

Načrtovalnik poti za javni potniški promet in storitve mikromobilnosti

Miha Frangež, Matevž Pesek

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana
mf7094@student.uni-lj.si, matevz.pesek@fri.uni-lj.si

Izvleček

V luči trenutne okoljske in energetske krize je uporaba javnega in nizkoogljičnega prevoza ključnega pomena za doseganje zadanih državnih in evropskih ciljev do konca tekočega desetletja. Za razliko od osebne avtomobila pa potovanje z drugimi načini prevoza zahteva vsaj nekaj načrtovanja, ki se lahko izkaže za preveliko prilagoditev za marsikaterega potencialnega uporabnika. Razlogi za nizko uporabo javnega prevoza in deljenih prevoznih sredstev ležijo v veliki meri v razdrobljenosti dostopa do informacij, potrebnih za njihovo učinkovito rabo. Cilj članka je načrtovanje poti olajšati z uvedbo inteligentnega načrtovalnika poti, ki na enem mestu omogoča samodejno iskanje možnosti prevoza in načrtovanje poti z več prevoznimi sredstvi z javno dostopnimi oblikami mobilnosti, kot so avtobusi, vlaki, souporabo avtomobilov in mestnimi kolesi. Problem rešujemo v treh korakih: (1) razvijemo enotni podatkovni model za podatke javnega prevoza in storitve mobilnosti v Sloveniji ter za vse ponudnike implementiramo adapterje iz posameznih zasebnih formatov v skupno strukturo, (2) postavimo odprtokodni multimodalni načrtovalnik poti *OpenTripPlanner* in (3) razvijemo hibridno spletno in mobilno aplikacijo, ki omogoča pregled nad vsemi podatki ter interakcijo z načrtovalnikom.

Ključne besede: javni potniški promet, načrtovanje poti, odprti podatki, trajnostna mobilnost

Route Planner for Public Transport and Micromobility

Abstract

In light of the current environmental and energy crisis, the use of public transport and other low-carbon means of transportation is crucial for achieving the set national and European goals by the end of the current decade. Unlike traveling by car, however, traveling by other means requires at least some planning, which may prove to be too much of an adjustment for many potential users. The reasons for the low level of use of public transport and shared mobility solutions lie largely in the fragmentation of access to information about the possibilities of travel. The aim of the article is to make route planning easier by introducing an intelligent route planner that enables automatic search for transport options and multi-modal route planning with publicly available forms of mobility such as buses, trains, car sharing and city bikes in one place. There are three steps to solving the problem: (1) development of a unified data model for data on public transport and mobility services in Slovenia and implementation of adapters from their internal formats into a common format for all providers, (2) setting up of the open source multimodal route planner *OpenTripPlanner*, and (3) the development of a hybrid web and mobile application that presents the aggregated information in one place.

Keywords: public transport, route planning, open data, sustainable mobility

1 UVOD

V zadnjih letih je Slovenija doživela razrast novih storitev mikromobilnosti. Mednje sodijo naslednje vrste souporabe prevoznih sredstev: kratkotrajna izposoja avtomobilov, sistemi mestnih koles in skirojev. Prav tako smo priča večjemu napredku na

področju javnega potniškega prometa z dodanimi mestnimi prevozniki v manjših mestih (npr. Celje), uvedbo kartomatov kot alternativne točke za nakup vozovnic in uvedbo enotne »karte Slovenija«. Okoljske prednosti pogostejše hoje in kolesarjenja ter uporabe javnega potniškega prometa so splošno znane

že desetletja, v zadnjih letih pa so pozitivni vpliv na okolje demonstrirali tudi sistemi souporabe avtomobilov (Nijland & van Meerkerk, 2017). V Sloveniji so se slednji pojavili komaj leta 2016 z uvedbo sistema Avant2Go (Avant2Go, 2023), v zadnjih letih pa sta se mu na trgu pridružila še dva ponudnika: podjetji Share'N'go in GreenGo. Pozitiven vpliv na okolje so študije odkrile tudi pri sistemih souporabe koles (Zhang & Mi, 2018), ki pri nas delujejo že dlje. Prvi v Sloveniji je bil sistem BicikeLJ, v Ljubljani postavljen leta 2011 (Streger, 2019), danes pa podobne sisteme skupno petih ponudnikov najdemo po skoraj vseh večjih mestih (Društvo za elektronsko in računalniško pismenost, 2023).

Čeprav mnoge študije kažejo, da je uporaba tako javnega potniškega prometa, kot tudi storitev souporabe avtomobilov in koles zelo koristna pri zmanjševanju izpustov toplogrednih plinov in onesnaževanja nasploh, pa pogosto pridejo do enakega zaključka – delež uporabe teh sistemov je v primerjavi z osebniimi avtomobili tako majhen, da je njihov realni vpliv precej manjši, kot bi lahko bil (Peng in sod., 2021). Razlogov, zakaj se ljudje v večini primerov raje odločijo za vožnjo z osebniim avtomobilom, je mnogo. Na področju javnega prevoza se med njimi najpogosteje omenja časovno konkurenčnost (Ogrin & Dovečar, 2014), ki je sestavljena iz časa prevoza in časa čakanja. Izboljšava prvega dela seveda zahteva velike investicije s strani operaterjev, študije v ZDA pa so pokazale, da uporaba mobilne aplikacije s podatki v realnem času skrajša tako občuten, kot tudi dejanski čas čakanja (Brakewood in sod., 2014; Watkins in sod., 2011).

