

GIS KOT ORODJE ZA ANALIZO POKRITOSTI SLOVENIJE S POLNILNIMI POSTAJAMI ZA ELEKTRIČNE AVTOMOBILE

dr. Klemen Prah, dr. Matjaž Knez

Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko

klemen.prah@um.si, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2610-3863>

matjaz.knez@um.si

DOI: https://doi.org/10.3986/9789610506683_14

UDK: 621.354:659.2:004:91(497.4)

IZVLEČEK

GIS kot orodje za analizo pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile

Za spodbujanje uporabe električnih avtomobilov je pomembno racionalno načrtovati lokacije polnilnih postaj. V tem smislu je bilo analizirano stanje pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile (v nadaljevanju polnilnimi postajami). Z uporabo diskretnih in omrežnih modelov geografskih informacijskih sistemov ter s programsko opremo ArcGIS so bile opravljene analize gostote polnilnih postaj, bližine vzdolž cestnega omrežja ter gručenja. Ugotovljeno je bilo, da ima razporeditev polnilnih postaj prevladujoč smerni trend vzdolž avtoceste A1 Slovenika. Le 10,4% polnilnih postaj je dostopnih z najbližje avtoceste na razdalji 400 m ali manj. Ob danih nastavitvah je bilo ugotovljenih 10 skupin polnilnih postaj, od katerih najbolj izstopa skupina na območju Ljubljane. Prostorske analize v komplementarnosti dajejo neko celovito sliko pokritosti izbrane regije s polnilnimi postajami. Raziskava je pomembna kot preliminarna raziskava pri prostorskem načrtovanju polnilnih postaj.

KLJUČNE BESEDE

GIS, polnilne postaje za električne avtomobile, prostorska analiza, Slovenija

ABSTRACT

GIS as a tool for coverage analysis of electric vehicles charging stations in Slovenia

To encourage the use of electric cars, it is important to rationally plan the locations of charging stations. In this sense, the state of coverage of Slovenia with electric vehicles charging stations (EVCS) was analyzed. Using discrete and network models of geographic information systems and ArcGIS software, analyzes of charging station density, proximity along the road network and clustering were performed. It was found that the distribution of EVCS has a predominant directional trend along the A1 Slovenika motorway. Only 10.4% of EVCS are accessible from the nearest motorway at a distance of 400 meters or less. At the given settings, 10 clusters of charging stations were identified of which the cluster in the Ljubljana area stands out the most. Spatial analyzes in complementarity give some comprehensive picture of EVCS coverage. The survey is important as a preliminary survey in EVCS spatial planning.

KEY WORDS

GIS, electric vehicles charging stations, spatial analysis, Slovenia

1 Uvod

Električna vozila predstavljajo hitro razvijajočo se tehnologijo, ki terja od uporabnikov hitro prilagajanje. Električni avtomobili so ekonomična in ekološka vozila, ki pridobivajo moč iz polnilnih baterij v avtomobilu (Erba_ s sodelavci 2018). Ena glavnih pomanjkljivosti so težave s polnjenjem (Erbaš s sodelavci 2018). Zaradi tega morajo proizvajalci avtomobilov predvideti ne le poslovne priložnosti, ampak tudi razpoložljive vire, kot so polnilne postaje za električne avtomobile (Elliott 2018). Če pogledamo znani primer EV1, prvega množično proizvajanega in namensko zasnovanega električnega avtomobila moderne dobe, naj bi njegov propad domnevno povzročila med drugim nezadostna električna infrastruktura (Keeping Electric Vehicles Alive 2013). Ena ključnih rešitev za učinkovito in obsežnejšo uporabo električnih avtomobilov je torej ustrezna prostorska razporeditev polnilnih postaj za električne avtomobile (v nadaljevanju polnilne postaje).

S hitrim pojavom novih, inovativnih oblik potniškega prometa je lokacijska inteligenca geografskih informacijskih sistemov (GIS) pomembnejša kot kdaj koli prej (Elliott 2018). Glavni cilj te raziskave je s pomočjo GIS tehnik in metodologije ugotoviti pokritost Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile. Prav tako je cilj predstaviti najnovejše trende števila polnilnih postaj v Sloveniji. Izraz »pokritost« razumemo kot prostorske značilnosti polnilnih postaj, kot prispevek k razumevanju, kje in zakaj so nameščene.

Namen raziskave je prispevati k lažjemu odločanju o nadaljnjih ukrepih za uvajanje in izboljšanje infrastrukture polnilnih postaj.

Celovita raziskava je bila prvotno objavljena v reviji *Technical Gazette* (Prah, Kmetec in Knez 2022) in temelji primarno na podatkih spletnega portala Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest), pridobljenih leta 2019. V želji, da bi podatke posodobili s stanjem za leto 2022, je bilo ugotovljeno, da omenjena spletna stran ni ažurna in da sta prikaza stanja za 2019 in 2022 skoraj identična. Iz prakse pa vemo, da se je število polnilnih mest do leta 2022 bistveno povečalo. Zato analize GIS, ki bi temeljile na novejših prostorskih podatkih, niso bile izvedene, je pa raziskava opisno obogatena z najnovejšimi trendi števila polnilnih mest v Sloveniji.

2 Dosedanje raziskave

Prostorsko umeščanje (t. j. lociranje) objektov je pomembno raziskovalno področje (Church 2002). Raziskave, osredotočene na umščanje polnilnih postaj, so bile v zadnjih letih deležne veliko pozornosti. Številne študije so potrdile, da je izbira lokacije polnilnih postaj problem vrednotenja več kriterijev (Erbaš s sodelavci 2018; Zhou s sodelavci 2020). Številni članki opisujejo raziskave, namenjene preučevanju in optimizaciji umestitve polnilnih postaj. Avtorji so uporabili različne vrste metod odločanja, kot so na primer genetski algoritem (Pan s sodelavci 2020), optimizacija z roji delcev (Zhang s sodelavci 2019), problem maksimalne pokritosti (Dong s sodelavci 2019), analitični hierarhični proces (AHP) (Guler in Yomralioglu 2020) in drugo.

Splošna analiza lociranja (angl. *siting*) z GIS se je začela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, na primer z Dobsonom (Dobson 1979). Na področju transporta se je raziskovalni GIS pojavil relativno pozno, in sicer šele v poznih osemdesetih. (Thill 2000). Natančneje, transportni sektor je postal zelo multidisciplinaren, GIS-i pa so bili postavljeni kot vrhunska tehnologija za integracijo informacij (Thill 2000). Postopek združevanja podatkovnih slojev, od katerih je vsak tehtan z določenim faktorjem, je danes mogoče enostavno izvesti v večini GIS-ov (Church 2002).

