

ANALIZA PROMETNE DOSTOPNOSTI S PODATKI OPENSTREETMAPA

Simon Koblar

Urbanistični inštitut Republike Slovenije

simon.koblar@uirsi.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4470-4360>

Valentina Pajk Koblar

Kaliopa, informacijske rešitve d. o. o.

valentina.pajk-koblar@kaliopa.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610504696_12

UDK: 911.3:656.11(497.4)

659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

Analiza prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMapa

Analize prometne dostopnosti v primerjavi z izračunom evklidske razdalje zagotavljajo boljšo natančnost rezultatov, zato so v zadnjih letih vse pogosteje uporabljene. Njihova glavna slabost je zahtevna izdelava prometnega omrežja, ki je do sedaj večinoma temeljila na uporabi cestnih podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije. V prispevku predstavimo analizo prometne dostopnosti s podatki OpenStreetMapa, ki na območju Slovenije vključujejo večino kategoriziranih javnih cest. Pri tem uporabimo orodja Openrouteservice, ArcGIS in OpenTripPlanner. Postopek izdelave omrežja in analiz dostopnosti se je izkazal za dovolj enostavna in hitrega, vsa uporabljena orodja pa dajejo zadovoljive rezultate.

KLJUČNE BESEDE

OpenStreetMap, prometna dostopnost, modeliranje, GIS, evklidska razdalja, prometno omrežje

ABSTRACT

Traffic accessibility analyses using OpenStreetMap data

Traffic accessibility analyses, compared to the Euclidean distance calculation, provide better accuracy of results and have been increasingly used in recent years. The main drawback of this approach is demanding construction of a transport network, which so far has been usually based on road data from the Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia. This paper presents a traffic accessibility analysis with OpenStreetMap data, which includes most of the categorized public roads in Slovenia. Analyses were made with Openrouteservice, ArcGIS and OpenTripPlanner. The process of network creation and accessibility analysis has proven to be simple and quick enough. All tools are producing satisfactory results.

KEY WORDS

OpenStreetMap, traffic accessibility, modelling, GIS, Euclidean distance, transport network

1 Uvod

Pri načrtovanju prostorskega razvoja je koncept prometne dostopnosti eden bistvenih. To velja tako na regionalni (Kozina 2009) kot na lokalni ravni (Tiran, Lakner in Drobne 2019). V zadnjih letih se vse bolj uveljavlja modeliranje prometne dostopnosti na podlagi prometnega omrežja, rezultati teh analiz so namreč veliko bolj natančni od izračuna evklidske razdalje (Kozina 2010a). Dosedanje raziskave prometne dostopnosti v Sloveniji so se osredotočale predvsem na dostopnost peš (Kozina 2010a; Tiran, Mladenovič in Koblar 2014; 2015; Tiran 2015; Koblar 2017; Tiran in Koblar 2017; Tiran, Koblar in Mladenovič 2017; Tiran, Lakner in Drobne 2019) in na dostopnost z osebnim avtom (Bensa s sodelavci 1996; Gulič in Plevnik 2000; Kozina 2008; 2010b; 2010c; Drobne in Paliska 2015). Večina teh analiz je bilo opravljenih z omrežji, izdelanimi pretežno s podatki iz zbirke Gospodarska javna infrastruktura (v nadaljevanju GJI) – cestna infrastruktura, v kateri pa ni zabeležene omejitve hitrosti, zato so za izračun potovalnega časa uporabljene posplošene povprečne vrednosti (Ivajnsič in Novak 2017), povprečne hitrosti glede na kategorijo ceste (Gulič in Plevnik 2000; Drobne in Paliska 2015), glede na podatke o hitrostih samodejnih števecov in kategorije ceste (Kozina 2008) ali pa so bili podatki o omejitvah na podlagi terenskega dela in drugih kartografskih virov vneseni za vsak cestni odsek posebej (Brezovšek 2019). Zelo podrobno omrežje je za območje Ljubljane izdelal Kozina (2010a). Osnovo omrežja predstavljajo cestni podatki GJI-ja, iz katerih so bile izbrisane kategorije cest, ob katerih je prepovedana hoja. Tem so dodani podatki o pešpoteh iz registrov Mestne občine Ljubljana, nekateri predeli pa so bili še dodatno izboljšani s pregledovanjem ortofoto posnetkov in terenskimi ogledi. Omrežje je bilo pozneje uporabljeno še v drugih raziskavah (Tiran in Ortar 2014; Tiran, Mladenovič in Koblar 2014; 2015; Tiran 2015; Tiran, Lakner in Drobne 2019). Ob razširitvi tega omrežja (Koblar 2017) na območje celotne Ljubljanske urbane regije so bili dodani še vektorski podatki iz baze *OpenStreetMap* (v nadaljevanju OSM) v obliki datotek *shapefile*, prenesenih s spletne strani *Geofabrik* (2019). Podoben pristop združevanja podatkov iz različnih virov je bil uporabljen še za nekatera druga mesta (Tiran 2015; Tiran in Koblar 2017). Poleg naštetih vektorskih modelov so v uporabi tudi rastrski modeli (Drobne in Paliska 2015).

