

UDK: 656.025.2:796.61(497.451.1)

DOI: 10.5379/urbani-izziv-2020-31-01-005

Prejeto: 17. 4. 2020

Sprejeto: 13. 7. 2020

Simon KOBLAR
Luka MLADENVIČ

Izračun hitrosti potovanj z mestnim avtobusom: primer Ljubljane

Pri spodbujanju rabe javnega potniškega prometa ima pomembno vlogo razumevanje razmer, ki jih sistem zagotavlja za potnika. Na izbiro potovalnega načina vplivajo številni dejavniki, med katerimi se kot pomembna izkazuje konkurenčnost potovalnega časa ali potovalne hitrosti. Pri njenem izračunu si lahko zaradi razširjenosti elektronskih plačilnih sistemov pomagamo z zbranimi podatki validacij uporabnikov. S tem lahko na podlagi dejanskih potovanj izračunamo njihovo hitrost. V okviru raziskave smo na primeru avtobusnega sistema v Ljubljani analizirali vse vožnje, opravljene na tipičen dan. Na podlagi vstopnih in izstopnih podatkov o avtobusni vožnji smo izračunali opravljeno razdaljo, čas, potreben za pot, in hitrost opravljenih poti. Primerjali smo še, kako hitro bi lahko potniki poti, prevožene z avtobusom, opravili s

kolesom ali peš. Ugotovili smo, da je hitrost obravnavanih potovanj z avtobusom odvisna od dolžine potovanja. Pri daljših potovanjih se hitrost povečuje. Kolo je hitreje na vseh razdaljah, vendar pri večjih razdaljah postane manj sprejemljiva izbira. Hoja je na obravnavanih razdaljah do 2 km glede hitrosti konkurenčna le v manjšem deležu poti. Z opravljenimi analizami nam je uspelo s podatki, ki se zbirajo zaradi elektronskega plačevanja storitve, pridobiti uporaben vpogled v uporabniško učinkovitost sistema javnega prometa, kar je v prihodnje lahko uporabno pri načrtovanju izboljšav sistema.

Ključne besede: javni potniški promet, hitrost potovanja, učinkovita hitrost potovanja, elektronski plačilni sistem, primerjava hitrosti

1 Uvod

Razumevanje potovalnih navad prebivalcev in razlogov zanje je eno od pomembnih področij spodbujanja trajnostne mobilnosti. Cilji ukrepov trajnostne mobilnosti so namreč pogosto usmerjeni v spreminjanje potovalnih navad, predvsem v zmanjševanje rabe osebnega avtomobila in povečevanje rabe javnega potniškega prevoza (v nadaljevanju: JPP), kolesarjenja in hoje kot oblik opravljanja vsakodnevnih poti. Pri odločitvi za rabo JPP je izjemno pomembna njegova kakovost (Vanhanen in Kurri, 2007). Študije, ki se ukvarjajo z obravnavo potovalnih navad, proučujejo dejavnike, ki vplivajo na izbiro potovalnega načina, ali kazalnike, ki opredeljujejo delovanje sistema. Kazalniki kakovosti sistema JPP se delijo v dve pomembni skupini: kakovost ponudbe in kakovost izvedene storitve (KFH Group, 2013). Kakovost izvedene storitve je opredeljena na podlagi uporabnikove zaznave ali dejanskih številčnih meritev (Carreira idr., 2014). V primeru dobre kakovosti storitve so pri odločitvi za uporabo JPP še posebej pomembni pogostost, razpoložljivost, trajanje poti, cena in odnos osebja (Stradling idr., 2007). Ključna kazalnika, ki sta hkrati tudi pomembna dejavnika pri izbiri potovalnega načina, sta hitrost in posledično čas, ki ga uporabnik porabi za neko pot. Slovenskih raziskav na tem področju je malo in ne omogočajo poglobljenega vpogleda v razmere s stališča potnika, pri čemer te razmere vplivajo na njegovo motivacijo za uporabo JPP (Statistični urad RS, 2017; Ljubljanski potniški promet, 2019). Potovalni čas je eden od pomembnejših elementov kakovosti JPP (KFH Group, 2013). Vsi drugi dejavniki izbire potovalnega načina se namreč pomembneje izrazijo šele, ko ima uporabnik na voljo časovno konkurenčno izbiro več potovalnih načinov. S povečevanjem porabljenega časa, na primer za pot na delo, sta neposredno povezana zmanjšanje zadovoljstva uporabnikov (Loong in El-Geneidy, 2016) ter slabšanje počutja in družbene vključenosti (Morris in Guerra, 2015).

Pri izračunu hitrosti JPP so uveljavljene številne metode. Hitrost JPP na nekem segmentu, ki vključuje vse postanke in zastoje, se imenuje komercialna hitrost. Ta kazalnik je pomemben predvsem s stališča operaterja, saj na njegovi podlagi lahko izračuna čas, ki ga prevozno sredstvo potrebuje za izvedbo prevoza po liniji, pripravi vozni red in urnik voznikov ter učinkovito razporeja vozila v sistemu. S stališča potnika pa le podatek o komercialni hitrosti ne zadostuje. Potnik namreč čas potovanja med prevoznimi načini primerja na razdalji od vrat do vrat. Zato sta zanj pomembnejša čas in hitrost, ki vključujeta tudi čas dostopa do postajališča, čakanja, potovanja v vozilu, morebitnega prestopanja in nazadnje še dostopa do cilja (Munizaga idr., 2017; Constantinescu idr., 2018). To hitrost v nadaljevanju imenujemo efektivna skupna hitrost potovanja.

Velik potencial za pridobivanje in analizo teh hitrosti so podatki, ki se zbirajo ob validaciji potnikov z digitalnimi plačilnimi sistemi. Ti podatki omogočajo veliko boljše razumevanje potovalnih navad potnikov, smiselno pa jih je uporabiti tudi pri izboljšavah sistemov JPP (Schmöcker idr., 2016). Podatke t. i. pametnih plačilnih kartic je mogoče uporabiti tudi za izračun ključnih kazalnikov delovanja sistema (Trépanier in Morency, 2016). Na podlagi teh podatkov je mogoče poleg potovalnih hitrosti izdelati še številne druge analize (Jang, 2010).

Namen prispevka je predstaviti metodo za analizo hitrosti potovanja, opravljenih z mestnim JPP v Ljubljani, na podlagi zbranih podatkov dejanskih potovanj. V okviru raziskave smo se ukvarjali s časovnimi parametri potovanja brez analiz občutenih časov. Raziskava je izhajala iz hipoteze, da je na podlagi razpoložljivih podatkov plačilnega sistema in voznih redov mogoče določiti hitrost opravljenih potovanj z JPP, ki bo natančnejša od do zdaj razpoložljivih podatkov. Drugi del raziskave je obravnaval primerjavo hitrosti istih potovanj, če bi jih uporabniki namesto z JPP opravili peš ali s kolesom. Primerjava med posameznimi potovalnimi načini v mestu je sicer pogosto obravnavana tema (Ellison in Greaves, 2011; Andersen, 2014), vendar večinoma nesistematično. Znanstvenih raziskav, ki bi na dovolj velikem vzorcu in primerljivih relacijah omogočale primerjavo med JPP in kolesom, pri pregledu literature nismo našli. Glede na razpoložljive podatke o razmeroma kratki razdalji povprečno opravljene poti smo v tem delu izhajali iz druge hipoteze in sicer, da bi bilo lahko povprečno potovanje, opravljeno z JPP, s kolesom opravljeno hitreje.

1.1 Obravnavani primer Ljubljane

V Ljubljani mestni JPP izvaja podjetje Ljubljanski potniški promet (v nadaljevanju: LPP), ki letno prepelje skoraj 40 milijonov potnikov. V zadnjih letih število prepeljanih potnikov upada, in to kljub številnim izboljšavam storitve in udobja potnikov, kot so prenova voznega parka, sistem obveščanja o prihodih avtobusov, izboljšana kakovost postajališč in ločeni pasovi za avtobuse na nekaterih vpadnicah. Poglavitni razlog za upad ni povsem jasen (Ljubljanski potniški promet, 2019). Prostorska dostopnost JPP je na območju mesta dobra (Gabrovec in Bole, 2006; Kozina, 2010; Gabrovec in Razpotnik Visković, 2012, 2018; Tiran idr., 2015).

