



OPTIMIZACIJA BROJA I LOKACIJE PUNJAČA ZA ELEKTRIČNA VOZILA KORIŠĆENJEM MODIFIKOVANE P-MEDIJANE

OPTIMIZATION OF NUMBER AND LOCATION FOR ELECTRIC VEHICLES CHARGERS USING MODIFIED P-MEDIANE

Lazar Velimirović, Jelena Velimirović, Petar Vranić, Matematički institut SANU, Beograd

KRATAK SADRŽAJ

Električna vozila (EV) zahtevaju pouzdane javne mreže za punjenje. Ovom zadatku se obično pristupa optimizacijom prostorne distribucije unapred definisanog broja stanica, na osnovu brojnih kriterijuma za izbor. U radu je predstavljen novi višekriterijumski pristup optimizaciji kako broja stanica za punjenje tako i lokacija. Procedura optimizacije se zasniva na ispunjenju sledećih kriterijuma: troškovi ugradnje EV, pješачke udaljenosti do lokacija punjača, sigurnost lokacije, pristup parkingu i kapacitet distributivne mreže. Nova metodologija korišćena za analizu je bazirana na p-medijanu modifikovana iterativnim pristupom i udaljenostima ponderisanim pristupom Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP).

ključne reči: Stanica za punjenje električnih vozila; Izbor lokacije; Višekriterijumska analiza; Optimizacija; Modifikovana p-medijana; AHP

ABSTRACT

Electric vehicles (EVs) require reliable public charging networks. This task is usually approached by optimizing the spatial distribution of a predefined number of stations, based on a number of selection criteria. The paper presents a new multi-criteria approach to optimizing both the number of charging stations and locations. The optimization procedure is based on meeting the following criteria: EV installation costs, walking distance to charger locations, site security, parking access and distribution network capacity. The new methodology used for the analysis is based on the p-median modified by the iterative approach and the distance-weighted approach of the Analytical Hierarchical Process (AHP).

Keywords: Electric vehicle charging station; Location selection; Multicriteria analysis; Optimization; Modified p-median; AHP

Velimirovic.lazar@gmail.com

1. UVOD

Poslednjih godina, rast različitih segmenata industrije doveo je do značajnog napretka u razvoju električnih vozila. Potpuno prihvatanje ovog koncepta zahteva postojanje odgovarajuće mreže stanica za punjenje (EVCS – EV charging stations). Efikasna, pouzdana i isplativa EVCS mreža bi uticala na povećanje tražnje i omogućila rast industrije u ovom segmentu eliminišući zabrinutost zbog nedostatka autonomije korisnika [1].

Generalno postoje dve vrste EV punjača: (1) stanice za brzo punjenje, gde bi ih vozač koristio ako nivo baterije padne ispod određenog nivoa, (2) punjenje na sporijim nivoima kada je automobil parkiran. Iako brzo punjenje može biti zamena za punjenje kod kuće i na radnom mestu u slučaju da vozač EV-a nema dostupno privatno parking mesto, sporo punjenje će verovatno biti najčešće korišćene šeme zbog komfora korisnika. Uzimajući u obzir važnost uspostavljanja odgovarajuće EVCS mreže, izbor lokacije za svaku stanicu postaje jedan od ključnih faktora za uspeh koncepta EV.

25
godina

13. SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA sa regionalnim učešćem
13th CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION with regional participation
12-16 / 09 / 2022, Kopaonik, Srbija



ZBORNIK RADOVA | PROCEEDINGS



S obzirom da veliki broj vozila tokom dana koristi poslovne ili javne parking prostore, na kojim vozila ostaju dosta kraće u odnosu na noćno parkiranje u garažama, očekuje se potreba za gradnjom javnih punionica na parking

mestima. Potreba za javnim punionicama se očekuje i uz značajnije puteve, za slučajeve da električnom vozilu nije preostao dovoljan kapacitet baterije za završetak putovanja pa zahteva nadopunu baterije vozila za nastavak putovanja. Očekuju se punionice sa većim snagama punjača i u vidu slobodnostojećih elektroarmarića za punjenje, instalirani uz pripadna parking mesta. Monofazno punjenje u slučaju javnih punionica ne zadovoljava sve potrebe vozača pa se očekuje češća primena trofaznog punjenja. Od posebnog značaja za široku upotrebu EV-a na dužim putovanjima je razvoj brzih punjača i odgovarajućih punionica na magistralnim putevima i autoputevima. Brzo punjenje se zasniva na punjenju na DC naponu i omogućava punjenje baterije vozila za nekoliko minuta.