Razlogi za manjšo uporabo javnega prevoza se izkazujejo tudi v sami kompleksnosti procesa pregleda možnih načinov uporabe in uporabe večih tipov prevoza v okviru ene poti. V zadnjem času je razrast novih ponudnikov souporabe in javnih prevozov doprinesel k še večji fragmentaciji trga mobilnosti z vidika individualnih procesov nakupa vozovnic in planiranja poti. Uporabnik v Ljubljani ima na primer na voljo devet načinov mobilnosti, vsaka z lastno mobilno aplikacijo. Uporabnik mora med aplikacijami preklapljati in ročno iskati optimalno pot. Tudi storitve Google, ki jih v večjih državah uporabniki smatrajo kot skupno alternativo vsaj na nivoju planiranja, v nekateri primerih pa tudi nakupa vozovnic, v Sloveniji ne povzemajo podatkov o vseh razpoložljivih prevoznikih. Zaradi dinamične narave mikromobilnosti se prav tako ni mogoče zanašati na ustaljene

vzorke, kot je to mogoče pri javnem potniškem prometu, saj obstoj postaj še ne pomeni, da je pot med njima mogoča. To je posebej očitno v kontekstu souporabe sredstev, ki jih je potrebno prevzeti in pustiti na za to določenih postajah. V teh primerih je mogoče stanje, ko začetna postaja nima razpoložljivih vozil, ali pa končna postaja nima prostih parkirnih mest.

Iz navedenih razlogov se med uporabniki teh storitev pojavlja vedno večja potreba po integraciji med sistemi. Integracija sistemov mobilnosti je možna na več nivojih:

1. agregacija podatkov v obliki prikaza podatkov vseh ponudnikov v skupnem uporabniškem vmesniku;
2. multimodalni načrtovalnik, ki omogoča samodejno iskanje poti z uporabo storitev več ponudnikov;
3. integracija plačil omogoča plačilo vseh storitev z enim plačilnim sredstvom oz. plačilo celotne poti z enim računom.

Cilj pričujočega članka je pregled trenutnega stanja integracije v Sloveniji, pregled možnosti izboljšav na tem področju in implementacija prvih dveh stopenj integracije – agregatorja podatkov in načrtovalnika poti.

2 SORODNA DELA

Tako v Sloveniji kot po svetu se je delo integracije sistemov mobilnosti pričelo skoraj sočasno z njihovim prihodom v mesta. Integracijo med ponudniki najpogosteje izvajajo mesta oz. občine, nacionalni organi in podjetja, ki sama niso ponudniki storitev mobilnosti.

2.1 Enotne mestne kartice in aplikacije

Začetki digitalne integracije mobilnosti segajo v zgodnja devetdeseta leta, s prvimi primeri »pametnih mestnih kartic« na Finskem in v Argentini (Oorni in sod., 2001), kjer so mesta uvedla pametne kartice kot enotno plačilno sredstvo, ki so ga sprejemale vsi ponudniki javnega potniškega prometa v pokritih mestih (Oulu na Finskem in Cordoba v Argentini). Tovrstne kartične sisteme so v naslednjih dveh desetletjih uvedla mnoga mesta po svetu, vanje pa integrirala še več mestnih storitev (na primer plačevanje parkirnine, storitve mikromobilnosti in komunalne storitve).

V Sloveniji je prvo mestno kartico uvedla Mestna občina Ljubljana pod imenom Urbana. Ta je v uporabi še danes in imetnikom omogoča vožnjo z mestnimi avtobusi, plačilo parkirnine, članstvo v mestni knjižnici, izposajo koles in vožnjo z žičnico na mestni grad. Na kartico je možno nalaganje dobroimetja v

obliki gotovine ali z bančno kartico na enem izmed prodajnih mest, med katerimi je skoraj 60 avtomatov.

Na nivoju države je bil uveden Integriran javni potniški promet (IJPP) kot projekt Ministrstva za infrastrukturo, ki omogoča uporabo pametnih kartic za vožnjo z javnim potniškim prometom v Sloveniji. Del sistema predstavlja tudi podatkovna baza vozniških redov, ki vsebuje vse medkrajevne linije, ki operirajo v sklopu državne koncesije. Ko je bil sistem razvit leta 2015, je bila potnikom na voljo spletna stran, na kateri so si lahko vse vozne rede v sistemu ogledali, danes pa več ni na voljo. Podatki, ki jih sistem vsebuje, so na voljo na Nacionalni točki dostopa⁽¹⁾ v formatu *GTFS*, prav tako pa je na voljo spletna storitev SOAP, ki omogoča dostop do podatkov v prvotni obliki (pri preslikavi v *GTFS* se namreč nekatere podatki izgubijo).

Od leta 2020 naprej so na voljo tudi osnovni podatki v realnem času, dostopni po standardnem protokolu *SIRI* (podprte so le surove lokacije vozil – profil *SIRI-VM*). Prav tako pa v času pisanja pričujočega članka poteka javni razpis za spletno storitev, ki bo podatke izvažala v formatu *NeTEx* (Network Timetable Exchange), saj so trenutni *NeTEx* podatki le pretvorjeni iz *GTFS* in vsebujejo mnogo napak.