Področje potovalnih časov je slabo raziskano. Celcerjeva (2009) je analizirala potovalne čase na izbranih linijah in jih primerjala s potovalnim časom na isti razdalji z osebnim avtomobilom, vendar ni izračunala potovalnih hitrosti. Na vseh proučevanih relacijah je ugotovila, da so potovalni časi z osebnim avtomobilom precej krajši. Potovalne čase na nekaterih linijah je proučeval tudi Šabić (2015), vendar je računal le komercialno hitrost, ki ne upošteva tudi časa čakanja in hoje

do avtobusne postaje in do cilja. Podobno tudi LPP meri le komercialno hitrost (Šmajdek, 2011). Iz podatkov sledenja vozilom je bila izračuna hitrost vožnje na liniji 1, ki v vseh delih dneva presega 22 km/h (Čelan in Lep, 2020). Majhna potovalna hitrost je kot ključna težava JPP izpostavljena tudi v strateških dokumentih Mestne občine Ljubljana in ljubljanske urbane regije (Milovanović, 2017; Gojčič, 2018), vendar niso navedene ne sedanje ne ciljne vrednosti, kar je verjetno posledica slabe raziskanosti te tematike.

Potencial za izdelavo analiz je elektronski plačilni sistem, ki je bil v Ljubljani uveden leta 2010. Ob vstopu v vozilo vsak potnik opravi validacijo s kartico ali telefonom. Ob tem se podatek o validaciji skupaj z informacijo o postajališču, ki je pridobljena iz sistema spremljanja lokacij avtobusov (AVL), pošlje na centralni strežnik (Šmajdek, 2011). Razen spremljanja skupnega števila prepeljanih potnikov za letna poročila, ti podatki razen nekaterih izjem (Koren, 2016; Koblar, 2017; Koblar in Žebovec, 2018), niso bili podrobneje analizirani. So se pa izkazali za zelo koristne pri analizi potovalnih vzorcev uporabnikov (Koblar in Žebovec, 2018; Koblar in Mladenović, 2020) in načrtovanju morebitnih sprememb v omrežju (Koblar, 2017).

2 Metode

Za izračun potovalnih časov smo analizirali podatke iz plačilnega sistema. Ker se v plačilnem sistemu zabeleži le vstopna postaja, je bil eden od izzivov izračun izstopnih postajališč in združevanje posameznih voženj v potovanje. Z vožnjo mislimo na opravljeno vožnjo na posamezni liniji, ki je zabeležena kot validacija v plačilnem sistemu. Potovanje je ena ali več voženj, združenih skupaj – upoštevani sta vstopna postaja na prvi vožnji potovanja in izstopna postaja na zadnji vožnji potovanja. Ti podatki so bili nato podlaga za izdelavo nadaljnjih analiz.

2.1 Izračun izstopnih postaj in potovalnih časov

Analizo potovalnih časov in hitrosti smo opravili na podlagi opravljenih voženj, ki so zabeležene v plačilnem sistemu LPP. Iz prejetih podatkov validacij za leti 2015 in 2016 smo najprej izbrali tipičen dan, v katerem je bilo opravljeno povprečno število voženj (validacij), ni bilo padavin, šolskih počitnic, cestnih zapor niti drugih posebnih dogodkov. Za tipičen dan je bila izbrana sreda 18. 5. 2016, ko je bilo opravljenih 142.181 voženj.

Ker je večina plačilnih sistemov JPP, podobno kot obravnavani, zasnovanih tako, da se zabeleži le vstop v vozilo, so se s problemom določanja izstopnih postajališč ukvarjali številni avtorji (Cui, 2006; Trépanier idr., 2007; Zhao idr., 2007; Farzin, 2008; Lu, 2008; Wang, 2010; Li idr., 2011;

Wang idr., 2011; Alsger idr., 2016; Mosallanejad idr., 2019; Yan idr., 2019; Assemi idr., 2020). V splošnem je bil uporabljen preprost algoritem, ki je za določanje izstopnih postaj za potovanja posamezne osebe primerjal dve dnevni vožnji in upošteval dve merili: izstopna postaja prve vožnje je enaka vstopni postaji naslednje vožnje in izstopna postaja zadnje vožnje v dnevu je enaka vstopni postaji prve vožnje. Poleg določanja izstopnih postaj je treba pri rekonstrukciji potovanj združiti tudi posamične vožnje v sklenjena potovanja. Pri tem je treba pravilno določiti, kdaj gre za prestop na drugo linijo in nadaljevanje potovanja, kdaj pa se potovanje konča. To se določa na podlagi razdalje med izstopnim postajališčem na prejšnji liniji in vstopnim postajališčem na naslednji liniji ter časom, ki preteče med izstopom in naslednjim vstopom (Alsger idr., 2016). Zaradi pomanjkanja ustreznih podatkov večina raziskovalcev ni preverjala pravilnosti rezultatov. Pomemben korak k izboljšanju algoritmov in preverjanju kakovosti rezultatov so naredili Alsger in sodelavci (2016). S podatki validacij iz Queenslanda, kjer se potniki validirajo tudi ob izstopu, so namreč lahko preverili točnost rezultatov. S popravki uveljavljenih algoritmov in vključitvijo podatkov iz voznih redov jim je kakovost algoritmov za določanje izstopnih postaj uspelo dodatno izboljšati. Pozneje so sledile še dodatne izboljšave, ki z zahtevnejšimi metodami (strojno učenje) uspešneje določijo izstopne postaje (Yan idr., 2019; Assemi idr., 2020). Zaradi preprostejše izvedbe in zadovoljivih rezultatov smo se pri svoji raziskavi odločili za uporabo algoritma, ki so ga predlagali Alsger in sodelavci (2016).

Za izračun izstopnih postaj na podlagi uporabljenega algoritma morajo podatki validacij vsebovati informacije o identifikatorju kartice, času vožnje, uporabljeni postaji in liniji. Pridobljeni podatki vsebujejo vse potrebne informacije, poleg tega smo pridobili tudi ustrezno strukturirano bazo voznih redov, ki omogoča povezavo s podatki validacij. Pred začetkom izvajanja analize smo iz baze izločili vožnje, ki niso vsebovale ustreznih podatkov. Nekatere vožnje so bile opravljene na medkrajevnih linijah, zato jih ni bilo v voznem redu mestnega JPP, pri nekaterih pa je bila napačno zabeležena linija ali postajališče. Ker je izstopno postajo mogoče določiti le za potnike, ki so v tistem dnevu opravili več kot eno vožnjo, smo iz baze izločili še podatke za uporabnike z le eno vožnjo v izbranem dnevu (17.614). Osnovne pogoje za vključitev v analizo je izpolnjevalo 113.985 ali 80,2 % vseh opravljenih voženj. V postopku izračuna izstopnih postajališč in določanja prestopov je potrebna matrika razdalj med postajališči. Za postajališča, ki so oddaljena manj kot 800 m, smo razdalje modelirali na podlagi cestnega omrežja, s čimer smo dosegli večjo natančnost izračuna, za razdalje med drugimi postajališči pa smo izračunali evklidsko razdaljo, saj bi bil izračun za matriko 840×840 analiziranih postajališč predolgotrajen.

