

JOSIP GRGIĆ\*, IVANA GRGIĆ\*\*, NIKOLA UREMOVIĆ\*\*\*

## Analiza utjecaja izloženosti pješačkih ruta od kuće do škole na djecu: Upisno područje OŠ Skalice u Splitu

### Sažetak

Cestovni promet okosnica je mobilnosti te je stoga ključ razvoja suvremenog društva, ali također nosi velik rizik od ljudskih tragedija. Prometne nesreće glavni su uzrok smrtnosti među mladima, pri čemu su djeca posebno ranjiva. Studije upućuju na to da su raskrižja i pješački prijelazi, posebno u blizini škola i parkova, opasna mjesta za djecu koja se samostalno kreću u prometu. Iz toga proizlazi da je ključno identificirati i rangirati opasna područja. U tu svrhu, u ovom se radu polazi od koncepta izloženosti, u okviru kojeg se predlažu novi indeksi i novi, sveobuhvatniji način mjerenja izloženosti. Indeks obuhvaća mjerenje izloženosti na cestovnoj mreži koja je determinirana brojem traka, površinom kolnika, smjerom prometa, fatalnosti nesreće te mjeri centralnosti segmenata, zatim mjerenje izloženosti na mreži pješačkih putova gdje je izloženost određena odvojenošću od mreže cestovne infrastrukture, osvjetljenjem segmenta te parkiranjem na nogostupu, potom mjerenje izloženosti zbog tehničkih obilježja pješačkog prijelaza na temelju pokazatelja koji proizlaze iz Pravilnika o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama te mjerenje izloženosti zbog ruta i broja djece na njima. Indeks je mjeran Z-vrijednosti (engl. Z-score), a nakon provedene analize dan je pregled uklapanja indeksa izloženosti u teorijski okvir, kao i pregled uklapanja i nadogradnje u postojeće mjerenje izloženosti. Naposljetku su dane preporuke za smanjenje izloženosti i povećanje sigurnosti djece u prometu, uzimajući u obzir lokaciju istraživanja.

**Ključne riječi:** djeca u prometu, mjere izloženosti u prometu, cestovna mreža, mreža pješačkih putova, pješački prijelazi, GIS, analiza najkraće rute, Z-vrijednost (Z-score).

### 1. UVOD

Cestovni promet ima ključnu ulogu u suvremenom razvoju, mobilnosti i usmjeravanju prometnih tokova, povezujući razne modalitete prometa koji oblikuju moderno društvo. Iako donosi mnoge prednosti, nosi i veliku opasnost u smislu ljudskih tragedija zbog nesreća. Prometne nesreće glavni su uzrok smrti mladih, uključujući djecu. U 2022., od osmero smrtno stradale djece do 13 godina, troje su nastradali kao pješaci (MUP RH 2023). Istraživanje na području Zadarske županije pokazalo je da je najviše stradale djece u dobi od 7 do 10 godina i starijih od 13 godina (Karlo i ostali, 2011).

---

\* Josip Grgić, univ. spec. oec., stručni savjetnik za potporu znanstveno-istraživačkom radu na Ekonomskom fakultetu Sveučilišta u Splitu, Hrvatska.

\*\* Ivana Grgić, prof. mat. i inf., Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Hrvatska.

\*\*\* Nikola Uremović, mag. forens., Policijska uprava splitsko-dalmatinska, Ministarstvo unutarnjih poslova, Hrvatska.

Istraživanja u Kini, u urbanom dijelu Pekinga upućuju na nedostatak svijesti djece o sigurnosti pri prelasku ceste. Alarmantno je da je 12,5% djece pretrčavalo cestu, a najmanje 5% nije ni pogledalo prije prelaska (Li i ostali, 2013). Isti autori dalje navode da nesigurna ponašanja obično uključuju: nezaustavljanje na rubniku, neprovjeravanje prije prelaska, pokušaj prelaska dok se automobil približava i trčanje preko ceste. Slično je potvrđeno i istraživanjem (Rosenbloom i ostali, 2008) u Izraelu, prema kojem 41,1% djece koja su prelazila cestu bez pratnje odrasle osobe nije se zaustavilo prije prelaska, a 36,2% djece nije pogledalo prije prelaska.

Najčešća mjesta stradavanja djece u prometnim nesrećama su okolica škole i parkova. Istraživanje u Rijeci i Osijeku pokazalo je da su raskrižja, pješački prijelazi i neobilježeni prijelazi na ulici posebno opasni za djecu koja se samostalno kreću (Šurdonja i ostali 2023). Studija provedena u SAD-u potvrđuje veću smrtnost djece u prometnim nesrećama u blizini škola ili parkova (Ferenchak & Marshall, 2017).

Metodologije za identifikaciju opasnih mjesta temelje se na postojećim događajima. Štoviše, ne izdvajaju se posebno opasne lokacije za pješake, nego se vrši identifikacija u cestovnom prometu, čime se gubi fokus s pješaka. Metode se fokusiraju na lokacije s natprosječnim brojem nesreća, utvrđujući uzroke tih nesreća (Šarić i ostali, 2016), čime se zanemaruje prevencija, a stavlja fokus na sanaciju uzroka nesreća. *Smjernice za razvrstavanje cestovne mreže prema sigurnosti* (NSM) koriste pokazatelje poput broja nesreća i njihove gustoće (MPPI, 2016). Uz kompleksan sustav izvještavanja unutar MUP-a (Medved & Orlović, 2017), takav je pristup ograničen povijesnim podacima i ne može u potpunosti predvidjeti točke povećanog rizika. Problem je u tome što ti pokazatelji ne prikazuju sve aspekte sigurnosti prometa, nego se fokusiraju na najgore scenarije, što može rezultirati pogrešnim klasifikacijama lokacija (Yakar, 2015; Yannis i ostali, 2013).

Glavno pitanje koje se postavlja u tom kontekstu jest kako identificirati lokacije najveće izloženosti djece opasnostima u prometu. S obzirom na statistike o stradavanju djece, posebno na mjestima poput škola i parkova, potrebno je razviti učinkovite metodologije koje će omogućiti precizno lociranje tih opasnih točaka. Postojeće metode često se fokusiraju na analizu događaja temeljenih na povijesnim podacima o nesrećama, čime se mogu zanemariti specifični rizici za pješake, a time i mogućnosti prevencije.

## 2. PREGLED LITERATURE

Jedan od ključnih pristupa u predviđanju potencijalno opasnih mjesta u prometu naziva se **izloženost potencijalnim događajima nesreće**. Prema Turneru i sur. (2017), izloženost se definira kao mjera potencijalnih prilika za nastanak nesreća te se koristi za identifikaciju elemenata koji najbolje predviđaju kada i gdje će se nesreće dogoditi. Unatoč teoretskom konsenzusu o definiciji izloženosti, praktična primjena definicija i mjera izloženosti ovisi o razini istraživanja i dostupnosti podataka (Greene-Roesel i ostali, 2007).

Prema Jamali & Wang (2017, str. 85-86), mjere izloženosti dijele se u pet skupina: iskazane prema području kao što su općine (npr. gustoća naseljenosti, udaljenost, trajanje ili broj putovanja), na točkama kao što su pješački prijelazi (npr. broj pješaka, interakcija broja pješaka i vozila), na segmentima koji mjere izloženost duž prometnica (npr. broj pješaka), putem udaljenosti (npr. godišnja udaljenost prijeđena hodanjem) i putovanjima (npr. karakteristike putovanja, vremenski intervali tijekom dana, izbor lokacija prijelaza pješaka). Unatoč raznolikosti metoda, važno je osigurati pouzdanost elemenata izloženosti i usporedive rezultate s alternativnim metodama (Lam i ostali, 2014).

Elvik i suradnici (2009) dali su pregled 128 elemenata koji imaju učinak na sigurnost u cestovnom prometu. Oni elementi koji se odnose na segmente dijele se na: dizajn cesta i opremu, održavanje cesta, kontrolu prometa, policijski nadzor i kažnjavanje te na instrumente opće namjene. EuroRAP<sup>1</sup> ocjenjuje ceste na temelju njihove geometrije, prometnih tokova i sigurnosnih karakteristika te nudi preporuke za poboljšanja (iRAP, 2009). Iako je EuroRAP metodologija prvobitno razvijena za procjenu sigurnosti na izvangradskim cestama, za potpunu primjenu na urbanim prometnicama potrebno ju je prilagoditi (Lindov i ostali, 2012).

Brzina igra ključnu ulogu u sigurnosti na cestama, jer može utjecati na učestalost i težinu prometnih nesreća. Neprilagođena brzina vozila često rezultira visokim stopama smrtnosti i trajnih invaliditeta (Elvik, 2005; Elvik i ostali, 2019; Martinelli i ostali, 2022). Istraživanja pokazuju da u slučaju sudara pri brzini od 30 km/h, pješaci imaju 90% izgleda za preživljavanje (Rothman i ostali, 2014). Rifaat i suradnici (2011) zaključuju da je iznimno važna preglednost, jer smanjena vidljivost povećava brzinu naleta.

Kao elemente izloženosti, Qin & Ivan (2001) koriste broj pješaka, a u kontekstu zaštićenosti pješačkih prijelaza koriste sljedeće elemente: bez označenog pješačkog prijelaza i bez prometnog svjetla; prometno svjetlo bez označenog pješačkog prijelaza; označeni pješački prijelaz bez prometnog svjetla; označeni pješački prijelaz sa žutim znakom opreza; označeni pješački prijelaz s prometnim svjetlom.

Cioca i Ivascu (2017) kao elemente koriste konfiguraciju prometnice (krivine, tunele, križanja, mostove, prijelaze preko pruge). Yakar (2015) koristi zakrivljenost, nagib, raskrižja, priključne ceste, postojanje značajnih lokacija (parking, javne institucije i sl.), ali i prosječni godišnji dnevni promet (PGDP). Supstitucija mjerenja prometa s mjerama centralnosti u istraživanju prometnih sustava omogućuje identifikaciju ključnih točaka bez potrebe za podacima o PGDP-u. Mjere centralnosti prikazuju svojstva čvorova u mreži i često se koriste kako bi se prikazalo količinu prometa na cestovnoj mreži (Crucitti i ostali, 2006; Wu i ostali, 2022; Zhao i ostali, 2017). Postoje četiri glavne kategorije centralnosti, pri čemu je *centralnost međupoložaja* povezana s protokom u mreži (Demšar i ostali, 2008; Porta i ostali, 2008).

Fonseca i suradnici (2022) koriste tri elementa: broj traka kolnika, ograničenje brzine i pješačku aktivnost. Abdel-Aty i suradnici (2007) koriste pet grupa elemenata, i to: regulaciju prometa (bez regulacije prometa, prometno svjetlo, stop znak, znak prednosti, ostalo, posebna brzinska zona, školska zona, treperava svjetla); lokaciju mjesta (izvan raskrižja, na raskrižju ili pod utjecajem raskrižja, prilazna cesta, parkirališta, privatno vlasništvo); broj traka ( $\leq 2$ ,  $> 2$ ); vrstu srednjeg razdjelnika (podijeljeno, nepodijeljeno); ograničenje brzine ( $\leq 25$  mph, 26-40 mph,  $> 40$  mph).

