: metoda globalnog kriterija, metoda s funkcijom korisnosti, varijante leksikografske metode, ciljno programiranje (engl. Goal Programming, GP), metoda postizanja cilja, interaktivno ciljno programiranje, SWT (Surrogate Worth Trade-off metoda), metoda zadovoljavanja ciljeva, STEM (STEp Method), SEMOPS (SEquential MultiObjective Problem Solving), SIGMOP (Sequential Information Generator for Multi-Objective Problems), GPSTEM (Goal Programming STEM), parametarske metode, metoda Geoffriona i dr. [12]

3.10.2. Višeatributivno odlučivanje

Model višeatributivnog odlučivanja ili višekriterijske analize (engl. multi-critera analysis, MCA) primjeren je za „loše strukturirane“ probleme (engl. ill-structured problems). Loše strukturirani problemi su oni kod kojih su ciljevi vrlo složeni, često nejasno formulirani, postoje brojne neizvjesnosti, a priroda promatranog problema postupno se mijenja tijekom njegovog rješavanja. Slaba strukturiranost onemogućuje dobivanje jednoznačnog rješenja. Uzroci nejednoznačnosti potječu od ciljne strukture, koja je složena i izražena različitim kvantitativnim i kvalitativnim mjernim jedinicama. Posljedica slabe strukturiranosti problema su višedimenzionalni kriteriji za vrednovanje rješenja, te promjenjiva ograničenja. Model obuhvaća konačan broj varijanti rješenja koje su poznate na početku. Problem se rješava pronalaskom najbolje varijante ili skupa dobrih varijanti u odnosu na definirane atribute/kriterije i njihove težine. [12]

U metode višekriterijske analize ubrajaju se: metoda dominacije, maxmin, minmax, konjuktivna i disjunktivna metoda, leksikografska metoda, metoda jednostavnih aditivnih težina (engl. Simple Additive Weighting, SAW), metoda hijerarhijskih aditivnih težina, metoda višeatributivne teorije korisnosti/vrijednosti (engl. Multi Attribute Utility/Value Theory, MAUT/MAVT), ELECTRE (ELimination and (Et) Choice Translating REality), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), hijerhijska trade-off metoda, LINMAP (Linear Programming Techniques fom Multidimensional Analysis of Preference), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), AHP (Analytic Hierarchy Process), VIKOR (višekriterijsko kompromisno rangiranje) i dr. [12]

3.10.3. Metoda Analitičkog hijerarhijskog procesa

Utemeljitelj metode Analitičkog hijerarhijskog procesa ili AHP metode je Thomas L. Saaty (1926. – 2017.). Radio na nekoliko američkih sveučilišta (Katz Graduate School of Business, University of Pittsburgh, Ph.D. Mathematics Yale University, the Wharton School, University of Pennsylvania) te je napisao je više od 300 znanstvenih radova i 33 knjige iz područja matematike, operacijskih istraživanja i donošenja odluka.

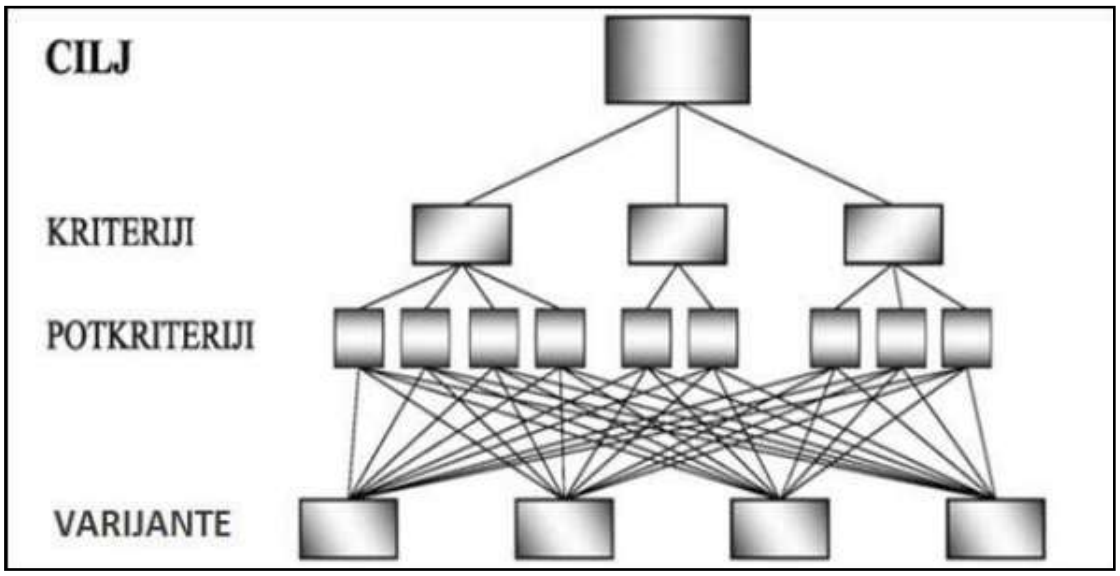
AHP metoda se koristi u cilju rješavanja kompleksnih problema odlučivanja, kada postoji veći broj kriterija. Jedna je od najpoznatijih i najčešće korištenih metoda donošenja odluke, odnosno metoda za višekriterijsku analizu. Osnovna prednost ove metode očituje se u mogućnosti prilagodbe donositelja odluke 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. [10]

Postupak rješavanja problema primjenom AHP metode [10]:

- 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 i
- odabir najbolje varijante.

Slika 15 prikazuje hijerarhijsku strukturu AHP modela.



Slika 15. Hijerarhijska struktura AHP modela, [10]

Nakon postupka strukturiranja problema slijedi drugi korak, koji podrazumijeva usporedbu parova atributa na svakoj hijerarhijskoj razini (kriterija, potkriterija, varijanata), u ovisnosti o svakom atributu više razine (donositelj odluke dodjeljuje ocjene svakom pojedinom paru atributa na svakoj hijerarhijskoj razini). Međutim, nije dovoljno definirati samo preferenciju varijante, nego je potrebno odrediti i težinu preferencije. Prema Saatyu postoji: slaba, jaka, vrlo jaka i apsolutna prednost. To su opisne preferencije kojima se pridružuje odgovarajuća numerička skala. Kod AHP metode koriste se omjerne skale. Najpoznatija je tzv. Saatyjeva skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja. Svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko se puta veća prednost (prioritet) daje jednoj alternativi u odnosu na drugu, a pri uspoređivanju kriterija koliko je puta jedan kriterij važniji od drugog. Kriteriji se međusobno uspoređuju u parovima u odnosu na to koliko puta je jedan od njih važniji za mjerenje postizanja cilja od drugog, dok se alternative međusobno uspoređuju u parovima po svakom od kriterija procjenjujući u kojoj mjeri se po tom kriteriju

jednoj od njih daje prednost u odnosu na drugu. Tablica 1 prikazuje Saaty-evu skalu intenziteta važnosti. [10]

Neovisno o odabranoj skali, uspoređivanje u parovima mora zadovoljavati dva osnovna principa [10]:

- Recipročnost – donosi odluke mora biti u stanju uspoređivati parametre i iskazati snagu svojih prioriteta.
- Homogenost – prioriteti su predstavljeni ograničenom skalom.

Nakon što su u prethodnom koraku, odnosno u svakom čvoru hijerarhijske strukture, pomoću Saaty-eve skale procijenjene relativne važnosti elemenata pojedine razine hijerarhijske strukture problema, slijedi izračunavanje lokalnih prioriteta (težina) kriterija, potkriterija i varijanata, koji će se u konačnici sintetizirati u ukupne prioritete varijanata. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema izračunaju se lokalne težine kriterija i potkriterija, a na posljednjoj razini prioriteti varijanata. Ukupni prioriteti varijanata izračunaju se na način da se njihovi lokalni prioriteti ponderiraju s težinama svih čvorova kojima pripadaju gledajući od najniže razine u hijerarhijskom modelu prema najvišoj i zatim zbroje. Slijedi provjera konzistencije, pri čemu se računa indeks konzistencije CI, a zatim i omjer konzistencije CR. Ako je RI prosječna vrijednost konzistencije za slučajno odabrane matrice, tada se omjer konzistencije CR računa kao omjer indeksa konzistencije i prosječne vrijednosti konzistencije. RI je slučajni indeks, indeks konzistencije za matrice reda n slučajno generiranih usporedbi u parovima - koristi se tablica s izračunatim vrijednostima.

Tablica 1. Saaty-eva skala važnosti, [10]

Intenzitet važnosti	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 strogo važnije	Jedan atribut izrazito se favorizira u odnosu na drugi.
9	Ekstremno važnije	Favorizira se jedan atribut u odnosu na drugi s najvećom uvjerljivošću.
2,4,6,8	Međuvrijednosti	Vrijednosti kompromisa među odgovarajućim susjednim vrijednostima.

Tablica 2 prikazuje prethodno spomenutu tablicu s izračunatim vrijednostima. Ako za matricu A vrijedi CR ≤ 0,10, procjene omjera relativnih važnosti kriterija (prioriteta varijanti) smatraju se prihvatljivima. U suprotnom treba istražiti razloge zbog kojih je inkonzistencija procjena neprihvatljivo visoka/niska. Zaključno se određuje konačni, ukupni vektor prioriteta težina sintezom svih vektora težina. Posljednji korak predstavlja provedbu analize osjetljivosti,

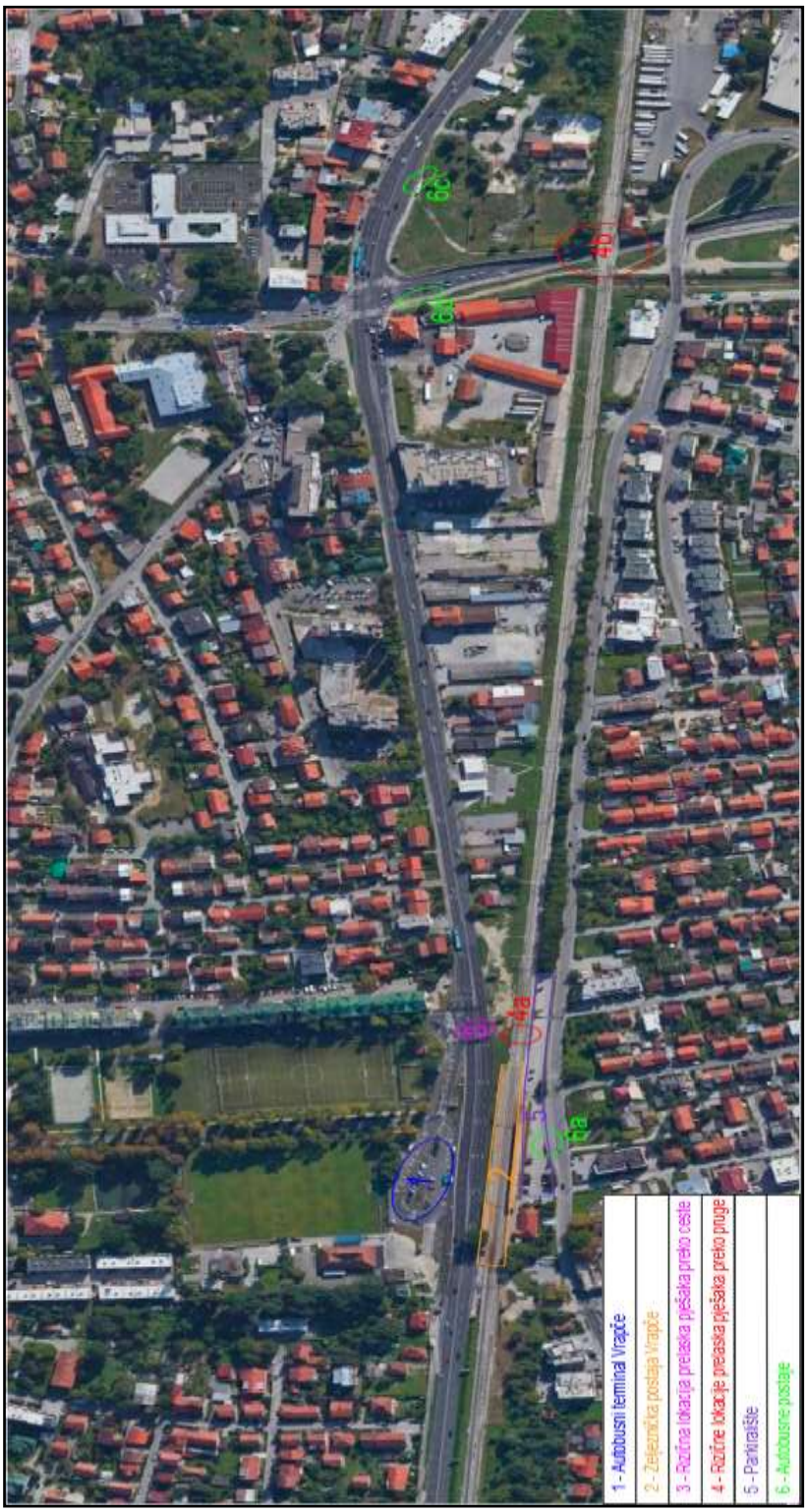
kako bi se vidjelo u kojoj se mjeri promjene ulaznih podataka odražavaju na ukupne prioritete varijanata. [10]

Tablica 2. Izračunate vrijednosti RI za n usporedbi, [10]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

4. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

Analiza postojećeg stanja služi za prikazivanje postojećeg stanja nakon obavljene analize istog. Slika 16 prikazuje gravitacijsko područje s označenim bitnim elementima kao što su lokacija autobusnog terminala Vrapče, željezničke postaje Vrapče, rizične lokacije prelaska pješaka preko pruge i ceste, parkiralište i autobusne postaje.



Slika 16. Prikaz gravitacijskog područja s označenim bitnim elementima

Slika 17 prikazuje autobusni terminal Vrapče. Slika 18 prikazuje željezničku postaju Vrapče.

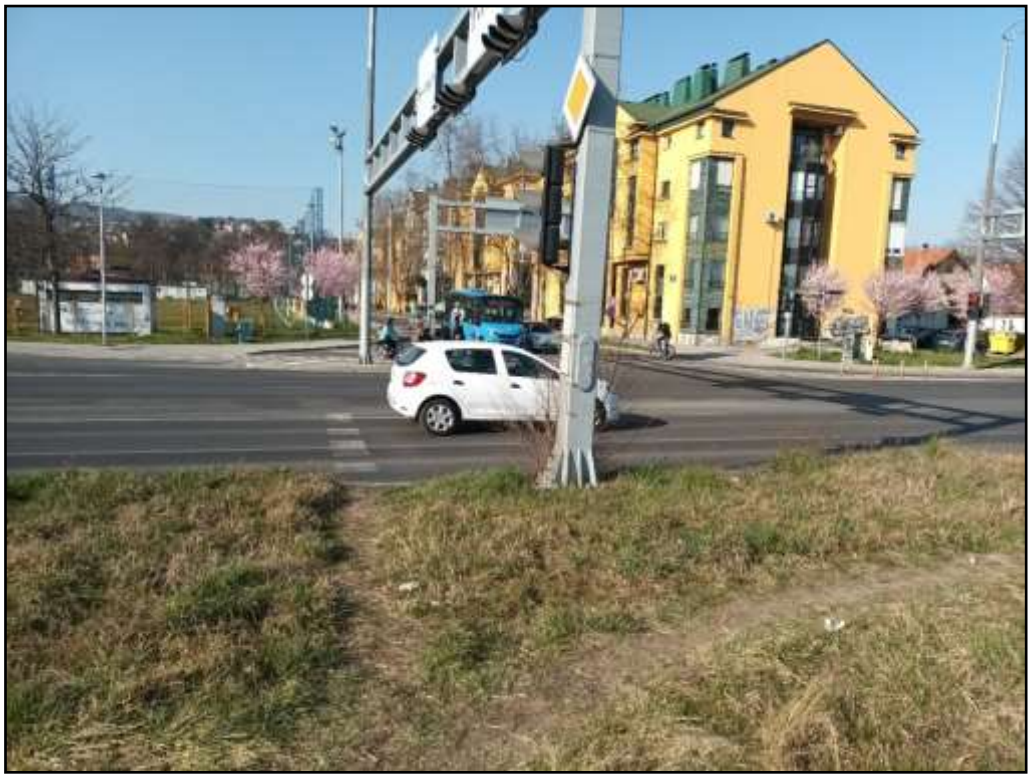


Slika 17. Autobusni terminal Vrapče (1)



Slika 18. Željeznička postaja Vrapče (2)

Slika 19 prikazuje rizičnu lokaciju prelaska pješaka preko ceste, a to je raskrižje Ulice Ilica i Ulice Majke Terezije i ulice Aleja Bologne. Slika 20 i 21 prikazuju rizične lokacije prelaska pješaka preko željezničke pruge državna granica – Savski Marof – Zagreb Glavni kolodvor (službeno: Željeznička pruga M101).



Slika 19. Rizična lokacija prelaska pješaka preko ceste (3)



Slika 20. Rizična lokacija prelaska pješaka preko pruge (4a)



Slika 21. Rizična lokacija prelaska pješaka preko pruge (4b)

Slika 22 prikazuje parkiralište koje se nalazi uz željezničku postaju Vrapče. Slika 23, 24 i 25 prikazuju autobusne postaje koje se nalaze unutar gravitacijskog područja.



Slika 22. Parkiralište (5)



Slika 23. Autobusna postaja Vrapče – želj. stanica (6a)



Slika 24. Autobusna postaja Vrapčanska (6b)



Slika 25. Autobusna postaja Vrapčanska (6c)

4.1. Analiza postojeće prometne infrastrukture

Postojeća prometna infrastruktura namijenjena prometovanju pješaka postoji, ali nije u optimalnom stanju. Na obje promatrane lokacije gdje nastaju ilegalni prijelazi postoji infrastruktura koja omogućuje pješacima siguran prijelaz preko pruge izvan razine, odnosno u blizini obje lokacije postoji pothodnik.

Pothodnik na istočnoj lokaciji je izveden kao jednostavan pothodnik u obliku pješačke staze koja je nivelacijski i ogradom odvojena od kolnika za promet vozila i stepenica na ulazu/izlazu broj 2, a na prijelazu sa stepenica na pješačku stazu nalaze se ogledala zbog biciklista koji prilaze velikim brzinama s obje strane zbog nagiba. U slučaju da svi pješaci i biciklisti koje prelaze preko pruge koriste pothodnik, upitno je hoće li kapacitet pothodnika biti dovoljan. Slika 26 crvenom bojom prikazuje pružanje pothodnika na istočnoj lokaciji s označenim lokacijama ulaza/izlaza u ili iz pothodnika zelenom bojom. Ograda i rukohvati na ulazu/izlazu broj 2 su oštećeni i ne postoji rampa ili dizalo što znači da nije pristupačno za bicikliste, električne romobile, osobe s invaliditetom, osobe smanjenje pokretljivosti i osobe s dječjim kolicima. Slika 27 prikazuje stanje ulaza/izlaza broj 2 na istočnoj lokaciji.

Korištena kratica UI na slikama 26 i 28 označava ulaz/izlaz koji omogućuje pristupanje pothodniku, a kratice R1 i R2 na slici 28 označavaju rampe.