2.2 Obstoječe rešitve v Evropi in Sloveniji

Pravo multimodalno načrtovanje (tako, ki pokriva vse načine prevoza in vse ponudnike storitev mobilnosti) je že na voljo marsikje po svetu, tako v neodvisnih aplikacijah tehnoloških velikanov, kot tudi s strani samih ponudnikov storitev in nacionalnih agencij. Največja komercialna ponudnika aplikacij, ki omogočajo multimodalno načrtovanje poti, sta podjetja Google in Citymapper. Oba v mnogih svetovnih mestih omogočata navigacijo z uporabo javnega prevoza, souporabe avtomobilov, mestnimi kolesi in skiroji, v nekaterih mestih pa imata integracijo tudi s taksi storitvami. Svoje storitve oba financirata s prodajo dostopa do programskih vmesnikov za načrtovanje poti, kar pa ju omejuje le na večja mesta, kjer je povpraševanje po takšnih storitvah dovolj veliko. Aplikacija Google Maps tako v Sloveniji podpira le dva mestna prometa in medkrajevne IJPP linije (s pogostimi napakami), Citymapper pa pri nas sploh ni na voljo zaradi zaradi majhnosti največjih slovenskih mest.

Google Maps je brezplačna mobilna in spletna aplikacija podjetja Google, ki omogoča multimodalno navigacijo po celem svetu. V najbolj podprtih mestih aplikacija omogoča navigacijo s hojo, kolesom, avtomobilom, javnim potniškim prometom, storitvami mikromobilnosti (izposoja koles in skirojev) ter storitvami za prevoz na klic. Slovenija je v aplikaciji med slabše podprtimi državami, saj so pri nas na voljo le navigacija s hojo, avtomobilom in javnim prevozom, pri čemer so podatki o javnem prevozu na voljo le za mestna prometa v Mariboru in Ljubljani ter linije v sistemu IJPP.

Aplikacija Citymapper je ena izmed najbolj naprednih aplikacij za javni prevoz in storitve mikromobilnosti trenutno na tržišču. Boljšo pokritost od konkurence dosega z obširno uporabo podatkov, ki jih vnesejo uporabniki sami. Za razliko od aplikacije Google Maps, Moovit od uporabnikov ne sprejema le prijav in obvestil v realnem času (na primer prijava obvoza, zamude ali zasedenosti vozila), ampak omogoča uporabnikom tudi vnos vozniških redov za regije, kjer uradnih podatkov ni na voljo. Zraven javnega prevoza (avtobus, vlak, tramvaj, metro) podpira tudi navigacijo s taksi službami, vključno s platformami kot sta Uber in Lyft, ter z lastnimi ali izposojenimi kolesi, avtomobili in skiroji.

Digitransit je odprtokoden projekt javne agencije za promet finske regije Helsinki, sestavljen iz spletnega vmesnika za načrtovanje poti in pregledovanje zemljevida ter več zalednih storitev. Za načrtovanje poti uporablja odprtokoden strežniški program OpenTripPlanner z nekaj spremembami, prav tako pa se nanj zanaša za hrambo in dostop do podatkov (nima lastne podatkovne baze).

Transitland je odprtokoden sistem za agregacijo podatkov o javnem potniškem prometu. Sprejema podatke v formatu *GTFS*, navadno v obliki povezave do najnovejše različice, ki jo periodično prenese in podatke posodobi v podatkovni bazi. Viri podatkov so definirani v opisnih datotekah JSON, hranjenih na platformi GitHub, kjer jih lahko uporabniki dodajajo in spreminjajo. Najnovejša različica podpira tudi sisteme mikromobilnosti v formatu *GBFS*.

Leta 2020 je bila izdana aplikacija Travana, namenjena Ljubljanskemu potniškemu prometu. Ključna funkcionalnost, ki je aplikacijo razločevala od ostalih (vključno z uradno aplikacijo Urbana), je bil prikaz

¹ www.nap.si

lokacij avtobusov v realnem času. Aplikacija je po uporabniških ocenah hitro prehitela uradno aplikacijo (povprečno 4,6 zvezdic v Trgovini Play, v primerjavi z 2,0 za aplikacijo Urbana), med pozitivnimi komentarji pa je pogosto omenjen ravno dostop do lokacij. Leta 2023 je bila aplikacija objavljena pod odprtokodno licenco, kmalu za tem pa je nastala tudi neuradna različica aplikacija za Maribor.

Aplikacija *Točen.si*, razvita v Laboratoriju za grafiko in multimedije na Fakulteti za računalništvo in informatiko ima najširšo pokritost Slovenije izmed aplikacij, ki so trenutno na voljo. Vsebuje statične in realnočasovne informativne podatke iz avtobusnega omrežja LPP, car-sharing ponudnika *Avant2Go* ter sistemov mestnih koles *BicikeLJ*, *MBajk*, *Nomago Bikes* in *Mobiln.si*. Podatki so prikazani na zemljevidu, po katerem aplikacija omogoča tudi iskanje, samodejno načrtovanje poti pa ni na voljo. Aplikacija izstopa tudi po dejstvu, da je na voljo na vseh mobilnih in namiznih operacijskih sistemih, saj je zgrajena v ogrodju *Flutter*. Iz istega razloga pa na starejših ali počasnejših mobilnih napravah v spletnih vmesnikih ne deluje optimalno.

