

Sigurnost pješačkog prometa kao kriterij procjene prometnih rješenja u urbanim prostorima

Ištoka Otković, Irena; Deluka-Tibljaš, Aleksandra; Šimunović, Mirjana; Kvesić, Elizabeta

Source / Izvornik: **Put plus, 2024, 2024/2025, 228 - 236**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:133:611022>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



SIGURNOST PJEŠAČKOG PROMETA

kao kriterij procjene prometnih rješenja u urbanim prostorima

Pješaćenje je osnovni oblik kretanja kojim svako putovanje započinje i završava, a u uvjetima suvremenog prometa u urbanim sredinama, važan faktor za poticanje ovog zdravog i ekološki prihvatljivog načina kretanja je sigurnost pješačkih tokova. Kontrola brzine i smirivanje prometa jedan je od osnovnih ciljeva svih programa cestovne sigurnosti prometa koji za cilj imaju zaštitu pješaka. U ovome radu su prezentirani primjeri varijantnih rješenja rekonstrukcije prometne infrastrukture koju koristi jedna od osjetljivih kategorija sudionika u prometu, djeca-pješaci. Rješenja se razlikuju prema mjerama za smirivanje prometa koje su predviđene. Analiza rješenja je temeljena na podacima prikupljenim na lokacijama (brzina i količina motornog prometa, ponašanje pješaka) te na temelju tih podataka razvijenim modelima prometne mikrosimulacije (VISSIM). Temeljem više kriterija - brzina motornog prometa, duljina konfliktne zone i kapacitet; u oba je slučaja izabrano optimalno rješenje iz aspekta sigurnosti pješačkog prometa. Prezentirani način odabira rješenja primjenjiv je i u drugim sličnim situacijama.

Uvod

Hodanje je najstariji oblik mobilnosti koji ima niz pozitivnih efekata uključujući neutralan utjecaj na okoliš, socijalnu uključivost, zdravstvene i ekonomske prednosti i pristupačnost širokom dobnom rasponu korisnika. Kao što je istaknuto u Agendi za ciljeve održivog razvoja (Agenda for Sustainable Development Goals) do 2030. godine, koju su Ujedinjeni narodi usvojili 2016. godine, postoji nekoliko ciljeva koji su izravno povezani s promoviranjem hodanja kao primarnog oblika mobilnosti, jer se može promatrati kao samostalan oblik ili kao jedan od modaliteta u svim drugim oblicima mobilnosti. Pješaćenje je početak i kraj svakog oblika mobilnosti, "prvi i zadnji kilometar" u korištenju javnog prijevoza, osobnog automobila itd., u pristupu svim urbanim sadržajima. U današnje vrijeme, kvaliteta prometne ponude, odnosno kvaliteta ponude infrastrukturnih elemenata koji su namijenjeni pješacima, kao što su nogostupi, trgovci, pasaži, parkovi i općenito javni prostori, jedan je od osnovnih motivatora za pješaćenje u urbanim područjima.

Prostorni i prometni planeri sve više prihvaćaju holistički pristup oblikovanju urbanog prostora koji prostorno i sadržajno stavlja čovjeka u središte pozornosti prilikom odabira ciljeva oblikovanja, što rezultira promoviranjem zelenih oblika mobilnosti. Sigurnost prometa i percepcija sigurnosti pješačkog kretanja od strane prometnih korisnika, još je jedan značajan utjecajni faktor na odabir pješaćenja kao oblika mobilnosti. Povećani rizik od ozljeda u

prometnim nesrećama predstavlja prepreku za sve aktivne oblike mobilnosti pa tako i za pješaćenje.

Prema preporukama Europske komisije, inženjerske važne mjere za smanjenje rizika od opasnosti po zdravlje i život pješaka su: projektiranje i izgradnja sigurnije prometne infrastrukture i konstrukcija sigurnijih vozila. Razni projekti održive mobilnosti usmjereni su na poboljšanje sigurnosti prometa, a prema rezultatima, učinkovitijima su se pokazali oni projekti koji imaju multidisciplinarni pristup u rješavanju problema prometne sigurnosti.

Pregled istraživanja

Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije 1,19 milijuna ljudi svake godine umre od posljedica prometnih nesreća. Između 20 i 50 milijuna ljudi godišnje u prometnim nesrećama zadobije teške tjelesne ozljede, koje nisu smrtonosne ali često uzrokuju trajni invaliditet. Ozljede u prometu vodeći su uzrok smrti djece i mladih u dobi od 5 do 29 godina, a u njima u najvećoj mjeri stradavaju osobe starije od 65 godina. Statistički podaci pokazuju da se 92% smrtnih ishoda prometnih nesreća na cestama u svijetu, događa u zemljama s niskim i srednjim dohotkom [1].

U Republici Hrvatskoj u 2022. godini zabilježen je pad broja poginulih osoba u prometu u odnosu na prethodnu godinu za 5,8%, ali broj ozlijeđenih osoba se povećao, teško ozlijeđenih za 10,3%, a lakše za 10,6% [2]. Prošle godine ukupno je smrtno stradalo osmero djece u prometu (do 13 godina starosti), od toga troje kao pješaci (37,5%), što je

lošije nego prethodne godine. U istom razdoblju evidentirano je 121 teško ozlijeđeno dijete u prometu, a od toga 53 (43,8%) u ulozi pješaka. Statistički pokazatelji za populaciju pješaka starijih od 65 godina su još lošiji. U ulozi pješaka poginule su 23 osobe (53,5%), a teško ozlijeđeno je 178 osoba (41%), što čini tu dobnu skupinu najugroženijom u ukupnom broju nastradalih pješaka na cestama u Republici Hrvatskoj [2].

U Hrvatskoj je bilo 72 smrtna slučaja u prometu na milijun stanovnika u 2021. godini, što je znatno iznad prosjeka Europske Unije (EU) i četvrta je najveća stopa smrtno stradalih u prometu među EU-27. Nakon pada na najnižu zabilježenu brojku 2020., smrtnost u prometu porasla je za 23% u 2021. To predstavlja smanjenje od 2% između 2019. i 2021., a znatno je ispod prosjeka EU od 13% manje smrtnih ishoda prometnih nesreća [3]. Specifičnost je Hrvatske i ta da pješaci u najvećem udjelu stradavaju na gradskoj cestovnoj mreži, njih preko 80% - po ovom je pokazatelju Hrvatska najlošija u EU [4].

Prema rezultatima brojnih studija, uzrok konflikta vozila i pješaka najčešće je ljudska pogreška (vozača i pješaka) koja igra značajnu ulogu u nastanku prometnih nesreća i njihovim posljedicama [5,6]. Faktori koji utječu na nastanak i ishode prometnih nesreća mogu se grupirati u nekoliko skupina, kao što su osobine pješaka, osobine vozača, karakteristike motornih vozila, karakteristike prometnog toka, obilježja infrastrukture, karakteristike lokacije, vremenskih i dnevnih uvjeta [7].