Tehnike multikriterijske analize odločanja (angl. *multi-criteria decision analysis*, MCDA), ki temeljijo na GIS-ih, se običajno uporabljajo za reševanje različnih problemov prostorskega odločanja, kot so izbor lokacij za vetrne elektrarne, občinska odlagališča odpadkov itd. Še vedno pa obstaja vrzel glede izbire lokacij polnilnih postaj (Erbaš s sodelavci 2018). Eden od nedavnih primerov izbire njihovih lokacij s pomočjo GIS-ov predstavlja delo Erbaša s sodelavci (2018).

Geografske informacijske sisteme so za določanje lokacij polnilnih postaj uporabljali tudi drugi avtorji, kot na primer Guler in Yomralioglu (2020), Zhou s sodelavci (2020) ter Pagany, Marquardt in Zink (2019). Shepero in Munkhammar (2018) sta razvila prostorski model markovske verige za modeliranje polnilne obremenitve električnih vozil v mestih. Nasprotno pa so bila orodja GIS v nekaterih študijah uporabljena bolj v obrobem smislu, na primer samo za predstavitev lokacij kandidatnih in optimalnih polnilnih postaj (Xu s sodelavci 2018).

V Sloveniji ostaja vrzel v raziskavah o pokritosti s polnilnimi postajami. Vemo, da ima v raziskavi Kneza s sodelavci (2014) kar 38 % ljudi iz preučenege vzorca zelo pozitiven odnos do nakupa vozil z nizkimi emisijami in nakup v bližnji prihodnosti tudi načrtujejo. Zato bi znanje o pokritosti s polnilnimi postajami v Sloveniji omogočilo nadaljnje raziskovalno delo za določitev optimalne razporeditve polnilnih postaj. Pri tem ima lahko geografska znanost pomembno vlogo, saj je dobro opremljena za poglobljeno razumevanje možnosti za alternativna goriva (Kuby 2006).

3 Metode dela

Preprost zemljevid polnilnih postaj za Slovenijo je na voljo na spletni strani Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest). V raziskavi se lotevamo analize in predstavitve pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami, pri čemer je glavni poudarek na uporabi GIS tehnologije. GIS-i so računalniško podprti sistemi za zajemanje, shranjevanje, upravljanje, prikaz in analizo geografskih informacij. Njihova osnovna sposobnost je integracija informacij. Velika verjetnost je, da se bo zaradi integracije ustvaril nek nov vpogled v informacije (Fotheringham 2000), kar bo imelo pomembno vlogo pri odločanju.

V naši raziskavi sta pomembni dve vrsti GIS modelov. Prvič, diskretni modeli, pri katerih diskretne entitete, kot so na primer polnilne postaje, naseljujejo prostor. Drugič, omrežni model, ki predstavlja topološko povezane linijske entitete, to je ceste, ki vplivajo na polnilne postaje. Nedvomno pa je učinkovitost GIS analize odvisna od kakovosti prostorskih podatkov.

Pri GIS analizi pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami smo dali velik poudarek tehnikam prostorske analize in GIS orodjem. Prostorska analiza (ali geoprostorska analiza ali analiza prostorskih podatkov) se nanaša na problemski vidik uporabe GIS-ov (Allen 2009) in predstavlja samo en kontekst znotraj širšega koncepta analize geografskih informacij. Slednji se pojavlja tudi z drugimi konteksti, kot so upravljanje prostorskih podatkov, prostorska statistična analiza in prostorsko modeliranje (O'Sullivan in Unwin 2010). Analiza geografskih informacij se ukvarja z raziskovanjem vzorcev, ki nastanejo kot posledica procesov v prostoru (O'Sullivan in Unwin 2010); geovizualizacija ima pri takšni analizi ključno mesto (de Smith, Goodchild in Longley 2018).

Za analizo smo vse prostorske podatkovne sloje pripravili v obliki vektorskih slojev formata shapefile. Vse GIS analize so bile izvedene s programsko opremo ArcGIS for Desktop, različica 10.8.1, in ArcGIS Pro, različica 2.4. Da bi ugotovili zvezo med številom polnilnih postaj v občinah in gostoto prebivalstva občin, smo izračunali Pearsonov korelacijski koeficient (Pearson 1895) in polinomsko regresijo (Gergonne 1974). Slednja pomeni nelinearno zvezo med neodvisnimi in odvisnimi spremenljivkami.

V nadaljevanju smo se osredotočili na Slovenijo kot celoto. Ocenili smo značilnosti gostote polnilnih postaj in v ta namen ustvarili neprekinjen prikaz gostote (angl. *continuous density surface*), ki temelji na variaciji osnovne cene jedrne gostote (angl. *kernel density*) (O'Sullivan in Unwin 2010). Drugič, za določitev geografske porazdelitve smo izračunali standardno deviacijsko elipso polnilnih postaj.

Ker so zgornje analize namigovala na očitno zvezo med polnilnimi postajami in avtocestami, smo to razmerje podrobneje preučili. Ker vsebuje analiza razdalje ravnih linij inherentno pomanjkljivost pri obravnavi cestnih omrežij, smo modelirali cestno prometno omrežje in analizirali bližino polnilnih mest ob avtocestah. Uporabljeni algoritem analize stroškovne matrike izvora-destinacije (angl. *OD cost matrix*) temelji na Dijkstrovem algoritmu drevesa najkrajše poti (Dijkstra 1959).

Za vzpostavitev statistične utemeljitve in ravni statistične zanesljivosti analize prostorskih vzorcev polnilnih postaj smo študijo nadgradili z dvema vrstama analize. Prvi je izračun indeksa povprečnega najbližjega sosesa (angl. *average nearest neighbour index*), drugi pa je t. i. *ordering points to identify the clustering structure* ali na kratko OPTICS (Ankerst s sodelavci 1999). S prvim smo ugotavljali, ali obstaja statistično pomemben nivo gručenja polnilnih postaj. Drugega smo uporabili za odkrivanje območij, kjer so skoncentrirane polnilne postaje in za raziskovanje notranje strukture skupin.