Cilj projekta *Sigurnost djece pješaka u zonama osnovnih škola* (Šimunović i ostali, 2017), bio je povećati sigurnost djece pješaka na cestama u zonama osnovnih škola. Autori su koristili američku inicijativu za određivanje sigurnih ruta (DiMaggio & Li, 2013; USDOT, 2024) s procjenom stupnja sigurnosti kao pozitivnog, osrednjeg ili negativnog. Kriteriji evaluacije obuhvatili su različite elemente, poput brzine vožnje, prometnog opterećenja, širine cesta, mjera za smirivanje prometa i kvalitete nogostupa. Kaniški (2020) je također dao važan doprinos tom području, analizirajući stanje obrazovnih ustanova u Općini Gornji Kneginec te predlažući mjere za povećanje sigurnosti djece u prometu do škola i predškolskih objekata.

Hodanje je nezamjenjiv oblik kretanja, osobito kada je o djeci riječ. Pješačka infrastruktura, kao osnovno sredstvo pristupa javnim prostorima, predstavlja najkompleksniju prometnu mrežu, uvezujući sve oblike prometa u jedno (Gallimore i ostali, 2011).

<sup>1</sup> Engl. *European Road Assessment Programme*.

Proučavanje mreže pješačkih putova nailazi na nedostatak podataka o pješačkoj infrastrukturi, što dovodi do korištenja podataka o cestama kao zamjeni. Iako su ulične mreže u nekim slučajevima prihvatljiva zamjena, njihova upotreba može pogrešno usmjeriti analizu zbog manjeg broja veza u usporedbi sa stvarnom mrežom pješačkih putova (Fonseca, Fernandes i ostali 2022). Stoga je važno analizirati stvarne pješačke putove umjesto korištenja cestovnih mreža kao zamjenske varijable (Ellis i ostali, 2016; Tsiompras & Photis, 2017). Nedostatak detaljnih podataka o tim stazama ograničava takve analize (Fonseca, Ribeiro i ostali, 2022). Međutim, razvojem GIS alata razvijen je i koncept pješačke dostupnosti<sup>2</sup>, koji se definira kao lagana dostupnost različitih sadržaja unutar razumne vremenske ili prostorne udaljenosti hodanjem te je time omogućena evaluacija mreže pješačkih putova (Ellis i ostali, 2016; Fonseca, Ribeiro i ostali, 2022; Macdonald i ostali, 2016; Manzolli i ostali, 2021; Tsiompras & Photis, 2017; Wang & Yang, 2019).

Doprinos ovog rada ogleda se u prihvaćanju sveobuhvatnog pristupa analizi izloženosti pješaka. Istražuje niz različitih karakteristika cestovne i pješačke infrastrukture kako bi se dobila cjelovita slika. Zbog nedostatka podataka o količini prometa, koriste se mjere centralnosti kao nadomjestak. Također, umjesto korištenja cesta, analizira se stvarna pješačka infrastruktura kako bi se dobili precizni rezultati. Primjenjuju se GIS metode za određivanje i kvantificiranje kretanja pješaka (djece), identificiraju se ključni aspekti sigurnosti te pružaju smjernice za poboljšanje prometne infrastrukture radi zaštite pješaka.

### 3. PODRUČJE ANALIZE

Analiza se provodi na upisnom području OŠ Skalice u Splitu, koje se znatno preklapa s granicama Gradskog kotara (GK) Lovret.

Prema popisu stanovništva iz 2021. (DZS, 2021), u GK Lovretu živi 9183 stanovnika, čineći ga drugim po veličini u gradu Splitu. Na području GK Lovret smještene su brojne javne institucije, uključujući Županijski, Općinski, Trgovački i Upravni sud. Na području Kotara nalaze se sjedište Policijske uprave splitsko-dalmatinske, dječji dispanzer i školska poliklinika, Centar za socijalnu skrb Split, banke te stadion. Tu su glazbena škola, predškolske ustanove i nekoliko škola, uključujući Srednju pomorsku školu i Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu. Jedna od tih institucija jest Osnovna škola Skalice koja u školskoj godini 2023./2024. broji 409 učenika, od čega 46 učenika prvih razreda i 52 učenika drugih razreda (MZO, 2024).

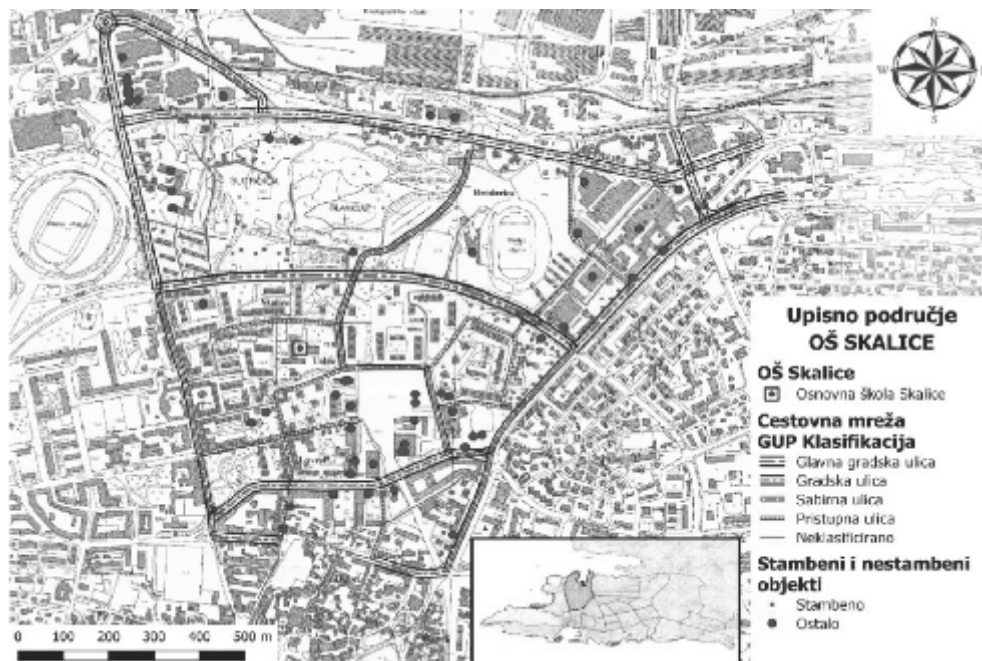
Velik broj javnih institucija generira prometne tokove, a nedostatak prometnih površina za parkiranje kontinuirani je izazov unutar GK Lovret. Upravo to pridonosi konfliktima između pješaka i vozila (Grad Split, 2017; IGH dd., 2010).

Na analiziranom području ukupna dužina mreže pješačkih putova iznosi 47 km, a cestovne mreže približno 15 km. U GK Lovretu nalazi se 112 pješačkih prijelaza te 386 kućnih adresa (i toliko ruta do škole).

---

<sup>2</sup> Engl. *Walkability*.

Slika 1: Gradski kotar Lovret



Izvor: GUP Grada Splita (Generalni urbanistički plan Splita, 2014); Vlastita izrada autora

## 4. METODOLOGIJA I PODACI

### 4.1. Podaci, priprema i obrada podataka

U ovom istraživanju korištene su otvorene baze prostornih podataka koje su postale iznimno popularne i korisne, pružajući besplatan pristup geoprostornim informacijama. *OpenStreetMap* (OSM, 2024) je uz *Google Maps* najpoznatija među njima. U RH službeni pružatelji geoprostornih informacija različite su državne institucije zadužene za prikupljanje, obradu i njihovu distribuciju (DGU, 2024b), a ključna je institucija Državna geodetska uprava (DGU, 2024a).

Početna faza istraživanja bilo je prikupiti prostorne podatke koji su otvoreni, dakle raspoloživi svima. U ovom su radu korišteni prostorni podaci *OpenStreetMap* baze, preuzeti putem alata *Overpass Turbo* (OT, 2024). Tri osnovna ulaza za daljnju analizu bila su točkasti sloj adresa, linijski sloj cesta i linijski sloj mreže pješačkih putova. U istoj fazi izvršena je kontrola kvalitete podataka vizualno, a kao referentni slojevi za analizu kvalitete korištene su digitalne ortofoto snimke DGU i satelitske snimke *Google Maps* (GoogleMaps, 2024; STP, 2024). Utvrđeno je odstupanje u njihovoj preciznosti, posebice kod prometnih površina za pješake. Utvrđena je i neusklađenost točkastog sloja adresa, što je ispravljeno putem Zajedničkog informacijskog sustava zemljišnih knjiga i katastra (DGU, 2024c). Od 47 km ukupne dužine mreže pješačkih putova, 14,6 km ručno je vektorizirano i usklađeno sa stvarnim stanjem. Nadodan je i velik broj adresa u točkastom sloju adresa. Time je omogućena analiza kojoj su dovoljni samo prostorni podaci, kao što je npr. određivanje mjere centralnosti ili broja ruta.

Druga faza istraživanja bila je određivanje atributa pojedinih elemenata izloženosti u prethodno definiranim prostornim slojevima. Dakle, provedene su detaljna kontrola i vizualna opservacija područja analize. Vizualna opservacija cestovne mreže (putem videosnimaka) izvršena je 17. studenoga 2023. u večernjim satima, a inspekcija mreže pješačkih putova fotografijama obavljena je od 25. do 29. studenoga 2023., također u večernjim satima, radi procjene osvjetljenja. Time su pojedinim segmentima cestovne mreže određeni atributi poput ograničenja brzine, a time i fatalnosti, broja traka, osvjetljenja mreže pješačkih putova, ali su i prikupljeni podaci za određivanje atributa za točkasti sloj pješačkih prijelaza.

Treća faza istraživanja rezultirala je stvaranjem dodatnih prostornih podataka, tj. slojeva. Analizom presjeka slojeva mreže pješačkih putova i cestovne mreže generiran je točkasti sloj interakcije između motornih vozila i pješaka, dakle generiran je sloj pješačkih prijelaza.

