

Procjena i kartografska vizualizacija pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu

Bošnjak, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy / Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:058317>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-17**



Repository / Repozitorij:

repozitorij.geof.unizg.hr/en



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET**

Mateo Bošnjak

**Procjena i kartografska vizualizacija
pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Mateo Bošnjak ♦ **DIPLOMSKI RAD** ♦ 2024.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEODETSKI FAKULTET

Mateo Bošnjak

**Procjena i kartografska vizualizacija
pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1_349_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

IZJAVLJUJEM

Ja, **Mateo Bošnjak**, (JMBAG: 0007182536), rođen/a dana 13.06.2000. u Virovitici, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta / studentice

I. AUTOR	
Ime i prezime:	Mateo Bošnjak
Datum i mjesto rođenja:	13. 06. 2000., Virovitica, Republika Hrvatska
II. DIPLOMSKI RAD	
Naslov:	Procjena i kartografska vizualizacija pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu
Broj stranica:	50
Broj tablica:	3
Broj slika:	10
Broj bibliografskih podataka:	24+27 URL-a
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Mentor:	doc. dr. sc. Ana Kuveždić Divjak
Komentor:	/
Voditelj:	Karlo Kević, mag. ing. geod. et geoinf.
III. OCJENA I OBRANA	
Datum zadavanja teme:	12.01.2024.
Datum obrane rada:	05. 07. 2024.
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	doc. dr. sc. Ana Kuveždić Divjak
	doc. dr. sc. Vanja Miljković
	izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić

Zahvala

Ovim putem se želim zahvaliti svojoj mentorici doc. dr. sc. Ani Kuveždić Divjak i voditelju mag. ing. geod. et geoinf. Karlu Keviću na velikoj stručnoj i profesionalnoj pomoći. Svojim znanjem, savjetima i stručnim vođenjem su omogućili da ovaj diplomski rad bude besprijeckorno napravljen i na tome im od srca zahvaljujem.

Procjena i kartografska vizualizacija pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu

Sažetak: Ovaj diplomski rad procjenjuje pješačku pristupačnost u Gradu Zagrebu koristeći GIS i otvorene podatke te vizualizira rezultate primjenom otvorenih web-kartografskih tehnologija. Indeksi pješačke pristupačnosti izračunati su pomoću softverskog dodatka OS-WALK-EU za sve gradske četvrti iz perspektive različitih korisnika: stanovnika, zaposlenika i turista. Rezultati pokazuju visoku pristupačnost u centru grada (Donji Grad), koja opada prema rubnim dijelovima, osobito u Podsusedu – Vrapču i Sesvetama.

Izrađena interaktivna web-karta omogućuje istraživanje i usporedbu pješačke pristupačnosti među četvrtima, pružajući vrijedne uvide za urbaniste i građane. Ovo istraživanje ističe potencijal GIS-a i otvorenih podataka u urbanističkom planiranju te sugerira daljnje studije koje bi uključivale detaljnije demografske podatke i napredne tehnologije praćenja za preciznije procjene i podršku održivom urbanom razvoju.

Ključne riječi: pješačka pristupačnost, GIS, otvoreni podaci, OS-WALK-EU, web-karta, Zagreb

Assessment and Cartographic Visualization of Walkability in the City of Zagreb

Abstract: This thesis evaluates the walkability of the city of Zagreb using GIS and open data and visualizes the results through open web mapping technologies. Using the OS-WALK-EU plugin, walkability indices were calculated for all city districts from the perspective of different users: residents, employees and tourists. The results indicate high accessibility in the city center (Donji Grad), which decreases towards the outskirts, especially in Podsused – Vrapče and Sesvete.

An interactive web map was developed to investigate and compare pedestrian accessibility in the different parts of the city, providing valuable insights for urban planners and residents. This study highlights the potential of GIS and open data in urban planning and encourages further research involving detailed demographic data and advanced tracking technologies for more accurate assessments and supporting sustainable urban development.

Keywords: walkability, GIS, open data, OS-WALK-EU, web map, Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PROCJENA PJEŠAČKE PRISTUPAČNOSTI: DEFINICIJE I TEORIJSKO- METODOLOŠKE SMJERNICE.....	4
2.1 Koncept pješačke pristupačnosti i čimbenici urbanog prostora.....	4
2.2 Metodološke smjernice za procjenu pješačke pristupačnosti	6
2.3. Indikatori procjene pješačke pristupačnosti.....	7
2.4. Dimenzije okoline u procjeni pješačke pristupačnosti	8
3. VIZUALIZACIJA PJEŠAČKE PRISTUPAČNOSTI: POSTOJEĆI PRISTUPI I TEHNIKE U TEMATSKOJ KARTOGRAFIJI	9
3.1. Uloga i mogućnosti tematskih karata u istraživanju pješačke pristupačnosti.....	9
3.2. Postojeće tehnike tematske kartografije za vizualizaciju pješačke pristupačnosti.....	11
4. METODOLOGIJA	17
4.1. Otvoreni skupovi prostornih podataka za procjenu pješačke pristupačnosti.....	18
4.1.1. Volonterski izvor otvorenih podataka: <i>OpenStreetMap</i>	19
4.1.2. Vladini izvori otvorenih podataka	19
4.2. Procjena pješačke pristupačnosti pomoću <i>GIS</i> -a	20
4.2.1. <i>OS-WALK-EU</i>	21
4.3. Kartografska vizualizacija pješačke pristupačnosti: tehnologije, arhitektura i alati za web- kartografiju	24
4.3.1. Tehnologija za izradu web karte.....	24
4.3.2. Arhitektura web karte.....	25
4.3.3. Sastav web karte	26
4.3.4. Alati i platforme za web kartografiju	27
4.3.5. Kartografska platforma <i>Mapbox</i>	27
4.3.6. Upotreba <i>HTML</i> -a, <i>CSS</i> -a, <i>JavaScripta</i> i <i>JS Bina</i> za izradu web-karte	28

5. PRAKTIČNI DIO	30
5.1. Područje istraživanja	30
5.2. Tijek izrade	31
5.3. Priprema alata i prikupljanje podataka	32
5.4. Priprema podataka za analizu	33
5.5. Konfiguracija alata za analizu pješačke pristupačnosti	35
5.6. Izvođenje analize pješačke pristupačnosti, optimizacija i iteracija postupka	36
5.8. Oblikovanje kartografskih stilova za prikaz podataka na karti	37
5.9. Implementacija karte	38
5.10. Dodavanje interaktivnih elemenata	39
5.11. Testiranje, optimizacija, objavljivanje i implementacija	42
6. REZULTATI I RASPRAVA	44
7. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA	51
INTERNETSKI IZVORNICI	53
POPIS SLIKA	56
POPIS TABLICA	57
PRILOZI	57

1. UVOD

Urbanizacija je rastući globalni trend, s više od polovice svjetske populacije koja sada živi u urbanim područjima (Dovey i Pafka, 2020). Takva promjena pridonosi značajnom pritisku na urbanu infrastrukturu, okoliš i ukupnu kvalitetu života, zahtijevajući strateške promjene u upravljanju gradovima. Grad Zagreb, kao glavni grad Hrvatske, nije iznimka od ovog trenda. Kako bi se suočili s izazovima koje donosi rastuća urbana populacija, mnogi gradovi prihvaćaju pametno planiranje i teže razvoju održivijih i otpornijih urbanih okruženja (Dovey i Pafka, 2020). Hodanje i vožnja bicikla, kao oblici "zelenog" transporta, posebno su važni u ovom kontekstu, podržavajući koncept održivih gradova.

Koncept urbane pješačke pristupačnosti zauzima ključnu ulogu na spoju niza multidisciplinarnih polja koja povezuju urbanističko planiranje sa širim pitanjima javnog zdravlja, klimatskih promjena, ekonomske produktivnosti i društvene jednakosti (Dovey i Pafka, 2020). Pješačku pristupačnost je teško definirati, a u profesionalnim, istraživačkim i javnim raspravama taj se pojam koristi za označavanje nekoliko različitih fenomena. Neke rasprave fokusiraju se na karakteristike okoliša ili načine stvaranja prostora pogodnih za hodanje. Druge se bave ishodima koje takva okruženja mogu potaknuti, poput oživljavanja mjesta, poboljšanja održivih prometnih opcija i poticanja tjelesne aktivnosti.

Pojam pješačke pristupačnosti sve je više zastupljen u znanstvenoj zajednici koja korištenjem suvremenih tehnologija, koncepta otvorenih podataka i novih metodoloških pristupa pokušava unaprijediti postojeću praksu urbanog planiranja. Cilj takvih pristupa je stvoriti za život ugodna okruženja te razvoj gradova usmjeriti prema konceptima održivosti koji se u velikoj mjeri oslanjaju na ekološki prihvatljivu mobilnost – pješacenje. Osim što procjena pješačke pristupačnosti može poslužiti za određivanje razine prilagođenosti urbane sredine pješacima te biti osnova za buduća urbana planiranja, može poslužiti i za praćenje napretka i ostvarivanja ciljeva urbanog razvoja. Zbog toga je potrebno provoditi periodične procjene stanja urbanog okoliša kako bi se na podacima utemeljenim, objektivnim rezultatima mogle donositi ciljane buduće odluke.

Kartografska vizualizacija rezultata procjene pješačke pristupačnosti ima mogućnost prostorne kontekstualizacije koja može osigurati bolje razumijevanje okolnosti koje utječu na rezultate. Za razliku od tabličnog ili grafičkog iskazivanja mjera pješačke pristupačnosti, prikaz na

primjerice tematskim kartama ima mogućnost razumijevanja prostornih odnosa i međusobne uvjetovanosti. S druge strane, razvijenost tehnika tematskog kartiranja iskazuje sposobnost kartografske vizualizacije da odgovori na različite zahtjeve korisnika, ali i da ponudi različite mogućnosti prikaza istih podataka. Time kartografska vizualizacija postaje nezaobilazno sredstvo za ekstrahiranje informacija koje se u drugačijim iskazivanjima rezultata možda ne bi mogle dobiti.

S obzirom na važnost pješačke pristupačnosti za kvalitetu urbanog života i mogućnosti tematske kartografije, ciljevi i zadaci ovog diplomskog rada su:

(C1) Pristupom temeljenim na GIS-u i otvorenim podacima, na području gradskih četvrti Grada Zagreba izraditi procjenu pristupačnosti prostora pješaku:

- Identificirati izvore i prikupiti potrebne otvorene prostorne podatke.
- Primjenom odgovarajuće metodologije kvantificirati mjeru pješačke pristupačnosti.
- Identificirati faktore koji utječu na razinu pješačke pristupačnosti.

(C2) Pristupom temeljenim na otvorenim tehnologijama za izradu web-karata, dobivene kvantificirane rezultate pješačke pristupačnosti vizualizirati na interaktivnoj web-karti:

- Oblikovati interaktivno okruženje za bolje razumijevanje i interpretaciju rezultata.
- Implementirati web-kartu koja omogućuje korisnicima pregledavanje, usporedbu i interaktivno istraživanje procijenjenih vrijednosti pristupačnosti prostora pješaku u različitim gradskim četvrtima.
- Omogućiti korisnicima pristup dodatnim informacijama o pojedinim točkama od interesa te razumijevanje prostorne distribucije pješačke pristupačnosti.

Postavljeni ciljevi imaju za svrhu istražiti pojam pješačke pristupačnosti, odrediti što utječe na pješačku pristupačnost i koje tehnike i pristupi kartografskoj vizualizaciji imaju najveći potencijal za interpretaciju dobivenih rezultata. S tim u cilju, diplomski rad podijeljen je u nekoliko dijelova. Razumijevanje koncepta pješačke pristupačnosti kao i postojeći metodološki pristupi procjene tema su drugog poglavlja. U trećem poglavlju dan je osvrt na mogućnosti tehnika tematskog kartiranja i postojećim primjerima tematskih karata za iskazivanje rezultata procjene pješačke pristupačnosti. Poglavlje četvrto bavi se tehnologijom, arhitekturom i alatima

za kreiranje interaktivnih web tematskih karata, dok je u petom poglavlju naglasak stavljen na praktičnu provedbu procjene i vizualizacije. Dobiveni rezultati i interpretacija rezultata opisani su u šestom poglavlju, a sedmo poglavlje daje osvrt na ishode istraživanja i mogućnosti izrade karte primjenom otvorenih tehnologija na webu.

2. PROCJENA PJEŠAČKE PRISTUPAČNOSTI: DEFINICIJE I TEORIJSKO-METODOLOŠKE SMJERNICE

Koncept pješačke pristupačnosti u urbanim sredinama svojom širinom seže u različita područja znanosti što rezultira varijacijama u njegovoj interpretaciji i posljedično procjeni. Ovo poglavlje bavi se definicijom pojma pješačke pristupačnosti u kontekstu ovog diplomskog rada te daje osvrt na vanjske čimbenike, metodološke pristupe i indikatore koji se koriste za procjenu pješačke pristupačnosti u urbanim područjima.

2.1 Koncept pješačke pristupačnosti i čimbenici urbanog prostora

Suvremeno društvo se uslijed povećanja urbanizacije susreće sa sve većim problemima očuvanja i unaprjeđenja kvalitete života u urbanim sredinama. Zbog toga se upravljanje urbanim sredinama okreće konceptu održivih i otpornih gradova koji potencijalno rješenje vide u ekološki prihvatljivoj mobilnosti, npr. pješačenju. Procjena koliko je neka urbana sredina prilagođena pješacima obično se izražava mjerom pješačke pristupačnosti (*engl. walkability*). Pješačka pristupačnost nije jednoznačno definiran pojam i pristup njenoj procjeni uvelike ovisi o perspektivi razmatranja, primjerice utjecaj pješačenja na zdravlje ljudi ili prilagođenost urbanog prostora osobama s invaliditetom. S obzirom na raspon čimbenika čiji se utjecaj može očekivati, pješačka pristupačnost ima mogućnost sagledati višestruke aspekte utjecaja urbanog prostora na pješačku mobilnost.

Prema dostupnoj literaturi (Knapskog i dr., 2019; Singh, 2016) pješačka pristupačnost uvjetovana je različitim čimbenicima urbanog prostora koji u manjoj ili većoj mjeri uvjetuju pješačku mobilnost. Najčešće, ti se čimbenici mogu podijeliti u tri osnovne skupine (Knapskog i dr. 2019): infrastruktura i prometni aspekt, urbanizam te okolina i aktivnost.

Infrastruktura i prometni aspekt uglavnom se odnose na fizičke mogućnosti kretanja pješaka kroz prostor (Knapskog i dr., 2019), a prema svojstvima čimbenika mogu se razlikovati dvije vrste utjecaja: (1) utjecaj cjelokupne infrastrukture i prometa na doživljaj kretanja pješaka i (2) prilagođenost infrastrukture pješačkom kretanju. Prva vrsta utjecaja vezana je uz dojam pješaka u kontekstu drugih oblika mobilnosti (npr. motornih vozila) te se odnosi primjerice na povećano trajanje putovanja za pješake uslijed obilaznih ruta pješačenja ili razinu zvučnog onečišćenja

uzrokovanog prometnim tokovima i brzinama (Knapskog i dr., 2019). S druge strane, prilagođenost infrastrukture pješačkom kretanju može se smatrati preduvjetom pješačke pristupačnosti jer iskazuje u kojoj mjeri je postojeća infrastruktura prilagođena pješacima (npr. izgrađeni pločnici, pješački prijelazi). U ovu skupinu spadaju veličina mreže pješačkih staza i njihove karakteristike (Knapskog i dr., 2019). Kao reprezentativni primjeri mogu se spomenuti povezanost pješačkih ruta s javnim gradskim prijevozom ili kategorizacija prometnica kao cesta ili ulica u ovisnosti je li prioritet na automobilima ili pješacima (Newman i Kenworthy, 2015). Provedeno istraživanje (Koh i Wong, 2015) razlikuje jedanaest infrastrukturnih čimbenika pješačke pristupačnosti koja uključuju: zaštitu od vremenskih uvjeta, udaljenost, sigurnost, rizik od prometnih nesreća, gužvu, broj pješačkih prijelaza, nagib, obiliske, putokaze, lijep krajolik i trgovine duž rute. Pješacima je najvažnija sigurnost putovanja uz postojanje trgovina duž pješačkih ruta.

Druga skupina čimbenika – urbanistička svojstva, veže se uz ambijent urbane sredine koji utječe na pješakov doživljaj prostora. To uključuje konfiguraciju mreže ulica, veličinu blokova zgrada, zelene površine i sl. Primjerice, Whyte (1980) tvrdi da poslovne prostore ne bi trebalo smještati uz javnu ulicu jer smanjuju ugodnost prostora i negativno utječu na pješačku aktivnost. S druge strane, neki autori pješačku pristupačnost povezuju i s urbanom morfologijom i dostupnošću zelenih površina. Tako Hjorthol i dr. (2014) i Newman i Kenworthy (2016) zaključuju kako koherentna pješačka mreža može utjecati na pješačku mobilnost jer udaljenost za hodanje snažno utječe na to je li hodanje relevantan način dolaska na neku lokaciju. Sevstuk i dr. (2016) u svom istraživanju razinu pješačke pristupačnosti vezuju uz veličinu bloka zgrada te zaključuju kako manja veličina bloka ne znači uvijek i veću pješačku pristupačnost. Javne zelene površine prema Horaku i dr. (2022) imaju pozitivan utjecaj na kvalitetu boravka na otvorenom prostoru jer olakšavaju druženje, igranje i provođenje slobodnog vremena.