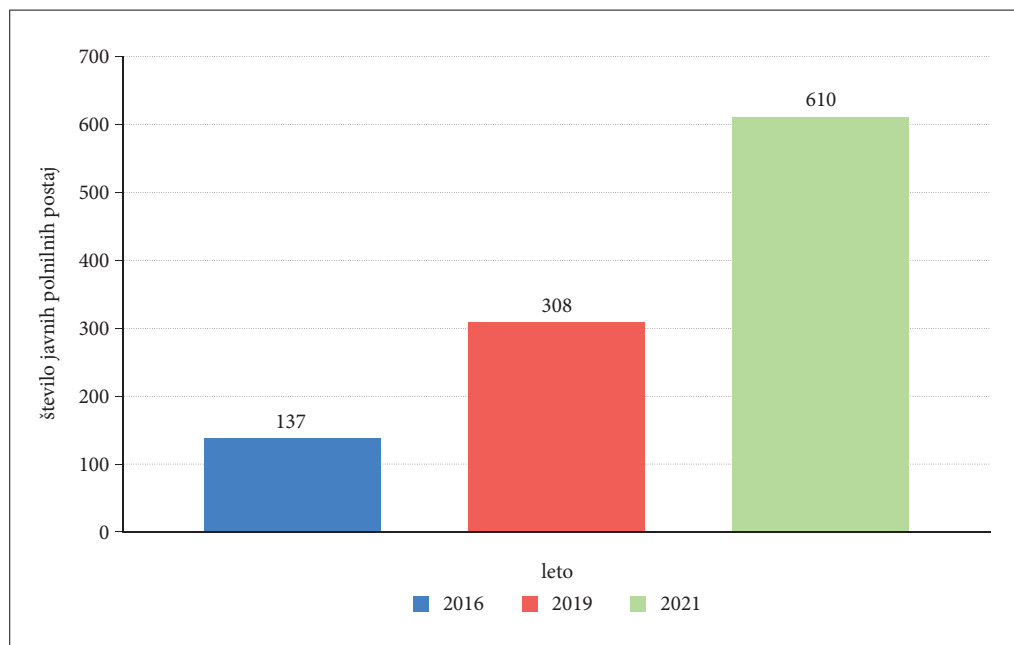
4 Rezultati

Za leto 2019 je bilo na osnovi zemljevida Polni.si (Polni.si: Iskalnik polnilnih mest) ugotovljeno, da je imela Slovenija 308 javnih polnilnih postaj s skupno 637 polnilnimi priključki (Prah, Kmetec in Knez 2022). Pomožne polnilne postaje (t. j. tiste za avtodome in zasebne) niso bile vštete. Med omejenimi 308 javnimi polnilnimi postajami so bile le tri superpolnilne postaje podjetja Tesla, in sicer na lokacijah počivališča v Dogošah pri Mariboru, pri Hotelu Mons na Brdu in na počivališču Ravne na Primorskem (Supercharger | Tesla Europe).

Tri leta poprej, torej konec leta 2016, je bilo v Sloveniji le 137 javnih polnilnih postaj (Pavšič 2017).

Za konec leta 2021 ugotavljamo, da ima Slovenija po podatkih *European Automobile Manufacturers Association* 129 hitrih in 481 klasičnih polnilnic, kar je skupno 610 polnilnic. Delež hitrih je 21 %, kar je precej nad evropskim povprečjem, ki je 11 % (Pavšič 2021). Slika 1 prikazuje rast števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji med letoma 2016 in 2021.

Slovenija je razdeljena na 212 občin, od katerih jih ima 12 mestni status. Leta 2019 je bilo kar 68 od 308 polnilnih postaj skoncentriranih v Mestni občini Ljubljana. Mestna občina Maribor v severovzhodnem delu Slovenije je bila na drugem mestu s 24 polnilnimi postajami. Nato sledi 14 občin, ki



Slika 1: Gibanje števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji med letoma 2016 in 2021 (Viri: Pavšič 2017; Polni.si: Iskalnik polnilnih mest; Pavšič 2021).

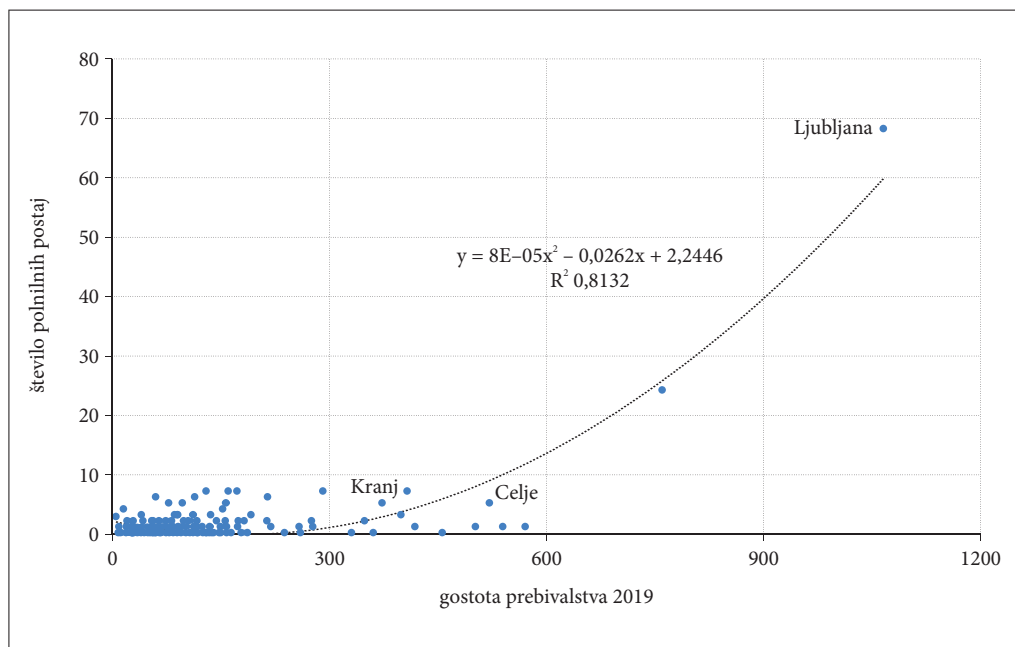
so imele od 5 do 7 polnilnih postaj, 35 občin z 2 do 4 polnilnimi postajami, 49 občin z 1 polnilno postajo in 113 občin brez polnilnih postaj.

Jakost korelacije med številom polnilnih postaj v občini in gostoto prebivalstva v občini za leto 2019 je 0,65. Pri izračunu polinomske regresije je vrednost za R^2 0,81, kar kaže na povezavo med spremenljivkama, oziroma 81 % sprememb v številu polnilnih postaj pripisujemo spremembam v gostoti prebivalstva (slika 2).