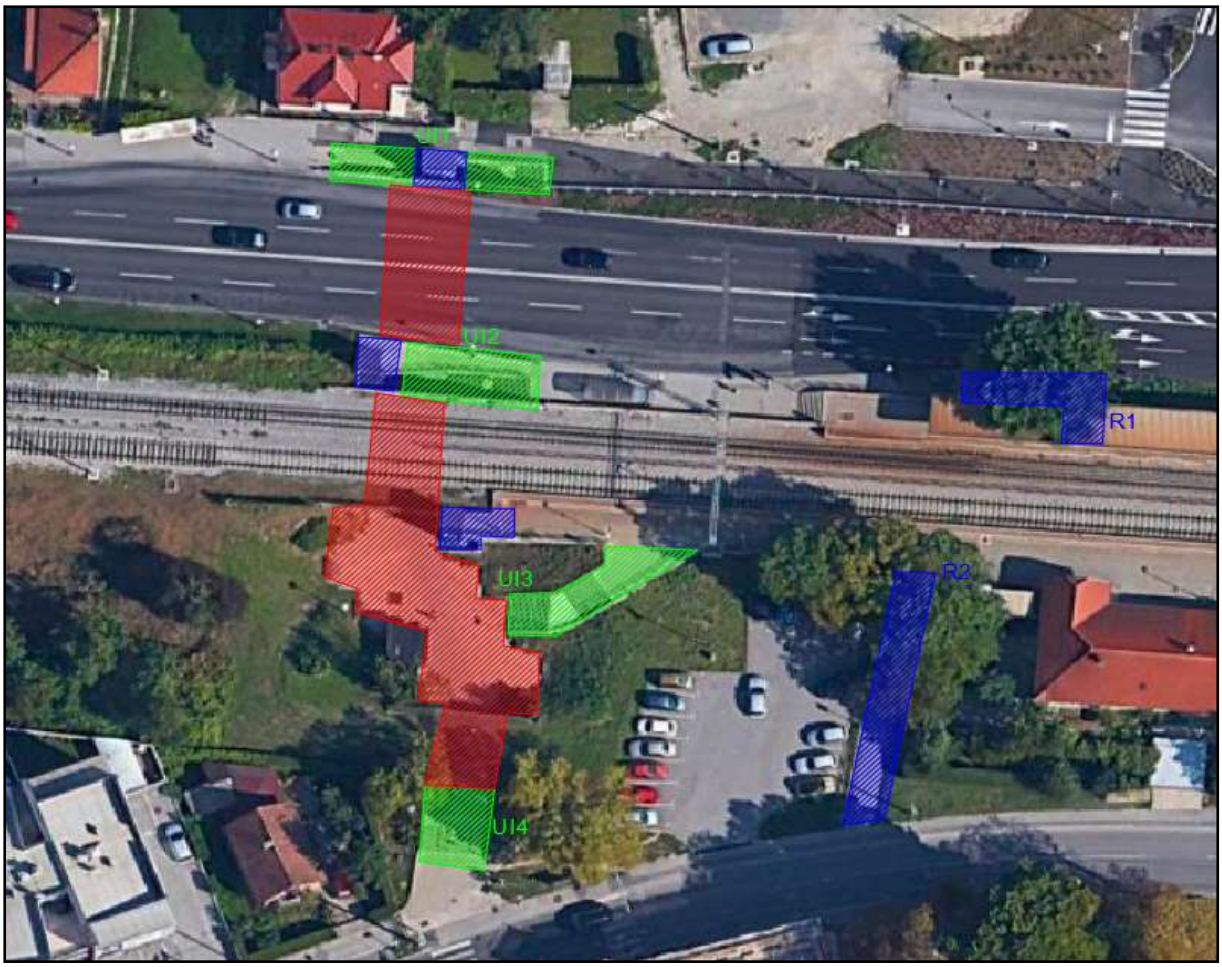


Slika 26. Pothodnik na istočnoj lokaciji



Slika 27. Ulaz/izlaz broj 2 pothodnika na istočnoj lokaciji

Pothodnik u blizini zapadne lokacije gdje nastaju ilegalni prijelazi preko pruge je u dobrom stanju i dovoljnog kapaciteta za prometnu potražnju pješaka na toj lokaciji. Slika 28 crvenom bojom prikazuje pružanje pothodnika na zapadnoj lokaciji, zelenom bojom su označene stepenice koje omogućuju ulaz/izlaz u ili iz pothodnika i plavom bojom su označena mjesta gdje se nalaze dizala ili rampe (R1 i R2) kako bi se postigla pristupačnost za osobe s invaliditetom, osobe smanjene pokretljivosti, osobe s dječjim kolicima, bicikliste i električne romobile. Slika 29 prikazuje prethodno navedene rampe te stalak za bicikle uz nadstrešnicu. Ulaz/izlaz 1, 2 i 3 su izvedeni kao stepenice uz koje se na površini nalazi ograda, a uz stepenice se pružaju rukohvati. Na svakom od navedenih ulaza/izlaza nalazi se dizalo. Slika 30, 31 i 32 prikazuju prethodno navedene ulaze/izlaze. Ulaz/izlaz 4 izveden je kao stepenice sa rukovatima na rubnim stranama stepenica i u sredini. Svaki ulaz/izlaz je primjereno obilježen pločama obavijesti koje su vidljive na slikama 30-33. Slika 33 prikazuje ulaz/izlaz broj 4 pothodnika na zapadnoj lokaciji. Svaki ulaz/izlaz te prateće ograde i rukohvati su u dobrom stanju. Nedostatak pothodnika je noćna rasvjeta te mnoštvo iscrtanih grafita i natpisa po zidovima pothodnika što može rezultirati strahom i nelagodom korisnika pothodnika odnosno pješaka. Slika 34 prikazuje glavni problem zbog kojeg nastaju ilegalni prijelazi preko pruge na zapadnoj lokaciji, a to je sama udaljenost od zapadne lokacije na kojoj nastaju ilegalni prijelazi do pothodnika koja iznosi 250 metara.



Slika 28. Pothodnik na zapadnoj lokaciji



Slika 29. Rampa R1 (lijevo) i rampa R2 (desno)



Slika 30. Ulaz/izlaz broj 1 pothodnika na zapadnoj lokaciji



Slika 31. Ulaz/izlaz broj 2 pothodnika na zapadnoj lokaciji



Slika 32. Ulaz/izlaz broj 3 pothodnika na zapadnoj lokaciji



Slika 33. Ulaz/izlaz broj 4 pothodnika na zapadnoj lokaciji



Slika 34. Udaljenost od zapadne lokacije na kojoj nastaju ilegalni prijelazi preko pruge do pothodnika

4.2. Analiza prometnih tokova

Za potrebe analize prometnih tokova ulazni podaci se prikupljaju brojanjem prometa. Brojanje prometa je obavljeno na dvije lokacije koje su označene crvenom bojom na slici 18. Prikupljeni podaci sastoje se od broja pješaka koji ilegalno prelaze prugu na obje lokacije, broja pješaka koji koriste pothodnik na istočnoj lokaciji kako bi prošli na drugu stranu pruge (legalno prelaze prugu) i broja vlakova koji prometuju. Prikupljanje podataka na zapadnoj lokaciji obavljeno je ručno 28. travnja 2022. u jutarnjem vršnom satu u terminu od 7:00 do 9:00 sati, u izvanvršnom satu u terminu 12:00 do 13:00 sati i u popodnevnom vršnom satu u terminu od 19:00 do 21:00 sati. Prikupljanje podataka na istočnoj lokaciji obavljeno je ručno 29. travnja 2022. u jutarnjem vršnom satu u terminu od 7:00 do 9:00 sati, u izvanvršnom satu u terminu 12:00 do 13:00 sati i u popodnevnom vršnom satu u terminu od 19:00 do 21:00 sati. Tablica prikazuje rezultate brojanja prometa na zapadnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu.

Tablica 3. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu

Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/2h
Sjever-Jug	14
Jug-Sjever	8
Smjer prometovanja	Vlak/2h
Zapad-Istok	12
Istok-Zapad	8

Tablica 4 prikazuje rezultate brojanja prometa na zapadnoj lokaciji u izvanvršnom satu. Tablica 5 prikazuje rezultate brojanja prometa na zapadnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu. Tablica 6 prikazuje rezultate brojanja prometa na istočnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu. Tablica 7 prikazuje rezultate brojanja prometa na istočnoj lokaciji u izvanvršnom satu. Tablica 8 prikazuje rezultate brojanja prometa na istočnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu.

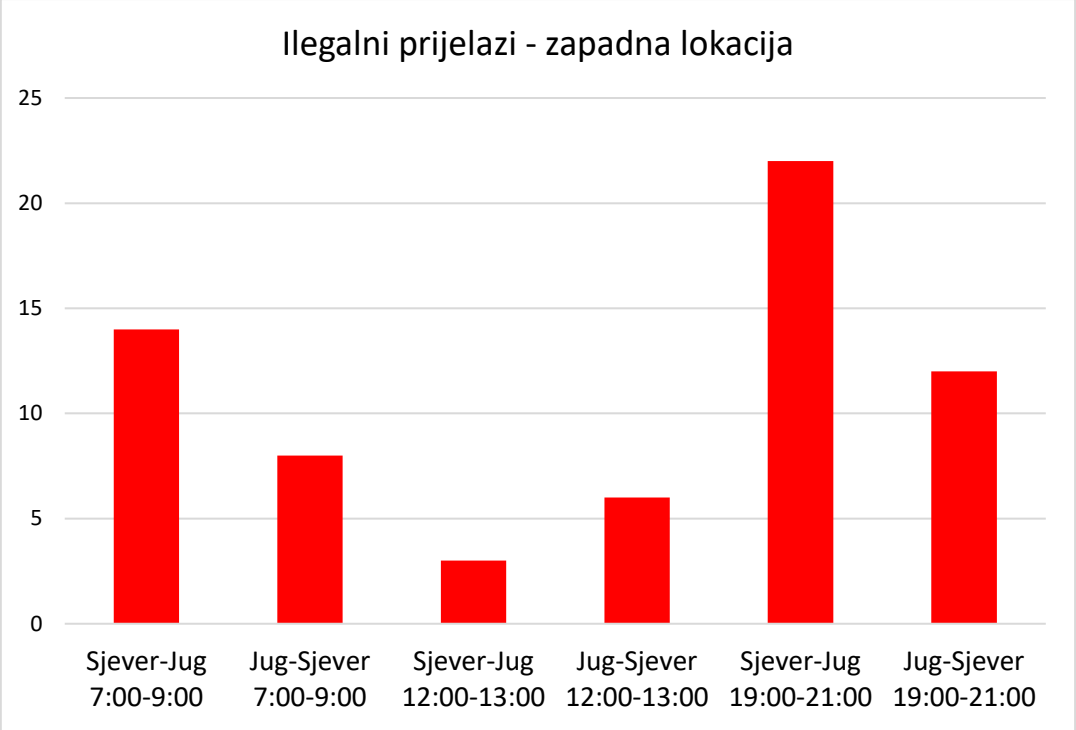
Tablica 4. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u izvanvršnom satu

Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/h
Sjever-Jug	3
Jug-Sjever	6
Smjer prometovanja	Vlak/h
Zapad-Istok	4
Istok-Zapad	4

Tablica 5. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu

Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/2h
Sjever-Jug	22
Jug-Sjever	12
Smjer prometovanja	Vlak/2h
Zapad-Istok	8
Istok-Zapad	9

Grafikon 1 prikazuje broj ilegalnih prijelaza preko pruge na zapadnoj lokaciji prikupljen brojanjem prometa. Na zapadnoj lokaciji prikupljeni su samo podaci o ilegalnim prijelazima.



Grafikon 1. Prikaz ilegalnih prijelaza preko pruge na zapadnoj lokaciji

Tablica 6. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu

Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/2h	Pješak (legalni prijelaz)/2h
Sjever-Jug	91	49
Jug-Sjever	78	25
Smjer prometovanja	Vlak/2h	
Zapad-Istok	7	
Istok-Zapad	10	

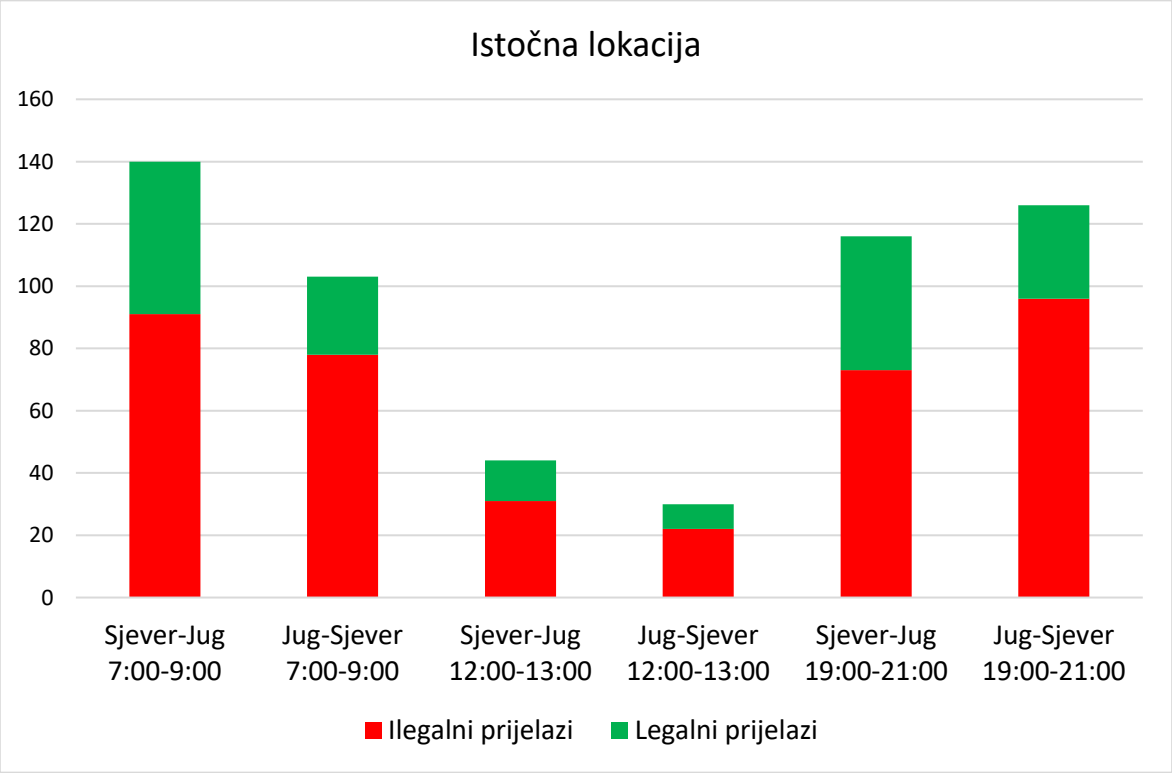
Tablica 7. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u izvanvršnom satu

Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/h	Pješak (legalni prijelaz)/h
Sjever-Jug	31	13
Jug-Sjever	22	8
Smjer prometovanja	Vlak/2h	
Zapad-Istok	4	
Istok-Zapad	3	

Tablica 8. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu

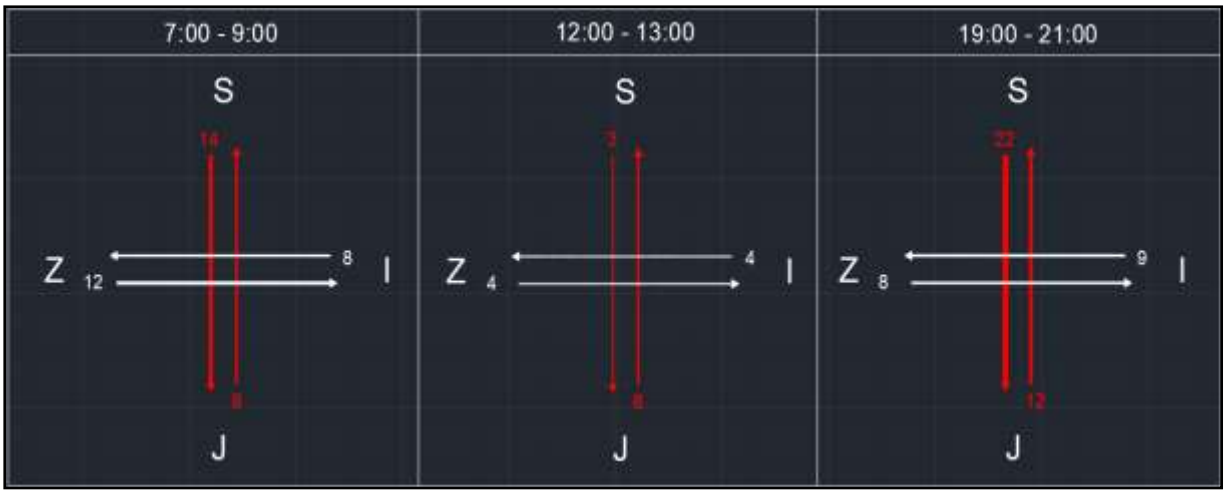
Smjer prijelaza	Pješak (ilegalni prijelaz)/2h	Pješak (legalni prijelaz)/2h
Sjever-Jug	73	43
Jug-Sjever	96	30
Smjer prometovanja	Vlak/2h	
Zapad-Istok	10	
Istok-Zapad	8	

Grafikon 2 prikazuje broj legalnih i ilegalnih prijelaza preko pruge na istočnoj lokaciji prikupljen brojanjem prometa. Ilegalni prijelazi su dominantni u odnosu na legalne prijelaze preko pruge na istočnoj lokaciji.

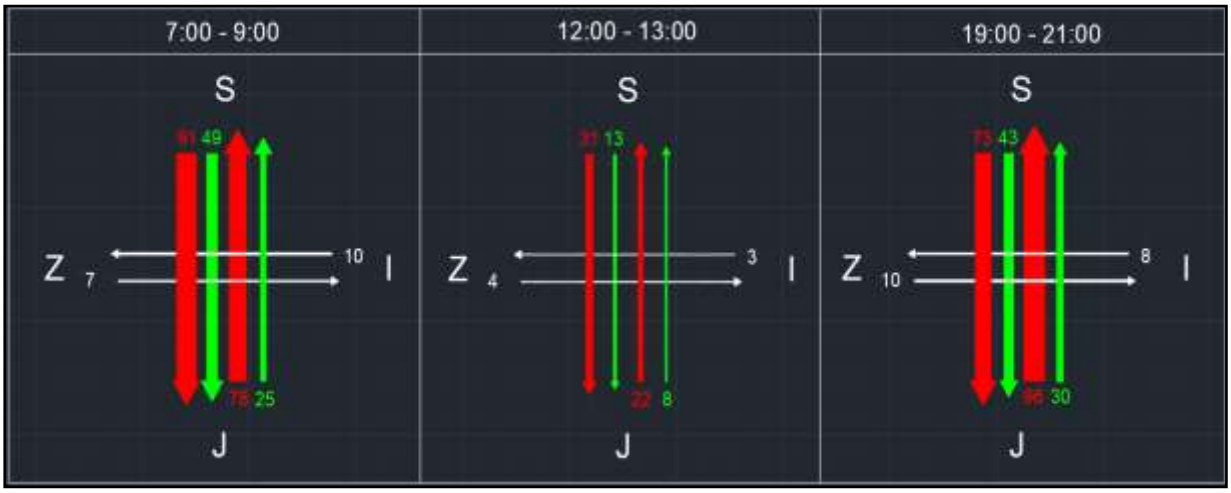


Grafikon 2. Prikaz prijelaza preko pruge na istočnoj lokaciji

Slika 35 prikazuje prometno opterećenje ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na zapadnoj lokaciji prema satima prikupljanja podataka. Crvenom bojom su označeni ilegalni prijelazi pješaka preko pruge, a bijelom bojom je prikazan broj vlakova koji je prometovao u promatranim vremenskim periodima. Slika 36 prikazuje prometno opterećenje ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na istočnoj lokaciji prema satima prikupljanja podataka. Zelenom bojom su prikazana prometna opterećenja legalnih prijelaza pješaka preko pruge (korištenje pothodnika), a ostalim bojama su prikazana opterećenja kao i na prethodnoj slici.