3 IMPLEMENTACIJA AGREGATORJA PODATKOV

Načrtovanje agregatorja podatkov smo začeli z definicijo skupnega modela podatkov, ki bo lahko zajel vse podatke vseh ponudnikov, ki jih nameravamo pokrivati. Ker med seboj nimata dosti skupnega, bomo ločeno obravnavali sisteme skuporabe (*car-*, *bike-*, *scooter-sharing*) ter sisteme linijskega javnega prevoza.

Zaradi enostavnejšega uvoza in izvoza podatkov ter integracije z zunanjimi orodji smo posebno težo dali obstoječim odprtim standardom na teh področjih. Najpogosteje uporabljen standard za izmenjavo podatkov o linijskem potniškem prometu je *General Transit Feed Specification (GTFS)*, ki ga je leta 2006 razvil Google za uporabo v aplikaciji Google Maps, trenutno pa njegov nadaljni razvoj koordinira ne-profitna organizacija *MobilityData*. Zraven tega pa se v Sloveniji v medkrajevnem prevozu uporablja tudi podatkovni model sistema integriranega javnega potniškega prometa (IJPP). Sistem IJPP sicer ima funkcijo za izvoz podatkov po standardu GTFS, a ti podatki ne vsebujejo vseh potrebnih informacij.

Na podlagi standardov GTFS in IJPP smo definirali podatkovni model za linijski javni prevoz (Tabela 1).

Tabela1: Preslikovalna tabela entitet za linijski javni prevoz

entiteta	GTFS	IJPP
Stop Location	stop	Postajna Tocka
Stop Group	stop	Postajalisce
Operator	agency	Prevoznik
Route Route Group Trip	route route (parent) trip	Vozni Red Voznja
StopTime	stop_time	VoznjaOpis
Schedule	calendar	Rezim
Timetable Period	calendar (date)	Rezim Interval
Timetable Exception	calendar (exceptions)	Rezim Termin
Vehicle	Vehicle Update	
Vehicle Location		

V svetu skuporabe vozil obstaja le en odprt standard – General Bikeshare Feed Specification (GBFS). Razvila ga je ameriška skupina ponudnikov sistemov deljenja koles North American Bikeshare Association (NABSA), kasneje pa prav tako predala organizaciji *MobilityData*. Na podlagi tega standarda smo definirali podatkovni model za skuporabo vozil (Tabela 2).

Tabela2: Preslikovalna tabela entitet za skuporabo vozil

entiteta	GTFS	IJPP
StopLocation	stop	PostajnaTocka
StopGroup	stop	Postajalisce
Operator	agency	Prevoznik
Route	route	VozniRed
RouteGroup	route (parent)	
Trip	trip	Voznja
StopTime	stop_time	VoznjaOpis
Schedule	calendar	Rezim
TimetablePeriod	calendar (date)	RezimInterval
TimetableException	calendar (exceptions)	RezimTermin
Vehicle	VehicleUpdate	
VehicleLocation		

3.1 Moduli za pretvorbo podatkov

Za prenos podatkov v sistem smo razvili množico modulov za pretvorbo podatkov, ki skrbijo za uvoz podatkov iz strežnikov ponudnikov. Vsak modul je implementiran kot ločena aplikacija v ogrodju Django, poznamo pa dve vrsti: uvozne in izvozne module. Za vsakega izmed ponudnikov podatkov smo implementirali en uvozni modul, ki praviloma definira eno ali več periodičnih opravil, ki se samodejno

izvajajo na strežniku. Za hrambo dodatnih podatkov lahko uvozni moduli definirajo tudi lastne entitete, prav tako pa je možna uporaba n:1 povezav s primarnimi entitetami (na primer eno postajališče se lahko nahaja v bazi kot Marprom_StopLocation in IJPP_StopLocation, oba objekta pa, po združevanju, s tujim ključem kažeta na le en objekt Vehicle).

Posodobitvene intervale smo določili na podlagi narave podatkov in zmogljivosti vira, od koder jih prenašamo. Podatki o vozniških redih se ne spreminjajo pogosto, zato se uvoz podatkov o linijah iz IJPP in LPP strežnikov izvede le enkrat tedensko (Marprom podatke pošilja ročno, zato posodobitvenega intervala ni). Za prenos podatkov v realnem času smo se odločili za polovico intervala, s katerim se podatki posodablajo na strani ponudnika (na primer za LPP je to 5 sekund).

Podatki v realnem času so po prenosu potrebovali še dodatno obdelavo. Zraven GPS koordinat se hranijo še čas prejema pozicije, ID trenutne vožnje in smer vožnje vozila. Za vire, ki ne vsebujejo podat-

ka o smeri vožnje, se ta izračuna na podlagi prejšnje prejete pozicije. Ker čas prejema pozicije ni na voljo, se kot čas upošteva čas prevzema s strežnika ponudnika, ker pa bi to pomenilo, da bi se isti podatek v bazo shranil večkrat z različnimi časi, uvozni modul preskoči lokacije, ki se v koordinatah popolnoma ujemajo z zadnjo prejeto lokacijo.

Za preverjanje točnosti podatkov smo implementirali nekaj spletnih prikazov podatkov (Slika 1) in podatke naključno primerjali z uradnimi viri in opazovanjem na terenu.