Sukladno brojnim istraživanjima kritičan je faktor brzina [7-11]. Zaustavni put je u korelaciji sa kvadratom brzine, a osim brzine vozila, važan utjecajni faktor je vrijeme reakcije vozača. Od elemenata ceste ulogu igraju uzdužni nagib i stanje kolničke površine, odnosno tangencijalno prijanjanje. Imajući u vidu razvoj vozila koja se učinkoviti-je zaustavljaju i imaju manji zaustavni put, moglo bi se očekivati da u novije vrijeme brzina ima manji utjecaj na ishode prometnih nezgoda. Istraživanja Elvik et al. (2019) potvrđuju jaku povezanost između srednje brzine vozila i pokazatelja sigurnosti prometa, kao što su broj smrtno i teško stradalih osoba u prometu. Istraživanja pokazuju da povećanje brzina [11] i povećanje varijacije brzina [9-11] imaju utjecaj na povećanje broja nesreća. Povećanje varijacije



brzine od 1% povezano je s povećanjem stope nesreća od 0,3% [10]. Prema istraživanjima Wang et al. (2023), broj nesreća je u statistički značajnoj korelaciji sa brzinom (V_{85}), varijacijom brzine, dužinom promatranog segmenta ceste i brojem prometnih trakova [11].

Ograničenje brzine je najraširenija mjera smirenja prometa, ali njena učinkovitost je dvojbena [12], pa se istražuje učinkovitost drugih rješenja [13-15] za povećanje sigurnosti pješačkih tokova. Posebno se efikasnim u smanjenju stradanja pješaka pokazuje uspostavljanje zona smirenog prometa u kojima je dozvoljena brzina 30 km/h i koju posljednjih godina uvode brojni Europski gradovi, no ova mjera nije primjenjiva na dijelovima gradske cestovne mreže na kojima treba osiguravati kapacitet prolaska većeg broja vozila.

Istraživanja pokazuju da primjena različitih mjera nema uvijek očekivane učinke na povećanje sigurnosti pješačkih tokova, pogotovo ako mjere imaju negativne učinke na vrijeme čekanja ili produljenje hodanja za pješačke tokove [13].

Od rizičnih oblika ponašanja pješaka najčešći su prelazak ceste izvan pješačkog prijelaza, trčanje, neuvjeravanje, nagle promjene brzine i smjera kretanja pješaka, što čini manevre pješaka nepredvidivim za vozače. Pri tome je potrebno naglasiti da pješački tokovi nisu homogeni jer se pješaci bitno razlikuju po svojim karakteristikama, a vezano za pješački promet posebno se, kao osjetljive skupine koje zahtijevaju prilagođena prometna rješenja, ističu djeca i starije osobe.

Ponašanje djece ima svoje specifičnosti [16], kako u vremenu reakcije [17],

tako i u brzini kretanja kroz konfliktnu zonu dok prelaze ulicu na pješačkom prijelazu [18]. Prema brojnim statističkim pokazateljima, stariji pješaci su posebno ranjivi prometni korisnici i izloženi su velikom riziku da budu ozbiljno ozlijeđeni ili da poginu kada sudjeluju u prometnim nezgodama. Istraživanja [19] su identificirala rizične faktore za stariju populaciju pješaka koji se ne odnose na pješake ostalih dobnih skupina. Rezultati pokazuju da uzdignute plohe, središnji otoci, postojanje drvoreda, te parkovnih i rekreacijskih površina sa klupama za odmor u blizini pješačkog prijelaza, imaju pozitivne, a blizina autobusnog stajališta ima negativne efekte na sigurnost starijih pješaka [19]. Istraživanja provedena u Španjolskoj pokazuju da je dobra osvjetljenost konfliktne zone jedan od elemenata prometne infrastrukture koja značajnije utječe na populaciju starijih pješaka, nego na ukupnu populaciju pješaka [20].

Pješaci su izloženi potencijalno ometajućim podražajima iz okoline, međusobnoj komunikaciji, a posebna rastuća kategorija distraktora je upotreba mobilnih telefona. Kada su pješaci u pitanju, ovaj problem nije adekvatno riješen pozitivnom zakonskom regulativom, kao što je zakonom obuhvaćen problem primjene mobitela od strane vozača. Glavni distraktori za pješake koji ometaju pažnju koja treba biti usmjerena na procjenu prometne situacije u konfliktnoj zoni su: korištenje telefona (razgovor na mobitel, pisanje tekstualnih poruka, slušanje glazbe s iPod-a i pregledavanje interneta), ali i gledanje u sadržaje u vidokrugu koji nisu usmjereni na konfliktnu zonu, razgovor s prijateljima, gledanje na sat, jedenje, čitanje novina ili knjige, zami-



šljenost i druge vrste distrakcija. Novija literatura spominje novi neologizam: 'smombies'. To su pješaci s očima zaljepljenim za ekrane svojih pametnih telefona koji lutaju gradom, često u žurbi, nesvjesni potencijalnih opasnosti, čak i onih kobnih. Nekoliko studija ističe da su 'smombiji' jedna od najugroženijih kategorija sudionika u prometu. Studija koju je proveo Ford [21], pokazala je da među europskim zemljama Rumunjska ima najveći broj ljudi (83%) koji priznaju da koriste pametne telefone dok prelaze cestu, slijede Italija (67%) i Španjolska (65%). Istraživanja provedena na populaciji pješaka svih dobnih skupina [22], studentskoj populaciji [23] i populaciji djece pješaka [16,17] pokazuju da primjena mobitela ima utjecaja prije svega na vrijeme reakcije pješaka, a onda i na brzinu kretanja kroz konfliktnu zonu.

Tradicionalno, studije sigurnosti prometa bazirane su na povijesnim podacima o prometnim nesrećama, ali ovaj pristup ima brojna ograničenja. Analize temeljene na statističkim pokazateljima broja nesreća u određenom vremenu monitoringa predstavljaju reaktivni pristup osjetljivoj problematici sigurnosti prometa. Mora se dogoditi značajan broj nesreća, prije nego što se može napraviti pouzdana procjena sigurnosti, što nije prihvatljiv pristup kada su u pitanju ljudski životi. Analiza trenda isto tako nije učinkovita i može biti nepouzdana zbog nedovoljno dugog monitoringa.