Slika 35. Grafički prikaz prometnog opterećenja ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na zapadnoj lokaciji



Slika 36. Grafički prikaz prometnog opterećenja ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na istočoj lokaciji

4.3. Analiza sigurnosti postojećeg stanja

Analiza sigurnosti vezana je uz broj incidenata, nesreća i ozbiljnih nesreća te broj usmrćenih, ozlijeđenih i teško ozlijeđenih osoba u promatranoj gravitacijskoj zoni na pruzi i neposredno uz prugu.

Incident je svaki događaj, osim nesreće ili ozbiljne nesreće, koji utječe ili može utjecati na sigurnost željezničkog prijevoza. Nesreća je neželjeni ili nenamjerni iznenadni događaj ili poseban slijed takvih događaja koji ima štetne posljedice; nesreće mogu biti sudar, iskliznuće, nesreća na željezničko-cestovnom prijelazu ili pješačkom prijelazu preko pruge, nesreća s ljudskim žrtvama koja uključuje željezničko vozilo u pokretu, požar i ostalo. Ozbiljna nesreća je sudar vlakova ili iskliznuće vlaka koje ima za posljedicu smrt najmanje jedne osobe ili teške ozljede pet ili više osoba ili veliku štetu na vozilima, željezničkoj infrastrukturi ili okolišu, kao i svaka druga nesreća sa sličnim posljedicama koja ima očigledan utjecaj na sigurnost željezničkog sustava ili na upravljanje sigurnošću. [13]

Prometno opterećenija pruga predstavlja veću mogućnost za nastankom prethodno spomenutih neželjenih događaja te je zbog toga bitan podatak o broju vlakova koji prometuju prugom u promatranoj zoni. Tablica 3 prikazuje osnovne podatke pruge koja prolazi gravitacijskim područjem. Tablica 4 prikazuje podatke o broju vlakova na pruzi koja prolazi gravitacijskim područjem.

Tablica 3. Osnovni podaci pruge koja prolazi kroz promatrano gravitacijsko područje, [14]

Nova oznaka pruge	**Nova oznaka dionice**	**Početak dionice**		**Kraj dionice**		**Duljina (m)**
		Službeno mjesto	**UIC šifra**	**Službeno mjesto**	**UIC šifra**	
M101	103	Zaprešić	74004	Zagreb Zapadni kolodvor	74060	13,008

Tablica 4. Podaci o broju vlakova na pruzi koja prolazi kroz promatrano gravitacijsko područje, [14]

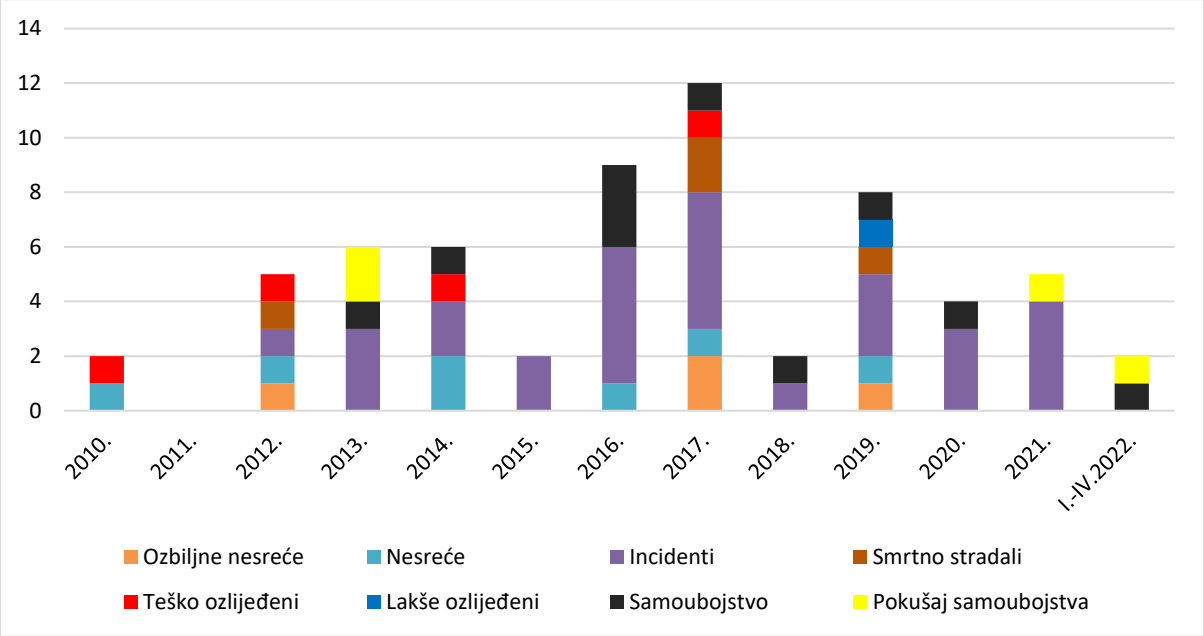
Naziv pruge	**Broj vlakova-putnički**	**Broj vlakova-teretni**	**Broj vlakova-infra**	**Ukupan broj vlakova**	**Prosjek/dan**	**Za službeno mjesto**
Državna granica – Savski Marof – Zagreb Glavni kolodvor	33605	11704	512	45821	**126**	Vrapče

Tablica 11 prikazuje izvanredne događaje između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine. Tablica 12 prikazuje podatke o izvanrednim događajima na ŽCP Sokolska u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine.

Tablica 11. Izvanredni događaji između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine, [14]

IZVANREDNI DOGAĐAJI IZMEĐU STAJALIŠTA VRAPČE (km 431+058) I STAJALIŠTA KUSTOŠIJA (km 428+686) (uključivo ŽCP SOKOLSKA)														
Godina	**2010.**	**2011.**	**2012.**	**2013.**	**2014.**	**2015.**	**2016.**	**2017.**	**2018.**	**2019.**	**2020.**	**2021.**	**I.-IV. 2022.**	**Ukupno**
Ozbiljne nesreće	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	4
Nesreće	1	0	1	0	2	0	1	1	0	1	0	0	0	7
Incidenti	0	0	1	3	2	2	5	5	1	3	3	4	0	29
Smrtno stradali	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	4
Teško ozlijeđeni	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Lakše ozlijeđen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Samoubojstvo	0	0	0	1	1	0	3	1	1	1	1	0	1	**10**
Pokušaj samoubojstva	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	**4**

Grafikon 3 prikazuje izvanredne događaji između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine.



Grafikon 3. Prikaz izvanrednih događaja između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine

Izvor: [14]

Na lokacijama gdje nastaju ilegalni prijelazi preko pruge ne postoje sredstva odnosno barijere koje bi onemogućile pješacima izvođenje ilegalnih prijelaza, prvenstveno bi to bile neke od izvedbi ograda (vidljivo na slikama 20 i 21). Neposredno uz prugu su postavljenje ploče obavijesti koje prvenstveno služe za prevenciju pokušaja samoubojstva. Slika 37 prikazuje prethodno navedenu ploču obavijesti.

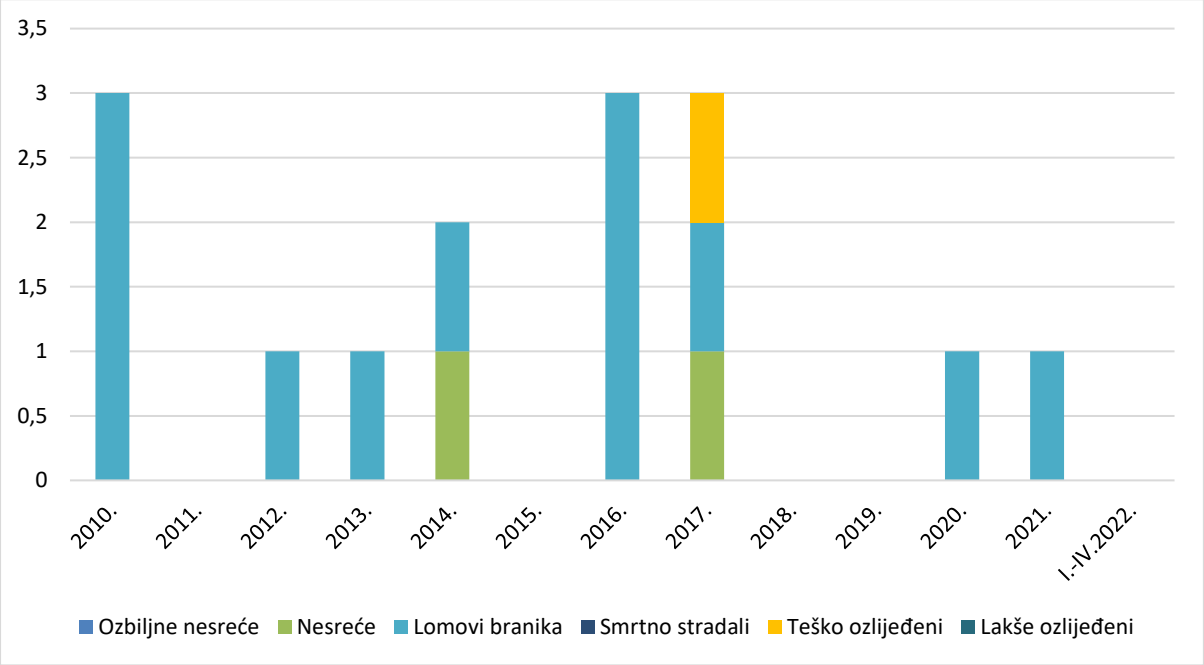


Slika 37. Ploča obavijesti za prevenciju pokušaja samoubojstva

Tablica 12. Podaci o izvanrednim događajima na ŽCP Sokolska, [14]

ŽCP SOKOLSKA U KM 430+660 OSIGURAN SV+ZV+POL+MO														
Godina	**2010.**	**2011.**	**2012.**	**2013.**	**2014.**	**2015.**	**2016.**	**2017.**	**2018.**	**2019.**	**2020.**	**2021.**	**I.-IV. 2022.**	**Ukupno**
Ozbiljne nesreće	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nesreće	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Lomovi branika	3	0	1	1	1	0	3	1	0	0	1	1	0	12
Smrtno stradali	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teško ozlijeđeni	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Lakše ozlijeđeni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Grafikon 4 prikazuje podatke o izvanrednim događajima na ŽCP Sokolska u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine.



Grafikon 4. Prikaz izvanrednih događaja na ŽCP Sokolska u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine

Izvor: [14]

5. PRIJEDLOG NOVIH PROMETNIH RJEŠENJA

Prijedlozi novih prometnih rješenja sastoje se od tri varijante, a u svakoj varijanti je prijedlog rješenja za istočnu i zapadnu lokaciju na kojima nastaju ilegalni prijelazi. Prijedlozi rješenja su prikazani shematski na DOF podlozi uz tekstualna objašnjenja. Zelena boja na prikazima odnosi se na ogradu, plava boja odnosi se na dizalo, crvena boja na biciklističku stazu, žuta boja označava pružanje pothodnika odnosno nathodnika, bijela boja anti-trespass panele i rozom bojom označeni su ulazi odnosno izlazi iz pothodnika/nathodnika.

5.1. Varijanta 1

Varijanta broj 1 predstavlja prijedloge rješenja za istočnu i zapadnu lokaciju koji su jednostavni, ekonomski najmanje zahtjevni, ali učinkoviti. Analizom postojeće prometne infrastrukture prikazano je da postoje legalni načini za prijelaz preko pruge na obje lokacije. Pješaci koji ilegalno prelaze prugu čine to iz nekoliko očitih razloga, a to su kraće vrijeme prijelaza preko pruge, manja udaljenost i nepostojanje prepreke koja bi im onemogućila ilegalan prelazak. Ovim prijedlogom rješenja postavile bi se prepreke u obliku ograda na obje lokacije, sa svake strane pruge, i anti-trespass panela na samoj pruzi.

Slika 37 prikazuje anti-trespass panele. Anti-trespass paneli postavljaju se kako bi spriječili prolaznike i životinje od prijelaza preko pruge. Dizajnirao ih je i projektirao Rosehill Rail i razvijali su se više od desetljeća na temelju povratnih informacija željezničkih operatera širom svijeta. Paneli su dostupni u tri stila, pružajući veću fleksibilnost prema specifičnim zahtjevima lokacije. Promišljeno razvijeni kako bi se minimiziralo vrijeme instalacije, sustav panela pruža rješenje koje ispunjava zahtjeve željezničkih uprava diljem svijeta. Izrađeni od 100% reciklirane gume, ovi paneli su ekološki prihvatljivi. [15]



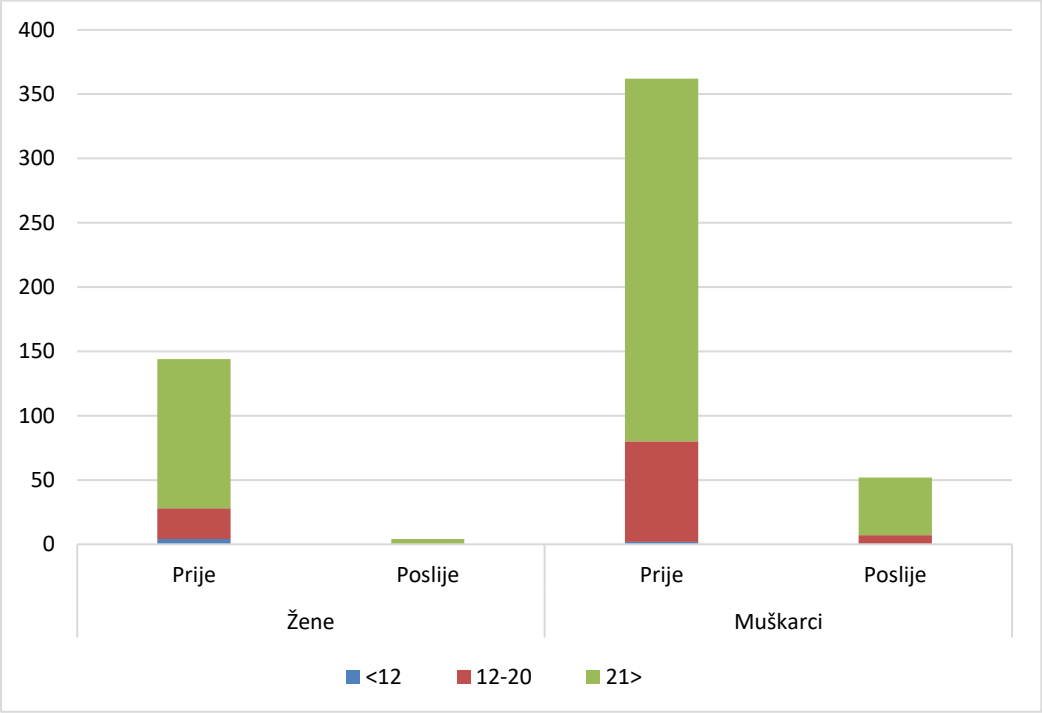
Slika 37. Anti-trespass paneli, [15]

U RESTRAIL-ovom projektu *Evaluation of measures, recommendations and guidelines for further implementations* u pilot testu broj 5 pod nazivom *A combination of measures at Ayden Station – TCDD* cilj je bio smanjiti broj ilegalnih prelaska preko pruge Izimir – Denizli. Mjere su se poduzele na željezničkoj postaji Aydin koja je locirana na 130+012 km pruge Izmir – Denizli. U kombinaciji mjera postavljane su nove ograde na nekoliko lokacija, produžena je duljina postojećih ograda, postavljenje su nadzorne kamere, postavljeni su ploče i plakati upozorenja te su postavljeni anti-trespass paneli. Ukupno je postavljen 51 kvadratni metar anti-trespass panela. Tablica 5 i grafikon 5 prikazuju rezultate nakon promatranja stanja u razdoblju od svibnja 2013. godine do srpnja 2014. godine. [16]

Tablica 5. Rezultati promatranja prelazaka preko pruge na željezničkoj postaji Aydin

Dob	Žene			Muškarci			Ukupno		
	Prije	Poslije	Razlika	Prije	Poslije	Razlika	Prije	Poslije	Razlika
<12	4	0	4	2	0	2	6	0	6
12-20	24	0	24	78	7	71	102	5	97
21>	116	4	112	282	45	237	398	22	376
Ukupno	**144**	**16**	**128**	**362**	**52**	**310**	**506**	**28**	**478**
Postotak	**-89%**			**-86%**			**-94%**		

Izvor: [16]



Grafikon 1. Prikaz rezultata promatranja prelazaka preko pruge na željezničkoj postaji Aydin

Izvor: [16]

Na istočnoj lokaciji prijedlog rješenja je postavljanje ograde na duljini od 100 metara na svaku stranu od same lokacije na kojoj nastaju ilegalni prijelazi, postavljanje anti-trespass panela i postavljanje dizala kod ulaza/izlaza broj 2 koji je izveden kao stepenice. Slika 38 prikazuje prijedlog rješenja varijante 1 na istočnoj lokaciji.



Slika 38. Prikaz prijedloga rješenja varijante 1 na istočnoj lokaciji

Na zapadnoj lokaciji ograda se postavlja od željezničke postaje Vrapče pa prema istoku na duljini od 100 metara sa svake strane pruge, a anti-trespass paneli postavljaju se na pruzi u dužini ograde. Slika 39 prikazuje prijedlog rješenja varijante 1 na zapadnoj lokaciji.



Slika 39. Prikaz prijedloga rješenja varijante 1 na zapadnoj lokaciji

5.2. Varijanta 2

Prijedlog rješenja varijante 2 je nadogradnja varijante 1. Uz ogradu i anti-trespass panele rješenje varijante 2 na istočnoj lokaciji je izgradnja novog pothodnika sa tri ulaza/izlaza. Na ulazu/izlazu broj 2 potrebno je postaviti dizalo. Zbog duljine pothodnika moguće ga je izvesti s malim nagibom pa na ulazu/izlazu 1 i 3 nije potrebno postavljanje dizala, a ni stepenica što rezultira s prihvatljivom razinom pristupačnosti za osobe s invaliditetom, osobe smanjene pokretljivosti, osobe s dječjim kolicima, bicikliste i električne romobile. Zbog dovoljne širine pothodnika na sredini pothodnika moguće je postaviti ogradu kako bi se odvojili pješački tokovi. Slika 41 prikazuje prijedlog rješenja varijante 2 na istočnoj lokaciji.