Izračun izstopnih postaj smo naredili s samostojnim programskim orodjem, ki sledi uporabljenemu algoritmu (Alsgger idr., 2016). Program najprej analizira zaporedne vožnje iste osebe in jih razvrsti po potovanjih. Eno potovanje je lahko sestavljeno iz več voženj z vmesnimi prestopi. Potencialne izstopne postaje smo določili na podlagi voznega reda, iz katerega se izberejo potencialna izstopna postajališča, in to glede na uporabljeno linijo. Od postajališč, izbranih v prejšnjem koraku, se za izstopno postajališče določi tisto, ki je najbližje naslednji vstopni postaji. Za določitev časa izstopa se vstopnemu času prišteje čas potovanja po voznem redu med obema postajama. Če je naslednja vstopna postaja oddaljena manj kot 800 m in je vmes preteklo manj kot 60 minut, se vožnja označi kot prestop, v nasprotnem primeru pa kot samostojno potovanje. Če je šlo za prestop, program analizo validacij tega uporabnika nadaljuje toliko časa, dokler ne pride do zadnje vožnje potovanja. Če je to zadnja vožnja v dnevu, se kot izstopna postaja izbere tista, ki je najbližje vstopni postaji prve vožnje v dnevu, program pa nadaljuje analizo voženj naslednjega uporabnika.

Izstopno postajo smo določili za 110.069 ali za 96,5 % validacij, ki so izpolnjevale pogoje za vključitev v analizo. Rezultat analize je seznam voženj z dodanim podatkom o izstopni postaji, času izstopa in zaporedni številki potovanja. Pri vožnjah, ki so se nadaljevale s prestopanjem na naslednjo linijo, je za beležena tudi razdalja do naslednjega vstopnega postajališča. Te podatke smo nato združili po posameznih vožnjah in za te izračunali potovalni čas.

2.2 Izračun povprečnega časa čakanja

Eden od dejavnikov, ki vpliva na potovalni čas, je čas čakanja na prihod avtobusa. Ob predpostavki, da potniki na postajališče pridejo naključno, je povprečni čas čakanja odvisen od pogostosti voženj avtobusov, ki peljejo v zeleno smer. Zato smo za uporabljeno linijo izračunali razliko v času med uporabljeno, prejšnjo in naslednjo vožnjo. Če je šlo za prvo ali zadnjo vožnjo v dnevu, smo upoštevali le razliko do naslednje oziroma prejšnje vožnje. Po enakem postopku smo čas čakanja izračunali še za preostale linije, ki bi lahko bile uporabljene za vožnjo med izbranimi postajališčema. Pri tem smo upoštevali le linije, na katerih najbližji odhod po voznem redu ni več kot 5 minut pred opravljenim časom vožnje ali za njim. Za izračun povprečnega časa čakanja smo čakalne čase na posameznih linijah pretvorili v frekvence, te pa sešteli. Seštevek smo nato pretvorili v čas čakanja in ga delili z 0,5. Za potovanja, pri katerih je bil čas čakanja večji od 4 minut, smo predvideli, da potniki pred vožnjo preverijo vozni red ali napoved voznih redov, zato smo za teh 16.771 voženj določili povprečni čas čakanja 4 minute. Povprečni čas čakanja pri teh vožnjah je po prvotnem izračunu znašal 6,1 minute.

2.3 Izračun časa in hitrosti potovanja

Ker se izračuni in opredelitve potovalne hitrosti med seboj zelo razlikujejo, smo zaradi boljše primerljivosti z dosedanjimi raziskavami hitrost potovanja izračunali na štiri načine. Pri tem smo spreminjali upoštevano razdaljo in upoštevani čas potovanja, kot je navedeno v Preglednici 1.

Preglednica 1: Metoda izračuna hitrosti potovanja

	Upoštevana razdalja	Upoštevani čas
Efektivna skupna hitrost potovanja	Efektivna prepotovana razdalja: $l_{\text{najkrajša}} + l_{\text{hoja}}$	Skupni čas potovanja: $t_{\text{vožnje}} + t_{\text{čakanja}} + t_{\text{hoje}}$
Skupna hitrost potovanja	Prepotovana razdalja: $l_{\text{razdalja po linij LPP}} + l_{\text{hoja}}$	Skupni čas potovanja: $t_{\text{vožnje}} + t_{\text{čakanja}} + t_{\text{hoje}}$
Efektivna hitrost potovanja	Efektivna prepotovana razdalja: $l_{\text{najkrajša}}$	Čas potovanja: $t_{\text{vožnje}}$
Dejanska hitrost potovanja	Dejanska prepotovana razdalja: $l_{\text{razdalja po linij LPP}}$	Čas potovanja: $t_{\text{vožnje}}$

Pri čemer velja:

$l_{\text{najkrajša}}$: najkrajša razdalja med začetnim in končnim postajališčem – izračunana kot peš oddaljenost po omrežju poti,

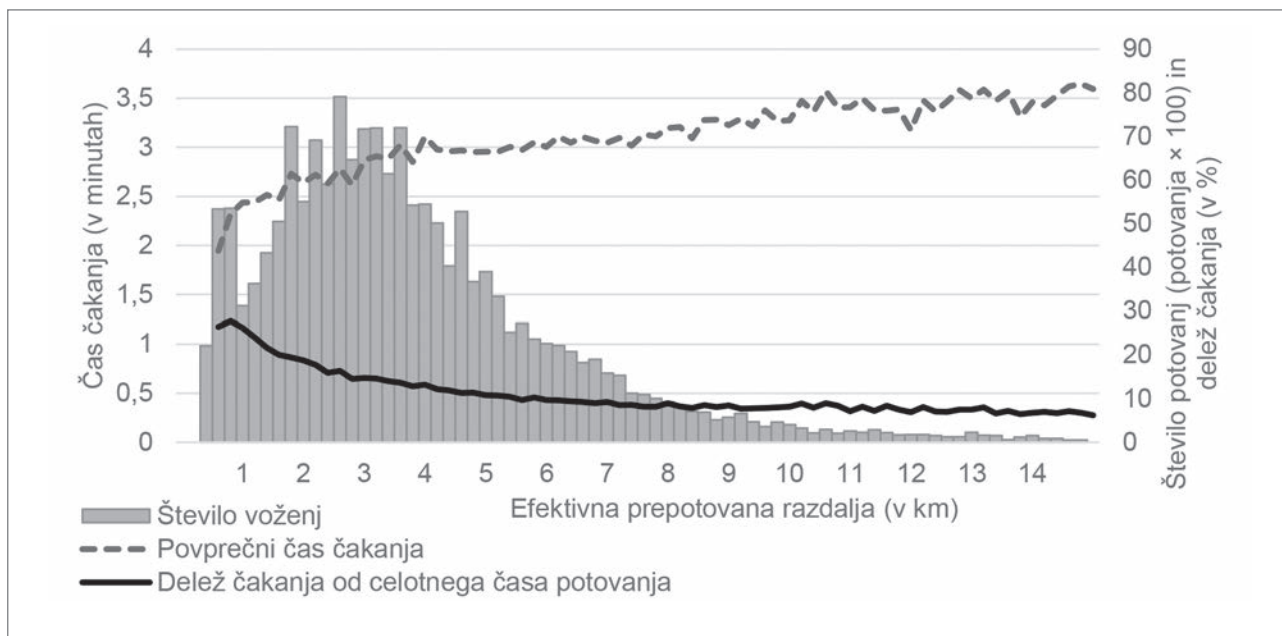
l_{hoja} : 400-metrski razdalja – skupna razdalja za hojo do prvega postajališča in od zadnjega postajališča do cilja,

$l_{\text{razdalja po linij LPP}}$: prepotovana razdalja z avtobusom, v primeru prestopanja je upoštevana tudi prehojena razdalja med prestopnima postajama,

$t_{\text{vožnje}}$: čas med vstopom na prvi vožnji in izstopom na zadnji vožnji potovanja – vključuje tudi čas ob prestopanju na drugo linijo,

$t_{\text{čakanja}}$: povprečni čas čakanja na prihod avtobusa na prvi vožnji potovanja,

t_{hoje} : 5 minut – čas, potreben za hojo na 400-metrski razdalji, ki je dodana kot l_{hoja} . Gre za oceno, podano glede na pripravljenost za hojo do avtobusnih postajališč (Tiran idr., 2019).