Posljednja skupina, okolina i aktivnosti, uključuje čimbenike poput količine, vrsta i varijacija sadržaja i aktivnosti na području razmatranja što utječe na to koliko je područje ili ulica ugodna za hodanje. Područje ili ulica karakterizirana s mnogo odredišta, aktivnosti i ljudi, mješavinom funkcija, živahnim gradskim životom, dobrim održavanjem, osjećajem sigurnosti i

jednostavnim orijentiranjem smatra se prohodnijom od ulica i područja bez navedenih karakteristika (Knapskog i dr., 2019).

Temeljem navedenog vidljivo je kako različiti čimbenici urbanog prostora utječu na pješačku pristupačnost. Međutim, pristupi vrednovanju tog utjecaja doveli su do razvoja velikog broja različitih metoda procjene pješačke pristupačnosti.

2.2 Metodološke smjernice za procjenu pješačke pristupačnosti

Zbog slojevitosti koncepta pješačke pristupačnosti, metodološki pristupi procjene se razlikuju i mogu biti kategorizirani prema različitim kriterijima.

Jedan od načina klasifikacije metodoloških pristupa utemeljen je na načinu prikupljanja i obrade podataka, a Telega i dr. (2021) ih prema tome dijele u četiri osnovne skupine:

1. metode temeljene na anketama, intervjuima i upitnicima (subjektivne),
2. metode s alatima za izravne procjene ili popisivanje (subjektivne),
3. metode temeljene na *GIS* alatima (objektivne),
4. mješovite metode.

Metode temeljene na anketama, intervjuima i upitnicima te metode s alatima za izravne procjene i popise temelje se na bilježenju subjektivnog doživljaja pješaka ili procjeni stručnih promatrača. S obzirom na subjektivnost prikupljenih podataka, dobiveni rezultati riskiraju pristranost zbog čega ovakve metode mogu imati ograničene mogućnosti primjene. Metode temeljene na *GIS* alatima koriste prostorne podatke kao osnovu za objektivnu procjenu. S obzirom da ulazni podaci nisu produkt subjektivnih dojmova pojedinaca, već se temelje na ustaljenim metodama prikupljanja podataka, rezultati imaju široku mogućnost praktične primjene. Nadalje, rezultati se dobivaju temeljem prostornih analiza zbog čega ih odlikuje nepristranost i objektivnost. Konačno, mješovite metode procjene pješačke pristupačnosti kombinacija su objektivnih i subjektivnih metoda i imaju mogućnost sagledavanja šire slike međuodnosa urbanog prostora i čovjeka. Osim što se temelje na prostornim analizama, mješovite metode uključuju kvantificirane subjektivne doživljaje ispitanika koji procjenu mogu nadopuniti i usmjeriti u točno određenom smjeru (Telega i dr., 2021).

Subjektivne metode mogu obuhvaćati različite karakteristike važne za određenu demografiju, bilo da se radi o mladoj, staroj ili radno aktivnoj populaciji zbog čega ih je teško precizno definirati. S druge strane, objektivne metode temeljene na GIS-u pružaju precizne i pouzdane rezultate koji se baziraju na objektivnim podacima i algoritmima što ih čini široko rasprostranjenima u primjeni.

2.3. Indikatori procjene pješačke pristupačnosti

Objektivne mjere pješačke pristupačnosti se s obzirom na indikatore koje koriste u prostornim analizama mogu podijeliti u tri osnovne skupine (Horak i dr., 2022): (1) mjere utemeljene na indikatorima okoliša, (2) mjere utemeljene na prostornoj dostupnosti i (3) mjere utemeljene na mješovitim indikatorima.

Indikatori temeljeni na okolišu izračunavaju lokalne urbane karakteristike vezane uz potencijal hodanja bez razmatranja mjere udaljenosti. Prema Horak i dr. (2022) najpoznatiji indeksi pješačke pristupačnosti koji koriste indikatore temeljene na okolišu su indeks pješačke pristupačnosti (*engl. Walkability Indeks, WAI*), indeks pješačkog potencijala (*engl. The Pedestrian Potential Indeks*) i nacionalni indeks pješačke pristupačnosti (*engl. National Walkability Indeks*). WAI indeks procjenjuje povezanost, heterogenost korištenja zemljišta, trgovačko područje i gustoću domaćinstava (Frank i dr., 2010). Povezanost govori o tome koliko su različite lokacije međusobno povezane i dostupne pješacima. Heterogenost korištenja zemljišta procjenjuje raznolikost uporabe zemljišta na određenom području. Gustoća domaćinstva mjeri broj stanova ili kuća na nekom području, dok se trgovačko područje odnosi na prisutnost različitih komercijalnih objekata. Indeks pješačkog potencijala razvijen na temelju WAI metodologije analizira gustoću stanovništva, brojnost raskrižja, raznolikost namjene zemljišta te gustoću dostupnih odredišta, a nacionalni indeks pješačke pristupačnosti uspoređuje zajednice korištenjem različitih elemenata poput: dizajna, udaljenosti od javnog prijevoza te raznolikost namjene zemljišta.

S druge strane, mjere pješačke pristupačnosti temeljene na indikatorima prostorne dostupnosti procjenjuju parametre putovanja u linijskoj mreži do odabranih destinacija. Najčešće korištena mjera pješačke pristupačnosti temeljena na indikatorima o prostornoj dostupnosti je rezultat hodanja (*engl. Walk Score, WS*). WS pronalazi najkraće rute od početne točke do točaka od

interesa te svakoj ruti primjenom funkcije smanjivanja udaljenosti, dodjeljivanjem težina i umanjivanjem rezultata za loše uvjete određuje vrijednost. Prednost ove mjere pješačke pristupačnosti je utemeljenost na stvarnoj mreži puteva, sustavu dodjeljivanja težina i funkciji smanjivanja udaljenosti.

Konačno, mjere utemeljene na mješovitim indikatorima kombiniraju uvjete okoliša i prostornu pristupačnost u jedinstvenu mjeru. Kombiniranjem objektivnih indikatora (uvjeti okoliša) s potencijalno subjektivnim (izbor kako i koje uvjete okoliša razmotriti), mješoviti indikatori imaju mogućnost sveobuhvatnijeg sagledavanja utjecaja urbanog prostora na pješačku mobilnost. Najpoznatiji primjeri mjera pješačke pristupačnosti temeljenih na mješovitim indikatorima su potencijal prostornog pješačenja (*engl. Area Walking Potential*), složeni indeks pješačke pristupačnosti (*engl. Peel Walkability Composite Indeks*), a u novije vrijeme i *OS-WALK-EU*. *OS-WALK-EU* procjenjuje indeks pješačke pristupačnosti korištenjem podataka o: gustoći stanovništva, pristupu različitim objektima (npr. bolnice, trgovine, škole itd.), lokacijama površina za rekreaciju i reljefu (Fina i dr., 2022)

2.4. Dimenzije okoline u procjeni pješačke pristupačnosti

Postoji raznolikost u pristupima definiranja dimenzija okoline koje utječu na pješake u urbanim sredinama. Najčešće se koriste pet dimenzija urbanog prostora prema Ewing i Cervero (2010) za koje se smatra da najbolje obuhvaćaju utjecaj prostora na pješačku mobilnost: gustoća (npr. stanovništva), raznolikost, dizajn, dostupnost destinacije, udaljenost do javnog prijevoza.

Pet dimenzija utjecaja urbanog okoliša na pješake služi kao osnova prilikom kreiranja prikladnih jednodimenzionalnih mjera pješačke pristupačnosti. *Gustoća* se obično mjeri indikatorima kao što su gustoća stanovništva, gustoća radnih mjesta ili omjer komercijalnog i ostalog prostora. *Raznolikost* se može izraziti kao kombinacija korištenja zemljišta ili kao omjer, npr. radnih mjesta i stanovanja. *Dizajn* uključuje prosječnu veličinu urbanih blokova, udio četverosmjernih raskrižja, broj raskrižja, udio zelenih (parkovi, šume) i plavih (vodenih) površina. *Dostupnost destinacija* mjeri jednostavnost pristupa različitim odredištima, a *udaljenost do javnog prijevoza* obično se mjeri kao prosjek najkraćih ruta od polazišta do najbliže stanice javnog prijevoza (Horak i dr., 2022).

3. VIZUALIZACIJA PJEŠAČKE PRISTUPAČNOSTI: POSTOJEĆI PRISTUPI I TEHNIKE U TEMATSKOJ KARTOGRAFIJI

S obzirom da je procjena pješačke pristupačnosti usko vezana uz prostor razmatranja, kartografska vizualizacija rezultata doprinosi njihovoj boljoj interpretaciji i razumijevanju. Na tom tragu, ovo poglavlje daje osvrt na načine kartografske vizualizacije rezultata procjene i za te svrhe najčešće korištenih tehnika tematskog kartiranja.

3.1. Uloga i mogućnosti tematskih karata u istraživanju pješačke pristupačnosti

Prostorni međuodnos čimbenika urbanog okoliša otvara mogućnost primjene kartografske vizualizacije za bolju interpretaciju rezultata procjene pješačke pristupačnosti. U tom kontekstu, tematske karte nameću se kao osnovno sredstvo vizualizacije upravo zbog svoje sposobnosti identifikacije uzoraka i trendova. Prema definiciji, tematske karte su kartografski prikazi najrazličitijih tema iz prirodnog i društvenog (privrednog, društvenog i kulturnog) područja, koje su neposredno vezane uz prostor (Lovrić, 1988). S obzirom na širok spektar tematskih karata, Lovrić (1988) predlaže osnovnu klasifikaciju prema njihovim obilježjima:

1. po svojstvima objekata prikaza,
2. po metodama istraživanja,
3. po oblicima i sredstvima prikaza,
4. po tematskim područjima.

Svojstva objekata prikaza na tematskoj karti obuhvaćaju karakteristike objekata kao što su geografski položaj, veličina, klasifikacija i funkcija. Ova svojstva omogućuju detaljan pregled prostornih fenomena i ključni su za razumijevanje specifičnih tema koje se prikazuju. Lovrić (1988) tematske karte s obzirom na svojstva objekata prikaza dalje dijeli na pet skupina u ovisnosti što se i na koji način prikazuje: (1) kvantitativne i (2) kvalitativne karte, (3) statičke i (4) dinamičke karte te (5) genetičke karte.

Kvantitativne karte pružaju informacije o kvantitativnim vrijednostima objekata („koliko je gdje?“) pri čemu vrijednosti mogu biti apsolutne ili relativne (u odnosu na neku drugu

vrijednost). Nasuprot tome, kvalitativne karte ističu kvalitativna svojstva objekata prikaza i pružaju informaciju o rasprostranju pojave i njenim vrstama. Statičke i dinamičke tematske karte razlikuju se po mogućnostima prikaza dostupnima korisniku karte. Za razliku od statičkih, gdje je pojava prikazana u točno određenom trenutku, dinamičke karte često prikazuju objekte koji se mijenjaju u prostoru i vremenu – imaju izraženu vremensku komponentu. Nasuprot njima, genetičke karte prikazuju genezu objekta, odnosno njegovo trenutno i prijašnje stanje ili više stanja u određenom trenutku, najčešće na odvojenim kartama (Lovrić, 1988)

Metode istraživanja u kontekstu tematskih karata vezane su uz načine prikupljanja podataka i analize koje su dovele do rezultata prikazanih na tematskim kartama. Na taj se način stvara dublji uvid u prostorne fenomene i njihove karakteristike. Tematske karte prema metodama istraživanja Lovrić (1988) dijeli u tri podskupine: (1) elementarno-analitičke, (2) kompleksno-analitičke i (3) sintezne.

Elementarno-analitičke i kompleksno-analitičke karte služe za analiziranje pojava ili fenomena u prostoru s razlikom kako elementarne analiziraju jednu skupinu istovrsnih objekata nasuprot kompleksnih koje analiziraju više skupina raznovrsnih objekata. Sintezne karte ne služe analiziranju već iskazivanju dodane vrijednosti (sinteze) koja je rezultat integracije više različitih podataka (Lovrić, 1988).

Podjela karata prema oblicima i sredstvima kartografskog prikaza razlikuje prirodu objekta prikaza (stvarni ili apstraktni) i sukladno tome primjerene oblike i sredstva prikazivanja. Tako se karte koje prikazuju stvarne objekte najčešće svrstaju u karte položaja i signaturne karte. Karte položaja karakterizira točan, tlocrtni prikaz objekata dok se na signaturnim kartama objekti prikazuju signaturama (simbolima). Prikaz apstraktnih objekata na tematskim kartama dijeli takve karte u šest osnovnih skupina od kojih su najznačajnije koropletna karta, karta vrijednosnih polja i karta pokreta. Koropletna karta izražava relativnu vrijednost pojave prikaza u odnosu na neku teritorijalnu jedinicu, karte vrijednosnih polja su karte izolacija koje spajaju mjesta iste vrijednosti i intenziteta dok karte pokreta grafičkim varijablama ukazuju na pokret i smjer objekta (Lovrić, 1988).

Za razliku od prethodnih podjela tematskih karata u kojima je naglasak stavljan na način kako je sadržaj oblikovan i kako pristup obradi podataka doprinosi boljem razumijevanju prikaza, podjela tematskih karata po tematskim područjima kategorizira ono što se prikazuje o odnosu

na konceptualne kategorije stvarnog svijeta. Prema tematskom sadržaju prikazanom na kartama Peterca i dr. (1974) dijeli tematske karte na (1) fizičko-geografske koje prikazuju prirodne pojave (npr. stanje atmosfere, slojeve tla), (2) društveno-ekonomske koje prikazuju društvene pojave i tehničke, primjerice vojne, zrakoplovne, pomorske.

Iako primarna podjela prema Peterci i dr. (1974) može okvirno razaznati tematiku prikaza, širina svake pojedine teme dovodi do daljnjih podjela. Tako se primjerice društveno ekonomske karte dalje dijele na karte naselja, stanovništva ili planerske karte. Svaka od tih karata ima specifičnu svrhu pa se tako planerske karte koriste za vizualizaciju prijedloga planiranih zahvata u prostoru.

Široka podjela tematskih karata ukazuje na mogućnost tematske kartografije da odgovori na specifične zahtjeve korisnika. S obzirom na tematiku diplomskog rada u kojem se procjenjuje pješačka pristupačnost, a koja se može klasificirati kao kvantitativna vrijednost vezana uz društvo, vidljivo je kako tematska kartografija raspolaže sredstvima koji mogu učinkovito doprinijeti bržem i jasnijem shvaćanju kako rezultata procjene, tako i njihove prostorne povezanosti.

3.2. Postojeće tehnike tematske kartografije za vizualizaciju pješačke pristupačnosti

Karakteristika tematskih karata da omoguće sveobuhvatno sagledavanje prostorne podjele pojave te identifikaciju kritičnih zona koje zahtijevaju poboljšanje ukazuje na prikladnost primjene tehnika tematskog kartiranja za iskazivanje rezultata procjene pješačke pristupačnosti. Korištenjem različitih tehnika vizualizacije, kao što su npr. karte izokrona za prikaz dosega putovanja u zadanom vremenu ili koropletnih karata za prikaz gustoće stanovništva, moguće je bolje razumjeti dinamiku urbanih prostora.

Pregledom postojeće literature (Koktava i Horak, 2023) identificirane su najčešće korištene tehnike vizualizacije za iskazivanje rezultata pješačke pristupačnosti:

1. karte linija,
2. koropletna karte,
3. karte izokrona,
4. dasimetrijske karte (*engl. Dasymetric Map*)

5. karte pokreta,
6. urbanistički otisak kretanja (*engl. Urban Mobility Fingerprint*).

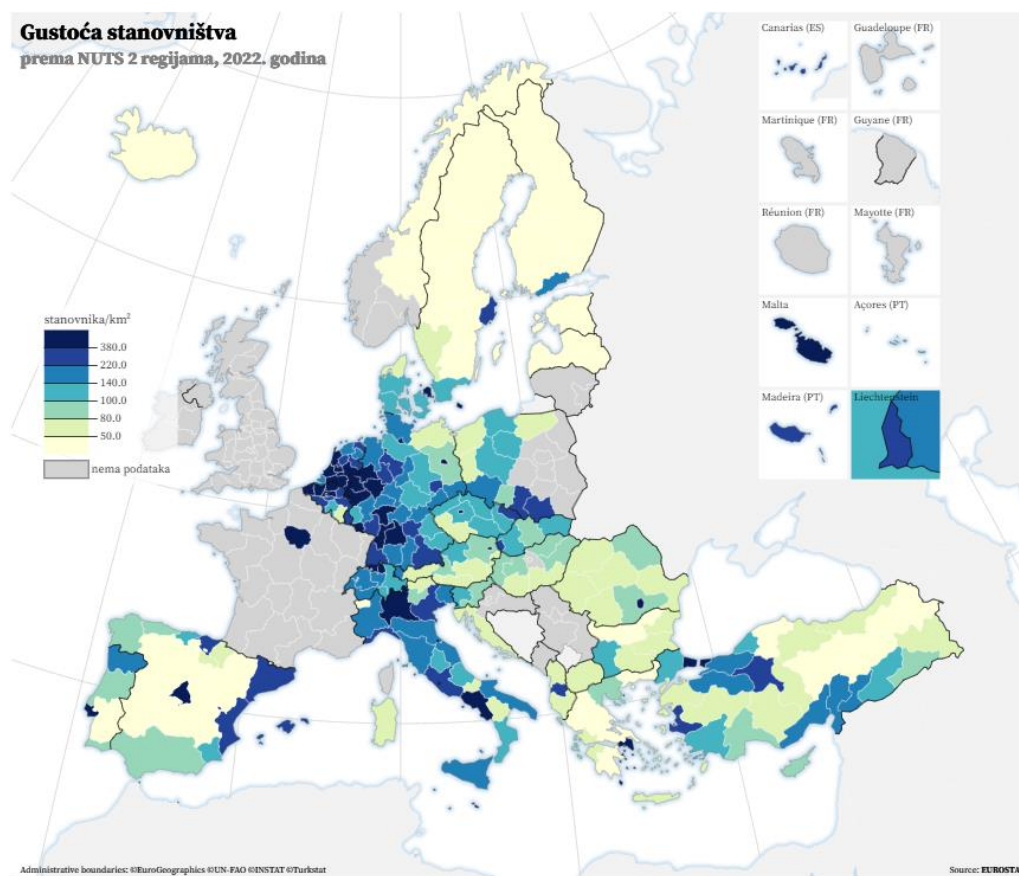
Karta linija (slika 1) primjenjuje se za prikazivanje smjerova i intenziteta kretanja pojava kada je kretanje razgranato i kada je obavezno prikazati početnu i krajnju točku putanje. U kontekstu karte linija, linije imaju tri glavne funkcije: (1) definiraju rubove i granice između susjednih površina, (2) povezuju dva entiteta na karti i (3) prikazuju linearnu komponentu kretanja nekog fenomena. Za prikazivanje kvantitativnih karakteristika koristi se vrijednost koja je u pravilu usmjerena na liniju kretanja. Karte linija se, u kontekstu vizualizacije pješačke pristupačnosti, najčešće koriste za prikazivanje različitih pješačkih ruta koje vode od točke A do točke B (Field, 2018).