Slika 40 prikazuje pothodnik iz Litchfield Parka u Arizoni koji je dobar primjer pothodnika kojeg je moguće izvesti pod malim nagibom zbog relativno velike duljine. Projekt pješačkog pothodnika Litchfield od 2,8 milijuna dolara Ministarstva prometa Arizone omogućuje siguran prijelaz za pješake i bicikliste na prometnom raskrižju s gustim prometom. Pothodnik obilježava javna umjetnost ocrtana na zidovima pothodnika, poboljšana rasvjeta i uređeni okoliš u neposrednoj blizini te poboljšanja pristupačnosti nogostupa i rampi. Pješaci, biciklisti i vozila za golf mogu koristiti pothodnik kao sigurnu vezu između centra Litchfield Parka i obližnjeg Wigwam Golf Resorta, poboljšavajući veze između lokalnih tvrtki i naselja. [15]



Slika 40. Primjer pothodnika iz Litchfield Parka u Arizoni, [17]



Slika 41. Prikaz prijedloga rješenja varijante 2 na istočnoj lokaciji

Prijedlog rješenja varijante 2 na zapadnoj lokaciji je nadogradnja varijante 1. Uz ogradu i anti-trespass panele rješenje varijante 2 je izgradnja kratkog nathodnika koji ne zauzima puno prostora. Ulaz/izlaz nathodnika na sjevernoj strani pruge je povezan na željezničku postaju Vrapče, a ulaz/izlaz nathodnika sa južne strane pruge nalazi se na samom parkiralištu. Slika 42 prikazuje prijedlog rješenja varijante 2 na zapadnoj lokaciji.



Slika 42. Prikaz prijedloga rješenja varijante 2 na zapadnoj lokaciji

Slika 43 prikazuje prototip nathodnika „Flow footbridge“ na testnoj stazi u Warwickshire-u u Engleskoj kao dobar primjer izvedbe nathodnika. Nathodnik je razvijen te isporučen kao rezultat projekta koji je vođen od strane Network Rail-a, a surađivali su s internim timovima iz Research and Development Portfolio, Network Rail Design Delivery and Wales i zapadnom regijom Engleske. U strukturi i temeljima nije korišten beton što rezultira manjim troškovima te manjom težinom nathodnika. Most dug 21 m ima ugrađen sustav nadzora za bilježenje njegove izvedbe i upotrebe, što omogućuje buduća poboljšanja dizajna i učinkovitije održavanje. Prototip je probno izrađen u ispitnom centru u Long Marstonu, Warwickshire, i tamo je prikazan na RAIL Live događaju 2021. u srijedu, 16. lipnja i četvrtak, 17. lipnja 2021. [18]



Slika 43. Prototip nathodnika „Flow footbridge“ na testnoj stazi u Warwickshire-u u Engleskoj, [18]

5.3. Varijanta 3

Prijedlog rješenja varijante 3 na istočnoj lokaciji je nadogradnja prijedloga rješenja varijante 2 na istoj lokaciji. Izgradnja istog novog pothodnika sa dodatkom, a to je preuređenje starog odnosno postojećeg pothodnika u biciklističku stazu. Razlog dodavanja biciklističke staze je zapažanje velikog broja biciklista autora prilikom prikupljanja podataka odnosno brojanja prometa. Slika 44 prikazuje prijedlog rješenja varijante 3 na istočnoj lokaciji.

Prijedlog rješenja varijante 3 na zapadnoj lokaciji je izgradnja pothodnika sa tri ulaza/izlaza. Pothodnik bi povezivao parkiralište sa južne strane pruge uz željezničku postaju Vrapče i autobusni terminal Vrapče koji se nalazi sa sjeverne strane pruge odnosno sjeverozapadno od same lokacije na kojoj nastaju ilegalni prijelazi. Na svakom ulazu/izlazu nalazi se dizalo kako bi bila osigurana pristupačnost za osobe s invaliditetom, osobe smanjene pokretljivosti, osobe s dječjim kolicima, bicikliste i električne romobile. Ograde i anti-trespass paneli iz varijante 2 su prisutni i u ovoj varijanti. Slika 45 prikazuje prijedlog rješenja varijante 2 na zapadnoj lokaciji.



Slika 44. Prikaz prijedloga rješenja varijante 3 na istočnoj lokaciji



Slika 45. Prikaz prijedloga rješenja varijante 3 na zapadnoj lokaciji

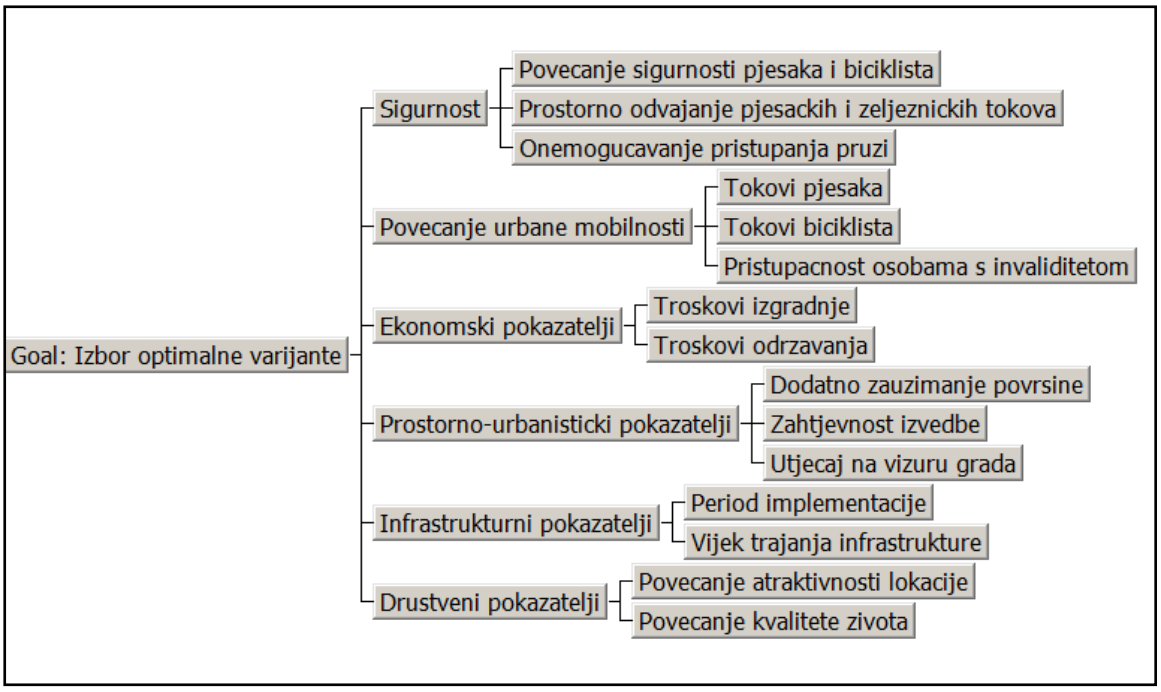
6. VREDNOVANJE PREDLOŽENIH RJEŠENJA VIŠEKRITERIJSKOM ANALIZOM

Cilj provedbe metode Analitičkog hijerarhijskog procesa je odabir optimalne varijante od tri predložene varijante prometnih rješenja. Prva varijanta sastoji se od postavljanja ograde, anti-trespass panela i dizala na istočnoj lokaciji te postavljanja ograde i anti-trespass panela na zapadnoj lokaciji. Druga varijanta je nadogradnja prve što znači zadržavanje mjera iz prve varijante uz dodatke, a to su izgradnja novog pothodnika na istočnoj lokaciji i izgradnja nathodnika na zapadnoj lokaciji. Treća varijanta na istočnoj lokaciji predstavlja nadogradnju varijante dva u vidu izgradnje fizički odvojene biciklističke staze. Treća varijanta na zapadnoj lokaciji predstavlja nadogradnju prve varijante izgradnjom pothodnika koji povezuje južnu i sjevernu stranu željezničke postaje Vrapče i pruža se do autobusnog terminala Vrapče. Za provedbu AHP metode koristi se programski alat „Expert Choice“.

Optimalna varijanta odabire se na temelju slijedećih kriterija i potkriterija:

1. sigurnost (povećanje sigurnosti pješaka i biciklista, prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova, onemogućavanje pristupanja pruzi),
2. povećanje urbane mobilnosti (tokovi pješaka, tokovi biciklista, pristupačnost osobama s invaliditetom),
3. ekonomski pokazatelji (troškovi izgradnje, troškovi održavanja),
4. prostorno-urbanistički pokazatelji (dodatno zauzimanje površine, zahtjevnost izvedbe, utjecaj na vizuru grada),
5. infrastrukturni pokazatelji (period implementacije, vijek trajanja infrastrukture) i
6. društveni pokazatelji (povećanje atraktivnosti lokacije, povećanje kvalitete života).

Slika 46 prikazuje hijerarhijsku strukturu AHP modela koja se sastoji od cilja kojeg predstavlja odabir optimalne varijante, kriterija i potkriterija na temelju kojih se odabire optimalna varijanta.



Slika 46. Hijerarhijska struktura AHP modela

6.1. Rangiranje kriterija

Nakon što je završen postupak strukturiranja problema slijedi usporedba parova kriterija pomoću ocjena prema Saatyevoj skali važnosti. Međusobne ocjene kriterija su dodijeljene prema subjektivnoj procjeni autora na temelju objašnjenja koja slijede dalje u tekstu. Važnosti kriterija i potkriterija su ponderirani prema osobnoj procjeni autora temeljem analize AHP modela studija slučaja koja se bavila sličnom problematikom te specifičnostima problema koji se obrađuju u radu koji slijedi u nastavku. Tako na primjer u znanstvenom radu *An application of the AHP method for evaluation of level crossing design in a congested urban area: Case study LC Sokolska in Zagreb, Croatia* koriste AHP metodu u svrhu izbora optimalnog prometnog rješenja koji će povećati sigurnost i prometni tok na ŽCP Sokolska u Zagrebu. Model razmatra šest kriterija (sigurnost, prometni pokazatelji funkcionalne učinkovitosti, troškovi, društvene koristi, ekologija, vrijeme potrebno za rekonstrukciju LC-a) i njihovih 15 potkriterija. Kriteriju „Sigurnost“ u LC Sokolska dodijeljena je najveća važnost (0,399) zbog teških posljedica uzrokovanih prometnim nesrećama na pružnim prijelazima. Sljedeći kriterij po važnosti je kriterij „Prometni pokazatelji funkcionalne učinkovitosti“ na LC Sokolska (0,243). Treći po važnosti je kriterij „Vrijeme potrebno za rekonstrukciju LC-a“ (0,106), a slijedi ga „Ekologija“ (0,095) kao četvrti kriterij po važnosti. Troškovi (0,086) je peti kriterij koji se tiče važnosti racionalnog ulaganja financijskih sredstava u odnosu na ostvarenu korist. Na posljednjem mjestu je kriterij „Društvene koristi“ (0,072) zbog svih prednosti koje donosi unapređenje prometnog sustava, dakle poboljšanje kvalitete mobilnosti društva. [19]

Kriterij “Sigurnost” je najvažniji kriterij zbog posljedica koje nastaju uslijed nedovoljne sigurnosti. Posljedice odnosno situacije i nesreće koje su se dogodile na promatranoj lokaciji detaljnije su obrađene u analizi sigurnosti postojećeg stanja. Na povećanje sigurnosti izravno utječe prostorno odvajanje željezničkih i pješačkih tokova te onemogućavanje pristupa pruzi pješacima. Sami cilj ovog rada je ponuditi rješenja koja povećavaju sigurnost i mobilnost pješaka, stoga sljedeći po važnosti je kriterij “Povećanje urbane mobilnosti”. Navedeni kriterij se očituje u povećanju tokova pješaka i biciklista te pristupačnosti osobama s invaliditetom. Kriterij “Ekonomski pokazatelji” predstavlja pokazatelje u obliku troškova, a to su troškovi izgradnje i troškovi održavanja. Kriterij “Prostorno-urbanistički pokazatelji” odnosi se na dodatno zauzimanje površine, zahtjevnost izvedbe i utjecaj na vizuru grada. Pod kriterijom “Infrastrukturni pokazatelji” bitni pokazatelji su period implementacije odnosno vrijeme potrebno za implementaciju mjera i pokazatelj vijeka trajanja infrastrukture. Kriterij “Društveni pokazatelji” odnosi se na pokazatelj povećanja atraktivnosti lokacije i pokazatelj povećanja kvalitete života. Slika 47 prikazuje rangirane kriterije u programskom alatu Expert Choice.



Slika 47. Prikaz rangiranih kriterija u programskom alatu Expert Choice

6.2. Rangiranje potkriterija

Nakon usporedbe parova kriterija pomoću ocjena prema Saatyjevoj skali važnosti izvršava se usporedba parova potkriterija na isti način. Parovi potkriterija se međusobno uspoređuju u podskupini promatranog kriterija. Međusobne ocjene potkriterija su dodijeljene prema subjektivnoj procjeni autora na temelju, u nastavku, objašnjenih odnosa između pojedinih parova potkriterija i analiziranog AHP modela slične studije slučaja.

6.2.1. Potkriteriji u skupini kriterija "Sigurnost"

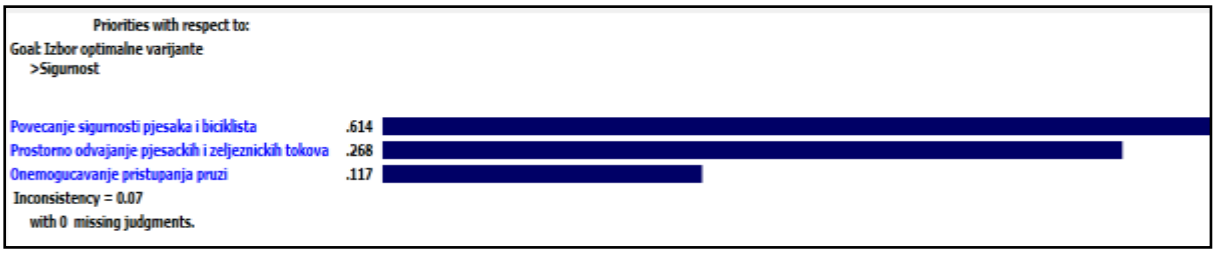
Potkriteriji kriterija "Sigurnost" su povećanje sigurnosti pješaka i biciklista, prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova te onemogućavanje pristupanja pruzi.

Potkriterij "Onemogućavanje pristupanja pruzi" odnosi se na mjere postavljanja određenih barijera koje će spriječiti odnosno onemogućiti pješacima da fizički pristupe pruzi te da prijeđu preko pruge. Mjere koje su spomenute u predloženim prometnim rješenjima su postavljanje ograda i anti-trespass panela kako bi onemogućile pristupanje pruzi i prelazak preko pruge.

Potkriterij "Prostorno odvajanje pješačkih i fizičkih tokova" odnosi se na infrastrukturu koja je namijenjena željezničkom prometu i infrastrukturu koja je namijenjena prometu pješaka. Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova ovise o gledištu promatranja. Ukoliko se promatra željeznička infrastruktura, prostorno odvajanje se očituje u izgradnji podvožnjaka ili nadvožnjaka željezničke pruge u odnosu na infrastrukturu namijenjenu kretanju pješaka. Ukoliko se promatra infrastruktura namijenjena kretanju pješaka, prostorno odvajanje se očituje u izgradnji pothodnika ili nathodnika.

Potkriterij "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista" obuhvaća prethodno navedene potkriterije te još mnoštvo mjera koje rezultiraju povećanjem sigurnosti što ga čini najvažnijim potkriterijem u ovoj skupini.

Potkriterij "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista" je umjereno važniji od potkriterija "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova" te mu je dodijeljena međuvrijednost između umjereno važnijeg i strogo važnijeg u odnosu na potkriterij "Onemogućavanje pristupanja pruzi". Potkriterij "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova" umjereno je važniji od potkriterija "Onemogućavanje pristupanja pruzi". Slika 48 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija "Sigurnost" u programskom alatu Expert Choice.



Slika 48. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija "Sigurnost" u programskom alatu Expert Choice

6.2.2. Potkriteriji u skupini kriterija "Povećanje urbane mobilnosti"

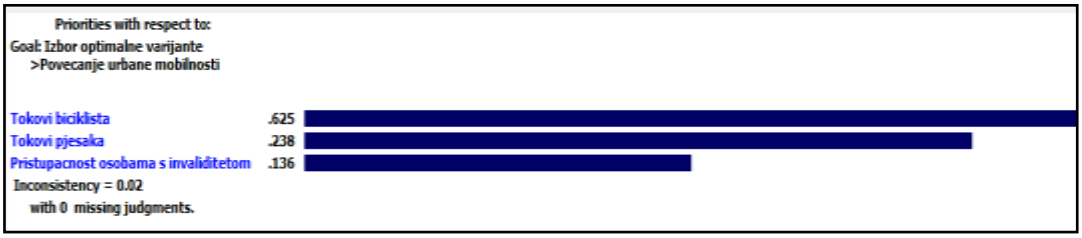
Potkriteriji kriterija "Povećanje urbane mobilnosti" su tokovi pješaka, tokovi biciklista i pristupačnost osobama s invaliditetom.

Potkriterij “Tokovi pješaka” odnosi se na količinu prometa pješaka koja se svakodnevno ostvaruje na određenoj lokaciji. Povećanje tokova pješaka rezultira pozitivnim učincima u smislu ekologije zbog smanjenja korištenja vozila, odnosno smanjenja emisije štetnih plinova i spojeva, pozitivni učinci na zdravlje građana.

Potkriterij “Tokovi biciklista” odnosi se na količinu prometa biciklista koja se svakodnevno ostvaruje i rezultira istim učincima kao i tokovi pješaka, međutim dodijeljena mu je veća važnost zbog nedostatka odnosno nedovoljno razvijene infrastrukture za promet biciklista iz razloga što će povećanje biciklističkog prometa zahtijevati razvoj infrastrukture za biciklistički promet što rezultira povećanjem urbane mobilnosti.

Potkriterij “Pristupačnost osobama s invaliditetom” odnosi se na razinu pristupačnosti infrastrukture osobama s invaliditetom u svrhu korištenja iste. Pristupačnost osobama s invaliditetom se očituje kroz površinsko stanje infrastrukture, mogućnost korištenja dizala i rampi kod prostorno odvojene infrastrukture za promet pješaka, upušteni rubnjaci kod pješačkih prijelaza, razni zvučni efekti i ostalo.

Potkriterij “Tokovi biciklista” je umjereno važniji od potkriterija “Tokovi pješaka“ te mu je dodijeljena međuvrijednost između umjereno važnijeg i strogo važnijeg u odnosu na potkriterij “Pristupačnost osobama s invaliditetom”. Potkriteriju “Tokovi pješaka“ dodijeljena je međuvrijednost između umjereno važnijeg i identično važnog u odnosu na potkriterij “Pristupačnost osobama s invaliditetom”. Slika 49 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija “Povećanje urbane mobilnosti” u programskom alatu Expert Choice.



