

Prostorna analiza razine prometnog stresa za bicikliste na odabranim prometnicama u Gradu Rijeci

Šoić, Ines

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:770926>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Ines Šoić

**Prostorna analiza razine prometnog stresa za bicikliste na
odabranim prometnicama u Gradu Rijeci**

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij
Urbano inženjerstvo
GIS u planiranju komunalne infrastrukture**

**Ines Šoić
JMBAG: 0114026310**

**Prostorna analiza razine prometnog stresa za bicikliste na
odabranim prometnicama u Gradu Rijeci**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2021.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Prometnice

Tema diplomskog rada

**PROSTORNA ANALIZA RAZINE PROMETNOG STRESA ZA BICIKLISTE NA ODABRANIM
PROMETNICAMA U GRADU RIJECI**

**SPATIAL ANALYSIS OF THE LEVEL OF TRAFFIC STRESS ON SELECTED ROADS IN THE CITY OF
RIJEKA**

Kandidatkinja: **INES ŠOIĆ**

Kolegij: **GIS U PLANIRANJU KOMUNALNE INFRASTRUKTURE**

Diplomski rad broj: **UI-2021-15**

Zadatak:

Zadatak diplomskog rada je odrediti razinu prometnog stresa na odabranim prometnicama u Gradu Rijeci, integracijom geografskog informacijskog sustava (GIS) i višekriterijske analize. U tu je svrhu potrebno prikupiti prostorne i atributne podatke o odabranim dionicama, primijeniti Furtovu metodu za određivanje razine prometnog stresa te odabrati dodatne kriterije koji utječu na razinu stresa biciklista i primijeniti analitički hijerarhijski proces (AHP) u GIS okruženju kako bi se odredila konačna razina prometnog stresa za bicikliste. Rad treba sadržavati:

- Općenito o biciklističkom prometu i biciklističkoj infrastrukturi,
- Metodološki pristup rješavanju problema,
- Teoretske osnove o GIS-u i AHP metodi,
- Opis pripreme podataka,
- Rezultati i diskusija,
- Zaključak.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentorica:

doc. dr. sc. Bojana Horvat,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Ines Šoić

U Rijeci, 2. rujna 2021.

Zahvala

Posebno zahvaljujem svojoj mentorici, dr. sc. Bojani Horvat na odličnom vođenju, strpljenju, pomoći i znanju koje je prenijela pri izradi ovog rada, ali i tijekom kolegija. Zahvaljujem profesorici dr. sc. Aleksandri Deluki – Tibljaš na ustupljenim podacima potrebnima za rad. Također, zahvaljujem se svim profesorima na uloženom trudu i znanju na studiju.

Sažetak

Gradovi nastoje potaknuti učestaliju uporabu bicikala kao prijevoznog sredstva, a za to su potrebne sigurne prometnice koje će biti biciklistima ugodne za vožnju. Pogodnost prometnica vožnji bicikla može se odrediti prema razini prometnog stresa (LTS) za bicikliste. U ovom radu je, pristupom koji integrira geografski informacijski sustav (GIS) i višekriterijsku analizu, procijenjena razina prometnog stresa (LTS) biciklista na odabranim prometnicama u Gradu Rijeci. U tu su svrhu, korištenjem QGIS softvera, primijenjene Furthova metoda te višekriterijska analiza odnosno metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Furthovom metodom je, na temelju prikupljenih podataka o broju prometnih trakova te dozvoljenoj brzini kretanja motornih vozila, određena razina prometnog stresa za slučaj mješovitog prometa. Međutim, nagib i širina prometnice kao i dozvoljeni smjer kretanja motornih vozila na prometnici (jednosmjerna ili dvosmjerna prometnica) također mogu utjecati na razinu prometnog stresa kod biciklista. Stoga je za vrednovanje tih kriterija primijenjena AHP metoda. S obzirom na važnost, klasificiraju se i međusobno uspoređuju kriteriji: LTS prema Furthovoj metodi, uzdužni nagib prometnice, smjer kretanja vozila i širina prometnice. Dobiveni rezultati prikazani su na prostornoj domeni u formi karte koja prikazuje razinu prometnog stresa svake analizirane dionice. Rezultati se na pojedinim dionicama razlikuju od rezultata Furthove metode. Razlog tome je uzimanje u obzir više čimbenika u određivanju LTS vrijednosti, ovisno o intenzitetu njihovog utjecaja.

Ključne riječi: GIS, višekriterijska analiza, AHP metoda, razina prometnog stresa (LTS), Furthova metoda

Abstract

Cities are striving to encourage frequent use of bicycles as means of transport. This requires safe roads that will be comfortable for cyclists to ride. The roads suitability for cycling can be determined by the level of traffic stress (LTS) for cyclists. In this thesis LTS values were estimated for the selected roads in the City of Rijeka, using an approach that integrates geographic information system (GIS) and Multicriteria Decision Analysis. In that respect, Furth method and multicriteria decision analysis i.e., Analytic Hierarchy Process (AHP) method were applied within the framework of QGIS software. Using the data on the number of traffic lanes and the speed limit data for the selected roads, the LTS is determined for the case of the mixed traffic, using the Furth method. However, longitudinal slope and width of the roads as well as the vehicle direction (one-way or two-way road) can also have an impact on the level of traffic stress. To evaluate those criteria, AHP method was used. Depending on their importance, following criteria were classified and compared: Furth method based LTS, longitudinal slope, vehicle direction and the road width. Results are visualized in form of a map showing the level of traffic stress for each road section. The obtained results differ from the Furth method results. It can be attributed to the number of criteria considered in estimating LTS values and the intensity of their influence.

Keywords: GIS, Multicriteria Decision Analysis, AHP method, level of traffic stress (LTS), Furth method

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. BIKIKLISTIČKI PROMET.....	2
2.1 Povijesni razvoj biciklističkog prometa.....	2
2.2 Biciklistički promet u gradovima.....	2
3. BIKIKLISTIČKA INFRASTRUKTURA	6
3.1 Hrvatska regulativa za projektiranje, izvođenje i održavanje biciklističke infrastrukture	6
3.2 Pravilnik o biciklističkoj infrastrukturi.....	6
3.2.1 Biciklističke ceste	7
3.2.2 Biciklistički put.....	8
3.2.3 Biciklistička staza	8
3.2.4 Biciklistička traka	10
3.2.5 Biciklističko-pješačka staza	11
3.2.6 Cesta za mješoviti promet.....	12
4. METODOLOŠKI PRISTUP OCJENI RAZINE PROMETNOG STRESA NA POSTOJEĆIM PROMETNICAMA.....	13
5. TEORETSKA OSNOVA.....	14
5.1 GIS i prostorna analiza.....	14
5.2 GIS softver.....	16
5.2.1 QGIS – GIS softver otvorenog koda.....	16
5.3 Mrežna analiza u GIS okruženju.....	18
5.4 Furthova metoda	23
5.4.1 Razine prometnog stresa (LTS)	24
5.4.2 Kriteriji za ocjenu razine prometnog stresa	26
5.4.3 Terenske staze (off road) i fizički odvojene trake	26
5.4.4 Ceste s biciklističkim stazama	27

5.4.5 Mješoviti promet.....	29
5.5 Višekriterijska analiza.....	30
5.5.1 AHP metoda.....	32
5.5.2 Matematička formulacija AHP metode	35
5.5.3 Težinski koeficijenti.....	35
5.6 GIS i AHP	36
6. ANALIZIRANO PODRUČJE I PODACI.....	37
6.1 Analizirano područje.....	37
6.2 Podaci i priprema podataka.....	37
7. REZULTATI I DISKUSIJA	44
7.1 AHP metoda.....	48
7.2. Analiza razine prometnog stresa na najkraćem putu	54
8. ZAKLJUČAK	57
LITERATURA	58

Popis tablica

Tablica 1: Razine prometnog stresa [21,23]

Tablica 2: Kriteriji Furthove metode za biciklističke staze uz parkirnu traku [24]

Tablica 3: Kriteriji Furthove metode za biciklističke staze bez parkirne trake uz ulicu [24]

Tablica 4: Razina prometnog stresa u mješovitom prometu [24]

Tablica 5: Razina prometnog stresa ulica za mješoviti promet prema Furth metodi [24]

Tablica 6: Saatyjeva skala vrednovanja [31]

Tablica 7: Slučajni indeks konzistencije [33]

Tablica 8: Razina prometnog stresa ulica za mješoviti promet prema Furthovoj metodi [24]

Tablica 9: Klase razine prometnog stresa po kriterijima

Popis slika

- Slika 1: Lokacije u Gradu Rijeci na kojima je moguće iznajmiti e-bicikl [5]
- Slika 2: Dostava na biciklu [6]
- Slika 3: Primjer teretnog bicikla [3]
- Slika 4: Biciklistička cesta [10]
- Slika 5: Dimenzije biciklističke ceste [10]
- Slika 6: Biciklistički put u Istri [11]
- Slika 7: Vrste biciklističkih staza [10]
- Slika 8: Dimenzije jednosmjerne biciklističke staze u naselju [10]
- Slika 9: Dimenzije dvosmjerne biciklističke staze u naselju [10]
- Slika 10: Zaštitni pojas biciklističke staze uz trak za uzdužno parkiranje [10]
- Slika 11: Biciklistička traka [10]
- Slika 12: Širina zaštitnog pojasa biciklističke trake uz stalne zapreke [10]
- Slika 13: Širina zaštitnog pojasa biciklističke trake uz trak za uzdužno parkiranje [10]
- Slika 14: Biciklističko – pješačka staza [10]
- Slika 15: Tematski slojevi pri izradi GIS-a [13]
- Slika 16: Grafičko sučelje programa QGIS
- Slika 17: Planarna (lijevo) i neplanarna mreža (desno) (prilagođeno iz [19])
- Slika 18: Optimalan put [20]
- Slika 19: Uređeno pronalaženje optimalnog puta [20]
- Slika 20: Odabir najbolje lokacije za izgradnju objekta [20]
- Slika 21: Pripadnost dijelova mreže pojedinoj ishodišnoj lokaciji [20]
- Slika 22: Terenske staze [23]
- Slika 23: Biciklističke staze fizički odvojene od motornog prometa [23]
- Slika 24: Biciklistička staza [27]
- Slika 25: Komponente višekriterijske analize [31]
- Slika 26: Shematski prikaz elemenata hijerarhijskog modela [31]
- Slika 27: Granica analiziranog područja (u podlozi Open Street Map)
- Slika 28: a) podaci u AutoCad-u, b) podaci prebačeni u QGIS
- Slika 29: Karta prometnica na podlozi DOF-a
- Slika 30: Karta vrhova i slojnica na podlozi HOK-a
- Slika 31: Analizirane prometnice: a) prostorni prikaz; b) dio atributne tablice (QGIS)

Slika 32: Interpolacija TIN (Triangulated Irregular Network) metodom u QGIS-u

Slika 33: Nadmorske visine (vrhovi i izohipse) na analiziranom području

Slika 34: Interpolirani DEM

Slika 35: Dio atributne tablice podatkovnog sloja prometnice.shp

Slika 36: Klasifikacija prometnica s obzirom na LTS vrijednost

Slika 37: Ulazni podaci alata *Drape (set Z value from raster)* u QGIS-u: ulazni linijski sloj Prometnice i DEM rasterski sloj (Tin_ Interpolation)

Slika 38: Dio atributne tablice linijskog sloja prometnice.shp

Slika 39: Primjer dijela atributne tablica s četiri nova atributa

Slika 40: AHP kalkulator prioriteta [35]

Slika 41: Prioriteti odnosno težinski koeficijenti [35]

Slika 42: Dio atributne tablice sloja prometnice.shp

Slika 43. Modificirana razina prometnog stresa LTS_M

Slika 44: Najkraći put između dvije točke

Slika 45: Atributna tablica sa prikazanim razinama prometnog stresa (LTS_M) svake prometnice najkraćeg puta

1. UVOD

Klimatske promjene i degradacija okoliša egzistencijalna su prijetnja Europi i svijetu. Veliku ulogu u tome ima motorni transport koji korištenjem goriva doprinosi zagađenju zraka, buci te promjenama u krajoliku uslijed građenja infrastrukture. Ovo je globalni problem i potrebno je angažiranje svih sudionika kako bi došlo do promjena, počevši od gradova gdje je najgušći promet. Korištenje bicikla kao svakodnevnog prijevoznog sredstva uvelike doprinosi smanjenju negativnog utjecaja prometa na ekoloških. Osim što ne doprinosi ispuštanju plinova u atmosferu, smanjuje zagađenje bukom, zauzima manje cestovnog i stambenog prostora čime se pruža mogućnost za manje asfaltiranih površina te razvoj zelenila u urbanim područjima.

Cilj ovog rada je procijeniti razinu prometnog stresa na odabranim prometnicama u Gradu Rijeci prema odabranim kriterijima. Metodološki pristup se sastoji od prikupljanja atributnih i prostornih podataka o prometnicama te primjene različitih alata i metoda, primjerice GIS (geografski informacijski sustav), Furthova metoda i AHP metoda (analitički hijerarhijski proces). Očekivani rezultat je karta prometnica s jasno prikazanim razinama prometnog stresa pojedinih dionica.

Struktura rada obuhvaća poglavlja koja sadrže općenite informacije o biciklističkom prometu, povijesnom razvoju i biciklističkom prometu u gradovima te biciklističkoj infrastrukturu i Pravilniku o biciklističkoj infrastrukturi koji definira od čega se ona sve sastoji. Slijedi metodologija rada, teoretski dio u kojem su opisani GIS, Furthova metoda i višekriterijska analiza odnosno AHP metoda. Opisano je analizirano područje i podaci koji su se koristili u radu. Naposljetku su dani rezultati i diskusija te zaključak rada i literatura.

2. BIKIKLISTIČKI PROMET

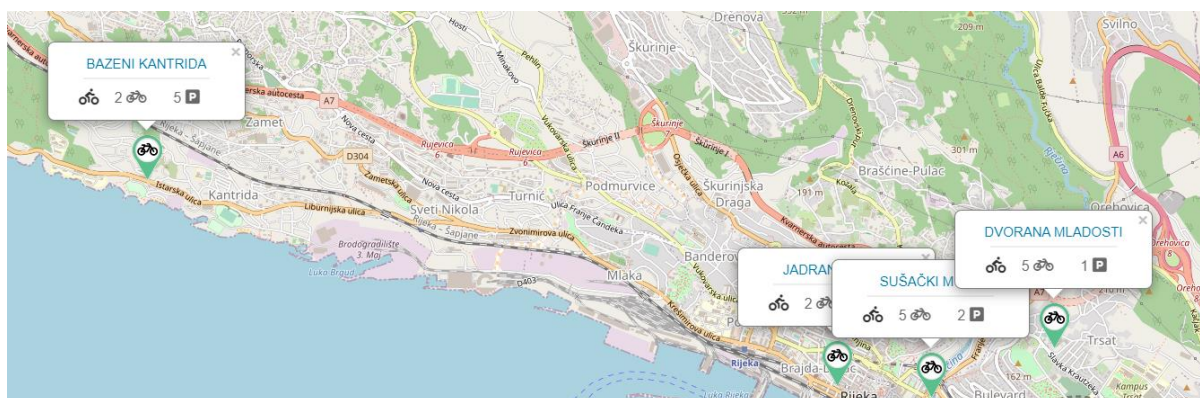
2.1 Povijesni razvoj biciklističkog prometa

Njemački barun Karl von Drais napravio je prvi veliki korak u razvoju biciklizma kada je 1817. godine izradio vozilo na dva kotača kojim se moglo upravljati te ga se smatra ocem bicikla. No, bicikl kakvog danas poznajemo razvio se u 19. stoljeću zahvaljujući radu nekoliko izumitelja. Počevši od 1860-ih, nekolicina francuskih izumitelja, uključujući Pierre Lallement, Pierre Michaux i Ernest Michaux, razvili su prototipe s pedalama pričvršćenim na prednji kotač. To su bili prvi strojevi koji su se zvali "bicikli", ali su zbog svoje grube vožnje bili poznati i kao „lomitelji kostiju“. U nadi da će dodati stabilnost, izumitelji kao što su Eugène Meyer i James Starley kasnije su predstavili nove modele s predimenzioniranim prednjim kotačem. Ti su strojevi čudnog oblika postali popularni tijekom 1870-ih i 1880-ih te su pomogli u nastanku prvih biciklističkih klubova i natjecateljskih utrka. Počevši od 1884. godine, Englez Thomas Stevens slavno je vozio bicikl visokih kotača na putovanju po cijelom svijetu. No, takvi bicikli su i dalje većinom bili opasni za vožnju do 1885. godine kada je konačno njegov sunarodnjak John Kemp Starley usavršio dizajn „sigurnog bicikla“ koji je imao kotače jednake veličine i lančani pogon. Ubrzo su uslijedili novi razvoji kočnica i guma, uspostavljajući osnovni predložak za ono što će postati moderni bicikl. Zanimanje za strojeve na dva kotača jako je poraslo do 1890-ih, naročito u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama [1].

2.2 Biciklistički promet u gradovima

U gradovima tradicionalno dominira motorni promet što rezultira slabijom kakvoćom zraka, bukom, većim prometnim gužvama i sl. Međutim, sve veći broj biciklista u brojnim europskim gradovima dokazuje da je biciklistički promet ne samo poželjan već i moguć [2]. Stoga su gradske uprave diljem Europe pokrenule inicijative koje uz gradski javni prijevoz preferiraju bicikle kao prijevozno sredstvo. Posljedica takve politike je sve više i biciklističkog prometa, a to je i važan korak prema održivijim i kvalitetnijim uvjetima za život u gradovima. Osim toga, biciklizam poboljšava i zdravlje samog pojedinca [3]. Ne treba smetnuti s uma niti utjecaj pandemije COVID-19 na obrasce kretanja u gradovima u vidu smanjenog broja korisnika javnog prijevoza, smanjenja broja motornih vozila i povećanog broja biciklista na gradskim ulicama [4].

Mnogi uspješni europski gradovi gledaju na bicikljanje kao pružanje konkurentske prednosti nad drugim gradovima u privlačenju novih poslova, turista i zaposlenika te stoga usvajaju vodeće svjetske pristupe poticanju i podršci biciklizmu. U gradovima se često može naići na električne bicikle (e-bicikli). Radi se o biciklima s baterijom i motorom što pomaže biciklistima u prevladavanju duljih dionica. Kao maksimalni domet za bicikliste se obično se smatra 7,5 km, a e-bicikli ga dvostruko povećavaju. To ih čini pogodnima za putovanja unutar i izvan grada. Glavne ciljne skupine za e-bicikle su pojedinci koji putuju na posao, u školu, itd. te starije osobe. Za putnike je to često alternativa automobilu, a za starije osobe je to način da ostanu mobilni. Općenito, e-bicikli su fleksibilniji i brži od automobila ili javnog prijevoza u gradovima [3]. Prednosti e-bicikla prepoznao je i Grad Rijeka, razvivši javni sustav za iznajmljivanje e-bicikala tzv. Ricikleta. Bicikli su opremljeni GPS praćenjem, motorom i baterijom velikog kapaciteta, a dostupni su na četiri lokacije (Slika 1) [5].