4.1 Gostota polnilnih postaj v Sloveniji

Da bi ugotovili, kako so polnilne postaje razporejene na celotnem območju Slovenije, smo ugotavljali njihovo gostoto. Na podlagi podatkov o lokacijah polnilnih postaj smo ustvarili rastrski podatkovni sloj gostote. Izračun temelji na sofisticirani različici osnovne metode ugotavljanja jedrne gostote, pri čemer je rezultat neprekinjeno površje gostote (O'Sullivan in Unwin 2010). Izbrali smo velikost celice 1 km^2 , kar je ustvarilo še sprejemljivo ločljivost, in polmer iskanja, tako imenovano pasovno širino jedra, 20 km. Izhodne vrednosti za jedrno gostoto so prikazane na sliki 3. Izstopata dve žarišči. Še posebej izstopajoče je tisto v osrednji Sloveniji na območju Ljubljane, kjer se najvišje vrednosti gibljejo med 0,167 in 0,149 polnilnih postaj na km^2 . Drugo žarišče, nekoliko manj izrazito, pa je v severovzhodnem delu Slovenije na območju Maribora, kjer se najvišje vrednosti giblje med 0,093 in 0,074 polnilnih postaj na km^2 . V obeh primerih gre za območja z največjo gostoto prebivalstva.

Oblika nakazuje na diagonalni potek večje gostote polnilnih postaj, in sicer od severovzhodnega dela Slovenije do obalnega jugozahodnega dela. Tukaj imajo jedra, kot so Murska Sobota, Celje in Koper-Portorož le nekoliko povečano jedrno gostoto, in sicer med 0,037 in 0,019 polnilnih postaj na km^2 . Vidna je tudi diagonala, ki poteka od severozahoda proti jugovzhodu, od Bleda čez Kranj do Ljubljane. Pri vrednosti 30 km za polmer iskanja pri ugotavljanju jedrne gostote opazimo da se ta diagonala podaljša do Novega mesta (slika 4) (Prah, Kmetec in Knez 2022).



Slika 2: Polinomski regresijski model 2. stopnje med spremenljivkama gostote prebivalstva in števila javnih polnilnih postaj za električne avtomobile po občinah za leto 2019.

Prva omenjena diagonala primarno sovпада s krakom A1 »Slovenika« slovenskega avtocestnega križa, vključno z nekaterimi večjimi mesti, kot so Murska Sobota (ob avtocesti A5), Celje in obalna mesta. Avtocesta A1 v večjem delu sovпада z zelo prometnim 5. panevropskim prometnim koridorjem, kakor tudi s sredozemskim koridorjem panevropskega prometnega omrežja (TEN-T).

Druga omenjena diagonala sovпада s krakom A2 »Ilirika« slovenskega avtocestnega križa, z izstopajočim severozahodnim krakom, kjer ima Kranj že nekoliko višje vrednosti, in sicer med 0,056 in 0,037 polnilne postaje na km².

4.2 Analiza bližine polnilnih postaj vzdolž prometnega omrežja

Analiza, ki upošteva evklidsko razdaljo, ima pri obravnavi ulic ali drugih vrst omrežij inherentno napako (Allen 2009). Namreč meritve evklidske razdalje lahko prečkajo območja, do katerih omrežje ne dostopa. Da bi to napako preseglili, smo izvedli omrežno analizo bližine (angl. *nearness*) vzdolž transportnega omrežja. Konkretno nas je zanimala bližina polnilnih postaj ob cestah najvišjega nivoja, torej avtocestah. Z naravovarstvenega vidika imajo avtoceste zaradi izpustov negativen vpliv na okolje, zaradi česar so ugodni pogoji glede uporabe baterijskih električnih avtomobilov toliko pomembnejši. Philipsen s sodelavci (2016) ugotavlja, da je pri voznikih malo pripravljenosti za dolge obvoze v smislu zapuščanja avtoceste za polnjenje baterij.

Na osnovi podatkovnega sloja cest (Navteq 2008) smo z razširitvijo Network Analyst programske opreme ArcGIS for Desktop 10.8.1 ustvarili model cestnega omrežja, t. i. *network dataset*. Nato smo izvedli omrežno analizo tipa stroškovna matrika izvor–destinacija (angl. *origin–destination cost matrix*). Ta uporablja algoritem več izvorov in več destinacij, ki temelji na Dijkstrovem algoritmu drevesa najkrajše poti (Dijkstra 1959).

Rezultati (preglednica 1, slika 5) kažejo, da je le 32 ali 10,4 % polnilnih postaj dostopnih z najbližje avtoceste na razdalji 400 m ali manj. Nadalje je 41 ali 13,3 % polnilnih postaj dostopnih na razdalji od 400 do 1000 m. Ostalih 235 76,3 % polnilnih postaj je dostopnih na razdalji, večji od 1 km, od tega 100 polnilnih postaj na razdalji, večji od 4 km.

Polnilne postaje je mogoče opaziti vzdolž vseh slovenskih avtocest (slika 5). Glede na to, da postajajo električni avtomobili čedalje zmogljivejši, se bo njihova uporaba na avtocestah povečala. Zaradi tega bo v prihodnje potrebno analizirati, kje ob avtocestah namestiti nove polnilne postaje.

Preglednica 1: Bližina polnilnih postaj za električne avtomobile najbližji avtocesti.