Slika 1: Povprečni čas čakanja in število voženj, v odvisnosti od dolžine potovanja (izdelal: Simon Koblar)

2.4 Hitrost hoje in kolesarjenja

Čas potovanja s kolesom in hojo smo modelirali v programu OpenTripPlanner (Morgan idr., 2019), z uporabo prometnega omrežja, izdelanega iz podatkovne baze OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors, 2015). Ti podatki so za Ljubljano dovolj kakovostni, da dobimo dovolj točne rezultate. V programu OpenTripPlanner smo uporabili privzete nastavitve za hitrost in uteži za posamezne kategorije cest. Hitrost kolesarjenja je bila določena na 17,7 km/h. V literaturi se pojavljajo različne ocene o povprečni hitrosti kolesarjev v mestu, in sicer od 15 do 19 km/h (Ellison in Greaves, 2011; Andersen, 2014; Kager idr., 2016). Ker za Ljubljano ni na voljo podatka o povprečni hitrosti kolesarjev, menimo, da je privzeta ocena hitrosti primerna. Za hojo je bila upoštevana hitrost 4,8 km/h. Izračun smo opravili za vse pare izvorov in ciljev potovanj. Za izračun efektivne hitrosti potovanja smo tudi pri hoji in kolesarjenju poleg razdalje med postajališči dodali dodatnih 400 m, kar je pri kolesarjenju pomenilo minuto in pol, pri hoji pa dodatnih pet minut. Za kolesarjenje smo dodali še dodatni dve minuti, ki sta potrebni za odklepanje in zaklepanje kolesa.

2.5 Združevanje podatkov in analiza kakovosti

Po izdelavi posameznih analiz smo podatke združili v skupno podatkovno bazo, v kateri so za vsako potovanje zbrani analizirani podatki. Iz baze smo nato izbrisali potovanja, za katera smo predvidevali, da so se v izračunu pojavile napake. Izkazalo se je, da je merilo za združevanje voženj v potovanja,

ki upošteva čas prestopanja manj kot 60 minut in razdaljo med postajališči manj kot 800 m, premalo natančno. Zato smo kot kontrolo kakovosti podatkov izračunali koeficient in razliko med $l_{\text{razdalja po linij LPP}}$ in $l_{\text{najkrajša}}$. Kjer je $l_{\text{razdalja po linij LPP}}$ precej večja kot $l_{\text{najkrajša}}$, menimo, da gre za napačno oznako prestopa in sta bili v resnici dve potovanji. Iz baze smo zato izločili vsa potovanja, pri katerih je: $l_{\text{razdalja po linij LPP}} / l_{\text{najkrajša}} < 0,8$ ali > 4 in $l_{\text{razdalja po linij LPP}} - l_{\text{najkrajša}} < -100$ m ali > 100 m. Dodatno smo izločili še potovanja, pri katerih je dejanska hitrost potovanja < 5 km/h ali > 50 km/h. Tako smo izločili napake, ki so se lahko zgodile zaradi napak v povezavi z voznim redom ali zaradi napačnega združevanja posameznih voženj v potovanje, kadar je bil vmesni čas čakanja predolg. V tem primeru lahko potnik v vmesnem času resnično opravi druge aktivnosti, obišče lokal, trgovino ipd., in nato potovanje nadaljuje. Taka potovanja z vidika proučevanja potovalnih hitrosti namreč niso relevantna. Od 74.085 voženj nam je po izločitvi neustreznih potovanj ostalo 70.768 potovanj, na podlagi katerih so bile izdelane nadaljnje analize.

3 Rezultati

Na podlagi analiziranih podatkov je mogoče izdelati številne analize. Ker je glavni namen tega prispevka analiza potovalnih hitrosti, v nadaljevanju predstavljamo glavne rezultate analiz, povezanih s potovalno hitrostjo. Najprej so predstavljeni rezultati analiz za mestni avtobus, v nadaljevanju sledi še primerjava s potovalnimi hitrostmi hoje in kolesarjenja.

Preglednica 2: Ključni rezultati analize mestnega JPP

Kazalnik	Vrednost
Efektivna skupna hitrost potovanja	10,0 km/h
Povprečna dejanska prepotovana razdalja	4,8 km
Povprečna efektivna prepotovana razdalja	4,1 km
Povprečni čas čakanja	2,9 minute

Preglednica 3: Število potovanj glede na število opravljenih prestopov

Število prestopov	Število potovanj	Delež od vseh potovanj
0	70.146	79,1 %
1	16.459	18,6 %
2	1.682	1,9 %
3	311	0,4 %
4	69	0,1 %
5	14	0,0 %
Vsa potovanja	88.681	100,0 %

Preglednica 4: Izračunane potovalne hitrosti z avtobusom

	Povprečna hitrost (v km/h)	Standardni odklon (v km/h)
Efektivna skupna hitrost potovanja	10,0	3,3
Skupna hitrost potovanja	11,3	3,4
Efektivna hitrost potovanja	15,7	6,2
Dejanska hitrost potovanja	17,6	5,7

3.1 Mestni avtobus

Ključne ugotovitve rezultatov analize mestnega JPP so navedene v Preglednici 2. Podrobnejši podatki so podani v podglavljih.

3.1.1 Povprečni čas čakanja

Eden od dejavnikov, ki vpliva na efektivno hitrost potovanja, je povprečni čas čakanja na prihod avtobusa pri prvi vožnji potovanja. Povprečni čas čakanja je 2,9 minute, s standardnim odklonom 1. Na Sliki 1 so prikazani povprečni časi čakanja in delež čakanja od celotnega časa potovanja v odvisnosti od dolžine potovanja. Pri daljših potovanjih so potniki na prihod prvega avtobusa v povprečju čakali dlje kot pri krajših. Eden od razlogov je tudi ta, da so se morala daljša potovanja začeti zunaj mestnega središča, kjer pa so prihodi avtobusov manj pogosti kot v središču mesta. Z dolžino potovanja se zmanjšuje delež časa, porabljenega za čakanje, v primerjavi s celotno dolžino potovanja.

3.1.2 Prestopanje

Prestopanje uporabnikom pogosto ni nekaj najljubšega. Omrežje LPP izvira iz obdobja plačevanja vozovnice ob vsakem vstopu, zato je bil eden od ciljev pri oblikovanju omrežja zmanjšati potrebo po prestopanju (Koblar, 2017). V bolj razvitih omrežjih je prestopanje razumljeno kot pomemben del opravljanja poti, saj omogoča kombinacijo številnih ponudnikov in sistemov in s tem večjo pokritost z JPP (Mees, 2010; Dodson idr., 2011). V analizo prestopov smo poleg 70.768 potovanj, za katera smo izvedli tudi druge analize, vključili tudi 17.614 potovanj uporabnikov, ki so na proučevani dan opravili le eno vožnjo in so bile zato njihove vožnje neustrezne za izračun izstopnih postaj. Preglednica 3 prikazuje število potovanj glede na število prestopov, opravljenih med potovanjem.