Slika 1: Lokacije u Gradu Rijeci na kojima je moguće iznajmiti e-bicikl [5]

U gradovima se sve više koriste bicikli i u dostavi paketa (npr. dostava hrane na Slici 2). Jeftina su alternativa automobilima, a možda i brži način dostave robe u užim gradovima [3]. Takvih primjera ima dosta i u Gradu Rijeci.



Slika 2: Dostava na biciklu [6]

Postoji i druga vrsta bicikala za dostavu, a to je teretni bicikl na kojem jedna ili više osoba voze veći teret. Primjerice, trgovački centar Ikea u Delftu (Nizozemska) iznajmljuje teretne bicikle (Slika 3) kupcima za prijevoz kupljenog namještaja do svojih domova. U prosječnom europskom gradu polovica svih motoriziranih putovanja odnosi se na prijevoz robe koji bi se mogao prebaciti na bicikl ili teretni bicikl [3].



Slika 3: Primjer teretnog bicikla [3]

Uporaba bicikala kao transportnog sredstva donose mnoge prednosti gradovima. Bicikli zauzimaju manje prostora na cesti od automobila, a njihova povećana upotreba smanjuje uobičajene prometne gužve. Također, parkirani bicikli koriste i manje prostora od parkiranih automobila što omogućuje da se dragocjeni gradski prostor koristi učinkovito i za druge

aktivnosti. Biciklisti ne ispuštaju štetne plinove te tako doprinose smanjenju onečišćenja zraka što nije slučaj kod motornih prijevoznih sredstava. Osim toga, nabavna cijena i troškovi korištenja su puno niži od drugih načina prijevoza te su bicikli dostupni širokom krugu građana. Sve to doprinosi zdravijem, sigurnijem i manje onečišćenom gradu koji je ugodniji za život [3].

3. BIKIKLISTIČKA INFRASTRUKTURA

Potrebno je osigurati dobre uvjete kako bi ljudi postali skloniji korištenju bicikla u svakodnevnom prometu. Biciklisti imaju nekoliko standardnih karakteristika (npr. dob, tjelesna spremnost, razlozi putovanja, itd.) pa bi infrastruktura trebala biti prilagođena različitim potrebama korisnika. Ceste i rute trebaju biti udobne, sigurne, izravne i privlačne.

Europska unija prednjači u tom području te se pojavilo nekoliko dobrih praksi, a jedna od njih je CROW Design Manual for Bicycle Traffic. One obično odražavaju stanje u zemlji u kojoj su razvijane te stoga nije uvijek jednostavno usvojiti preporuke u drugim zemljama. Način na koji svaka država članica pruža sigurne i pogodne uvjete može se razlikovati zbog regulativnih i financijskih razlika te običaja [4].

3.1 Hrvatska regulativa za projektiranje, izvođenje i održavanje biciklističke infrastrukture

Prema Zakonu o cestama (NN 84/11) biciklističke staze spadaju u nerazvrstane ceste. U Zakonu o izmjenama i dopunama Zakona o cestama (NN 54/13) definirano je što su biciklistička staza i traka te se donose tehnički provedbeni propisi kojima se uređuje njihovo projektiranje, građenje, rekonstrukcija i održavanje, uključujući i način prometovanja te njihovo označavanje prometnom signalizacijom [7].

U Zakonu o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08) objašnjena su pravila kretanja i upravljanja biciklom, pravila koja osiguravaju sigurnost biciklista u prometu, kazne u slučaju prekršaja, itd [8].

Ministar pomorstva, prometa i infrastrukture u suglasnosti s ministrom nadležnim za graditeljstvo i prostorno uređenje donio je Pravilnik o biciklističkoj infrastrukturi koji stupa na snagu 7. travnja 2016 [9].

3.2 Pravilnik o biciklističkoj infrastrukturi

Pravilnikom o biciklističkoj infrastrukturi propisuju se osnovna načela planiranja te elementi za projektiranje, izgradnju i održavanje biciklističke infrastrukture. Radi lakšeg razumijevanja rada, u nastavku su navedene definicije pojedinih elemenata biciklističke infrastrukture iz Pravilnika.

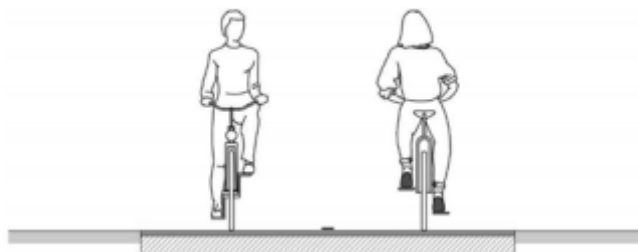
Biciklističku infrastrukturu čine:

1. Biciklističke prometnice (biciklističke ceste, putovi, staze, trake, biciklističko-pješačke staze)
2. Prometna signalizacija i oprema
3. Parkirališta za bicikle i njihova oprema
4. Spremišta za pohranu bicikala
5. Sustavi javnih bicikala

Biciklistički promet može se odvijati i cestom za mješoviti promet [9].

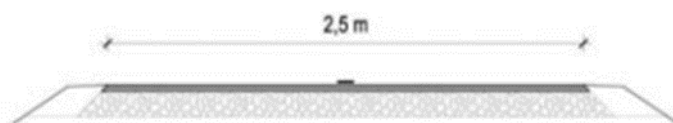
3.2.1 Biciklističke ceste

Biciklistička cesta (Slika 4) nalazi se izvan profila ceste, a namijenjena je prometu bicikala. Dakle, izvodi se kao samostalna prometna površina izvan poprečnog profila ceste za promet motornih vozila. Ima izgrađenu i uređenu kolničku konstrukciju, a završni sloj izvodi se od materijala koji zadovoljavaju kriterije nosivosti i hvatljivosti (asfalta, betona i drugi) [9].



Slika 4: Biciklistička cesta [9]

Namijenjena je dvosmjernom prometu biciklista, a minimalna širina koja osigurava dvosmjerni promet biciklista i pretjecanja iznosi 2,5 m (Slika 5) [9].



Slika 5: Dimenzije biciklističke ceste [9]

3.2.2 Biciklistički put

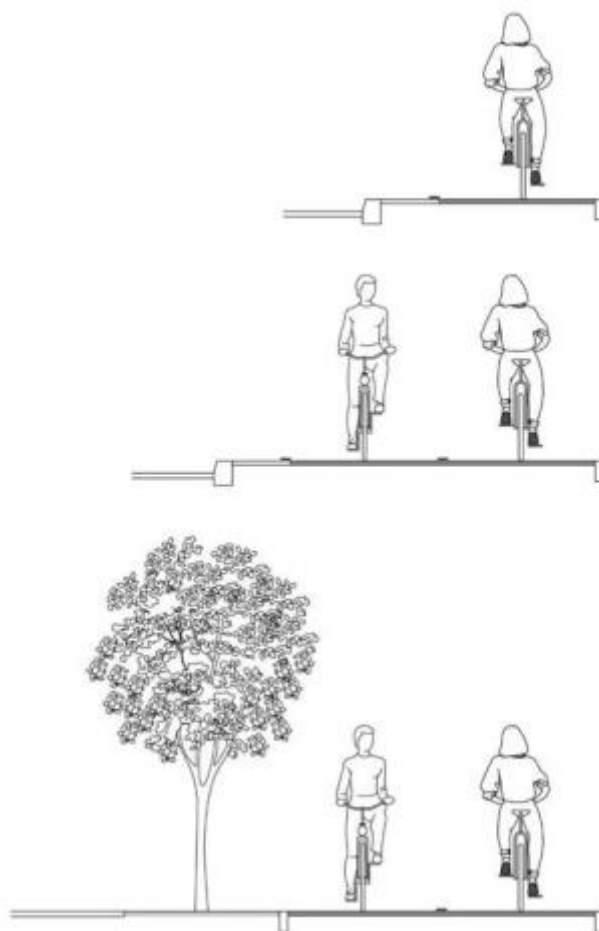
Biciklistički put je prometnica s uređenom površinom izvan profila ceste namijenjena za promet bicikala. Izvodi se od šljunka ili sličnih materijala [9].



Slika 6: Biciklistički put u Istri [10]

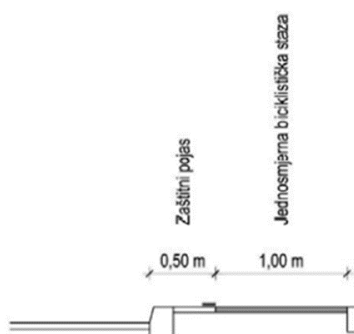
3.2.3 Biciklistička staza

Biciklistička staza (Slika 7) izgrađena je odvojeno od kolnika te je označena odgovarajućom prometnom signalizacijom. Može biti izvedena kao jednosmjerna ili dvosmjerna, s jedne ili obje strane kolnika, visinski ili tlocrtno odvojena od kolnika uz primjerenu širinu zaštitnog pojasa u odnosu na motorni promet [9].

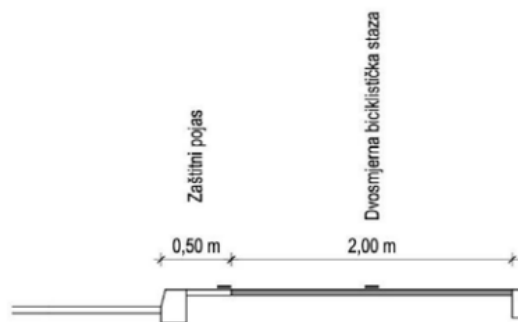


Slika 7: Vrste biciklističkih staza [9]

Jednosmjerna staza mora biti minimalne širine 1 m (Slika 8), a dvosmjerna 2m (Slika 9) [9].

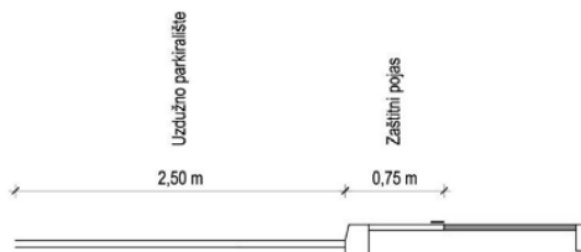


Slika 8: Dimenzije jednosmjerne biciklističke staze u naselju [9]



Slika 9: Dimenzije dvosmjerne biciklističke staze u naselju [9]

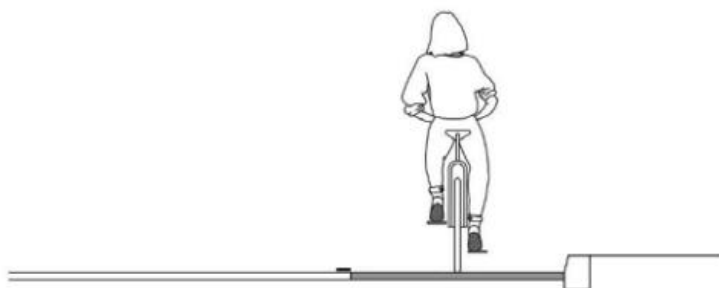
Širina zaštitnog pojasa između prometnog profila biciklističke staze i uzdužno parkiranih vozila iznosi minimalno 0,75 m (Slika 10) [9].



Slika 10: Zaštitni pojas biciklističke staze uz trak za uzdužno parkiranje [9]

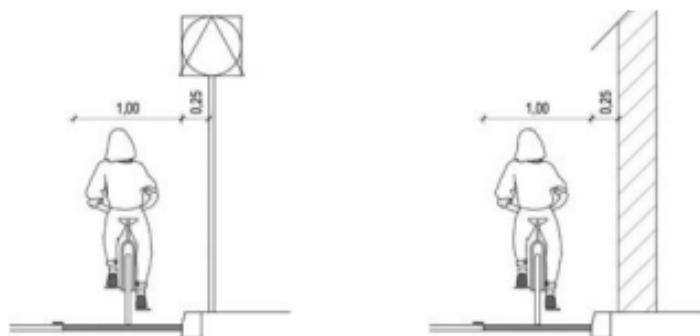
3.2.4 Biciklistička traka

To je dio kolnika po kojem prometuju bicikli, a označen je odgovarajućom prometnom signalizacijom. Odvojena je razdjelnom crtom od prometne trake. U pravilu je namijenjena jednosmjernom prometu biciklista i izvodi se uz desni rub kolnika (Slika 11) [9].



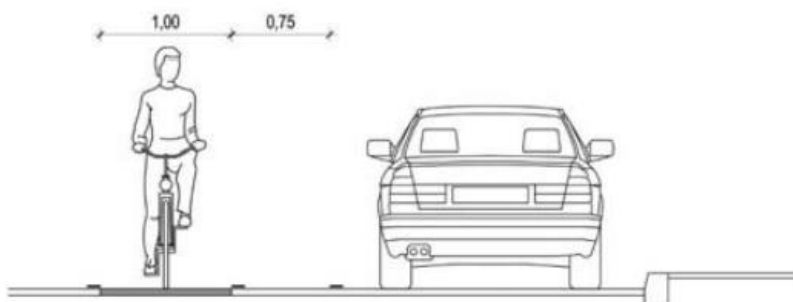
Slika 11: Biciklistička traka [9]

Jednosmjerna biciklistička traka mora biti minimalne širine 1,0 m te se osigura minimalna širina zaštitnog pojasa prema površinama za druge vrste prometa. Širina zaštitnog pojasa u odnosu na stalne zapreke (stupovi za rasvjetu, prometni znakovi, građevinski objekt) iznosi minimalno 0,25 m (Slika 12) [9].



Slika 12: Širina zaštitnog pojasa biciklističke trake uz stalne zapreke [9]

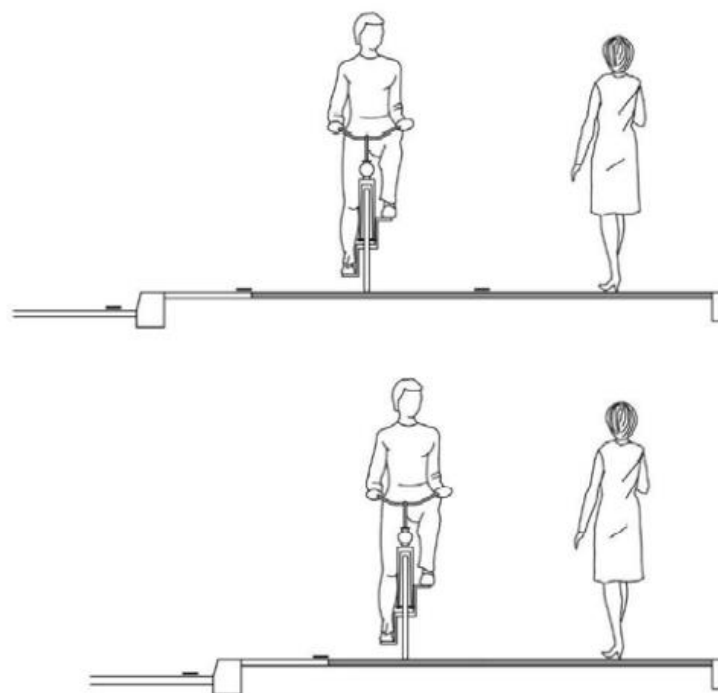
Širina zaštitnog pojasa između prometnog profila biciklističke trake i uzdužno parkiranih vozila iznosi minimalno 0,75 m (Slika 13). Ukoliko je na kolniku iscrtana oznaka kojom se prostor za parkiranje odvaja od ostalog dijela kolnika, onda širina zaštitnog pojasa prometnog profila biciklističke prometnice do crte razdvajanja iznosi minimalno 0,5 m [9].



Slika 13: Širina zaštitnog pojasa biciklističke trake uz trak za uzdužno parkiranje [9]

3.2.5 Biciklističko-pješačka staza

Biciklističko-pješačka staza je prometna površina namijenjena za kretanje biciklista i pješaka, izgrađena odvojeno od kolnika i označena odgovarajućom prometnom signalizacijom (Slika 14) [9].



Slika 14: Biciklističko – pješačka staza [9]

Izvodi se sa minimalnom širinom staze od 1,5 m za izgrađene površine, odnosno 2,0 m za nove površine i površine nad kojima se provodi rekonstrukcija [9].

3.2.6 Cesta za mješoviti promet

Cesta za mješoviti promet je prometnica površina po kojoj se zajednički odvija biciklistički i motorni promet. Takve dionice cesta u skladu s ovim Pravilnikom potrebno je dodatno označiti prometnim znakovima i oznakama na kolniku kojima se vozači motornih vozila upozoravaju na pojavu biciklista u prometu [9].

4. METODOLOŠKI PRISTUP OCJENI RAZINE PROMETNOG STRESA NA POSTOJEĆIM PROMETNICAMA

Cilj rada je ocijeniti razinu prometnog stresa biciklista na postojećoj prometnoj infrastrukturi, kao prvi korak u planiranju biciklističke infrastrukture. Budući da se radi o prostornom problemu, klasifikacija prometnica u pogledu razine prometnog stresa provedena je u GIS okruženju.

Niz je kriterija koji će utjecati na uvjete korištenja prometnica za vožnju bicikla, a svaki od njih ima različit utjecaj na konačnu ocjenu. U ovome radu odabrana su četiri kriterija: razina prometnog stresa (LTS, engl. Level of Traffic Stress), nagib prometnice, smjer kretanja vozila te širina prometnice. Primjenom višekriterijske analize svakom od navedenih kriterija dodijeljen je adekvatan težinski koeficijent te je tako osigurano da konačna ocjena pojedinih dionica prometnica bude adekvatno dodijeljena u ovisnosti o intenzitetu utjecaja odabranih kriterija.

Metodološki koraci su sljedeći:

1. odabir prometnica u Gradu Rijeci,
2. prikupljanje podataka o prometnicama: brzina, smjer kretanja, širina prometnice, broj traka,
3. određivanje LTS-a (razine prometnog stresa) pomoću Furthove metode:
 - određivanje vrste prometnica
 - dodjeljivanje vrijednosti od 1 do 4 svakoj prometnici prema kriterijskim tablicama
4. određivanje uzdužnog nagiba prometnica
5. višekriterijska analiza
 - odabir metode: AHP metoda
 - odabir kriterija: LTS, uzdužni nagib dionice, smjer kretanja vozila, širina prometnice
 - klasifikacija kriterija
 - usporedba parova kriterija
 - određivanje otežanog LTS-a
 - određivanje modificiranog LTS-a i kreiranje karte s klasificiranim razinama prometnog stresa za svaku dionicu

5. TEORETSKA OSNOVA

5.1 GIS i prostorna analiza

Geografski informacijski sustav (GIS) prisutan je desetljećima. Jednostavna prostorna analiza prvi put je primijenjena u 19. stoljeću kada je engleski liječnik John Snow povezo lokacije izbijanja kolere s izvorištima vode, no tek je tehnološki razvoj računalne tehnologije doveo do rođenja modernog GIS-a: korištenje printera za izradu kartografske grafike, napredak u pohrani velikih količina podataka te mogućnost digitalne obrade tih podataka pomoću računala. Začetnikom modernog GIS-a smatra se Roger Tomlison koji je 60-ih godina prošlog stoljeća izradio kanadski geografski informacijski sustav (CGIS, *engl.* Canadian Geographic Information System) te prvi upotrijebio termin GIS. CGIS je tada bio jedinstven u načinu na koji je primijenio podatkovne slojeve u kartiranju i prostornoj analizi. Od tada do danas GIS se od jednostavnog alata za prostornu analizu i vizualizaciju prostornih podataka, razvio se u kompleksan sustav, nezaobilazan u svim domenama ljudskih djelatnosti koje barataju prostornom komponentom. U građevinarstvu je GIS postao nezaobilazan alat u izvršavanju brojnih zadataka, npr. izmjera terena, izgradnja i održavanje gradilišta, transport, prostorno planiranje, hidraulički proračuni i hidrološke analize, javni radovi, itd [11].