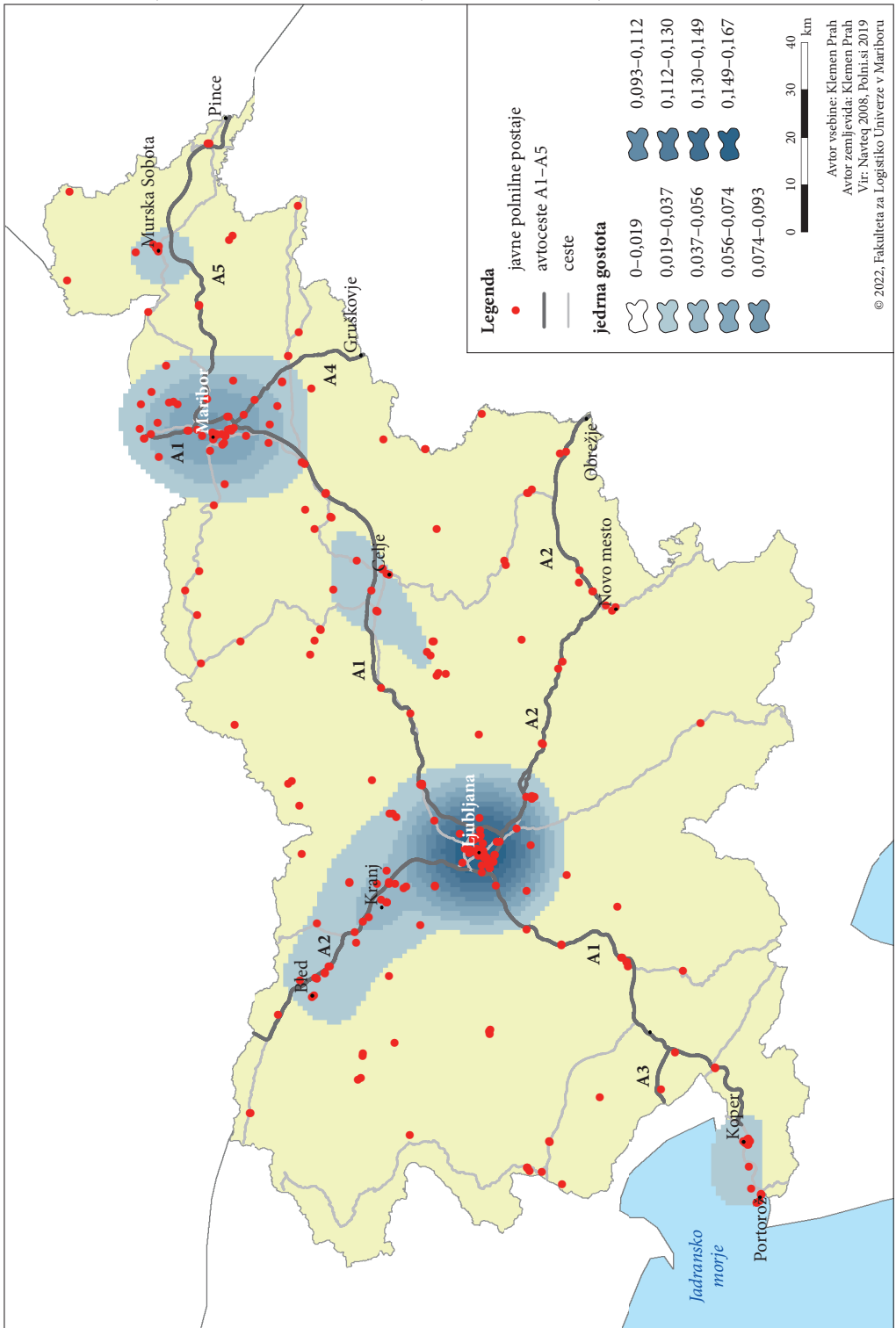
omrežna razdalja v metrih	število polnilnih postaj
do 200	8
201 do 400	24
401 do 1000	41
1001 do 2000	56
2001 do 4000	79
nađ 4000	100
skupaj	308

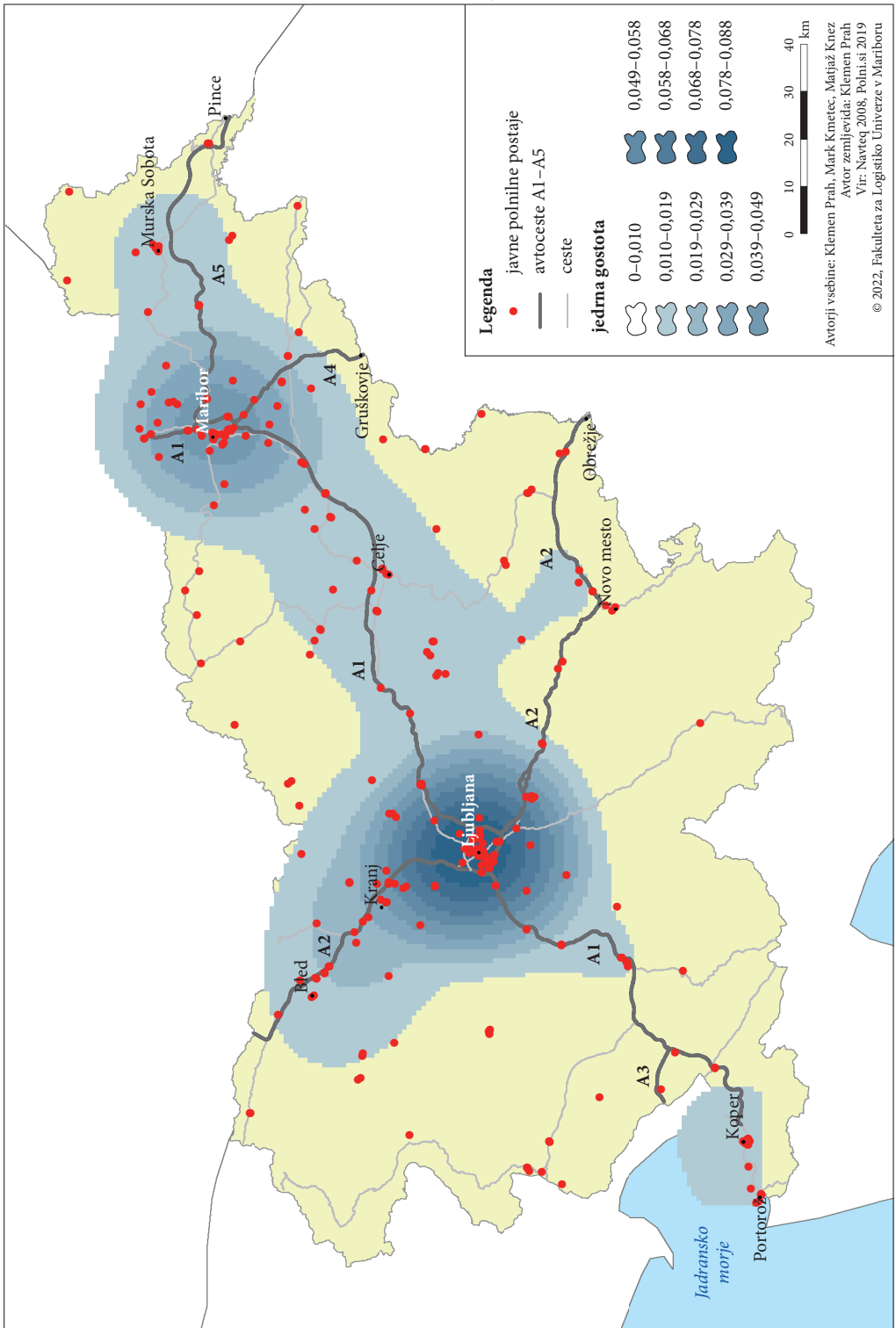
Slika 3: Jedrna gostota javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji leta 2019 pri velikosti celice 1 km² in polneru iskanja 20 km. ► (str. 189)

Slika 4: Jedrna gostota javnih polnilnih postaj za električne avtomobile v Sloveniji leta 2019 pri velikosti celice 1 km² in polneru iskanja 30 km. ► (str. 190)