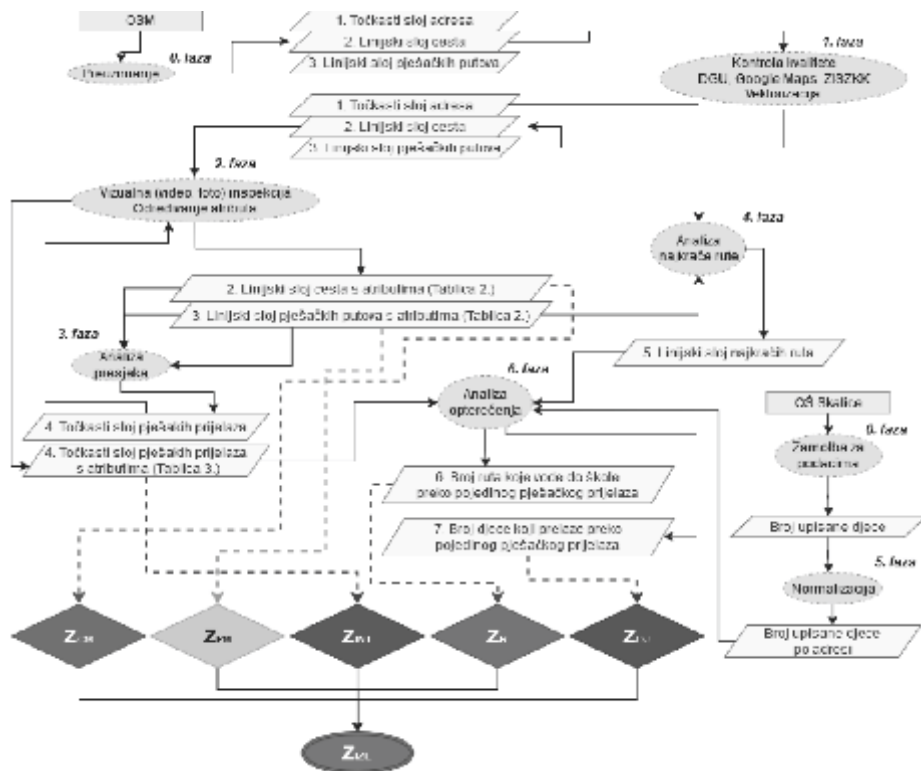
Tablica 1: Popis podataka, izvora i kontrolnih alata korištenih u analizi

Prostorni podaci	Izvor i kontrolni alati	Daljnja obrada
Točkasti sloj adresa	<ul style="list-style-type: none"><li>• OSM</li><li>• <i>Google Maps</i></li><li>• Zajednički informacijski sustav zemljišnih knjiga i katastra</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Određivanje najkraćih ruta do škole</li><li>• Određivanje izloženosti na pješačkim prijelazima</li></ul>
Linijski sloj cesta	<ul style="list-style-type: none"><li>• OSM</li><li>• DGU ortofoto snimka</li><li>• <i>Google Maps</i></li><li>• Vizualna opservacija (videosnimke)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Određivanje izloženosti na cestovnoj mreži</li><li>• Određivanje izloženosti na pješačkim prijelazima</li></ul>
Linijski sloj mreže pješačkih putova	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presjek linijskih slojeva cesta i nogostupa</li><li>• DGU ortofoto snimka</li><li>• <i>Google Maps</i></li><li>• Vizualna opservacija (fotografije)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Određivanje najkraćih ruta do škole</li><li>• Određivanje izloženosti na mreži pješačkih putova</li><li>• Stvaranje sloja pješačkih prijelaza</li></ul>
Točkasti sloj pješačkih prijelaza	<ul style="list-style-type: none"><li>• Presjek linijskih slojeva cesta i nogostupa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Određivanje izloženosti na pješačkim prijelazima</li></ul>
Broj upisane djece u OŠ Skalice	<ul style="list-style-type: none"><li>• OŠ Skalice</li><li>• MZO</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Određivanje izloženosti na pješačkim prijelazima</li></ul>

U četvrtoj fazi, pod pretpostavkom da će se djeca kretati najkraćim mogućim putem do škole, analizom najkraće rute (engl. *Shortest Path Analysis*) određene su rute između adresa stanovanja i škole. Kao podloga za rute do škole korišten je sloj mreže pješačkih putova, a polazišne točke (mjesto stanovanja), kao i završna točka (škola) sadržane su u točkastom sloju adresa. Dakle, iz svih mogućih segmenata pješačke mreže djeca biraju one koji daju najkraći put do škole, prolazeći pri tome preko pojedinih segmenata cestovne mreže.

Točni podaci o broju djece po kućnom broju nisu bili dostupni, pa su podaci prema adresi uprosječeni prema broju kućnih brojeva po ulici,<sup>3</sup> čime je završena faza pet. U završnoj, šestoj fazi, broj učenika po pojedinoj adresi omogućio je, u kombinaciji s pojedinom rutom do škole, procjenu broja djece koja idu preko pojedinog pješačkog prijelaza.

Dijagram 1: Tijek analize procjene izloženosti djece u prometu



Izvor: Vlastita obrada

<sup>3</sup> Podaci o broju upisane djece prema točnoj adresi stanovanja zatraženi su od OŠ Skalice, a dostavljeni su ukupno prema ulicama, ali ne i kućnim brojevima upisnog područja 10. listopada 2023. godine. Iz analize su isključeni oni učenici koji ne stanuju na upisnom području OŠ Skalice.

U Tablici 1. dan je prikaz korištenih (prostornih) podataka, kao i obrada svakog pojedinog podatka, dok je tijek istraživanja prikazan u Dijagramu 1.

#### 4.2. Izračun pokazatelja izloženosti

Z-vrijednost<sup>4</sup> relativna je mjera udaljenosti određene vrijednosti jedinice promatranja od srednje vrijednosti skupa, izražena u standardnim devijacijama, čime se omogućuju standardizacija ocjena i međusobna usporedba (Moore i ostali, 2014; Newbold i ostali, 2019; Triola, 2011).

Z-vrijednost i standardna normalna distribucija usko su povezani jer je Z-vrijednost standardizirani način izražavanja odstupanja pojedinačne vrijednosti od srednje vrijednosti u normalnoj distribuciji. Standardna normalna distribucija ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju 1.

Primjena Z-vrijednosti obuhvaća područja kao što su poslovna statistika, medicina i izračun *walkability* indeksa (Frank i ostali, 2010), što pruža raznolike mogućnosti analize i usporedbe. Z-vrijednost je alat koji pomaže u preoblikovanju podataka u standardnu normalnu distribuciju, čime olakšava analizu i usporedbu. U ovom radu izloženost se prikazuje putem Z-vrijednosti, koja omogućuje kvantifikaciju udaljenosti pojedinačne vrijednosti u skupu podataka ( $x$ ) od srednje vrijednosti ( $\bar{x}$ ) istog skupa podataka, izražene u standardnim devijacijama ( $\sigma$ ).

Z-vrijednost omogućuje usporedbu vrijednosti iz različitih skupova podataka jer pretvara podatke na istu skalu, čime se olakšava usporedba među različitim varijablama ili uzorcima. Formula za izračunavanje Z-vrijednosti pojedinačne vrijednosti glasi:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma} \quad \text{Gdje je: } \begin{array}{l} \bullet Z \text{ je Z-vrijednost} \\ \bullet X_i \text{ je pojedinačna vrijednost podatka} \\ \bullet \bar{X}_i \text{ je srednja vrijednost skupa podataka} \\ \bullet \sigma \text{ je standardna devijacija skupa podataka} \end{array} \quad (1)$$

Prema tome, u ovom radu Z-vrijednost izloženosti ( $Z_{IZL}$ ) definirana je kao prosjek zbroja Z-vrijednosti svake pojedine mreže, zatim interakcije dviju mreža te broja djece i broja najkraćih ruta u zadanoj točki prometnog sustava. Dakle:

$$Z_{IZL} = \frac{Z_{CM} + Z_{PM} + Z_{INT} + Z_R + Z_{DJ}}{5} = \frac{Z_{CM} + Z_{PM} + Z_{INT} + Z_R + Z_{DJ}}{5} \quad (2)$$

- Gdje je:
- $Z_{CM}$  Z-vrijednost za cestovnu mrežu
  - $Z_{PM}$  Z-vrijednost za mrežu pješačkih putova
  - $Z_{INT}$  Z-vrijednost za pješačke prijelaze
  - $Z_R$  Z-vrijednost za broj najkraćih ruta do škole koji vode preko pojedinog pješačkog prijelaza
  - $Z_{DJ}$  Z-vrijednost za broj djece koji prolaze preko pojedinog pješačkog prijelaza

---

<sup>4</sup> Engl. *Z-Score*.



Z-vrijednost za cestovnu mrežu ( $Z_{CM}$ ) i mrežu pješćkih putova ( $Z_{PM}$ ) izračunana je kao suma Z-vrijednosti pojedinih elemenata izloženosti:

$$Z_{CM} = Z_T + Z_{POV} + Z_{SM} + Z_F + Z_{BTW} \quad (3)$$

$$Z_{PM} = 0,7 \times Z_{ODV} + 0,2 \times Z_{OSV} + 0,1 \times Z_P \quad (4)$$

Za izračunavanje  $Z_{PM}$  određene su težine, pa je tako za odvojenost pješćke od cestovne mreže određen faktor 0,7, za osvjetljenost 0,2, a za parkiranje na nogostupu 0,1.

Tablica 2: Elementi izloženosti cestovne (CM) i mreže pješćkih putova (PM)

Oznaka	Opis	Vrijednost
<b>Elementi izloženosti cestovne mreže</b>		
T	Broj traka	Numerička vrijednost od 1 do 6
POV	Površina kolnika	1 - asfalt 0 - makadam
SM -	Smjer prometa	1 - jednosmjerno 2 - dvosmjerno
F	Fatalnost nesreće	Prema ograničenju brzine: - 5% za 20 km/h - 10% za 30 km/h - 37% za 40 km/h - 86% za 50 km/h - 99% za 60 km/h
BTW	<i>Betweenss</i> segmenata - suma mjere centralnosti dvaju povezanih čvorova	Numerička vrijednost
<b>Elementi izloženosti mreže pješćkih putova</b>		
ODV	Odvojenost od cestovne mreže	Hoda se cestom - 4 Postoji nogostup, ali nije odvojen fizičkom barijerom - 2 Nogostup je djelomično odvojen fizičkom barijerom - 1 Nogostup je potpuno odvojen fizičkom barijerom - 0
OSV	Osvjetljenje nogostupa	Osvjetljeno u potpunosti - 0 Osvjetljeno djelomično - 1 Nije osvjetljeno - 2
P	Parkiranje na nogostupu	Nije moguće parkiranje - 0 Moguće parkiranje - 1

Izvor: Vlastita obrada

Izračunavanje Z-vrijednosti za interakciju cestovne i mreže pješćkih putova (INT) zahtijeva složeniji pristup. Različite situacije, poput prelaska ceste na jednosmjernoj ulici ili na neobilježenom raskrižju, te varijabilnost signalizacije na pješćkim prijelazima, utječu na izloženost pješćaka. Stoga, suma Z-vrijednosti pojedinih elemenata mora se kontekstualizirati s tehničkim karakteristikama prijelaza i njegovom lokacijom. Prilikom izračuna Z-vrijednosti uzeta je prisutnost horizontalne i vertikalne signalizacije, sukladno s Pravilnikom o prometnim

znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama, 2019). Vidi Tablicu 2.

Tehnička opremljenost pješačkih prijelaza dijeli se u dvije glavne skupine: prva je vezana uz regulaciju prometa, a druga uz sam pješački prijelaz. Prva skupina uključuje vertikalnu i horizontalnu signalizaciju (prometni znakovi *A14*, *A21*, *A22*, *C02*, *C03*, *H65*, *H78*, *K32*, *K33*, *K34*, *K35* i *K36*) te radar brzine, a njihova vrijednost ovisi o broju smjerova prometa. Drugu skupinu čine horizontalna signalizacija (prometni znakovi *H19* i *K02*), ograda za sprečavanje parkiranja te osvijetljenje. Ti elementi imaju maksimalnu vrijednost 1, osim ograda koje mogu imati maksimalnu vrijednost 2 zbog valorizacije s objiju strana.