Slika 1. Karta linija za prikaz sheme mreže podzemne željeznice u New Yorku (isječak) (URL 1)

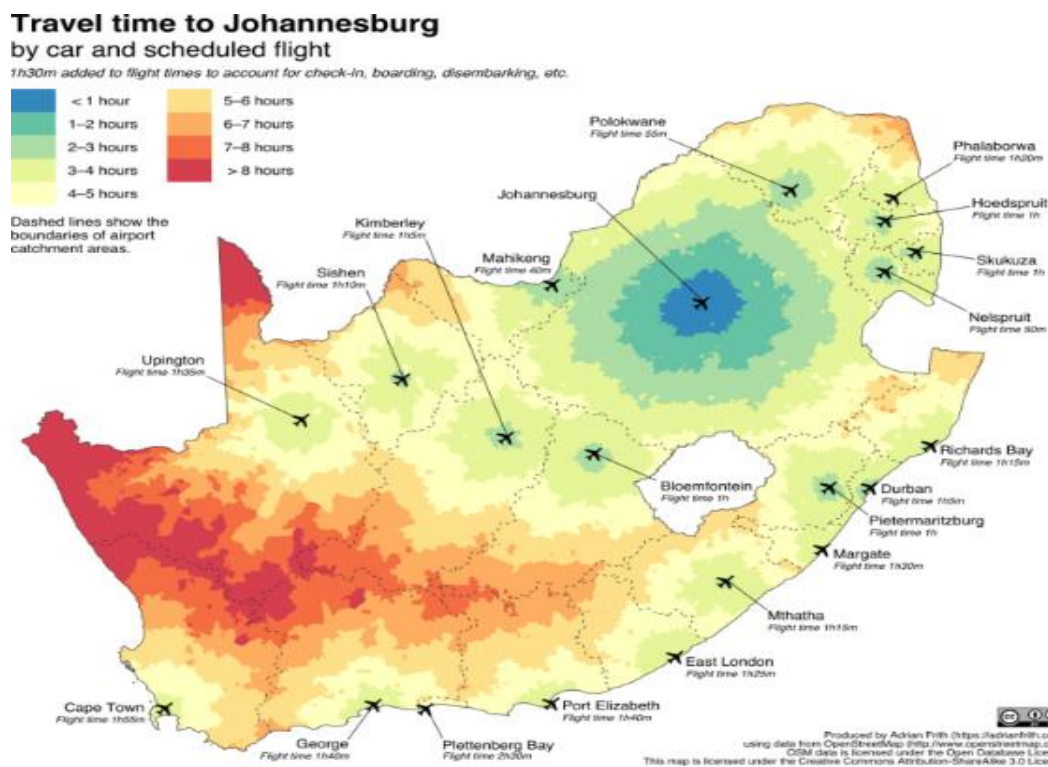
Druga najčešće korištena tehnika vizualizacije pješačke pristupačnosti je koropletno kartiranje. Koropletna karta (slika 2) je kartografski prikaz odnosa objekta (npr. broja stanovnika) prema površini neke teritorijalne jedinice, izabrane jedinične površine ili površine formirane prema geografskim karakteristikama područja (Lovrić, 1988). Podaci se iskazuju na površinama koje nisu jednakih veličina pa treba težiti prikazivanju omjera, postotaka ili stopa umjesto apsolutnih

vrijednosti. Procjena pješačke pristupačnosti nekog područja često uključuje podjelu područja na manje prostorne jedinice (administrativne, proizvoljne, pravilni grid) za koje nas rezultati zanimaju pa je koropletno kartiranje pogodno za iskazivanje dobivenih rezultata (Field, 2018).



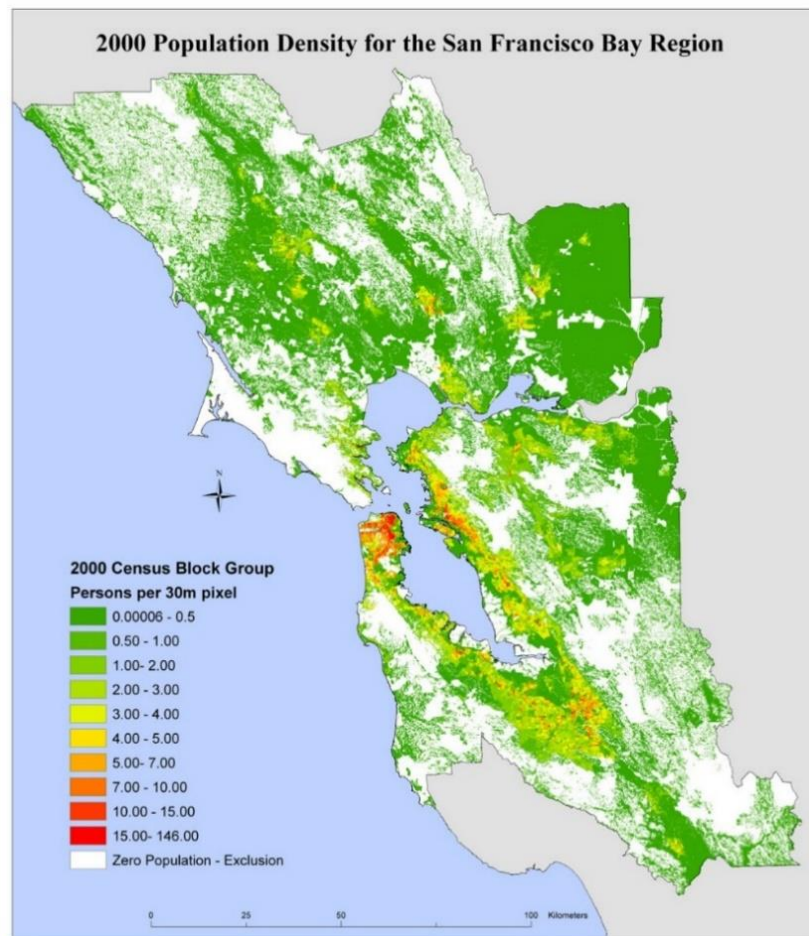
Slika 2. Koropletna karta gustoće stanovništva u Europi prema NUTS 2 regijama (URL 2)

Karta izokrona (slika 3) najčešće se koristi za vizualizaciju pješačke pristupačnosti. Metoda izolinija je osnova za izradu karte izokrona gdje su izolinije osnovne grafičke varijable, a pokazuju kvantitativno rasprostiranje pojave po području razmatranja (Lovrić, 1988). Izolinije su često funkcija udaljenosti ili vremena do određenog objekta, a razlog tome je što ljudi često koriste vrijeme kao referencu za određivanje udaljenosti do neke točke (npr. potrebno je deset minuta hoda do pekarnice) ili udaljenost za procjenu vremena. Karte izokrona se u procjeni pješačke pristupačnosti često koriste za vizualizaciju rezultata jer vizualiziraju udaljenosti do kojih se može stići u određenom vremenskom periodu od početne točke, a to je često jedan od glavnih kriterija za pješačku aktivnost (Field, 2018).



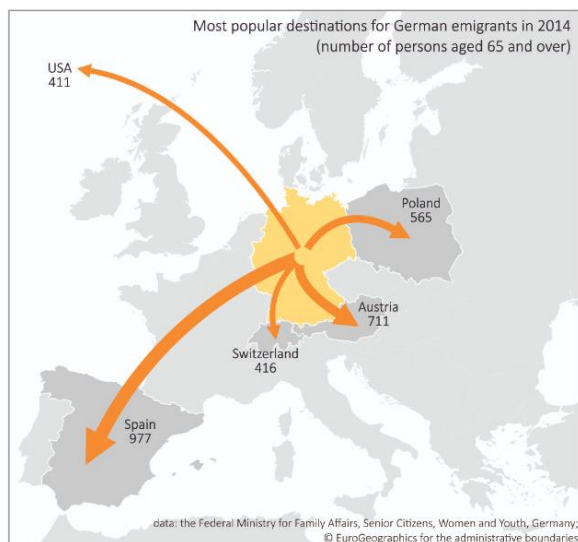
Slika 3. Karta izokrona prometnog prostornog dosega za različite vremenske intervale putovanja (URL 3)

Za iskazivanje rezultata procjene pješačke pristupačnosti može se koristiti i tehnika dasimetrijskog kartiranja. Dasimetrijska karta (slika 4) poseban je slučaj koropletnje karte za koju vrijedi da je pojava prikaza homogeno raspoređena na cijelom području što kod koropletnih karata ne mora biti slučaj. Prednost takvih karata je bolje prikazivanje distribucije pojave u odnosu na koropletnje karte. Dasimetrijska karta se vrlo rijetko koristi za vizualizaciju pješačke pristupačnosti, a isto vrijedi za karte pokreta i urbanistički otisak kretanja (Field, 2018).



Slika 4. Dasimetrijska karta gustoće stanovnika na području San Francisca (URL 6)

Karte pokreta (slika 5) se koriste za linearno prikazivanje kretanja između mjesta i imaju mogućnost prikazati kvalitativnu razliku između vrsta toka ili kvantitativno kretanje kroz veličinu toka. Linije obično mijenjaju širinu proporcionalno količini pojave koju prikazuju. Tehnika podržava kartiranje ukupnih vrijednosti sa širinom toka skaliranim proporcionalno vrijednostima za svaki segment u mreži. Primjer karte pokreta, u kontekstu pješačke pristupačnosti, može biti karta koja prikazuje najčešće rute kretanja pješaka između ključnih točaka u gradu, kao što su javni prijevoz, poslovne zone, parkovi i stambena područja (Field, 2018).



Slika 5. Karta pokreta najvećih emigracija iz Njemačke u 2014. godini (URL 7)

Konačno, urbanistički otisak kretanja (*engl. Urban City Fingerprint*) daje rute kojima se može doći iz jedne početne točke do više različitih lokacija u zadanom vremenu. Urbanistički otisak kretanja (slika 6) rotira sve rute na karti tako da su usklađene prema smjeru sjever-jug što je često u suprotnosti s konfiguracijom mreže ulica u stvarnosti. Ovaj tip karte se može koristiti za prikazivanje različitih ruta koje pješak može prijeći iz centralne točke u definiranom vremenskom intervalu. S obzirom na ukupnu udaljenost koju pješak može prijeći u zadanom intervalu, može se zaključiti kolika je pješačka pristupačnost unutar nekog grada (Marakkalage i dr., 2021).



Slika 6. Urbanistički otisak kretanja (*engl. Urban City Fingerprint*)
na području Central Parka u New Yorku (URL 8)

4. METODOLOGIJA

Kada govorimo o objektivnim metodološkim pristupima istraživanju pješačke pristupačnosti (vidi poglavlje 2.2.) geoinformacijski sustav (*GIS*) nameće se kao ključna tehnologija za analizu pješačke pristupačnosti koja omogućuje detaljnu procjenu različitih prostornih čimbenika poput gustoće naseljenosti, udaljenosti do ključnih odredišta i dostupnosti javnog prijevoza. Istovremeno, otvoreni podaci postaju sve važniji u procjeni pješačke pristupačnosti jer pružaju pristup raznovrsnim informacijama neophodnim za analizu urbanih prostora. Oni su ključni resurs koji omogućuje široku dostupnost informacija poput urbanističkih planova, geoprostornih podataka o pješačkim stazama, lokacijama javnog prijevoza i drugih bitnih elemenata. U tom kontekstu, *GIS* i otvoreni podaci zajedno čine snažan alat za procjenu planiranja pristupačnih urbanih sredina za pješake.

Nadalje, vizualizacija podataka na tematskim kartama igra ključnu ulogu u prikazu rezultata procjena pješačke pristupačnosti dobivenih *GIS*-om. Za vizualizaciju pješačke pristupačnosti u interaktivnoj web-okolini, potrebno je pažljivo odabrati tehnologije koje omogućuju jednostavno rukovanje kartografskim podacima, fleksibilnost u dizajnu i intuitivno korisničko sučelje.

U ovom poglavlju dan je pregled korištenih tehnologija:

(1) za analizu i procjenu pješačke pristupačnosti:

- *QGIS* za pripremu i obradu geoprostornih podataka,
- softverski dodatak *OS-WALK-EU* za procjenu pješačke pristupačnosti.

(2) za kartografsku vizualizaciju pješačke pristupačnosti:

- *HTML* (engl. *HyperText Markup Language*) za strukturu web stranice,
- *CSS* (engl. *Cascading Style Sheets*) za zadavanje stilova prikaza i responzivni dizajn,
- *Mapbox Studio* za prilagođavanje stilova za prikaz podataka na karti i oblikovanje vizualno privlačnih i funkcionalnih kartografskih prikaza,
- *JavaScript* za programiranje interaktivnih elemenata karte,

- *Mapbox GL JS* za izradu web-karata koje su vrlo brze, responzivne i učinkovite u prikazivanju i manipuliranju prostornim podacima.

Razlog odabira ovih tehnologija leži u njihovoj interoperabilnosti, jednostavnosti korištenja i mogućnostima koje pružaju za kreiranje interaktivnih i vizualno privlačnih karata. Korištenjem ovih alata, moguće je učinkovito prikazati kompleksne podatke o pješačkoj pristupačnosti, omogućujući istraživačima, urbanim planerima i/ili općoj javnosti da jasnije vide prostorne obrasce i bolje planiraju intervencije za poboljšanje pješačke infrastrukture.

4.1. Otvoreni skupovi prostornih podataka za procjenu pješačke pristupačnosti

Otvoreni podaci su podaci kojima svatko može pristupiti i slobodno ih koristi u različite svrhe, uz minimalno uvjetovanje korištenja (URL 7). Koncept otvorenih podataka promiče njihovu dostupnost u strojno čitljivom formatu, što olakšava pretraživanje podataka i njihovu analizu. Otvoreni podaci potiču transparentnost, inovacije i aktivno sudjelovanje javnosti u pristupu informacijama.

U kontekstu procjene pješačke pristupačnosti, otvoreni prostorni podaci imaju ključnu ulogu pružajući širok spektar informacija potrebnih za analizu urbanog okruženja i infrastrukture koja utječe na hodanje.

Postoje dva osnovna načina otvaranja prostornih podataka. Prvi obuhvaća inicijative tijela javne vlasti na razini države ili lokalne samouprave koje objavljuju podatke putem geoportala. Ti podaci često potječu iz administrativnih ili operativnih aktivnosti javnih vlasti te obuhvaćaju različite teme kao što su administrativne granice, javne usluge, infrastruktura i prirodna bogatstva. Geoportali, kao službene državne ili lokalne platforme, omogućuju preuzimanje podataka u strojno čitljivim formatima.

Drugi oblik otvorenih prostornih podataka su volonterske geoinformacije koje se generiraju kroz volonterske inicijative poput *OpenStreetMapa (OSM)*. Volonteri nestručnjaci doprinose informacijama o geografskim obilježjima kao što su ceste, zgrade i drugi prostorni objekti koristeći *GPS* uređaje, satelitske snimke ili druge izvore podataka.

4.1.1. Volonterski izvor otvorenih podataka: *OpenStreetMap*

OpenStreetMap (*OSM*) je besplatna, otvorena baza prostornih podataka koju ažurira i održava zajednica volontera putem otvorene suradnje. Podaci *OSM*-a dani su na korištenje pod otvorenom licencom što omogućuju njihovu upotrebu u različitim aplikacijama, poput navigacije i urbanističkog planiranja.

Prema Kuveždić Divjak (2024) *OSM* svojim korisnicima daje mogućnosti:

- gotovo trenutnog ažuriranja kartografske baze, kao i vrlo učestalo ažuriranje povezanih softvera za uređivanje i drugih alata,
- uvoz prostornih podataka prikupljenih uređajima, pametnim telefonima i drugim digitalnim alatima za kartiranje koji raspoložu *GPS*-om,
- pristup cijeloj povijesti uređivanja podataka *OSM*-a od njegova početka,
- suradnju s drugim korisnicima i doprinositeljima *OSM*-a kroz različite komunikacijske kanale koji uključuju liste za e-mail, forume za diskusiju i fizičke sastanke.

OSM se sastoji od tri osnovna tipa objekata: čvorova, puteva i relacija. Čvorovi definiraju pojedinačne točke u prostoru, putevi se koriste za definiranje linijskih obilježja i granica područja, dok relacije objašnjavaju kako različiti elementi međusobno djeluju. Svi podaci u konceptualnoj bazi podataka *OSM*-a definirani su oznakama, a oznake se sastoje od ključa i vrijednosti. Takav model omogućuje pristup specifičnim objektima ili skupinama objekata od interesa korištenjem odgovarajućih ključeva i vrijednosti. Nakon identifikacije željenih objekata u bazi podataka *OSM*-a, podatke je moguće ekstrahirati te prilagoditi različitim potrebama.