3.1.3 Potovalna hitrost

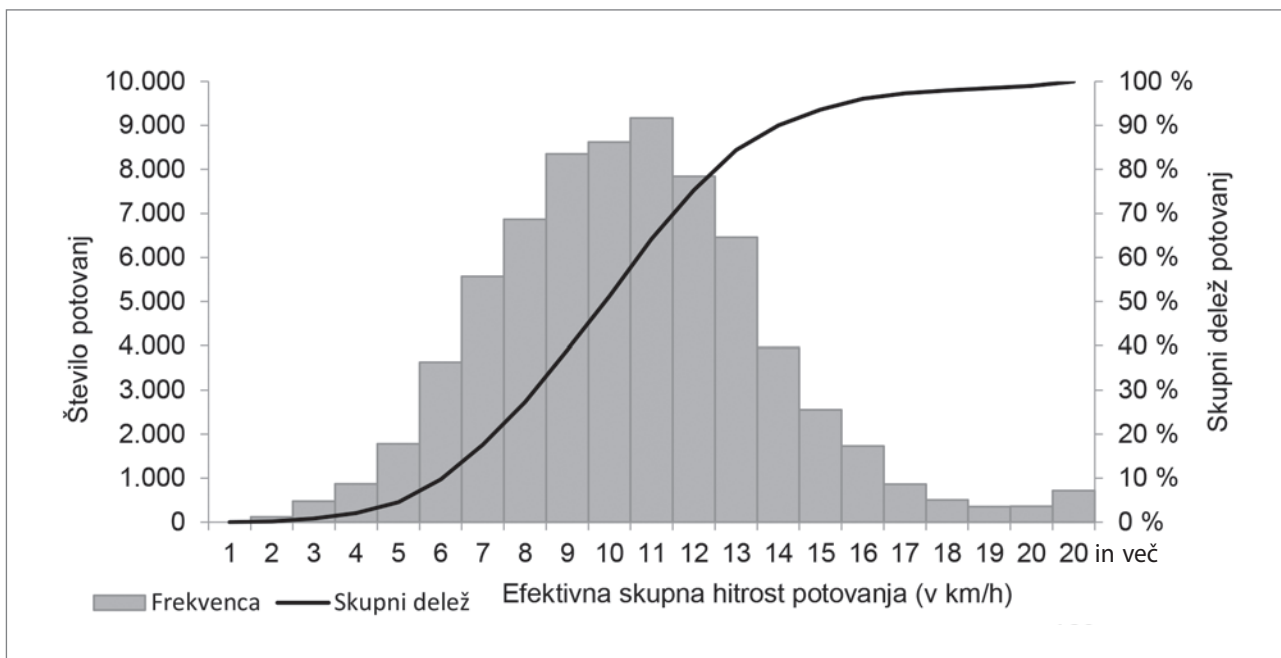
Potovalna hitrost je eden od dejavnikov določanja kakovosti sistema JPP. Preglednica 4 prikazuje potovalne hitrosti glede na različna uporabljena merila iz Preglednice 1.

Poleg povprečne hitrosti je pomembna tudi razporeditev števila potovanj, ki je prikazana na Sliki 2. Histogram ima obliko normalne porazdelitve, z nekoliko večjim številom vrednosti na desni strani grafa.

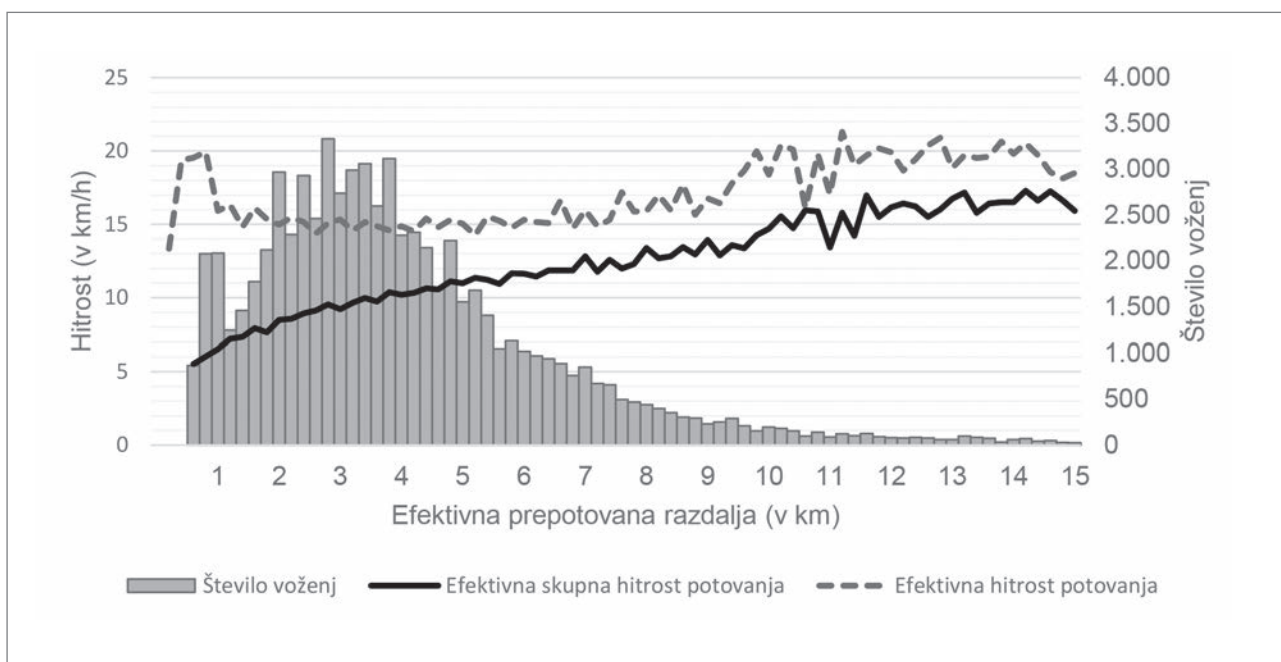
Potovalna hitrost je odvisna tudi od dolžine potovanja. Pri daljših potovanjih čas čakanja in čas, potreben za hojo, zmanjšata vpliv na hitrost potovanja, zato se hitrosti z daljšanjem potovanja povečujejo. Zanimiva je krivulja efektivne hitrosti vožnje, ta hitrost je pri kratkih razdaljah zelo velika, kar je posledica dejstva, da so razlike, kot so ugotovljene med prevoženo razdaljo in najkrajšo razdaljo, pri kratkih vožnjah manjše kot pri daljših. Poleg tega pri teh izračunih nista upoštevana hoja do postajališča in čas čakanja.

3.2 Primerjava s kolesarjenjem in hojo

Za boljšo predstavo o hitrosti potovanja z JPP in razumevanje konkurenčnosti JPP v primerjavi z drugimi trajnostnimi oblikami mobilnosti smo naredili še primerjavo s hitrostjo potovanja s kolesom in hojo. Pri primerjavi hitrosti potovanja z avtobusom in kolesom smo upoštevali efektivne skupne potovalne hitrosti, saj te najbolje izražajo uporabniško izkušnjo. Te hitrosti z dolžino potovanja naraščajo, saj se zmanjšuje vpliv časa čakanja in hoje pri potovanju z avtobusom in dodatnega časa, potrebnega za odklepanje in zaklepanje kolesa. Kolo je najhitrejše na vseh razdaljah, razlika v času in potovalni hitrosti pa je največja pri krajših potovanjih. Potovanja bi bila s



Slika 2: Število potovanj po razredih efektivne hitrosti potovanja z avtobusom (izdelal: Simon Koblar)