Složenost raskrižja, odnosno broj prometnih tokova određuje maksimalnu vrijednost koju određeni element (prometni znak) može imati. Primjerice, na četverokrakom raskrižju najveća vrijednost koju znak može imati je 4, na T-raskrižju 3, u dvosmjernoj ulici 2, a u jednosmjernoj ulici 1 (vidi Sliku 2.). Normalizacija je provedena tako što je svaka vrijednost elementa podijeljena s brojem prometnih pravaca, što rezultira prosječnim postojanjem prometnog znaka na određenom pješačkom prijelazu. Treba istaknuti da se veća vrijednost određenog elementa smatra većom izloženošću.

Blizina škole određena je kao krug od 500 m zračne linije od škole. Tako da je za elemente (prometne znakove) *A22*, *C03*, *H65* te *H78* vrijednost računana samo ako je pješački prijelaz unutar radijusa 500 m od škole. Na ostalim mjestima vrijednost je postavljena na 0.

Tablica 3: Elementi izloženosti interakcije cestovne i mreže pješačkih putova (INT)

Ozn.	Opis	Vrijednost	Ozn.	Opis	Vrijednost
A14	Promet upravljani uređajima za davanje znakova prometnim svjetl.	Da – 0 Ne – 1 do 4	K35	Umjetne izbočine	Da – 0 Ne – 1 do 4
A21	Obilježeni pješački prijelaz	Da – 0 Ne – 1 do 4	K36	Uzdignute plohe	Da – 0 Ne – 1
A22	Označeno mjesto na cesti kojim se djeca češće i u većem broju kreću	Da – 0 Ne – 1 do 4		Preventivni radarski mjerač s pokazivačem brzine kretanja vozila	Da – 0 Ne – 1 do 4
C02	Obilježeni pješački prijelaz	Da – 0 Ne – 1 do 4		Osvijetljenost pješačkog prijelaza	Da – 0 Ne – 1
C03	Označeno mjesto na cesti kojim se djeca češće i u većem broju kreću	Da – 0 Ne – 1 do 4		Semafor	Da – 0 Ne – 1
H19	Označeni pješački prijelaz	Da – 0 Ne – 1		Broj pravaca iz kojih dolazi promet	Numerička varijabla – 1 do 4
H65	Oznaka za školu na kolniku	Da – 0 Ne – 1 do 4			

H78	Oznaka za djecu na kolniku	Da – 0 Ne – 1 do 4	Pješačka ograda – 5 m	Da – 0 Ne – 1 ne postoji na jednoj strani Ne – 2 ne postoji na objema stranama
K02	Led bljeskalice na kolniku	Da – 0 Ne – 1		
K32	Optičke bijele crte upozorenja za smirivanje prometa	Da – 0 Ne – 1 do 4		
K33	Zvučne trake upozorenja za smirivanje prometa	Da – 0 Ne – 1 do 4		
K34	Vibracijske trake upozorenja za smirivanje prometa	Da – 0 Ne – 1 do 4		

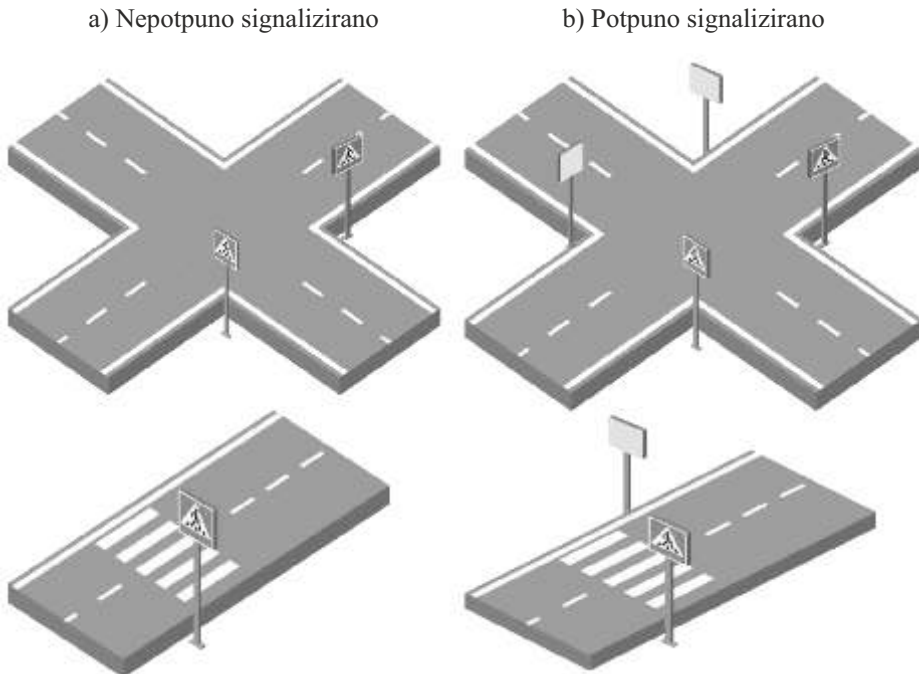
Izvor: Vlastita obrada

Elementi (znakovi) *A14* i *A21* međusobno su isključivi. Stoga, ako je riječ o pješačkom prijelazu na kojem je promet upravljana semaforima, onda to ne može biti *A21*, i obrnuto. Dakle, u *Z*-vrijednost uzeta je u obzir suma vrijednosti tih dvaju elemenata (znaka). Sličnu logiku treba primijeniti na oznake *K32*, *K33*, *K34* te *K35* i *K36*, koje su, u pravilu, međusobno isključive.<sup>5</sup>

Element *Pješačka ograda – 5 m* propisan je Zakonom (Zakon o sigurnosti prometa na cestama, 2023) koji nalaže da se vozilo ne smije zaustaviti ili parkirati na obilježenom pješačkom prijelazu na udaljenosti manjoj od 5 metara od tog prijelaza. U praksi se to pravilo često krši, pa se na pješačkim prijelazima postavljaju ograde ili stupići. Taj element može biti ključan za sigurnost djece mlađe školske dobi, jer pomaže u njihovoj uočljivosti prije nego što stupe na kolnik.

<sup>5</sup> U ovom radu na upisnom području OŠ Skalice nisu utvrđeni elementi *K33*, *K34* i *K36*, dok su u izračun uključeni elementi *K32* i *K35*. Osim toga, element *K02* nije zabilježen ni na jednom promatranom pješačkom prijelazu te stoga također nije uključen u izračun.

Slika 2: Vrednovanje elemenata prometne signalizacije



Izvor: Obrada autora

Dakle, Z-vrijednost za tehničku opremljenost pješačkih prijelaza (INT) izračunana je kao:

$$Z_{INT} = \left\{ Z_{\bar{x}(A14+A21)} + Z_{\bar{x}A22} + Z_{\bar{x}C02} + Z_{\bar{x}C03} + Z_{\bar{x}H65} + Z_{\bar{x}K32} + Z_{\bar{x}K35} + Z_{\bar{x}RAD} + Z_{H19} + Z_{OSV} + Z_{SEM} + Z_{5m} + Z_{SMR} \right\} \quad (5)$$

Naposljetku, da bi se izračunao ukupan indeks izloženosti ( $Z_{IZL}$ ), potrebno je dodati Z-vrijednost broja ruta do škole preko pješačkog prijelaza ( $Z_{ZR}$ ) te Z-vrijednost procijenjenog broja djece koja se kreću preko pješačkog prijelaza ( $Z_{DJ}$ ) na putu do škole.

Sumarno, Z-vrijednost izloženosti pješaka, odnosno djece na kretanju prema školi, izračunana je kao prosjek sume Z-vrijednosti svih elemenata koji utječu na sigurnost djece u prometu, a koji su razmatrani u ovom radu.

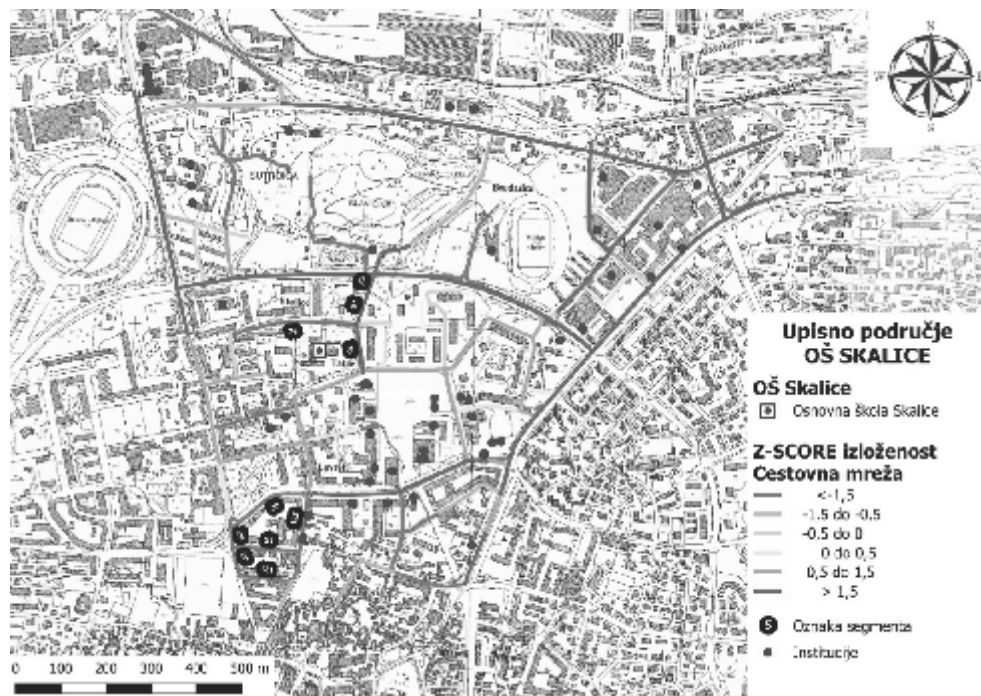
## 5. ANALIZA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Za razumijevanje varijabilnosti sigurnosnih ocjena, Z-vrijednost, tj. indeks izloženosti podijeljen je u šest kategorija radi visokog stupnja razlučivosti, i to:

- vrlo sigurno (< -1,5)
- sigurno (-1,5 do -0,5)
- blago sigurno (-0,5 do 0)
- blago nesigurno (0 - 0,5)
- nesigurno (0,5 do 1,5) i
- vrlo nesigurno (> 1,5)

Taj sustav omogućuje analizu sa 78% promatranih pješačkih prijelaza unutar Z-vrijednosti od -1,5 do 1,5 (vidi poglavlje 6. Diskusija). Korištenje intervala od 0,5 između kategorija omogućuje detaljan prikaz razina sigurnosti i olakšava prepoznavanje prijelaza koji su blizu prosjeka ili znatno odskaku od njega. Ta skala pruža dobar pregled distribucije i pomaže u prepoznavanju područja koja zahtijevaju posebnu pažnju ili intervenciju.