Nadogradnja distributivne mreže kao rezultat negativnog uticaja punjenja EV-a je izrazito skupo rešenje problema. Zbog toga se razmatraju modeli po kojima bi se moglo punjenje EV-a tokom vršnog opterećenja premestiti u noćni period i izbeći negativan uticaj po sistem i mrežu.

Premeštanje punjenja EV-a u noćni period je posebno važno za kućno punjenje, jer se očekuje da će većina vozača puniti EV-a za vreme dnevnog vršnog opterećenja upravo na kućnim punionicama. Punjenja EV-a tokom noćnog perioda povećava minimalno dnevno opterećenje sistema pa omogućava veću iskorišćenost baznih elektrana uz manje dnevne cikluse. Time je neutralisana potreba za gradnjom dodatnih vršnih elektrana.

Jedan od načina da se vozači motivišu da pune EV-a tokom noći je definisanje novih tarifa električne energije. Neminovno je međutim da će se određeni broj vozača i pored toga odlučiti na punjenje EV-a tokom dnevnog maksimalnog opterećenja. Studijske analize ponašanja vozača pri korišćenju i punjenju EV-a, pilot projekti testiranja ponašanja u praksi, su neophodni, kako bi se ispitao uticaj različitih tarifa na ponašanje vozača.

U ovom radu je predložen novi – višekriterijumski pristup za optimizaciju lokacije punjača i broja punjača. Kriterijumi za optimizaciju uključuju: troškove EVCS instalacija, pešačke udaljenosti od lokacije stanice za punjenje, sigurnost lokacije i uticaj na saobraćaj i kapacitet distributivne mreže. Metodologija se zasniva na iterativnom p – medijanskom pristupu i AHP metodologiji. U svakom koraku gde se p medijane određuju pomoću “proždrljive” (eng. “greedy”) heuristike, razdaljine se ponderišu prema višekriterijumskom rangiranju zasnovanom na AHP metodologiji. Metodologija može da se nosi sa planiranjem postavljanja stanica za brzo punjenje i sporo punjenje, uz primenu različitih težina kriterijuma. Predložena metodologija je korišćena na studiji slučaja optimizacije lokacije grada Niša.

Prvi doprinos rada je istovremena optimizacija i broja i lokacije EVCS-a. Drugo, prema saznanjima autora, ovo je prva primena jednostavne p – mediana metodologije na problem lokacije EVCS. Konačno, metodologija p – medijana je nadograđena na višekriterijumsku optimizaciju korišćenjem ponderisanih rastojanja.

2. KRITERIJUMI ZA IZBOR PUNJAČA

U ovom radu razmatramo parkinge kao potencijalne kandidate za ugradnju EV punjača. Model nije ograničen samo na brze ili spore punjače i prati obrasce ponašanja vozača izvedene iz istorije parkiranja. Vozači biraju parking mesta na osnovu svojih preferencija u pogledu pešačke udaljenosti do krajnjih odredišta. Pretpostavljamo da ako su punjači postavljeni na bilo koji od parkinga koji se nalaze na željenoj udaljenosti od vozača, vozača će privući neko od njih, u zavisnosti od dostupnosti te stanice u trenutku dolaska.

2.1. Ciljna funkcija

Optimalan broj lokacija p^* dobijen je iz uslova (1):

$$\min(TC_r(p^*) + TD_r(p^*)) \quad (1)$$

gde $TC_r(p)$ i $TD_r(p)$ predstavljaju relativne vrednosti ukupnih troškova i ukupne udaljenosti hoda, respektivno. Ukupni troškovi za p lokacija se sastoje od fiksnih troškova za ugradnju punjača, bez obzira na broj pojedinačnih punjača, i varijabilnih troškova, u zavisnosti od broja mesta za punjenje na parkingu. Ovi troškovi nisu linearni, jer se električni gubici povećavaju sa brojem aktiviranih punjača. Povećanje troškova modeluje se faktorom k . Ukupni troškovi za p medijana se dobijaju iz (2)