Kljub številnim primerom modeliranja prometne dostopnosti se v načrtovanju še vedno pogosto uporablja preprostejše analize na podlagi evklidske razdalje. Eden od razlogov je nepoznavanje razpoložljivih programov za izdelavo analiz dostopnosti. Še večja težava je časovno zamudna in tehnično zahtevna izdelava analiz prometne dostopnosti, pri čemer ključen korak predstavlja izdelava omrežja. Za Slovenijo namreč ni na voljo ustreznih javno dostopnih podatkov o prometnem omrežju. Na voljo so sicer vektorski podatki o cestah v katastru GJI-ja kot zbirni sloj digitalnega topografskega modela (v nadaljevanju DTM) in vektorski sloji državnih topografskih in preglednih kart (e-Geodetski podatki 2020), vendar izdelava prometnega omrežja s temi podatki zahteva veliko dodatnega dela. Ker raziskovalne skupine z izdelanimi lastnimi omrežji med sabo le delno sodelujejo, nimamo na voljo enotnega omrežja na ravni države. Rešitev je skupen prosto dostopen podatkovni vir, ki bi ga skupaj dopolnjevali, s čimer bi razporedili delo in izboljšali rezultate.

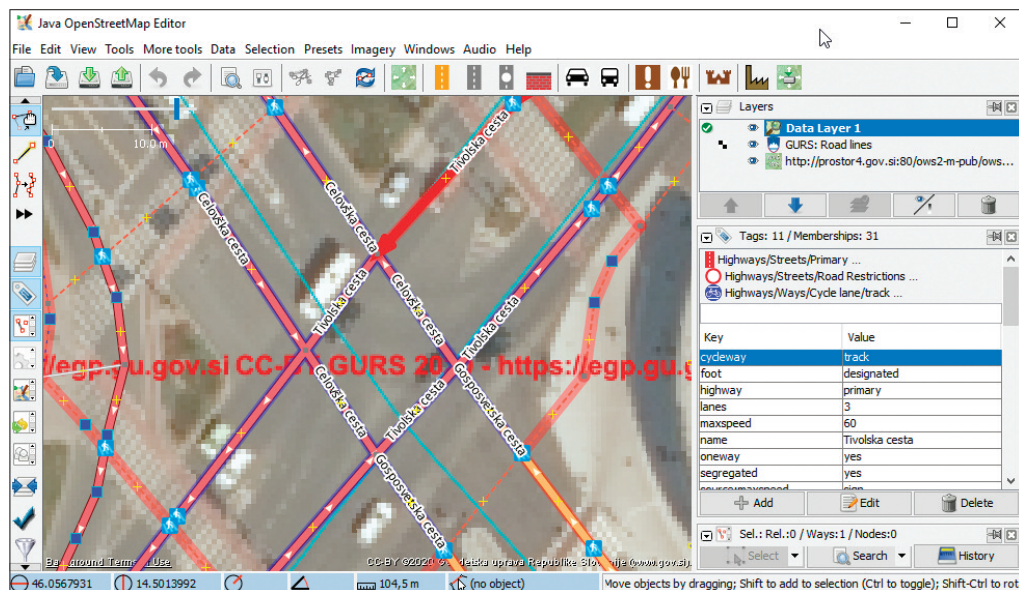
Namen prispevka je izdelava analize prometne dostopnosti z orodji *Openrouteservice*, *ArcGIS* in *OpenTripPlanner* z uporabo podatkov OSM-ja. Vsa orodja omogočajo izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, izris območja dostopnosti in imajo možnost shranjevanja rezultatov v vektorski obliki. Pred izdelavo analiz bomo preverili hipotezo, da podatki OSM-ja na območju Slovenije vključujejo celotno omrežje državnih cest in večji del kategoriziranih občinskih cest, saj le na podlagi celotnega prometnega omrežja lahko izdelamo dovolj natančne analize prometne dostopnosti.