Slika 3: Z-vrijednost izloženosti cestovne mreže (Z<sub>CM</sub>)



Izvor: Vlastita obrada

Analiza Z-vrijednosti **cestovne mreže (Z<sub>CM</sub>)** daje očekivane rezultate. Neke su prometnice *vrlo nesigurne*, što odgovara njihovoj hijerarhiji prema GUP-u. Dodatno se ističu ulice koje vode prema institucijama, koje su također *vrlo nesigurne* (vidi Sliku 3.), a njihova nesigurnost proizlazi iz mjere centralnosti. Primjerice, segmenti cestovne mreže 78, 79 i 81 imaju prosječnu Z-vrijednost 2,2, od čega Z-vrijednost mjere centralnosti čini 1,4 ukupnog zbroja.

Imajući u vidu da su mjere centralnosti statistički jaka supstitucija za količinu prometa, takva klasifikacija ne iznenađuje s obzirom na to da su ti segmenti prometne mreže usmjereni prema velikom broju javnih institucija, kao i velikom javnom parkiralištu i nizu malih rezidencijalnih parking-lokacija.

Najsigurniji su dijelovi cestovne mreže na jugozapadnom rubu područja analize. U pravilu su jednosmjerni, nemaju izraženu fatalnost ni mjeru centralnosti. Primjerice, segmenti ceste 17, 27, 28, 29, 30, 31, 121, 122 imaju prosječnu Z-vrijednost od -3,3, čemu najviše pridonosi Z-vrijednost smjera (-2), a sigurnosti dodatno pridonose Z-vrijednost fatalnosti -0,2 te Z-vrijednost centralnosti -0,7. Važno je naglasiti da se i mjerama usporavanja prometa postiže znatno smanjenje izloženosti. Tako je na segmentu 76, koji je klasificiran kao *vrlo siguran*, od ukupne izloženosti -2,4, fatalnost (kao posljedica brzine) najviše pridonijela Z-vrijednosti od -2,9.

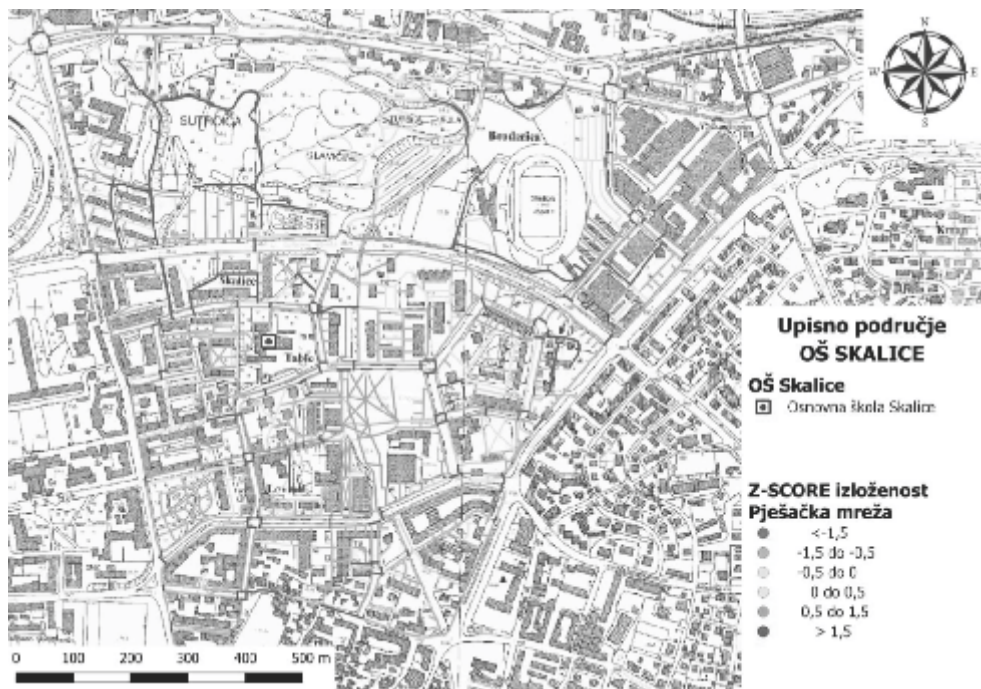
Usporedbe radi, kada bi ograničenje brzine kretanja vozila bilo postavljeno na 50 km/h, umjesto sadašnjih 30 km/h, ukupna izloženost segmenta iznosila bi 0,75, čime bi segment bio u skupini *nesigurno*.

Oko 26% dužine prometne mreže ocjenjuje se kao *vrlo sigurno*, dok je 37% ocijenjeno kao *vrlo nesigurno* (vidi Sliku 3. i usporedi sa Slikom 1.).

Analiza **mreže pješačkih putova (ZPM)** upućuje na sigurnost pješaka kada je mreža odvojena od prometa. Iako nijedan segment mreže pješačkih putova nije *vrlo siguran*, 56% mreže ocijenjeno je kao *sigurno*. To su dijelovi mreže poput parkova, prilaza zgradama i pločnika (vidi Sliku 4.). Dobiveni rezultati upućuju na koherentnu razinu sigurnosti mreže pješačkih putova na promatranom području.

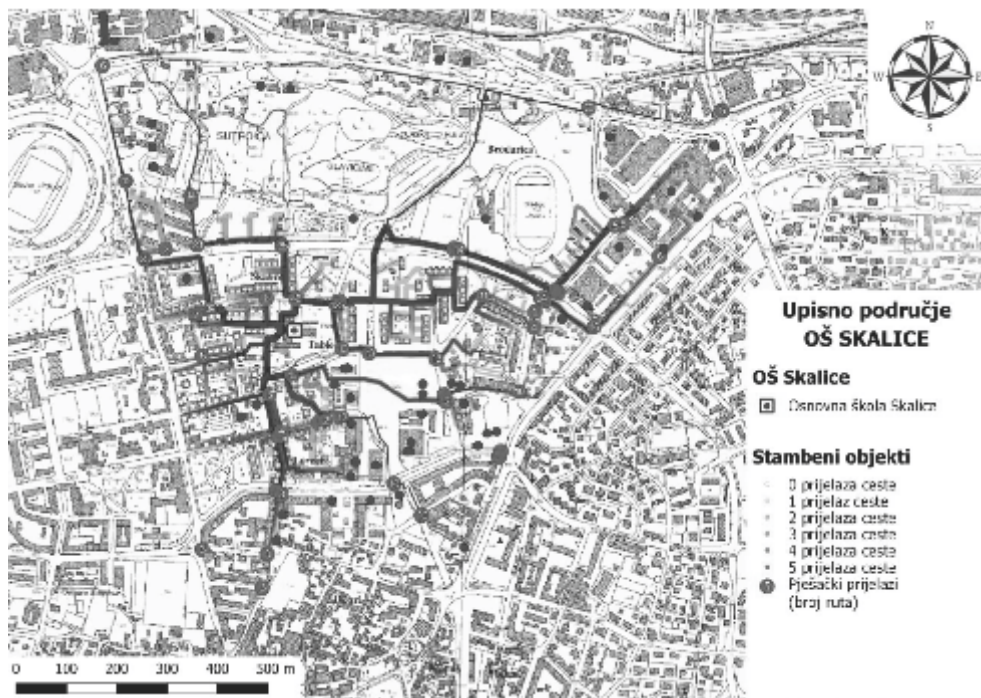
Najnesigurniji su dijelovi pješačke mreže oni koji su dio cestovne mreže ili su joj izravno izloženi. Pješačka mreža ne bi trebala biti ispresijecana cestovnom mrežom kako bi bila sigurna, no čak 10% mreže pješačkih putova čini upravo to. Dodatno, problem predstavljaju segmenti mreže pješačkih putova koji nisu odvojeni od prometa u mirovanju. *Nesigurnim* se smatra 17% mreže pješačkih putova (vidi Sliku 4.). Kako je već naznačeno, rute su određene na temelju *Dijkstrina* algoritma između adresa stanovanja i postojeće mreže pješačkih putova, pa je tako najkraća ruta duga samo 85 metara, dok je najduža 1,8 kilometara. Slika 5. otkriva da se svi putovi od kuće do škole kapilarno slijevaju prema školi, pri čemu tamniji putovi upućuju na veću frekvenciju prolazaka istim putom. Osim toga, intenzitet preklapanja ruta pruža uvid u preferencije učenika i dinamiku kretanja na upisnom području škole.

Slika 4: Indeks izloženosti mreže pješačkih putova (ZPM)



Izvor: Vlastita obrada

Slika 5: Rute najkraćih putova do OŠ Skalice



Izvor: Vlastita obrada

Na upisnom području OŠ Skalice postoji 112 pješačkih prijelaza, a samo preko 53 prolaze školska djeca (vidi slike 5. i 6.).

Kada se razmatraju **pješački prijelazi koje koriste djeca** na putu do škole, primjećuje se da najveći postotak prijelaza pripada kategoriji *nesigurno* (25%), dok su prijelazi koji su *sigurni* također znatno zastupljeni (19%).

To sugerira varijabilnost u razini sigurnosti pješačkih prijelaza, odnosno neujednačene kriterije održavanja i prometnog nadzora. To je važno za lokacije koje bi mogle zahtijevati hitne intervencije radi poboljšanja sigurnosti.

*Vrlo nesigurni* pješački prijelazi mogu se grupirati na temelju nekoliko ključnih faktora.

Prvo, nedostatak signalizacije na pješačkim prijelazima, bez propisane horizontalne i vertikalne signalizacije, govori o nedostatku tehničke opremljenosti (oznake 82, 83, 65).

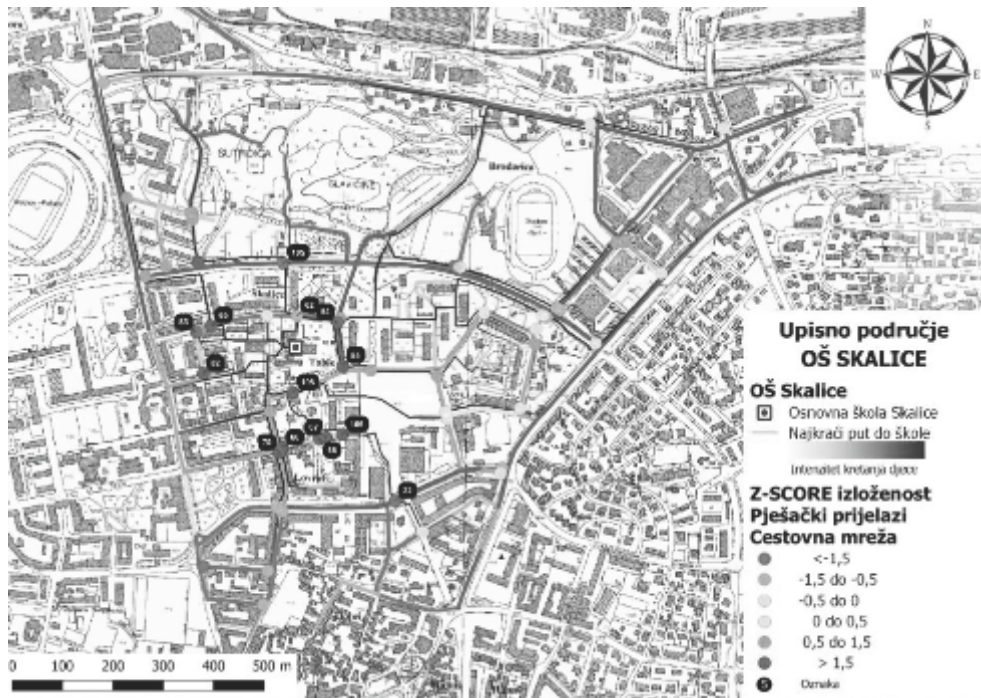
Drugo, opasnost na prijelazima proizlazi iz strukture mreže pješačkih putova, gdje se pješački put ne odvaja od prometne trake, posebno uz prisutnost parkiranih automobila na pločniku (oznake 82, 83, 55, 65).