$$TC(p) = \sum_{i=1}^p (C_f + c \cdot n_i^k) \quad (2)$$

$TC(p)$ – ukupni troškovi instalacije p punionica

C_f – fikсни troškovi po stanici

c – trošak jednog punjača

n_i – broj punjača na lokaciji i

2.2. Pešačka udaljenost

Spremnost vozača da hoda zavisi od različitih sociodemografskih faktora (starost, pol, itd.). Studije su pokazale da su preferencije za hodanje povezane sa mnogim faktorima dizajna, kao što su povezanost ulica, pešačka infrastruktura i upotreba zemljišta.

Osnovna pretpostavka prethodnih istraživanja o poželjnoj udaljenosti hoda je da vozač električnog vozila koristi stanicu za punjenje samo ako nije dalje od dva i po minuta (200 metara) hoda od njihove željene lokacije. Granica udaljenosti od 650 metara je široko prihvaćena kao odgovarajuća pešačka udaljenost unutar naselja prema vodiču za urbani dizajn [2]. Zanimljivo je da u [3] rezultati pokazuju da ako bi stanovnici hodali pet minuta (otprilike 400 metara) umesto dva i po minuta (otprilike 200 metara), ukupna cena novih punjača mogla bi da se smanji za više od 1 milion evra. Druge studije o ponašanju u hodu [4, 5] su utvrdile da se udaljenosti do 400 do 800 m i trajanje hodanja od 10 do 15 minuta smatraju prihvatljivim.

Ako su EV punjači instalirani na bilo kom od parkinga koji se nalaze na udaljenosti k od vozača, vozači biraju parking mesta na osnovu svojih preferencija u smislu ponderisane pešačke udaljenosti d_v do krajnjeg odredišta. Udaljenosti hodanja su ponderisane prema funkciji opadanja udaljenosti [6], opisujući spremnost da se hoda za različite udaljenosti, predstavljene distribucijom verovatnoće kao funkcijom udaljenosti. Funkcija opadanja udaljenosti je specificirana kao:

$$P(d) = e^{-\beta d} \quad (3)$$

$P(d)$ - kumulativni procenat pešačkih putovanja sa rastojanjem jednakim ili dužim od vrednosti d

β - koeficijent smanjenja.

Drugim rečima, što je veća udaljenost, manje je verovatno da će ljudi hodati. Ako granično rastojanje označimo sa i , ponderisano rastojanje zavisi od relativnog proširenja udaljenosti praga hoda i (4).

$$d_w = \left(\frac{d}{y} \right)^\beta \quad (4)$$

Pored pešačke udaljenosti, u ovom radu se razmatraju još tri kriterijuma za ocenu izbora stanice za punjenje: cena priključka na distributivnu mrežu, uslovi saobraćaja i bezbednost parkinga.

2.3. Priključenje na elektrodistributivnu mrežu

Priključivanje EV punjača na distributivnu mrežu često zahteva pojačanje mreže. Potreba za punjenjem povećava opterećenje linije i trafostanice i uzrokuje povećanje gubitaka u distributivnom sistemu. Gubici u distributivnoj mreži su nelinearna funkcija opterećenja sistema i mogu biti značajni zbog potražnje za punjenjem EV. Potreban je precizan proračun gubitaka električne mreže, uzimajući u obzir varijacije u opterećenju mreže. Troškovi priključka mogu se relativno lako izračunati i kvantitativno uporediti između različitih lokacija punjača.

Punjenje električnih vozila može imati značajan negativan uticaj na elektrodistributivnu mrežu i elektroenergetski sistem. Analiza uticaja punjenja električnih vozila na EES je trenutno predmet mnogih istraživačkih studija.

Najnepovoljnija situacija po EES je da se automobili pune tokom dnevnog vršnog opterećenja koje nastupa u periodu od 18-20 h. Međutim, upravo je najveća verovatnoća da će se većina vozača odlučiti za punjenje automobila odmah nakon završetka radnog vremena, kada se automobili parkiraju u garažama, što se poklapa sa dnevnim vršnim opterećenjem EES-a. Prema tome, povećani broj priključenih EVs na mrežu može dovesti do poremećaja dnevnog dijagrama opterećenja.