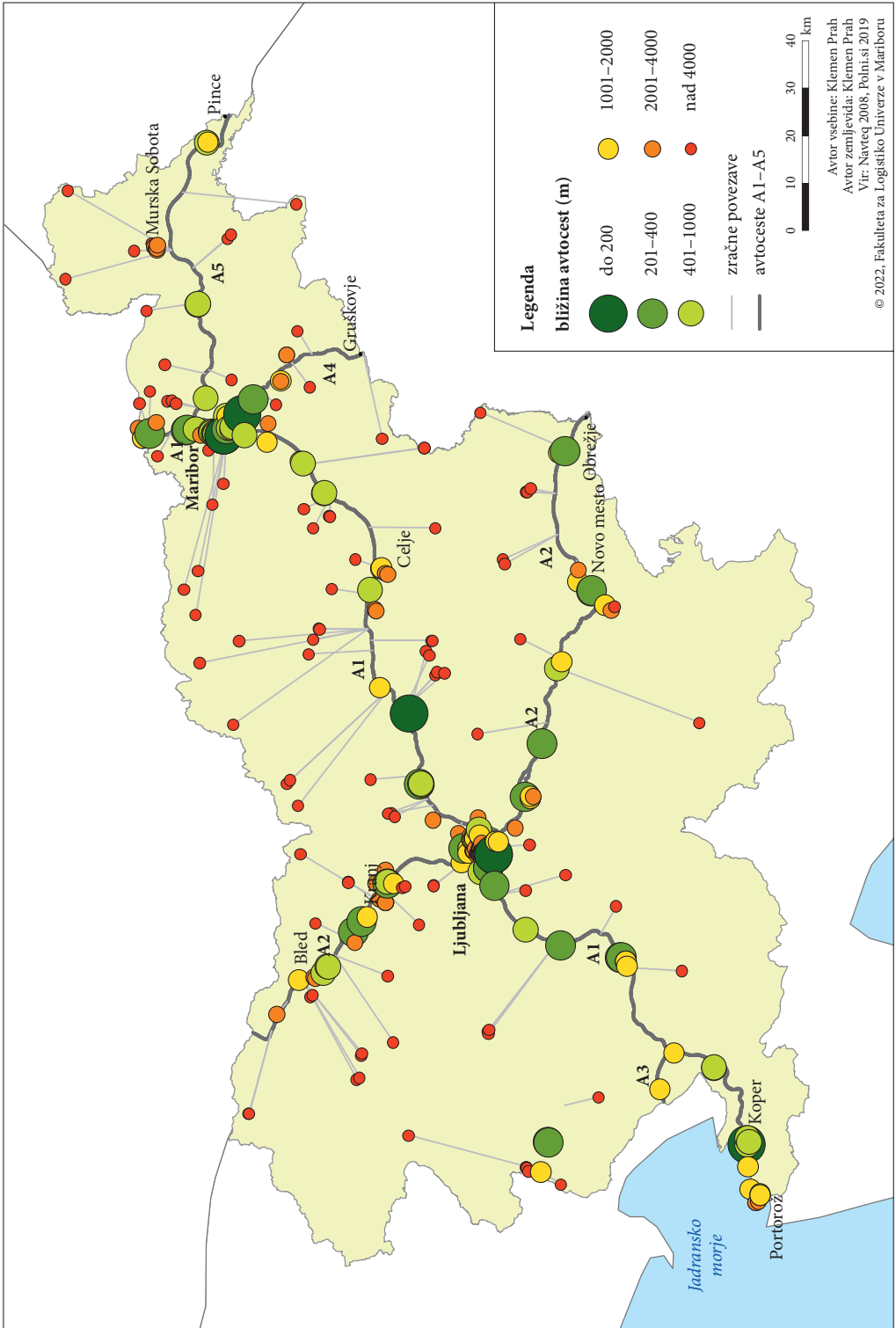
Slika 5: Bližina polnilnih postaj za električne avtomobile najbližji avtocesti. ► (str. 191)

GIS kot orodje za analizo pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile





GIS kot orodje za analizo pokritosti Slovenije s polnilnimi postajami za električne avtomobile



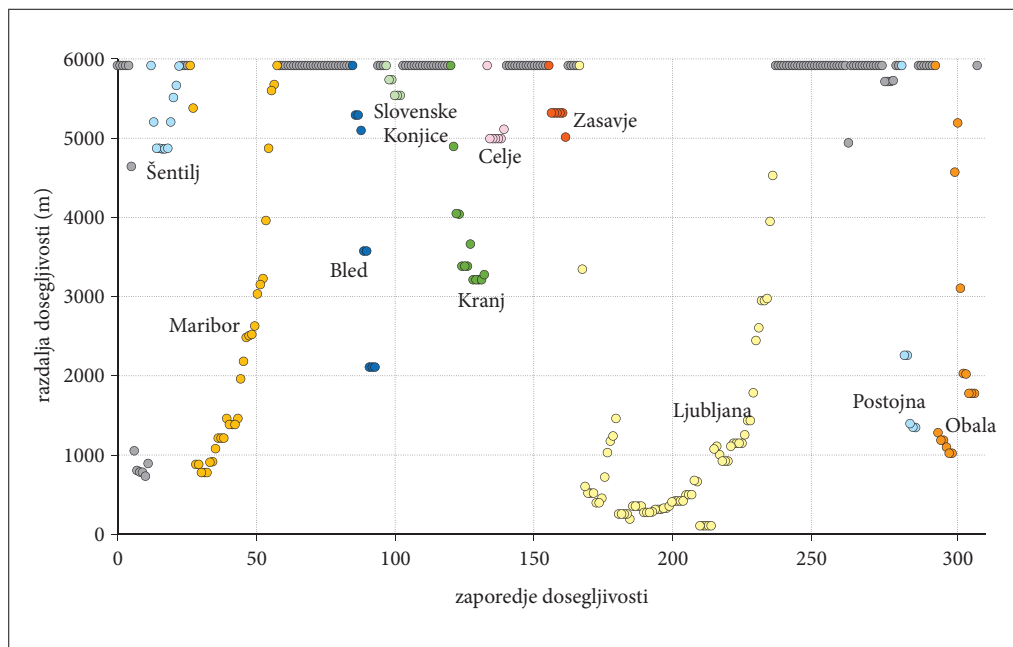
4.3 Analiza vzorcev razporeditve polnilnih postaj

Analize so nakazale prostorske vzorce razmestitve polnilnih postaj v Sloveniji. Da bi te prostorske vzorce podrobneje preučili, smo izvedli dve vrsti analize. Prva je izračun indeksa povprečne oddaljenosti najbližjega sosedu (angl. *average nearest neighbour index*), druga pa je združevanje v skupine na podlagi gostote (angl. *density-based clustering*). Pri slednji smo izbrali metodo *ordering points to identify the clustering structure* (OPTICS) (Ankerst s sodelavci 1999).