Sve veća pažnja usmjerena je na korištenje simulacijskih modela za analizu sigurnosti prometa [24,25] koji mogu biti primjenjeni u planskoj fazi analize prometne infrastrukture. Korištenje modela simulacija prometa omogućuje jednostavan način prikupljanja po-

dataka o prometnim konfliktima bez potrebe za monitoringom prometnih konfliktata u realnim prometnim uvjetima. Simulacijski alati omogućuju ranu procjenu sigurnosnih parametara za različita varijantna rješenja izgradnje i rekonstrukcije i različitu prometnu potražnju. Nekoliko je problema u simulacijskom modeliranju parametara sigurnosti prometa - simulacijski modeli kao što je VISSIM su programirani za izbjegavanje sudara [25], što čini izazov za simulaciju realnog ponašanja prometnih korisnika i kalibraciju modela. Većina mikrosimulacijskih modela detaljno modelira kretanje vozila, a značajno je manje podesivih parametara povezano sa pješačkim tokovima u konfliktnoj zoni, što onemogućava detaljniju analizu parametara sigurnosti povezanih sa ponašanjem pješačkih tokova.

Prometni pokazatelj koji se učinkovito može analizirati primjenom mikrosimulacijskog modeliranja prometa je brzina vozila, a istraživanja su potvrdila da je brzina u jakoj korelaciji sa brojem i ishodima prometnih nesreća [7-11].

Oblikovanje konfliktne zone

Studije usmjerene na utjecaj oblikovanja pješačkih prijelaza na ponašanje ljudi pokazale su da su percepcije ljudi o pješačkim prijelazima bazirane na aspektima kao što su prometna sigurnost, prikladnost, vrijeme čekanja, vrijeme prelaska, pristupačnost, oblikovna kvaliteta i percepcija osobne sigurnosti [26]. Zanimljivo je istaći da su pješački mostovi i podvožnjaci sustavno ocjenjivani lošije od semaforiziranih pješačkih prijelaza u razini. Pokazalo se da su sudionici spremni hodati između 2 do 5 minuta dodatno da bi izbjegli pješačke mostove i pothodnike. Rezultati anketiranja su pokazali da su populacije starijih pješaka i žena spremni hodati duže da bi izbjegli pothodnike i nathodnike; prvi su naveli problem pristupačnosti, a druga skupina percepciju osobne sigurnosti u takvim infrastrukturnim objektima. Statistička analiza i rezultati modeliranja pokazali su da je granica od 20,9 minuta dodatnog vremena hodanja za korištenje prijelaza u razini, motivator za korištenje pothodnika i nathodnika za starije pješake i žene [26].

Odluke koje pješaci donose o tome gdje prijeći cestu obično uključuju kompromise između sigurnosti i pristupačnosti. Prelazak kolnika izvan pješačkog

prijelaza, iako značajno povećava rizik od prometne nesreće, odabire se ako ne postoji alternativa ili ako korištenje sigurnih objekata kao što su nadvožnjaci ili podvožnjaci, produžavaju vrijeme pješačenja. Istraživanja provedena u Turskoj su pokazala da je 46% pješaka ilegalno prešlo cestu u blizini nathodnika, a brzina kretanja pješaka zavisila je o dolaznoj brzini vozila [27]. Navedeni razlozi pješaka koji su ilegalno prešli cestu su da korištenje nadvožnjaka produžava pješačenje, imali su primjedbe na održavanje objekta i percepcija osobne sigurnosti nije bila adekvatna. Izbor pješačke rute zavisi o dostupnosti, percepciji sigurnosti, izravnom vođenju, kvaliteti oblikovanja, atraktivnosti, a može se povezati i sa osobnim ili kontekstualnim čimbenicima kao što su navika i dodatni okolišni sadržaji [26,27].

Provedene su studije koje su analizirale attribute pješačke infrastrukture i okoliša koji značajno utječu na preferencije u izboru ruta pješačenja. Rezultati su pokazali da doba dana i izgrađenost okoliša imaju značajan utjecaj na izbor rute u urbanom okruženju. Pješaci su tijekom dana pokazali sklonost rutama koje su u potpunosti obuhvaćene mješovitom ili stambenom namjenom zemljišta. Prisutnost slobodnog zemljišta duž pješačke rute značajno je smanjila vjerojatnost odabira rute noću. Općenito, pješaci favoriziraju kraće vrijeme hodanja, udobne nagibe pješačkih staza, spuštene rubnjake na pješačkim prijelazima i sigurnost pješačkih prijelaza od kojih su kao ključan atribut naveli dolazne brzine vozila. Smanjenje dopuštenih brzina vozila pojavilo se kao strategija za poticanje zelenih oblika mobilnosti u urbanim i saburbanim područjima [28].

Primjena mikrosimulacija u ocjeni sigurnosnih parametara konfliktne zone

U okviru ovog rada prikazana su dva primjera ocjene varijantnih rješenja oblikovanja konfliktne zone vozilo-pješak primjenom mikrosimulacijskog prometnog modeliranja. Prvi primjer je analiza varijantnih rješenja rekonstrukcije raskrižja, a drugi primjer je analiza varijantnih rješenja nezavisnog pješačkog prijelaza ispred Osnovne škole. Oba primjera su ocjenu varijantnih rješenja rekonstrukcije bazirala na kriteriju sigurnosti pješačkog prometa.

Pješački prijelazi u zoni raskrižja

Promatrano nesemaforizirano raskrižje sekundarne mreže nalazi se u stambenom naselju Uske Njive u Osijeku u Hrvatskoj. Križanje Kutinske i Lipičke ulice prikazano je na slici 1. Odabrano raskrižje nalazi se u mirnoj stambenoj zoni, a u neposrednoj blizini odabranog raskrižja nalazi se dječji vrtić, dječje igralište te dječja igraonica. Zbog blizine velikog broja sadržaja za djecu, na odabranom raskrižju svakodnevno se odvija povećan pješački promet ranjivih prometnih korisnika. Na ovoj lokaciji djeca se često kreću u manjim grupama prema dječjem igralištu, a pri tome je njihovo kretanje u velikom broju slučajeva neoprezno, zaigrano i spontano. U jutarnjim satima zabilježeno je i kretanje djece prema školi samostalno te uz pratnju roditelja. Opservacijom lokacije evidentirani su različiti oblici rizičnog ponašanja djece, poput pretrčavanja kolnika, korištenja mobitela, te prelaska ili pretrčavanja kolnika izvan pješačkih prijelaza.

Automatski brojač prometa koji je 24 sata snimao predmetnu lokaciju zabilježio je maksimalnu brzinu od 88 km/h, V_{85} (operativna brzina kojom se kreće 85% vozila u promatranom prometnom toku) je bila 47 km/h, a preko 30% vozila vozilo je brže od administrativnog ograničenja brzine koje iznosi 40 km/h.