Rastom snaga punjača i nadogradnjom električnih instalacija, opterećenje sistema će dodatno rasti. Punjenje baterija velikog broja automobila za vreme dnevnog vršnog opterećenja će zahtevati dodatna kapitalna ulaganja u proizvodne kapacitete, te bi moglo uzrokovati zagušenja distributivnih vodova. S obzirom da prodaja i korišćenje EVs nije podjednako raspoređeni, mogu se posebno očekivati lokalni uticaji na distributivnu mrežu. Uticaj punjenja EVs na distributivne mreže zavisi od karakteristika pojedinačne mreže, broj EVs na tom području, kao i snage i vremena punjenja. Stoga je za svaku distributivnu mrežu potrebno posebno vršiti analize uticaja punjenja na tu mrežu.

Potencionalni problemi podrazumevaju preopterećenje srednjonaponskih i niskonaponskih vodova u slučaju istovremenog punjenja većeg broja EVs na ograničenom području. Preopterećenje vodova izaziva padove napona i narušava kvalitet isporučene električne energije kod ostalih kupaca. Dodatno opterećenje vodova i

transformatora, usled punjenja EVs, uzrokuje veće cikluse u smanjenju i povećanju opterećenja, što može dovesti do skraćivanja životnog veka transformatora i povećanja gubitaka u mreži.

Iako regulatorna tela priznaju gubitke kao troškove integrisane u tarifni sistem, kako bi sistem bio efikasniji, operater mora održavati visinu gubitaka u određenim granicama. Operater koji će vršiti punjenje EV uzrokuje veće gubitke u mreži (Povećanje Džulovih gubitaka, veće struje će stvarati veće toplotno opterećenje na elementima mreže). Ostali faktori koji mogu doprineti gubicima su povećanje nesimetrije, prisutnost harmonika u mreži i povećanje gubitaka u jezgrima transformatora. Harmonici će uzrokovati gubitke jer se javljaju povodom AC-DC pretvarača u u punjačima EVs. Veliki uticaj harmonika na prilike u mreži će stvarati punionice za brzo punjenje (DC punjači velikih snaga).

Zbog povećanja broja punjenja električnih automobila u domaćinstvima, sve je aktuelnije pitanje kvaliteta električne energije. Pad napona je važan faktor koji se mora uzeti u obzir za pouzdan rad distributivne mreže, jer preveliki padovi napona mogu prouzrokovati oštećenja električne opreme. To je posebno važno u ruralnim područjima, gde se zbog dugih vodova obično javljaju veći padovi napona. Očekuje se da će zbog većeg korišćenja električnih vozila doći do padova napona u svim mrežama (gradskim, prigradskim i ruralnim), pri čemu će ti padovi napona biti veći tamo gde je struktura mreže slabija.

U slučaju neravnomerne raspodele punjenja EVs po fazama, za slučaj monofaznog punjenja, moguća je pojava nesimetrije u naponima mreže. Održavanje stalne simetrije među fazama je gotovo nemoguće zbog jednofaznih opterećenja i njihovog neravnomernog rasporeda po fazama. Problem nesimetrije može postati vrlo izražen ukoliko se u mreži pojavi veliki broj jednofaznih punjača za električna vozila, što može uzrokovati probleme u radu asinhronih motora i energetske pretvarača. Nesimetrije napona takođe uzrokuju veće gubitke u mreži.

Punjenje baterija se odvija preko konvertora, koji naizmenični napon iz mreže konvertuju u jednosmerni, te se očekuje negativan uticaj ovih električnih uređaja na kvalitet električne energije posebno sa aspekta emisije harmonika u mrežu.

2.4. Pristup parkingu i okolnom parkingu

Okolni parking prostor se odnosi na obližnje objekte u kojima ljudi mogu provesti neko kvalitetno vreme dok pune baterije svojih električnih automobila, kao što su tržni centri ili restorani. Dostupnost parking prostora može uticati na kapacitet puta i biti uzrok saobraćajnih nezgoda. Međutim, za razliku od troškova priključka, teško je kvantifikovati uslove saobraćaja koji se tiču izbora stanice za punjenje. U ovom radu, saobraćajni uslovi su rangirani korišćenjem AHP pristupa i Saatijeve 9 – stepenske skale [7, 8].