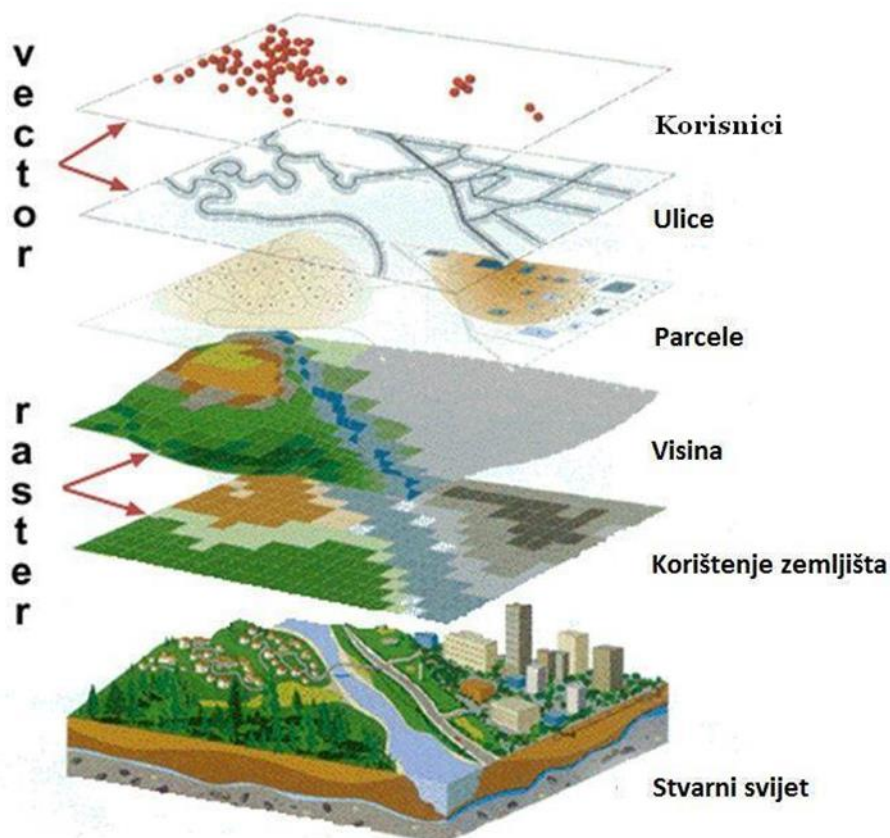
Riječ je o računalnom sustavu kreiranom za prikupljanje, pohranu, manipulaciju, analizu, upravljanje i prikaz svih tipova prostornih podataka. GIS povezuje prostorne i atributne podatke na način da integrira podatke o lokaciji (prostorne podatke) sa svim vrstama opisnih informacija koji pobliže opisuju promatrani entitet (atributni podaci). To pruža temelj za dokumentiranje, analizu i vizualizaciju prostornih podataka koja se koristi u znanosti i gotovo svakoj industriji. Njegove osnovne komponente su:

1. podaci – kombinacija atributnih i prostornih podataka, analiza i postavljanje specifičnih prostornih upita;
2. softver – omogućava funkcije i alate koji su potrebni za pohranu, analizu i prikaz geografskih informacija s obzirom na zahtjev korisnika;
3. hardver – računalo i njegove komponente na kojem GIS radi;
4. ljudi – korisnici koji upravljaju sustavom i primjenjuju ga i stvarnim problemima;
5. metode i procedure – dobro osmišljen plan primjene i skup pravila.

Podaci mogu biti u formi vektora i rastera. Raster je set pravilno postavljenih ćelija koje se međusobno dodiruju i svakoj od njih je pridružena vrijednost odnosno atribut. Ovi su podaci pogodni za prikaz i analizu kontinuiranih površina poput digitalnog modela terena, nagibi terena i sl. Preciznost prikaza takvih površina ovisit će o veličini pojedine ćelije odnosno

prostornoj rezoluciji rastera (dimenzije površine koju prikazuje jedna rasterska ćelija). Za razliku od rastera, vektorski podaci se sastoje od individualnih točaka pohranjenih u obliku koordinatnih parova/tripleta koje mogu biti samostalni entiteti (npr. servisne postaje, centroidi naselja isl.), a mogu biti povezane određenim redoslijedom i tvoriti linije (npr. prometnice, vodotoci) ili poligone (npr. stambeni objekti, katastarske čestice i sl.) [11].

U GIS-u se podaci grupiraju po temama (npr. naselja, prometnice, nadmorske visine) i načinu prikaza (vektor ili raster) u tzv. podatkovne slojeve (Slika 15). U više slojeva moguće je manipulirati i analizirati različite podatke, mogu se prikazivati osnovni prostorni podaci i dodavati neograničene količine novih podataka [11].



Slika 15: Tematski slojevi pri izradi GIS-a [12]

Slojevi u kojima se podaci prikazuju su mehanizmi koji se koriste da bi se prikazali geografski skupovi podataka u geografskim informacijskim sustavima. Svaki je sloj skup podataka predstavljen pomoću tekstualne oznake ili simbola. Uz prostorne podatke postoje i atributni podaci koji sadrže opisne informacije o prostornom podatku, npr. godina izgradnje objekta, dimenzije i sl. Podaci se pohranjuju i organiziraju u bazama podataka tako da mogu zadovoljiti

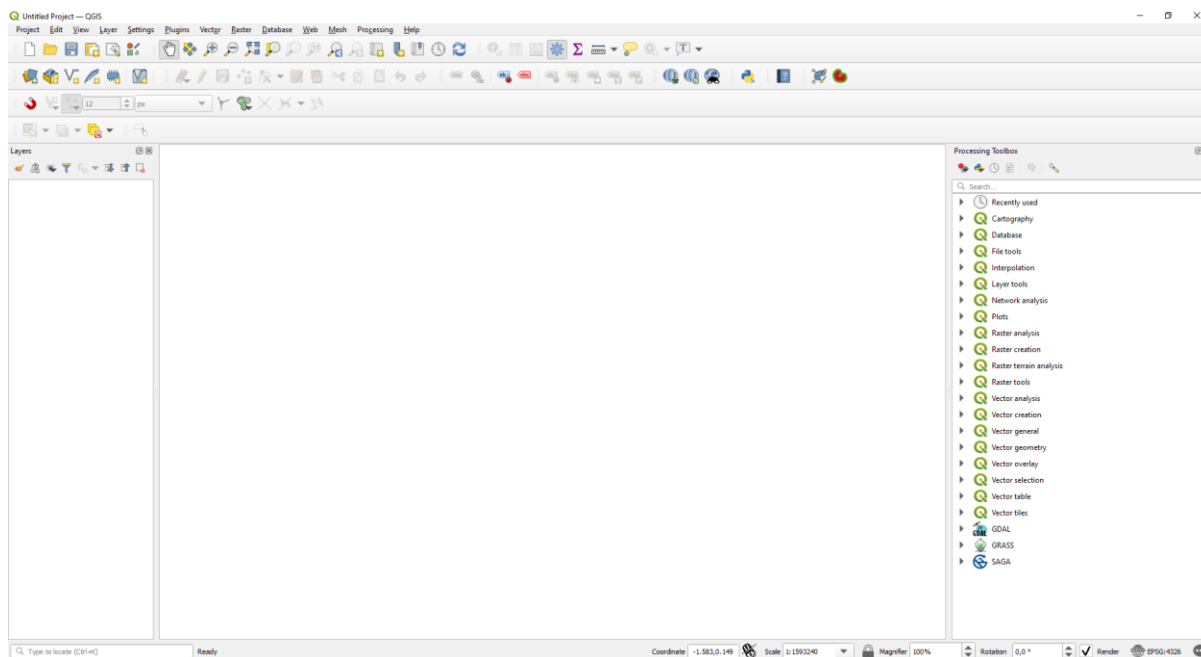
zahtjeve korisnika u vidu pretraživanja i njihova korištenja u prostornim analizama primjenom raznih analitičkih funkcija. Prostorna analiza temelj je za ocjenu pogodnosti pojedinih lokacija za određene namjene, određivanje i predviđanje ishoda, interpretaciju i razumijevanje promjene u ponašanju promatranog fenomena te detektiranje mogućih obrazaca u ponašanju tog fenomena. Dobiveni rezultati analize najčešće se vizualiziraju u obliku karte. Moguće je prikazati prostorni položaj značajki u stvarnom svijetu i prikazati njihove međusobne odnose, kao i gustoću značajki (npr. gustoću naseljenosti nekog područja) te se može definirati i prikaz tih značajki pod određenim uvjetima [11].

5.2 GIS softver

Geografski informacijski sustav (GIS softver) dizajniran je za pohranu, dohvaćanje, upravljanje, prikaz i analizu svih vrsta geografskih i prostornih podataka. GIS softver omogućuje izradu karata i drugih grafičkih prikaza geografskih podataka za analizu i prezentaciju. GIS softveri mogu biti komercijalni i softveri otvorenog koda (Open Source) [13]. Prednost softvera otvorenog koda je slobodan pristup te mogućnost izmjene izvornog koda što može rezultirati bogatijim funkcijama, npr. više proširenja (plugin). Također, pojedinac ili tvrtka mogu dodavati vlastite značajke po potrebi. Sa druge strane, takvi softveri često su teži za korištenje, mogu imati veliki broj grešaka te kasniti za najnovijim tehnologijama. Komercijalni softveri često su kvalitetniji i pouzdaniji, ali se za njihovo korištenje mora platiti. Zatvorenog su koda pa su dostupne samo značajke koje je proizvođač predvidio.

5.2.1 QGIS – GIS softver otvorenog koda

QGIS je vodeći softver otvorenog koda (Open Source). Omogućuje stvaranje, uređivanje, vizualizaciju, analizu i objavljivanje geoprostornih podataka na sustavima Windows, Mac OS, Linux, BSD i Android. Ima opću javnu licencu GNU General Public Licence. Službeni je projekt organizacije Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Kontinuirano rastu mogućnosti koje pružaju osnovne funkcije i dodatke. QGIS omogućuje prikaz kombinacija vektorskih i rasterskih podataka (u 2D ili 3D) u različitim formatima i projekcijama te kreiranje karata i interaktivno pretraživanje i analizu prostornih podataka preko korisničkog grafičkog sučelja (Slika 16) [14].



Slika 16: Grafičko sučelje programa QGIS

U QGIS-u mogu se kreirati, uređivati, upravljati i izvoziti vektorski i rasterski slojevi. Osim toga omogućuje i analizu vektorskih i rasterskih podataka te uzorkovanje i geoprocesiranje, a posjeduje i alate za upravljanje bazama podataka. Također mogu se koristiti integrirani GRASS alati, koji uključuju potpunu GRASS funkcionalnost za više od 400 modula. Može se koristiti i s dodatkom Processing (obrada) koji pruža mogućnost geoprostorne analize pomoću integriranih i drugih algoritama iz QGIS-a, kao što su GDAL, SAGA, GRASS, R i drugi. Navedeni algoritmi i programi uvelike proširuju mogućnosti i značajke QGIS programa. Primjerice, GRASS je sustav za podršku analizi geografskih resursa, izgrađen je za upravljanje vektorskim i rasterskim geoprostornim podacima, geoprocesiranje, prostorno modeliranje i vizualizaciju. Sve funkcije analize izvode se u pozadini, što omogućuje nastavak s radom prije završetka obrade [14].

Sustav za podršku analizi geografskih resursa, koji se obično naziva GRASS GIS, tehnologija je Geografskog informacijskog sustava (GIS) izgrađena za upravljanje vektorskim i rasterskim geoprostornim podacima, geoprocesiranje, prostorno modeliranje i vizualizaciju. QGIS ima mogućnost proširivanja dodacima i knjižnicama koje se mogu koristiti za izradu dodataka. Neki od temeljnih dodataka su DB Manager (razmjena, izmjena i pregled slojeva i tablica u bazama podataka te izvršavanje SQL upita), Geometry Checker (provjerava greške geometrije), GPS Tools (učitavanje i unos GPS podataka), GRASS 7 (integrira GRASS GIS), Topology Checker

(pronalaži topološke greške u vektorskim slojevima), itd. Osim temeljnih dodataka postoji mogućnost korištenja brojnih vanjskih Python dodataka kreiranih od strane korisnika [14].

5.3 Mrežna analiza u GIS okruženju

Mrežna analiza u GIS-u temelji se na matematičkim poddisciplinama teorije grafova i topologije. Bilo koji graf ili mreža sastoji se od skupa povezanih vrhova i bridova. Teorija grafova opisuje, mjeri i uspoređuje grafove ili mreže. Mrežne strukture podataka moraju pohraniti rubne i vršne značajke koje popunjavaju ove skupove podataka u mreži, attribute tih značajki i ono što je najvažnije za analizu mreže, topološke odnose među značajkama. Izbor strukture mrežnih podataka može značajno utjecati na analize koje se mogu izvesti [15].

Mreža je povezani skup linija koje predstavljaju geografski fenomen (najčešće prometne i komunalne infrastrukture, vodotoke i dr.). Prikazuju se uglavnom vektorski, ali mogu i rasterski. Biciklističke rute moraju biti prikazane kao mreže da bi se mogla provoditi mrežna analiza [15].

Topološka svojstva mreža su povezanost, susjednost i učestalost. Ova svojstva služe kao osnova za analizu. Jednostavan primjer mreže u GIS-u mogu biti ulice i dalekovodi [15].

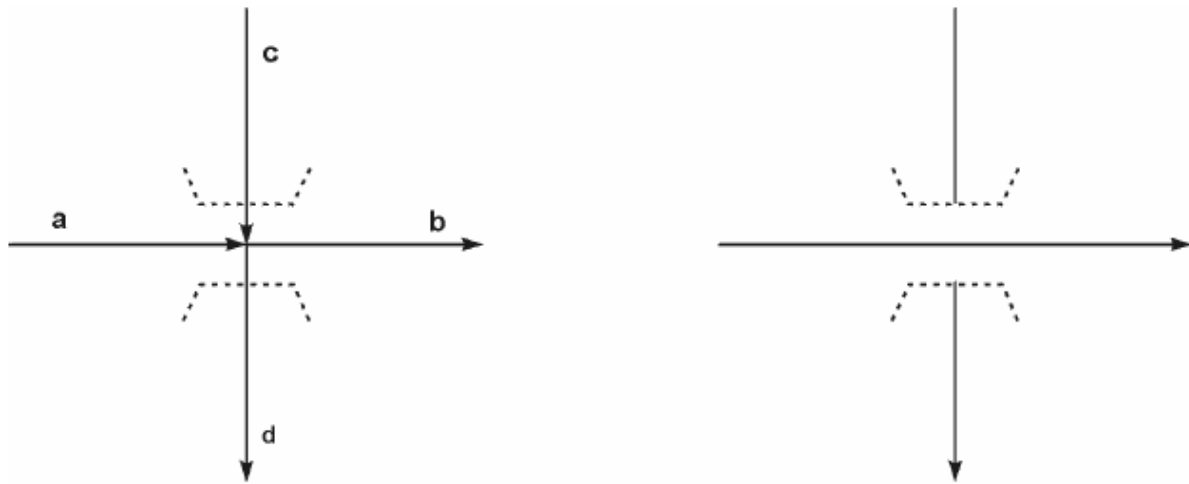
Topologija je zbirka pravila koja, zajedno sa skupom alata i tehnika za uređivanje, omogućuju da baza podataka preciznije modelira geometrijske odnose. Topologija je dugo bila ključni GIS zahtjev za upravljanje podacima i integritet. Općenito, topološki model podataka upravlja prostornim odnosima predstavljajući prostorne objekte (točke, crte i značajke područja) kao čvorove, fronte i rubove. Topologija se u osnovi koristi za osiguravanje kvalitete podataka prostornih odnosa i za pomoć pri sastavljanju podataka [16].

Mreža može biti usmjerena ili neusmjerena. Kod usmjerene mreže je smjer kretanja na pojedinim dionicama određen (npr. jednosmjerna cesta) dok je kod neusmjerene smjer kretanja proizvoljan (npr. dvosmjerna cesta s proizvoljnom brzinom kretanja i destinacijom). Usmjerenost pojedinih dijelova mreže bitno je svojstvo u planiranju i analizi biciklističke infrastrukture, posebno ako ne postoje izdvojene trake za bicikliste već se biciklistički promet odvija zajedno s prometom motornih vozila [17].

Također je važno poznavati dimenzionalnost mreže tj. radi li se o planarnoj ili neplanarnoj mreži, posebno kod planiranja križanja biciklističkih prometnica s ostalim prometnim površinama. Naime, biciklističke prometnice se mogu križati u istoj ravnini s cestama, prugama

te prelaziti preko trgova i drugih javnih prometnih površina (planarna mreža), a križanje s drugim prometnicama može biti i denivelirano (neplanarna mreža) [9].

Analiza planarne mreže je zbog jednostavnijih topoloških pravila i jednostavnog dvodimenzionalnog prikaza u GIS okruženju jednostavnija nego kod neplanarnih mreža – u tom je slučaju potrebna prilagodba dvodimenzionalnom GIS okruženju (Slika 17).