Slika 49. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Povećanje urbane mobilnosti” u programskom alatu Expert Choice

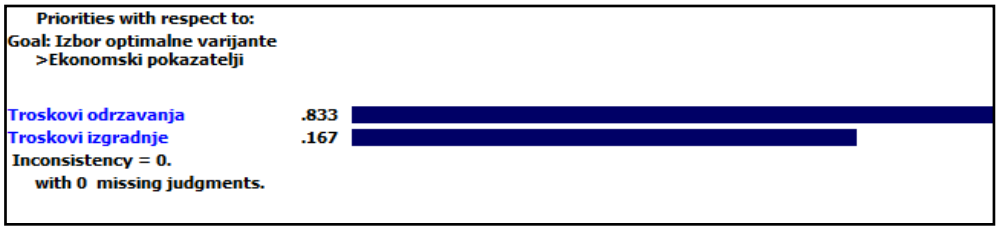
6.2.3. Potkriteriji u skupini kriterija “Ekonomski pokazatelji”

Potkriteriji kriterija “Ekonomski pokazatelji” su troškovi izgradnje i troškovi održavanja.

Potkriterij “Troškovi izgradnje” odnosi se na početne investicije nakon izrade projekta i dobivanja svih potrebnih dozvola nakon čega je moguće započeti sa radovima u svrhu izgradnje određene infrastrukture i troškove otkupa zemljišta. Prilikom izgradnje mogu se pojaviti i neplanirani financijski izdaci koji se sumiraju s početnom investicijom i troškovima otkupa zemljišta te čine ukupne troškove izgradnje.

Potkriterij “Troškovi održavanja” odnosi se na financijske troškove koje za sobom povlači redovno i izvanredno održavanje određenog objekta infrastrukture. Očekivani vijek trajanja novoizgrađene infrastrukture u većini slučajeva procjenjuje se na 20 do 30 godina kroz koji je potrebno obavljati održavanje. Iz tog razloga troškovi održavanja predstavljaju veći trošak i zbog toga im je dodijeljena veća važnost.

Potkriterij “Troškovi održavanja” je strogo važniji od potkriterija “Troškovi izgradnje”. Slika 50 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija “Ekonomski pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice.



Slika 50. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Ekonomski pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice

6.2.4. Potkriteriji u skupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji”

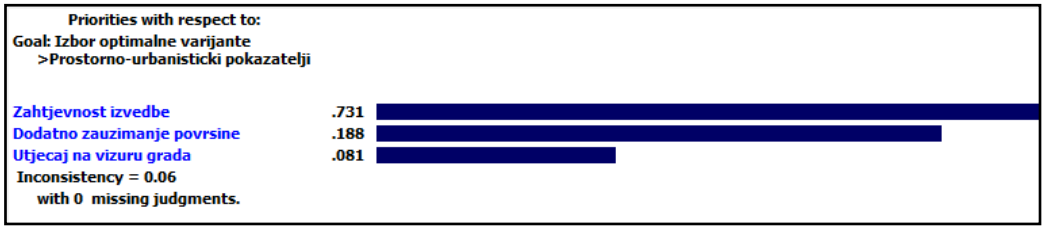
Potkriteriji kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji” su dodatno zauzimanje površine, zahtjevnost izvedbe i utjecaj na vizuru grada.

Potkriterij “Dodatno zauzimanje površine” odnosi se na površinu na kojoj nisu bili izgrađeni ili postavljeni elementi određenog objekta infrastrukture, a novim mjerama će ta površina biti potrebna za izgradnju ili postavljanje određenih elemenata. Dodatno zauzimanje površine može rezultirati dodatnim troškovima ukoliko je potrebno otkupiti zemljište ili može negativno utjecati na okoliš na način da se infrastruktura izgrađuje na prostoru koji čine zelene površine.

Potkriterij “Zahtjevnost izvedbe” odnosi se na zahtjeve kako bi se obavila izvedba izgradnje objekta infrastrukture ili postavljanje određenih elemenata. Jednostavni zahtjevi izvedbe omogućuju brzu, efikasnu i sigurnu izvedbu dok kompleksni zahtjevi mogu značajno zakomplicirati proces izvedbe što može negativno utjecati na unaprijed definirane vremenske rokove. Iz tog razloga je ovom potkriteriju dodijeljena najveća važnost u podskupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji”.

Potkriterij “Utjecaj na vizuru grada” podrazumijeva utjecaj na estetski izgled postojeće vizure grada. Isticanje pojedinih objekata infrastrukture ili pojedinih elementa infrastrukture može rezultirati pozitivnim i negativnim učinkom, ovisno od slučaja do slučaja. Zbog malog udjela utjecaja na samu funkcionalnost prometnog procesa ovom potkriteriju je dodijeljena najmanja razina važnosti.

Potkriterij “Zahtjevnost izvedbe” je strogo važniji od potkriterija “Dodatno zauzimanje površine“ i vrlo strogo važniji od potkriterija “Utjecaj na vizuru grada”. Potkriterij “Dodatno zauzimanje površine” umjereno je važniji od potkriterija “Utjecaj na vizuru grada”. Slika 51 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice.



Slika 51. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice

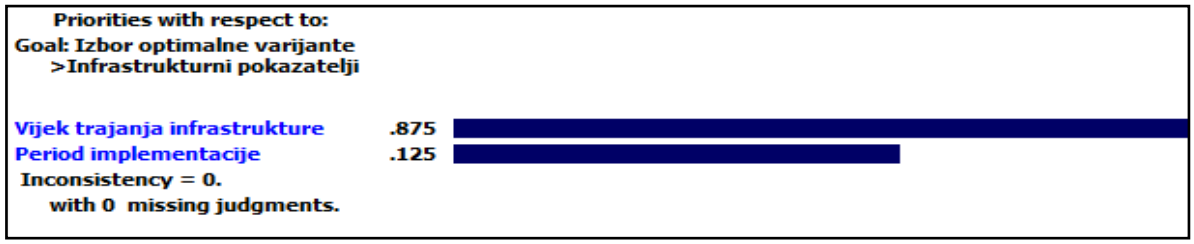
6.2.5. Potkriteriji u skupini kriterija “Infrastrukturni pokazatelji”

Potkriteriji kriterija “Infrastrukturni pokazatelji” su period implementacije i vijek trajanja infrastrukture.

Potkriterij “Period implementacije” odnosi se na vremensko trajanje koje je potrebno kako bi se implementirale određene mjere prometnog rješenja. Optimalno vremensko trajanje implementacije je minimalno vrijeme potrebno za implementaciju određenih mjera, a ovisi o izvođačima radova te korištenoj tehnologiji prilikom obavljanja radova u svrhu implementacije.

Potkriterij “Vijek trajanja infrastrukture” odnosi se na tehnički i ekonomski vijek trajanja. Tehnički vijek trajanja infrastrukture predstavlja razdoblje u kojem je infrastruktura funkcionalna bez obzira jesu li ekonomski učinci prihvatljivi ili ne. Ekonomski vijek trajanja infrastrukture predstavlja razdoblje u kojem postoje ekonomski prihvatljive koristi i troškovi. Potkriterij “Vijek trajanja infrastrukture” nosi veću važnost od potkriterija “Period implementacije”.

Potkriterij “Vijek trajanja infrastrukture” je vrlo strogo važniji od potkriterija “Period implementacije”. Slika 52 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija “Infrastrukturni pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice.



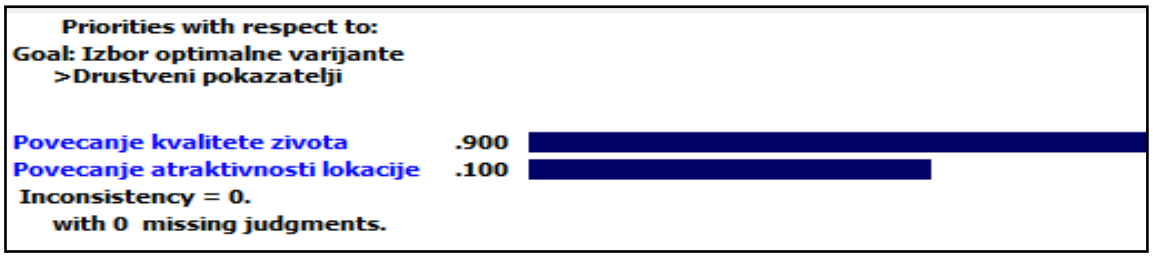
Slika 52. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Infrastrukturni pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice

6.2.6. Potkriteriji u skupini kriterija “Društveni pokazatelji”

Potkriteriji kriterija “Društveni pokazatelji” su povećanje atraktivnosti lokacije i povećanje kvalitete života.

Potkriterij “Povećanje atraktivnosti lokacije” predstavlja razinu atraktivnosti lokacije, odnosno estetski izgled, ponudu raznih aktivnosti te infrastruktura u funkcionalnom stanju i atraktivnom izdanju. Potkriterij “Povećanje kvalitete života” odnosi se na razne čimbenike koji povećavaju kvalitetu života prvenstveno lokalnom stanovništvu, ali i ostalim građanima. Povećanje kvalitete života građana je važnije od atraktivnosti lokacije te je potkriteriju “Povećanje kvalitete života” iz tog razloga dodijeljena veća važnost od potkriterija “Povećanje atraktivnosti lokacije”.

Potkriterij “Povećanje kvalitete života” je ekstremno važniji od potkriterija “Povećanje atraktivnosti lokacije”. Slika 53 prikazuje rangirane potkriterije u skupini kriterija “Društveni pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice.



Slika 53. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija "Društveni pokazatelji" u programskom alatu Expert Choice

6.3. Vrednovanje varijanata

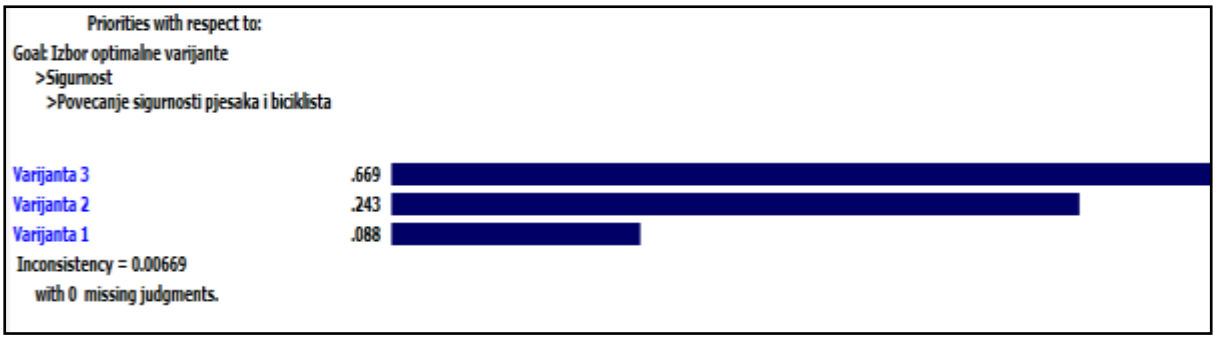
Vrednovanje varijanata predstavlja rangiranje odnosno određivanje najbolje varijante na temelju svakog potkriterija pojedinačno. Tablice vrijednosti rezultat su subjektivne procjene autora ili približnog izračuna vrijednosti, a izračun ranga varijanata vrši se prema ocjenama koje su dodijeljene na temelju tablica vrijednosti. Za razinu izrade diplomskog rada autor nije bio u mogućnosti prikupiti podatke o vrijednostima svake varijante po svakom potkriteriju odnosno kriteriju (jer za izradu ovog diplomskog rada nije postojao budžet koji bi omogućio prikupljanje svih podataka uključujući i razna mjerenja npr. misije štetnih plinova, razine buke i sl.). Stoga je autor za većinu varijanata procijenio njihove vrijednosti te obavio kvalitativno ocjenjivanje i dodjeljivanje ranga umjesto konkretnih vrijednosti.

6.3.1. Sigurnost

Razina povećanja sigurnosti pješaka i biciklista na temelju predloženih mjera u Varijanti 1 je srednja jer onemogućava pristupanje pruzi i time upućuje pješake i bicikliste na postojeće legalne prijelaze preko pruge. Navedena razina u Varijanti 2 je visoka jer se uz navedene mjere izgrađuje nova infrastruktura koja omogućuje jednostavan, siguran i legalan prelazak preko pruge. U Varijanti 3 promatrana razina je ekstremno visoka zbog kompleksnije izgradnje nove infrastrukture koja omogućuje, prema promatranim kriterijima, prelazak za razinu bolji od varijante dva. Tablica 6 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista". Slika 54 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 6. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista"

Varijante	Razina povećanja sigurnosti pješaka i biciklista	Rang
Varijanta 1	Srednja	3
Varijanta 2	Visoka	2
Varijanta 3	Ekstremno visoka	1

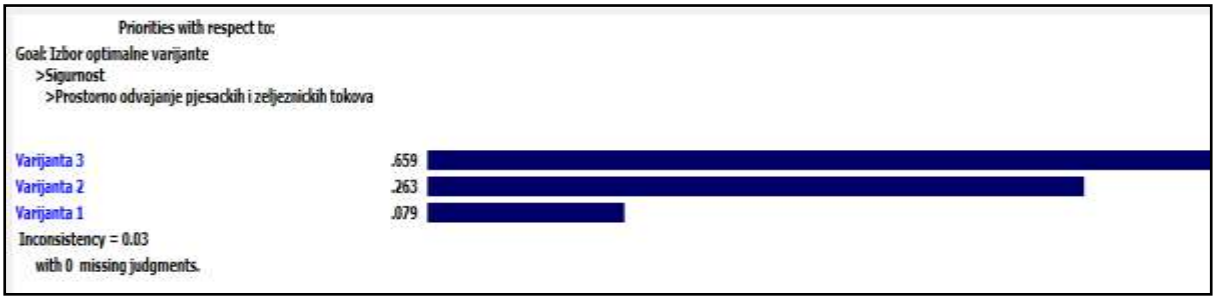


Slika 54. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista" u programskom alatu Expert Choice

Razina prostornog odvajanja pješačkih i željezničkih tokova na temelju predloženih mjera u Varijanti 1 je identična postojećem stanju, u Varijanti 2 je srednja, a u Varijanti 3 je visoka. Tablica 7 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova". Slika 55 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 7. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova"

Varijante	**Razina prostornog odvajanja pješačkih i željezničkih tokova**	**Rang**
Varijanta 1	Identična postojećem stanju	3
Varijanta 2	Srednja	2
Varijanta 3	Visoka	1

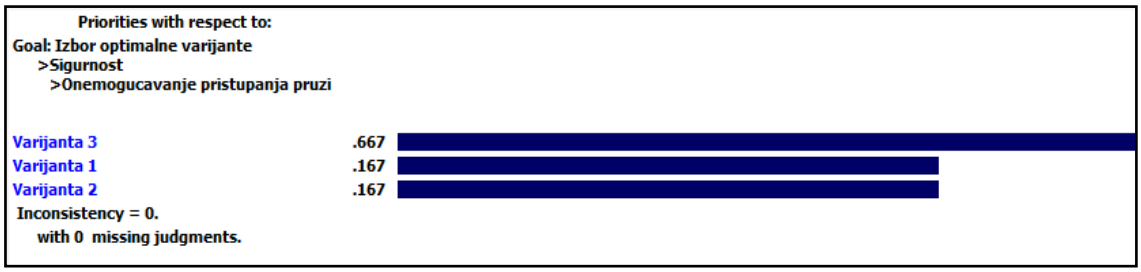


Slika 55. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova" u programskom alatu Expert Choice

Razina onemogućavanja pristupanja pruzi na temelju predloženih mjera u Varijanti 1 i Varijanti 2 je visoka, a u Varijanti 3 je ekstremno visoka. Postavljanje kombinacije ograda i anti-trespass panela omogućuje visoke razine onemogućavanja pristupanja pruzi pješacima i biciklistima radi ilegalnih prelazaka. Tablica 8 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Onemogućavanje pristupanja pruzi". Slika 56 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Onemogućavanje pristupanja pruzi" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 8. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Onemogućavanje pristupanja pruzi”

Varijante	Razina onemogućavanja pristupanja pruzi	Rang
Varijanta 1	Visoka	2
Varijanta 2	Visoka	2
Varijanta 3	Ekstremno visoka	1



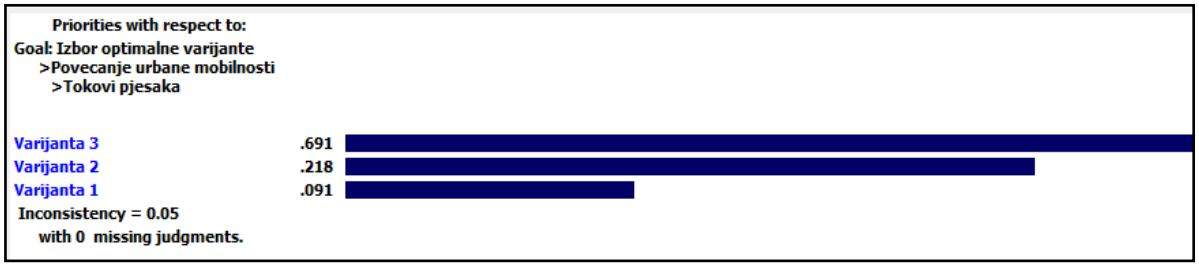
Slika 56. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Onemogućavanje pristupanja pruzi” u programskom alatu Expert Choice

6.3.2. Povećanje urbane mobilnosti

Razina povećanja tokova pješaka na temelju predloženih mjera u Varijanti 1 je niska, u Varijanti 2 je srednja, a u Varijanti 3 je visoka. Novoizgrađena i suvremena rješenja privlače pješake za korištenjem, a istovremeno omogućuju lokalnom stanovništvu svakodnevno korištenje zbog potreba za putovanjem na kratke udaljenosti. Tablica 9 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Tokovi pješaka”. Slika 57 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju “Tokovi pješaka” u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 9. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Tokovi pješaka”

Varijante	Razina povećanja tokova pješaka	Rang
Varijanta 1	Niska	3
Varijanta 2	Srednja	2
Varijanta 3	Visoka	1



Slika 57. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Tokovi pješaka” u programskom alatu Expert Choice

Razina povećanja tokova biciklista na temelju predloženih mjera u Varijanti 1 je identična postojećem stanju, u Varijanti 2 je srednja, a u Varijanti 3 je visoka. Posebna fizički odvojena biciklistička staza privući će bicikliste, a i omogućiti lokalnom stanovništvu odnosno građanima, uz ostalu infrastrukturu, korištenje bicikla za putovanja na kratke udaljenosti. Povećanje tokova biciklista pozitivno utječe na ekologiju u prometu zbog nepostojeće emisije štetnih plinova, buke i ostalog. Tablica 10 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Tokovi biciklista". Slika 58 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Tokovi biciklista" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 10. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Tokovi biciklista"