Da bi ugotovili, ali so lokacije polnilnih postaj bližje skupaj, kot bi pričakovali z naključno porazdelitvijo, smo torej izračunali indeks povprečne oddaljenosti najbližjega sosedu. Indeks izraža razmerje med opazovano razdaljo, deljeno z razdaljo hipotetičnih podatkov (Allen 2009). Pri tem imamo opravka s 308 postajami, razporejenimi po Sloveniji. Rezultat kaže, da je opazovana povprečna razdalja med vsako polnilno postajo in njenim najbližjim sosedom 2082 m, povprečna razdalja za hipotetično porazdelitev je 4666 m, indeks najbližjega sosedu kot razmerje pa je 0,45. Kadar je slednji manjši od 1, kaže vzorec na združevanje v skupine, kadar pa je indeks večji od 1, kaže vzorec na razpršenost. Ker je v našem primeru indeks manjši od 1, to pomeni gručasto porazdelitev polnilnih postaj. Vrednost z znaša -18,6, kar pomeni, da lahko z 99-odstotno verjetnostjo trdimo, da gručasta porazdelitev polnilnih postaj ni naključna. Tega ne bi mogli trditi, če bi se vrednost z gibala med -2,58 in +2,58.

Prednost metode OPTICS je v tem, da izračuna obogateno razvrščanje v skupine. Takšno razvrščanje vsebuje informacije, ki so enakovredne razvrščanju v skupine na osnovi gostote in ustreza dokaj obsežnemu naboru nastavitvev parametrov. Razvrščanje v skupine je mogoče predstaviti tudi grafično, kar omogoča interaktivno raziskovanje njihove notranje strukture (Ankerst s sodelavci 1999).

Pri analizi OPTICS smo uporabili sledeče nastavitve: minimalno število objektov v skupini je 6, iskalna razdalja je 6 km, senzitivnost skupin je 2. Parameter senzitivnosti skupin določa, kako se oblika (naklon in višina) vrhov znotraj grafa dosegljivosti (slika 6) uporablja za ločevanje skupin. Vrednost 2 za senzitivnost skupin spada med nizke vrednosti, saj je razpon možnih vrednosti celih števil med 0 in 100.



Slika 6: Dosegljivost in skupine polnilnih postaj za električne avtomobile.

Izbira nizke vrednosti za parameter senzitivnosti skupin obravnava le strme, visoke vrhove za ločevanje med skupinami, kar ima za posledico manjše število skupin (how density-based clustering works). Kot rezultat je bilo zaznanih 10 skupin, ki skupaj zajemajo 176 polnilnih postaj (slika 6). Preostalih 132 polnilnih postaj predstavlja šum. Najbolj izrazita je skupina na območju Ljubljane z značilno dolino na grafu dosegljivosti, kar pomeni, da je potrebno od ene polnilne postaje do druge prepotovati le kratko razdaljo. Povedano drugače, majhne razdalje dosegljivosti in nizka dolina na grafu kažejo na gosto skupino polnilnih postaj na območju Ljubljane. Skupini z razmeroma velikim razponom zaporedja dosegljivosti in precej majhnimi razdaljami dosegljivosti opazimo tudi na območjih Maribora in Obale, kar je mogoče razložiti s precej velikim številom polnilnih postaj in precej gostimi skupinami. Ugotovljene so bili tudi druge, manj izrazite skupine. Z razmeroma majhno razdaljo dosegljivosti je opazna skupina polnilnih postaj na območju Postojne. Skupini na območju Kranja in Bleda sovpadata s severozahodnim krakom avtoceste A2 Ilirika.

Ob povečevanju razdalje dosegljivosti se pojavijo še sledeče skupine: Šentilj, Celje, Zasavje in Slovenske Konjice. Šentilj leži ob meji z Avstrijo. Skozenj potekata avtocesta A1 Slovenika in X. panevropski prometni koridor. Med drugim je kraj znan po igralniškem turizmu. Celje je četrto največje mesto v Sloveniji. Mimo poteka avtocesta Maribor–Ljubljana (A1). Skupino na območju Celja sestavlja sedem polnilnih postaj in se nahaja v zgornjem delu grafa, kar pomeni večje razdalje dosegljivosti in zato manj gosto skupino.

V predhodni raziskavi (Prah, Kmetec in Knez 2022) so bile uporabljene druga ne nastavitve parametrov za analizo OPTICS, in sicer minimalno atevilo objektov v skupini je bilo 5, iskalna razdalja je bila 5 km, senzitivnost skupin pa je bila 1. V primerjavi z omenjeno predhodno raziskavo, ki je opredelila 11 skupin, na sedanjem grafu nista opredeljeni skupini na območju Nove Gorice in Grosupljega, medtem ko je opredeljena skupina na območju Slovenskih Konjic. Nastavitve parametrov za analizo pomembno vplivajo na rezultate, še posebej na opredelitev manj izrazitih skupin.

5 Sklep

V prispevku smo uporabili nekaj metod za preučevanje pokritosti s polnilnimi postajami na primeru Slovenije. Pri tem pokritost pomeni prostorske značilnosti polnilnih postaj, da bi razumeli, kje in zakaj so te razporejene. Glavna prednost pristopa je kombinacija uporabe GIS tehnologije in prostorske analize.

Demonstrirali smo pristop, ki zajame sledeče analize v smiselnem zaporedju. Na začetku smo se osredotočili na občine ter izračunali Pearsonov korelacijski koeficient in polinomsko regresijo med spremenljivkama polnilnih postaj in gostote prebivalstva. Nadaljevali smo s Slovenijo kot celoto. Ustvarili smo rastrski podatkovni sloj, ki prikaže gostoto polnilnih postaj kot neprekinjeno površje. Da bi presegli inherentno pomanjkljivost zračne razdalje, smo ustvarili model cestnega omrežja in izvedli analizo stroškovne matrike izvor–destinacija. Za vzpostavitev statistične podlage in ravni statistične zanesljivosti analize vzorcev smo izračunali indeks povprečne razdalje najbližjega sosa ter izvedli analizo OPTICS. Pri slednji je bilo zaznanih 10 skupin, od katerih najbolj izstopa skupina na območju Ljubljane.