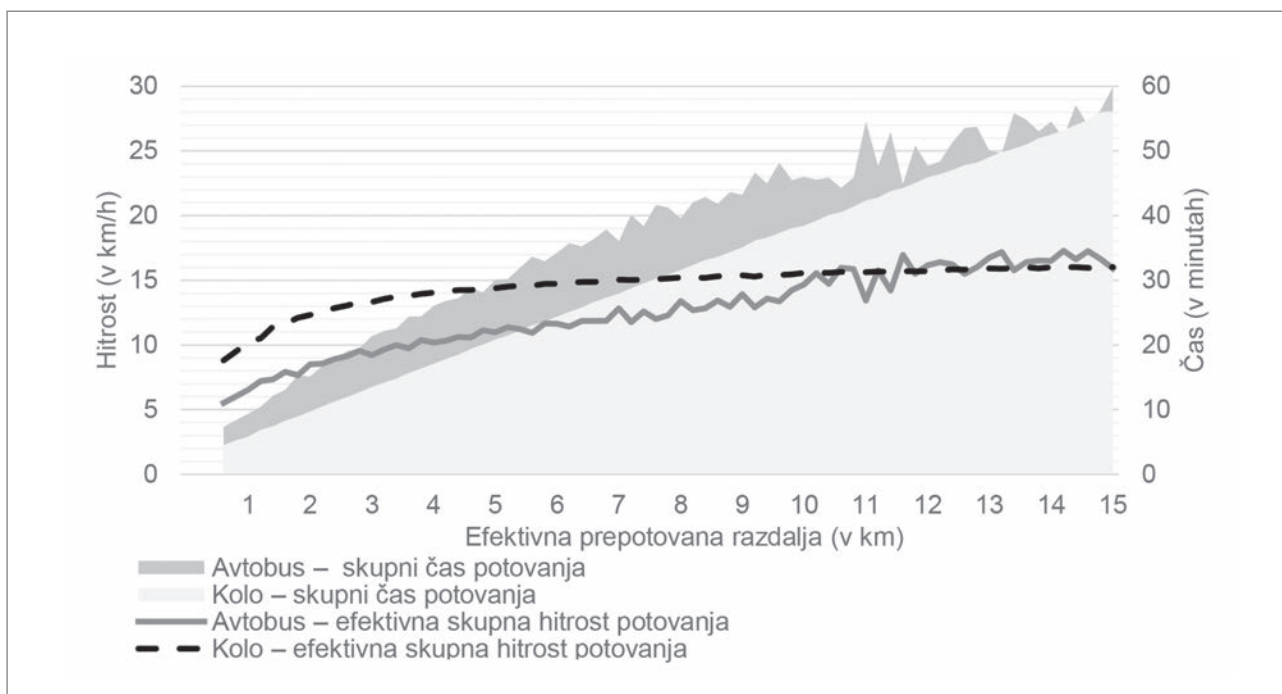


Slika 3: Potovalna hitrost v odvisnosti od dolžine potovanja (izdelal: Simon Koblar)

kolesom v povprečju opravljena 7,5 minute hitreje. Z avtobusom bi bilo hitreje kot s kolesom opravljenih le 8 % potovanj. Več kot 5 minut hitreje bi bilo s kolesom opravljenih 46 % potovanj. Zaradi majhne hitrosti hoje smo upoštevali le potovanja, dolga do 2 km. Na razdalji do 2 km bi bilo peš hitreje kot z avtobusom opravljenih 926 ali 7 % vseh teh potovanj. Če upoštevamo še potovanja, ki so z avtobusom le manj kot minuto hitrejša, je takih potovanj 1.783 ali 13 %.

4 Razprava

Prispevek prinaša nova spoznanja na področju merjenja kakovosti JPP in razkriva velik potencial podatkov plačilnega sistema za izdelavo nadaljnjih analiz. Ker so analize izdelane na podlagi opravljenih voženj, so rezultati še posebej zanimivi z vidika uporabnikov, saj izražajo uporabniško izkušnjo in dajejo vpogled v obnašanje potnikov. Zaradi odsotnosti podatka o izstopni postaji v plačilnem sistemu je bil eden zahtevnejših



Slika 4: Primerjava hitrosti in potovalnih časov med avtobusom in kolesom (izdelal: Simon Koblar)

korakov izračun izstopnih postaj. Pri tem smo z razpoložljivimi podatki uporabili preverjeni algoritem (Alsger idr., 2016), pri čemer smo razdaljo med postajališči modelirali v GIS-okolju po omrežju pešpoti, s čimer smo dosegli večjo natančnost v primerjavi z izračunano zračno razdaljo, ki so jo uporabili Alsger in sodelavci (2016). Za izračun potovalnih hitrosti smo za vsako vožnjo izračunali še čas čakanja na postajališču, čas vožnje in prepotovano razdaljo. Uporabljena metoda za izračun časa čakanja na postajališču, ki upošteva uro in ustrezne linije, zagotavlja z vidika potnikov realnejše rezultate kot v drugih raziskavah kakovosti JPP v Ljubljani pogosto uporabljena metoda štetja prihodov v konični uri (Bole, 2004; Tiran idr., 2015).

Ker je za potnike pomembna predvsem najkrajša razdalja med izvorom in ciljem potovanja, smo poleg razdalje, prepotovane po liniji JPP, modelirali tudi najkrajšo razdaljo po prometnem omrežju. Za izračun potovalne hitrosti se uporabljajo številne metode, zato smo izračun naredili na štiri načine, pri čemer smo spreminjali upoštevano razdaljo in upoštevan čas. Z vidika uporabnika in primerjave z drugimi potovalnimi načini je najbolj relevantna efektivna skupna hitrost potovanja, ki je v povprečju 10,0 km/h, kar je precej manj od dejanske hitrosti potovanja, ki je v povprečju 17,6 km/h. Komercialna hitrost je edini podatek, ki je bil do zdaj na razpolago v primerljivi obliki za celotno omrežje. Po podatkih Ljubljanskega potniškega prometa ta hitrost, ki upošteva le vožnjo, brez vmesnih prestopov na druge linije, znaša 18 km/h (Šmajdek, 2011), kar kaže na pravilnost opravljenih analiz. Velike razlike med rezultati kažejo na pomen izbire metode za izračun potovalne hitrosti.

Z izračunom potovalnih hitrosti smo potrdili prvo postavljeno hipotezo. Na podlagi podatkov plačilnega sistema in voznih redov je mogoče določiti potovalno hitrost opravljenih potovanj z JPP. Primerjava potovalnih hitrosti med JPP ter hojo in kolesarjenjem je pokazala na slabo konkurenčnost JPP v primerjavi s kolesom. V povprečju so poti z JPP trajale 7,5 minute dlje kot enake poti, opravljene s kolesom. S tem smo potrdili tudi drugo hipotezo. Povprečno potovanje, opravljeno z JPP, bi bilo s kolesom opravljeno v krajšem času. Nekatere krajše poti bi bile celo hitreje opravljene peš, kar kaže na pogosto nerazumne odločitve potnikov. Večina teh krajših poti je opravljena v mestnem središču, kjer so avtobusi že tako zelo obremenjeni. Razmerje med potovalnimi hitrostmi z JPP in kolesom je verjetno tudi eden od razlogov za porast kolesarjenja (Klemenčič idr., 2014) in upad števila potnikov na JPP v zadnjih letih (Ljubljanski potniški promet, 2019). Poleg proučevanja potovalnih hitrosti smo dobili tudi vpogled v obnašanje potnikov glede prestopanja. Izkazalo se je, da je kljub spremembi plačilnega sistema, ki omogoča brezplačno prestopanje 90 minut po prvi validaciji, le 20,9 % potovanj opravljenih s prestopanjem. To verjetno delno izhaja iz zasnove omrežja, ki naj bi kar se da zmanjšala potrebno število prestopov, delno pa iz počasnega sprejemanja sprememb in spreminjanja navad (pretežno starejših) uporabnikov tega načina prevoza.

Uporabljena metoda ima tudi nekatere pomanjkljivosti, nekatere bi bilo mogoče odpraviti z dodatnimi raziskavami in uporabo zahtevnejših metod. Zaradi velikega števila podatkov iz plačilnega sistema ne moremo zagotavljati popolnega nadzo-

ra nad kakovostjo podatkov. Napaka se pojavi že pri izračunu izstopnih postaj, poleg tega se v postopku določanja izstopnih postaj izloči del voženj, za katere ni na voljo ustreznih podatkov. Iz vidika kakovosti podatkov je še posebej problematično združevanje več voženj v potovanje, kar bi bilo mogoče izboljšati z uporabo zahtevnejših metod (Assemi idr., 2020). V našem primeru je bilo zato ključno, da smo iz nadaljnjih izračunov izločili izstopajoče vrednosti. Žal ne moremo oceniti točnosti izračuna izstopnih postaj, kar bi lahko po zgledu Wanga idr. (2011) naredili s terensko raziskavo in primerjavo rezultatov. Tudi pri izračunu povprečnega časa čakanja bi uporaba drugačnih predpostavk o naključnem prihodu potnikov na postajališče dala nekoliko drugačne rezultate (Amin-Naseri in Baradaran, 2015). Pri določanju razdalje za hojo smo uporabili enotno vrednost 400 m, saj ni podatka o tem, kolikšno razdaljo uporabniki JPP v Ljubljani dejansko prehodijo. Tudi hitrost kolesarjenja, uporabljena v raziskavi, je bila le ocenjena. Zaradi mnogih elementov, ki vplivajo nanjo (kakovost kolesarske infrastrukture, čakanje na semaforjih, ne nazadnje tudi tip kolesarja in kolesa, ki ga uporablja), bi lahko bili rezultati ob uporabi drugačne predpostavljene hitrosti drugačni. Z izboljševanjem kakovosti kolesarske infrastrukture in povečanjem deleža uporabe električnih koles lahko pričakujemo, da se bodo povprečne hitrosti kolesarjev večale. Napaka se pojavi tudi pri računanju hitrosti vožnje avtobusa, to hitrost smo računali na podlagi vozniških redov. Dejanske hitrosti od teh vedno odstopajo, še posebej na postajališčih proti koncu linij. Rešitev bi bila uporaba podatkov iz sistema za sledenje vozilom, na podlagi česar bi bilo mogoče natančneje določiti hitrost vožnje (Wang idr., 2011).