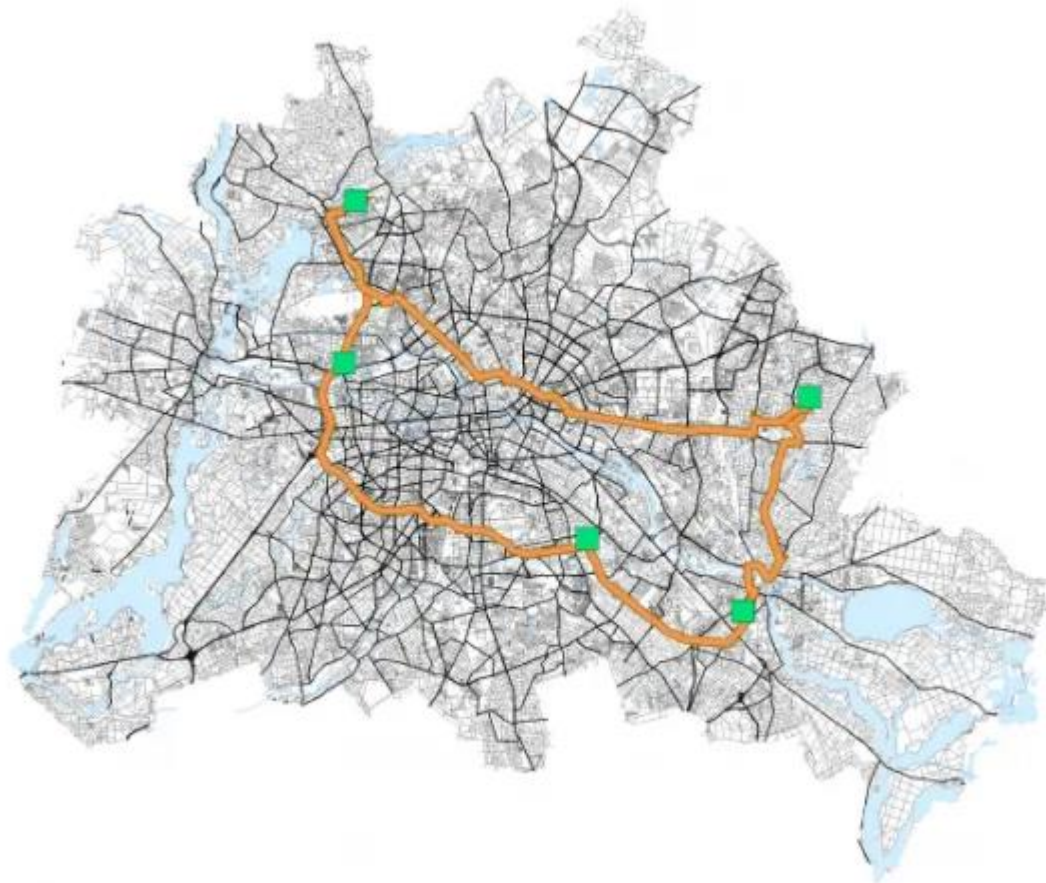
Slika 17: Planarna (lijevo) i neplanarna mreža (desno) (prilagođeno iz [18])

Najčešća mrežna funkcija je pronalaženje optimalnog puta između dvije lokacije na temelju zadanih prostornih i/ili atributnih uvjeta. Cilj joj je pronaći niz povezanih linija kako bi se došlo do ciljane lokacije uz unaprijed definiran kriterij. Najkraći put kao kriterij u obzir uzima samo duljine pojedinih linijskih elemenata dok optimalan put uzima u obzir i dodatne kriterije (npr. najveća dozvoljena brzina na linijskim elementima, usmjerenost, kapacitet pojedinih dionica i sl.) (Slika 18) [17].



Slika 18: Optimalan put [19]

Pronalaženje optimalnog puta može biti uređeno ukoliko mora slijediti točno određeni redoslijed obilaska čvorišta (npr. servisnih postaja ili optimalan redoslijed dostave hrane) (Slika 19) ili, ukoliko to nije uvjet, neuređeno [19].



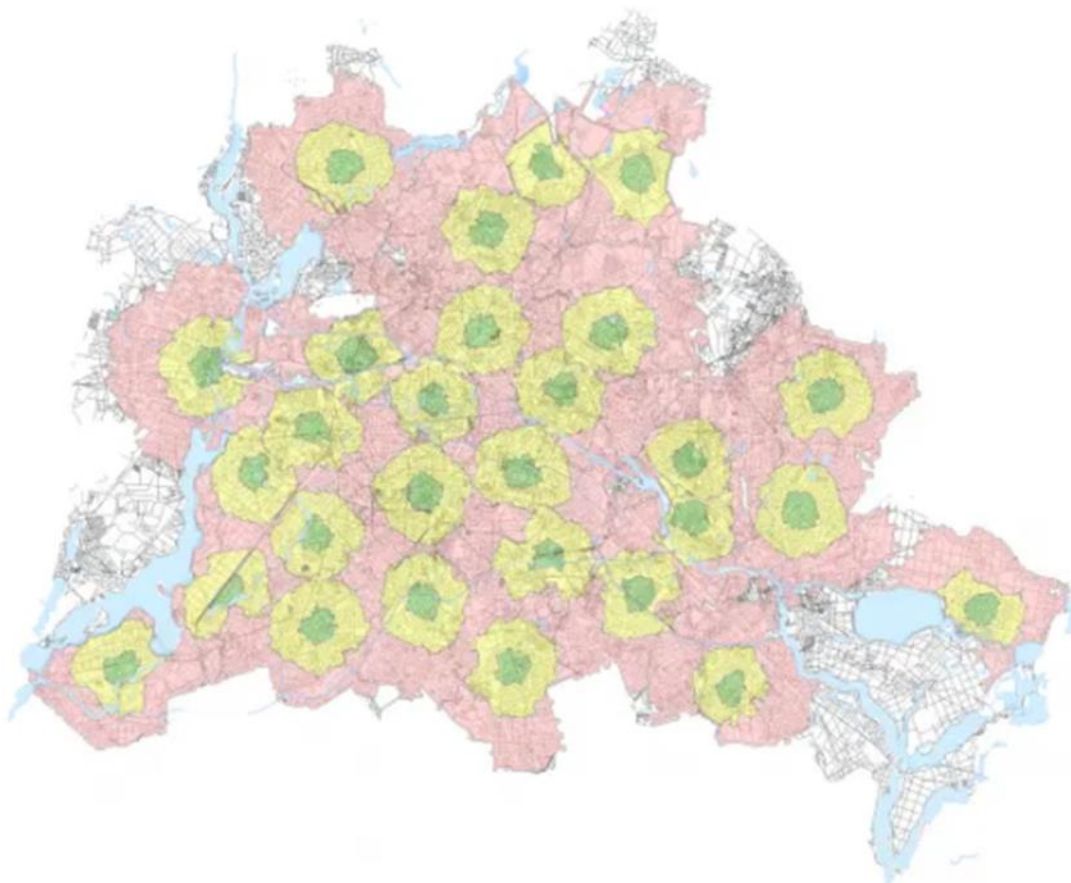
Slika 19: Uredeno pronalaženje optimalnog puta [19]

Posebnu skupinu mrežnih funkcija čine funkcije alokacije mreže. Radi se o funkcijama kojima je cilj odabranim ishodišnim točkama u mreži (objekti poput servisne postaje, zdravstvene ustanove) pridružiti dijelove mreže na temelju zadanih kriterija. U svom najjednostavnijem obliku ova funkcija u obzir uzima samo udaljenost dijelova mreže od odabranog ishodišta (npr. maksimalni radijus udaljenosti stambenih objekata od škole). Kompleksniji oblik ovih funkcija vodi računa o dodatnim kriterijima, primjerice kapacitet ishodišne točke (npr. maksimalni broj učenika koje škola može primiti) ili potrošnja resursa (npr. u nekim je ulicama više industrijskih objekata koji su veći potrošači energije). Mrežna alokacija pomaže u odabiru najbolje lokacije za izgradnju objekata poput bolnica, trgovačkih centara i sl. (Slika 20) [19].



Slika 20: Odabir najbolje lokacije za izgradnju objekta [19]

Mrežne analize nezaobilazan su segment u određivanju koridora za interventna vozila (npr. vatrogasna vozila, vozila hitne pomoći). Točkaste lokacije unutar mreže definiraju položaj ishodišta (npr. vatrogasna postaja, postaja hitne pomoći), a analizom se određuju dijelovi mreže koji gravitiraju toj lokaciji s obzirom na odabrane kriterije (npr. brzina dolaska interventnog vozila s obzirom na moguću brzinu kretanja, kapacitet prometnica do zadane lokacije itd.) (Slika 21) [19].



Slika 21: Pripadnost dijelova mreže pojedinoj ishodišnoj lokaciji [19]

5.4 Furthova metoda

Većina stanovništva se ne upušta u vožnju biciklom zbog netolerancije prema nametnutom stresu motornim prometom zbog opasnosti od ozljeda, buke i ispušnih plinova. Tome svjedoči veliko korištenje bicikala u zemljama sa širokom ponudom biciklističke infrastrukture s niskim stresom, poput biciklističkih staza, dok se u zemljama koje to nemaju slabo koriste bicikli. Također, u istraživanja ispitanici najčešće navode opasnost u prometu kao jedan od glavnih razloga zašto ne voze bicikl te imaju snažnu sklonost vožnji po odvojenim stazama i malim ulicama [20].

Razina prometnog stresa (eng. Level of Traffic Stress – LTS) na biciklu izvorno je razvijena od strane istraživača sa Mineta Transportation Institute te je brzo postala najbolja praksa za procjenu udobnosti i povezanosti biciklističkih mreža. Iako ne postoji jedan „pravi“ način za provođenje LTS analize, razumijevanje njezinih neophodnih komponenti može pomoći u razvoju analize koja najbolje odgovara kontekstu odabranog grada, županije ili regije [20].

LTS je objektivan pristup ocjenjivanja biciklističkih staza koji ocjenjuje infrastrukturu ceste, količinu prometa i brzinu motornih vozila s individualnom percepcijom udobnosti biciklista i spremnošću za korištenjem nesvakidašnjih puteva kako bi održali tu razinu udobnosti. Kao i sve slične analize, ovisi o dostupnosti i temeljitosti podataka o prometu. Uobičajeni ulazni podaci uključuju ograničenje brzine, prisutnost i širinu biciklističkih staza, kontrolu raskrižja, blizinu parkirališta za motorna vozila, blokadu biciklističke staze motornim vozilima, količinu prometa i označavanje rute kamiona te praznine u mreži biciklističkih cesta [20].

Studije pokazuju da je prometni stres uzrokovan uočenim sigurnosnim pitanjima, povećanim udaljenostima putovanja i teškim terenima. Cilj je stvoriti manje stresnu biciklističku mrežu, uz uklanjanje ili minimaliziranje nekih od ovih čimbenika te da na taj način vožnja bicikla postane privlačna širem broju populacije [20].

Furthova metoda predstavlja korisnu metodu za izgradnju biciklističke mreže. Primjenjujući objektivne kriterije, metoda određuje razinu prometnog stresa (LTS) za svaki segment ceste i raskrižje brojevima od jedan do četiri prema nizozemskim biciklističkim infrastrukturnim standardima [21].

5.4.1 Razine prometnog stresa (LTS)

Brojni su autori razvili metode za klasifikaciju cestovnih dionica s obzirom na razinu stresa biciklista koji koriste tu prometnicu. Npr. Sorton i Walsh (1994) [22] su predložili tri parametra ključna za procjenu razine stresa: količina prometa u rubnoj traci, brzina prometa te širina rubne trake (uključujući i širinu biciklističke trake ukoliko postoji) dok brojni drugi autori koriste veći broj parametara.

Furth je definirao četiri razine stresa (Tablica 1) za cestovne dionice, prilaze križanjima i križanja [21,23].

Tablica 1: Razine prometnog stresa [21,23]

Vrijednost razine prometnog stresa	Opis
LTS 1	Predstavlja mali prometni stres i zahtijeva malo pažnje biciklista, a privlačan je za opuštajuću vožnju biciklom. Pogodno za gotovo sve bicikliste, uključujući i djecu obučenu za siguran prelazak raskrižja. Na cesti, biciklisti su fizički odvojeni od prometa ili se voze isključivo biciklističkom zonom pored sporog prometnog toka s najviše jednom trakom po smjeru ili su u mješovitom prometu gdje su male brzine i zahtijevaju samo povremenu interakciju s motornim vozilima. Biciklisti pored trake za parkiranje imaju dovoljno radnog prostora izvan zone u kojoj se otvaraju vrata automobila. Raskrižjima je lako prići i prijeći.
LTS 2	Predstavlja mali prometni stres, ali zahtijeva više pažnje nego što bi se moglo očekivati od djece. Na dionicama cesta biciklisti su ili fizički odvojeni od prometa ili se nalaze u biciklističkoj zoni pored dobro zatvorenog prometnog toka s odgovarajućim razmakom od prometne trake ili su na zajedničkoj cesti gdje su u interakciji samo s povremenim motornim vozilima male brzine. Tamo gdje se biciklistička traka nalazi između prolazne i desne trake za skretanje, konfigurirana je tako da daje biciklistima nedvosmislen prioritet pri prelasku biciklističke staze i da održava brzinu automobila u desnoj traci za skretanje usporedivom s brzinom za bicikliste. Prijelazi nisu teški većini odraslih.
LTS 3	Biciklisti imaju svoju zonu (pr. biciklističku stazu) koja zahtijeva malo interakcije s motornim prometom, ali u neposrednoj blizini prometa umjerene brzine; ili mješoviti promet koji zahtijeva redovite interakcije s prometom male brzine. Prijelazi mogu biti stresni, ali se ipak smatraju prihvatljivim i sigurnim za većinu odraslih.
LTS 4	Zahtijeva vožnju u neposrednoj blizini prometa velike brzine ili redovitu interakciju s umjereno velikim brzinama ili opasno prelaženje

Općenito, infrastruktura na kojoj bi se djeca trebala ugodno voziti ima LTS jednak 1, dok većina odraslih može tolerirati infrastrukturu s LTS vrijednošću 2. Ova razina se odnosi na populaciju koja je opisana kao „zainteresirana, ali zabrinuta“. Vrijednosti LTS-a 3 i 4 ulice su koje imaju velike količine prometa, velike brzine i nema zapreka između automobilskeg prometa i biciklističke staze. To su razine stresa gdje se samo oni koji su „oduševljeni i samopouzđani“ te s „snažni i neustrašivi“ biciklisti osjećaju se ugodno za vožnju [23].

5.4.2 Kriteriji za ocjenu razine prometnog stresa

Prvi korak u procjeni razine prometnog stresa je podjela svih cesta i terenskih biciklističkih ruta (*engl.* off road) u tri kategorije: fizički odvojene staze i putovi, ceste i ulice s biciklističkim stazama te ceste s mješovitim prometom. Odabiru se i razmatraju segmenti ceste unutar 10 m od stambene parcele te ih se označava „stambenim“ cestama. Za svaku kategoriju primjenjuju se zasebni kriteriji za određivanje LTS-a. To su ograničenje brzine na prometnici, širina prometnice, postojanje ili nedostatak uličnog parkiranja, „stambene“ ceste te postojanje ili nedostatak namjenske biciklističke infrastrukture. Ne postoji složen algoritam, već jednostavne granične vrijednosti za svaku kategoriju. Određivanje LTS-a temelji se na najslabijoj kariki od četiri kriterija, tj. primjenjuje najveći dobiveni LTS na cijeli segment, neovisno o LTS vrijednostima ostalih kriterija [24].

5.4.3 Terenske staze (off road) i fizički odvojene trake

Biciklističke staze koje su potpuno odvojene od prometa uvijek imaju LTS 1. Tu su uključene i terenske višenamjenske staze (Slika 22), kao i staze duž ulice koje su odvojene fizičkom preprekom od prometa vozila (Slika 23). Biciklističke staze odvojene od vozila samo bojom ne spadaju u te kategorije, čak i ako postoji prostor određen između biciklističke staze i trake za vozilo [24].



Slika 22: Terenske staze [25]



Slika 23: Biciklističke staze fizički odvojene od motornog prometa [25]

5.4.4 Ceste s biciklističkim stazama

Furthova metoda koristi više kriterija za određivanje LTS cesta s biciklističkim trakama (Slika 24). Prvo, ove ceste su podijeljene u dvije kategorije: one s biciklističkom trakom uz traku za parkiranje (Tablica 2) i one koje nemaju parkirališnu traku (Tablica 3). Zatim se biciklistička staza ocjenjuje prema četiri kriterija, od kojih svaki dovodi do odgovarajuće razine stresa [24].



Slika 24: Biciklistička staza [26]

Tablica 2: Kriteriji Furthove metode za biciklističke staze uz parkirnu traku [24]

	LTS ≥ 1	LTS ≥ 2	LTS ≥ 3	LTS ≥ 4
Broj traka (u svakom smjeru)	1	-	2 ili više	-
Ukupna širina trake za parkiranje i biciklističke trake	4,6 m i više	4,3 ili 4,4 m	4,1 ili manje	-
Ograničenje brzine ili prevladavajuća brzina	40,2 km/h \approx 40 km/h	48,3 km/h \approx 50 km/h	56,3 km/h \approx 60 km/h	64,4 km/h
Blokada biciklističke staze	rijetko	-	često	-

Tablica 3: Kriteriji Furthove metode za biciklističke staze bez parkirne trake uz ulicu [24]

	LTS ≥ 1	LTS ≥ 2	LTS ≥ 3	LTS ≥ 4
Broj traka (u svakom smjeru)	1	2, ako su smjerovi odvojeni povišenim preprekom	Više od 2 ili 2 bez prepreke	-
Širina biciklističke trake	1,8 m i više	1,7 m ili manje	-	-
Ograničenje brzine ili prevladavajuća brzina	48,3 km/h \approx 50 km/h	-	56,3 km/h \approx 60 km/h	64,4 km/h
Blokada biciklističke staze	rijetko	-	često	-

5.4.5 Mješoviti promet

Furthovom metodom se promet na cestama bez označene biciklističke staze definira kao mješoviti promet. To se odnosi i na ceste predviđene za biciklističke rute. Metoda predlaže da su dominantna brzina putovanja, širina ceste prema broju traka i je li cesta u stambenom naselju odrednica LTS-a za ulice mješovitog prometa [24].

Pragovi brzina u kriteriju brzine su niži kod mješovitog prometa nego što je to slučaj kada postoji biciklistička staza; biciklisti pokazuju manji stres kada im je na raspolaganju označena biciklistička staza nego u odnosu na slučaj vožnje u zajedničkoj traci. Dijeljene ulice (ulice bez označene središnje linije) smatraju se manje stresnim od zajedničkih traka zato što označena središnja linija daje dojam rezerviranog prostora za motorni promet u kojem su bicikli uljezi i blokatori. Osim toga, nedostatak središnje linije navodi vozače da se drže središta, učinkovito rezervirajući rubne dijelove za bicikle i naglašava da je prostor na cesti namijenjen dijeljenju. U Tablicama 4 i 5 prikazana je razina prometnog stresa za mješoviti promet po smjeru s obzirom na broj traka [24].

Tablica 4: Razina prometnog stresa u mješovitom prometu [24]

Razina prometnog stresa s obzirom na broj traka				
Ograničenje brzine	Bez označene središnje linije	1	2	3+
Do 40 km/h	1	2	3	4
50 km/h	2	3	4	4
60 + km/h	4	4	4	4

Tablica 5: Razina prometnog stresa ulica za mješoviti promet prema Furth metodi [24]

Širina ceste (oba smjera)			
Ograničenje brzine	2-3 trake*	4-5 traka	6 ili više traka
25 MPH (40 km/h) ili manje	LTS 1 (stambena) ili 2 (ne stambena)	LTS 3	LTS 4
30 MPH (50 km/h)	LTS 2 (stambena) ili 3 (ne stambena)	LTS 4	LTS 4
35 MPH (60 km/h) ili više	LTS 4	LTS 4	LTS 4

* za jedan smjer

5.5 Višekriterijska analiza

Višekriterijska analiza (MCDA, *engl.* Multicriteria Decision Analysis) jedan je od pristupa koji donositeljima odluka olakšava razmatranje više kriterija. Koristi se za logičku procjenu i usporedbu više kriterija koji često znaju biti i u suprotnosti kako bi se donijela najbolja moguća odluka. Posebno je korisna kada postoji širok raspon dionika sa sukobljenim interesima, vrijednostima i ciljevima. MCDA se može koristiti u bilo kojem polju za razmatranje širokog spektra problema u kojima može biti više povoljnih rješenja [27].