2 Metodologija

Projekt OSM spada med tako imenovane prostovoljne geografske informacije (angleško *volunteered geographic information*). Podatke vnašajo prostovoljci na podlagi lastnega poznavanja prostora, GPS

sledi in kartografskih podlag (na primer satelitskih posnetkov ali digitalnih ortofoto posnetkov). Začetek projekta sega v leto 2004, ko je bila registrirana spletna domena, dve leti pozneje pa je bila objavljena spletna karta. Prvotni cilj projekta je bilo kartiranje Združenega kraljestva, vendar se je z eksponentnim naraščanjem števila uporabnikov začelo kartirati še preostale dele sveta (History of OpenStreetMap 2020). V letu 2017 je bilo v OSM-ju na svetovni ravni vnesenih že 89 % vseh cest (Barrington-Leigh in Millard-Ball 2017). Ena od ključnih prednosti pred ostalimi komercialnimi kartografskimi viri je *ODbL – Open Database License* licenca, ki dovoljuje brezplačno komercialno uporabo podatkov. Uporaba odprte licence in dobra prostorska pokritost je verjetno tudi razlog za številne programske rešitve, ki uporabljajo podatke OSM-ja. Na spletnem gostiteljskem servisu *GitHub* ima ključno besedo OSM več kot 16.000 odlagališč programske kode. Topološka urejenost podatkov in vključenost dodatnih atributov, kot sta kategorija ceste in omejitve hitrosti (glej sliko 1), omogočata načrtovanje poti po omrežju. Zato je na voljo več spletnih orodij in mobilnih aplikacij za načrtovanje poti. Poleg osnovne navigacije za osebni avto mnoge med njimi omogočajo tudi načrtovanje poti s kolesom in peš, nekatere celo za osebe na invalidskem vozičku (Routing/online routers – OpenStreetMap Wiki 2020).

Bazo OSM-ja je mogoče popravljati in dopolnjevati. Za dodajanje osnovnih popravkov je ustrezno spletno orodje, za vnašanje večjega števila popravkov je bolj primeren program *JOSM*, v katerem so kot podlaga na voljo tudi ortofoto posnetki Geodetske uprave Republike Slovenije, linije cest iz baze *GJI*-ja ter še nekateri drugi podatki, kot je prikazano na sliki 1. Program *JOSM* omogoča shranjevanje lokalnih kopij podatkov, ki jim lahko poljubno odstranjujemo ali dodajamo cestne odseke, spreminjamo omejitve hitrosti in tako dalje, ter tako izdelamo analizo dostopnosti za različne scenarije (Koblar, Gulič in Praper 2019). Dostop do podatkov je mogoč na več načinov. Za manjša območja je podatke najenostavneje prenesti kar preko spletne karte OSM-ja, vendar je v tem primeru največje število vzlišč omejeno na 50.000, kar omogoča izvoz podatkov le za manjša območja. Za večja območja je podatke enostavneje shraniti iz spletne strani *Geofabrik* (2019), kjer so na voljo dnevno posodobljeni podatki za različna območja: cel planet, posamezne celine, države in dele držav. Za Slovenijo so podatki na voljo le za celotno državo. Prenesene podatke lahko s programom *Osmosis* (2019) obrežemo in filtriramo.



Slika 1: Urejanje podatkov OSM-ja s programom JOSM.

Za izvedbo kakovostne analize prometne dostopnosti v omrežju ne sme biti manjkajočih cestnih odsekov, zato smo izdelali analizo, v kateri smo podatke iz baze OSM-ja primerjali s slojema cest iz podatkovnih zbirk GJI-ja in DTM-ja. Sloj GJI ceste je uraden register cest, ki združuje različne uradne vire. Skupna dolžina cest v GJI-ju je 61.292 km. DTM je izdelan z analizo več podatkovnih virov, med drugim ortofota in podatkov laserskega skeniranja. Njihova prednost je, da vključujejo več cest kot sloj GJI-ja (104.998 km), vendar pokrivajo le približno 85 % ozemlja Slovenije, pri čemer so vključena vsa večja naselja (e-Geodetski podatki 2020). Skupna dolžina cest v DTM-ju je večja predvsem zaradi velikega števila vključenih nekategoriziranih cest (pešpoti, gozdne ceste, planinske poti). Celotno prometno omrežje smo dobili z združitvijo celotnega sloja DTM-ja in sloja GJI-ja za tista območja, na katerih DTM ni izdelan. Združen sloj vključuje 115.024 km cest. V prometnem sloju OSM-ja je 84.697 km cest, kar je več kot v sloju GJI-ja, vendar manj kot v DTM-ju ter v združenem sloju DTM-ja in GJI-ja. Razlog za večjo dolžino prometnega omrežja v OSM-ju kot v GJI-ju, je način vnašanja podatkov v OSM, saj se v mestih pogosto ločeno vrisuje posamezne smerne pasove in kolesarsko stezo s pločnikom (glej sliko 1), kjer so ceste iz GJI-ja prikazane s turkizno barvo. Za določitev manjkajočih cest v OSM-ju smo iz sloja DTM-ja in GJI-ja izbrisali vse ceste, ki so znotraj 25 m pasu cest iz sloja OSM-ja. Upoštevanje dodatnih 25 m je bilo potrebno zaradi odstopanj v poteku linij v posameznih slojih.