4.1.2. Vladini izvori otvorenih podataka

Tijela javne vlasti u Republici Hrvatskoj obvezna su, u skladu sa Zakonom o pravu na pristup informacijama (NN 25/2013, 85/2015, 69/2022) objavljivati otvorene podatke. U osnovi, prema tom zakonu svi podaci, odnosno informacije koje tijelo javne vlasti objavljuje, trebaju biti objavljene u strojno čitljivom i otvorenom obliku te trebaju biti lako pretraživi, osim kada postoji utemeljeni razlog da se to ne provede (zaštita privatnosti i osobnih podataka, nacionalna sigurnost i slično).

Izvori otvorenih podataka su raznovrsni pa se oni mogu pronaći na različitim mjestima:

1. na službenom državnom portalu otvorenih podataka,
2. na portalima lokalnih i regionalnih jedinica (gradova, općina i županija),
3. na specijaliziranim tematskim portalima, web platformama, odnosno informacijskim sustavima,
4. na mrežnim stranicama tijela javne vlasti.

GeoPortal Zagrebačke infrastrukture prostornih podataka (*ZG Geoportal*) (URL 8) je digitalna platforma koja omogućuje pristup, pregledavanje i preuzimanje prostornih podataka vezanih uz Grad Zagreb. Služi kao središnja točka za prikupljanje, obradu i distribuciju prostornih informacija koje su važne za različite aspekte upravljanja gradom, urbanog planiranja, infrastrukture i pružanja javnih usluga. *ZG Geoportal* je pristupna točka Zagrebačke infrastrukture prostornih podataka te sadrži prostorne podatke gradskih upravnih tijela, trgovačkih društava i ustanova.

GeoHub ZaGreb (URL 9) je internetski portal koji također pruža pristup prostornim podacima Grada Zagreba. Za razliku od *ZG GeoPortala* koji se fokusira na detaljne prostorne podatke i njihovu operativnu upotrebu, *GeoHub ZaGreb* integrira tematske podatke s naglaskom na transparentnost, interaktivnost i pristupačnost za širu publiku. Podaci se mogu pretraživati po kategorijama, a dostupni su u nekoliko različitih formata (*csv, kml, shp, gdb, GeoJSON, wfs*). Dok *ZG GeoPortal* pruža tehničke podatke u različitim *GIS* formatima za stručnjake, *GeoHub* služi kao platforma za širu javnost, olakšavajući pristup i korištenje podataka u svakodnevnom životu i istraživanjima..

U radu s otvorenim podacima preuzetim iz različitih izvora, često je potrebno koristiti softver koji može obavljati različite operacije, poput uređivanja podataka, integracije podataka, analize podataka i druge operacije. Za rad s prostornim podacima najčešće se primjenjuju geoinformacijski sustavi (*GIS*).

4.2. Procjena pješačke pristupačnosti pomoću *GIS*-a

Geoinformacijski sustav (URL 10) je računalni sustav za prikupljanje, pohranu, provjeru i prikaz podataka koji su povezani s pozicijama na Zemljinoj površini. *GIS* tehnologija

omogućuje prikaz različitih vrsta podataka na jednoj karti što olakšava analizu i razumijevanje obrazaca i odnosa među podacima. Na taj način *GIS* omogućava usporedbu i integraciju različitih vrsta informacija uključujući demografske podatke (poput populacije, prihoda i obrazovne razine), podatke o okolišu (poput lokacija rijeka, vegetacijskih vrsta i tipova tla) te informacije o infrastrukturi (poput lokacija industrijskih postrojenja, poljoprivrednih zemljišta, obrazovnih ustanova, sustava odvodnje, prometnica i elektroenergetskih mreža). Temeljem svega navedenog, vidljivo je kako se *GIS* može koristiti i za procjenu pješačke pristupačnosti određenog područja.

Postoje različiti oblici komercijalnih i nekomercijalnih geoinformacijskih sustava, a trenutno najpoznatijih nekomercijalni (besplatni) geoinformacijski sustav je *QGIS* (engl. *Quantum geographic information system*).

QGIS je besplatan softver otvorenog koda za prikupljanje, pohranu, pretraživanje, analiziranje i prikazivanje podataka koji se odnose na određeno geografsko područje. Dostupan je pod *GNU* općom javnom licencom (engl. *General Public Licence*) i kompatibilan je s različitim operacijskim sustavima, uključujući *Linux*, *Unix*, *Mac OS X* i *Windows*. Tijekom kontinuiranih ažuriranja verzija *QGIS*-a, modul za obradu podataka stalno se poboljšava ispravcima pogrešaka i dodavanjem novih funkcionalnosti. Unutar *QGIS*-a postoje brojni softverski dodaci koji omogućuju izvođenje različitih operacija, a među njima i procjenu pješačke pristupačnosti određenog područja.

4.2.1. OS-WALK-EU

OS-WALK-EU (engl. *Open-Source Walkability tool for European Union member states*) je alat otvorenog koda za određivanje indeksa pješačke pristupačnosti zemalja članica Europske unije. Ovaj alat je moguće integrirati u sklopu bilo kojeg *GIS* softvera, a trenutno su dostupne dvije stabilne verzije. *OS-WALK-EU* pješačku pristupačnost određuje na temelju različitih prostornih podataka, među kojima su:

1. broj stanovnika područja iskazan za ćelije u pravilnoj vektorskoj mreži (engl. *grid*),
2. način korištenja zemljišta koji razlikuje rekreacijske zone, odnosno vodene i zelene površine,

3. točke od interesa (sadržaji na razmatranom području) koje moraju biti klasificirane unutar šest kategorija (zabava, hrana i piće, sport i rekreacija, poslovni prostori, civilni i institucionalni objekti te trgovine),
4. (opcionalno) digitalni model visina koji utječe na doseg pješaćenja na nekom području.

Osim navedenih prostornih podataka koji su osnova za procjenu indeksa pješaćke pristupačnosti, *OS-WALK-EU* zahtjeva i dodatne parametre kojima se rezultat procjene usmjerava prema ishodu za kojeg korisnik želi dobiti informaciju. Ti parametri uključuju maksimalnu udaljenost odnosno doseg pješaćenja u metrima (npr. 250m), fokusiranje na određene sadržaje na nekom području preko sustava dodjeljivanja težina te broja razmatranih objekata te vrste sadržaja u radijusu kretanja. Za napomenuti je kako je referentna (početna) točka za računanje pješaćke udaljenosti centroid svake pojedine ćelije u pravilnoj vektorskoj mreži.

OS-WALK-EU alat za procjenu pješaćke pristupačnosti u obzir uzima prethodno navedene podatke i postavke i računa njihov utjecaj na konačan indeks pristupačnosti prema sljedećoj formuli:

$$Ws = (Pn \cdot Pn_w + Pd \cdot Pd_w + Gi \cdot Gi_w + A \cdot A_w) \cdot \frac{100}{\max(Pn \cdot Pn_w + Pd \cdot Pd_w + Gi \cdot Gi_w + A \cdot A_w)}$$

U navedenoj formuli Ws predstavlja indeks pješaćke pristupačnosti, Pn je pješaćka mreža, Pd je broj stanovnika (gustoća naseljenosti), Gi udio zelenih i plavih površina, a A broj točaka od interesa u razmatranoj ćeliji vektorske mreže. Pn_w , Pd_w , Gi_w i A_w su njihove pripadajuće težine (s vrijednostima u rasponu 0-1) kojima se modelira utjecaj na konačan indeks pristupačnosti.

Pješaćka mreža (Pn) je omjer površne geometrijskog lika čiji su vrhovi definirani dosegom maksimalne udaljenosti pješaćenja u mreži linija – ulica i kruga čiji je radijus jednak maksimalnoj udaljenosti pješaćenja. Raspon omjera površina (0-100%) se klasificira u deset kategorija (0-10%, 10-20%,...) kojima je pridružena vrijednost pješaćke mreže od 1-10. Npr. kada je omjer površina 9%, vrijednost pješaćke mreže je najmanja i iznosi 1. Gustoća naseljenosti (Pd), razmatra broj stanovnika u svim ćelijama vektorske mreže i klasificira ćelije u decile kojima dodjeljuje vrijednosti od 1-10. To znači da se za 10% najgušće naseljenih ćelija u vektorskoj mreži (ćelije s najvećim brojem stanovnika) dodjeljuje vrijednost 10, a za 10% najrjeđe naseljenih ćelija dodjeljuje vrijednost 1. Udio zelenih i plavih površina (Gi) također

razlikuje 10 klasa u ovisnosti koliku površinu razmatrane ćelije vektorske mreže prekriva zelena infrastruktura. S obzirom na urbani karakter područja, taj udio ne kreće se u rasponu do 100%, već 10 predloženih klasa udjele svrstava u interval 2,5-22,5%. Ako zelena površina zauzima 22,5% ili više dodjeljuje joj se vrijednost 10, a ako je ispod ili točno 2,5% dodjeljuje se vrijednost 1. Konačno, ovisno o broju točaka od interesa unutar razmatrane ćelije vektorske mreže, vrijednosti A određuju se na sličan način, prema pravilu 10 klasa (rasponi 1-10, 10-20, ...). Ako je broj točaka od interesa unutar ćelije veći od 90, točke od interesa dobivaju vrijednost 10.

U konačnici sustav daje indeks pješačke pristupačnosti svakom elementu mreže poligona. Sustav koristi raspon vrijednosti od 0 do 100 za indeks pješačke pristupačnosti i kategorizira ih prema razinama pristupačnosti od minimalne do maksimalne. Svaka kategorija opisuje relativnu sposobnost pješaka da koriste površinu elementa mreže poligona na temelju dobivenog indeksa (tablica 1).

Tablica 1. Razine pješačka pristupačnost s obzirom na vrijednost indeksa pješačke pristupačnosti (URL 11)

Indeks pješačke pristupačnosti	Pješačka pristupačnost
0-30	Vrlo niska
30-45	Niska
45-60	Srednja
60-75	Visoka
75-100	Vrlo visoka

Za prikazivanje rezultata pješačke pristupačnosti u interaktivnoj web okolini, potrebno je poznavati određene tehnologije, arhitekturu i alate koji se koriste u web-kartografiji.

4.3. Kartografska vizualizacija pješačke pristupačnosti: tehnologije, arhitektura i alati za web-kartografiju

Web-karta je karta objavljena na webu koja može biti statična ili dinamična, a obje vrste mogu biti samo za gledanje ili interaktivne. Za vizualizaciju rezultata procjene pješačke pristupačnosti u interaktivnoj web-okolini potrebno je razumjeti nekoliko ključnih aspekata. Prvo, važno je poznavati tehnologije koje se koriste za izradu web-karata, kao što su *HTML*, *CSS* i *JavaScript*. Te tehnologije omogućuju stvaranje dinamičnih i interaktivnih elemenata na karti, uključujući mogućnost zumiranja, pomicanja i upravljanje prikazom različitih skupova podataka. Drugo, arhitektura web-karata igra ključnu ulogu u organizaciji i pristupu prostornim podacima na internetu. Razumijevanje arhitekture pomaže u efikasnom upravljanju podacima te njihovoj integraciji i prikazu na karti. Ovaj dio uključuje način kako se podaci šalju s poslužitelja na korisnički preglednik i kako se interaktivno prikazuju korisnicima. Treće, sastav web-karata odnosi se na vrste podataka koje se koriste za prikaz na karti. To može uključivati vektorske ili rasterske podatke te načine kako se ti podaci oblikuju i organiziraju za prikaz na karti. Oblikovanje stilova za prikaz podataka na karti je ključno za jasno prezentiranje informacija o pješačkoj pristupačnosti ili drugim prostornim fenomenima što korisnicima može omogućiti lakše razumijevanje i analizu prostornih podataka.

4.3.1. Tehnologija za izradu web-karte

Tehnologije za izradu web-karata obuhvaćaju različite pristupe koji se koriste za prikaz prostornih podataka na webu. Jedan od ključnih pristupa su *popločane web-karte* (*engl. tiled web map*). Popločana web-karta je interaktivna web-karta koja koristi slike ili pločice (*engl. tiles*) koje se u preglednik korisnika učitavaju na zahtjev što omogućuje glatko i neprekidno zumiranje i pomicanje. Popločane web-karte funkcioniraju tako da se podaci ili slika karte razbijaju na pločice veličine 256x256 piksela koje se po potrebi šalju pregledniku korisnika. To omogućuje korisnicima glatko zumiranje i pomicanje po karti bez potrebe za ponovnim učitavanjem cijele stranice. Prednost popločanih web-karata je u brzom učitavanju podataka i intuitivnom korisničkom iskustvu, dok im mana može biti povećan zahtjev za poslužiteljskim resursima zbog velikog broja zahtjeva za pločicama. Popločane web-karte za prikaz podataka koriste Web Mercatorovu projekciju – približno konformnu cilindričnu projekciju koja je danas *de facto* standard za globalne kartografske servise poput *Google Mapsa*, *Mapboxa*, *Bing Maps*,

OpenStreetMap i dr. Projekcija je praktična zbog jednostavnijih formula, bržeg računanja i jer podržava zahtjeve web-kartografskih servisa za indeksiranje karte svijeta što omogućuje glatko pomicanje i zumiranje na bilo kojem području u različitim mjerilima prikaza. Međutim, udaljavanjem od ekvatora deformacije dužina i površina uočljivo rastu. Web Mercatorova projekcija često nije optimalan izbor u tematskoj kartografiji jer zbog svojstva približne konformnosti deformira površine koje su nužne za uspješnu komunikaciju tematskih podataka prikazanih na karti (Kuveždić Divjak, 2004).

Drugi važan pristup su *vektorske web-karte*. Takve karte koriste vektorske podatke za prikaz prostornih podataka direktno u pregledniku korisnika. Vektorski podaci omogućuju dinamično renderiranje i oblikovanje kartografskih elemenata, poput cesta, zgrada ili kartografskih znakova što pruža veću fleksibilnost u prikazu različitih kartografskih stilova. Prednosti vektorskih web-karata uključuju manju količinu podataka i veće mogućnosti za dodavanje interaktivnosti, dok im mana može biti ograničenje u podršci nekih starijih preglednika ili zahtjev za jačim hardverskim resursima za brže renderiranje kompleksnih prikaza.

4.3.2. Arhitektura web-karte

Arhitektura web-karata se temelji na modelu klijent-poslužitelj (Peterson, 2014). Poslužitelj je dio softvera instaliran na računalu, ili skupini računala, koji šalje informacije s lokalnog uređaja na neki udaljeni uređaj (klijent). Poslužitelj također prima zahtjeve i podatke od klijenta, obavlja računske operacije te zapisuje podatke na svoj uređaj. Svaki poslužitelj ima svoju statičku *IP* adresu (*engl. Internet Protocol*), niz brojeva preko kojih klijent pronalazi poslužitelja. Klijent šalje zahtjeve za informacijama pohranjenim na uređaju poslužitelja pozivajući njegovu *IP* adresu. Kada klijent putem svog web preglednika ili aplikacije zatraži određene geoprostorne informacije ili usluge, taj zahtjev se šalje serveru putem interneta. Poslužitelj vraća klijentu *HTML* dokumente, *CSS* stilove, *JavaScript* programsku uputu i ostale potrebne podatke pohranjene u direktoriju web stranice. Ovaj proces omogućuje korisnicima da interaktivno istražuju, analiziraju i vizualiziraju geoprostorne podatke, a sve to u skladu s protokolima i standardima, poput onih koje definira *OGC* (*engl. Open Geospatial Consortium*), konzorcij koji održava skup otvorenih standarda za geoprostorne web usluge. Te usluge uključuju različite standarde i protokole za prijenos podataka, kao što su *WMS* (*engl. Web Map Service*) za prikazivanje podataka karte, *WFS* (*engl. Web Feature Service*) za pristup

vektorskim podacima, te *WCS* (engl. *Web Coverage Service*) za pristup podacima kao što su satelitski snimci ili modeli terena.

4.3.3. Sastav web-karte

Ključni element svake web-karte su podaci koji se čuvaju na uređaju poslužitelja. Vektorski podaci koji se koriste za dinamično prikazivanje web-karata često se pohranjuju u bazu podataka. Najčešći sustavi za upravljanje bazama podataka, koji se koriste za web (npr. *MySQL*, *PostgreSQL*, *Microsoft SQL* i *Oracle*), imaju geoprostorne ekstenzije koje omogućuju pohranu vektorskih podataka kao i različitu sposobnost obrade podataka na strani poslužitelja (Lienert i dr., 2012). Vektorski podaci također mogu biti pohranjeni u datoteku na poslužitelju ili pretvoreni iz baze podataka u format datoteke radi prijenosa. Važno je napomenuti da vektorski podaci koji se koriste na web-kartama obično ne uključuju informacije o projekciji, budući da većina aplikacijskih programskih sučelja (engl. *Application Programming Interface*, *API*) za web-kartografiju projicira podatke u aplikaciji na strani klijenta pa prethodno projicirani podaci mogu rezultirati nerazumljivim prikazima. *API* predstavlja skup uputa koje programi koriste za međusobnu komunikaciju. Rasterske karte (uključujući rasterske pločice) se gotovo uvijek pohranjuju kao pojedinačne datoteke u jednostavnoj strukturi direktorija.