To je pristup i skup tehnika kojoj je cilj pružiti sveukupan raspored opcija, od najpoželjnijih do najmanje preferiranih. Opcije se mogu razlikovati u mjeri u kojoj se postiže nekoliko ciljeva, a niti jedna opcija neće biti najbolja u postizanju svih ciljeva. MCDA je način promatranja složenih problema koji su karakterizirani bilo kojom mješavinom monetarnih i nemonetarnih ciljeva. Problemi se razbijaju na dijelove za koje se donose odluke, a zatim se ponovno

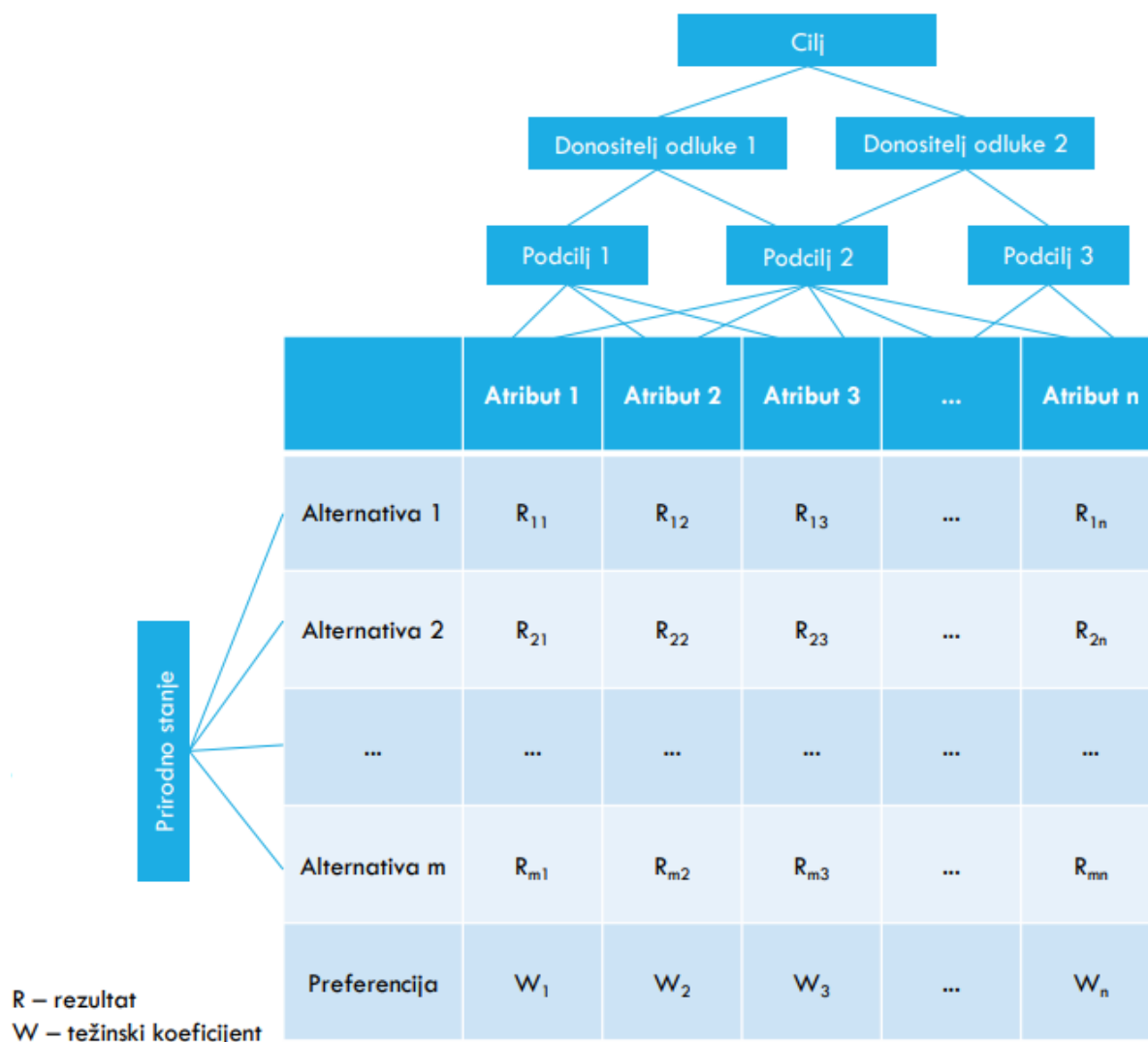
sastavljaju ti dijelovi kako bi donositeljima odluka predstavili koherentnu cjelokupnu sliku [27].

Višekriterijska analiza može se definirati i kao model donošenja odluka koji se sastoji od: skupa rješenja (varijanti koje treba rangirati ili sortirati donositelj odluke), skupa kriterija (većinom su to razno-dimenzionalni kriteriji koji se mogu vrednovati samo različitim mjernim jedinica) i vrijednosti (ocjena) svake varijante po svakom kriteriju [28].

Problem višekriterijske analize donošenja odluke obuhvaća šest komponenata [28]:

1. cilj ili set ciljeva koje donositelj odluke mora postići
2. donositelj odluke ili grupa donositelja odluke uključenih u proces donošenja odluke zajedno sa svojim preferencijama u pogledu kriterija vrednovanja
3. set kriterija vrednovanja (podciljevi i/ili atributi) na temelju kojeg donositelji odluke ocjenjuju alternativne mjere i rješenja
4. set alternativa odluke
5. set varijabli koje nije moguće kontrolirati ili prirodno stanje (okolnosti odlučivanja)
6. set rezultata ili posljedica povezanih sa svakim parom alternativa-atribut

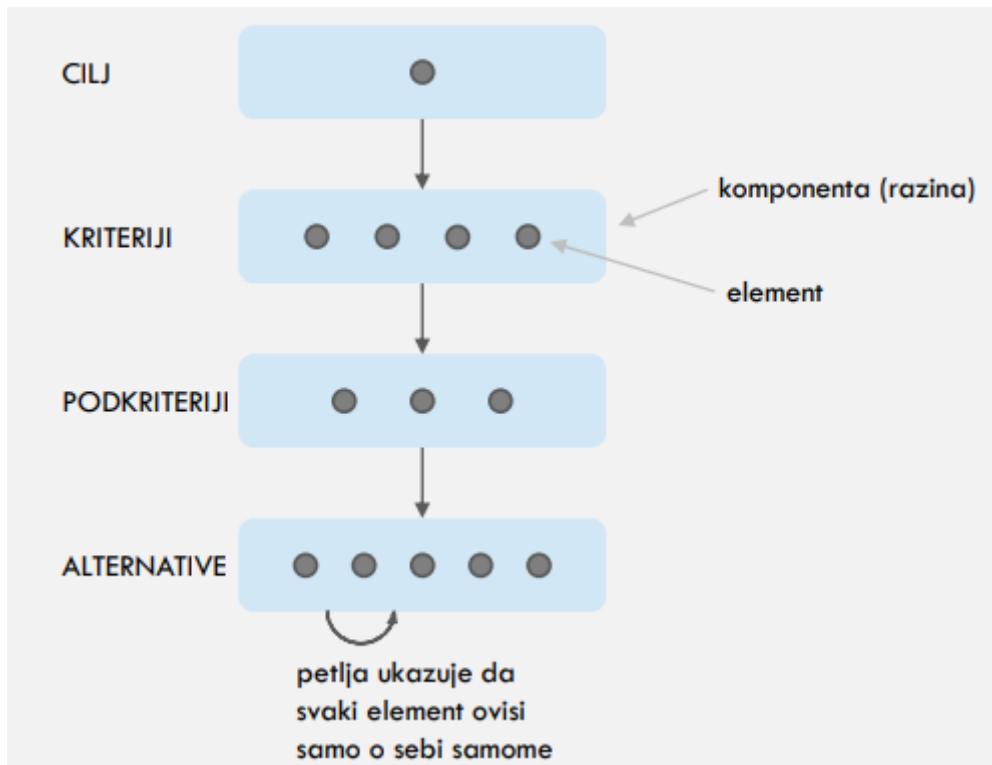
Hijerarhijska struktura kolona (Slika 25) sastoji se od razina na kojima su donositelji odluka, njihove preferencije i kriterij ocjenjivanja: cilj (najopćenitija razina, željeno stanje koje rezultira iz provedenih aktivnosti donošenja odluke), donositelj odluke (može biti jedna ili više osoba/grupa) i kriterij (standard procjene ili pravilo kojim se testira pogodnost alternativnih odluka, generički termin koji obuhvaća podciljeve i attribute) [29].



Slika 25: Komponente višekriterijske analize [29]

5.5.1 AHP metoda

Analitički hijerarhijski proces (AHP) specifičan je alat za formiranje i analizu hijerarhija odlučivanja. Metodu je kreirao 1980. godine Thomas L. Saaty i od tada je doradivana. AHP metoda je višekriterijska tehnika primjenjiva na problemima koji se mogu prikazati u hijerarhijskom obliku. Ona povezuje sve razine hijerarhije što omogućuje prepoznavanje utjecaja promjene jednog kriterija na druge kriterije i alternative [30].



Slika 26: Shematski prikaz elemenata hijerarhijskog modela [29]

Na vrhu hijerarhije postavljen je cilj, a zatim su ispod njega definirani kriteriji. Parovi kriterija se po principu svaki sa svakim (usporedba parova) uspoređuju u odnosu na neposredno nadređeni element. Podkriteriji se nalaze ispod kriterija te se uspoređuju u odnosu na kriterije na isti način. Također se koristi isti postupak i za alternative i sve sljedeće razine u hijerarhiji [30].

Hijerarhijski proces je fleksibilan jer omogućuje da se kod složenih problema koji imaju veliki broj kriterija i alternativa, relativno lako nađu relacije između utjecajnih faktora, prepozna njihov utjecaj i značaj u realnim uvjetima te da se odredi dominantnost jednog faktora u odnosu na drugi [30].

Kako bi se uspješno primijenila AHP metoda, moraju biti zadovoljena četiri aksioma [30]:

1. Aksiom reciprociteta: ako je element A n puta važniji od elementa B, tada je element B $1/n$ puta važniji od elementa A.
2. Aksiom homogenosti: usporedba parova ima smisla samo ako su elementi usporedivi. Trebaju biti svedeni na istu mjeru.
3. Aksiom zavisnosti: uspoređivanje elemenata u parovima s jedne razine hijerarhije moguće je samo u odnosu na elemente više razine. Usporedba na nižoj razini ovisi o elementima s više razine.

4. Aksiom očekivanja: svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtijeva novi izračun prioriteta u novoj hijerarhiji.

Na svakoj razini hijerarhije vrši se usporedba parova te se svakom elementu promatranog para daje ocjena prema Saatyjevoj skali (Tablica 6). Skala sadrži brojeve od 1 do 9 koji definiraju preferenciju.

Tablica 6: Saatyjeva skala vrednovanja [31]

Intenzitet važnosti	Definicija	Opis
1	Jednaka važnost	Dva kriterija ili alternative jednako doprinose cilju
3	Slaba dominacija (umjereno važnije)	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednom kriteriju/alternativa u odnosu na drugi
5	Jaka dominacija (strogo važnije)	Jedan kriterij/alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi, njezina dominacija dokazuje se u praksi
7	Demonstrirana dominacija (vrlo stroga, dokazana važnost)	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću
9	Apsolutna dominacija (ekstremna važnost)	
2, 4, 6, 8	Međuvrijednosti	
Recipročne vrijednosti se dodjeljuju inverznim usporedbama.		

5.5.2 Matematička formulacija AHP metode

Rezultati usporedbe na promatranjoj razini se svrstavaju u matrice usporedbe.

Ako uspoređujemo elemente i u odnosu na element j pomoću Saatyve skale, određujemo numerički koeficijent a_{ij} te ga smještamo na odgovarajuće mjesto u matrici A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Recipročna vrijednost rezultata usporedbe smješta se na poziciji a_{ji} kako bi se očuvala konzistentnost rasuđivanja tj. $a_{ji} = 1/a_{ij}$.

Ove su usporedbe subjektivne i AHP tolerira nekonzistentnost manjih vrijednosti. Konzistentnost se provjerava pomoću indeksa i omjera konzistentnosti, tj. CI i CR :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

gdje λ_{max} označava najveću vlastitu vrijednost u matrici poredbe, a n red matrice. Za savršeno konzistentnu usporedbu parova CI je 0.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

gdje je RI slučajni indeks konzistentnosti (Tablica 7).

Tablica 7: Slučajni indeks konzistencije [33]

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

Kada je $CR \leq 0,10$ rangiranja se smatraju zadovoljavajuće konzistentnima dok za $CR > 0,10$ usporedbe nisu zadovoljavajuće konzistentne te ih treba ponovo razmotriti [32].

5.5.3 Težinski koeficijenti

Za određivanje težinskih koeficijenata primjenjuje se metoda usporedbe u parovima. Težinski koeficijenti odnosno prioriteti određuju se tako da se odredi glavni vlastiti vektor matrice

usporedbe te se provede normalizacija rezultata. Vlastiti vektor je jedini način dobivanja ljestvice koja uzima u obzir dominantnu informaciju u cijelosti. Za izračunavanje težinskih koeficijenata se koristi online kalkulator prioriteta (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>) [33].

5.6 GIS i AHP

Višekriterijska analiza odlučivanja (MCDA) u GIS-u se koristi za kombiniranje slojeva prostornih podataka koji predstavljaju kriterije i određuju kako se slojevi kombiniraju. Prostorni problemi obično uključuje više mogućih alternativa i višestruke, oprečne i nemjerljive kriterije vrednovanja. Integracijom višekriterijske analize odlučivanja i GIS-a transformiraju se i kombiniraju geografski podaci sa dobrom prosudbom za rješavanje prostornih problema. U tu svrhu razmatraju se geografski modeli podataka, prostorna dimenzija kriterija ocjenjivanja i alternative odlučivanja pri ocjenjivanju kriterija [27]

Integracija GIS-a i AHP metode omogućuje analizu prostornog problema vodeći računa o intenzitetu utjecaja ključnih kriterija. Temelji se na tri principa [34]:

1. Princip raščlambe: zahtijeva da se problem donošenja odluke hijerarhije raščlani na način kojim će se uloviti osnovni elementi promatranog problema;
2. Princip komparativne ocjene: zahtijeva procjenu usporedbe u parovima elemenata unutar promatrane razine u hijerarhijskoj strukturi s obzirom na elemente više razine;
3. Princip sinteze: uzima lokalno određene prioritete na različitim hijerarhijskim razinama i gradi kompozitni set prioriteta na najnižoj razini hijerarhije (tj. alternative).

6. ANALIZIRANO PODRUČJE I PODACI

6.1 Analizirano područje

Ocjena razine prometnog stresa biciklista na postojećoj prometnoj infrastrukturi provedena je na prometnicama na području Trsata, Kampusa i Vojaka u Gradu Rijeci. Područje obuhvata (Slika 27) sastoji se od pretežno stambenih objekata te obrazovnih i zdravstvenih ustanova. Ulice obuhvaćene analizom su Ulica Radmile Matejčić, Sveučilišna Avenija, Ulica Slavka Krautzeka, Ulica Vjekoslava Dukića, Ulica Tome Strižića, Vrlje ulica, Put Bože Felkera, Kačjak ulica, Ulica Ivana Matrljana, Ulica Braće Ružića, Vrtlarski put, Ulica Zorana Komparjeta, Linićeva ulica, Šenoina ulica, Trg Viktora Bubnja, Strmica ulica i Ulica Josipa Kulfaneka.



Slika 27: Granica analiziranog područja (u podlozi Open Street Map)

6.2 Podaci i priprema podataka

U ovom poglavlju navedeni su svi podaci i podloge koje su korištene u radu te priprema podataka za daljnje korištenje u QGIS-u.

Podaci o prostornim elementima prometnica te važni objekti na analiziranom području pripremljeni su u dwg formatu u sklopu kolegija Promet u gradovima [35].

Sadrže linije prometnica, objekte te slojnice i točke nadmorskih visina. Budući da se struktura ovih podataka razlikuje od strukture podataka postojećih GIS formata te je podatke trebalo prevesti u GIS format kako bi analiza u QGIS-u bila moguća.

CAD alati prikazuju grafiku, dok GIS predstavlja cijelu bazu podataka. Glavne razlike između CAD-a i GIS-a su te što se u CAD-u modeliraju objekti iz stvarnog svijeta, a GIS modelira stvarni svijet. Najrašireniji CAD softver je AutoCAD. U AutoCAD-u se uglavnom koriste vektorski podaci (rasterski samo kao podloga), ne prepoznaje topološke odnose među objektima i uglavnom ne sadržava bazu podataka. GIS s druge strane koristi i vektorske i rasterske podatke, prostorne analize koriste topološke odnose te prikazuje sadržaj baze podataka. Kod razmjene podataka između AutoCAD-a i GIS-a važno je sačuvati nazive iz tekstova i blokova, interpretirati slojeve, stilove ili simbole kao atribute (npr. vrsta ceste), sačuvati geometriju (npr. kreirati poligone od linija), kombinirati geometriju i atribute koristeći blizinu objekata (preklapanje točke i poligona, prebaciti naziv na najbližu liniju ili poligon) [36].

Na slici 28 su prikazani korišteni podaci u AutoCad-u koji su prebačeni u QGIS.