3.2 Združevanje postaj

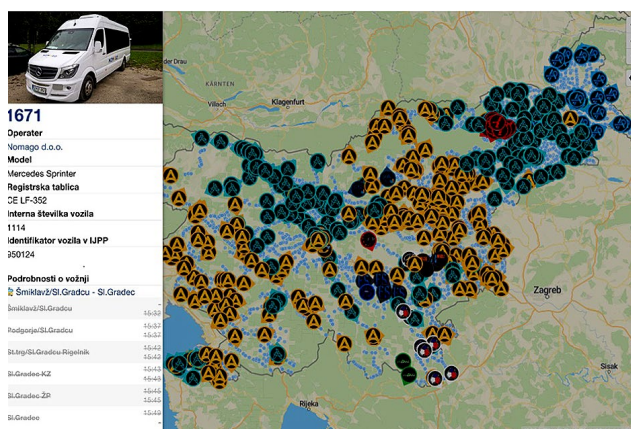
Ker agregator podatkov sprejema podatke iz mnogih različnih virov, se pogosto pojavljajo podvojeni podatki. Najpogostejši primer so avtobusne postaje, ki se uporabljajo tako v enem izmed mestnih avtobusnih omrežij, kot tudi za medkrajevne linije v sistemu IJPP. Ker različni ponudniki lokacijske podatke o postajah vnašajo na različne načine in z različno na-

☐	Operator	Name	IJPP Sifra	Active	Vehicle count	Route count
☐	Nomago d.o.o.	Nomago d.o.o.	A10	☒	646	2045
☐	Arriva d.o.o.	Arriva d.o.o.	A22	☒	527	877
☐	Javno podjetje Ljubljanski potniški promet d.o.o.	Javno podjetje Ljubljanski potniški promet d.o.o.	A15	☒	290	125
☐	Javno podjetje za mestni potniški promet Marprom, d.o.o.	Javno podjetje za mestni potniški promet Marprom, d.o.o.	A98	☒	95	0
☐	Avtobusni promet Murska Sobota d.d.	Avtobusni promet Murska Sobota d.d.	A20	☒	73	183
☐	MPOV d.o.o. Vinica	MPOV d.o.o. Vinica	A34	☒	23	29
☐	FS prevozi, storitve in trgovina d.o.o.	FS prevozi, storitve in trgovina d.o.o.	A57	☒	10	20
☐	Prevozi Prijatelj d.o.o.	Prevozi Prijatelj d.o.o.	A23	☒	6	7
☐	AP Novak d.o.o.	AP Novak d.o.o.	A97	☒	5	4
☐	Avtobusni prevozi Novak bus d.o.o.	Avtobusni prevozi Novak bus d.o.o.	A30	☒	5	5
☐	Prevozi Rok Jaklič s.p.	Prevozi Rok Jaklič s.p.	A42	☒	5	24

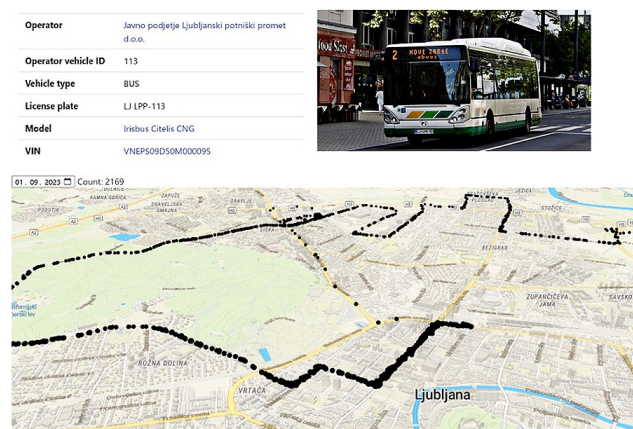
(a) Prikaz seznama prevoznikov

ID	52970	Edit
Name		
IJPP tag	ME-D-F	
IJPP ID	2033	
Description	Vozni ob delavnikih razen sobote. Ne vozi v dneh novoletnih in prvomajskih šolskih počitnic	
January	February	March
Mo Tu We Th Fr Sa Su	Mo Tu We Th Fr Sa Su	Mo Tu We Th Fr Sa Su
1	4 5	4 5
7 8	11 12	11 12
14 15	18 19	18 19
21 22	25 26	25 26
28 29		
May	June	July
Mo Tu We Th Fr Sa Su	Mo Tu We Th Fr Sa Su	Mo Tu We Th Fr Sa Su
6 7	3 4	1 2
13 14	10 11	8 9
20 21	17 18	15 16
27 28	24 25	22 23
	31	29 30
August		
Mo Tu We Th Fr Sa Su		
5 6		
12 13		
19 20		
26 27		

(b) Prikaz urnika vožnje na koledarju



(c) Zemljevid lokacij z odprtim oknom za vožnjo v teku



(d) Prikaz podatkov o vozilu in zgodovine lokacij

Slika 1: Zaslonske slike spletnega vmesnika agregatorja podatkov

tančnostjo se za združevanje dvojnikov ne moremo zanašati izključno na razdaljo med dvema postajama. Prav tako ni mogoča prepoznava po imenih, saj tudi ta niso enaka med ponudniki (razlike se pojavljajo predvsem pri okrajšavah, na primer »AP Ljubljana« in »Ljubljana – Glavna avtobusna postaja«).

Ker samodejno združevanje ni zanesljivo, ročno pa pri taki količini podatkov ne pride v poštev, smo se odločili za hibridni pristop. Razvili smo interaktivno aplikacijo v okolju *Jupyter Notebook*, ki za vsak par točk v podatkovni bazi izračuna razdaljo med njima ter vsak par, pri katerem je razdalja pod določeno mejo, posamezno prikaže uporabniku na zemljevidu in ga vpraša za odločitev. Če uporabnik odgovori, da sta postaji enaki, njuna identifikatorja vpiše v datoteko in prikaže naslednji par postaj. Hkrati aplikacija shrani seznam že pregledanih postaj, da jih izloči s seznama, ko uporabnik naslednjič požene program.