Prikazivanje podataka na karti odnosi se na način na koji korisnik vidi i tumači prikazane podatke (Donohue, 2014). To uključuje oblikovanje stilova za prikaz podataka kako bi se stvorio konačni kartografski prikaz. Kada se oblikovanje stilova prikaza izvodi na strani poslužitelja, podaci se obrađuju i stiliziraju prije nego što se pošalju klijentu. To znači da poslužitelj primjenjuje unaprijed definirane stilove i pravila na podatke te šalje gotovi kartografski prikaz korisnicima. Takav pristup često rezultira brzim učitavanjem web-karata jer se kompletan kartografski prikaz generira unaprijed. S druge strane, kada se stilizacija obavlja na strani klijenta poslužitelj šalje sirove podatke klijentu. Klijent tada koristi te podatke i primjenjuje lokalno definirane stilove i pravila kako bi stvorio kartografski prikaz na korisnikovom uređaju. Taj pristup omogućuje veću fleksibilnost korisnicima web-karte jer mogu prilagoditi stilizaciju prema vlastitim preferencijama ili potrebama analize.

4.3.4. Alati i platforme za web-kartografiju

Grafičke web platforme omogućuju korisnicima jednostavnu izradu i objavu web-karte putem grafičkog sučelja. To su alati koji su obično vrlo intuitivni za upotrebu i ne zahtijevaju duboko tehničko znanje. Primjeri grafičkih web platformi uključuju *Google Maps Platform* (URL 12), *Mapbox Studio* (URL 13) i *CARTO Builder* (URL 14). Navedene platforme pružaju širok spektar funkcionalnosti za oblikovanje i prilagodbu web-karata, često uz mogućnost interakcije s podacima iz baza podataka ili drugih izvora. Za integriranje kartografskih funkcionalnosti u web stranice ili aplikacije putem programskog sučelja koristi se *API*. Postoje komercijalni *API*-ji poput *Google Maps API* i *Mapbox API*, kao i nekomercijalni *API*-ji poput *Leafleta* i *OpenLayers*. Oni pružaju programski pristup funkcijama kao što su prikazivanje karata, geokodiranje, rutiranje, pretraživanje lokacija i mnoge druge, omogućujući programerima veću prilagodljivost i kontrolu nad funkcionalnostima svojih web-karata.

4.3.5. Kartografska platforma *Mapbox*

Mapbox (URL 15) je kartografska platforma koja omogućuje stvaranje prilagođenih i interaktivnih karata za web i mobilne aplikacije. Osim što nudi širok raspon alata za oblikovanje i vizualizaciju podataka, *Mapbox* podržava integraciju s drugim tehnologijama što omogućuje naprednu interaktivnost i prilagodbu karti prema specifičnim potrebama korisnika.

Kartografska platforma *Mapbox* sastoji se od sljedećih komponenti:

1. *Mapbox Studio* (alat za oblikovanje prilagođenih karata),
2. *Mapbox GL JS* (JavaScript biblioteka za izradu interaktivnih karata na webu),
3. *Mapbox API* (skup *API*-ja koji omogućuju pristup raznim geolokacijskim uslugama, kao što su karte, navigacija, pretraga i geokodiranje),
4. *Mapbox Mobile SDKs*: (*SDK*-ovi za iOS i Android koji omogućuju razvoj mobilnih aplikacija s integriranim *Mapbox* kartama).

Mapbox Studio (URL 13) omogućuje kreiranje i prilagodbu kartografskih stilova za prikaz podataka na interaktivnim web-kartama. Korisnicima se omogućuje detaljno definiranje izgleda karata, uključujući odabir boja, stilova linija, simbola i oznaka na karti, kao i postavljanje različitih slojeva podataka. Geoprostorni podaci mogu se uvoziti ili koristiti unaprijed definirani

skupovi podataka iz biblioteke *Mapboxa*. Intuitivno sučelje omogućuje upravljanje stilovima, što omogućuje brzo i jednostavno stvaranje visoko prilagođenih kartografskih prikaza koji odgovaraju specifičnim projektima.

Mapbox GL JS (URL 16) je klijentska *JavaScript* biblioteka za izradu web-karata i web aplikacija koja koristi modernu *Mapboxovu* tehnologiju. Koristi se za prikazivanje *Mapbox* karata u web pregledniku korisnika, tj. na strani klijenta.

Primjeri upotrebe *Mapbox GL JS* uključuju:

- vizualizaciju i animaciju geografskih podataka,
- pretraživanje i filtriranje objekata na karti,
- postavljanje podataka između slojeva *Mapbox* stila,
- dinamično prikazivanje i stiliziranje prilagođenih podataka na klijentskoj strani,
- 3D vizualizacije podataka i animacije,
- programsko dodavanje oznaka i skočnih prozora na karte.

Digitalne web-karte sastoje se od tri glavna dijela:

- geoprostornih podataka (*Mapbox* koristi pločice kao format geoprostornih podataka pri prikazivanju karata jer su lagani format za pohranu rasterskih i vektorskih podataka, a sam set pločica nastaje kod učitavanja podataka),
- stilskih pravila koja opisuju kako podaci trebaju izgledati (kod definiranja stilizacije podataka informacije se pohranjuju u *JSON* dokument),
- alata koji sve to prikazuje kao kartu (bilo da se koristi *Mapbox Maps SDK* za iOS ili Android na mobilnim uređajima, ili *Mapbox GL JS* na webu, koristi se alat pod nazivom *Mapbox GL* kako bi se spojio *JSON* stil i set pločica te kako bi se prikazali na karti).

4.3.6. Upotreba *HTML*-a, *CSS*-a, *JavaScripta* i *JS Bina* za izradu web-karte

Za ostvarivanje svih navedenih funkcionalnosti pri izradi web-karata, ključno je koristiti određene tehnologije, među kojima se ističu *HTML*, *CSS* i *JavaScript*.

HTML (engl. *HyperText Markup Language*) (URL 17) je prezentacijski jezik za izradu web stranica. Koristi se za oblikovanje strukture i sadržaja web stranice, za definiranje elemenata

kao što su naslovi, odlomci, slike i linkovi, omogućujući organizaciju i prezentaciju podataka na web stranici.

CSS (engl. *Cascading Style Sheets*) (URL 18) je stilski jezik koji se upotrebljava za opis prezentacije dokumenta napisanog pomoću *HTML*-a. Omogućuje definiranje boja, fontova, razmaka i rasporeda elemenata, čime se postiže vizualna privlačnost i dosljednost izgleda stranice.

JavaScript (URL 19) je skriptni jezik koji se upotrebljava za dinamično upravljanje sadržajem i ponašanjem web stranica. U kontekstu web-kartografije, *JavaScript* je ključan za implementaciju interaktivnih funkcionalnosti kao što su pomicanje (engl. *panning*), zumiranje, dodavanje interaktivnih kontrola, animacije i obrada podataka.

Zajedno, navedene tehnologije omogućuju razvoj visoko prilagodljivih, interaktivnih i vizualno atraktivnih web-karata koje korisnicima omogućuju istraživanje, analizu i interpretaciju prostornih podataka direktno u web pregledniku. Za rad s navedenim tehnologijama potreban je alat za pisanje koda. Postoje mnogi dostupni alati za pisanje koda, a jedan od njih je i *JS Bin*.

JS Bin (URL 20) je alat otvorenog koda za ispravljanje pogrešaka u web razvoju. Dizajniran je za pomoć programerima u *JavaScriptu* i *CSS*-u pri testiranju isječaka koda u određenom kontekstu.

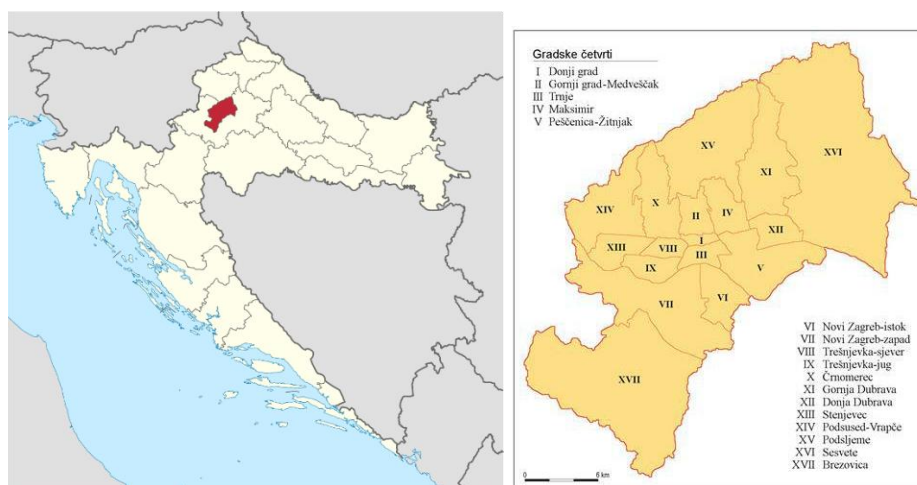
Alat omogućuje (1) pisanje i spremanje koda u stvarnom vremenu uz istovremeni prikaz rezultata, (2) pronalaženje pogrešaka unutar koda, (3) dijeljenje koda u stvarnom vremenu, (4) pregledavanje izlaznih rezultata na bilo kojem uređaju uz mogućnost ažuriranja u stvarnom vremenu, (5) ispravljanje pogrešaka u komunikaciji između web stranice i udaljenih poslužitelja te (6) prevođenje kodova napisanih u nekim drugim programskim jezicima (*CoffeeScript*, *LESS*, *Markdown* i *Jade*).

5. PRAKTIČNI DIO

U praktičnom dijelu diplomskog rada provedena je procjena pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu i vizualizacija dobivenih rezultata na interaktivnoj web-karti s ciljem utvrđivanja stupnja prilagođenosti i pogodnosti zagrebačkih četvrti za pješaćenje. Procjena i vizualizacija se temelje na tehnologijama otvorenog koda i otvorenim podacima.

5.1. Područje istraživanja

Područje istraživanja fokusirano je na grad Zagreb (slika 7) koji je glavni i po broju stanovnika najveći grad Republike Hrvatske. Prema popisu stanovništva iz 2021. na površini od 641km² živi 767 131 stanovnika (URL 14). Grad Zagreb posebna je teritorijalna, upravna i samoupravna jedinica ustrojena kroz 17 gradskih četvrti. Smješten na sjeverozapadu Hrvatske podno južnih padina Medvednice te na lijevoj i desnoj obali rijeke Save, Zagreb karakterizira različita konfiguracija terena (reljefni oblici). Uz urbanu morfologiju koja odgovara srednjeeuropskoj arhitekturi (blokovi zgrada) i konfiguraciju terena, Zagreb može poslužiti kao dobro istraživačko područje za procjenu pješačke pristupačnosti.



Slika 7. Položaja Grada Zagreba na teritoriju Republike Hrvatske i njegove gradske četvrti (URL 21)

Procjena pješačke pristupačnosti obuhvaća svih 17 gradskih četvrti grada Zagreb (Podsused – Vrapče, Stenjevec, Črnomerec, Trešnjevka – jug, Trešnjevka – sjever, Gornji Grad –

Medveščak, Donji Grad, Trnje, Peščenica – Žitnjak, Maksimir, Donja Dubrava, Gornja Dubrava, Brezovica, Novi Zagreb – istok, Novi Zagreb – zapad, Podsljeme, Sesvete).

5.2. Tijek izrade

Izrada praktičnog zadatka odvijala se kroz sljedeće korake:

1. Priprema alata i prikupljanje podataka za procjenu pješačke pristupačnosti:
 - instaliranje softverskih proširenja za *QGIS (OS-WALK-EU, ORS Tools, QuickOSM, OpenTopography DEM Downloader, TopoJSON Writer)*,
 - prikupljanje geometrijskih i atributnih podataka iz različitih otvorenih izvora:
 - *OpenStreetMap*: vektorski podaci granica gradskih četvrti te vektorski i atributni podaci točaka od interesa za odabrano područje,
 - *GeoHub Zagreb*: vektorski i atributni podaci stvarnog korištenja zemljišta gradskih površina,
 - *Copernicus DEM*: digitalni model visina za odabrano područje,
 - *Eurostat*: vektorski i atributni podaci o broju stanovnika iskazani za ćelije vektorske mreže poligona (*engl. grid*) dimenzija 1x1 kilometar.
2. Priprema podataka za procjenu pješačke pristupačnosti:
 - ekstrahiranje podataka o broju stanovnika za područje od interesa – grad Zagreb,
 - izdvajanje rekreacijskih površina iz podataka o korištenju zemljišta,
 - reklasificiranje točaka od interesa (*engl. Points of Interest – POI*) iz strukture podataka *OSM*-a u strukturu *OS-WALK-EU*.
3. Konfiguracija alata za procjenu pješačke pristupačnosti:
 - definiranje sustava težina prilagođenog potrebama istraživanja za objekte unutar kategorija točaka od interesa,
 - definiranje sustava težina za kategorije ulaznih podataka,
 - odabir maksimalnog dosega pješačke aktivnosti.
4. Izvođenje procjene pješačke pristupačnosti:
 - pokretanje softverskog dodatka *OS-WALK-EU* za izračunavanje indeksa prohodnosti na temelju zadanih parametara,
 - evaluacija rezultata te interpretacija rezultata indeksa prohodnosti za svaki element mreže vektorskih poligona.

5. Optimizacija i iteracija postupka procjene:
 - ažuriranje parametara i izvođenje ponovljene procjene prema potrebi.
6. Priprema podataka za vizualizaciju u web-okruženju:
 - Pretvorba podataka u *TopoJSON* format pogodan za obradu na webu
 - Pretvorba podataka u *GeoJSON* format pogodan za modeliranje na webu.
7. Oblikovanje kartografskih stilova za prikaz podataka na tematskoj karti:
 - oblikovanje prilagođenih kartografskih stilova za prikaz temeljne karte i ostalih tematskih slojeva – *Mapbox Studio*.
8. Implementacija karte:
 - integracija podataka i definiranih kartografskih stilova za prikaz na interaktivnoj web-karti – *Mapbox GL JS*.
9. Dodavanje interaktivnih mogućnosti na web-kartu:
 - strukturiranje koda interaktivnih elemenata (npr. *tooltipi* za dodatne informacije).
10. Testiranje i optimizacija:
 - provjera funkcionalnosti i performansi web-karte na različitim uređajima i web preglednicima.
 - optimizacija koda i podataka za brže učitavanje i bolju reaktivnosti karte.
11. Objava i implementacija:
 - objavljivanje karte na web serveru ili platformi za *hosting* za javnu dostupnost.

5.3. Priprema alata i prikupljanje podataka

Procjena razine pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu provedena je korištenjem proširenja otvorenog koda za *QGIS - OS-WALK-EU*. *OS-WALK-EU* procjenu pješačke pristupačnosti radi temeljem četiri skupa prostornih podataka: gustoća stanovništva, zelena infrastruktura, točke od interesa i visina terena. Dobivena mjera razine pješačke pristupačnosti iskazuje se u vrijednosti indeksa za ćelije u vektorskoj mreži poligona.

Vektorska mreža poligona prostorne rezolucije 1x1km s pripadajućim brojem stanovnika preuzeta je sa stranica *Statističkog ureda Europske zajednice – Eurostata* u *.zip* formatu za referentnu godinu 2021 (URL 22). Podaci korištenja zemljišta – zelena infrastruktura, preuzeti su s portala *GeoHub Zagreb* za referentnu godinu 2020. (URL 9) jer dostupni noviji podaci

sadrže isključivo planirano korištenja zemljišta koje uključuje i nerealizirane zahvate u prostoru. Podaci s točkama od interesa ekstrahirani su iz baze OSM-a postavljanjem upita u formi oznaka (*engl. tag* – „ključ=vrijednost“) koje odgovaraju strukturi zapisa podataka u bazi. Zbog automatizacije, podaci su preuzeti unutar *QGIS*-a korištenjem proširenja *QuickOSM* (URL 23) i to svi podaci čiji ključevi (u zapisu oznake) imaju vrijednosti „*amenity*“, „*craft*“, „*leisure*“, „*office*“, „*shop*“, „*tourism*“, „*military*“. Za određene ključeve („*health care*“ i „*building*“) nisu preuzimani svi objekti već samo oni relevantni za određivanje pješačke pristupačnosti (npr. bolnica). Podaci o visini terena preuzeti su u rasterskom obliku s portala *OpenTopography* (URL 24).

Kako bi *OS-WALK-EU* mogao odrediti maksimalnu udaljenost koju je osoba spremna prijeći i u konačnici dobiti rezultate pješačke pristupačnosti, potrebno je instalirati proširenje *ORS Tools*. *ORS Tools* koristi mrežu ulica temeljem kojih kreira izokrone na udaljenosti koja se definira parametrom maksimalne pješačke udaljenostima. Korištenje *ORS Toolsa* zahtjeva izradu korisničkog računa na stranici *Openrouteservice* (URL 25) gdje se zatraži *API* ključ preko kojeg se pristupa mogućnostima alata *ORS Toolsa*. Prilikom pokretanja *OS-WALK-EU* proširenja potrebno je imati *API* ključ u *ORS Toolsu*. U radu s većom količinom podataka, preporuča se izrada *Collaborative* računa na *Openrouteservice* stranici. Potrebno je ostvariti kompatibilnost *ORS Tools*-a i *OS-WALK-EU*-a koja se postiže instalacijom dodatka *OS-WALK-EU* 1.0. i *ORS Tools* 1.3.0. na *QGIS* verziji 3.22.14.

5.4. Priprema podataka za analizu

Preuzeti podaci u izvornom, sirovom zapisu nisu pogodni za direktnu uporabu zbog čega ih je potrebno prethodno obraditi. To se posebno odnosi na podatke o broju stanovnika, podatke o načinu korištenja zemljišta (zelenoj infrastrukturi) i podatke o točkama od interesa.