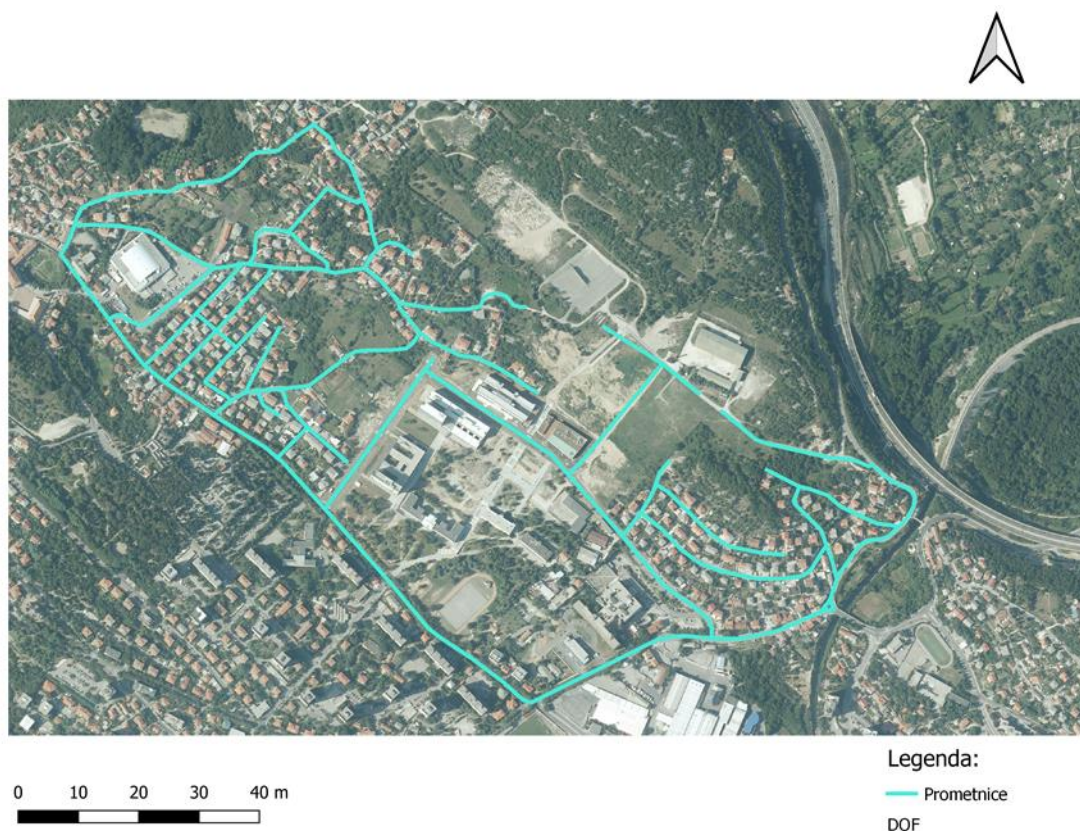
Slika 28: a) podaci u AutoCAD-u, b) podaci prebačeni u QGIS

Budući da preuzeti podaci pokrivaju samo dio analiziranog područja, podatkovni slojevi su dopunjeni digitalizacijom preostalih prometnica, objekata i topografskih karakteristika na temelju digitalnog ortofota (DOF) i hrvatske osnovne karte (HOK) Državne geodetske uprave

(DGU). DOF i HOK su preko QGIS sučelja dostupni putem WMS servisa (*engl.* Web Map Service). WMS je protokol koji omogućuje klijentima prijenos geoprostornih podataka sa servera te daje klijentima pristup snimci, ali ne dozvoljava pohranu kopije tih podataka na vlastitom računalu. Iako nije dozvoljena pohrana i manipulacija tim podacima, tako učitana podloga daje detaljne informacije o određenim značajkama prikazanim na karti [37].

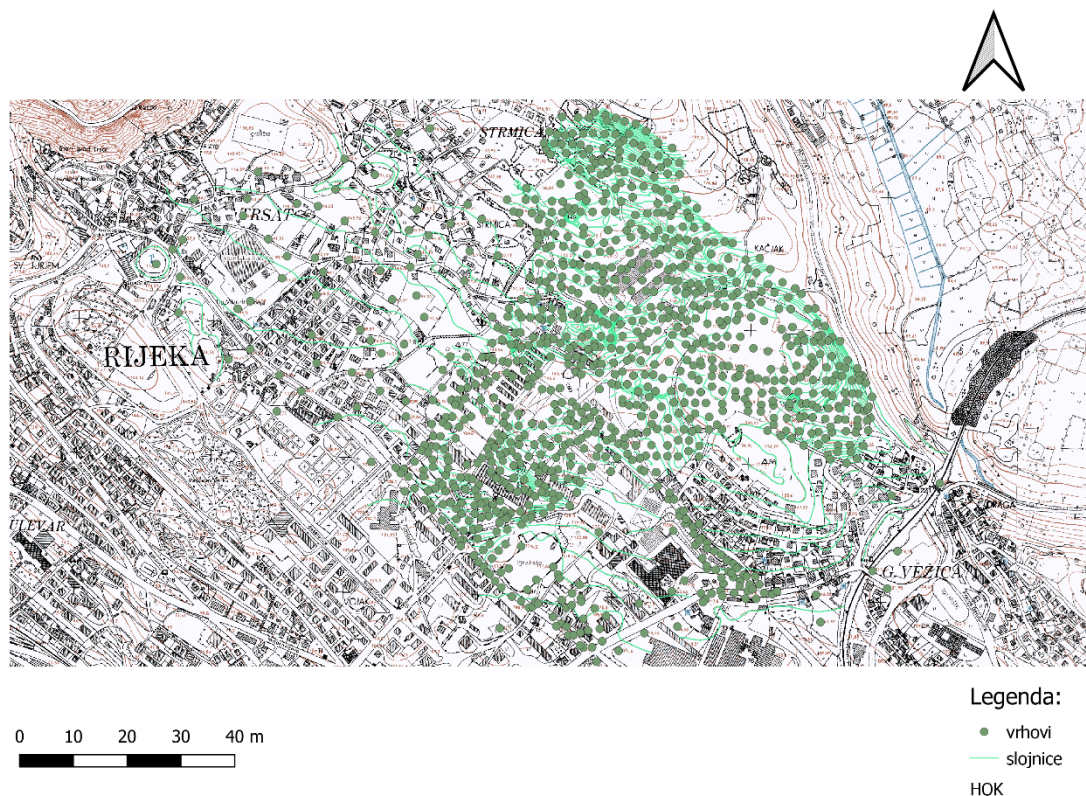
Digitalni ortofoto (DOF) je aerosnimka u digitalnom obliku transformirana u ortogonalnu projekciju te daje sliku oslobođenu većine karakterističnih geometrijskih deformacija. DGU je izradila DOF u mjerilu 1:5000 za cjelokupno područje Republike Hrvatske. Zahvaljujući velikoj prostornoj rezoluciji omogućena je detaljna digitalizacija prostornih elemenata potrebnih za izradu rada (položaj prometnica, izmjera njihove širine i sl.). Podaci o topografskim karakteristikama dopunjeni su digitalizacijom vrhova, depresija i izohipsi (točke i linije) s hrvatske osnovne karte (HOK). Hrvatska osnovna karta (HOK) je službena državna karta i izrađuje se u mjerilu 1:5000. Radi se o topografskoj karti s informacijama o mjesnim prilikama prikazanog područja potrebitih za opću orijentaciju [37].

Na Slici 29 prikazane su prometnice na podlozi DOF-a.



Slika 29: Karta prometnica na podlozi DOF-a

Na slici 30 prikazane su slojnice i vrhovi na podlozi HOK-a.

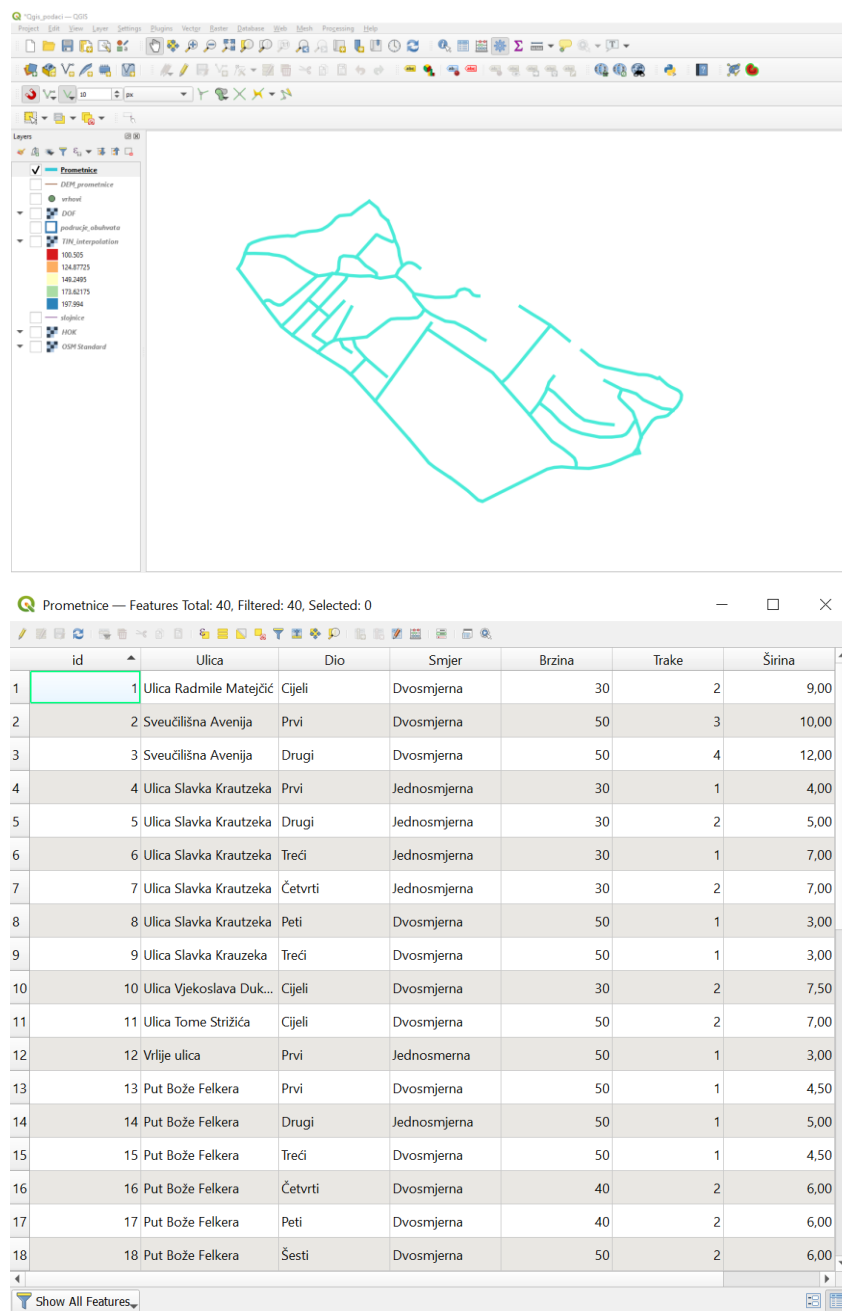


Slika 30: Karta vrhova i slojnica na podlozi HOK-a

Osim prostornih podataka DGU-a, općenite informacije o karakteristikama analiziranog području su izvedene i iz projekta OpenStreetMap (OSM), a koji je također dostupan preko QGIS sučelja. Riječ je o projektu kojeg je izradila virtualna zajednica s ciljem kreiranja otvorenih, slobodnih prostornih podataka o prometnicama, javnim i stambenim objektima i dr. diljem svijeta. Naglasak je na lokalnom znanju odnosno doprinosu lokalne zajednice u kreiranju i unosu prostornih podataka. Suradnici koriste zračne snimke, GPS uređaje i nisko tehnološke geografske karte kako bi provjerili je li OSM točan i ažuran. OSM je besplatan za korištenje svima. Za razliku od WMS-a, OSM podaci se mogu preuzeti i pohraniti na korisničko računalo te se po potrebi uređivati i analizirati [38].

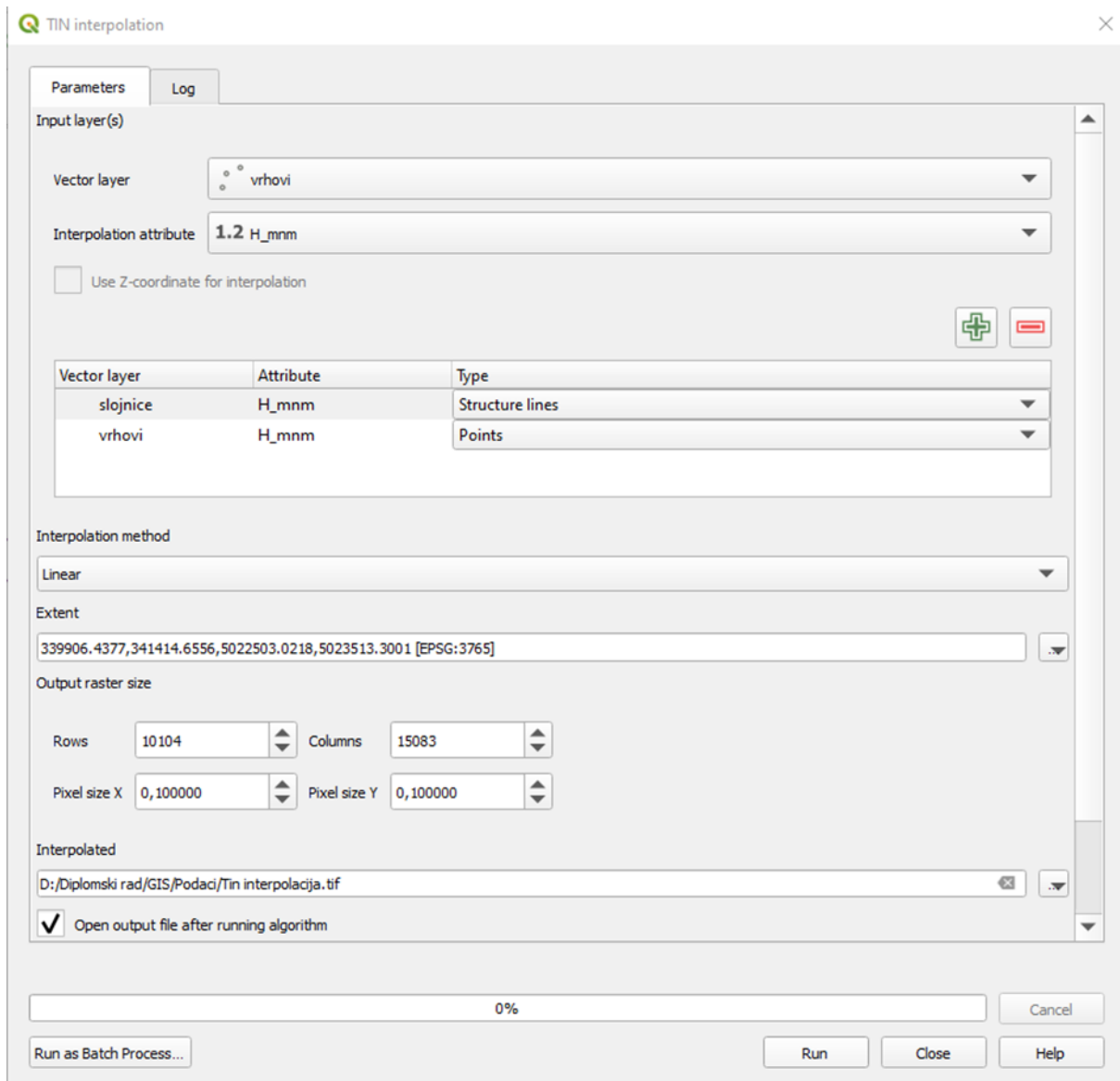
Da bi tako ucrtane prometnice činile mrežu, linije moraju biti topološki definirane. Preko funkcije Topology Checker postavlja se pravilo da ne smije biti dangles (linije koje nisu spojene kako bi trebale biti).

Prostornim podacima pridruženi su atributni podaci neophodni za primjenu metode Furtha: širina prometnice, dozvoljena brzina, smjer kretanja i broj traka (Slika 31).



Slika 31: Analizirane prometnice: a) prostorni prikaz; b) dio atributne tablice (QGIS)

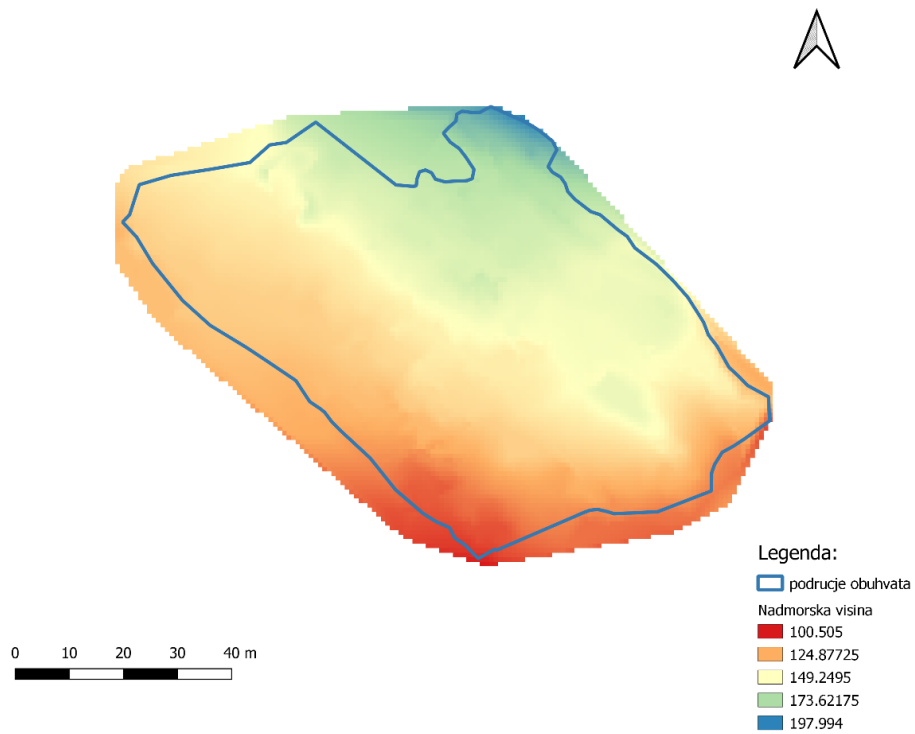
Jedan od kriterija u ocjeni razine stresa je njihov uzdužni nagib. Interpolacijom (Slika 32) linijskih i točkastih podataka o nadmorskim visinama (vrhovi i izohipse) (Slika 33) izrađen je digitalni model terena (DEM, *engl.* Digital Elevation Model) (Slika 34) na temelju kojeg su određeni nagibi prometnica na analiziranom području.



Slika 32: Interpolacija TIN (Triangulated Irregular Network) metodom u QGIS-u



Slika 33: Nadmorske visine (vrhovi i izohipse) na analiziranom području



Slika 34: Interpolirani DEM

7. REZULTATI I DISKUSIJA

Na analiziranim prometnicama se promet odvija mješovito tj. prometnice nemaju izgrađene elemente biciklističke infrastrukture kako su definirane Pravilnikom o biciklističkoj infrastrukturi. Stoga se za određivanje razine prometnog stresa koriste parametri brzine kretanja vozila i širine ceste izražene brojem traka na kojima se promet odvija, a prema vrijednostima navedenim u Tablici 8.

Tablica 8: Razina prometnog stresa ulica za mješoviti promet prema Furthovoj metodi [24]

Širina ceste (oba smjera)			
Ograničenje brzine	2-3 trake*	4-5 traka	6 ili više traka
25 MPH (40 km/h) ili manje	LTS 1 (stambena) ili 2 (ne stambena)	LTS 3	LTS 4
30 MPH (50 km/h)	LTS 2 (stambena) ili 3 (ne stambena)	LTS 4	LTS 4
35 MPH (60 km/h) ili više	LTS 4	LTS 4	LTS 4

* za jedan smjer

Tako određene vrijednosti LTS-a unesene su u postojeću atributnu tablicu podatkovnog sloja koji sadrži prometnice (Slike 35 i 36).