Varijante	**Razina povećanja tokova biciklista**	**Rang**
Varijanta 1	Identična postojećem stanju	3
Varijanta 2	Srednja	2
Varijanta 3	Visoka	1

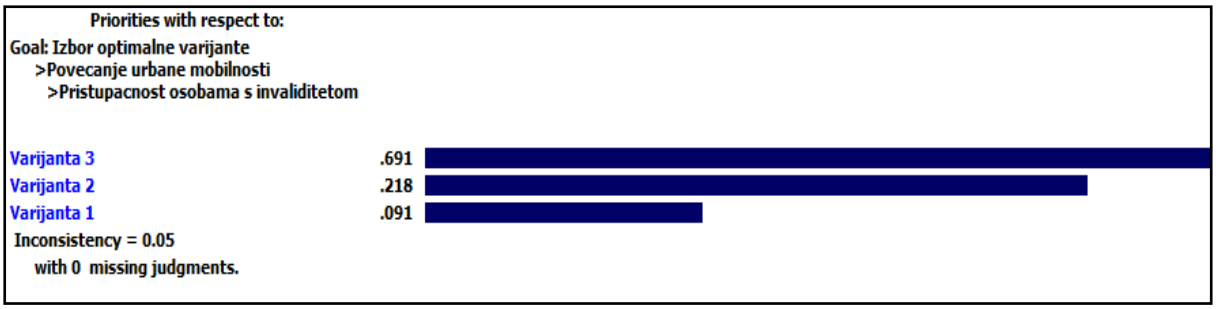


Slika 58. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Tokovi biciklista" u programskom alatu Expert Choice

Razina pristupačnosti osobama s invaliditetom u Varijanti 1 je srednja radi postavljanja dizala na istočnoj lokaciji dok na zapadnoj lokaciji postoji zadovoljavajuća pristupačnost. U Varijanti 2 navedena razina je visoka zbog izgradnje nove infrastrukture na istočnoj lokaciji, a u Varijanti 3 je ekstremno visoka zbog izgradnje nove infrastrukture. Pristupačnost osobama s invaliditetom je bitna stavka kod urbane mobilnosti pješaka i jednostavnije ju je postići prilikom izgradnje nove infrastrukture nego u slučaju nadogradnje ili rekonstrukcije postojeće infrastrukture. Tablica 11 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Pristupačnost osobama s invaliditetom". Slika 59 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Pristupačnost osobama s invaliditetom" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 11. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Pristupačnost osobama s invaliditetom"

Varijante	**Razina pristupačnosti osobama s invaliditetom**	**Rang**
Varijanta 1	Srednja	3
Varijanta 2	Visoka	2
Varijanta 3	Ekstremno visoka	1



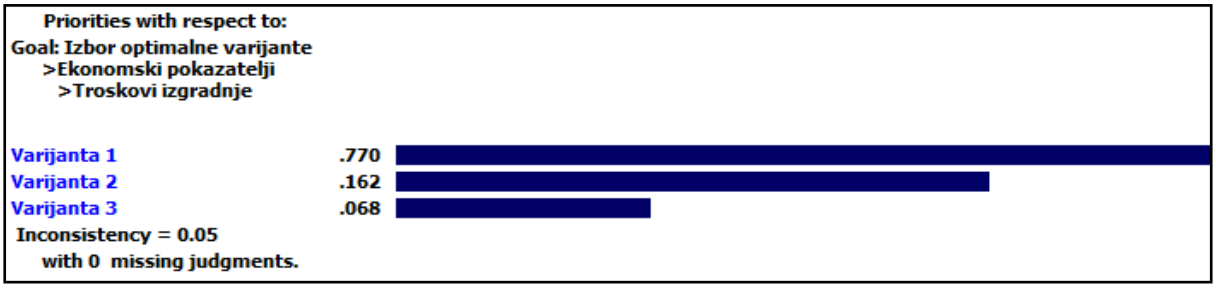
Slika 59. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Pristupačnost osobama s invaliditetom" u programskom alatu Expert Choice

6.3.3. Ekonomski pokazatelji

Troškovi izgradnje ovise o mnoštvu čimbenika pa nisu prikazani točni iznosi, ali s obzirom na predložene mjere i rješenja logički je jasan međusobni odnos troškova izgradnje prema varijantama. Troškovi izgradnje su najniži u Varijanti 1, u Varijanti 2 su visoki, a u Varijanti 3 su najviši. Tablica 12 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Troškovi izgradnje". Slika 60 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Troškovi izgradnje" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 12. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Troškovi izgradnje"

Varijante	Troškovi izgradnje	Rang
Varijanta 1	Niski	1
Varijanta 2	Visoki	2
Varijanta 3	Ekstremno visoki	3

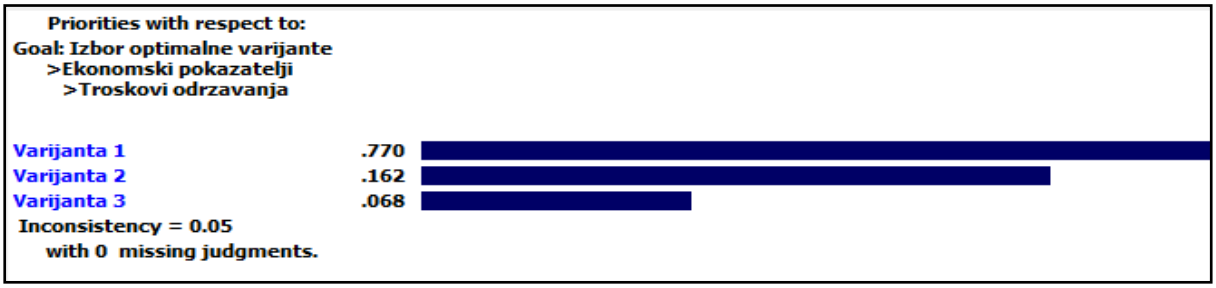


Slika 60. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Troškovi izgradnje" u programskom alatu Expert Choice

Troškovi održavanja prema varijantama ponašaju se kao i troškovi izgradnje, prema tome, troškovi održavanja u Varijanti 1 su najniži, u Varijanti 2 su visoki dok su u Varijanti 3 najviši. Tablica 13 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Troškovi održavanja". Slika 61 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Troškovi održavanja" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 13. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Troškovi održavanja”

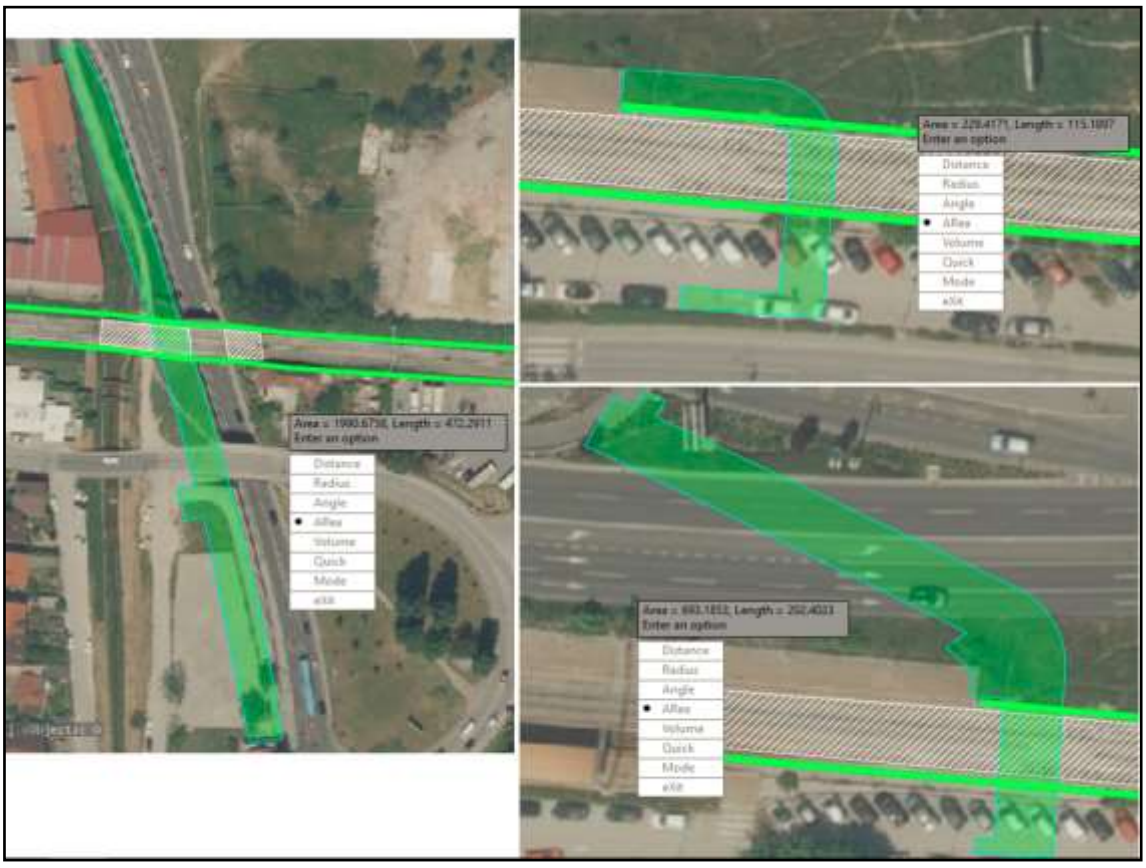
Varijante	Troškovi održavanja	Rang
Varijanta 1	Niski	1
Varijanta 2	Visoki	2
Varijanta 3	Ekstremno visoki	3



Slika 61. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Troškovi održavanja” u programskom alatu Expert Choice

6.3.4. Prostorno-urbanistički pokazatelji

Dodatno zauzimanje površine izražava se u kvadratnim metrima. U Varijanti 1 nema dodatnog zauzimanja površine dok u ostalim varijantama postoji dodatno zauzimanje površine.

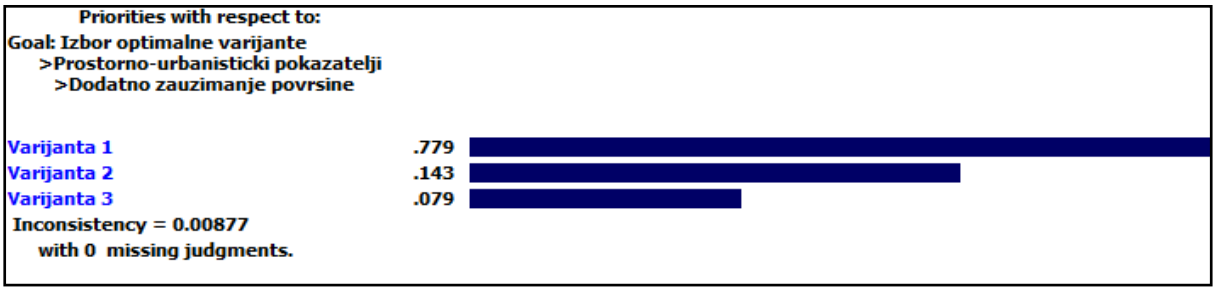


Slika 62. Prikaz iznosa dodatnog zauzimanja površine

U Varijanti 2 dodatno zauzimanje površine čini površina pothodnika na istočnoj lokaciji i površina potrebna nathodniku na zapadnoj lokaciji. U Varijanti 3 dodatno zauzimanje površine čine površine pothodnika na obje lokacije. Slika 62 prikazuje iznose dodatnog zauzimanja površina prema varijantama s time da je iznos dodatnog zauzimanje površine na istočnoj lokaciji jedank u Varijanti 2 i Varijanti 3 tako da razliku predstavlja iznos dodatnog zauzimanja površine zapadne lokacije u Varijanti 2 i Varijanti 3. Tablica 14 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Dodatno zauzimanje površine". Slika 63 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Dodatno zauzimanje površine" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 14. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Dodatno zauzimanje površine"

Varijante	Dodatno zauzimanje površine [m^2]	Rang
Varijanta 1	0	1
Varijanta 2	2.220	2
Varijanta 3	2.684	3

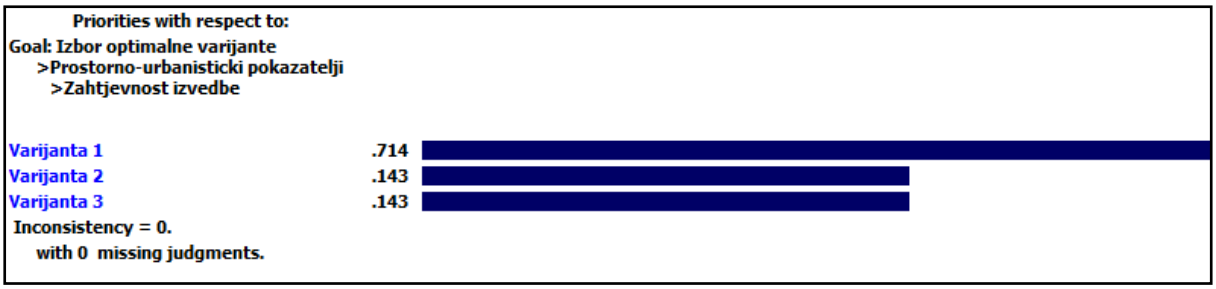


Slika 63. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Dodatno zauzimanje površine" u programskom alatu Expert Choice

Razina zahtjevnosti izvedbe u Varijanti 1 je niska zbog jednostavne izvedbe postavljanja ograda i anti-trespass panela na obje lokacije te dizala na istočnoj lokaciji. U Varijanti 2 i Varijanti 3 razina zahtjevnosti izvedbe je visoka jer je potrebna izgradnja nove infrastrukture u obliku pothodnika i nathodnika uz ostale mjere iz varijante jedan. Tablica 15 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Zahtjevnost izvedbe". Slika 64 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Zahtjevnost izvedbe" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 15. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Zahtjevnost izvedbe"

Varijante	Razina zahtjevnosti izvedbe	Rang
Varijanta 1	Niska	1
Varijanta 2	Visoka	2
Varijanta 3	Visoka	2

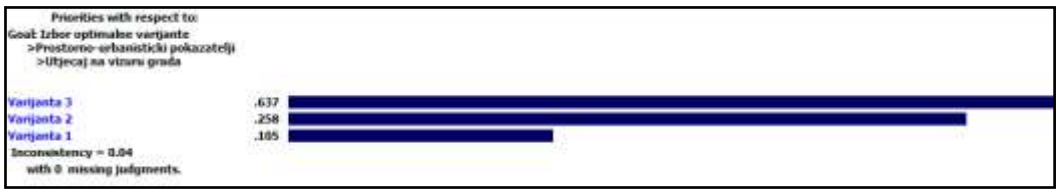


Slika 64. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Zahtjevnost izvedbe" u programskom alatu Expert Choice

Razina utjecaja na vizuru grada u Varijanti 1 je niska jer mjere iz navedene varijante veoma slabo utječu na vizuru grada. U Varijanti 2 razina utjecaja na vizuru grada je srednja zbog novoizgrađenog pothodnika i nathodnika koji utječu na cjelokupnu sliku vizure grada. Razina utjecaja na vizuru grada u Varijanti 3 je visoka jer takva dva veoma važna pothodnika ulaze u centar pozornosti vizure grada. Tablica 16 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Utjecaj na vizuru grada". Slika 65 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Utjecaj na vizuru grada" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 16. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Utjecaj na vizuru grada"

Varijante	**Razina utjecaja na vizuru grada**	**Rang**
Varijanta 1	Niska	3
Varijanta 2	Srednja	2
Varijanta 3	Visoka	1



Slika 65. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Utjecaj na vizuru grada" u programskom alatu Expert Choice

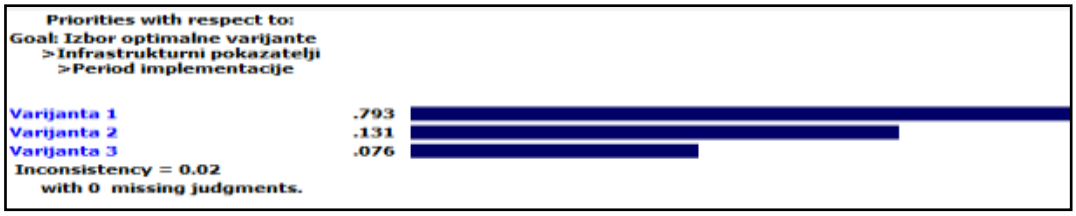
6.3.5. Infrastrukturni pokazatelji

Točno trajanje perioda implementacije za svaku od varijanata nije moguće izračunati temeljem trenutno dostupnih podataka autoru, ali moguće je odrediti međusobni odnos između perioda implementacije za svaku pojedinu varijantu. Period implementacije vezan je uz zahtjevnost izvedbe te je u Varijanti 1 veoma kratak i moguće ga je obaviti u jednom danu. U Varijanti 3 predstavlja dugo razdoblje u kojem je potrebno puno pripreme terena i radova kako bi se izgradili pothodnici na obje lokacije i postojeći pothodnik na istočnoj lokaciji preuredio u biciklističku stazu. Period implementacije Varijante 2 predstavlja razdoblje koje traje duže od perioda implementacije Varijante 1 i kraće od perioda implementacije Varijante 3. Tablica 17 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Period implementacije".