3 Uporabljen programski oprema

Analize prometne dostopnosti s podatki OSM-ja smo testno izvedli s tremi programskimi orodji. Ob izboru smo se omejili na orodja, ki omogočajo izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, izris območja dostopnosti in imajo možnost shranjevanja rezultatov v vektorski obliki. Z vsemi orodji smo izračunali poti med paroma točk in izdelali 15 minutno izohrono kolesarjenja do nakuovalnega centra Qlandia v Mariboru.

Openrouteservice je na voljo kot vmesnik za programiranje aplikacij in kot orodje na spletni strani, ki zadošča za izdelavo osnovnih analiz in ga predstavljamo v nadaljevanju. Orodje podpira pet potovalnih načinov: osebni avto, težko vozilo, kolo, hojo in invalidski voziček. Pri izračunu poti je na voljo še nekaj dodatnih možnosti. Med drugim lahko določimo, da naj se izračunana pot izogne prečkanju državnih meja ali območij, ki jih narišemo sami. Poleg izračuna poti omogoča tudi izdelavo izohron, vendar le do razdalje 100 km. Podatke je mogoče shraniti v različnih formatih in jih uporabiti v geografskih informacijskih sistemih. Če pred uporabo urejamo podatke OSM-ja, moramo upoštevati približno desetdnevni časovni zamik pri osveževanju podatkov.

Program *ArcGIS* smo izbrali zaradi razširjenosti uporabe. Analize smo naredili v različici 10.4. Poleg osnovnega programa smo uporabili še dodatek za izdelavo mrežnih analiz *Network Analyst* in brezplačen dodatek *ArcGIS Editor for OSM* (Esri/arcgis-osm-editor 2020).

Omrežje smo izdelali v dveh korakih z uporabo orodij iz dodatka *ArcGIS Editor for OSM*:

- *Load OSM File* – izbrano datoteko osm.pbf smo uvozili v *Feature dataset* in
- *Create OSM Network Dataset* – iz *Feature dataset* smo izdelali omrežje za posamezen potovalni način.

Pri tem smo uporabili osnovne nastavitve za hojo, kolo in avtomobil, ki so vključene v program.

Izdelano omrežje je mogoče v programu *ArcGIS* dodatno urejati. Ob potrebi po večjem urejanju sicer predlagamo, da se popravke vnese neposredno v OSM, saj s tem izboljšujemo njegovo bazo tudi za ostale uporabnike. Po izdelavi omrežja smo uporabili orodja, ki so na voljo v dodatku *ArcGIS NetworkAnalyst*.

OpenTripPlanner je odprtokodni program, napisan v programskem jeziku Java, kar mu daje veliko fleksibilnost, saj ga je mogoče zagnati na katerikoli napravi, ki ima naloženo ustrezno različico Jave – od prenosnih računalnikov do strežnikov, neodvisno od operacijskega sistema. Program smo prenesli s spletne strani (Central Repository 2020) in ga zagnali prek ukazne vrstice. Pri tem smo si pomagali z navodili (Young 2019; OpenTripPlanner 2019). V nasprotju s programom *ArcGIS* se izdela le en

graf, ki omogoča načrtovanje poti za vse potovalne načine. *OpenTripPlanner* omogoča tudi načrtovanje poti z javnim potniškim prometom, za kar poleg podatkov OSM-ja rabimo še podatke o vozniških redih v obliki *GTFS* (*GTFS Static Overview* 2019). Po zagonu programa in izdelavi grafa omrežja je analize mogoče izvajati v spletnem brskalniku, pri čemer se rezultati le prikazujejo na zaslonu, brez možnosti shranjevanja vektorskih podatkov. Izohrone smo zato izdelali s pomočjo razvojnega okolja Rstudio, ki služi za komunikacijo z *OpenTripPlannerjem*. Pri tem je potrebno vsaj osnovno poznavanje programskega jezika R, vendar so za ta korak na voljo kakovostna navodila (Young 2016; 2019).