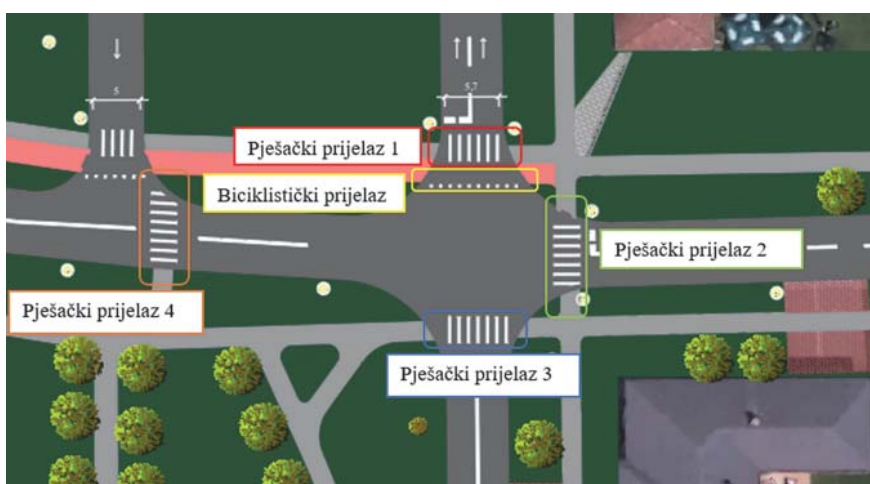
Cilj rekonstrukcije je stvaranje sigurne rute za kretanje djece i smanjenje dolaznih brzina vozila koje su unatoč administrativnom ograničenju, bile značajno veće.

Širina prometnih traka je 3,0 m u Lipičkoj ulici, a u Kutinskoj ulici je 2,85 m. Uz cestu su izvedene pješačke staze za dvosmjernan promet pješaka s obje strane, dok je biciklistička staza za dvosmjernan promet izvedena duž Lipičke ulice. Širina postojećih pješačkih staza je 1,6 m dok je širina biciklističke staze 2,0 m. Na postojećem četverokrakom raskrižju izvedena su dva pješačka prijelaza i jedan pješačko-biciklistički prijelaz, dok je na trokrakom raskrižju izveden pješačko-biciklistički prijelaz i jedan pješački prijelaz (slika 2). Za potrebe analize napravljen je model postojeće prometne infrastrukture prikazan na slici 2.

Predložena su tri varijantna rješenja rekonstrukcije za koje su napravljeni



Slika 1. Raskrižje Lipičke i Kutinske ulice u Osijeku [29]



Slika 2. Model postojeće prometne infrastrukture sa obilježenim pješačkim i biciklističkim prijelazima [29]



Slika 3. 2D i 3D model prvog varijantnog rješenja rekonstrukcije [29]

modeli u mikosimulacijskom prometnom modelu VISSIM prikazani na slikama 3-5. Za svako varijantno rješenje analizirano je izbrojano prometno opterećenje i povećanje prometa za 150% i 200% za sve prometne tokove.

Za prvo varijantno rješenje odabrana je izvedba pješačkih otoka u Lipičkoj ulici i na donjem kraku Kutinske ulice te suženje prometnih trakova s 3,0 m na 2,5 m u duljini pješačkog otoka. Pješački otoci skraćuju kontinuirani boravak pješaka u konfliktnoj zoni jer omogućuju

etapni prijelaz pješaka te samim time i zaštitu pješaka prilikom prijelaza (slika 3).

Za drugo varijantno rješenje projektirane su blage horizontalne krivine u Lipičkoj ulici koje će prisiliti vozače na smanjenje brzine kretanja prije dolaska u zonu raskrižja, a kao dodatna mjera izvedeno je i sužavanje uže zone raskrižja - u Lipičkoj ulici u zoni raskrižja izvedeno je suženje kolnika sa 6,0 m na 5,0 m te su primijenjeni radijusi zaobljenja od 10 m i 12 m (slika 4).

U trećem varijantnom rješenju projektirani su vertikalni diskontinuiteti u obliku uzdignutih pješačkih prijelaza. Zbog uzdignute površine i drugačije površinske obrade kolničke konstrukcije na mjestu pješačkih prijelaza, ovo rješenje utječe na značajno smanjenje brzina kretanja vozila. Dodatna prednost je jasnije uočavanje mjesta na kojem pješaci prelaze preko ulice, pogotovo djeca, koja su zbog parkiranih vozila i kontekstualnih sadržaja ponekad teže uočljiva jer su niža od prosječnog pješaka. Položaji pješačkih prijelaza i širina prometnih traka ostali su isti kao na postojećem raskrižju (slika 5).

Izbrojano prometno opterećenje i povećanje prometa, kao i analiza pokazatelja prometnih tokova za sve razine prometne potražnje, detaljno su prikazani u radu [29].

Usporedba maksimalnih zabilježenih dolaznih brzina za postojeće raskrižje i varijantna rješenja rekonstrukcije za sve razine prometnog opterećenja, prikazana je na slici 6. Odabran je prikaz maksimalnih brzina, jer su one kritične.

S obzirom na to da je prilikom izrade varijantnih rješenja bio naglasak na sigurnost najranjivijih sudionika prometa - djece pješaka, vrlo važan podatak su duljine pješačkih prijelaza. Zbog nižeg rasta djece i manjih koraka potrebno im je dulje vrijeme da pređu pješački prijelaz, stoga kako bi se djeca što kraće zadržavala u konfliktnoj zoni pogodni su kraći pješački prijelazi. Uzimajući u obzir ovaj sigurnosni kriterij, prvo i drugo varijantno rješenje predstavljaju povoljnija rješenja.

Prvim varijantnim rješenjem projektirani su pješački otoci koji omogućavaju etapni prelazak pješačkog prijelaza, a duljina konfliktnog područja skraćena je s 6,0 m na 2,5 m + 2,5 m. Također, pješački otoci razdvajaju konfliktnu zonu na dvije nezavisne konfliktno zone. Na ovaj način pješaci se prilikom prelaska ceste promatraju i koncentriraju na samo jedan prometni tok vozila do pješačkog otoka, a nakon stupanja na pješački otok promatraju drugi prometni tok.