Slika 66 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju “Period implementacije” u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 17. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Period implementacije”

Varijante	Period implementacije	Rang
Varijanta 1	Kratki	1
Varijanta 2	Srednje dugi	2
Varijanta 3	Dugi	3

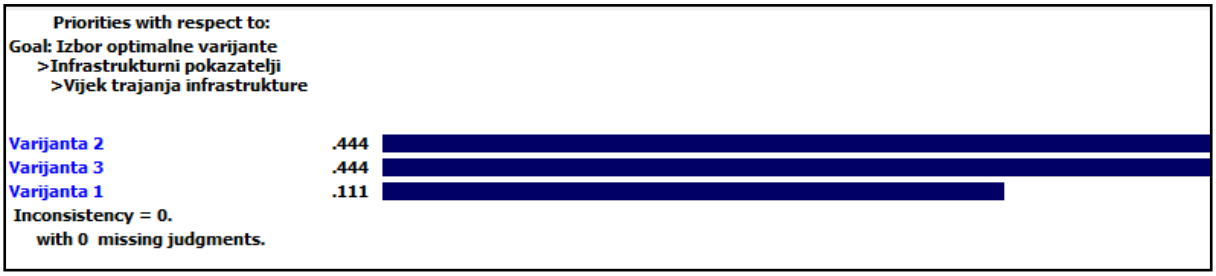


Slika 66. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Period implementacije” u programskom alatu Expert Choice

Vijek trajanja infrastrukture subjektivna je procjena autora i u Varijanti 2 i Varijanti 3 predstavlja dugi period što bi značilo oko trideset godina fizičkog trajanja infrastrukture uz adekvatno održavanje. U Varijanti 1 je taj vijek nešto kraći zbog materijala koji se koriste za izradu anti-trespass panela i ograda i koji su podložni trošenju pod utjecajem vanjskih čimbenika i vremenskih uvjeta. Tablica 18 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture”. Slika 67 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture” u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 18. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture”

Varijante	Vijek trajanja infrastrukture	Rang
Varijanta 1	Srednje dugi	2
Varijanta 2	Dugi	1
Varijanta 3	Dugi	1



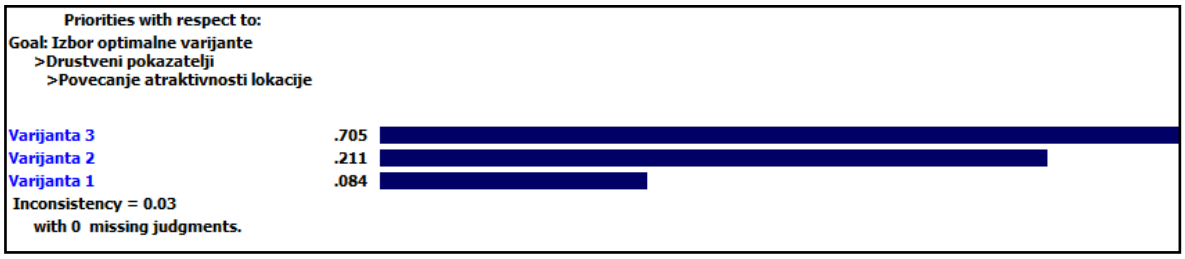
Slika 67. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture” u programskom alatu Expert Choice

6.3.6. Društveni pokazatelji

Razina povećanja atraktivnosti lokacije u Varijanti 1 je niska. Iako značajno utječu na sigurnost, ograde i anti-trespass paneli nisu elementi koji povećavaju atraktivnost lokacije u značajnoj mjeri. U Varijanti 2 navedena razina je srednja zbog same atraktivnosti pothodnika na istočnoj lokaciji i nathodnika na zapadnoj lokaciji. Visoka razina povećanja atraktivnosti lokacije u Varijanti 3 rezultat je dvaju veoma bitnih te atraktivno uređenih pothodnika na obje lokacije. Tablica 19 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje atraktivnosti lokacije". Slika 68 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Povećanje atraktivnosti lokacije" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 19. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje atraktivnosti lokacije"

Varijante	Razina povećanja atraktivnosti lokacije	Rang
Varijanta 1	Niska	3
Varijanta 2	Srednja	2
Varijanta 3	Visoka	1

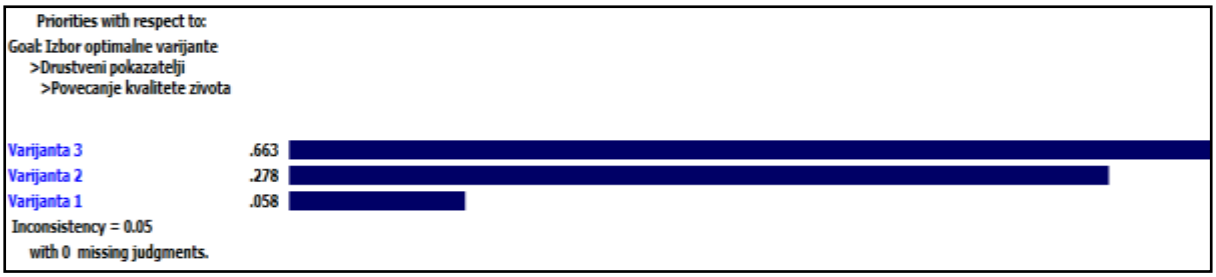


Slika 68. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Povećanje atraktivnosti lokacije" u programskom alatu Expert Choice

Razina povećanja kvalitete života u Varijanti 1 je niska jer se postavljanjem ograda i anti-trespass panela neće značajno povećati kvaliteta života građana. U Varijanti 3 razina povećanja kvalitete života je ekstremno visoka jer je građanima omogućeno sigurno, jednostavno, brzo i ugodno svakodnevno pješačenje i vožnja biciklom bez konfliktnih točaka sa željezničkim tokovima. Razina povećanja kvalitete života u Varijanti 2 je visoka odnosno nalazi se između razina varijante jedan i varijante tri. Tablica 20 prikazuje vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje kvalitete života". Slika 69 prikazuje vrednovane varijante prema potkriteriju "Povećanje kvalitete života" u programskom alatu Expert Choice.

Tablica 20. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju "Povećanje kvalitete života"

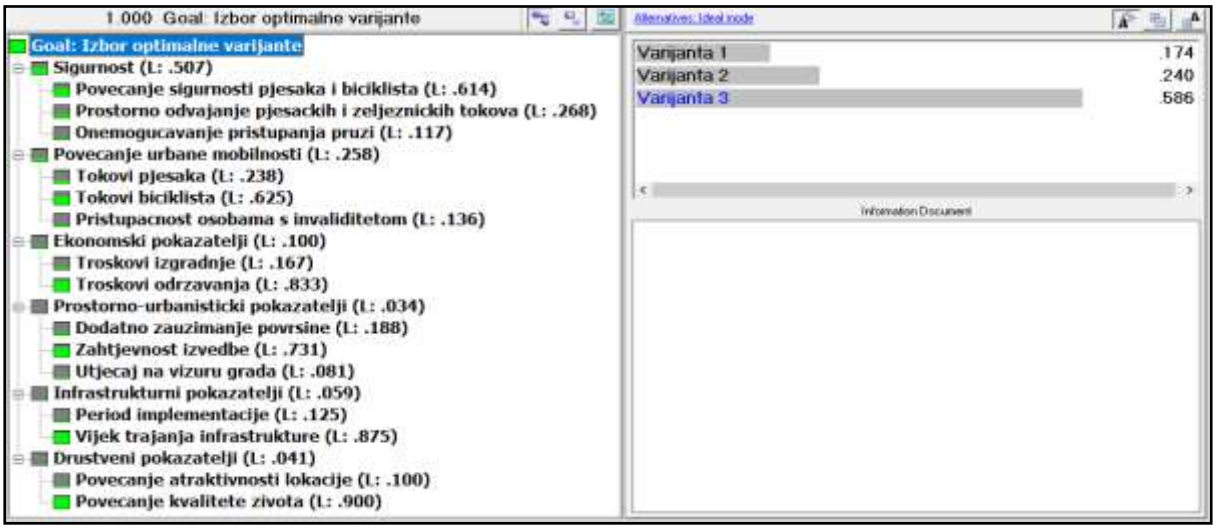
Varijante	Razina povećanja kvalitete života	Rang
Varijanta 1	Niska	3
Varijanta 2	Visoka	2
Varijanta 3	Ekstremno visoka	1



Slika 69. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju "Povećanje kvalitete života" u programskom alatu Expert Choice

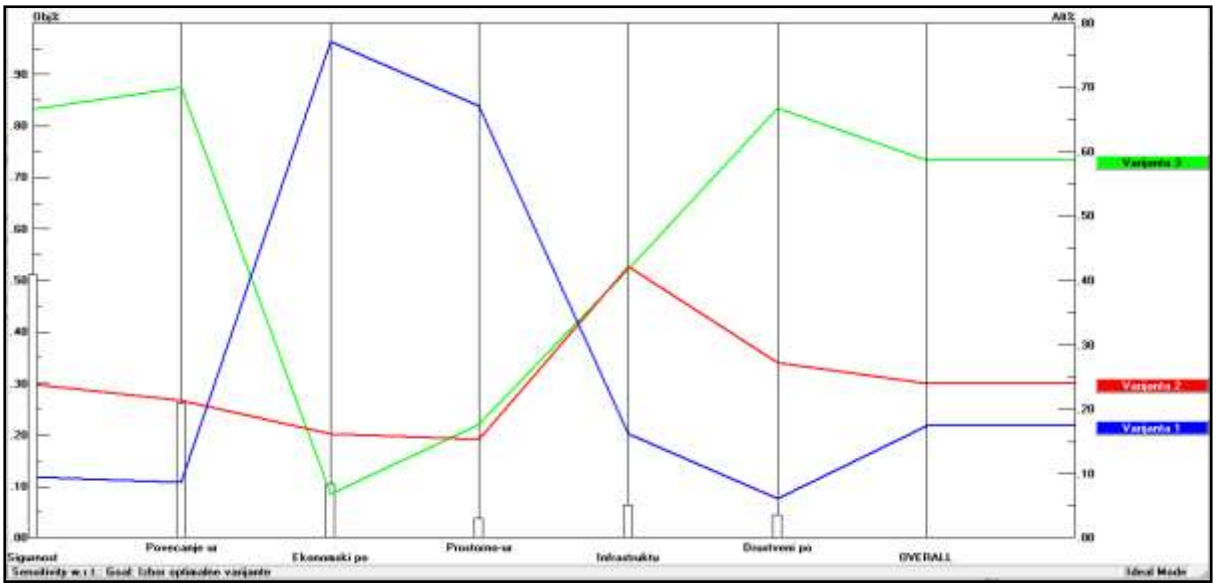
6.4. Izbor optimalne varijante

Nakon strukturiranja AHP modela, rangiranja kriterija, potkriterija i varijanata slijedi izbor optimalne varijante predloženih prometnih rješenja. Na temelju međusobnih odnosa parova kriterija i parova potkriterija te odnosa potkriterija i varijanata dobivena je osnova za izbor optimalne varijante. Izabrana optimalna varijanta je Varijanta 3 u kojoj je predloženo prometno rješenje izgradnje pothodnika i fizički odvojene biciklističke staze na istočnoj lokaciji te prometno rješenje izgradnje pothodnika koji povezuje željezničku postaju Vrapče i autobusni terminal Vrapče na zapadnoj lokaciji. Slika 70 prikazuje izbor optimalne varijante u programskom alatu Expert Choice. Na navedenoj slici je vidljivo da najveći udio u izboru optimalne varijante imaju kriterij "Sigurnost" i kriterij "Povećanje urbane mobilnosti", a Varijantom 3 se postižu najveće vrijednosti za ta dva pokazatelja odnosno kriterija. Prema tome, Varijanta 3 je logičan izbor optimalne varijante.



Slika 70. Izbor optimalne varijante u programskom alatu Expert Choice

Slika 71 grafički prikazuje odnos varijanata i kriterija u programskom alatu Expert Choice. Na navedenoj slici je vidljivo da Varijanta 3 predstavlja najbolje rješenje kroz najveći broj kriterija. Prema kriterijima "Ekonomski pokazatelji" i "Prostorno-urbanistički pokazatelji" kao najbolje rješenje pokazala se Varijanta 1, ali prema svim ostalim kriterijima Varijanta 1 predstavlja najlošije rješenje. Varijanta 2 se pokazala kao bolje rješenje od Varijante 3 prema kriteriju "Ekonomski pokazatelji". Prema kriteriju "Infrastrukturni pokazatelji" Varijanta 2 i Varijanta 3 daju jednake rezultate, ali prema ostala četiri kriterija Varijanta 2 se pokazala kao lošije rješenje od Varijante 3. Ukupni rezultati prikazuju Varijantu 3 kao izabranu optimalnu varijantu s 58,6%, dok je Varijanta 2 ostvarila 24%, a Varijanta 1 17,4%.

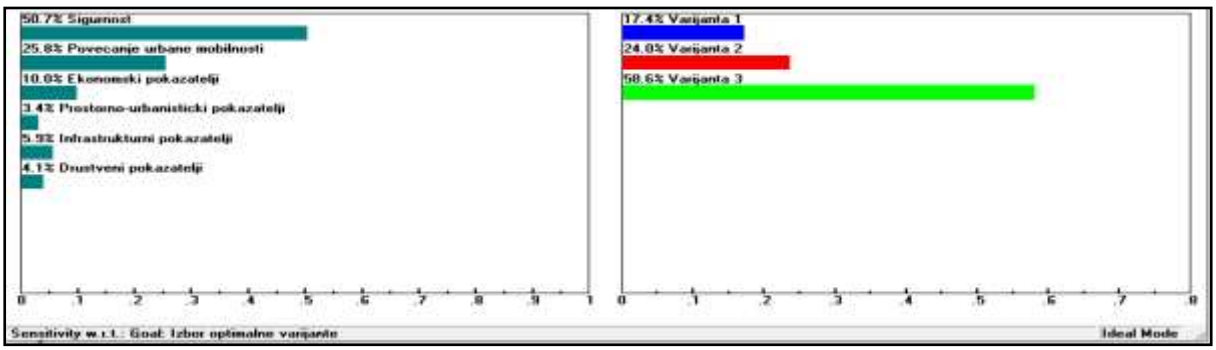


Slika 71. Grafički prikaz odnosa varijanata i kriterija u programskom alatu Expert Choice

6.5. Analiza osjetljivosti

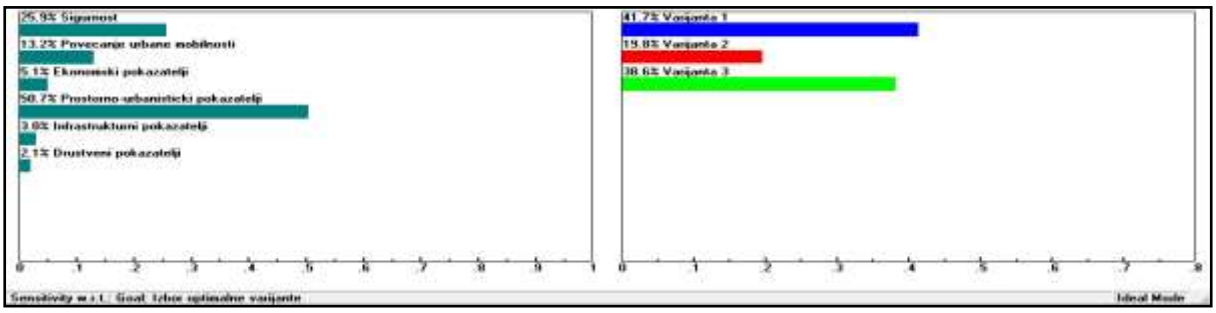
Analiza osjetljivosti omogućuje određivanje "kritičkih" varijabli ili parametara modela te procjenu prihvatljivosti projekta ako vrijednosti kritičnih parametara projekta budu promijenjene. Cilj analize osjetljivosti projekta je procjena prihvatljivosti projekta, ako se vrijednosti kritičnih parametara 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. Kritične varijable kod AHP metode su kriteriji odnosno potkriteriji. Varijacije njihovih pondera mogu imati najveći utjecaj na rezultate projekta odnosno važnost varijanata i u konačnici izbor optimalne varijante. [10]

Varijanta 3 je metodom AHP izabrana kao optimalna varijanta prema promatranim kriterijima, a kao najvažniji kriterij odnosno najviše rangirani pokazao se kriterij "Sigurnost". Kriterij "Prostorno-urbanistički pokazatelji" nalazi se na posljednjem mjestu po važnosti kriterija. Glavni cilj ovog rada je prijedlog rješenja koja će prvenstveno povećati sigurnost i mobilnost pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova bez negativnih učinaka na ostale pokazatelje, stoga se kriterij "Prostorno-urbanistički pokazatelji" nije istaknuo kao jedan od važnijih čimbenika za donošenje odluke o optimalnom prometnom rješenju. Slika 72 prikazuje rangiranje kriterija prije analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice.



Slika 72. Rangiranje kriterija prije analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice

U svrhu prikaza osjetljivosti varijanata na promjene važnosti kriterija, kriteriju "Prostorno-urbanistički pokazatelji" postavljena je najveća vrijednost važnosti u skupini kriterija i predstavlja udio od 50,7% kao što iznosi udio najviše rangiranog kriterija "Sigurnost" nakon obavljenog procesa AHP metode. Nakon navedene promjene dogodila se izmjena optimalnog rješenja i Varijanta 1 je prikazana kao optimalna varijanta sa 41,7% udjela u izboru optimalne varijante. Varijanta 3 je druga najbolja varijanta sa udjelom od 38,6%, dok je Varijanta 2 prikazana kao najlošija varijanta sa udjelom od 19,8%. Slika 73 prikazuje rangiranje kriterija nakon analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice.



Slika 73. Rangiranje kriterija nakon analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice

7. RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Zagrebačkim naseljem Vrapče prolazi željeznička pruga državna granica – Savski Marof – Zagreb Glavni kolodvor službene oznake M101. Svakodnevne migracije građana zahtijevaju prelaženje preko navedene pruge. Ilegalni prijelazi pješaka preko pruge u zagrebačkom naselju Vrapče rezultat su lošeg stanja i loše izvedene postojeće infrastrukture namijenjene kretanju pješaka. Svakodnevnim ilegalnim prelaženjem preko pruge pješaci dovode u opasnost sebe te korisnike željezničkog prijevoza i time negativno utječu na sigurnost prometnog sustava. U svrhu ovog rada promatrane su dvije lokacije gdje postoje „divlji prijelazi" i kroz rad su navedene kao istočna i zapadna lokacija s obzirom na međusobni odnos smještaja u prostoru. Istočna lokacija se nalazi kod raskrižja u razini pruge M101 i ulice Oranice, južno od raskrižja Ilica – ulica Oranice i sjeverno od raskrižja Kožinčev put – ulica Oranice. Zapadna lokacija nalazi se neposredno uz željezničku postaju Vrapče sa istočne strane, sjeverno od ulice Vrapčanska putina i južno od raskrižja Ilica – Aleja Bologne – Ulica Majke Terezije. Na obje lokacije postoji infrastruktura koja omogućuje pješacima prelazak preko pruge u obliku pothodnika, no veći udio pješaka odabire „divlje prijelaze". Razlog tome na istočnoj lokaciji je loše stanje postojeće infrastrukture i već postojeće utabane staze nastale svakodnevnim ilegalnim prelascima putem kojih pješaci kraćim putem u kraćem vremenu, u odnosu na pothodnik, prelaze preko pruge. Na zapadnoj lokaciji je problem udaljenost, koja iznosi 250 metara, pothodnika od same lokacije gdje nastaju ilegalni prelasci preko pruge i postojeće utabane staze koje pješacima daju do znanja da se tu svakodnevno prelazi preko pruge.

Provedena je analiza postojeće prometne infrastrukture, analiza prometnih tokova i analiza sigurnosti postojećeg stanja. Analizom postojeće prometne infrastrukture zaključeno je da je postojeća prometna infrastruktura koja omogućuje siguran prelazak pješaka preko pruge na istočnoj lokaciji u lošem stanju, upitno dovoljnog kapaciteta i nije osigurana pristupačnost osobama s invaliditetom na jednom od ulaza/izlaza pothodnika. Zaključeno je da je prometna infrastruktura koja omogućuje siguran prijelaz pješaka preko pruge na zapadnoj lokaciji u dobrom stanju, dovoljnog kapaciteta te je osigurana pristupačnost osobama s invaliditetom, ali je udaljen 250 metara od mjesta na kojem nastaju ilegalni prijelazi. Za potrebe analize prometnih tokova ručno su prikupljeni ulazni podaci brojanjem prometa. Na obje lokacije brojanje prometa je obavljeno u jutarnjem i popodnevnom vršnom satu te u izvanvršnom satu. Na zapadnoj lokaciji prikupljeni su samo podaci o broju ilegalnih prelazaka preko pruge i najveći udio ilegalnih prijelaza u iznosu od 52,3% je u popodnevnom vršnom satu. Na istočnoj lokaciji prikupljeni su podaci o legalnom i ilegalnom broju prelazaka preko pruge. Zaključeno je da od ukupnih 559 pješaka koji prelaze prugu 69,9% prelazaka predstavlja ilegalne prelaske, odnosno 391 pješak prelazi prugu ilegalno putem „divljeg prijelaza". Analizom sigurnosti postojećeg stanja prikazan je broj incidenata, nesreća i ozbiljnih nesreća te broj usmrćenih, ozlijeđenih i teško ozlijeđenih osoba u promatranoj gravitacijskoj zoni na pruzi i neposredno uz prugu u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine. Vidljiv je trend rasta prethodno navedenih događaja od 2010. godine do 2017. godine i zatim trend pada od 2017. godine pa do travnja 2022. godine. U promatranom razdoblju zabilježeno je prosječno jedno samoubojstvo godišnje i jedan pokušaj samoubojstva svake dvije godine u promatranoj gravitacijskoj zoni pruge. Snimanjem stanja na terenu, utvrđeno je da postoje ploče obavijesti u svrhu prevencije pokušaja samoubojstva na obje promatrane lokacije.