4 Rezultati in razprava

Osnovni pogoj za izdelavo analiz dostopnosti je celovitost uporabljenega omrežja. V analizi smo ugotovili, da v podatkih OSM-ja manjka 37.565 km cest iz sloja DTM-ja in GJI-ja. Dolžine manjkajočih odsekov po kategoriji ceste in delež manjkajočih cest glede na skupno dolžino cest je prikazan v preglednici 1. Z vidika izvajanja analiz prometne dostopnosti je problematičnih manjkajočih 149 km lokalnih cest in 512 km javnih poti. Druge manjkajoče ceste imajo nižjo kategorizacijo in ne predstavljajo osnovnega prometnega omrežja, zato nimajo večjega vpliva na kakovost izdelanih analiz prometne dostopnosti. Na sliki 2 so prikazani manjkajoči cestni odseki v OSM-ju. V urbaniziranem delu ne manjkajo nobene cestne povezave, največ jih manjka v hribovitem delu in na Sorškem polju. S tem lahko potrdimo hipotezo, da podatki OSM-ja na območju Slovenije vključujejo celotno omrežje državnih cest in večji del kategoriziranih občinskih cest. V prihodnje bi bilo sicer smiselno manjkajoče podatke iz DTM-ja in GJI-ja vključiti v bazo OSM-ja, kar bi omogočilo še boljše natančnost izdelanih analiz.

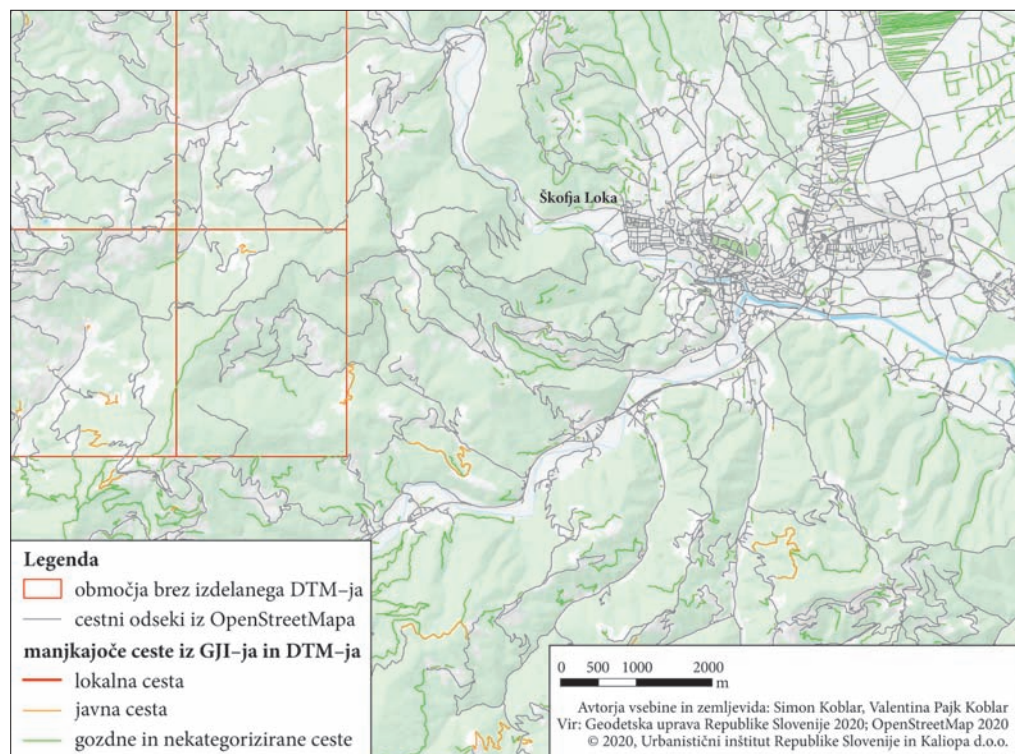
S podatki OSM-ja smo izdelali analize dostopnosti z orodji *Openrouteservice*, *ArcGIS* in *OpenTripPlanner*. Najpreprostejši za uporabo je *Openrouteservice*, ki je na voljo na spletni strani. Izdelava omrežja v *ArcGIS* vključuje le dva koraka, vendar je treba postopek ponoviti za vsak potovalni način, ki ga želimo uporabiti v analizi. Po izdelavi omrežja so nam na voljo zmogljiva orodja, ki omogočajo vrsto analiz. Izdelava omrežja v *OpenTripPlannerju* je bila najhitrejša, vendar je izdelava analiz v primeru shranjevanja podatkov nekoliko zahtevnejša, saj nima vgrajenega uporabniškega vmesnika. Vsa predstavljena orodja bi predlagali za uporabo, pri tem pa se je treba zavedati prednosti in slabosti, ki so predstavljene v preglednici 2.