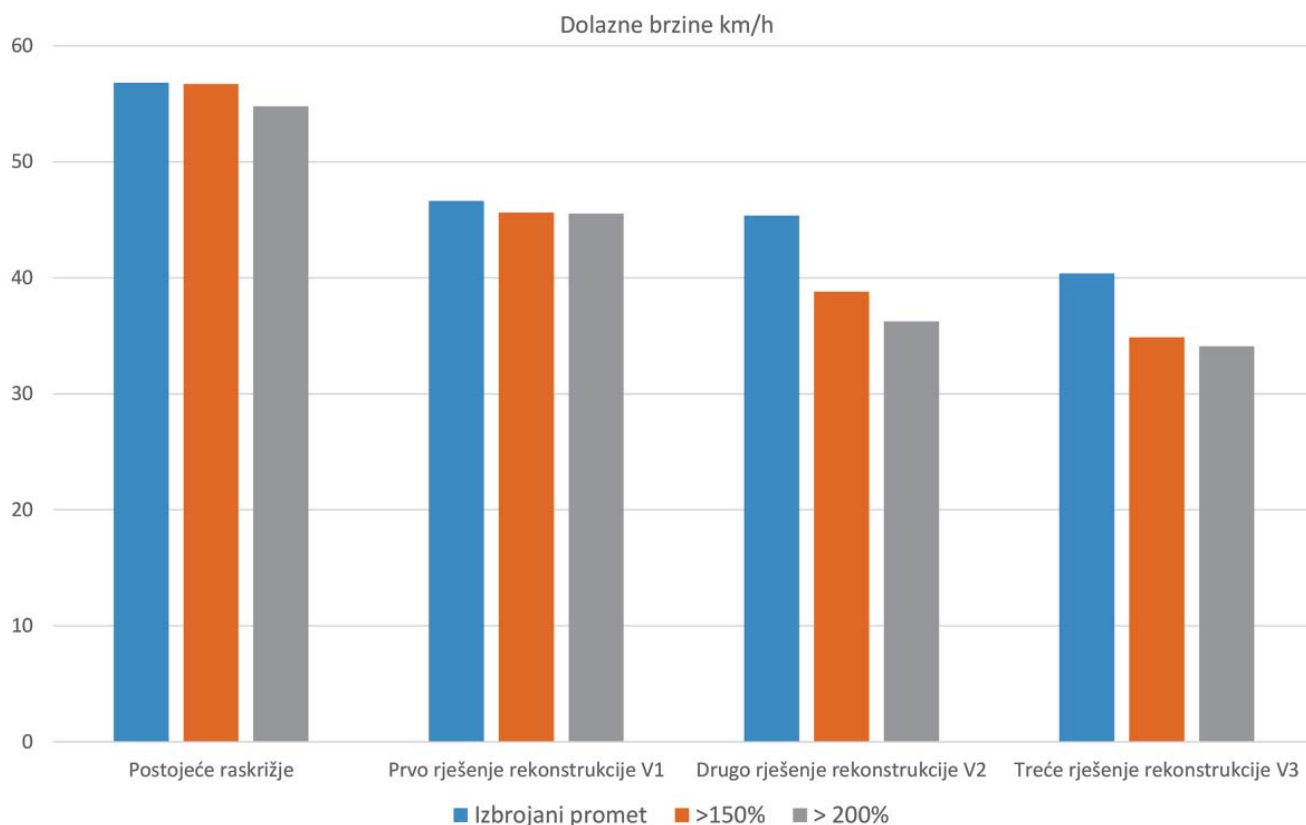
Drugim varijantnim rješenjem projektirano je suženje kolnika na području pješačkih prijelaza u Lipičkoj ulici i gornjem kraku Kutinske ulice. Budući da je Kutinska ulica jednosmjerna na gornjem kraku, suženjem kolnika dobiveno je skraćivanje duljine konfliktnog područja s 5,0 m na 3,5 m, a u Lipičkoj ulici s 6,0 m na 5,0 m.



Slika 4. 2D i 3D model drugog varijantnog rješenja rekonstrukcije [29]



Slika 5. 2D i 3D model trećeg varijantnog rješenja rekonstrukcije [29]



Slika 6. Maksimalne dolazne brzine za sva infrastrukturna rješenja i prometna opterećenja

Trećim varijantnim rješenjem nisu predviđene mjere za smanjenje duljine konfliktnog područja te su duljine pješačkih prijelaza ostale iste kao u postojećem raskrižju, međutim prednost ovog rješenja su uzdignuti pješački prijelazi. Djeca zbog nižeg rasta nemaju dobru preglednost prometne situacije ali su također i zbog nižeg rasta teže uočljivi ostalim sudionicima u prometu, posebice vozačima. Uzdignuti pješački prijelazi omogućuju vozačima bolju i jasniju uočljivost pješaka na pješačkom prijelazu, a pješacima omogućuju dobru preglednost prometne situacije. Uzdignuti pješački prijelazi u kombinaciji s upozoravajućim svjetlima u kolniku oko pješačkog prijelaza i paljenje reflektora u noćnim uvjetima, predstavljaju jako dobro rješenje koje osigurava i smirenje prometa i zaštitu ranjivih prometnih korisnika.

Iz dijagrama na slici 6 vidljivo je da sva tri varijantna rješenja utječu na smanjenje brzine u odnosu na postojeće raskrižje, pri čemu je varijantno rješenje 3 najučinkovitije, ali predstavlja dodatnu prepreku za vozila hitnih intervencija i komunalna vozila, kao i za zimsko održavanje ceste. Temeljem ukupnih rezultata analize usvojeno je prvo varijantno rješenje kao optimalno.

Pješački prijelaz izvan zone raskrižja (eng. *mid-block crossings*) ispred Osnovne škole

Prometnica na kojoj je odabrani pješački prijelaz nalazi se u stambenom naselju u Osijeku u Hrvatskoj. Po svojoj funkcionalnoj razini pripada sekundarnoj mreži, a po klasifikaciji je sabirna ulica unutar stambenog naselja. Na promatranom lokaciji nalazi se Osnovna škola Vijenac (slika 7) i Dječji vrtić Osijek, što generira povećani pješački promet ranjivih prometnih korisnika - djece. Djeca vrtičke dobi se dominantno kreću u pratnji odraslih osoba, ali djeca školske dobi se dominantno na ovoj lokaciji kreću samostalno, pa je pitanje smanjenja brzine vozila ključno za stvaranje sigurnijeg prometnog okruženja.

Lokacija je odabrana zbog problema sigurnosti prometa, velikog broja djece i potrebe za smanjenjem brzine vozila. Cilj rekonstrukcije konfliktnog zone vozilo-pješak je smanjenje brzine vozila i povećanje sigurnosti pješačkih prometnih tokova u blizini Osnovne škole.

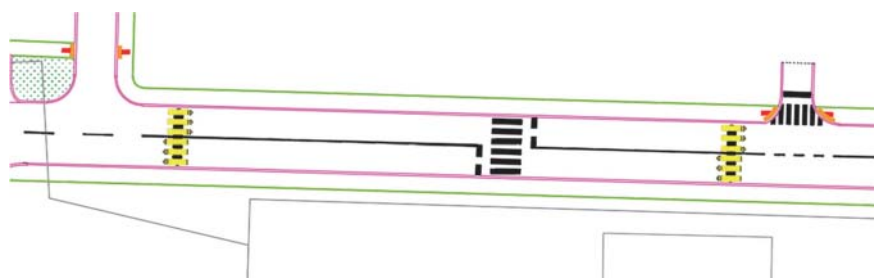
Cesta je duljine 371,65 m, a os ceste čini pravac. Poprečni nagib ceste je

dvostrani i iznosi 3%. Cesta ima dva prometna traka, svaki trak je širine 3,0 m. Pješačka staza nalazi se sa lijeve i desne strane ceste a širine je 1,6 m. Pješačka staza je na nekim dijelovima zelenom površinom odijeljena od ceste, a visinski se odvaja od zelene površine betonskim rubnjacima. Taktilne površine postavljene su na mjestima pješačkih prijelaza. Parkiralište se nalazi sa sjeverne strane ceste, okomito je na cestu i ima 39 mjesta za parkiranje osobnih vozila. Na promatranom lokaciji izvedena su dva vertikalna diskontinuiteta koji se nalaze prije i poslije promatranog pješačkog prijelaza kod ulaza u Osnovnu školu.