S pomočjo programa smo v približno eni uri ustvarili seznam za združitev več kot 500 postaj, ki smo ga uvozili v podatkovno bazo.

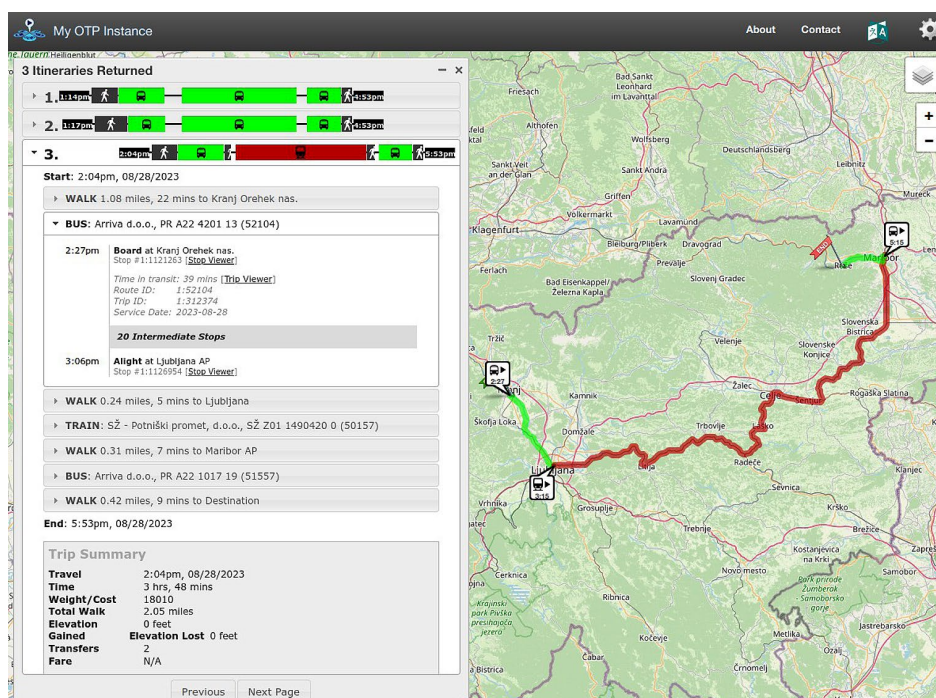
4 NAČRTOVALNIK POTI

Samodejno načrtovanje poti je še posebej uporabno za potnike, ki sistema javnega prevoza ne poznajo dobro, na primer turiste in potnike, ki potujejo izven domačega kraja. Omogoča enostavno izbiro točke

začetka in konca, uporabniku pa vrne vse možnosti za pot med točkama. Ker želimo skozi načrtovalnik omogočiti ne le uporabo vseh oblik mobilnosti v Sloveniji, ampak tudi njihovo poljubno kombinacijo, potrebujemo posebno vrsto načrtovalnika, t. i. multi-modalni načrtovalnik. Čeprav obstaja več kvalitetnih odprtokodnih načrtovalnikov poti (*Open Source Routing Machine*, *Pyroute*, *OpenRouteService*, *GraphHopper* idr.), ima le eden izmed njih podporo za pravo multi-modalno načrtovanje: *OpenTripPlanner*.

Projekt *OpenTripPlanner* je odprtokodna platforma za načrtovanje potovanj, ki omogoča uporabnikom, da načrtujejo poti z uporabo javnega prevoza in drugih možnosti prevoza. Projekt je bil začel leta 2009 v Portlandu (Oregon, ZDA) s podporo tamkajšnjega prevoznega podjetja *TriMet* (*Open Trip Planner project*, 2023). Že od začetka se razvija pod odprtokodno licenco *GNU LGPL*, leta 2013 je bil projekt sprejet v organizacijo *Software Freedom Conservancy*, ki skrbi za njegovo pravno in finančno upravljanje.

Preizkus delovanja načrtovalnika je možen z uporabo vgrajenega spletnega vmesnika (Slika 2), ki je dostopen na korenskem spletnem naslovu strežnika OTP. Do načrtovalnika dostopa preko spletnega programskega vmesnika (API), ki je namenjen integraciji z zunanji aplikacijami.



Slika 2: Spletni vmesnik OTP, ki prikazuje pot med Kranjem in Mariborom

5 RAZVOJ HIBRIDNE SPLETNE APLIKACIJE

Spletno aplikacijo smo zasnovali na modularen način, ki omogoča enostavno dodajanje in spreminjanje funkcij, pri čemer obstoj in delovanje ene funkcije čim manj vpliva na obstoječe funkcionalnosti. Ker je uporabniški vmesnik, z izjemo zemljevida, zelo enostaven, smo se odločili proti uporabi JavaScript in CSS knjižnic ter vso funkcionalnost in izgled vmesnika implementirali sami (Slika 3).