2.5. Pristup obezbeđenju parkinga

Parking prostori zahtevaju posebnu bezbednosnu pažnju. Prema statistici, skoro 80 odsto krivičnih dela u tržnim centrima, molovima i poslovnim prostorima dešava se na parkingu. S druge strane, tamo gde je obezbeđenje parkinga implementirano, korišćenje korisnika je zapravo povećano jer se osećaju sigurnije. Povećana upotreba korisnika znači povećanje profita koji se može iskoristiti da se opravdaju povećani troškovi vezani za bilo kakva bezbednosna poboljšanja. Kao i za saobraćajne uslove, obezbeđenje izgubljenog parkinga se rangira korišćenjem AHP pristupa i Saatijeve skale od 9 stepeni.

3. P-MEDIJANA

Jedan od najvažnijih lokacijskih problema koji spadaju u klasu diskretnih je problem lokacije u mreži, koji omogućava distribuciju objekata isključivo u čvorovima postojeće mreže. Problem optimizacije lokacije EVCS-a spada u ovu kategoriju, a mogućnost strukturiranja problema kao p – medijana biće prikazana na kratkom ilustrativnom primeru. Na Sl. 1. je prikazan raspored četiri parkinga, od kojih će jedno biti izabrano da bude opremljeno za punjenje električnih vozila. EVCS se nalazi u čvoru 4 (slučaj a) ili čvoru 3 (slučaj b).



Slika 1. EVCS poređenje

U ovom modelu želimo da postavimo p objekata kako bismo minimizovali ponderisanu udaljenost između čvora potražnje (gde su postavljena druga parkirališta) i lokacije na kojoj je postavljen EVCS. Uzimajući broj EV u čvoru kao potražnju, problem se može tretirati kao p-medijana problem.

Problem p-medijana može se definisati korišćenjem neusmerenog grafa $G = (I, J, E)$. Skupom čvorova $i \in I$ prikazani su čvorovi potražnje, dok su drugim skupom $j \in J$ date moguće lokacije objekata. Između čvorova postoje samo grane $e_{i,j} \in E$, $d_{i,j}$ predstavlja razdaljinu između čvorova i i j a h_i predstavlja potražnju u određenom čvoru.

Binarne varijable (varijable odluke) mogu se definisati na sledeći način:

$$Y_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{ako je potražnja čvora } i \in I \text{ zadovoljena } j \in J, \\ 0, & \text{ako nije} \end{cases}, \quad (5)$$

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{ako je punionica u } j \in J, \\ 0, & \text{ako nije} \end{cases}. \quad (6)$$

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i d_{i,j} Y_{i,j} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} Y_{i,j} = 1, \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$Y_{i,j} - X_j \leq 0, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p, \quad (10)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$Y_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (12)$$

Prilikom određivanja optimalnih lokacija za stanice za punjenje uveden je novi faktor koji se zove faktor zadovoljstva $v_{i,j}$. Vrednosti ovog faktora se dobijaju procenom svih razmatranih lokacija u smislu pristupa parkingu i okolnom parking prostoru, kapaciteta elektroenergetske mreže i bezbednosti parkinga korišćenjem AHP. Uvođenjem ovog faktora funkcija cilja ima sledeći oblik:

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i \frac{d_{i,j} Y_{i,j}}{w_{i,j}} \quad (13)$$

Sada, algoritam za određivanje optimalne lokacije za postavljanje stanica za punjenje je sledeći:

Korak 1. Na osnovu prikupljenih podataka utvrđuje se potražnja (potreban broj punjača) na svakom razmatranom parking mestu u gradu.

Korak 2. Primenom AHP metode određuju se vrednosti faktora zadovoljstva, prema sledećim kriterijumima:

- pristup parkingu i okolnom parkingu,
- kapacitet električne mreže,
- obezbeđenje parkinga.

Korak 3. Izaberu se optimalne lokacije za željeni broj p lokacija koristeći metode p medijane.