Za primerjavo rezultatov analiz izdelanih s predstavljenimi programi smo za izbrano lokacijo v Mariboru modelirali območje dostopnosti s kolesom v 15 minutah. Rezultati so prikazani na sliki 3, kjer se opazi razlika v podrobnosti prikaza rezultatov, kjer najbolj izstopa *Openrouteservice* z zelo zglaženim območjem. Območje izdelano v programu *OpenTripPlanner* je najmanjše, medtem ko je območje

Preglednica 1: Odseki cest GJI-ja in DTM-ja, ki se ne prekrivajo s podatki iz OSM-ja.

kategorija ceste v GJI-ju in DTM-ju	dolžina manjkajočih odsekov (km)	delež manjkajočih glede na vse odseke
lokalna cesta	149	2 %
planinska pot	438	15 %
javna pot	512	10 %
glavna mestna cesta (kategorija iz DTM-ja, ki je napačno določena – v resnici gre za majhne ulice in kolovoze)	561	11 %
gozdna cesta	1611	20 %
nekategorizirana cesta	34.281	45 %

izdelano v programu *OpenRouteService* ponekod celo večje od radija 3,6 km. Do razlik lahko pride zaradi različne metode izrisa izohrone in različnih pravil glede uporabe kolesarskega omrežja. Do največjih razlik med radijem in izohronami pride ob ovirah, kot so reke in večje prometnice. Razlike med rezultati uporabljenih orodij kažejo na potrebo po previdnosti pri njihovi uporabi.



Slika 2: Prikaz manjkajočih cestnih odsekov v OSM-ju.

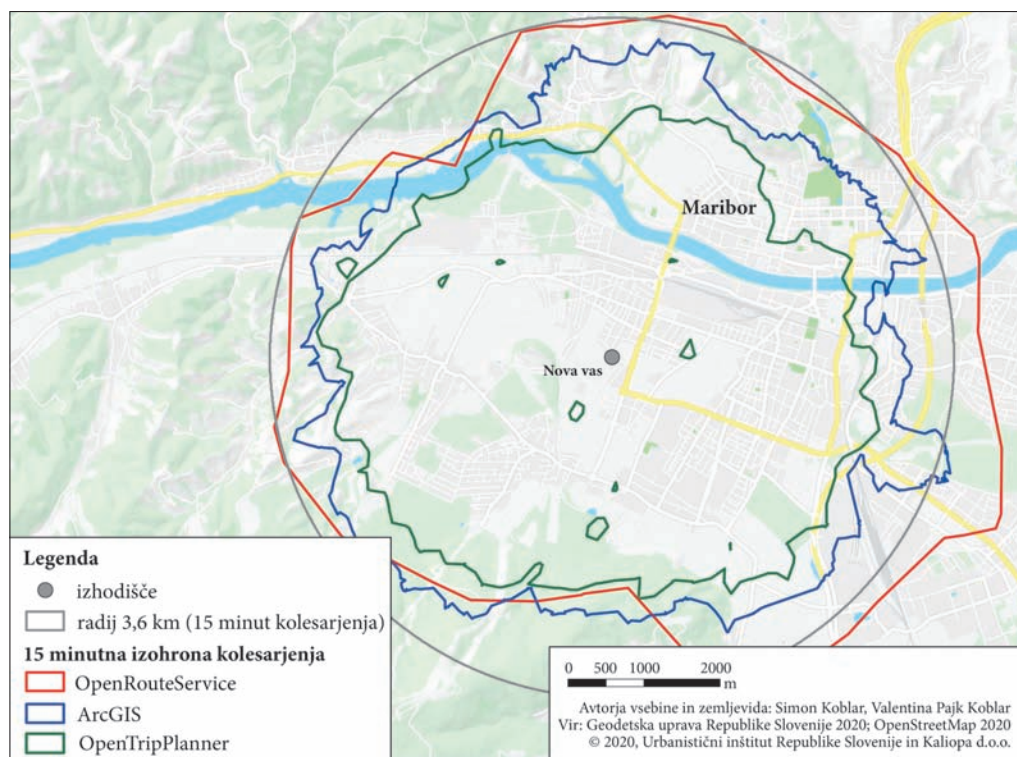
Preglednica 2: Prednosti in slabosti uporabljenih orodij.