Podatki plačilnih sistemov JPP omogočajo še številne druge analize (Pelletier idr., 2011; Ali idr., 2016; Trépanier in Morency, 2016), ki bi jih bilo v prihodnje smiselno izvesti. Dobro poznavanje sistema JPP in obnašanje potnikov sta lahko v veliko pomoč pri uvajanju izboljšav v sistemu JPP, te izboljšave Ljubljana zaradi slabe konkurenčnosti JPP in neustrezne zasnove omrežja (Koblar idr., 2018) nujno potrebuje. Treba je namreč obrniti trend upadanja števila potnikov, saj bomo le s tem lahko dosegli zastavljene cilje o deležu poti, opravljenih z JPP (Milovanović, 2017), kar bi prispevalo k zmanjšanim okoljskim vplivom. Po drugi strani le izboljšave sistema JPP niso dovolj, potrebna bo tudi boljša integracija prostorskega in prometnega načrtovanja (Plevnik, 1997), kar še posebej velja ob obstoječih koridorjih JPP z dobro ponudbo (Šašek Divjak, 2004).

5 Sklep

Predstavljena metoda analize podatkov plačilnega sistema JPP in merjenja hitrosti potovanj, uporabljena na primeru Ljublja-

ne, je eden redkih poskusov merjenja kakovosti omrežja JPP na podlagi dejansko opravljenih voženj. Izračunana učinkovita skupna hitrost potovanja veliko bolje izraža uporabniško izkušnjo kot bolj splošno uveljavljene meritve komercialne hitrosti. Primerjava opravljenih voženj v primerjavi s kolesarjenjem in hojo pa te hitrosti postavi v ustrezen kontekst. V postopku izračuna hitrosti smo pridobili še druge pomembne informacije, kot so potovalni čas, prepotovana razdalja, povprečni čas čakanja in število prestopov. V prihodnje bi bilo treba upoštevati dejansko prehojeno razdaljo do postajališča, hitrost vožnje računati iz podatkov sistema sledenja vozilom, večjo pozornost pa je treba nameniti kontroli kakovosti, še posebej pri določanju izstopnih postajališč in združevanju voženj v potovanja. Analizo bi bilo tudi smiselno izvesti za daljše obdobje. Uporabljena metoda je zelo uporabna za spremljanje uporabe sistema JPP in za njegove izboljšave, s čimer bi lahko obrnili trend upadanja števila potnikov. Že trenutni rezultati na primeru Ljubljane so uporabni za prometne načrtovalce in LPP za uvajanje sprememb, ki bi povečale konkurenčnost JPP.

Simon Koblar
Urbanistični inštitut RS, Ljubljana, Slovenija
E-naslov: simon.koblar@uir.si

Luka Mladenovič
Urbanistični inštitut RS, Ljubljana, Slovenija
E-naslov: luka.mladenovic@uir.si

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva za finančno podporo projekta ASTUS, financiranega iz programa za območje Alp, in DG MOVE – SUMI, v okviru katerih je bil izdelan del analiz. Posebna zahvala gre podjetju Ljubljanski potniški promet za poslane podatke in Mateju Žebovcu za pomoč pri analizi izstopnih postaj.

Viri in literatura

- Ali, A., Kim, J., in Lee, S. (2016): Travel behavior analysis using smart card data. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(4), str. 1532–1539. DOI: 10.1007/s12205-015-1694-0
- Alsger, A., Assemi, B., Mesbah, M., in Ferreira, L. (2016): Validating and improving public transport origin–destination estimation algorithm using smart card fare data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 68, str. 490–506. DOI: 10.1016/j.trc.2016.05.004
- Amin-Naseri, M. R., in Baradaran, V. (2015): Accurate estimation of average waiting time in public transportation systems. *Transportation Science*, 49(2), str. 213–222. DOI: 10.1287/trsc.2013.0514
- Andersen, M. C. (2014): Bikes beat metro in Copenhagen. Dostopno na: <http://www.copenhagenize.com/2014/04/bikes-beat-metro-in-copenhagen.html> (sneto 30. 1. 2020).
- Assemi, B., Alsger, A., Moghaddam, M., Hickman, M., in Mesbah, M. (2020): Improving alighting stop inference accuracy in the trip chaining method using neural networks. *Public Transport*, 12(1), str. 89–121. DOI: 10.1007/s12469-019-00218-9