Preuzeti podaci o broju stanovnika iskazani su za ćelije u mreži vektorskih poligona koje prekrivaju cijelo područje Europske Unije. S obzirom da se procjena pješačke pristupačnosti radi za relativno malo područje (grad Zagreb), zbog ograničenja resursa i optimizacije procesa, iz cjelokupnog skupa podataka ekstrahirani su samo oni podaci koji su relevantni za prostorni obuhvat istraživanja. Dodatno, podaci su dostupni u koordinatnom sustavu Lambertove ekvivalentne azimutalne projekcije pa ih je potrebno reprojicirati u službeni koordinatni sustav

Republike Hrvatske za područje detaljne državne kartografije – poprečna Mercatorove projekcije (HTRS96/TM).

Preuzeti podaci o korištenju zemljišta sadrže klase načina uporabe koje uključuju i druge podatke izvan rekreacijskih površina. S obzirom da takvi podaci nisu relevantni za predloženo istraživanje, iz skupa je izdvojeno sedam načina korištenja vezanih uz područja za rekreaciju: groblja, javne zelene površine, poljoprivredne i neuređene površine, zaštitno zelenilo, mjesta za sport i rekreaciju, šume, vode i vodna dobra.

Podaci o točkama od interesa zbog strukture zapisa koja odgovara *OSM*-u nisu direktno upotrebljivi unutar *OS-WALK-EU* alata. Rečeno je ranije kako *OS-WALK-EU* zahtijeva da točke od interesa budu kategorizirane u šest tematskih kategorija zbog čega je preuzeti skup podataka potrebno reklasificirati da prati kategorije *OS-WALK-EU* metodologije:

1. objekti opće društvene namjene – obrazovanje, zdravstvo, civilne usluge (*engl. civic and institutional points of interest*),
2. trgovine za prodaju i usluge vezane uz prehrambene proizvode (*engl. food-related stores*),
3. trgovine za prodaju neprehrambenih proizvoda (*engl. retail shop*),
4. objekti za socijalizaciju/zabavu i provođenje slobodnog vremena, uključujući kulturna uzdizanja (*engl. entertainment*),
5. objekti za treniranje, održavanje fizičkog i mentalnog zdravlja (*engl. recreation and sport facilities*),
6. objekti zaposlenja/radnih mjesta (*engl. office locations*).

Reklasifikacija točaka od interesa je prema autorima *OS-WALK-EU* opisana kao direktan i jednostavan proces, međutim problem nastaje kada se jedan objekt može svrstati u dvije ili više kategorija (npr. kafić). Kako bi se riješio uočeni problem, razvijena je poboljšana metodologija klasifikacije koja suprotstavlja dvije moguće klase kategorizacije i uspostavlja hijerarhijski poredak. U poretku kategorija, za objekt se odabire ona kategorija koja se nalazi na višem mjestu hijerarhije.

5.5. Konfiguracija alata za analizu pješačke pristupačnosti

Prije pokretanja alata za procjenu, potrebno je konfigurirati parametre temeljem kojih će algoritam odrediti indeks pješačke pristupačnosti. Konfiguracija parametara uvjetovana je perspektivom korisnika za koju se pješačka pristupačnost procjenjuje. Za sve korisničke perspektive neće odgovarati isti parametri zbog čega je prije pokretanja alata nužno definirati teorijsku osnovu perspektive korisnika. Perspektiva korisnika može se opisati kao ciljana publika za koju se procjenjuje pješačka pristupačnost nekog područja. U kontekstu ovog rada, definirane su tri perspektive korisnika: stanovnik područja, zaposlenik na području procjene i posjetitelj područja (turist).

Sukladno perspektivi korisnika, definiraju se maksimalne pješačke udaljenosti koje je korisnik perspektive spreman prepješačiti da bi došao do cilja. U kontekstu procjene, udaljenosti su prilagođene korisnicima pa je tako za prvu perspektivu (stanovanje) maksimalna udaljenost za pješačenje postavljena na 500m, za odlazak na posao 1000m i za turističko posjećivanje 1500m.

Nadalje, perspektiva korisnika uvjetuje i težine (u rasponu 0 do 1) za ulazne skupove podataka na način da najviše doprinesu razmatranoj perspektivi (tablica 2). Iz perspektive zaposlenik na području procjene i posjetitelja, populacija razmatranog područja ne utječe na pješačku pristupačnost pa je težina postavljena na 0. Ukoliko je težina postavljena na 0, faktor (skup podataka) ne ulazi u računanje indeksa pješačke pristupačnosti.

Tablica 2. Sustav težina za ulazne skupove podataka prema različitim perspektivama korisnika

Dimenzija	Stanovnik područja procjene	Zaposlenik na području procjene	Posjetitelj područja procjene
Točke od interesa	1	1	1
Doseg pješačke udaljenost	1	1	1
Stanovništvo	0,6	0	0
Zelena infrastruktura	0,5	0	0,6

Specifičnost korištene metodologije procjene je u tome da kroz sustav težina unutar točaka od interesa ima mogućnost prioritiziranja objekata koji se nalaze bliže centroidu ćelije na način da više doprinose indeksu pješačke pristupačnosti. Dodjeljivanje težina u tom slučaju radi se na način da se odabere do tri najbliža objekta koja će se razmatrati i dodijele im se težine 1-3. Odabir težina također je uvjetovan razmatranom perspektivom korisnika pa su u tablici 3 dane težine za odabrani broj najbližih objekata po perspektivama korisnika (tablica 3).

*Tablica 3. Sustav težina za objekte unutar točaka od interesa
(od najbližeg objekta – lijevo, do najdaljih objekata – desno)*

	Stanovnika područja			Zaposlenik na području			Posjetitelj područja		
<i>Retail</i>	3	1	1	0	0	0	2	1	
<i>Food-related</i>	3	2	1	3	1	1	3		
<i>Entertainment</i>	2	1	1	2	1		3	3	3
<i>Civic & Institution</i>	2	2							
<i>Office</i>				3	3	3			
<i>Recreation</i>	2	2							

5.6. Izvođenje analize pješačke pristupačnosti, optimizacija i iteracija postupka

Kada su definirani svi ulazni slojevi i odgovarajući parametri, pokretanjem alata procjene izračunava se indeks pješačke pristupačnosti za pojedinu ćeliju vektorske mreže poligona. Za potrebe ovog diplomskog rada provedena je odvojena procjena za tri korisničke perspektive, a iste su provedena po segmentima (nekoliko ćelija istovremeno) zbog ograničenih resursa i optimizacije procesa procjene. Kako bi se eliminirale pogreške i netočni rezultati, bitno je prije pokretanja alata ukloniti pogreške u podacima, npr. ne smije postojati ćelija za koju ne postoji podatak o populaciji ili čija je površina jednaka nuli (točka/linija). Ako je populacija manja od 1, fiktivno se vrijednost može postaviti na 1 (pa kasnije ćeliju izbrisati) ili odmah tu ćeliju ukloniti iz mreže poligona.

Jednom kad su dobiveni rezultati po segmentima procjene (za pojedinu korisničku perspektivu), kreiran je jedinstven sloj rezultata koji prekriva cijelo područje istraživanja.

5.7. Priprema podataka za vizualizaciju u web okruženju

Po završetku procjene pješačke pristupačnosti, podatke je potrebno vizualizirati na tematskoj karti u web okruženju što zahtijeva prilagodbu ulaznih slojeva u dva koraka: (1) konverzija slojeva u *TopoJSON* format te (2) izvoz podataka u *GeoJSON* formatu..

Za učitavanje podataka u *Mapbox Studio* najprije je potrebno konvertirati sve slojeve koji će se koristiti u konačnom prikazu u *TopoJSON* format. Za konverziju podataka u *TopoJSON* format korišteno je proširenje *TopoJSON Writer* (URL 26) koji je dostupan u repozitoriju *QGIS*-ovih proširenja. Nakon konverzije, podaci se iz *QGIS*-a izvoze u *GeoJSON* formatu. *TopoJSON* se često koristi kao prijelazni format između različitih *GIS* alata i platformi. *TopoJSON* format omogućuje bolju kontrolu nad geometrijskim podacima na razini različitih slojeva i stilova, što olakšava prilagodbu prikaza u skladu s potrebama projekta, dok se ponovna konverzija u *GeoJSON* obavlja radi daljnjeg procesiranja ili pripreme podataka za specifične potrebe u *Mapbox Studiu*. *Mapbox Studio* ne prepoznaje *GeoJSON* sloj bez provođenja ovog postupka koji predstavlja preduvjet za kasnije stiliziranje slojeva unutar *Mapbox Studia*.

5.8. Oblikovanje kartografskih stilova za prikaz podataka na karti

Oblikovanje vizualizacijskih stilova za podatke u *Mapbox Studiju* zahtijeva *API* ključ koji se dobije kreiranjem *Mapboxovog* korisničkog računa. Nakon kreiranja računa i konfiguracije osnovnih postavki radnog prostora, prvi korak je definiranje seta pločica. Jedan set pločica predstavlja jedan učitani sloj vektorskih ili rasterskih podataka koji su postavljeni na poligonsku mrežu jednakih dimenzija. Svaki kreirani set pločica dobiva vlastiti *ID* preko kojeg mu se pristupa u kasnijim fazama oblikovanja stila. *Mapbox Studio* dopušta više načina definiranja stila, a u ovom diplomskom radu korišten je stil kojeg korisnik oblikuje od početka. Stilovi su definirani kreiranjem prilagođenog sloja (*engl. Custom Layer*) s izvorom dodanim pomoću *ID*-a.

Mapbox Studio daje različite mogućnosti oblikovanja stila i obuhvaća određivanje:

- podataka koji će biti vidljivi u konačnom prikazu (ne moraju se prikazati svi podaci),
- tipa podataka koji će se prikazati (točkasti, linijski, poligonski, 3D poligonski, simbolični prikazi ili prikazi u obliku *heatmapa*)
- razine zumiranja,
- boja na prikazu, pri čemu se mogu postaviti različite boje za različite klase podataka
- prozirnosti, debljine i boje linije.

Interaktivna web-karta osim rezultata procjene pješačke pristupačnosti uključuje i objekte na temelju kojih su rezultati izračunati (točke od interesa i korištenje zemljišta) što zahtijeva oblikovanje stila prikaza i za te, dodatne podatke. Za prikaz rezultata procjene pješačke pristupačnosti (isto kao i za točke od interesa), unutar *Mapbox Studia* odabrano je šest klasa različitih boja s prozirnošću 50%, a za korištenje zemljišta trinaest. Oblikovan je i stil prikaza za pozadinske podatke, npr. ulice, građevine i sl. koji se nalaze na temeljnoj karti u pozadini tematske karte procjene pješačke pristupačnosti.

Nakon oblikovanja stilova prikaza, slijedi izrada koda za implementaciju karte u *JS Binu*. U prvoj fazi izrade koda potrebno je definirati osnovnu strukturu koda.

5.9. Implementacija karte

Osnovna struktura koda za web podržanu interaktivnu kartu definira se na početku *HTML* dokumenta. Struktura uključuje informacije o kodiranju znakova, naziv stranice i poveznice na vanjske stilove i skripte. U kodu je korišteno standardno kodiranje znakova (*UTF-8*), a od vanjskih poveznica korišteni su *Mapbox GL* za prikaz karte, *Font Awesome* za dodavanje ikona i font *PT Sans* za prikazivanje različitih tekstualnih sadržaja na karti:

```
/* Naziv stranice i poveznice na vanjske skripte */
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta charset="utf-8">
<title>Pješačka pristupačnost u Gradu Zagrebu</title>
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<!-- Mapbox GL CSS -->
<link href="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v3.3.0/mapbox-gl.css"
rel="stylesheet" />
```

```
<!-- Font Awesome -->
<link href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/font-
awesome/5.15.4/css/all.min.css" rel="stylesheet">
<!-- Google Fonts -->
<link
href=https://fonts.googleapis.com/css2?family=PT+Sans:wght@400;700&display=swap
rel="stylesheet">
```

Uspostavljanjem poveznica na vanjske stilove, u kodu se može oblikovati željeni stil za vizualizaciju podataka. Stil može obuhvaćati informaciju o veličini karte, veličinu i poziciju omogućenih interaktivnih elemenata unutar karte, poziciju i izgled legende i ostale elemente:

```
/* Postavljanje fonta, širine, dužine, margina, unutrašnjeg razmaka vidljivog
sadržaja */
<style>
body, html {
    margin: 0;
    padding: 0;
    width: 100%;
    height: 97%;
    font-family: 'PT Sans', sans-serif;}
</style>
```

Navigacija na karti omogućena je pozivanjem vanjske skripte *Mapbox GL JS* za koju je potreban pristupni token. Token omogućuje praćenje uporabe *Mapbox* računa, osigurava pravilnu uporabu različitih *API*-ja te pruža pristup različitim uslugama *Mapboxa* (npr. prikaz karte, navigacija, pristup različitim stilovima definiranim u *Mapbox Studiu*):

```
/* Definiranje pristupnog tokena */
<script src="https://api.mapbox.com/mapbox-gl-js/v3.3.0/mapbox-gl.js"></script>
<script>
mapboxgl.accessToken = 'your-access-token';
</script>
```

Po završetku strukturiranja osnova interaktivne web-karte, slijedi dodavanje različitih elemenata koji omogućuju korisničke prilagodbe prikaza – interaktivnost na karti.

5.10. Dodavanje interaktivnih elemenata

Interaktivnost karte postiže se dodavanjem elemenata koji korisnicima omogućuju interakciju s prikazanim sadržajem karte, npr. radio gumbovi (*engl. radio button*) ili informacijski gumb (*engl. info button*). Radio gumbovi korisnicima omogućuju promjenu stilova (sadržaja prikaza)

web-karte što dovodi do ažuriranja tj. promjene stila prikaza (npr. za pojedinu perspektivu za koju se radila procjena pješачke pristupačnosti):

```
/* Definiranje radio gumbova */  
<div class="toggles">  
  <label><input id="toggleModel" name="mapLayer" type="radio"> Stanovanje</label>  
  <label><input id="toggleMode2" name="mapLayer" type="radio"> Posao</label>  
</div>
```

Na kreiranoj web-karti ukupno je postavljeno pet radio gumbova koji definiraju prikaz stila za pet različitih tematskih kategorija: stanovanje, zaposlenje i turizam te točke od interesa i korištenje zemljišta:

```
/* Povezivanje radio gumba s odgovarajućim stilom*/  
document.querySelectorAll('input[name="mapLayer"]').forEach(function(radio) {  
  radio.addEventListener('change', function() {  
    if (this.checked) return;  
    if (this.id==='toggleModel') {  
      map.setStyle('mapbox://styles/your-style-id1');  
    } else if (this.id === 'toggleMode2') {  
      map.setStyle('mapbox://styles/your-style-id2'); }  
  });  
});
```

Za ostvarivanje preglednog prikaza karte, modifikacijama koda definirana je mogućnost istovremenog prikazivanja samo jednog stila prikaza:

```
/* Ograničavanje vidljivosti na samo jedan stil */  
map.on('load', function() {  
  map.addLayer({  
    id: 'class1',  
    type: 'fill',  
    source: {  
      type: 'geojson',  
      data: 'path/to/geojson/source'},  
    layout: {  
      'visibility': 'none'},  
  });  
  document.getElementById('toggle Layer Checkbox').addEventListener('change',  
function() {  
  const visibility = map.getLayoutProperty('class1', 'visibility');  
  map.setLayoutProperty('class', 'visibility', visibility === 'visible' ? 'none':  
'visible');  
  });  
});
```

Ovisno o odabiru pojedinog gumba, prikazuje se i odgovarajući tumač znakova. Kodom su ukupno definirana tri tumača znakova: (1) tumač znakova za razmatranu pojedinu korisničku

perspektivu (stanovanje, zaposlenje i turizam), (2) način korištenja zemljišta i (3) kategorije točaka od interesa:

```
/* Definiranje tumača znakova */
const legendData = [
  { color: '#808080', description: 'Nema podataka'},
  { color: '#d7191c', description: '0-10%' }];
const legendContainer = document.createElement('div');
legendContainer.className = 'legend';
for (const item of legendData) {
  const legendItem = document.createElement('div');
  const legendColor = document.createElement('div');
  legendColor.style.backgroundColor = item.color;
  const legendText = document.createElement('span');
  legendText.textContent = item.description;
  legendItem.appendChild(legendColor);
  legendItem.appendChild(legendText);
  legendContainer.appendChild(legendItem);}
document.body.appendChild(legendContainer);
```

Osim radio gumbova, na kartu je dodan i informacijski gumb koji otvara skočni prozor u kojeg su uneseni metapodaci o karti – autor, izvori podataka, licencija, ...:

```
/* Definiranje skočnog prozora */
const infoButton = document.getElementById('infoButton');
const infoModal = document.getElementById('infoModal');
const closeButton = document.querySelector('.close');
infoButton.addEventListener('click', function() {
  infoModal.style.display = infoModal.style.display === "block" ? "none": "block";
});
closeButton.addEventListener('click', function() {
  infoModal.style.display = "none";
});
window.addEventListener('click', function(event) {
  if (event.target == infoModal) {
    infoModal.style.display = "none";
  }
});
```

Na kartu je dodana i mogućnost prikaza atributnih podataka prelaskom miša preko određenog elementa. Tako se npr. prelaskom miša preko ćelija s procjenom pješačke pristupačnosti ispisuju podaci o indeksu pješačke pristupačnosti, za stil korištenja zemljišta ispisuju se podaci o tipu zemljišta, a za stil točke od interesa ispisuje se podatak o tipu objekta koju točka predstavlja:

```
/* Prikazivanje atributnih podataka prelaskom miša */
function displayResultNearMouse (e, feature) {
  const resultContainer = document.getElementById('result-container');
```

```
if (feature.properties.Population === 1) {
  resultContainer.innerHTML = "<p>Nema podataka</p>";
} else {
  const roundedResult = Number(feature.properties.Result).toFixed(2);
  resultContainer.innerHTML = '<p>Indeks pješaka pristupačnost iznosi
${roundedResult} %</p>'; }
resultContainer.style.left = (e.point.x + 10) + 'px';
resultContainer.style.top = (e.point.y + 10) + 'px';
resultContainer.style.display = 'block';}
map.on('mousemove', function(e) {
  const features = map.queryRenderedFeatures(e.point);
  for (const feature of features) {
    if (feature.properties.Result && feature.properties.
Population) {
      displayResultNearMouse(e, feature);
      break;}
  }
});
```

Od interaktivnih elemenata, dodana je i mogućnost zumiranja sadržaja na karti (povećanje i smanjenje prikaza:

```
/* Ikone zumiranja */
map.addControl(new mapboxgl.NavigationControl({
  showZoom: true,
  showCompass: true
}), 'top-left');
```

Po završetku izrade koda slijedi faza testiranja. *JS Bin* omogućuje dijeljenje koda pomoću linka, ali isto tako daje mogućnost preuzimanja koda na lokalno računalo. Za ispitivanje koda korištena je mogućnost dijeljenja u obliku odgovarajućeg linka.