orodje	prednosti	slabosti
<i>OpenRouteService</i>	<ul style="list-style-type: none"> • preprosta uporaba v brskalniku • brezplačno • možnost nastavitve dodatnih parametrov 	<ul style="list-style-type: none"> • primerno le za manjše število analiz • ni mogoče izdelovati scenarijev, saj se podatki črpajo neposredno iz OSM-ja
<i>ArcGIS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • enostavna izdelava omrežja • analize se izvaja znotraj širšega GIS programskega paketa • možnost popravljanja že izdelanega omrežja 	<ul style="list-style-type: none"> • visoka cena programa • izdelava omrežja za območje Slovenije traja več ur
<i>OpenTripPlanner</i>	<ul style="list-style-type: none"> • odprtokoden program • hitra izdelava omrežja • hitro izvajanje večjega števila analiz 	<ul style="list-style-type: none"> • brez uporabniškega vmesnika

Rezultati analiz oddaljenosti med dvema točkama se med uporabljenimi orodji bistveno ne razlikujejo. Vsa orodja so tako zelo primerna za izračun razdalje in potovalnega časa med dvema točkama, s programoma *ArcGIS* in *OpenTripPlanner* pa imamo možnost avtomatizacije izvajanja analiz, s čimer lahko naredimo analizo za večje število lokacij. Velika prednost vseh orodij je možnost uporabe različnih potovalnih načinov, med drugim tudi kolesa, kar za Slovenijo ne omogočajo niti popularni Google zemljevidi.

5 Sklep

Analize prometne dostopnosti so bolj natančne od izračunov evklidskih razdalj, žal pa zahtevajo nekoliko več truda. Predstavljena metodologija uporabe podatkov iz baze OSM-ja z uporabljenimi orodji olajša izdelavo analiz v primerjavi z izdelavo omrežja iz drugih razpoložljivih podatkov za Slovenijo. Podatki OSM-ja vključujejo celotno omrežje državnih cest in večino kategoriziranih občinskih cest, kar omogoča izdelavo dovolj natančnih analiz. Za modeliranje hoje in kolesarjenja na lokalni ravni pa je pred izdelavo analiz smiselno preveriti kakovost podatkov in jih po potrebi dopolniti. Med uporabljenimi orodji se je za najpreprostejšega izkazal *Openrouteservice*, ki deluje kot spletna storitev, kar je idealno za izdelavo hitrih analiz. *ArcGIS* se je izkazal s preprosto izdelavo omrežja in širokega nabora orodij iz dodatka *NetworkAnalyst*. Če nimamo možnosti uporabe plačljivega programa *ArcGIS*, je za izdelavo analiz smiselno uporabiti odprtokodni *OpenTripPlanner*, ki je sicer nekoliko zahtevnejši za uporabo. Rezultati analize dostopnosti s kolesom za izbrano lokacijo v Mariboru se med sabo zelo razlikujejo,



Slika 3: izohrone 15 minutne dostopnosti s kolesom do nakupovalnega centra Qlandia Maribor.

zato je ob modeliranju prometne dostopnosti potrebna določena mera kritičnosti do rezultatov. Izdelava analize prometne dostopnosti s predstavljenimi orodji in z uporabo podatkov OSM-ja se je izkazala za dovolj hitro in preprosto, rezultati pa so bolj natančni od izračunov radijev, zato upamo, da bo modeliranje prostorske dostopnosti s podatki OSM-ja v prihodnje pogosteje uporabljeno. Večja uporaba podatkov OSM-ja bo verjetno spodbudila tudi dopolnjevanje baze, s čimer bi se izboljševali vsi izdelki in analize, ki temeljijo na podatkih OSM-ja.