- Bole, D. (2004): Geografija javnega potniškega prometa na primeru Ljubljane. *Geografski vestnik*, 76(2), str. 21–32.
- Carreira, R., Patrício, L., Natal Jorge, R., in Magee, C. (2014): Understanding the travel experience and its impact on attitudes, emotions and loyalty towards the transportation provider – A quantitative study with mid-distance bus trips. *Transport Policy*, 31, str. 35–46. DOI: 10.1016/j.tranpol.2013.11.006
- Celcer, E. (2009): *Merila za oceno kakovosti poteka prog javnega prometa*. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Constantinescu, A., Popa Mitroi, G., Trotea, M., in Bogdan, M. L. (2018): Analysis of the commercial speed of a public passenger transport line from Craiova-Romania. *Applied Mechanics and Materials*, 880, str. 389–396. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.880.389
- Cui, A. (2006): *Bus passenger origin-destination matrix estimation using automated data collection systems*. Doktorska disertacija. Boston, Massachusetts Institute of Technology.
- Čelan, M., in Lep, M. (2020): Bus-arrival time prediction using bus network data model and time periods. *Future Generation Computer Systems*, 110, str. 364–371. DOI: 10.1016/j.future.2018.04.077
- Dodson, J., Mees, P., Stone, J., in Burke, M. (2011): *The principles of public transport network planning: A review of the emerging literature with select examples*. Brisbane, Urban Research Program, Griffith University.
- Ellison, R. B., in Greaves, S. (2011): Travel time competitiveness of cycling in Sydney, Australia. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2247(1), str. 99–108. DOI: 10.3141/2247-12
- Farzin, J. (2008): Constructing an automated bus origin-destination matrix using farecard and global positioning system data in Sao Paulo, Brazil. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2072(1), str. 30–37. DOI: 10.3141/2072-04
- Gabrovec, M., in Bole, D. (2006): Dostopnost do avtobusnih postajališč. *Geografski vestnik*, 78(2), str. 39–51.
- Gabrovec, M., in Razpotnik Visković, N. (2012): Ustreznost omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji z vidika razpršenosti poselitve. *Geografski vestnik*, 84(2), str. 63–72.
- Gabrovec, M., in Razpotnik Visković, N. (2018): Dostopnost do javnega potniškega prometa kot pogoj za socialno vključenost dijakov. *Geografski vestnik*, 90(2), str. 109–120. DOI: 10.3986/gv90206
- Gojčič, M. (ur.) (2018): *Celostna prometna strategija Ljubljanske urbane regije: za ljudi in prostor v inovativni in napredni regiji*. Ljubljana, Regionalna razvojna agencija Ljubljanske urbane regije.
- Jang, W. (2010): Travel time and transfer analysis using transit smart card data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2144(1), str. 142–149. DOI: 10.3141/2144-16
- Kager, R., Bertolini, L., in Te Brömmelstroet, M. (2016): Characterisation of and reflections on the synergy of bicycles and public transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, str. 208–219. DOI: 10.1016/j.tra.2016.01.015
- KFH Group (2013): *Transit capacity and quality of service manual*, 3. izdaja, TCRP report. Washington, Transportation Research Board. DOI: 10.17226/24766
- Klemenčič, M., Lep, M., Mesarec, B., in Žnuderl, B. (2014): *Potovalne navade prebivalcev v mestni občini Ljubljana in Ljubljanski urbani regiji*. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana.
- Koblar, S. (2017): *Predlog alternativnega omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji*. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta.
- Koblar, S., in Mladenovič, L. (2020): Comparison of travel speeds between different sustainable modes in Ljubljana. V: *Ceste 2020. Zbornik radova*, str. 198–210. Rovinj, Tom Signal.
- Koblar, S., Plevnik, A., in Repe, B. (2018): Predlog alternativnega omrežja javnega potniškega prometa v Ljubljanski urbani regiji. V: Žnidarič, A. (ur.): *Slovenski kongres o prometu in prometni infrastrukturi*, 14, str. 1–8. Ljubljana, DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije.
- Koblar, S., in Žebovec, M. (2018): Analiza potovalnih vzorcev uporabnikov mestnega potniškega prometa v Ljubljani. V: Ciglič, R. (ur.): *Pokrajina v visoki ločljivosti, GIS v Sloveniji*, str. 165–173. Ljubljana, Založba ZRC.
- Koren, M. (2016): *Načrtovanje in optimiranje linij javnega potniškega prometa*. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Kozina, J. (2010): Modeliranje prostorske dostopnosti do postajališč javnega potniškega prometa v Ljubljani. *Geografski vestnik*, 82, str. 97–107. DOI: 10.3986/gv90206
- Li, D., Lin, Y., Zhao, X., Song, H., in Zou, N. (2011): Estimating a transit passenger trip origin-destination matrix using automatic fare collection system. V: Xu, J., Yu, G., Zhou, S. & Unland, R. (ur.): *Database systems for advanced applications*, str. 502–513. New York, Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-20244-5_48
- Ljubljanski potniški promet (2019): *Letno poročilo 2018*. Ljubljana.
- Loong, C., in El-Geneidy, A. (2016): It's a matter of time: assessment of additional time budgeted for commuting to McGill university across modes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2565(1), str. 94–102. DOI: 10.3141/2565-11
- Lu, D. (2008): *Route level bus transit passenger origin-destination flow estimation using apc data: Numerical and empirical investigations*. Magistrsko delo. Ohio, Ohio State University.
- Mees, P. (2010): *Transport for suburbia: beyond the automobile age*. London, Sterling, VA, Earthscan.
- Milovanović, K. (ur.) (2017): *Celostna prometna strategija Mestne občine Ljubljana*. Ljubljana, Mestna občina Ljubljana.
- Morgan, M., Young, M., Lovelace, R., in Hama, L. (2019): OpenTripPlanner for R. *Journal of Open Source Software*, 4(44), 1926. DOI: 10.21105/joss.01926.
- Morris, E. A., in Guerra, E. (2015): Mood and mode: does how we travel affect how we feel? *Transportation*, 42(1), str. 25–43. DOI: 10.1007/s11116-014-9521-x
- Mosallanejad, M., Somenahalli, S., in Mills, D. (2019): Origin-destination estimation of bus users by smart card data. V: Geertman, S., Zhan, Q., Allan, A., in Pettit, C. (ur.): *Computational urban planning and management for smart cities*, Lecture notes in geoinformation and cartography, str. 305–320. Cham, Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-19424-6_17
- Munizaga, M., Nuñez, C., in Gschwender, A. (2016): Smart card data for wider transport system evaluation. V: Kurauchi, F., in Schmoker, J.-D. (ur.): *Public transport planning with smart card data*, str. 163–179. Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group. DOI: 10.1201/9781315370408-13
- OpenStreetMap contributors (2015) Planet dump [Data file from \$date of database dump\$]. Available at: <https://planet.openstreetmap.org>. (accessed 7 Mar. 2020).
- Pelletier, M.-P., Trépanier, M., in Morency, C. (2011): Smart card data use in public transit: A literature review. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(4), str. 557–568. DOI: 10.1016/j.trc.2010.12.003

- Plevnik, A. (1997): The importance of integrating urban and traffic planning. *Urbani izziv*, 32–33, str. 141–146.
DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-1997-32-33-006
- Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F., in Shimamoto, H. (2016): An overview on opportunities and challenges of smart card data analysis. V: Kurauchi, F., in Schmöcker, J.-D. (ur.): *Public transport planning with smart card data*, str. 1–11. Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group.
DOI: 10.1201/9781315370408-2
- Statistični urad RS (2017): *Razlogi prebivalcev Slovenije (15–84 let), da niso dnevno uporabljali javna prevozna sredstva, po spolu (v %), Slovenija, jeseni 2017*. Ljubljana.
- Stradling, S., Carreno, M., Rye, T., in Noble, A. (2007): Passenger perceptions and the ideal urban bus journey experience. *Transport Policy*, 14(4), str. 283–292. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.02.003
- Šabić, A. (2015): *Učinki spremembe prometnega režima na Slovenski cesti s posebnim poudarkom na javnem potniškem prometu*. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- Šašek Divjak, M. (2004): Transport corridors and settlements in a region: Linking settlements to public transport. *Urbani izziv*, 15(1), str. 97–101.
DOI: 10.5379/urbani-izziv-en-2004-15-01-003
- Šmajdek, J. (2011): *Uvajanje sodobnega plačilnega sistema v javnem mestnem potniškem prometu*. Specialistično delo. Koper, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet.
- Tiran, J., Lakner, M., in Drobne, S. (2019): Modelling walking accessibility: A case study of Ljubljana, Slovenia. *Moravian Geographical Reports*, 27(4), str. 194–206. DOI: 10.2478/mgr-2019-0015
- Tiran, J., Mladenovič, L., in Koblar, S. (2015): Dostopnost do javnega potniškega prometa v Ljubljani po metodi PTAL. *Geodetski vestnik*, 59(4), str. 723–735.
- Trépanier, M., in Morency, C. (2016): Evaluation of bus service key performance indicators using smartcard data. V: Kurauchi, F., in Schmoker, J.-D. (ur.): *Public transport planning with smart card data*, str. 181–196. London, CRC Press, Taylor & Francis Group.
DOI: 10.1201/9781315370408-14
- Trépanier, M., Tranchant, N., in Champleau, R. (2007): Individual trip destination estimation in a transit smart card automated fare collection system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 11(1), str. 1–14.
DOI: 10.1080/15472450601122256
- Vanhanen, K., in Kurri, J. (2007): Quality factors in public transport. V: *Summary report of the Public Transport Research Programme JOTU 2004–2007*, Helsinki.
- Wang, W. (2010): *Bus passenger origin-destination estimation and travel behavior using automated data collection systems in London, UK*. Doktorska disertacija. Boston, Massachusetts Institute of Technology.
- Wang, W., Attanucci, J. P., in Wilson, N. H. (2011): Bus passenger origin-destination estimation and related analyses using automated data collection systems. *Journal of Public Transportation*, 14(4), str. 131–150.
DOI: 10.5038/2375-0901.14.4.7
- Yan, F., Yang, C., in Ukkusuri, S. V. (2019): Alighting stop determination using two-step algorithms in bus transit systems. *Transportmetrica A: Transport Science*, 15(2), str. 1522–1542.
DOI: 10.1080/23249935.2019.1615578
- Zhao, J., Rahbee, A., in Wilson, N. H. (2007): Estimating a rail passenger trip origin-destination matrix using automatic data collection systems. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 22(5), str. 376–387.
DOI: 10.1111/j.1467-8667.2007.00494.x