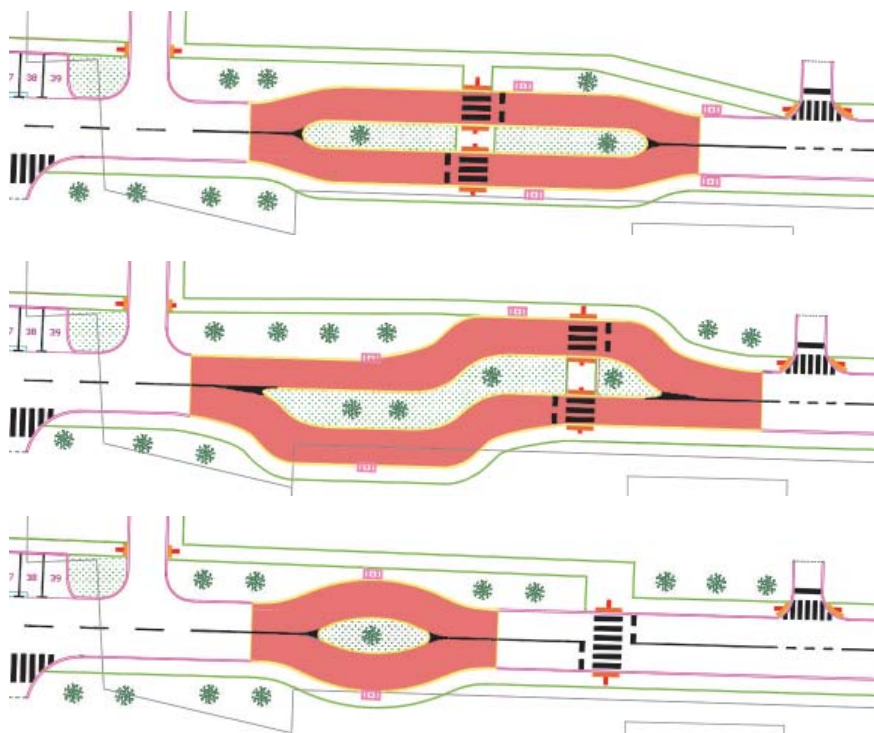
Izvršeno je brojanje prometa i mjerenje brzine vozila, a rezultati su prikazani u radu [30]. Najveće prometno opterećenje zabilježeno je od 7:30 do 8:30 sati, pa su analize napravljene sa mjerodavnim vršnim opterećenjem. Brzina vozila



Slika 7. Pješački prijelaz ispred Osnovne škole [30]



Slika 8. Model vertikalnih diskontinuiteta



Slika 9. Modeli varijantnih rješenja horizontalnih diskontinuiteta

mjerila se na sredini promatrane prometnice. Brzinu vozila za svako vozilo mjerio je prometni policajac iz Policijske uprave osječko-baranjske, pomoću uređaja za mjerenje brzine vozila. Najveća izmjerena dolazna brzina od 60 km/h izmjerena je iz smjera istok-zapad, a iz smjera zapad-istok 59 km/h, što je dvostruko više od najveće dopuštene brzine 30 km/h. Srednje dolazne brzine bile su nešto veće od 40 km/h, a vozila su u pravilu kočila ispred vertikalnih diskontinuiteta, što ima niz nepovoljnih utjecaja.

Napravljeno je pet modela u VISSIM-u koji su uspoređeni i analizirani: model pješačkog prijelaza bez usporivača, sa vertikalnim usporivačima i tri varijantna rješenja horizontalnih diskontinuiteta za različita prometna opterećenja. Pokazatelji prometnog toka kao što su dužine kolone vozila i prosječna kašnjenja vozila za sva infrastrukturna rješenja i sva analizirana prometna opterećenja, detaljno su prikazani u radu [30].

Na slici 8 prikazan je model vertikalnih diskontinuiteta, a na slici 9 tri vari-

jantna rješenja horizontalnih diskontinuiteta. Prva dva rješenja horizontalnih diskontinuiteta imaju središnji otok, pa se konfliktna zona razdvaja na dvije nezavisne konfliktne zone za pješake.

Usporedba maksimalnih zabilježenih dolaznih brzina za pješački prijelaz bez usporivača, sa vertikalnim diskontinuitetima i varijantna rješenja rekonstrukcije sa horizontalnim diskontinuitetima za sve razine prometnog opterećenja, prikazana je na slici 10.

Konfliktna zona bez usporivača je analizirana za potrebe usporedbe, ali zbog dinamičkih uvjeta prometnog toka vozila, ne zadovoljava sigurnosne kriterije.

Postojeće rješenje konfliktne zone primjenom vertikalnih diskontinuiteta je pokazalo najveće duljine kolone i najveće vrijeme čekanja za postojeći promet i za sve razine povećanja prometa. Smanjenje brzine je na mjestu pješačkog prijelaza postignuto, ali sa najlošijim pokazateljima potrošnje goriva i aerozagađenja. Vertikalni

diskontinuiteti u punoj širini profila ceste usporavaju vozila hitnih intervencija i predstavljaju dodatni izazov zimskom održavanju ceste.

Varijantno rješenje 1 sa primjenom horizontalnih diskontinuiteta za postojeće prometno opterećenje, najbolje zadovoljava sigurnosni kriterij jer je prema rezultatima mikrosimulacija srednja brzina najmanja. Duljina konfliktnog područja je 3,5 + 3,5 m, zbog pješačkog otoka koji omogućava razdvajanje konfliktne zone. Ostali pokazatelji su prosječni. Kod povećanja prometa pokazalo se da varijanta 1 uz varijantu 2 ima najbolje ekonomske pokazatelje (potrošnju goriva) i ekološke pokazatelje (aerozagađenje).