Prometnice — Features Total: 40, Filtered: 40, Selected: 0

id	Ulica	Dio	Smjer	Brzina	Trake	Širina	LTS
1	1 Ulica Radmile Matejčić	Cijeli	Dvosmjerna	30	2	9,00	2
2	2 Sveučilišna Avenija	Prvi	Dvosmjerna	50	3	10,00	2
3	3 Sveučilišna Avenija	Drugi	Dvosmjerna	50	4	12,00	2
4	4 Ulica Slavka Krautzeka	Prvi	Jednosmjerna	30	1	4,00	2
5	5 Ulica Slavka Krautzeka	Drugi	Jednosmjerna	30	2	5,00	2
6	6 Ulica Slavka Krautzeka	Treći	Jednosmjerna	30	1	7,00	2
7	7 Ulica Slavka Krautzeka	Četvrti	Jednosmjerna	30	2	7,00	2
8	8 Ulica Slavka Krautzeka	Peti	Dvosmjerna	50	1	3,00	2
9	9 Ulica Slavka Krautzeka	Treći	Dvosmjerna	50	1	3,00	2
10	10 Ulica Vjekoslava Dukića	Cijeli	Dvosmjerna	30	2	7,50	3
11	11 Ulica Tome Strižića	Cijeli	Dvosmjerna	50	2	7,00	3
12	12 Vrljije ulica	Prvi	Jednosmjerna	50	1	3,00	2
13	13 Put Bože Felkera	Prvi	Dvosmjerna	50	1	4,50	2
14	14 Put Bože Felkera	Drugi	Jednosmjerna	50	1	5,00	2
15	15 Put Bože Felkera	Treći	Dvosmjerna	50	1	4,50	2
16	16 Put Bože Felkera	Četvrti	Dvosmjerna	40	2	6,00	1
17	17 Put Bože Felkera	Peti	Dvosmjerna	40	2	6,00	1
18	18 Put Bože Felkera	Šesti	Dvosmjerna	50	2	6,00	3
19	19 Kačjak ulica	Cijeli	Dvosmjerna	50	2	7,00	3
20	20 Ulica Ivana Matrljana	Prvi	Dvosmjerna	30	2	5,00	1

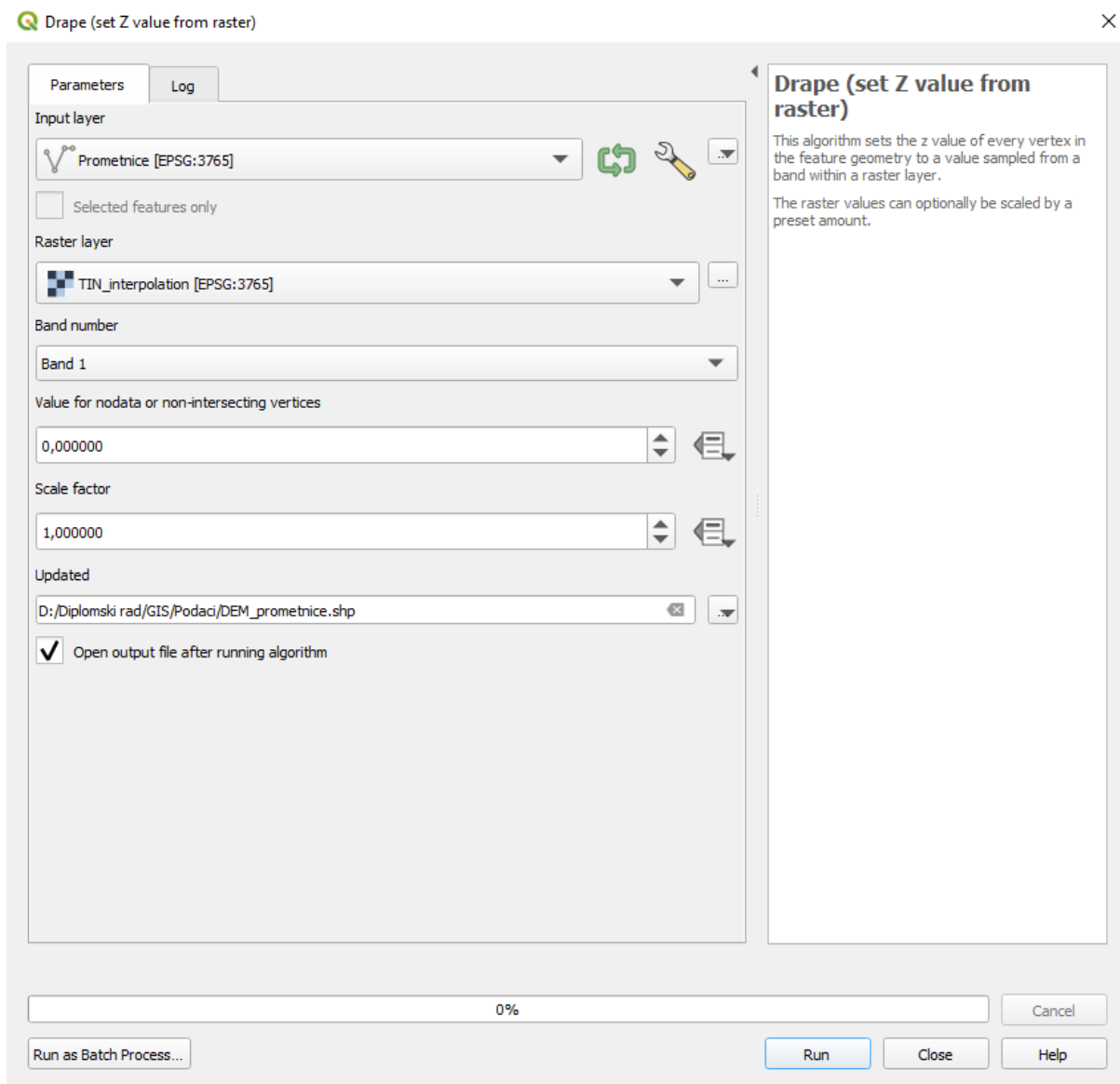
Slika 35: Dio atributne tablice podatkovnog sloja prometnice.shp



Slika 36: Klasifikacija prometnica s obzirom na LTS vrijednost

Za odrediti uzdužne nagibe dionica prometnica u QGIS-u potrebni su ulazni podaci sloja prometnica (linijski elementi) i DEM (raster). Važno je znati nadmorsku visinu čvorova elemenata (početna i krajnja točka linijskog elementa) te duljinu elemenata. Zato je potrebno kreirati 3D linijski sloj na temelju postojećeg linijskog sloja u kojemu će biti poznate nadmorske visine čvorova. U Processing Toolbox-u odabere se algoritam Drape (set Z value from raster) prikazan na Slici 37. Nakon što se uvedu ulazni podaci, rezultat je linijski sloj identičan sloju „Prometnice“, ali ovaj sloj sadrži i nadmorsku visinu čvorova linijskih elemenata preuzetu iz rastera.

Za izradu digitalnog modela terena (DEM) se korištena je TIN (Triangulated Irregular Network) metoda interpolacije, a odabrana prostorna rezolucija je 10 m.



Slika 37: Ulazni podaci alata *Drape (set Z value from raster)* u QGIS-u: ulazni linijski sloj prometnice.shp i DEM rasterski sloj (Tin_ Interpolation)

Uz poznatu duljinu te visinsku razliku rubnih točaka prometnih dionica, izračunat je nagib svake dionice i dodan u atributnu tablicu linijskog sloja (Slika 38).

DEM_prometnice — Features: Total: 40, Filtered: 40, Selected: 0

id	Ulica	Dio	Brzina	Trake	Širina	Smjer	LTS	Nagib_pct
1	1 Ulica Radmile Matejčić	Cijeli	30	2	9,00	Dvosmjerna	2	1,32
2	2 Sveučilišna Avenija	Prvi	50	3	10,00	Dvosmjerna	2	6,80
3	3 Sveučilišna Avenija	Drugi	50	4	12,00	Dvosmjerna	2	5,78
4	4 Ulica Slavka Krautzeka	Prvi	30	1	4,00	Jednosmjerna	2	1,09
5	5 Ulica Slavka Krautzeka	Drugi	30	2	5,00	Jednosmjerna	2	4,75
6	6 Ulica Slavka Krautzeka	Treći	30	1	7,00	Jednosmjerna	2	5,16
7	7 Ulica Slavka Krautzeka	Cetvrti	30	2	7,00	Jednosmjerna	2	3,34
8	8 Ulica Slavka Krautzeka	Peti	50	1	3,00	Dvosmjerna	2	3,20
9	9 Ulica Slavka Krautzeka	Treći	50	1	3,00	Dvosmjerna	2	1,76
10	10 Ulica Vjekoslava Dukića	Cijeli	30	2	7,50	Dvosmjerna	3	8,20
11	11 Ulica Tome Strižića	Cijeli	50	2	7,00	Dvosmjerna	3	2,67
12	12 Vrljijska ulica	Prvi	50	1	3,00	Jednosmjerna	2	10,96
13	13 Put Bože Felkera	Prvi	50	1	4,50	Dvosmjerna	2	1,11
14	14 Put Bože Felkera	Drugi	50	1	5,00	Jednosmjerna	2	5,07
15	15 Put Bože Felkera	Treći	50	1	4,50	Dvosmjerna	2	0,15
16	16 Put Bože Felkera	Cetvrti	40	2	6,00	Dvosmjerna	1	4,14
17	17 Put Bože Felkera	Peti	40	2	6,00	Dvosmjerna	1	2,13
18	18 Put Bože Felkera	Šesti	50	2	6,00	Dvosmjerna	3	5,84
19	19 Kačjak ulica	Cijeli	50	2	7,00	Dvosmjerna	3	3,87
20	20 Ulica Ivana Matića	Prvi	30	2	5,00	Dvosmjerna	1	8,12

Show All Features

Slika 38: Dio atributne tablice linijskog sloja prometnice.shp

7.1 AHP metoda

Prioriteti odnosno intenziteti važnosti dodijeljeni su parovima kriterija te oni čine matricu usporedbe.

Definirana su četiri kriterija:

- Razina prometnog stresa određena prema Furthovoj metodi
- Uzdužni nagib dionice
- Smjer kretanja vozila
- Širina prometnice

Svaki od kriterija izražen je prikladnim jedinicama: LTS je bezdimenzionalni parametar, nagib dionice je izražen u postocima, smjer kretanja je nominalna vrijednost, a širina prometnice je izražena u metrima. Da bi se kriteriji mogli međusobno usporediti, moraju se svesti na jedinstvenu skalu: ulazni kriteriji su klasificirani na klase razine prometnog stresa od 1 (mali

stres) do 4 (visoka razina stresa) (Tablica 9). Dionice s najvišom klasom predstavljaju najpogodnije dionice za bicikle.

Tablica 9: Klase razine prometnog stresa po kriterijima

Kriterij	Vrijednost	Klasa razine prometnog stresa
LTS	1	1
	2	2
	3	3
	4	4
Uzdužni nagib dionice	< 3 %	1
	3 – 6 %	2
	6 – 9 %	3
	> 9 %	4
Smjer kretanja vozila	Jednosmjerna cesta	1
	Dvosmjerna cesta	3
Širina prometnice	8 – 12 m	1
	6 – 7,9 m	2
	4 – 5,9 m	3
	2 – 3,9 m	4

U atributnoj tablici je za svaki kriterij primijenjena klasifikacija, dodana su četiri nova atributa (Slika 39): LTS_f (LTS za razinu prometnog stresa – Furth metoda), LTS_n (LTS za uzdužni nagib), LTS_s (LTS za smjer kretanja vozila) i LTS_d (LTS za širinu prometnice).

	Ulica	Dio	Brzina	Trake	Širina	Smjer	LTS	Nagib_pct	LTS_f	LTS_n	LTS_s	LTS_d
1	Ulica Radmile M...	Cijeli	30	2	9,00	Dvosmjerna	2	1,32	2	1	3	1
2	2 Sveučilišna Ave...	Prvi	50	3	10,00	Dvosmjerna	2	6,80	2	3	3	1
3	3 Sveučilišna Ave...	Drugi	50	4	12,00	Dvosmjerna	2	5,78	2	2	3	1
4	4 Ulica Slavka Kra...	Prvi	30	1	4,00	Jednosmjerna	2	1,09	2	1	1	3
5	5 Ulica Slavka Kra...	Drugi	30	2	5,00	Jednosmjerna	2	4,75	2	2	1	3
6	6 Ulica Slavka Kra...	Āreci	30	1	7,00	Jednosmjerna	2	5,16	2	2	1	2
7	7 Ulica Slavka Kra...	Cetvrti	30	2	7,00	Jednosmjerna	2	3,34	2	2	1	2
8	8 Ulica Slavka Kra...	Peti	50	1	3,00	Dvosmjerna	2	3,20	2	2	3	4
9	9 Ulica Slavka Kra...	Āreci	50	1	3,00	Dvosmjerna	2	1,76	2	1	3	4
10	10 Ulica Vjekoslava...	Cijeli	30	2	7,50	Dvosmjerna	3	8,20	3	3	3	2
11	11 Ulica Tome StriĀi...	Cijeli	50	2	7,00	Dvosmjerna	3	2,67	3	1	3	2
12	12 VrĀije ulica	Prvi	50	1	3,00	Jednosmjerna	2	10,96	2	4	1	4
13	13 Put BoĀe Felkera	Prvi	50	1	4,50	Dvosmjerna	2	1,11	2	1	3	3
14	14 Put BoĀe Felkera	Drugi	50	1	5,00	Jednosmjerna	2	5,07	2	2	1	3
15	15 Put BoĀe Felkera	Āreci	50	1	4,50	Dvosmjerna	2	0,15	2	1	3	3
16	16 Put BoĀe Felkera	Cetvrti	40	2	6,00	Dvosmjerna	1	4,14	1	2	3	2
17	17 Put BoĀe Felkera	Peti	40	2	6,00	Dvosmjerna	1	2,13	1	1	3	2
18	18 Put BoĀe Felkera	Āesti	50	2	6,00	Dvosmjerna	3	5,84	3	2	3	2
19	19 Kajak ulica	Cijeli	50	2	7,00	Dvosmjerna	3	3,87	3	2	3	2

Slika 39: Primjer dijela atributne tablica s Āetiri nova atributa

Parovi kriterija se meĀusobno usporeĀuju s obzirom na njihovu vaĀnost. UsporeĀuje se razina prometnog stresa sa nagibom terena, smjerom kretanja vozila i ŀirinom prometnice, nagib terena sa smjerom kretanja vozila i ŀirinom prometnice te smjer kretanja vozila sa ŀirinom prometnice. Kriterijima se dodjeljuju vrijednosti intenziteta prema Saatyevoj skali (Tablica 10).

Tablica 10: Parovi kriterija

Parovi kriterija			
Kriterij	Intenzitet vaĀnosti	Kriterij	Intenzitet vaĀnosti
LTS	5	Nagib	1
LTS	9	Smjer	1
LTS	3	ŀirina	1
Nagib	6	Smjer	1
Nagib	1	ŀirina	3
Smjer	1	ŀirina	7

Prema subjektivnoj procjeni dodijeljeni su intenziteti vaĀnosti. LTS-u je dodijeljena meĀuvrijednost izmeĀu slabe i jake dominacije nad nagibom zbog toga ŀto Āe biciklisti vjerojatno preferirati sigurniju infrastrukturu za voĀnju sa veĀim nagibom nego onu sa veĀim

prometnim stresom i manjim nagibom. LTS ima apsolutnu dominaciju s obzirom na smjer kretanja vozila zbog toga što biciklistima neće biti važno je li ulica jednosmjerna ili dvosmjerna ako se osjećaju sigurno u vožnji. S obzirom na širinu prometnice, LTS ipak ima slabu dominaciju jer je bitno koliki prostor biciklisti imaju za kretanje po prometnici, a što je prometnica šira, to više mjesta imaju i biciklisti. Nagibu je dodijeljena međuvrijednost između jake i demonstrirane dominacije u odnosu na smjer jer vožnja po jakom nagibu stvara više stresa nego smjer kretanja vozila. Sa druge strane, širina prometnice ima slabu dominaciju nad nagibom jer će vjerojatno biciklisti ipak radije imati više prostora za kretanje bez obzira na nagib. Širina ima demonstriranu dominaciju nad smjerom kretanja jer je biciklistima puno važniji prostor za vožnju od smjera kretanja vozila.

Na temelju tako dobivenih kriterija izračunati su prioriteta parova pomoću AHP kalkulatora prioriteta (Slika 40).

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?							
1	<input checked="" type="radio"/> LTS <input type="radio"/> Nagib	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> LTS <input type="radio"/> Smjer	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> LTS <input type="radio"/> Širina	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Nagib <input type="radio"/> Smjer	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
5	<input type="radio"/> Nagib <input checked="" type="radio"/> Širina	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input type="radio"/> Smjer <input checked="" type="radio"/> Širina	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
CR = 7.5% OK										

Slika 40: AHP kalkulator prioriteta [33]

Omjer konzistencije iznosi 7,5% odnosno 0,075 što je manje od 0,10, dakle rangiranje se smatra zadovoljavajuće konzistentnim.

Na Slici 41 prikazani su prioriteta i težinski koeficijenti za svaki kriterij.

Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	LTS	54.4%	1	18.6%	18.6%
2	Nagib	14.3%	3	5.6%	5.6%
3	Smjer	3.9%	4	1.4%	1.4%
4	Širina	27.5%	2	9.8%	9.8%

Number of comparisons = 6
Consistency Ratio CR = 7.5%

Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4
1	1	4.00	9.00	3.00
2	0.25	1	6.00	0.33
3	0.11	0.17	1	0.14
4	0.33	3.00	7.00	1

Principal eigen value = 4.205
Eigenvector solution: 6 iterations, delta = 4.9E-9

Slika 41: Prioriteti odnosno težinski koeficijenti [33]

Izračunati prioriteti jednaki su težinskim koeficijentima kojim se množe klase razine prometnog stresa svakog kriterija (LTS_f, LTS_n, LTS_s, LTS_d):

- Razina prometnog stresa po Furthovoj metodi: $w_F = 0.544$
- Uzdužni nagib dionice: $w_N = 0,143$
- Smjer kretanja vozila: $w_S = 0,039$
- Širina prometnice: $w_D = 0,275$

U atributnoj tablici dodaju se nova četiri atributa, a to su otežane razine prometnog stresa za svaki od ulaznih kriterija. Dobiveni su kao rezultat množenja klasa razine prometnog stresa sa težinskim koeficijentima:

- Otežani LTS_f = $Lts_f * w_F$
- Otežani LTS_n = $Lts_n * w_N$
- Otežani LTS_s = $Lts_s * w_S$
- Otežani LTS_d = $Lts_d * w_D$

Zbrojem svih otežanih razina prometnog stresa dobije se konačna razina prometnog stresa po svakoj dionici prometnice, odnosno modificirana razina prometnog stresa LTS_M. Na Slici 42 prikazan je dio atributne tablice sa novim atributima i konačnom razinom prometnog stresa.