Da bi bila aplikacija lažje dostopna uporabnikom, smo se odločili za implementacijo modela t.i. »hibridne spletne aplikacije«, ki jo je možno uporabljati tako v brskalniku, kot tudi namestiti kot samostojno aplikacijo. Da bi uporabnikom prepustili čim več možnosti, smo to izvedli na dva načina hkrati. Najprej smo po principu t. i. progresivnih spletnih aplikacij (*Progressive Web Apps* – PWA) napisali opisno datoteko *Web Application Manifest* ter implementirali minimalno *Service Worker* skripto, kar v podprtih brskalnikih uporabniku omogoči »namestitve« aplikacije. Za platforme, kjer progresivne spletne aplikacije niso na voljo (npr. iOS) ter za objavo v trgovine aplikacij pa smo aplikacijo zapakirali tudi z orodjem *Capacitor*.

Ker aplikacija ne potrebuje lastnega zalednega sistema, smo se odločili za popolnoma statično gostovanje datotek aplikacije. Z uporabo platforme za gostovanje izvirne kode *GitLab* in njenih funkcij *GitLab CI/CD* in *GitLab Pages* smo omogočili samodejno izgradnjo aplikacije iz izvirne kode in njeno objavo na spletu. Tako z gostovanjem spletne aplikacije nimamo dodatnih stroškov, omogoča pa nam tudi enostavno vzporedno objavo in preizkus razvojnih različic, kar bo v primeru, da projekt v prihodnosti

pridobi pozornost drugih razvijalcev, skupinski razvoj precej olajšalo.

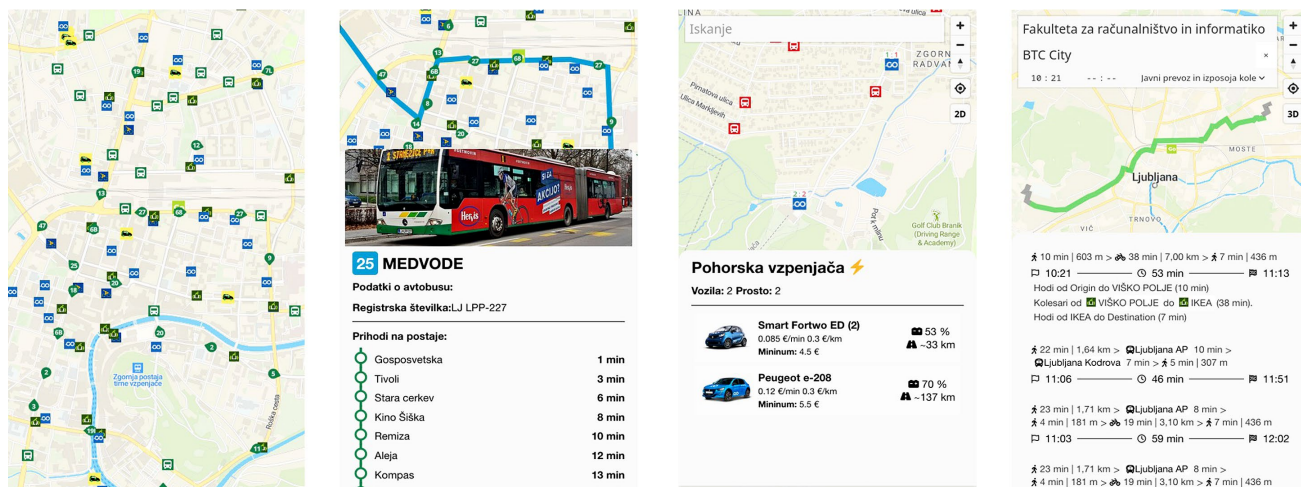
6 ZAKLJUČEK

V tem članku smo predstavili trenutno stanje podatkov za multimodalno planiranje v Sloveniji in implementacijo agregatorja ter mobilne aplikacije za multimodalno planiranje poti. Agregator podatkov vsebuje podatke skoraj vseh ponudnikov storitev mikromobilnosti v Sloveniji, pri čemer je edina izjema sistem souporabe skirojev Bolt. Med storitvami javnega potniškega prometa je pokritost medkrajevnega prometa zahvaljujoč sistemu IJPP popolna, med mestnimi avtobusnimi omrežji pa trenutno pokriva le Maribor in Ljubljano. Preostanek mestnih avtobusov operirajo le trije ponudniki: AP Murska Soba (podatki niso v celoti digitalizirani), Nomago in Arriva. Kljub nizki pokritosti mestnih omrežij je ta še vedno primerljiva s konkurenco (Google Maps prav tako vsebuje podatke le za Maribor in Ljubljano), na področju mikromobilnosti pa je naša pokritost nepriemerljivo višja od ostalih rešitev na trgu.

6.1 Nadaljnji razvoj

Med razvojem smo dobili več idej za nadaljnji razvoj agregatorja podatkov in aplikacije, ki niso bili med načrtovanimi cilji, prav tako pa smo od uporabnikov testne različice aplikacije prejeli nekaj predlogov, ki bi povečali uporabnost aplikacije.

Že v prvih tednih testiranja aplikacije smo naleteli na situacijo, ko je zaradi del na cesti avtobus vozil po spremenjeni poti in na določeni postaji sploh ni ustavljal, načrtovalnik prihodov pa jo je kljub temu



Slika 3: Zaslonske slike mobilne različice aplikacije

predlagal kot vstopno postajo. Načrtovalnik OTP omogoča uvoz podatkov o zamudah in začasno izključenih postajah v formatu GTFS-RT, ki pa ga noben izmed slovenskih avtobusnih prevoznikov še ne objavlja. Prav tako tudi na uradnih programskih vmesnikih, ki smo jih prejeli od prevoznikov, podatkov o obvozih ni, saj jih objavljajo le v obliki novic na spletni strani in jih nekateri sploh ne vnašajo v svoje sisteme za vodenje prometa.