5.11. Testiranje, optimizacija, objavljivanje i implementacija

Testiranje koda evidentira nedostatke i omogućuje njihovo ispravljanje u fazi optimizacije. Kod se testira na različitim izlaznim uređajima i različitim web preglednicima od kojih su korišteni *Google Chrome*, *Internet Explorer* i *Mozilla Firefox*.

Optimizacija koda odnosi se na smanjenje broja procesa što doprinosi većoj brzini izvršavanja koda i boljoj responzivnosti karte. Optimizacija je provedena u nekoliko navrata. Prvotni kod je u iterativnom postupku proširivan što je zahtijevalo ponovno oblikovanje stilova prikaza u *Mapbox Studiu* kojim se osiguralo brže učitavanje podataka i bolja reaktivnost karte.

Optimizacijom su otklonjeni i neki slojevi u stilovima *Mapbox Studio* što je osiguralo brži prijelaz između stilova na web-karti.

Završni korak u izradi interaktivne vizualizacije je objavljivanje karte na web serveru. Sadržaj je objavljen u svrhu postizanja potpune transparentnosti i diseminacije dobivenih rezultata procjene pješačke pristupačnosti. Kreirana interaktivna web-karta objavljena je na web serveru Geodetskog fakulteta i dostupna je na web adresi (URL 27).

6. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultat ovog diplomskog rada je procjena i vizualizacija pješačke pristupačnosti na području Grada Zagreba. Procjenom su obuhvaćene sve gradske četvrti, osim zona 1x1 kilometar za koje nisu bili sadržani podaci o broju stanovnika. Identifikacija relevantnih izvora podataka i njihova primjena omogućila je kvantificiranje pješačke pristupačnosti, što je rezultiralo jasnim i mjerljivim pokazateljima. Vizualizacija rezultata u interaktivnom web okruženju omogućila je korisnicima detaljan pregled i usporedbu rezultata, kao i interaktivno istraživanje različitih četvrti. Izrađena web-karta olakšala je razumijevanje prostorne distribucije pješačke pristupačnosti te pružila dodatne informacije o specifičnim lokacijama, čime je postignut cilj boljeg razumijevanja i interpretacije podataka.

Pješačka pristupačnost procijenjena je i vizualizirana na interaktivnoj web-karti iz tri različite perspektive korisnika: 1) stanovnik područja (slika 8.), 2) zaposlenik na području (slika 9.) i 3) posjetitelj područja (turist) (slika 10.). Navedena tri scenarija omogućuju sveobuhvatan prikaz pješačke pristupačnosti za različite potrebe i korisničke skupine, pružajući detaljan uvid u to koliko je grad Zagreb prilagođen pješacima u različitim kontekstima.

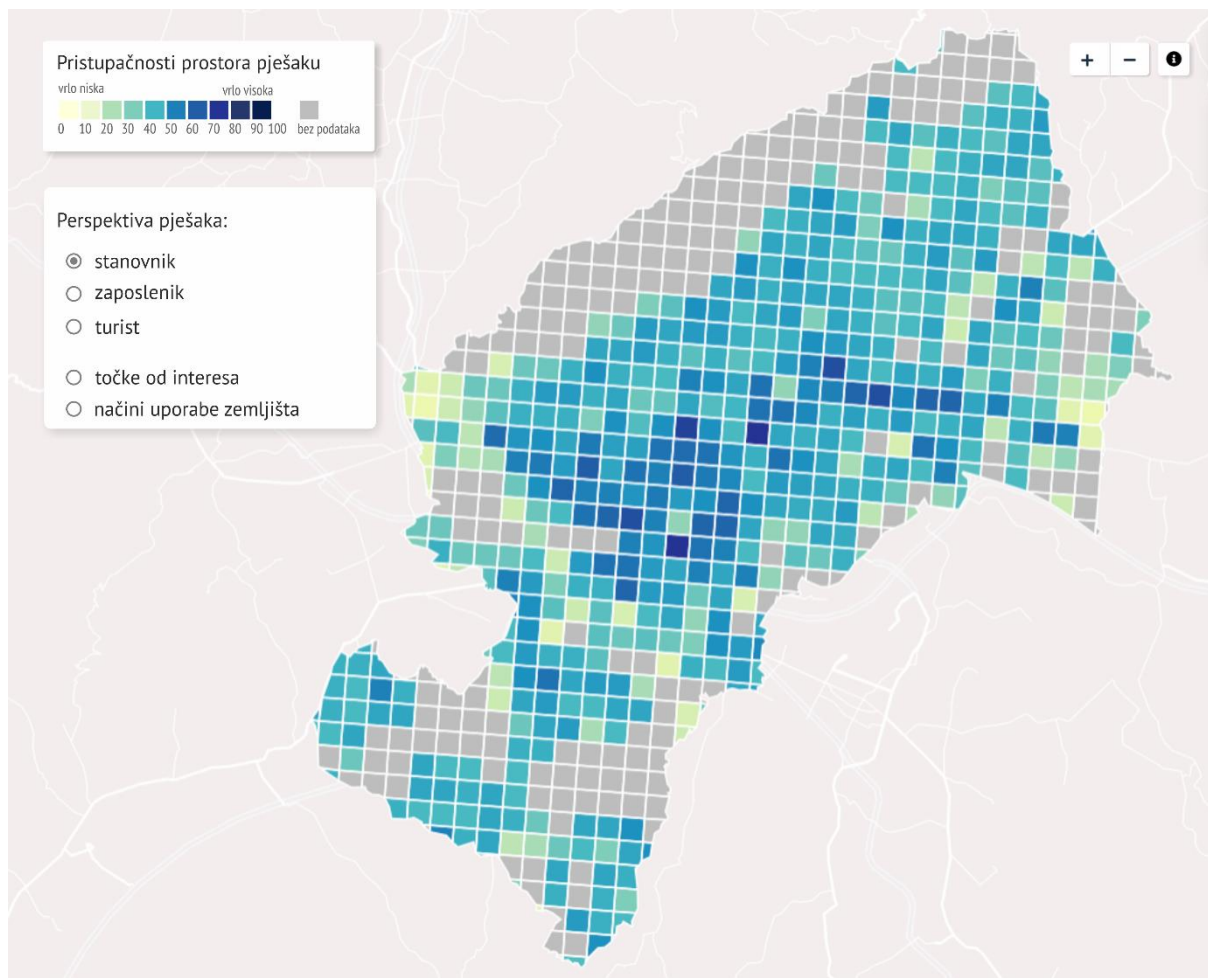
Promatranjem i uspoređivanjem podataka zaključuje se da je Donji Grad pješački najpristupačniji (indeks pješačke pristupačnosti iznosi od 65 do 87) te se pristupačnost smanjuje prema rubnim dijelovima grada (indeks pješačke pristupačnosti iznosi od 10 do 50). Donji Grad obuhvaća uže područje oko glavnog gradskog trga (Trg bana Josipa Jelačića). Centar grada ima najviše turističkih znamenitosti (ukupno 66), postoji ograničenje korištenja osobnih vozila i najgušće je naseljen (prosječna gustoća stanovnika iznosi 12 341). S druge strane, na istoku i zapadu Zagreba smještene su velike avenije koje povezuju grad s njenom okolicom (Samobor, Zaprešić, Dugo Selo). Avenijama se prvenstveno dolazi u Zagreb zbog obavljanja poslovnih aktivnosti, a potom zbog različitih mogućnosti koje glavni grad pruža (zdravstvena zaštita, kulturna i sportska događanja, kupovina određenih potrepština itd.). Na jugu nalaze se prometnice koje povezuju Zagreb s ostalim dijelovima Republike Hrvatske. U tom dijelu trgovački centri smanjuju prostor za pješake te negativno utječu na indeks pješačke pristupačnosti (indeks iznosi od 20 do 50). Sjeverni dio ima manju pješačku pristupačnost (indeks iznosi od 40 do 50) zbog veće nadmorske visine. Točan utjecaj visine je teško odrediti zbog nedostatka podataka o broju stanovnika potrebnih za izračunavanje indeksa.

Uspoređujući tri scenarija, može se zaključiti da je pristupačnost najveća za turistička posjećivanja (slika 8.) jer Grad Zagreb sadrži mnogo zabavnih lokacija (kina, kazališta, muzeja itd.). S obzirom da je gustoća stanovništva zanemarena, područja s manjom gustoćom ne postaju pješački nepristupačna što utječe na veći indeks pješačke pristupačnosti u odnosu na ostale scenarije. Promatrajući iz poslovne perspektive (slika 9.) Grad Zagreb je najmanje pješački pristupačan. U ovom scenariju zanemarena je gustoća stanovnika te rekreacijske površine. Grad Zagreb, u odnosu na neke druge velike gradove Europske unije (npr. Lisabon, Dublin i dr.) ima mnogo rekreacijskih površina (Maksimir, Bundek, Jarun, Sljeme itd.), a upravo su te površine izostavljene iz analize. Najveća važnost je pridodana poslovnim prostorima kojih je manje u odnosu na druge točke od interesa (trgovine prehrambenim i neprehrambenim proizvodima, prostori za zabavu, rekreacijski prostori, civilni i institucionalni objekti). Središnji je scenarij stanovanja (slika 10.). Poslovni prostori su zanemareni, dok su svi ostali objekti dobili na važnosti.

Ako se zbirno promatraju sva tri scenarija, može se zaključiti da je Grad Zagreb pješački vrlo pristupačan. Malo zona ima vrlo nizak ili nizak (Sesvete, Podsused-Vrapče), a mnoge zone (Donji Grad, Trnje, Trešnjevka-sjever, Trešnjevka-jug, Maksimir) imaju visok ili vrlo visok indeks pješačke pristupačnosti. Unatoč povoljnoj situaciji vezanoj uz pješačku pristupačnost, Zagreb treba težiti poboljšanju pješačke pristupačnosti rubnih dijelova grada kako bi svi stanovnici grada imali jednake životne uvjete.

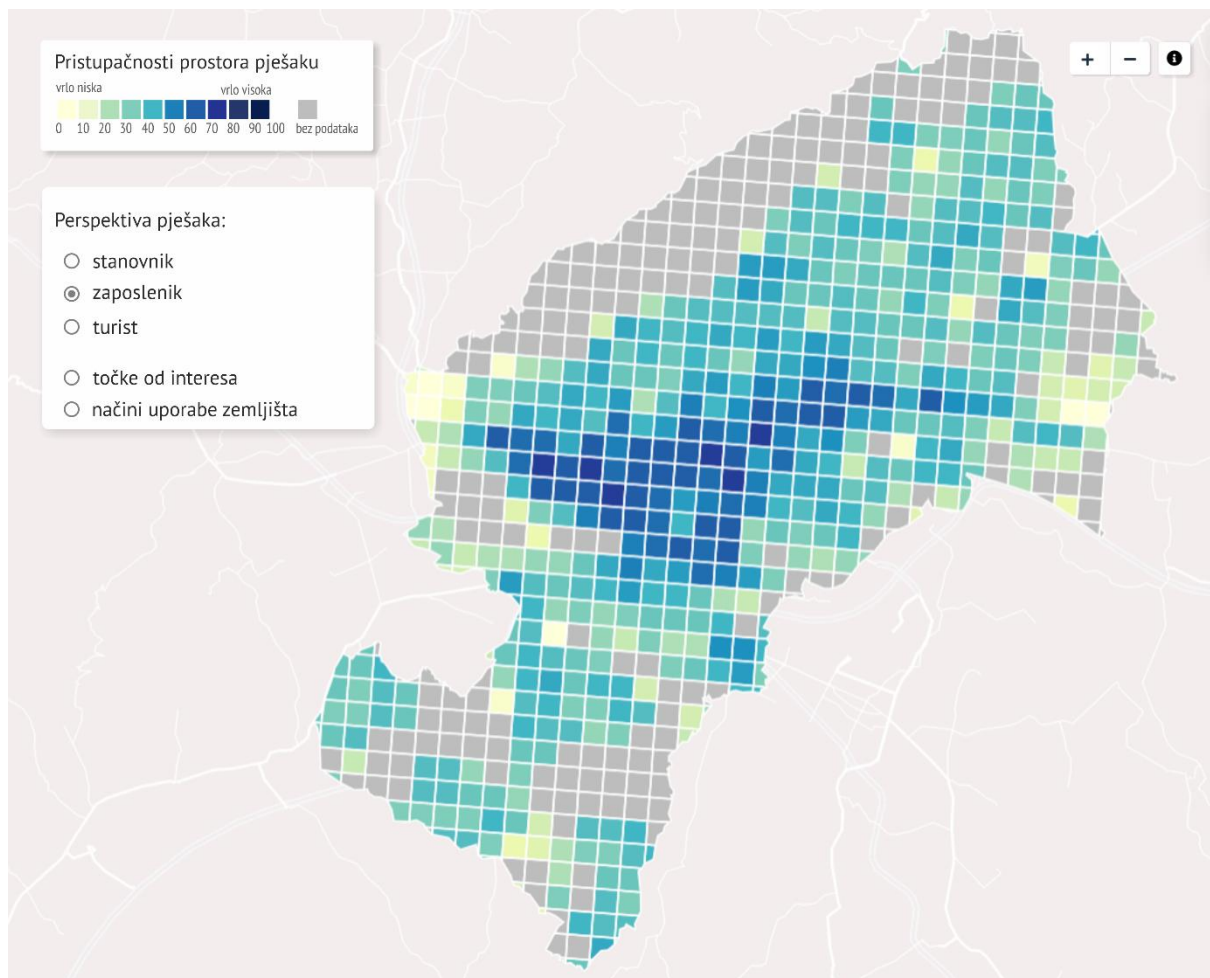
Pri izradi ovog diplomskog rada pojavilo se nekoliko ključnih izazova koji mogu utjecati na procjene pješačke pristupačnosti. Centralni elementi potrebni za određivanje pješačke pristupačnosti su velika količina točaka od interesa i podataka o rekreativnim područjima. Kvalitetni podaci o broju stanovnika, ključni su za pravilnu analizu, pri čemu su podaci *Eurostata* trenutno najpouzdaniji dostupni izvornik.

Postavljanje težina za različite kategorije također je izazovan faktor u određivanju rezultata pješačke pristupačnosti. Ovaj proces zahtijeva detaljno razumijevanje algoritma koji stoji iza računanja indeksa pješačke pristupačnosti, kako bi se osiguralo da rezultati budu objektivni i korisni za donošenje odluka. Standardizacija težina za različite korisničke perspektive ključna je za uspješnu analizu.



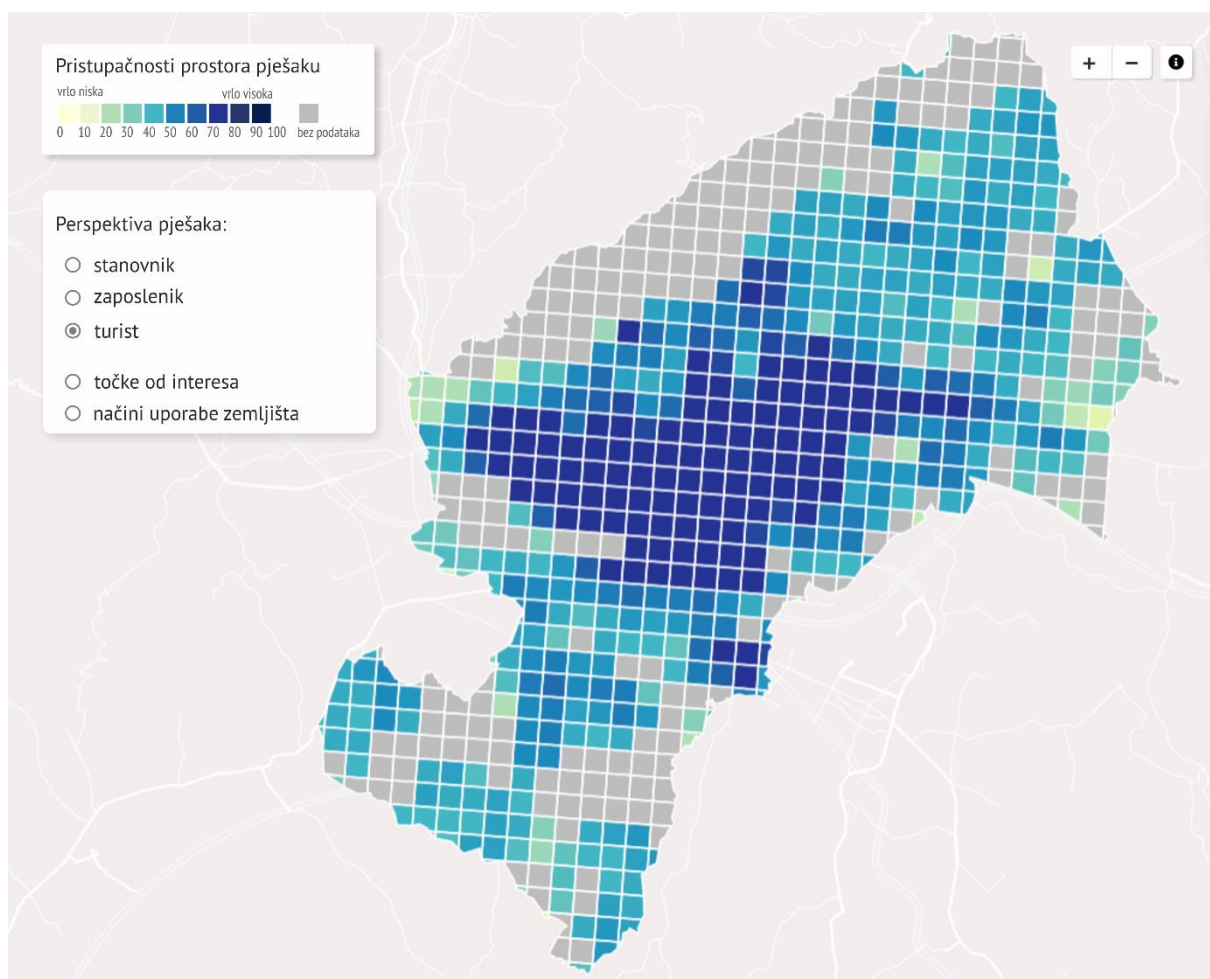
Slika 8. Vizualizacija procijenjenih indeksa pješačke pristupačnosti na web-karti.