Korak 4. Ponavlja se korak 3 za svako p.

Korak 5. Izabere se optimalan broj lokacija p^* za stanice za punjenje istovremenom minimiziranjem ukupnih troškova i ukupne udaljenosti hoda između stvarne lokacije punjača i željene lokacije vozača. Optimalan broj lokacija p^* dobijen je iz uslova (1).

Ukupna pešačka udaljenost za p lokacija je data u (14):

$$TD(p) = \min \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} h_i \frac{d_{i,j} Y_{i,j}}{w_{i,j}} \quad (14)$$

TD(p) – ukupna pešačka udaljenost za p stanica za punjenje

Relativne vrednosti se dobijaju skaliranjem apsolutnih vrednosti troškova (15) i udaljenosti hoda (16)

$$TC_r(p) = \frac{TC(p) - TC_{\min}}{TC_{\max} - TC_{\min}} \quad (15)$$

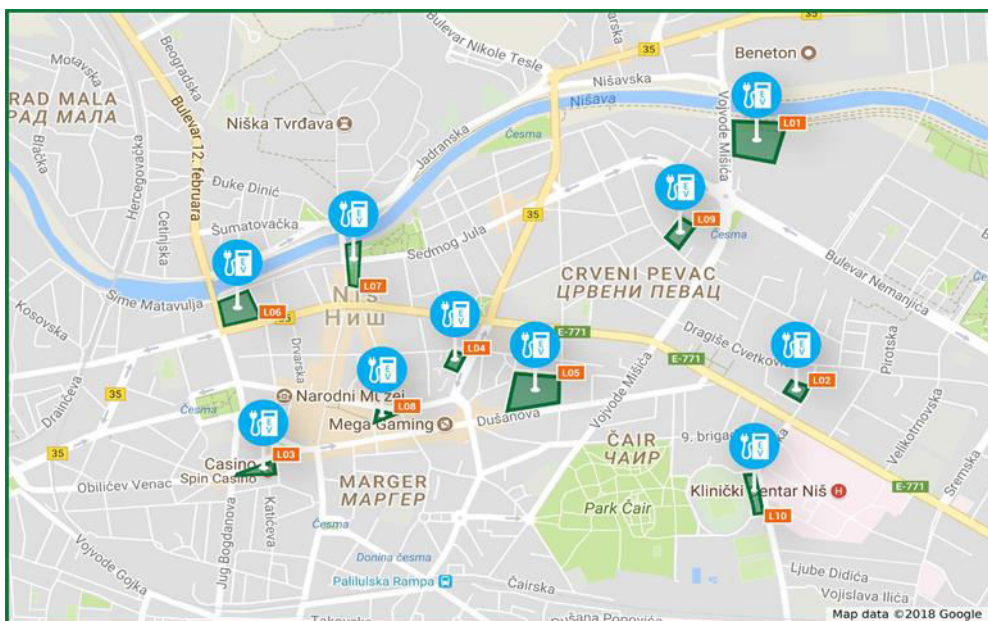
$$TD_r(p) = \frac{TD(p) - TD_{\min}}{TD_{\max} - TD_{\min}} \quad (16)$$

Obim proračuna može brzo da raste sa povećanjem broja čvorova u mreži i povećanjem broja p (lokacija za medijane). Klasične metode optimizacije često ne uspevaju da pronađu tačno optimalno rešenje za probleme veće dimenzije u razumnom vremenu izvršenja, kao u slučaju problema p-medijana koji pripada grupi NP-teških problema [9]. Stoga se u praksi često koriste različite heuristike za pronalaženje rešenja za specifične tipove problema. Predloženi model primenjuje “greedy” heuristički algoritam koji smanjuje prostor za pretragu, a samim tim i samu složenost. Ovakav pristup dovodi do rešenja koje sigurno predstavlja donju granicu globalnog maksimuma ako se traži maksimum, odnosno gornju granicu globalnog minimuma ako se traži minimum. Brzo radi i pruža granicu optimalnog rešenja.