6 Viri in literatura

- Barrington-Leigh, C., Millard-Ball, A. 2017: The world's user-generated road map is more than 80% complete. PLOS ONE 14-10. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180698>
- Bensa, B., Miljevič, J., Hazler-Papič, M., Rupar, R., Starc, M., Cerar, M., Novak, A. 1996: Analiza dostopnosti naselij do cestne in železniške mreže v Republiki Sloveniji. Ljubljana.
- Brezovšek, N. 2019: Vrednotenje prometne dostopnosti v občini Šentjur s pomočjo geografskih informacijskih sistemov. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Mariboru. Maribor. Medmrežje: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=75238> (6. 2. 2020).
- Central Repository, 2020. Medmrežje: <https://repo1.maven.org/maven2/org/opentripplanner/otp/> (26. 2. 2020).
- Drobne, S., Paliska, D. 2015: Average transport accessibility of the Slovenian municipalities to the nearest motorway or expressway access. Geodetski vestnik 59-3. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.03.486-519>
- e-Geodetski podatki, 2019. Medmrežje: <http://egp.gu.gov.si/egp/> (20. 6. 2019).
- Esri/arcgis-osm-editor, 2020. Medmrežje: <https://github.com/Esri/arcgis-osm-editor> (6. 2. 2020).
- Geofabrik, 2020. Medmrežje: <https://download.geofabrik.de/> (14. 1. 2020).
- GTFS Static Overview, 2020. Medmrežje: <https://developers.google.com/transit/gtfs> (26. 2. 2020).
- Gulič, A., Plevnik, A. 2000: Prometna infrastruktura in prostorski razvoj Slovenije: novejša analitična spoznanja. IB revija 34-2.
- History of OpenStreetMap – OpenStreetMap Wiki. Medmrežje: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/History_of_OpenStreetMap (5. 2. 2020).
- Ivajnsič, D., Novak, T. 2017: Vrednotenje prometne dostopnosti Pomurja s prostorsko analizo cestnega omrežja. Revija za geografijo 12-1.
- Koblar, S. 2017: Predlog alternativnega omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji. Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=99200> (6. 2. 2020).
- Koblar, S., Gulič, A., Praper, S. 2019: UIRS atlas dostopnosti. Urbani izziv, Strokovne izdaje 9.
- Kozina, J. 2008: Prometna dostopnost kot kriterij regionalizacije Slovenije. Diplomsko delo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=23434> (6. 2. 2020).
- Kozina, J. 2009: Vloga prometne dostopnosti v strateških prostorskih dokumentih Slovenije. Razvojni izzivi Slovenije, Regionalni razvoj 2. Ljubljana.
- Kozina, J. 2010a: Modeliranje prostorske dostopnosti do postajališč javnega potniškega prometa v Ljubljani. Geografski vestnik 82-1.
- Kozina, J. 2010b: Prometna dostopnost v Sloveniji. Georitem 14. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789612545680>
- Kozina, J. 2010c: Transport accessibility to regional centres in Slovenia. Acta geographica Slovenica 50-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS50203>
- OpenTripPlanner, 2019. Medmrežje: <https://www.opentripplanner.org/> (5. 8. 2019).

- Osmosis – OpenStreetMap Wiki, 2020. Medmrežje: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmosis> (25. 2. 2020).
- Routing/online routers – OpenStreetMap Wiki, 2020. Medmrežje: https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Routing/online_routers (6. 2. 2020).
- Tiran, J. 2015: Geografsko vrednotenje bivalnega okolja v izbranih slovenskih mestih. Doktorska disertacija, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani. Ljubljana. Medmrežje: http://geo.ff.uni-lj.si/pisnadel/pdfs/diss_201511_jernej_tiran.pdf (6. 2. 2020).
- Tiran, J., Koblar, S. 2017: Kakovost bivalnega okolja v Mariboru. Geografije Podravja. Maribor. DOI: <https://doi.org/10.3986/9789610500261>
- Tiran, J., Koblar, S., Mladenovič, L. 2017: Accessibility to public transport in Ljubljana: review, development, and challenges. Research on the Road. Ljubljana. DOI: <https://doi.org/10.3986/AGS50203>.
- Tiran, J., Lakner, M., Drobne, S. 2019: Modelling walking accessibility: A case study of Ljubljana, Slovenia. Moravian Geographical Reports 27-4. DOI: <https://doi.org/10.2478/mgr-2019-0015>
- Tiran, J., Mladenovič, L., Koblar, S. 2014: Računanje dostopnosti do javnega potniškega prometa v Ljubljani z metodo PTAL. Digitalni prostor, GIS v Sloveniji 12. Ljubljana.
- Tiran, J., Mladenovič, L., Koblar, S. 2015: Dostopnost do javnega potniškega prometa v Ljubljani po metodi PTAL. Geodetski vestnik 59-4. DOI: <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2015.04.723-735>
- Tiran, J., Ortar, J. 2014: Ugotavljanje hodljivosti prostora z vidika peš dostopnosti: primer Ljubljane. Tehnologija in družbena utopija. Ljubljana.
- Young, M. 2016: An automated framework to derive model variables from open transport data using R, PostgreSQL and OpenTripPlanner. 24th GIS Research UK Conference. DOI: <https://doi.org/doi:10.13140/RG.2.1.4292.0082>
- Young, M. 2019: OpenTripPlanner – creating and querying your own multi-modal route planner. Medmrežje: https://www.researchgate.net/publication/321110774_OpenTripPlanner_-_creating_and_querying_your_own_multi-modal_route_planner (6. 2. 2020).