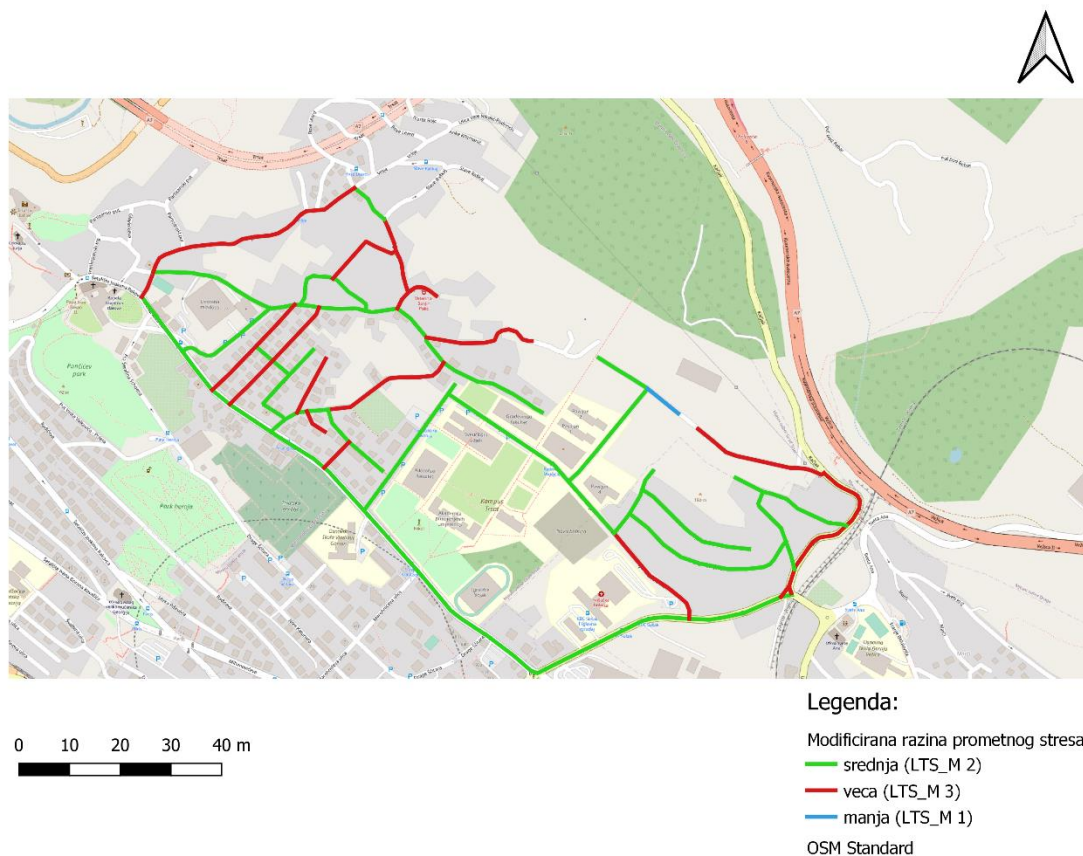
Prometnice — Features Total: 40, Filtered: 40, Selected: 0

a	Smjer	LTS	Nagib_pct	LTS_f	LTS_n	LTS_s	LTS_d	Ot_LTS_f	Ot_LTS_n	Ot_LTS_s	Ot_LTS_d	LTS_M
1	9,00 Dvosmjerna	2	1,32	2	1	3	1	1,088	0,143	0,117	0,275	1,62
2	7,50 Dvosmjerna	3	8,20	3	3	3	2	1,632	0,429	0,117	0,55	2,73
3	7,00 Dvosmjerna	3	2,67	3	1	3	2	1,632	0,143	0,117	0,55	2,44
4	3,00 Jednosmjerna	2	10,96	2	4	1	4	1,088	0,572	0,039	1,100	2,80
5	4,50 Dvosmjerna	2	1,11	2	1	3	3	1,088	0,143	0,117	0,825	2,17
6	5,00 Jednosmjerna	2	5,07	2	2	1	3	1,088	0,286	0,039	0,825	2,24
7	4,50 Dvosmjerna	2	0,15	2	1	3	3	1,088	0,143	0,117	0,825	2,17
8	6,00 Dvosmjerna	1	4,14	1	2	3	2	0,544	0,286	0,117	0,55	1,50
9	6,00 Dvosmjerna	1	2,13	1	1	3	2	0,544	0,143	0,117	0,55	1,35
10	6,00 Dvosmjerna	3	5,84	3	2	3	2	1,632	0,286	0,117	0,55	2,59
11	7,00 Dvosmjerna	3	3,87	3	2	3	2	1,632	0,286	0,117	0,55	2,59
12	10,00 Dvosmjerna	2	6,80	2	3	3	1	1,088	0,429	0,117	0,275	1,91
13	5,00 Dvosmjerna	1	8,12	1	3	3	3	0,544	0,429	0,117	0,825	1,92
14	3,00 Dvosmjerna	1	2,12	1	1	3	4	0,544	0,143	0,117	1,100	1,90
15	5,00 Jednosmjerna	1	4,37	1	2	1	3	0,544	0,286	0,039	0,825	1,69
16	5,00 Jednosmjerna	1	8,89	1	3	1	3	0,544	0,429	0,039	0,825	1,84
17	6,00 Jednosmjerna	1	9,80	1	4	1	2	0,544	0,572	0,039	0,55	1,71
18	3,00 Dvosmjerna	2	6,28	2	3	3	4	1,088	0,429	0,117	1,100	2,73
19	4,00 Dvosmjerna	2	2,39	2	1	3	3	1,088	0,143	0,117	0,825	2,17

Show All Features

Slika 42: Dio atributne tablice sloja prometnice.shp

Dobiveni modificirani LTS razlikuje se od LTS-a dobivenog samo po Furthovoj metodi zbog toga što je sada u obzir uzeto više kriterija koji utječu na razinu prometnog stresa kod biciklista. LTS po Furthovoj metodi dobiven je samo na temelju brzine i broja traka, a konačni LTS je u ovisnosti i o LTS-u po Furthovoj metodi te nagibu, smjeru i širini prometnice. Zbog toga se modificirani LTS_M na nekim dionicama malo povećao, a na drugima smanjio, ovisno o tome koliki je intenzitet važnosti dodijeljen pojedinom kriteriju. Također, vrijednosti su postale preciznije, odnosno cijeli brojevi su se sveli na decimalne. Na karti (Slika 43) prikazana je modificirana razina prometnog stresa LTS_M na prometnicama, klasificirana u tri klase: manja, srednja i veća razina prometnog stresa. Manja razina prometnog stresa kreće se u vrijednostima od 1,35 do 1,49 (LTS_M 1), srednja razina u vrijednostima od 1,50 do 2,49 (LTS_M 2) i veća razina od 2,50 do 2,80 (LTS_M 3). Tako dobivene modificirane vrijednosti u skladu su s opisom razina prometnog stresa u Tablici 1.



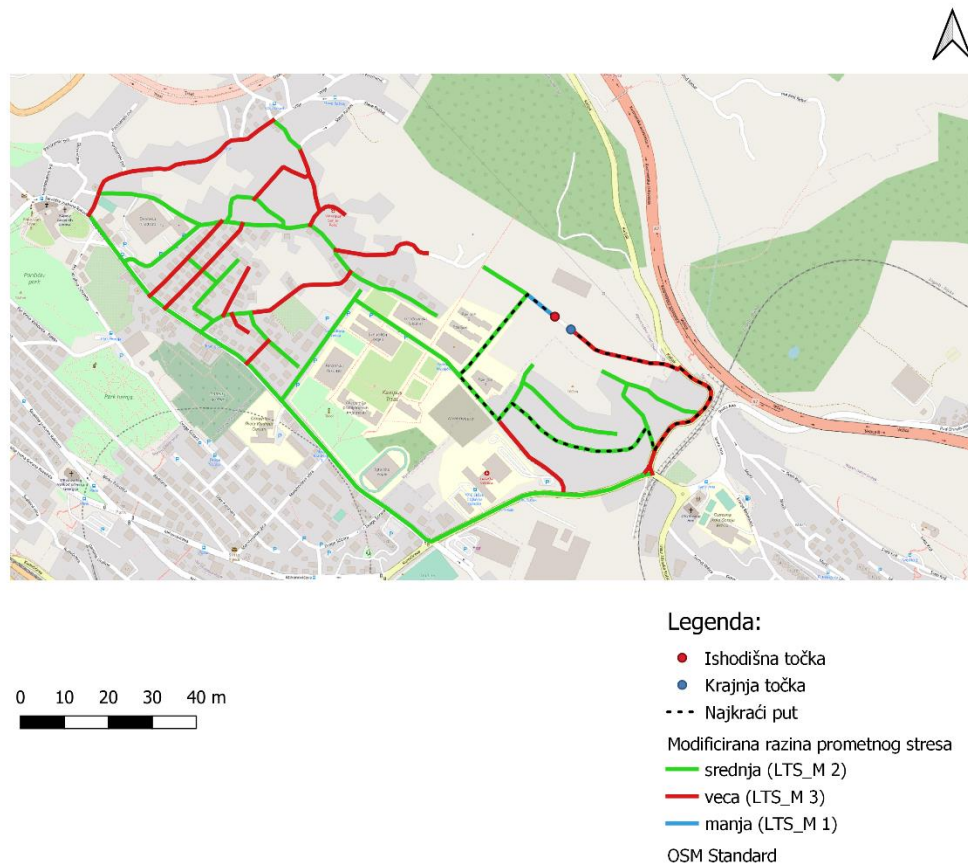
Slika 43. Modificirana razina prometnog stresa LTS_M

Karta prikazuje prometnice u bojama s obzirom na razinu prometnog stresa: zelena boja za srednju razinu, crvena za veću i plava za manju. Najveću razinu prometnog stresa imaju uglavnom manje stambene ulice koje su dosta uske i problematične u kombinaciji sa motornim prometom. Isto tako, one ulice koje su jako prometne, gdje su veće brzine i nema puno prostora za bicikliste uz veći nagib, predstavljaju veću razinu prometnog stresa. Srednja razina stresa predstavlja prometnice koje nisu jako nepogodne, ali se možda neiskusniji biciklisti neće upustiti u vožnju po njima ili im neće biti jako ugodna vožnja. Prometnice koje su pogodne za ugodnu i sigurnu vožnju biciklom predstavljaju manju razinu stresa. Među odabranim prometnicama, takva je samo jedna.

7.2. Analiza razine prometnog stresa na najkraćem putu

Za odabranu ishodišnu i krajnju točku određena je razina prometnog stresa na dionici prometnice primjenom mrežne analize (alat za određivanje najkraćeg puta). Na Slici 44

prikazana je karta modificirane razine prometnog stresa sa najkraćim putem između dvije točke.



Slika 44: Najkraći put između dvije točke

U atributnoj tablici (Slika 45) selektirane su prometnice najkraćeg puta između dvije točke. S obzirom da svaka prometnica ima svoju razinu prometnog stresa, ukupna razina prometnog stresa najkraćeg puta je ona koja je najnepovoljnija, dakle u ovom slučaju veća razina prometnog stresa (LTS_M 3).

Modificirana razina prometnog stresa — Features Total: 53, Filtered: 53, Selected: 9

	LTS	Nagib_pct	LTS_f	LTS_n	LTS_s	LTS_d	Ot_LTS_f	Ot_LTS_n	Ot_LTS_s	Ot_LTS_d	LTS_M	Klasa
1	2	1,32	2	1	3	1	1,088	0,143	0,117	0,275	1,62	srednja
2	1	4,14	1	2	3	2	0,544	0,286	0,117	0,55	1,50	srednja
3	1	2,13	1	1	3	2	0,544	0,143	0,117	0,55	1,35	manja
4	3	5,84	3	2	3	2	1,632	0,286	0,117	0,55	2,59	veca
5	3	3,87	3	2	3	2	1,632	0,286	0,117	0,55	2,59	veca
6	3	3,87	3	2	3	2	1,632	0,286	0,117	0,55	2,59	veca
7	1	8,12	1	3	3	3	0,544	0,429	0,117	0,825	1,92	srednja
8	1	4,37	1	2	1	3	0,544	0,286	0,039	0,825	1,69	srednja
9	1	9,80	1	4	1	2	0,544	0,572	0,039	0,55	1,71	srednja
10	2	1,32	2	1	3	1	1,088	0,143	0,117	0,275	1,62	srednja
11	2	6,80	2	3	3	1	1,088	0,429	0,117	0,275	1,91	srednja
12	2	5,78	2	2	3	1	1,088	0,286	0,117	0,275	1,77	srednja
13	2	1,09	2	1	1	3	1,088	0,143	0,039	0,825	2,09	srednja
14	2	4,75	2	2	1	3	1,088	0,286	0,039	0,825	2,24	srednja
15	2	5,16	2	2	1	2	1,088	0,286	0,039	0,55	1,96	srednja
16	2	3,34	2	2	1	2	1,088	0,286	0,039	0,55	1,96	srednja
17	2	3,20	2	2	3	4	1,088	0,286	0,117	1,100	2,59	veca
18	2	1,76	2	1	3	4	1,088	0,143	0,117	1,100	2,45	srednja

Show All Features

Slika 45: Atributna tablica sa prikazanim razinama prometnog stresa (LTS_M) svake prometnice najkraćeg puta

8. ZAKLJUČAK

Jedan od ciljeva rada bila je prikazati prostorni položaj razine prometnog stresa po prometnim dionicama. Početna očekivanja za pogodnost biciklističke infrastrukture s obzirom na razinu prometnog stresa na odabranim dionicama nisu bila velika zbog toga što ni jedna prometnica nema izgrađenu infrastrukturu namijenjenu biciklistima i nema puno biciklista koji ih svakodnevno koriste. No, rezultat je pokazao da neke od prometnica imaju potencijala te bi uz intervencije mogle postati poželjne za svakodnevno korištenje bicikla kao prijevoznog sredstva.

Korištenje GIS-a je puno pomoglo u problematici zadatka za lakše razumijevanje i prikaz prostornog problema. Uz odgovarajuće metode jednostavno se dolazi do željenog cilja. Rezultati razine prometnog stresa dobiveni Furthovom metodom bazirani su na brzini i broju prometnih traka te je po tim kriterijima većina prometnica kategorizirana kao LTS 1 i 2, što predstavlja male prometne stresove. Dodavanjem više kriterija (uključujući i dobiveni LTS Furthovom metodom) i korištenjem AHP metode dobiva se konačni modificirani LTS_M koji pokazuje da ipak dominiraju prometnice LTS-a 2 i 3 (manje stresne i stresne). Tako je dobivena jasnija i potpunija slika razine stresa na odabranim prometnicama.

LITERATURA

- [1] Andrews, E.: The Bicycle's Bumpy History, <https://www.history.com/news/bicycle-history-invention>, pristup 23.08.2021.
- [2] CIVITAS (2013): *Enabling Cycling Cities: Ingredients for Success*. CIVITAS MIMOSA – a collaborative project of the CIVITAS Initiative.
- [3] CIVITAS (2020): *Smart choices for cities: Cycling in the City*. CIVITAS WIKI Policy Analysis Series.
- [4] European Cyclists' Federation (2020): EU Cycling Strategy.
- [5] RICIKLETA sustav Grada Rijeke, <http://ricikleta.rijeka.hr>, pristup 10.07.2021.
- [6] RiPortal: <https://riportal.net.hr/kako-su-wolt-glovo-i-pauzago-transformirali-dostavu-sto-su-zapravo-donijeli-gradovima>, pristup 07.07.2021.
- [7] Zakon o cestama, Narodne Novine, 84, 2011 (NN 84/11)
- [8] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne Novine, 67, 2008 (NN 67/08)
- [9] Pravilnik o biciklističkoj infrastrukturi, Narodne Novine, 28, 2016 (NN 28/16)
- [10] Parenzana: *Projekt Parenzana - biciklistički put*, <https://www.parenzana.net/hr/naslovna/5770>, pristup 8.07.2021.
- [11] ESRI Community: Overview, <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, pristup 10.07.2021.
- [12] Terlević, S., *Primjena GIS alata i izradi prostornih planova*, diplomski rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, 2019.
- [13] Caliper: Maptitude Mapping Software https://www.caliper.com/maptitude/gis_software/default.htm, pristup 20.08.2021.
- [14] QGIS: Discover QGIS, <https://www.qgis.org/en/site/>, pristup 20.08.2021.
- [15] Curtin, Kevin M., *Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections*, Cartography and Geographic Information Science, Research Gate, 2007.
- [16] ESRI, ArcGIS Pro: Topology basics, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/2.7/help/data/topologies/topology-basics.htm>, pristup 21.08.2021.
- [17] Horvat, B. (2020): GIS u planiranju komunalne infrastrukture. Nastavni materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, nepublicirano.
- [18] Fischer, M. M. (2003): *GIS and Network Analysis*. U: Handbook 5 Transport Geography and Spatial Systems (ur. Hensher, D., Button, K., Haynes, K., Stopher, P.), Pergamon.

- [19] GISGeography: 5 Types of Network Analysis in GIS, <https://gisgeography.com/network-analysis/>, pristup 08.07. 2021.
- [20] Alta: *Level of Traffic Stress — What it Means for Building Better Bike Networks*, <https://blog.altaplanning.com/level-of-traffic-stress-what-it-means-for-building-better-bike-networks-c4af9800b4ee>, pristup 20.08.2021.
- [21] Furth, P.G. (2008): *On-Road Bicycle Facilities for Children and Other „Easy Riders“: Stress Mechanisms and Design Criteria*. TRB Annual Meeting compendium DVD.
- [22] Sorton, A., Walsh, T. (1994): *Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility*. Transportation Research Record 1438, 17-24.
- [23] Furth, P.G., Mekuira, M. C. (2013): *Network Connectivity for Low-Stress Bicycling*. TRB Annual Meeting Compendium of Papers.
- [24] Thistle, I: *Build it (2016): A Feasibility Study of GIS-Based Analyses of Cycling Infrastructure*, Tufts University.
- [25] ZacharyShahan.com: *Off-Road Bike Paths Needed, Another Study Finds* <http://zacharyshahan.com/off-road-bike-paths-needed-another-study-finds/>, pristup 20.08.2021.
- [26] Flax, P.: *The Deadly Problem with Bike Lanes*, <https://www.outsideonline.com/outdoor-adventure/biking/deadly-problem-bike-lanes/>, pristup 19.08.2021.
- [27] Ryan, S. and Nimick, E.: *Multi-Criteria Decision Analysis and GIS*, <https://storymaps.arcgis.com/stories/b60b7399f6944bca86d1be6616c178cf>, pristup 25.08.2021.
- [28] Deluka – Tibljaš, A. (2019): *Prometna tehnika: Vrednovanje prostorno - promentih rješenja*. Nastavni materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, nepublicirano.
- [29] Horvat, B. (2021): *Analitički hijerarhijski proces*. Nastavni materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, nepublicirano.
- [30] Atanasova–Pachemska, T., Lapevski, M., Timovski, R.: *Analytical hierarchical process (ahp) method application in the process of selection and evaluation*, International Scientific Conference “UNITECH 2014”, Gabrovo.
- [31] Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- [32] Bhushan, N., Rai, K. (2004): *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. Springer, Berlin, 9, 11-21.
- [33] Goepel, K. D. (2019): *AHP Priority Calculator*. BPMSG (Business Performance Management Singapore, <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>.

- [34] Malczewski, M (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley& Sons.
- [35] Deluka Tibljaš, A. (2020): Promet u gradovima. Nastavni materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, nepublicirano.
- [36] Mikolić, A. (2015): CAD 2 GIS: Urban planning 4 citizens, Institut za GIS.
- [37] Vlada Republike Hrvatske: Prostorni podaci, <https://gov.hr/hr/prostorni-podaci/1304>, 10.07.2021.
- [38] OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/about>, pristup 10.07.2021.