V raziskavi je kombinacija več vrst analiz smiselna. Tako na primer analiza jedrne gostote daje rezultat o lokaciji žarišč in območij z večjo gostoto polnilnih postaj, kar je koristno za vizualizacijo točkovnega vzorca. Toda za opredelitev skupin polnilnih postaj po smiselnih kriterijih in za raziskovanje notranje strukture skupin je bila potrebna analiza OPTICS.

Dejavniki, ki vplivajo na pokritost s polnilnimi postajami, kot so gostota prebivalstva, bližina avtoceste itd., bi bili potrebni nadaljnje poglobljene analize, da bi natančneje ugotovili njihov vpliv. V ta namen bi lahko bila ustrezna na primer geografsko tehtana regresijska analiza.

Pristop lahko služi kot ideja za podobne raziskave v regijah različnih ravni. V nadaljnje raziskave bi bilo smiselno vključiti tudi druge dejavnike, ki vplivajo na pokritost s polnilnimi postajami, zlasti družbene.

6 Viri in literatura

- Allen, D. 2009: GIS tutorial II, Spatial analysis workbook. Redlands.
- Ankerst, M., Breunig, M. M., Kriegel, H.-P., Sander, J. 1999: OPTICS: Ordering points to identify the clustering structure. *ACM SIGMOD Record* 28-2. DOI: <https://doi.org/10.1145/304181.304187>
- Church, R. L. 2002: Geographical information systems and location science. *Computers & Operations Research*, 29-6. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00104-5)
- de Smith, M. J., Goodchild, M. F., Longley, P. A. 2018: *Geospatial Analysis, A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Medmrežje: <https://www.spatialanalysisonline.com/extractv6.pdf> (1.3.2019).
- Dijkstra, E. W. 1959: A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01386390>
- Dobson, J. E. 1979: A regional screening procedure for land use suitability analysis. *Geographical Review* 69-2. DOI: <https://doi.org/10.2307/214965>
- Dong, G., Ma, J., Wei, R., Haycox, J. 2019: Electric vehicle charging point placement optimisation by exploiting spatial statistics and maximal coverage location models. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.005>
- Elliott, C. 2018: As Personal Car Ownership Falls, Automaker Innovation Rises. Medmrežje: <https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/twilight-of-car-ownership/> (29.3.2022)
- Erbaş, M., Kabak, M., Özceylan, E., Çetinkaya, C. 2018: Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis. *Energy* 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.140>
- Fotheringham, A. S. 2000: *GIS-based Spatial Modelling: A Step Forwards or a Step Backwards? Spatial Models and GIS, New and Potential Models*, GISDATA 7. Philadelphia.
- Gergonne, J. D. 1974: The application of the method of least squares to the interpolation of sequences. *Historia Mathematica* 1-4. DOI: [https://doi.org/10.1016/0315-0860\(74\)90034-2](https://doi.org/10.1016/0315-0860(74)90034-2)
- Guler, D., Yomralioglu, T. 2020: Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS. *Annals of GIS* 26-2. DOI: <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1737226>
- How Density-based Clustering works. Medmrežje: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/how-density-based-clustering-works.htm> (15.4.2020).
- Keeping Electric Vehicles Alive, 2013. Medmrežje: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/keeping-electric-vehicles-alive/> (29.3.2022)
- Knez, M., Jereb, B., Obrecht, M. 2014: Factors influencing the purchasing decisions of low emission cars: A study of Slovenia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.007>
- Kuby, M. 2006: Prospects for geographical research on alternative-fuel vehicles. *Journal of Transport Geography* 14-3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.02.008>
- Navteq NAVSTREETS Street Data 2008. NAVTEQ.
- O'Sullivan, D., Unwin, D. 2010: *Geographic Information Analysis*, Second edition. New Jersey.
- Pagany, R., Marquardt, A., Zink, R. 2019: Electric Charging Demand Location Model – A User- and Destination-Based Locating Approach for Electric Vehicle Charging Stations. *Sustainability* 11-8. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11082301>
- Pan, L., Yao, E., Yang, Y., Zhang, R. 2020: A location model for electric vehicle (EV) public charging stations based on drivers' existing activities. *Sustainable Cities and Society* 59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102192>

- Pavšič, G. 2017: Grožnja iz Bruslja: Sloveniji na pomoč le avtomobilski »salto«? Medmrežje: <https://siol.net/avtomoto/zgodbe/elektricni-avti-v-sloveniji-koliko-jih-potrebujemo-leta-2030-da-drzava-uide-penalom-iz-bruslja-449808> (1.4.2019).
- Pavšič, G. 2021: Je stanje še slabše? Opozorilo iz Evrope, ki pa ne pove vsega. Medmrežje: <https://siol.net/avtomoto/novice/je-stanje-se-slabse-opozorilo-iz-evrope-ki-pa-ne-pove-vsega-565054> (1.2.2022)
- Pearson, K. 1895: Note on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London* 58. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspl.1895.0041>
- Philipsen, R., Schmidt, T., van Heek, J., Ziefle, M. 2016: Fast-charging station here, please! User criteria for electric vehicle fast-charging locations. *Transportation Research Part F, Traffic Psychology and Behaviour* 40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.04.013>
- Polni.si: Iskalnik polnilnih mest. Medmrežje: <http://polni.si/index.php> (1.2.2019)
- Prah, K., Kmetec, M., Knez, M. 2022: Electric Vehicle Charging Stations Coverage: A Study of Slovenia. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette* 29-1. DOI: <https://doi.org/10.17559/TV-20200518121739>
- Shepero, M., Munkhammar, J. 2018: Spatial Markov chain model for electric vehicle charging in cities using geographical information system (GIS) data. *Applied Energy* 231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.175>
- Supercharger | Tesla Europe. Medmrežje: https://www.tesla.com/en_EU/supercharger (5.4.2019)
- Thill, J.-C. 2000: Geographic information systems for transportation in perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 8-1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0968-090X\(00\)00029-2](https://doi.org/10.1016/S0968-090X(00)00029-2)
- Xu, J., Zhong, L., Yao, L., Wu, Z. 2018: An interval type-2 fuzzy analysis towards electric vehicle charging station allocation from a sustainable perspective. *Sustainable Cities and Society* 40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.010>
- Zhang, Y., Zhang, Q., Farnoosh, A., Chen, S., Li, Y. 2019: GIS-Based Multi-Objective Particle Swarm Optimization of charging stations for electric vehicles. *Energy* 169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.062>
- Zhou, J., Wu, Y., Wu, C., He, F., Zhang, B., Liu, F. 2020: A geographical information system based multi-criteria decision-making approach for location analysis and evaluation of urban photovoltaic charging station: A case study in Beijing. *Energy Conversion and Management* 205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112340>