Treće, prema velikom broju djece koja prolaze pješačkim prijelazom (oznaka 54).

Četvrto, kombinacijom nedostatka tehničke opremljenosti i parkiranih automobila dodatno se smanjuje sigurnost (oznake 66, 70).

Peto, prijelaz koji predstavlja kombinaciju svih faktora, svrstavajući ga u *vrlo nesigurnu* kategoriju (oznaka 108). Na kraju, neoznačeni pješački prijelazi, a koji služe i kao kontrolni elementi u analizi (oznake 67, 68, 106).

Slika 6: Indeks izloženosti interakcije cestovne i mreže pješačkih putova ( $Z_{INT}$ )



Izvor: Izrada autora

Kada je riječ o pješačkim prijelazima koji su *vrlo sigurni* ili *sigurni*, svima je zajednička odlika dobra tehnička opremljenost, kao i postojanje horizontalne i vertikalne signalizacije koje je na znatno višoj razini od prosjeka.

U tom kontekstu posebno se ističe postojanje *K32 – optičkih bijelih crta upozorenja* (oznaka 22) te *K35 – umjetnih izbočina* (oznaka 62). Primjerice, pješački prijelaz s oznakom 62, koji uključuje umjetne izbočine i zaštitnu ogradu u dužini od 5 m, kategoriziran je kao *siguran*.

Da nije opremljen umjetnim izbočinama (Z-vrijednost elementa -5,4549 vs 0,1568), taj bi prijelaz prešao u kategoriju *blago nesigurnih* prijelaza, dok bi u slučaju dodatnog izostanka zaštitne ograde (Z-vrijednost elementa -0,9786 vs 1,31) bio *nesiguran*.

Važan element sigurnosti jest regulacija prometa svjetlosnim signalima, dakle semaforima.

Uz mjere ublažavanja, izloženosti koje proizlaze iz cestovne mreže (oznake 22, 105) ili pak zbog brojne djece koja prolaze navedenim lokacijama (oznake 62, 105), učinkovito se mogu suzbiti.

Kao općeniti zaključak analize može se istaknuti da glavna diferencijacija između dviju krajnjih vrijednosti, dakle između *vrlo sigurno* te *vrlo nesigurno*, proizlazi iz velikih (ili niskih) vrijednosti izloženosti cestovne mreže te izloženosti koja proizlazi iz vrijednosti tehničke opremljenosti pješačkih prijelaza.

Izloženost koja proizlazi iz mreže pješačkih putova znatno ne pridonosi polarizaciji dviju vrijednosti.



## 6. RASPRAVA

U radu se definira novi pokazatelj izloženosti pješaka u prometu korištenjem Z-vrijednosti. Taj pristup predstavlja iskorak, jer takav pokazatelj do sada nije zabilježen u literaturi, što onemogućuje raspravu u smislu izravne usporedbe s prethodnim istraživanjima.

U standardnoj normalnoj distribuciji, interval Z-vrijednosti od -1 do 1 obuhvaća 68%, od -1,5 do 1,5 obuhvaća otprilike 86,6% podataka, interval -2 do 2 obuhvaća 95% vrijednosti, a interval -3 do 3 obuhvaća 99,7% vrijednosti (Green, 2024). Rezultati te analize govore da je 78% promatranih pješačkih prijelaza unutar -1,5 do 1,5, što sugerira blagu devijaciju od standardne normalne distribucije, ali ne umanjuje valjanost indeksa izloženosti.

Teoretski, normalna distribucija ima srednju vrijednost 0 i standardnu devijaciju 1. Za cjelokupno upisno područje srednja Z-vrijednost iznosi 0,259, a standardna devijacija 1,376. Za pješačke prijelaze kojima prolaze djeca, srednja Z-vrijednost iznosi 0,545, a standardna devijacija 1,388.

To znači da su pješački prijelazi, gdje djeca prelaze cestu, u prosjeku izloženiji riziku nego što je prosječna izloženost za sve promatrane lokacije. Dobiveni rezultati upućuju na to da su djeca u blizini škole u većoj opasnosti nego na drugim područjima, što je u skladu s Ferenchak & Marshall (2017). Taj indeks izloženosti ide i korak dalje, olakšavajući utvrđivanje faktora koji utječu na povećanu izloženost djece u blizini škole.

U ovom istraživanju potvrđeno je da brzina kretanja vozila znatno povećava izloženost djece u prometu, što je u skladu s prethodnim istraživanjima (Elvik, 2005; Elvik i ostali, 2019; Martinelli i ostali, 2022).

Rezultati su pokazali da su prijelazi na lokacijama s većim ograničenjima brzine i bržim prometnim tokovima povezani s višim Z-vrijednostima, upućujući na povećanu izloženost i potrebu za dodatnim sigurnosnim mjerama na takvim lokacijama. Analizom je pokazano da mjere smirivanja prometa znatno smanjuju izloženost, što potvrđuju prethodna istraživanja vezana uz uspornike (Antić i ostali, 2013; Arbogast i ostali, 2018; Garunović i ostali, 2020; Nadesan-Reddy & Knight, 2013; Ragland i ostali, 2014; Rothman i ostali, 2015; USDOT, 2024).

Rezultat ovog istraživanja potvrđuje da količina prometa, prikazana mjerom centralnosti, pridonosi izloženosti djece u prometu. Pokazuje se da i u ovom kontekstu mjera centralnosti može poslužiti kao supstitut za količinu prometa (Crucitti i ostali, 2006; Jiang, 2009a, 2009b; Jiang & Liu, 2009; Liu i ostali, 2016; Porta i ostali, 2006; Wu i ostali, 2022; Zhao i ostali, 2017).

Nadalje, u radu je pokazano da na izloženost više utječu cestovna mreža i tehnička opremljenost pješačkih prijelaza, nego što to čini mreža pješačkih putova.

Kada je riječ o metodološkim izazovima, treba navesti da je ovo istraživanje u skladu sa zaključcima Fonsecae i sur. (2022), jer je velik dio mreže pješačkih putova dodatno vektoriziran, tj. podaci o pješačkim putovima ne postoje te ih treba stvoriti, odnosno postojeće dopuniti.

U tom kontekstu može se navesti da je ovim istraživanjem načinjen pomak, dajući uvid u način prikupljanja i obrade tih podataka u RH.

Prednost ovog indeksa izloženosti jest njegova jednostavna primjena, s obzirom na to da se oslanja na otvorene izvore podataka i ne zahtijeva visoke troškove ili kompleksne procedure prikupljanja podataka, što dodatno olakšava njegovu primjenu i ponovnu reprodukciju u različitim kontekstima. Kombinacija različitih slojeva prostornih podataka omogućuje jednostavnu detekciju problema i praćenje opasnosti do njihova izvora.

Ipak, indeks izloženosti ima i nedostataka. Primjerice, pokazatelj ne govori koliko je opasnost univerzalna, što znači da detektira opasnost samo u odabranom području. Ne razmatra elemente dinamike vožnje poput ubrzanja, potrebe zaustavljanja na pješačkom prijelazu, u smislu križanja ili ulice. Također, ne razmatra uvjete vožnje ili osobne karakteristike vozača, što znači da se neki od tih elemenata mogu testirati u daljnjem razvoju istraživanja.

Iako iRAP metodologija pruža preciznu kvantifikaciju izloženosti, njezina kompleksnost čini sigurnost skupom i ograničenom. Primjena te metodologije na sekundarne i tercijarne gradske prometnice u urbanim sredinama postavlja izazove, s obzirom na to da je prvotno namijenjena za otvoreni izvangradski promet. Lindov i sur. (2012) prilagodili su iRAP metodologiju, ali su se suočili s poteškoćama u dužini segmenata. To upućuje na neprimjenjivost originalne iRAP metodologije na upisno područje OŠ Skalice i sl., a ovim pokazateljem izloženosti taj je problem prevladan. Dakle, prednost ovog indeksa ogleda se u mogućnosti njegove primjene na sekundarnoj i tercijarnoj mreži prometnica. Nadalje, u Z-vrijednost cestovne mreže uračunana je Z-vrijednost *mjere centralnosti*, što supstituira nedostupnost podataka o PGDP-u, pa se stoga ovaj indeks može lako primijeniti na one segmente gdje ne postoji mjerenje količine prometa.

## 7. PRIJEDLOG MJERA ZA UNAPRJEĐENJE SIGURNOSTI

Nastavno na prikazane rezultate analize, kao i raspravu novog pokazatelja izloženosti, postavlja se pitanje kako zaštititi djecu na putu do škole. Za odgovor na to pitanje mora se uzeti u obzir prostorni kontekst upisnog područja OŠ Skalice (većinom uske ulice, zasićenost prostora, nereguliran promet u mirovanju) na koji se nadograđuju dokazano učinkovite mjere.

Prema istraživanju (Dumbaugh & Frank, 2007) u kojem je analizirana učinkovitost triju skupina mjera,<sup>6</sup> najveći učinak na smanjenje prometnih nesreća ima izgradnja pločnika. Korištenje usporivača prometa smanjuje brzinu vozila te, prema logičkom silogizmu, povećava sigurnost pješaka.

U programu *Safe Routes to School* (USDOT, 2024), intervencije su se sastojale od poboljšanja pločnika (19%), smirivanja prometa (14%), olakšavanja pristupa pješacima i biciklistima (14%) i obrazovanja (14%). Kao posljedica toga, istraživanje je pokazalo pad broja prometnih nesreća u kojima su sudjelovali pješaci za 14,4%, dok je poseban pad (38,2%) uočen u dobnoj skupini djece od 5 do 19 godina (DiMaggio & Li, 2013).

Švedska inicijativa *Vision Zero*, koja teži eliminaciji smrtnih slučajeva i ozbiljnih ozljeda u prometu, od uvođenja 1997. postigla je golem uspjeh. Od mjera usmjerenih na sigurnost pješaka ističe se izgradnja biciklističkih i pješačkih staza te ograničavanje maksimalne brzine vozila na 30 km/h kad god pješaci dijele prostor s vozilima (Kim i ostali, 2017).