Perspektiva: pješak je stanovnik na području procjene.



Slika 9. Vizualizacija procijenjenih indeksa pješačke pristupačnosti na web-karti.

Perspektiva: pješak je zaposlenik na području procjene.



Slika 10. Vizualizacija procijenjenih indeksa pješačke pristupačnosti na web-karti.

Perspektiva: pješak je posjetitelj (turist) na području procjene.

7. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu uspješno su ostvareni postavljeni ciljevi istraživanja pješačke pristupačnosti u Gradu Zagrebu. Korištenjem *GIS* pristupa i otvorenih podataka procijenjena je razina pješačke pristupačnosti na odabranom području grada za tri različite perspektive korisnika: stanovnik područja, zaposlenik na području i posjetitelj područja (turist). Identificirani su ključni faktori koji utječu na tu pristupačnost te je primijenjena odgovarajuća metodologija za kvantificiranje rezultata. Nadalje, primjenom web tehnologija izrađena je interaktivna web-karta koja omogućuje korisnicima pregledavanje, usporedbu rezultata i detaljno istraživanje različitih četvrti u gradu Zagrebu. Ovo okruženje pruža jasnu vizualizaciju prostorne distribucije pješačke pristupačnosti, olakšavajući interpretaciju dobivenih rezultata.

Interpretacija vizualiziranih rezultata pokazala je da je Zagreb općenito dobro pješački pristupačan, s najvećom pristupačnošću u Donjem Gradu, dok se pristupačnost smanjuje prema rubnim dijelovima grada. Najmanja pristupačnost zabilježena je u zapadnom dijelu Podsused – Vrapče i istočnom dijelu Sesveta, što ukazuje na potrebu za poboljšanjem pješačke infrastrukture kroz uklanjanje prepreka, izgradnju novih staza, širenje rubnjaka i slične mjere.

Ovaj rad imao je za cilj pružiti podršku prostornim planerima u identifikaciji područja koja zahtijevaju unaprjeđenje pješačke infrastrukture, s fokusom na Grad Zagreb. Procjena pješačke pristupačnosti provedena u ovom radu može se primijeniti i na druge lokacije u Republici Hrvatskoj, pod uvjetom dostupnosti adekvatnih prostornih podataka.

Rezultati dobiveni u ovom diplomskom radu mogu pružiti vrijedne informacije za donošenje urbanističkih odluka i provedbu promjena koje će dodatno poboljšati pješačku pristupačnost u Zagrebu. Urbanisti mogu iskoristiti ove podatke kako bi unaprijedili infrastrukturu u manje pristupačnim rubnim dijelovima grada, dok gradski planeri mogu koristiti iste informacije za usmjeravanje urbanog razvoja prema prioritetima u područjima gdje je pješačka pristupačnost najvažnija.

U budućnosti, istraživanje pješačke pristupačnosti u Zagrebu moglo bi se unaprijediti na nekoliko načina. Prvo, moglo bi se uključiti detaljnije prikupljanje podataka o demografskim karakteristikama stanovništva, kao što su dobna struktura ili posebne potrebe osoba s invaliditetom, kako bi se bolje razumjeli različiti aspekti pješačke pristupačnosti. Nadalje,

integracija anketa među lokalnim stanovništvom mogla bi pružiti vrijedne uvide u stvarne percepcije i potrebe korisnika pješačkih zona, što bi omogućilo personaliziraniji pristup u planiranju pješačke infrastrukture.

Također, korištenje naprednijih tehnologija poput senzora ili mobilnih aplikacija za praćenje kretanja pješaka moglo bi pružiti realnije podatke o stvarnoj upotrebi pješačkih staza i zona. Proširenje prostornog obuhvata istraživanja na druge dijelove grada ili čak na druga urbana područja u Hrvatskoj moglo bi stvoriti širu sliku o pješačkoj pristupačnosti na nacionalnoj razini.

Povezivanje rezultata istraživanja s urbanističkim planiranjem i politikama održivog razvoja moglo bi potaknuti implementaciju konkretnih mjera za unapređenje pješačke infrastrukture, kao što su izgradnja novih pješačkih staza, poboljšanje sigurnosti pješačkih prijelaza ili smanjenje prometne gužve. Naposljetku, primjena naprednih metoda analize podataka i prostornog modeliranja mogla bi doprinijeti boljem predviđanju budućih potreba za pješačkom pristupačnošću i optimizaciji planova za urbano planiranje. Sve ove mogućnosti mogu proširiti učinkovitost istraživanja pješačke pristupačnosti, pružajući sveobuhvatan uvid koji će pomoći u stvaranju urbane okoline koja je pristupačna, sigurna i ugodna za sve građane.

LITERATURA

- Braunschweig, K., Eberius, J., Thiele, M., Lehner, W. (2012): The State of Open Data, Technische Universität Dresden, 1-6.
- Dovey, K., Pafka, E. (2020): What is walkability? The urban DMA. *Urban studies*, Vol. 57(1), 93-108.
- Ewing, R., Cervero, R. (2010). Travel and the built environment: A meta-analysis. *Journal of the American planning association*, Vol. 76(3), 265-294.
- Frančula, N. (2004): Materijali s predavanja Kartografske projekcije, interna skripta
- Frank, L.D., Sallis, J.F., Saelens, B.E., Leary, L., Cain, K., Conway, T.L., Hess, P.M. (2010): The development of a walkability index: Application to the Neighborhood Quality of Life Study. *Br. J. Sports Med.* Vol. 44, 924–933
- Field, K. (2018): *Cartography*. (1st ed.). Esri Press.
- Fina, S., Gerten, C., Pondi, B., D'Arcy, L., O'Reilly, N., Sousa Vale, D., Pereira, M., Zilio, S. (2022): OS-WALK-EU: An open-source tool to assess health-promoting residential walkability of European city structures, *Journal of Transport & Health*, Vol. 27 (101486), 1-15.
- Forsyth, A. (2015): What is a walkable place? The walkability debate in urban design. *Urban design international*, Vol. 20, 274-292.
- Horak, J., Kukuliac, P., Maresova, P., Orlikova, L., Kolodziej, O. (2022): Spatial Pattern of the Walkability Index, Walk Score and Walk Score Modification for Elderly, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, Vol. 11 (279), 1-29.
- Knapskog, M., Hagen, O. H., Tennøy, A., Rynning, M. K. (2019): Exploring ways of measuring walkability, *Transportation Research Procedia*, Vol. 41, 264-282.
- Koh, P. P., Wong, Y. D. (2015): Walking and cycling as an urban transport option in Singapore. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Municipal Engineer*, Vol. 168 (2), 106-114.
- Koktava, N., Horak, J. (2023): Options for micro-mobility data visualization, *European Journal of Geography*, Vol. 14 (4), 46-52.
- Kuveždić Divjak, A. (2024): Materijali s predavanja Digitalna kartografija, interna skripta.
- Kuveždić Divjak, A. (2024): Materijali s predavanja Kartografske projekcije, interna skripta.
- Lovrić, P. (1988): *Opća kartografija*. Sveučilišna naknada Liber, Zagreb.
- Marakkalage, S. H., Lau, B. P. L., Zhou, Y., Liu, R., Yuen, C., Yow, W. Q., Chong, K. H. (2021): WiFi fingerprint clustering for urban mobility analysis. Vol 9.
- Narodne novine (2022): Zakon o pravu na pristup informacijama, Narodne novine br. 69, Zagreb.
- Newman, P., Kenworthy, J. (2015): The end of automobile dependence. *Island Press/Center for Resource Economics*. 105-140.
- Peterca, M., Radošević, N., Milisavljević, S., Racetin, F. (1974): *Kartografija*. Vojnogeografski institut, Beograd.

- Peterson, M. P. (2014): *Mapping in the Cloud*. Guilford Publications.
- Sevtsuk, A., Kalvo, R., Ekmekci, O. (2016). Pedestrian accessibility in grid layouts: The role of block, plot and street dimensions, *Urban Morphology*, Vol. 20(2), 89-106.
- Singh, R. (2016): Factors affecting walkability of neighborhoods, *Procedia - Social and Behavioral Science*, Vol. 216, 643-654.
- Telega, A., Telega, I., Bieda, A. (2021): Measuring Walkability with GIS—Methods Overview and New Approach Proposal, *Sustainability*, Vol. 13 (1883), 1-17.
- Whyte, W. H. (1980). *The Social Life of Small Urban Spaces*. Conservation Foundation.

INTERNETSKI IZVORNICI

URL 1: Karta linija,

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_New_York_City_Subway_stations,
(4. 6. 2024.).

URL 2: Koropletna karta,

<https://observablehq.com/d/fc834042072dc6a2>,
(4. 6. 2024.).

URL 3: Karta izokrona,

<https://alternativetransport.wordpress.com/2017/12/28/isochrone-maps-2017-in-review/>,
(4. 6. 2024.).

URL 4: Dasimetrijska karta,

<https://www.usgs.gov/media/images/dasymmetric-population-density>,
(4. 6. 2024.).

URL 5: Karta pokreta,

<https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/common-thematic-map-types>,
(4. 6. 2024.).

URL 6: Urbanistički otisak kretanja,

https://www.researchgate.net/figure/Mobility-Fingerprint-and-Street-DNA-of-New-York-City-retrieved-from-Reimann-et-al-2017_fig6_375734807,
(4. 6. 2024.).

URL 7: Data Europe,

<https://data.europa.eu/en/dataeuropa-academy/what-open-data>,
(26. 6. 2024.).

URL 8: Geoportal Grada Zagreba,

[https://geoportal.zagreb.hr/.](https://geoportal.zagreb.hr/),
(26. 6. 2024.).

URL 9: GeoHub Zagreb,

<https://geohub-zagreb.hub.arcgis.com/search?type=wfs>,
(2. 6. 2024.).

URL 10: GIS definicija,

<https://education.nationalgeographic.org/resource/geographic-information-system-gis/>,
(26. 6. 2024.).

URL 11: OS-WALK-EU,

<https://www.youtube.com/watch?v=sOJoNhh4E90>,
(4. 6. 2024.).

URL 12: Google Maps Platform,

<https://mapsplatform.google.com/>,
(26. 6. 2024.).

URL 13: Mapbox Studio,

<https://docs.mapbox.com/studio-manual/guides/>,
(2. 6. 2024.).

URL 14: CARTO Builder,

<https://carto.com/builder>,
(26. 6. 2024.).

URL 15: Mapbox,

<https://www.mapbox.com/>,
(26. 6. 2024.).

URL 16: Mapbox GL JS,

<https://docs.mapbox.com/mapbox-gl-js/guides/>,
(26. 6. 2024.).

URL 17: HTML,

<https://en.wikipedia.org/wiki/HTML>,
(26. 6. 2024.).

URL 18: CSS,

<https://en.wikipedia.org/wiki/CSS>,
(26. 6. 2024.).

URL 19: JavaScript,

<https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript>,
(26. 6. 2024)

URL 20: JS Bin,

<https://jsbin.com/help/about/#:~:text=JS%20Bin%20is%20a%20webapp,new%20tabs%20doesn't>,
(2. 6. 2024.).

URL 21: Grad Zagreb,

<https://proleksis.lzmk.hr/56157/>,
(2. 6. 2024.).

URL 22: Grad Zagreb,

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>,
(2. 6. 2024.).

URL 23: QuickOSM,

<https://plugins.qgis.org/plugins/QuickOSM/>,
(25. 6. 2024.).

URL 24: OpenTopografy DEM,

<https://opentopography.org/>,
(2. 6. 2024.).

URL 25: Openrouteservice,

<https://openrouteservice.org/dev/#/login>, (2. 6. 2024.).

URL 26: TopoJSON Writer,

https://plugins.qgis.org/plugins/topojson_writer/,
(25. 6. 2024.).

URL 27: Web-karta,

<http://www2.geof.unizg.hr/~akuvezdic/mbosnjak>,
(25. 6. 2024.).

POPIS SLIKA

Slika 1. Karta linija za prikaz sheme mreže podzemne željeznice u New Yorku (isječak) (URL 1).....	12
Slika 2. Koropletna karta gustoće stanovništva u Europi prema NUTS 2 regijama (URL 2)	13
Slika 3. Karta izokrona prometnog prostornog doseg za različite vremenske intervale putovanja (URL 3).....	14
Slika 4. Dasimetrijska karta gustoće stanovnika na području San Francisca (URL 6)	15
Slika 5. Karta pokreta najvećih emigracija iz Njemačke u 2014. godini (URL 7)	16
Slika 6. Urbanistički otisak kretanja (engl. Urban City Fingerprint) Central Parka u New Yorku (URL 8).....	16
Slika 7. Položaja Grada Zagreba na teritoriju Republike Hrvatske i njegove gradske četvrti (URL 21)	30
Slika 8. Prikaz indeksa pješačke pristupačnosti za perspektivu: stanovnik područja	45
Slika 9. Prikaz indeksa pješačke pristupačnosti za perspektivu: zaposlenik na području procjene	47
Slika 10. Prikaz indeksa pješačke pristupačnosti za perspektivu: posjetitelj područja.	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Razine pješačka pristupačnost s obzirom na vrijednost indeksa pješačke pristupačnosti (URL 11)	23
Tablica 2. Sustav težina za ulazne skupove podataka prema različitim perspektivama korisnika.....	35
Tablica 3. Sustav težina za objekte unutar točaka od interesa (od najbližeg objekta – lijevo, do najdaljih objekata – desno)	36

PRILOZI

Prilog br. 1 – Kod korišten za vizualizaciju pješačke pristupačnosti	
Prilog br. 2 – Slojevi u .geojson formatu (točke od interesa, rezultati tri scenarija pješačke pristupačnosti, korištenje zemljišta, granice gradskih četvrti)	
Prilog br. 3 – Excel tablica s klasifikacijom točaka od interesa u 6 kategorija	

**EUROPEAN
CURRICULUM VITAE
FORMAT**



OSOBNJE OBAVIJESTI

Ime	Mateo
Adresa	Ksavera Šandora Đalskog 29., Slatina
Telefon	095/531-2221
E-pošta	mbosnjak@geof.hr
URL	
Nacionalnost	Hrvat
Državljanstvo	Hrvatsko
Datum rođenja	13.06.2000.

RADNO ISKUSTVO

- Datum (od – do) 08.04.2024.- danas
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja GEO2M, Međimurska ulica 19, Zagreb
- Vrsta posla ili područje Geodezija
- Zanimanje i položaj koji obnaša Geodet
- Osnovne aktivnosti i odgovornosti Obavljanje nove katastarske izmjere u k.o. Poznanovec

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- Datum (od – do) 03.10.2022.-
- Naziv i vrsta obrazovne ustanove Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Diplomski studij
- Osnovni predmet /zanimanje Geodezija
- Naslov postignut obrazovanjem Magistar inženjer geodezije i geoinformatike
- Stupanj nacionalne kvalifikacije VSS

- Datum (od – do) 30.09.2019.-18.07.2022.
 - Naziv i vrsta obrazovne ustanove Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Preddiplomski studij
 - Osnovni predmet /zanimanje Geodezija i geoinformatika
 - Naslov postignut obrazovanjem Sveučilišni prvostupnik inženjer geodezije i geoinformatike
 - Stupanj nacionalne kvalifikacije VŠS
-
- Datum (od – do) 07.09.2019.-23.05.2019.
 - Naziv i vrsta obrazovne ustanove Gimnazija
 - Osnovni predmet /zanimanje /
 - Naslov postignut obrazovanjem /
 - Stupanj nacionalne kvalifikacije SSS

OSOBNJE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

MATERINSKI JEZIK

HRVATSKI JEZIK

DRUGI JEZICI

ENGLESKI JEZIK

- sposobnost čitanja
- sposobnost pisanja
- sposobnost usmenog izražavanja

IZVRSNO
VRLO DORBO
DOBRO

SOCIJALNE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

Iskustvo u radu različitih zadataka, unutar struke, u manjim grupama po nekoliko članova.

ORGANIZACIJSKE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

Sudjelovanje u organiziranju manjih manifestacija, poput pub kvizova.

TEHNIČKE VJEŠTINE I
SPOSOBNOSTI

Rad na računalu u različitim softverima poput
AutoCada, QGIS-a, Microsoft paketa.

VOZAČKA DOZVOLA

Automobil B