Ilustrativni primer

Teritorija grada Niša ima centralni položaj u okviru Nišavskog okruga, regiona jugoistočne Srbije. Prostire se na površini od 596,7 km². Problem sa kojim se Grad Niš suočava dugi niz godina jeste problem parkinga (nedostatak parking mesta, ažurnost sankcionisanja nepropisnog parkiranja na mestima gde to nije dozvoljeno ili koja ugrožavaju neke od aktivnosti grada i stepen saobraćaja vozača).

Cilj ove studije slučaja je određivanje optimalnih parkinga, od deset razmatranih, za postavljanje stanica za punjenje prema 5 kriterijuma – ukupni troškovi, pešačka udaljenost, pristup parkingu i okolnom parkingu, kapacitet elektroenergetske mreže. i obezbeđenje parkinga.



Slika 2 Prostorni raspored razmatranih lokacija

U ovom slučaju je izabran konačan broj od 5 stanica (lokacije L1, L5, L6, L7 i L10 su izabrane za postavljanje EV punjača).

Tabela 1. Raspored EV punjača za 10 lokacija

Lokacije punjača	L ₅	L ₁	L ₆	L ₁₀	L ₇
Lokacije koje se opslužuju	L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₈ , L ₉	L ₁	L ₆	L ₁₀	L ₇

ZAKLJUČAK

Izbor optimalne lokacije za EVCS postaje sve važnija tema. Efikasna, pouzdana i isplativa EVCS mreža bi uticala na povećanje potražnje i omogućila rast industrije povećavajući autonomiju korisnika. Loš izbor lokacije bi negativno uticao na bezbednost i zaštitu životne sredine, smanjujući ulaganja u razvoj infrastrukture. Za razliku od uobičajenog pristupa po jednom kriterijumu za izbor optimalne lokacije stanice za punjenje električnih vozila, predstavljen je novi pristup – višekriterijumski.

Predložena metodologija se pokazala efikasnom za istovremenu optimizaciju i broja i lokacija EVCS-a. U prvom koraku, upotreba AHP metodologije za poređenje moguće lokacije pokazala se pogodnom zbog velikog broja različitih kriterijuma. U drugom koraku, minimizacija udaljenosti hoda od lokacije stanice za punjenje se izvodi korišćenjem “pohlepnog” heurističkog pristupa. Doprinos predložene metodologije je ponderisanje udaljenosti prema više kriterijuma. Konačno, optimalan broj lokacija se određuje uz minimiziranje ukupne udaljenosti i ukupnih troškova. Metodologija se uspešno primenjuje u studiji slučaja optimizacije lokacije punjača u gradu Nišu.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je objavljen uz podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Matematičkom inštitutu Srpske akademije nauka i umetnosti.

LITERATURA

- [1] Gartner, J., Wheelock, C., 2009. Electric Vehicles on the Grid, Research Report (Pikeresearch LLC). Available at: http://actions-icinitatives.ifsttar.fr/fileadmin/uploads/recherches/geri/PFI_VE/pdf/EVP-09-Pike-Research.pdf
- [2] Calthorpe, P., 1993. The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream. Princeton Architectural Press, New York
- [3] Mashhoodi, B., van Timmeren, A., van der Blij, N., 2019. The two and half minute walk: Fast charging of electric vehicles and the economic value of walkability. *Env. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1177/2399808319885383>
- [4] Millward, H., Spinney, J., Scott, D., 2013. Active-transport walking behavior: Destinations, durations, distances. *J. Transp. Geogr.* 28, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.11.012>
- [5] Gunn, L.D., King, T.L., Mavoa, S., Lamb, K.E., Giles-Corti, B., Kavanagh, A., 2017. Identifying destination distances that support walking trips in local neighborhoods. *J. Transp. Health* 5, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2016.08.009>
- [6] Yang, Y., Diez-Roux, A.V., 2012. Walking Distance by Trip Purpose and Population Subgroups. *Am. J. Prev. Med.* 43, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.03.015>
- [7] Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York
- [8] Saaty, T. L., (2001). Fundamentals of the analytic hierarchy process. In: Schmoldt D.L., Kangas J., Mendoza G.A., Pesonen M. (Eds.), *The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making*. Springer, Dordrecht, pp.15-35.
- [9] Alp, O., Erkut, E., Drezner, D., 2003. An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Ann. Oper. Res.* 122, 21–42. <https://doi.org/10.1023/A:1026130003508>