Kada se uzme u obzir da djeca nesigurno prelaze cestu (Li i ostali, 2013; Rosenbloom i ostali, 2008), kada se uvažavaju rezultati analize koji upućuju na to da je nesigurnost najsnažnije uvjetovana Z-vrijednosti izloženosti ceste, kada se uzmu u obzir istraživanja koja upućuju na brzinu kao problem (Elvik, 2005; Elvik i ostali, 2019; Martinelli i ostali, 2022), jasno je da

---

<sup>6</sup> Inženjerstvo (engl. *engineering*), kontrola i kažnjavanje (engl. *enforcement*) i obrazovanje (engl. *education*) – 3E.

ulaganje u infrastrukturu mora biti usmjereno na ovladavanje problema brzine, ali i vidljivosti pješaka u prometu (Rifaat i ostali, 2011).

U tom kontekstu posebno je zanimljivo istraživanje koje su proveli Antić i sur. (2013). Najveće smanjenje brzine zabilježeno je na lokaciji s uspornikom visine 7 cm, smanjivši prosječnu brzinu ispod 30 km/h, što predstavlja smanjenje od otprilike 35%. Garunović i sur. (2020) zabilježili su smanjenje brzine od 50% nakon izgradnje uzdignutih pješačkih prijelaza. Takva znatna redukcija dokazuje da je postavljanje uspornika preporučljivo na mjestima gdje su djeca izložena prometu.

Mnoga istraživanja pokazuju smanjenje broja incidenata nakon postavljanja uspornika prometa (Arbogast i ostali, 2018). Uspornici imaju očekivan faktor smanjenja sudara<sup>7</sup> od 50, što znači smanjenje sudara s pješacima za 50% (Ragland i ostali, 2014). Pješačke staze imaju CRF 74, a semafori CRF 38. Novija kanadska studija analizirala je 404 prometnice s ležećim policajcima tijekom razdoblja od 11 godina i utvrdila opće smanjenje sudara s pješacima za 22%, a s djecom 44% (Rothman i ostali, 2015). Slično tome, južnoafrička studija iz 2013. uvela je ležeće policajce u blizini 34 škole u dvije gradske općine i zabilježila povećanje sigurnosti pješaka za 23% (Nadesan-Reddy & Knight, 2013).

Prema navedenome, preporuka je da se na opisnom području OŠ Skalice provedu mjere kao što su smirivanje prometa ugradnjom uzvišenih izbočina ili uzdignutih pješačkih prijelaza, postavljanje ograde kojom bi se onemogućilo parkiranje vozila i osigurala preglednost pješačkih prijelaza te osigurale jasno vidljive horizontalna (H65 i H78) i vertikalna signalizacija.

## 8. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja znatan iskorak u smjeru poboljšanja sigurnosti djece u prometu na temelju identifikacije i analize opasnih lokacija. Uvođenjem novog predloženog indeksa izloženosti, Z-vrijednosti, omogućeno je preciznije uočavanje problema u interakciji pješačke i cestovne mreže. Ta nova metodologija dopunjuje postojeće pristupe utemeljene na povijesnim podacima o nesrećama, pružajući dublji uvid u specifične rizike s kojima se pješaci, osobito djeca, suočavaju. Izračun indeksa izloženosti omogućuje identifikaciju kritičnih točaka koje zahtijevaju intervenciju, što omogućuje ciljanu prevenciju i osiguranje sigurnijih ruta za djecu. Time rad ne samo da pridonosi teorijskoj osnovi, nego i pruža praktične smjernice za buduća ulaganja u infrastrukturu i planiranje intervencija, otvarajući put prema sigurnijem prometnom okruženju.

Mnoga istraživanja upućuju na osobni rizik sudjelovanja u prometnoj nesreći, dok se ovim istraživanjem stavlja fokus na prostorni rizik. Predložena metoda je ekonomična, posebno u usporedbi s metodama brojenja pješaka ili iRAP metodom.

Na kraju je važno istaknuti da ulaganje u zaštitu djece u prometu nije proporcionalno s gubicima koji proizlaze iz nesreća. To upućuje na potrebu za većim fokusom na prevenciju i zaštitu djece u prometu te za dodatnim investicijama u infrastrukturu kako bi se smanjili rizici i posljedice. Ulaganje u sigurnost djece u prometu i moralni je prioritet, što dugoročno donosi znatne koristi za društvo u cjelini, smanjujući financijske troškove i, što je još važnije, zaštitivši najranjivije sudionike u prometu.

<sup>7</sup> Engl. *Crash Reduction Factor* – CRF.

## LITERATURA

1. Abdel-Aty, M., Chundi, S. S., & Lee, C. (2007). Geo-spatial and log-linear analysis of pedestrian and bicyclist crashes involving school-aged children. *Journal of Safety Research*, 38(5), 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.04.006>
2. Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., & Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience. *Safety Science*, 57, 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.03.008>
3. Arbogast, H., Patao, M., Demeter, N., Bachman, S., Devietti, E., Upperman, J. S., & Burke, R. V. (2018). The effectiveness of installing a speed hump in reducing motor vehicle accidents involving pedestrians under the age of 21. *Journal of Transport & Health*, 8, 30–34. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.11.004>
4. Cioca, L.-I., & Ivascu, L. (2017). Risk Indicators and Road Accident Analysis for the Period 2012–2016. *Sustainability*, 9(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su9091530>
5. Crucitti, P., Latora, V., & Porta, S. (2006). Centrality in networks of urban streets. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 16(1), 015113. <https://doi.org/10.1063/1.2150162>
6. Demšar, U., Špatenkova, O., & Virrantaus, K. (2008). Identifying Critical Locations in a Spatial Network with Graph Theory. *Transactions in GIS*, 12(1), 61–82. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2008.01086.x>
7. DGU, D. geodetska uprava. (2024a, travanj 2). *Geoportal DGU*. <https://geoportal.dgu.hr/>
8. DGU, D. geodetska uprava. (2024b, travanj 5). *Registri NIPP-a*. <https://registri.nipp.hr/>
9. DGU, D. geodetska uprava. (2024c, travanj 5). *Zajednički informacijski sustav zemljišnih knjiga i katastra—Javna aplikacija*. <https://oss.uredjenazemlja.hr/map>
10. DiMaggio, C., & Li, G. (2013). Effectiveness of a Safe Routes to School Program in Preventing School-Aged Pedestrian Injury. *Pediatrics*, 131(2), 290–296. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-2182>
11. Dumbaugh, E., & Frank, L. (2007). Traffic Safety and Safe Routes to Schools: Synthesizing the Empirical Evidence. *Transportation Research Record*, 2009(1), 89–97. <https://doi.org/10.3141/2009-12>
12. DZS. (2021). *Popis stanovništva, kućanstava i stanova u Republici Hrvatskoj 2021*. <https://dzs.gov.hr/u-fokusu/popis-2021/88>
13. Ellis, G., Hunter, R., Tully, M. A., Donnelly, M., Kelleher, L., & Kee, F. (2016). Connectivity and physical activity: Using footpath networks to measure the walkability of built environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(1), 130–151. <https://doi.org/10.1177/0265813515610672>
14. Elvik, R. (2005). Speed and Road Safety: Synthesis of Evidence from Evaluation Studies. *Transportation Research Record*, 1908(1), 59–69. <https://doi.org/10.1177/0361198105190800108>
15. Elvik, R., Vaa, T., Høy, A., & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures: Second Edition*. Emerald Group Publishing.
16. 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. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.11.014>
17. Ferencak, N. N., & Marshall, W. E. (2017). Redefining the child pedestrian safety paradigm: Identifying high fatality concentrations in urban areas. *Injury Prevention*, 23(6), 364–369. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2016-042115>
18. Fonseca, F., Fernandes, E., & Ramos, R. (2022). Walkable Cities: Using the Smart Pedestrian Net Method for Evaluating a Pedestrian Network in Guimarães, Portugal. *Sustainability*, 14(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/su141610306>

19. Fonseca, F., Ribeiro, P. J. G., Conticelli, E., Jabbari, M., Papageorgiou, G., Tondelli, S., & Ramos, R. A. R. (2022). Built environment attributes and their influence on walkability. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(7), 660–679. <https://doi.org/10.1080/15568318.2021.1914793>
20. Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., & Hess, P. M. (2010). The development of a walkability index: Application to the Neighborhood Quality of Life Study. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 924–933. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.058701>
21. Gallimore, J. M., Brown, B. B., & Werner, C. M. (2011). Walking routes to school in new urban and suburban neighborhoods: An environmental walkability analysis of blocks and routes. *Journal of Environmental Psychology*, 31(2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.01.001>
22. Garunović, N., Bogdanović, V., Mitrović Simić, J., Kalamanda, G., & Ivanović, B. (2020). Utjecaj gradnje uzdignutih pješačkih prijelaza na uvjete prometovanja gradskim prometnicama. *Građevinar*, 72(08.), 681–691. <https://doi.org/10.14256/JCE.2705.2019>
23. Generalni urbanistički plan Splita, Pub. L. No. 55, L (II) (2014).
24. GoogleMaps. (2024, travanj 2). *Google Maps*. Google Maps. <https://www.google.com/maps>
25. Grad Split. (2017). *Studija održivoga razvitka u GK Lovret—Split*.
26. Green, L. (2024, siječanj 8). *The Z-score*. LibreTexts. [https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Probability\\_Theory/Supplemental\\_Modules\\_\(Probability\)/The\\_Z-score](https://stats.libretexts.org/Bookshelves/Probability_Theory/Supplemental_Modules_(Probability)/The_Z-score)
27. Greene-Roesel, R., Diogenes, M. C., & Ragland, D. R. (2007). *Estimating Pedestrian Accident Exposure: Protocol Report*. <https://escholarship.org/uc/item/8j8685jt>
28. IGH d.d. (2010). *Prostorno prometna studija šireg područja grada Splita: Promet u mirovanju*. Institut Građevinarstva Hrvatske d.d.
29. iRAP. (2009). *Star rating roads for safety: The iRAP methodology*. <https://irap.org/methodology>
30. Jamali, A., & Wang, Y. (2017). Estimating Pedestrian Exposure for Small Urban and Rural Areas. *Transportation Research Record*, 2661(1), 84–94. <https://doi.org/10.3141/2661-10>
31. Jiang, B. (2009a). Ranking spaces for predicting human movement in an urban environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(7), 823–837. <https://doi.org/10.1080/13658810802022822>
32. Jiang, B. (2009b). Street hierarchies: A minority of streets account for a majority of traffic flow. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(8), 1033–1048. <https://doi.org/10.1080/13658810802004648>
33. Jiang, B., & Liu, C. (2009). Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(9), 1119–1137. <https://doi.org/10.1080/13658810701690448>
34. Kaniški, G. (2020). *Mapiranje sigurnih trasa do školskih/predškolskih objekata u svrhu povećavanja sigurnosti djece u prometu* [Info:eu-repo/semantics/masterThesis, University North]. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:684966>
35. Karlo, R., Škarica, R., Bukvić, N., & Zekanović, D. (2011). Ozljede djece u prometnim nezgodama. *Medica Jadertina*, 41(3–4), 143–146.
36. Kim, E., Muennig, P., & Rosen, Z. (2017). Vision zero: A toolkit for road safety in the modern era. *Injury Epidemiology*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40621-016-0098-z>
37. Lam, W. W. Y., Yao, S., & Loo, B. P. Y. (2014). Pedestrian exposure measures: A time-space framework. *Travel Behaviour and Society*, 1(1), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2013.10.004>