Aplikacija je v trenutni obliki najbolj prilagojena iskanju informacij pred začetkom poti, ko je uporabnik enkrat na avtobusu ali vlaku pa je dosti težje dobiti informacije o prihodnjih postajah, možnostih prestopa in morebitnih zamudah. Aplikaciji želimo v prihodnosti dodati funkcijo »sledenja« vozilu, ki bi uporabniku omogočila hitri dostop do informacij o poti v poteku ter ga samodejno obveščala o spremembah. Eden izmed uporabnikov je predlagal tudi možnost nastavitve alarma, ki bi uporabnika obvestil nekaj minut pred prihodom na ciljno postajo.

Uporaba teh funkcij bi bila še lažja, če bi aplikacija lahko samodejno zaznala, da je uporabnik na določenem avtobusu ali vlaku. Najlažja implementacija bi bila z uporabo GPS lokacije telefona, kar pa ne bi delovalo v mestnem prometu, kjer se različni avtobusi nahajajo precej blizu med seboj.

Najbolj zanesljivo zaznavanje bi bilo možno z uporabo brezžičnih oddajnikov, ki bi po protokolu Bluetooth Low Energy na vozilih oddajali identifikator vozila, kar pa bi zahtevalo precejšnjo investicijo in sodelovanje prevoznikov. Cenejša možnost bi bila uporaba že obstoječih brezžičnih naprav na vozilih, od katerih lahko aplikacija zahteva nek enolični identifikator. Na avtobusih, ki uporabljajo najnovejšo generacijo validatorjev podjetja Margento, je možna identifikacija vozila po BLE MAC naslovu validatorja, na vlakih in avtobusih z Wi-Fi omrežji za potnike pa je identifikacija možna po MAC naslovu dostopne točke. Zaradi umetnih omejitev upora-

ba MAC naslovov ni mogoča na napravah podjetja Apple, vzdrževanje tabele MAC naslovov vozil pa bi zahtevalo precej terenskega dela, zato se za ta pristop nismo odločili.

LITERATURA

- [1] Avant2Go. (2023). *Ljubljana* / Avant2Go. <https://avant2go.si/car-sharing/cities/ljubljana>
- [2] Brakewood, C., Barbeau, S., & Watkins, K. (2014). An experiment evaluating the impacts of real-time transit information on bus riders in Tampa, Florida. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 409–422. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.09.003>
- [3] Društvo za elektronsko in računalniško pismenost. (2023). *Souporaba koles – Wiki - oJPP Docs*. Pridobljeno 14. avgusta 2023, <https://gitlab.com/derp-si/ojpp-docs/-/wikis/Souporaba-koles>
- [4] Nijland, H., & van Meerkerk, J. (2017). Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands [Sustainability Perspectives on the Sharing Economy]. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 23, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.02.001>
- [5] Ogrin, M., & Dovečar, M. (2014). Vrednotenje sistemov javnega potniškega prometa v izbranih občinah Slovenije. *Dela*, 115–127. <https://doi.org/10.4312/dela.42.115-127>
- [6] Oorni, S., Vehvilainen, J., & Lappalainen, L. D. I. (2001). FINNISH CITY CARD PROGRAMME 1993-2000. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106481841>
- [7] Open TripPlanner project. (2023). *History – OpenTripPlanner*. Pridobljeno 14. julija 2023, <https://docs.opentripplanner.org/en/dev-2.x/History/>
- [8] Peng, H., Nishiyama, Y., & Sezaki, K. (2021). Estimation of Greenhouse Gas Emission Reduction from Shared Micro-mobility System. *2021 IEEE Green Energy and Smart Systems Conference (IGESSC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IGESSC53124.2021.9618701>
- [9] Stregar, A. (2019). Po osmih letih je Bicikelj vedno večji hit. *Delo*. Pridobljeno 14. avgusta 2023, <https://www.delo.si/lokalno/ljubljana-in-okolica/po-osmih-letih-je-bicikelj-vedno-vecji-hit/>
- [10] Watkins, K. E., Ferris, B., Borning, A., Rutherford, G. S., & Layton, D. (2011). Where Is My Bus? Impact of mobile real-time information on the perceived and actual wait time of transit riders. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(8), 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.06.010>
- [11] Zhang, Y., & Mi, Z. (2018). Environmental benefits of bikes haring: A big data-based analysis. *Applied Energy*, 220, 296–301. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.101>

Miha Frangež je magistrski študent na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Je vodja iniciative *Odprti javni potniški promet*, ki se zavzema za večjo odprtost in dostopnost podatkov ponudnikov storitev mobilnosti.

Matevž Pesek je docent in raziskovalec na Fakulteti za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, kjer je diplomiral (2012) in doktoriral (2018). Od leta 2009 je član Laboratorija za računalniško grafiko in multimedije. Njegovi raziskovalni interesi so iskanje glasbenih informacij, vključno z glasbenim e-učenjem, biološko navdihnjeni modeli in globoke arhitekture. Raziskuje tudi večmodalno zaznavanje glasbe, nove vmesnike in interakcijo ter vizualizacijo podatkov v obliki mobilnih, spletnih in VR aplikacij.