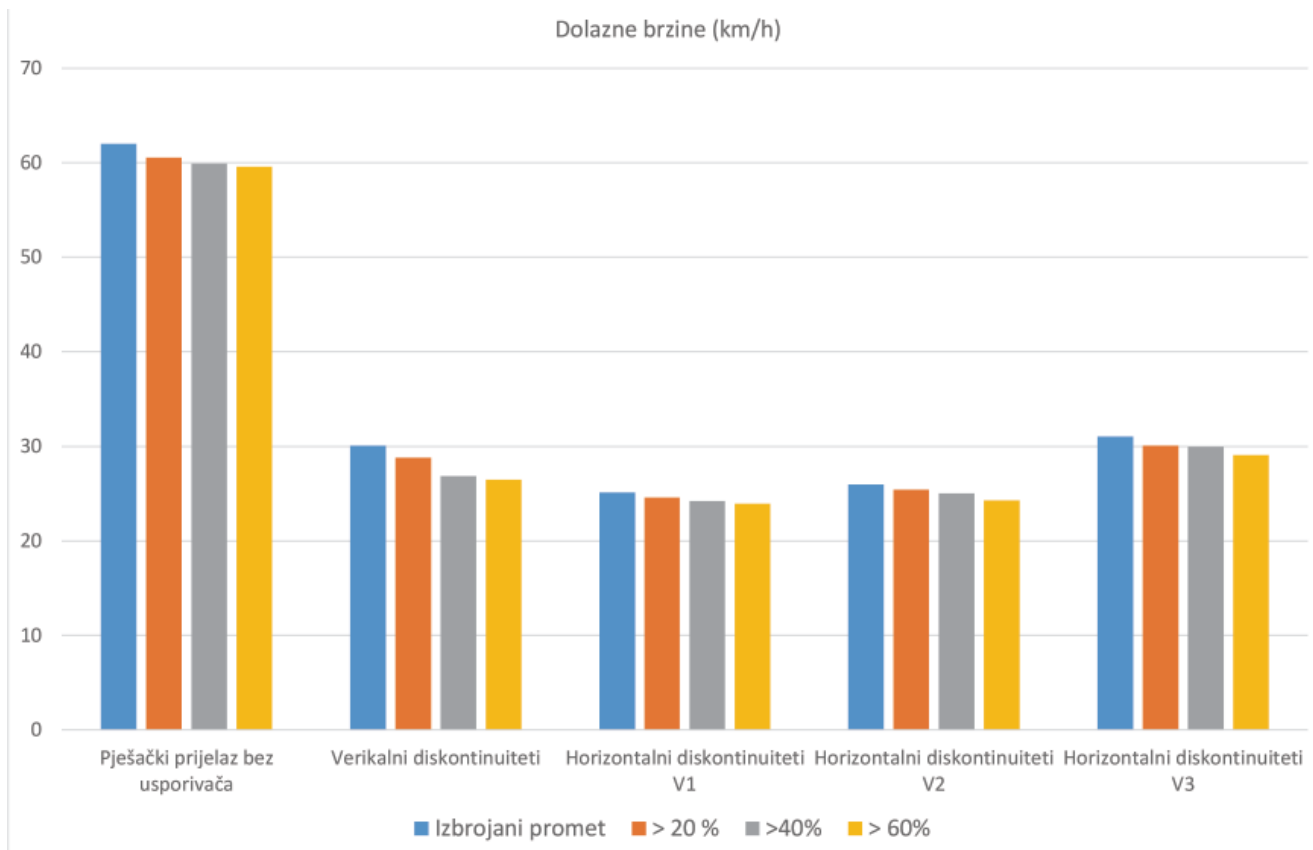
Varijantno rješenje 2 sa primjenom horizontalnih diskontinuiteta za postojeće prometno opterećenje ima najkraće vrijeme čekanja i uz varijantu 1 najbolje ekonomske i ekološke pokazatelje. Nakon povećanja prometa, varijanta 2 ima vrlo dobre ili najbolje funkcionalne pokazatelje (dužinu kolone vozila i prosječno kašnjenje). Duljina konfliktnog područja je razdvojena na dva nezavisna konfliktna područja, kao i u prethodnom rješenju.

Varijantno rješenje 3 sa primjenom horizontalnih diskontinuiteta za postojeće prometno opterećenje ima najkraću duljinu kolone. Ostali pokazatelji su prosječni, a sigurnosni kriterij je zadovoljen. Kod varijante 3, duljina konfliktne zone je najveća.

Optimalan izbor bilo bi varijantno rješenje 1 sa horizontalnim diskontinuitetom, ali izvedeno je rješenje sa vertikalnim diskontinuitetom, koje zadovoljava kriterij usporenja brzina na predmetnoj lokaciji, a koštanje rekonstrukcije je najmanje.

Diskusija i zaključak

Odabir optimalnog rješenja složen je proces odlučivanja koji ima dalekosežne posljedice, kao što je donošenje odluka vezanih uz urbanu infrastrukturu, gdje je izbor između više generiranih rješenja potrebno provesti uzeti u obzir veći broj kriterija i različitih, kvantitativnih i kvalitativnih mjera. Za potrebe složenog odlučivanja koje nije bazirano samo na cost-benefit metodi, danas je razvijen niz metoda višekriterijskog odlučivanja, pri čemu se u postupak donošenja odluke na temelju procjene različitih kriterija trebaju uključiti pre-



Slika 10. Maksimalne dolazne brzine za sva infrastrukturna rješenja i prometna opterećenja

ferencije stručnjaka različitih profila, investitora, prometnih korisnika i šire društvene zajednice, da bi se posljedice prostornih intervencija sagledale u što širem kontekstu.

Odabir kriterija procjene uvelike ovisi o vrsti plana ili projekta koji se analizira. Kada se rješenje odnosi na heterogene uvjete prometa u kojima postoji mogućnost konflikta između vozila i nemotoriziranih sudionika u prometu, a posebno kada se radi o osjetljivim skupinama pješaka - djeci i starijim osobama, važan kriterij je

prometna sigurnost. Prometna sigurnost pješaka na mjestima na kojima mogu doći u konflikt sa vozilima ovisi o nizu međusobno povezanih faktora - prometnim uvjetima, infrastrukturnim rješenjima i ponašanju sudionika u prometu - vozača i pješaka. U radu prikazana dva primjera optimizacije rješenja iz aspekta sigurnosti odvijanja pješačkog prometa na mjestu gdje dominiraju djeca-pješaci. Analizirani su egzaktni pokazatelji brzine i protočnosti prometa za predložena rješenja dobiveni iz modela prometne mikro-

simulacije te općenito uvjeti odvijanja prometa prema predloženim varijantnim rješenjima - postojanje pješačke infrastrukture, duljina konfliktne zone, zaštita pješaka.