38. Li, P., Bian, Y., Rong, J., Zhao, L., & Shu, S. (2013). Pedestrian Crossing Behavior at Unsignalized Mid-block Crosswalks Around the Primary School. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.052>
39. Lindov, O., Zolj, A., & Alikadić, A. (2012). Possibilities of Road Safety Assessment using EuroRaP Methodology on the Road Network in Urban Areas. *Suvremeni Promet - Modern Traffic*, 32(3–4), 207–210.
40. Liu, Y., Wei, X., Jiao, L., & Wang, H. (2016). Relationships between Street Centrality and Land Use Intensity in Wuhan, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(1), 05015001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000274](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000274)
41. Macdonald, L., McCrorie, P., Nicholls, N., & Ellaway, A. (2016). Walkability around primary schools and area deprivation across Scotland. *BMC Public Health*, 16(1), 328. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2994-0>
42. Manzolli, J. A., Oliveira, A., & Neto, M. de C. (2021). Evaluating Walkability through a Multi-Criteria Decision Analysis Approach: A Lisbon Case Study. *Sustainability*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su13031450>
43. Martinelli, V., Ventura, R., Bonera, M., Barabino, B., & Maternini, G. (2022). Effects of urban road environment on vehicular speed. Evidence from Brescia (Italy). *Transportation Research Procedia*, 60, 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.076>
44. Medved, J., & Orlović, A. (2017). Sigurnost cestovnog prometa – prikupljanje i analiza podataka u svrhu predikcije i prevencije prometnih nesreća. *Policija i sigurnost*, 26(4/2017), 302–319.
45. Moore, D. S., McCabe, G. P., & Craig, B. A. (2014). *Introduction to the Practice of Statistics*. W. H. Freeman.
46. MPPI. (2016). *Smjernice za razvrstavanje cestovne mreže s obzirom na sigurnost*. [https://mmpi.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/3\\_NSM%20smjernica%203-fina%2030-3%20UCZPI%202-5\\_161.pdf](https://mmpi.gov.hr/UserDocsImages/arhiva/3_NSM%20smjernica%203-fina%2030-3%20UCZPI%202-5_161.pdf)
47. MUP RH. (2023). *Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2022*. (XLIX). MUP RH. [https://mup.gov.hr/UserDocsImages/statistika/2023/8/Bilten\\_o\\_sigurnosti\\_cestovnog\\_prometa\\_2022.pdf](https://mup.gov.hr/UserDocsImages/statistika/2023/8/Bilten_o_sigurnosti_cestovnog_prometa_2022.pdf)
48. Nadesan-Reddy, N., & Knight, S. (2013). The effect of traffic calming on pedestrian injuries and motor vehicle collisions in two areas of the eThekweni Municipality: A before-and-after study. *South African Medical Journal*, 103(9), Article 9.
49. Newbold, P., Carlson, W. L., & Thorne, B. (2019). *Statistics for Business and Economics, Global Edition*. Pearson Education.
50. OSM. (2024, travanj 2). *OpenStreetMap*. <https://www.openstreetmap.org>
51. OT. (2024, travanj 2). *Overpass Turbo*. <https://overpass-turbo.eu/>
52. Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006). The Network Analysis of Urban Streets: A Primal Approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33(5), 705–725. <https://doi.org/10.1068/b32045>
53. Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2008). Multiple centrality assessment in Parma: A network analysis of paths and open spaces. *URBAN DESIGN International*, 13(1), 41–50. <https://doi.org/10.1057/udi.2008.1>
54. Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (2019). <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=40421>
55. Qin, X., & Ivan, J. N. (2001). Estimating Pedestrian Exposure Prediction Model in Rural Areas. *Transportation Research Record*, 1773(1), 89–96. <https://doi.org/10.3141/1773-11>
56. Ragland, D. R., Pande, S., Bigham, J., & Cooper, J. F. (2014). Examining Long-Term Impact of California Safe Routes to School Program: Ten Years Later. *Transportation Research Record*, 2464(1), 86–92. <https://doi.org/10.3141/2464-11>

57. Rifaat, S. M., Tay, R., & de Barros, A. (2011). Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users. *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.024>
58. Rosenbloom, T., Ben-Eliyahu, A., & Nemrodov, D. (2008). Children's crossing behavior with an accompanying adult. *Safety Science*, 46(8), 1248–1254. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.07.004>
59. Rothman, L., Macarthur, C., To, T., Buliung, R., & Howard, A. (2014). Motor Vehicle-Pedestrian Collisions and Walking to School: The Role of the Built Environment. *Pediatrics*, 133(5), 776–784. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-2317>
60. Rothman, L., Macpherson, A., Buliung, R., Macarthur, C., To, T., Larsen, K., & Howard, A. (2015). Installation of speed humps and pedestrian-motor vehicle collisions in Toronto, Canada: A quasi-experimental study. *BMC Public Health*, 15(1), 774. <https://doi.org/10.1186/s12889-015-2116-4>
61. STP. (2024, travanj 2). *Mapa Splita—Karta Splita | Croatia-ST portal*. <https://mapa.grad-split.com/>
62. Šarić, Ž., Goran, Z., Andrej, K., & Tomislav, K. (2016). *Metodologija za identifikaciju opasnih mjesta u cestovnoj prometnoj mreži*. Hrvatske ceste d.o.o. <https://hrvatske-cesteceste.hr/hr/stranice/promet-i-sigurnost/dokumenti/69-metodologija-za-identifikaciju-opasnih-mjesta-u-cestovnoj-prometnoj-mrezi>
63. Šimunović, L., Brčić, D., Slavulj, M., Čosić, M., Rupčić, D., Mikuš, L., Šojat, D., Jurak, J., Radulović, B., Dijanić, D., & Šimičić, M. (2018). *Sigurnost djece pješaka u zonama osnovnih škola*. Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti. [https://www.fpz.unizg.hr/zgp/wp-content/uploads/2018/05/Publikacija\\_FPZ\\_NPSCP\\_2011-2020\\_Sigurnost\\_djece\\_pjesaka\\_u\\_zonama\\_osnovnih\\_skola-Zagreb\\_2018.pdf](https://www.fpz.unizg.hr/zgp/wp-content/uploads/2018/05/Publikacija_FPZ_NPSCP_2011-2020_Sigurnost_djece_pjesaka_u_zonama_osnovnih_skola-Zagreb_2018.pdf)
64. Šurdonja, S., Otković, I. I., Deluka-Tibljaš, A., & Campisi, T. (2023). Simplified model of children-pedestrian crossing speed at signalized crosswalks. *Transportation Research Procedia*, 69, 560–567. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.208>
65. Triola, M. F. (2011). *Essentials of Statistics*. Pearson Education.
66. Tsiompras, A. B., & Photis, Y. N. (2017). What matters when it comes to „Walk and the city“? Defining a weighted GIS-based walkability index. *Transportation Research Procedia*, 24, 523–530. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.06.001>
67. Turner, S., Sener, I., Martin, M., Das, S., Shipp, E., Hampshire, R., Fitzpatrick, K., Molnar, L., Wijesundera, R., Colety, M., & Robinson, S. (2017). *Synthesis of Methods for Estimating Pedestrian and Bicyclist Exposure to Risk at Areawide Levels and on Specific Transportation Facilities* (FHWA-SA-17-041). Article FHWA-SA-17-041. <https://trid.trb.org/View/1512093>
68. USDOT. (2024). *Safe Routes to School Programs*. <https://www.transportation.gov/mission/health/Safe-Routes-to-School-Programs>
69. Wang, H., & Yang, Y. (2019). Neighbourhood walkability: A review and bibliometric analysis. *Cities*, 93, 43–61. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.04.015>
70. Wu, X., Cao, W., Wang, J., Zhang, Y., Yang, W., & Liu, Y. (2022). A spatial interaction incorporated betweenness centrality measure. *PLOS ONE*, 17(5), e0268203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268203>
71. Yakar, F. (2015). Identification of Accident-Prone Road Sections by Using Relative Frequency Method. *Promet - Traffic & Transportation*, 27(6), Article 6. <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i6.1609>
72. Yannis, G., Weijermars, W., Gitelman, V., Vis, M., Chaziris, A., Papadimitriou, E., & Azevedo, C. L. (2013). Road safety performance indicators for the interurban road network. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 384–395. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.11.012>

73. Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Pub. L. No. NN 67/08., 48/10., 74/11., 80/13., 158/13., 92/14., 64/15., 108/17., 70/19., 42/20., 85/22., 114/22., 133/23., (2023).  
<https://www.zakon.hr/z/78/Zakon-o-sigurnosti-prometa-na-cestama>
74. Zhao, S., Zhao, P., & Cui, Y. (2017). A network centrality measure framework for analyzing urban traffic flow: A case study of Wuhan, China. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 478, 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.02.069>

---

## Abstract

---

**Josip Grgić\***, **Ivana Grgić\*\***, **Nikola Uremović\*\*\***

### **Exposure Analysis of Pedestrian Routes from Home to School for Children: The Catchment Area of the Skalice Elementary School in Split**

Road traffic is the backbone of mobility and, therefore, a key element in the development of modern society. However, it also carries significant risks of human tragedies. Traffic accidents are the leading cause of mortality among young people, with children being particularly vulnerable. Studies indicate that intersections, and pedestrian crossings, especially those near schools and parks, are hazardous locations for children moving independently in traffic. This emphasises the need to identify and classify dangerous areas.

This paper starts with the exposure concept and proposes a new index and a more comprehensive way of measuring exposure. The index covers exposure on the road network, which is determined by the number of lanes, road surface, traffic direction, accident fatality, and betweenness centrality of road segments. It also measures exposure on the pedestrian network, where exposure is determined by detachment from the road network, illumination, and sidewalk parking. Additionally, it measures exposure due to the technical features of pedestrian crossings based on indicators from the Traffic Signs, Signals, and Road Equipment Regulations, as well as exposure based on routes and the number of children using them.

The index is measured using Z-scores, and after analysis, an overview of how the exposure index fits into the theoretical framework is provided, along with a review of its integration and enhancement within existing exposure measurements. Finally, recommendations are given for reducing exposure and improving children's safety in traffic, taking into account the location of the study.

**Keywords:** children in traffic, traffic exposure measures, road network, pedestrian network, pedestrian crossings, GIS, shortest route analysis, Z-score (Z-value).

---

\* Josip Grgić, PG Spec. Econ., Advisor for Scientific Research Support at the University of Split, Faculty of Economics, Business and Tourism, Croatia.

\*\* Ivana Grgić, MSc Mathematics and Informatics, University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia.

\*\*\* Nikola Uremović, MSc Forensics, Ministry of the Interior, Split-Dalmatia Police Administration, Croatia.