Na temelju informacija i rezultata dobivenih analizom postojećeg stanja predložene su tri varijante prometnih rješenja koja bi poboljšala trenutno stanje sigurnosti i mobilnosti pješaka bez negativnih učinaka na ostale pokazatelje funkcionalnosti cjelokupnog prometnog sustava. Svakom varijantom predložene su mjere poboljšanja zasebno na istočnoj i zapadnoj lokaciji interesa. Varijanta 1 predstavlja paket mjera koje su financijski povoljnije i jednostavnije za izvođenje odnosno postavljanje. Navedenom varijantom na istočnoj lokaciji predlaže se postavljanje ograda, anti-trespass panela i dizala na jednom od ulaza/izlaza pothodnika gdje nije osigurana pristupačnost za osobe s invaliditetom. Na zapadnoj lokaciji predlaže se postavljanje ograda i anti-trespass panela. Varijanta 2 je nadogradnja Varijante 1 što znači da zadržava mjere navedene u prethodnoj varijanti. Na istočnoj lokaciji se predlaže izgradnja novog pothodnika uz mjere iz Varijante 1, dok se na zapadnoj lokaciji predlaže izgradnja nathodnika također uz zadržavanje mjera iz Varijante 1. Varijanta 3 na istočnoj lokaciji je nadogradnja druge varijante iste lokacije gdje se predlaže preuređenje postojećeg pothodnika u fizički odvojenu biciklističku stazu zbog velikog broja biciklista i korisnika električnih romobila primijećenog za vrijeme prikupljanja ulaznih podataka u svrhu analize prometnih tokova odnosno brojanja prometa. Varijanta 3 na zapadnoj lokaciji predlaže nadogradnju mjera iz Varijante 1 izgradnjom novog pothodnika koji povezuje željezničku postaju Vrapče i autobusni terminal Vrapče. Varijanta 2 je financijski i uvjetima izvedbe zahtjevnija od Varijante 1 te rezultira boljim pokazateljima sigurnosti i urbane mobilnosti pješaka i biciklista. Varijanta 3 predstavlja financijski najzahtjevniju i najkompleksniju varijantu na temelju zahtjevnosti izvedbe, no ostvaruje najbolje rezultate povećanja sigurnosti i urbane mobilnosti pješaka i biciklista.

Korištenjem metode Analitičkog hijerarhijskog procesa u programskom alatu Expert Choice vrednovane su predložene varijante te je odabrana optimalna varijanta na temelju promatranih kriterija i potkriterija. Najveća vrijednost dodijeljena je kriteriju sigurnosti, zatim kriteriju povećanja urbane mobilnosti, potom kriteriju ekonomskih pokazatelja, nakon njega kriteriju infrastrukturnih pokazatelja pa kriteriju društvenih pokazatelja i na kraju kriteriju prostorno–urbanističkih pokazatelja. Varijanta 3 je odabrana kao optimalna varijanta sa 58,6% udjela u izboru između tri varijante, Varijanta 2 ostvarila je drugi rang sa 24%, a Varijanta 1 ostvarila je treći rang sa 17,4%. Varijanta 1 ostvaruje dobre rezultate povećanja sigurnosti jer onemogućava pješacima i biciklistima pristupanje pruzi, ali nema značajnog poboljšanja urbane mobilnosti jer zadržava postojeća prometna rješenja za prijelaz preko pruge. Varijanta 2 ostvaruje bolje rezultate sigurnosti i povećanja urbane mobilnosti od Varijante 1, ali još ostavlja prostora za poboljšanjem. Izabrana optimalna varijanta je Varijanta 3 te predstavlja logičan izbor na temelju važnosti kriterija sigurnosti i povećanja urbane mobilnosti gdje Varijanta 3 izgradnjom novih pothodnika na obje lokacije te fizički odvojene biciklističke staze na istočnoj lokaciji ostvaruje najbolje pokazatelje povećanja sigurnosti i urbane mobilnosti pješaka i biciklista bez obzira na financijsku zahtjevnost. Nakon zaključenih najboljih poboljšanja primarnih ciljeva Varijantom 3 poboljšavaju se i sekundarni ciljevi koji predstavljaju važnu ulogu u svakodnevnici lokalnog stanovništva odnosno građana zagrebačkog naselja Vrapče, a to su atraktivnost lokacije i povećanje kvalitete života. Poticanje pješačenja i korištenja bicikla za potrebe putovanja na kratkim udaljenostima je besmisleno ako za to ne postoji adekvatna infrastruktura, a Varijantom 3 se građanima omogućuje jednostavan, siguran i brz ekološki prihvatljivi način putovanja odnosno pješačenje te korištenje bicikla u zonama križanja pješačkih i željezničkih prometnih tokova.

Literatura

[1] Open Street Map . Preuzeto s: https://www.openstreetmap.org/#map=17/45.81241/15.90185 [Pristupljeno: 18. ožujka 2022.]

[2] Ryan B, Kallberg VP, Rådbo H, Havârneanu GM, Silla A, Lukaschek K, Burkhardt JM, Bruyelle JL, El-Koursi EM, Beursken E, Hedqvist M. Collecting evidence from distributed sources to evaluate railway suicide and trespass prevention measures. *Ergonomics.* 2018; 61(11): 1433-1453. Preuzeto s: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140139.2018.1485970 [Pristupljeno: 25. travnja 2022.]

[3] Kallberg VP i Silla A. Prevention of railway trespassing by automatic sound warning - A pilot study. *Traffic Injury Prevention.* 2017; 18(3): 330-335. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S1538958822000790 [Pristupljeno: 25. travnja 2022.]

[4] Song T, Pu H, Schonfeld P, Zhang H, Li W, Peng X, Hu J, Liu W. GIS-based multi-criteria railway design with spatial environmental considerations. *Applied Geography.* 2021; 131. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622821000655 [Pristupljeno: 26. travnja 2022.]

[5] Larue GS, Watling CN. Prevalence and dynamics of distracted pedestrian behaviour at railway level crossings: Emerging issues. *Accident Analysis & Prevention.* 2022; 165. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000145752100539X [Pristupljeno: 26. travnja 2022.]

[6] Larue GS, Watling CN, Black A, Wood JM. Improving the safety of distracted pedestrians with in-ground flashing lights. A railway crossing field study. *Journal of Safety Research.* 2021; 77: 170-181. Preuzeto s: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022437521000323 [Pristupljeno: 28. travnja 2022.]

[7] Metaxatos P, Sriraj PS. Pedestrian Safety at Rail Grade Crossings: Focus Areas. *Urban Rail Transit.* 2015*;* 1(4): 238-248. Preuzeto s: https://link.springer.com/article/10.1007/s40864-016-0030-4 [Pristupljeno: 28. travnja 2022.]

[8] Zelenika R. *Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela*. Rijeka: Ekonomski fakultet u Rijeci; 2000.

[9] Legac I. *Gradske prometnice*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2011.

[10] Barić D. Nastavni materijali iz kolegija *Vrednovanje cestovnih projekata*, Fakultet prometnih znanosti, akademska godina 2021./2022.

[11] Barić D. *Model planiranja prometno-tehnoloških projekata u funkciji razvoja željeznice*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, doktorska disertacija; 2010.

[12] Karleuša B, Dragičević N, Deluka-Tibljaš A. Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi. *Građevinar*. 2013; 65(7): 619-631. Preuzeto s: http://www.casopis-gradjevinar.hr/arhiva/article/850 [Pristupljeno: 28. travnja 2022.]

[13] Republika Hrvatska. *Zakon o sigurnosti i interoperabilnosti željezničkog sustava. Izdanje: 063*. Zagreb: Narodne novine; 2020.

[14] HŽ Infrastruktura, interna statistika 2022.

[15] LBFoster. *Anti-trespass Panels*. Preuzeto s: https://lbfoster.com/en/market-segments/rail-technologies/solutions/anti-trespass-panels. [Pristupljeno: 21. lipnja 2022.]

[16] Colliard J. *REduction of Suicides and Trespasses on RAILway property, Evaluation of measures, recommendations and guidelines for further implementation. Pilot test #5. A combination of measures at Ayden Station - TCDD*. Ayden: International Union of Railways (UIC); 2014. Preuzeto s: https://www.restrail.eu/ [Pristupljeno: 26. lipnja 2022.]

[17] America's Transportation Awards. *AZ: Litchfield Park Pedestrian Underpass*. Preuzeto s: https://americastransportationawards.org/2014-entries/az-litchfield-park-pedestrian-underpass/ [Pristupljeno: 30. svibnja 2022.]

[18] NetworkRail. *Innovative "flow" footbridge*. Preuzeto s: https://www.networkrail.co.uk/industry-and-commercial/research-development-and-technology/research-and-development-programme/innovative-modular-footbridge-design/ [Pristupljeno: 30. svibnja 2022.]

[19] Barić D, Džambo A. An application of the AHP method for evaluation of level crossing design in a congested urban area: Case study LC Sokolska in Zagreb, Croatia. *Transport problems.* 2021; 16(4): 95-106. Preuzeto s: https://www.exeley.com/transport_problems/doi/10.21307/tp-2021-063 [Pristupljeno: 4. srpnja 2022.]

Popis slika

Slika 1. Makrolokacija zone obuhvata 3
Slika 2. Mikrolokacija broj 1 4
Slika 3. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled s istoka 4
Slika 4. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled s jugoistoka 5
Slika 5. Terenski prikaz mikrolokacije broj 1 – pogled sa zapada 5
Slika 6. Mikrolokacija broj 2 6
Slika 7. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled s juga, zapadno od ulice Oranice 6
Slika 8. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled s jugoistoka, zapadno od ulice Oranice 7
Slika 9. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera, zapadno od ulice Oranice ...7
Slika 10. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera, istočno od ulice Oranice ...8
Slika 11. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled prema sjeveru (ulica Ilica), istočno od ulice Oranice 8
Slika 12. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled sa sjevera u blizini pruge, istočno od ulice Oranice 9
Slika 13. Terenski prikaz mikrolokacije broj 2 – pogled od pruge prema sjeveru (ulica Ilica), istočno od ulice Oranice 9
Slika 14. Podjela višekriterijskog odlučivanja 16
Slika 15. Hijerarhijska struktura AHP modela 18
Slika 16. Prikaz gravitacijskog područja s označenim bitnim elementima 21
Slika 17. Autobusni terminal Vrapče (1) 22
Slika 18. Željeznička postaja Vrapče (2) 22
Slika 19. Rizična lokacija prelaska pješaka preko ceste (3) 23
Slika 20. Rizična lokacija prelaska pješaka preko pruge (4a) 23
Slika 21. Rizična lokacija prelaska pješaka preko pruge (4b) 24
Slika 22. Parkiralište (5) 24
Slika 23. Autobusna postaja Vrapče – želj. stanica (6a) 25
Slika 24. Autobusna postaja Vrapčanska (6b) 25
Slika 25. Autobusna postaja Vrapčanska (6c) 26
Slika 26. Pothodnik na istočnoj lokaciji 27
Slika 27. Ulaz/izlaz broj 2 pothodnika na istočnoj lokaciji 28
Slika 28. Pothodnik na zapadnoj lokaciji 29
Slika 29. Rampa R1 (lijevo) i rampa R2 (desno) 29
Slika 30. Ulaz/izlaz broj 1 pothodnika na zapadnoj lokaciji 30

Slika 31. Ulaz/izlaz broj 2 pothodnika na zapadnoj lokaciji 30
Slika 32. Ulaz/izlaz broj 3 pothodnika na zapadnoj lokaciji 31
Slika 33. Ulaz/izlaz broj 4 pothodnika na zapadnoj lokaciji 31
Slika 34. Udaljenost od zapadne lokacije na kojoj nastaju ilegalni prijelazi preko pruge do pothodnika 32
Slika 35. Grafički prikaz prometnog opterećenja ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na zapadnoj lokaciji 36
Slika 36. Grafički prikaz prometnog opterećenja ilegalnih prijelaza pješaka preko pruge i prometovanja vlakova na istočoj lokaciji 36
Slika 37. Ploča obavijesti za prevenciju pokušaja samoubojstva 39
Slika 38. Anti-trespass paneli 42
Slika 39. Prikaz prijedloga rješenja varijante 1 na istočnoj lokaciji 44
Slika 40. Prikaz prijedloga rješenja varijante 1 na zapadnoj lokaciji 44
Slika 41. Primjer pothodnika iz Litchfield Parka u Arizoni 45
Slika 42. Prikaz prijedloga rješenja varijante 2 na istočnoj lokaciji 46
Slika 43. Prikaz prijedloga rješenja varijante 2 na zapadnoj lokaciji 47
Slika 44. Prototip nathodnika „Flow footbridge“ na testnoj stazi u Warwickshire-u u Engleskoj 47
Slika 45. Prikaz prijedloga rješenja varijante 3 na istočnoj lokaciji 48
Slika 46. Prikaz prijedloga rješenja varijante 3 na zapadnoj lokaciji 49
Slika 47. Hijerarhijska struktura AHP modela 50
Slika 48. Prikaz rangiranih kriterija u programskom alatu Expert Choice 51
Slika 49. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Sigurnost” u programskom alatu Expert Choice 52
Slika 50. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Povećanje urbane mobilnosti” u programskom alatu Expert Choice 53
Slika 51. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Ekonomski pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice 54
Slika 52. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Prostorno-urbanistički pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice 54
Slika 53. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Infrastrukturni pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice 55
Slika 54. Prikaz rangiranih potkriterija u skupini kriterija “Društveni pokazatelji” u programskom alatu Expert Choice 56
Slika 55. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista” u programskom alatu Expert Choice 57

Slika 56. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova” u programskom alatu Expert Choice 57

Slika 57. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Onemogućavanje pristupanja pruzi” u programskom alatu Expert Choice.....58

Slika 58. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Tokovi pješaka” u programskom alatu Expert Choice 58

Slika 59. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Tokovi biciklista” u programskom alatu Expert Choice 59

Slika 60. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Pristupačnost osobama s invaliditetom” u programskom alatu Expert Choice 60

Slika 61. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Troškovi izgradnje” u programskom alatu Expert Choice 60

Slika 62. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Troškovi održavanja” u programskom alatu Expert Choice 61

Slika 63. Prikaz iznosa dodatnog zauzimanja površine.....61

Slika 64. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Dodatno zauzimanje površine” u programskom alatu Expert Choice 62

Slika 65. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Zahtjevnost izvedbe” u programskom alatu Expert Choice 63

Slika 66. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Utjecaj na vizuru grada” u programskom alatu Expert Choice 63

Slika 67. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Period implementacije” u programskom alatu Expert Choice 64

Slika 68. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture” u programskom alatu Expert Choice 64

Slika 69. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Povećanje atraktivnosti lokacije” u programskom alatu Expert Choice 65

Slika 70. Prikaz vrednovanih varijanata prema potkriteriju “Povećanje kvalitete života” u programskom alatu Expert Choice 66

Slika 71. Izbor optimalne varijante u programskom alatu Expert Choice 66

Slika 72. Grafički prikaz odnosa varijanata i kriterija u programskom alatu Expert Choice 67

Slika 73. Rangiranje kriterija prije analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice .67

Slika 74. Rangiranje kriterija nakon analize osjetljivosti u programskom alatu Expert Choice 68

Popis tablica

Tablica 1. Saaty-eva skala važnosti 19

Tablica 2. Izračunate vrijednosti RI za n usporedbi 20

Tablica 3. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu 32

Tablica 4. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u izvanvršnom satu ... 33

Tablica 5. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na zapadnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu 33

Tablica 6. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u jutarnjem vršnom satu 34

Tablica 7. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u izvanvršnom satu 34

Tablica 8. Podaci prikupljeni brojanjem prometa na istočnoj lokaciji u popodnevnom vršnom satu 35

Tablica 9. Osnovni podaci pruge koja prolazi kroz promatrano gravitacijsko područje 37

Tablica 10. Podaci o broju vlakova na pruzi koja prolazi kroz promatrano gravitacijsko područje 37

Tablica 11. Izvanredni događaji između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine 38

Tablica 12. Podaci o izvanrednim događajima na ŽCP Sokolska 40

Tablica 13. Rezultati promatranja prelazaka preko pruge na željezničkoj postaji Aydin 43

Tablica 14. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Povećanje sigurnosti pješaka i biciklista” 56

Tablica 15. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Prostorno odvajanje pješačkih i željezničkih tokova” 57

Tablica 16. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Onemogućavanje pristupanja pruzi” 58

Tablica 17. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Tokovi pješaka” 58

Tablica 18. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Tokovi biciklista” 59

Tablica 19. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Pristupačnost osobama s invaliditetom” 59

Tablica 20. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Troškovi izgradnje” 60

Tablica 21. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Troškovi održavanja” 61

Tablica 22. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Dodatno zauzimanje površine” 62

Tablica 23. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Zahtjevnost izvedbe” 62

Tablica 24. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Utjecaj na vizuru grada” 63

Tablica 25. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Period implementacije” 64

Tablica 26. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Vijek trajanja infrastrukture”.....64
Tablica 27. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Povećanje atraktivnosti lokacije” ...65
Tablica 28. Vrednovanje varijanata prema potkriteriju “Povećanje kvalitete života” 65

Popis grafikona

Grafikon 1. Prikaz ilegalnih prijelaza preko pruge na zapadnoj lokaciji 34

Grafikon 2. Prikaz prijelaza preko pruge na istočnoj lokaciji 35

Grafikon 3. Prikaz izvanrednih događaja između stajališta Vrapče i stajališta Kustošija u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine 39

Grafikon 4. Prikaz izvanrednih događaja na ŽCP Sokolska u razdoblju od 2010. godine do travnja 2022. godine 41

Grafikon 5. Prikaz rezultata promatranja prelazaka preko pruge na željezničkoj postaji Aydin 43

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad (*vrsta rada*) isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Višekriterijska analiza prometnih rješenja u svrhu povećanja sigurnosti i mobilnosti pješaka u zonama križanja pješačkih i željezničkih tokova u zagrebačkom naselju Vrapče**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 25.08.2022.

Mateo Tomašević,
(ime i prezime, *potpis*)