Ovakvu sveobuhvatnu analizu koja se temelji na stvarno izmjerenim podacima kao podlozi za razvoj i testiranje budućih rješenja te uključuje i parametre bitne za specifičnu grupu korisnika, u ovome slučaju djece, bilo bi bitno redovito provoditi kako bi se osiguralo unaprjeđenje sigurnosti odvijanja prometa na gradskoj cestovnoj mreži. ■

LITERATURA:

- [1] WHO. Road Traffic Injuries. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- [2] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa RH 2022. Bilten_o_sigurnosti_cestovnog_prometa_2022.pdf (gov.hr).
- [3] EU Commission: 2021 road safety statistics: what is behind the figures? https://transport.ec.europa.eu/background/2021-road-safety-statistics-what-behind-figures_en.
- [4] How safe is walking and cycling in Europe, PIN Flash Report 38, European Transport Safety Council, January, 2020.
- [5] Cieśla, M., Sobota, A., Jacyna, M. (2020). Multi-criteria decision making process in metropolitan transport means selection based on the sharing mobility idea. *Sustainability*, 12(17), article id 7231, 1-21, DOI: 10.3390/su12177231.
- [6] Macioszek, E., Grana, A., Fernandes, P., Coelho, M.C. (2022). New perspectives and challenges in traffic and transportation engineering supporting energy saving in smart cities - a multidisciplinary approach to a global problem. *Energies*, 15(12), article id 4191, 1-8, DOI: 10.3390/en15124191.
- [7] Macioszek, E., Granà, A., Krawiec, S. (2023). Identification of factors increasing the risk of pedestrian death in road accidents involving a pedestrian with a motor vehicle. *Archives of Transport*, 65(1), 7-25, 2023.
- [8] Elvik, R., Vadeby, A., Hels, T., & van Schagen, I. (2019). Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 114-122.

LITERATURA (nastavak):

- [9] Li, Z., Wang, W., Chen, R., Liu, P. & Xu, C. (2013) Evaluation of the Impacts of Speed Variation on Freeway Traffic Collisions in Various Traffic States, *Traffic Injury Prevention*, 14:8, 861-866, DOI: 10.1080/15389588.2013.775433.
- [10] Quddus, M. (2013) Exploring the Relationship Between Average Speed, Speed Variation, and Accident Rates Using Spatial Statistical Models and GIS, *Journal of Transportation Safety & Security*, 5:1, 27-45, DOI: 10.1080/19439962.2012.705232.
- [11] Wang, X., Zhang, Q., Yang, X., Pei, Y. & Yuan, J. (2023) Traffic safety analysis and model updating for freeways using Bayesian method, *Journal of Transportation Safety & Security*, 15:7, 737-759, DOI: 10.1080/19439962.2022.2128957.
- [12] Castillo-Manzano, J. I., Castro-Nuño, M., López-Valpuesta, L., Vassallo, F. V. (2019) The complex relationship between increases to speed limits and traffic fatalities: Evidence from a meta-analysis, *Safety Science*, Volume 111, 2019, Pages 287-297, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.030>.
- [13] Huang, H. F., & Cynecki, M. J. (2000). Effects of traffic calming measures on pedestrian and motorist behavior. *Transportation Research Record*, 1705(1), 26-31.
- [14] Ištoka Otković, I., Deluka-Tibljaš, A., Šurdonja, S., Campisi, T. (2022) Assessment of the effects of traffic infrastructure reconstruction and introduction of a pedestrian island as a traffic calming measure using traffic microsimulations. In *Proceedings of the International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA VII*. (Lakušić, S. Ed.) pp. 695-701 doi:<https://doi.org/10.5592/CO/cetra.2022.1469>.
- [15] Distefano, N., Leonardi, S. (2019) Evaluation of the Benefits of Traffic Calming on Vehicle Speed Reduction, *Civil Engineering and Architecture* 7(4): 200-214, DOI: 10.13189/cea.2019.070403.
- [16] Deluka-Tibljaš, A., Ištoka Otković, I., Campisi, T., Šurdonja, S.: Comparative Analyses of Parameters Influencing Children Pedestrian Behavior in Conflict Zones of Urban Intersections, *Safety*, 7 (2021), 1; 1039109, 15 doi:10.3390/safety7010005.
- [17] Ištoka Otković, I.: A Model to Predict Children's Reaction Time at Signalized Intersections, *Safety*, 6 (2020), 2; 22, 15 doi:10.3390/safety6020022.
- [18] Deluka-Tibljaš, A., Šurdonja, S., Ištoka Otković, I.: Analysis of Children's Traffic Behaviour at Signalized Crosswalks as a Precondition for Safe Children Routes Design: A Case Study from Croatia, *Journal of Advanced Transportation*, 2021 (2021), 1-14 doi:10.1155/2021/7936261.
- [19] Kim, D. (2019) The transportation safety of elderly pedestrians: Modeling contributing factors to elderly pedestrian collisions, *Accident Analysis & Prevention*, V.131, pp. 268-274, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.009>.
- [20] Gálvez-Pérez, D., Guirao, B., Ortuño, A. (2023). Analysis of the Elderly Pedestrian Injury Severity in Urban Traffic Accidents in Spain using Machine Learning Techniques, *Transportation Research Procedia*, Volume 71, pp. 6-13, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.051>.
- [21] Automoto. Available online: <https://www.automoto.it/news/gli-smombie-i-pericolosi-pedoni-malati-di-smartphone.html>.
- [22] Campisi, T., Ištoka Otković, I., Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A. (2022). Impact Of Social and Technological Distraction on Pedestrian Crossing Behaviour: A Case Study in Enna, Sicily. // *Transportation research procedia*, 60 (2022), 100-107 doi:10.1016/j.trpro.2021.12.014.
- [23] Gruden, C., Ištoka Otković, I., Šraml, M. Pedestrian safety at roundabouts: Their crossing and glance behavior in the interaction with vehicular traffic. // *Accident Analysis & Prevention*, 159 (2021), 106290, 11 doi:10.1016/j.aap.2021.106290.
- [24] Essa, M., Sayed, T. Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, V. 89, 2018, pp. 289-302, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.014>.
- [25] Nasernejad, P., Sayed, T., Alsaleh, R. Modeling pedestrian behavior in pedestrian-vehicle near misses: A continuous Gaussian Process Inverse Reinforcement Learning (GP-IRL) approach, *Accident Analysis & Prevention*, V. 161, 2021, 106355, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106355>.
- [26] Ancaes, P.R., Jones, P. (2018). Estimating preferences for different types of pedestrian crossing facilities, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 52, 2018, pp. 222-237, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.11.025>.
- [27] Demiroz, Y. I., Onelcin, P., & Alver, Y. (2015). Illegal road crossing behavior of pedestrians at overpass locations: Factors affecting gap acceptance, crossing times and overpass use. *Accident Analysis and Prevention*, 80, 220-228., <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.018>.
- [28] Basu, N., Oviedo-Trespalacios, O., King, K., Md. Kamruzzaman, Md. Haque, M. (2023). What do pedestrians consider when choosing a route? The role of safety, security, and attractiveness perceptions and the built environment during day and night walking, *Cities*, Vol. 143, 104551, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104551>.
- [29] Šimunović, M. (2022). Ocjena varijantnih rješenja rekonstrukcije odabranog segmenta gradske prometne mreže prema kriteriju sigurnosti prometa ranjivih prometnih korisnika, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku: Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.
- [30] Kvesić, E. (2021). Ocjena učinkovitosti horizontalnih diskontinuiteta kao mjere smirenja prometa, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku: Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.