

Mirna Gržanić  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[mirna.grzanic@fer.hr](mailto:mirna.grzanic@fer.hr)

Vjekoslav Salapić  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[vjekoslav.salapic@fer.hr](mailto:vjekoslav.salapic@fer.hr)

Tomislav Capuder  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[tomislav.capuder@fer.hr](mailto:tomislav.capuder@fer.hr)

## DIMENZIONIRANJE BATERIJSKOG SPREMNIKA U PUNIONICAMA ELEKTRIČNIH VOZILA

### SAŽETAK

U radu je opisan model temeljen na mješovitom cjelobrojnom linearnom programiranju (MILP) za definiranje optimalne veličine i operativnih strategija baterijskih spremnika u brzim punionicama električnih vozila (FCS). Kratkotrajna vršna opterećenja uslijed brzog punjenja vozila povećavaju naponska odstupanja u distribucijskim mrežama i uzrokuju zagušenja vodova što zahtijeva investicije u pojačanje mreže od strane operatora sustava. Uz to, operatori sustava uz ova vršna opterećenja moraju uzeti u obzir nesigurnost te osigurati dodatnu fleksibilnost u sustavu. Ugradnjom baterija u FCS koje služe kao međuspremnik između elektroenergetskog sustava i punionica, smanjuje se štetan utjecaj brzog punjenja na sustav. Aspekti nesigurnosti, poput nepoznatog vremena dolaska ili energije potrebne za punjenje razmatrani su za više različitih lokacija FCS.

**Ključne riječi:** baterijski spremnik, električna vozila, mješovito cjelobrojno linearno programiranje, nesigurnost

## OPTIMAL SIZING OF BATTERY STORAGE UNITS INTEGRATED INTO FAST CHARGING EV STATIONS

### SUMMARY

The paper brings a mixed integer linear programming (MILP) solution for defining optimal size and operational strategy of battery storage systems (BSS) integrated with fast charging electric vehicle stations (FCS). Short, high power period peaks of fast charging increase the volatility of voltage in distribution networks and result in line congestions, requiring grid reinforcements by the distribution system operator (DSO). Additionally, transmission system operators (TSO) need to treat these power spikes, characterized by uncertainty of occurrence, by ensuring additional system flexibility. Coupling battery storage systems with FCS serves as a buffer between the power system, reducing the stress of fast charging. Uncertainty aspects, such as unknown time of EV arrival or energy required by EVs, are considered for multiple locations where FCS are going to be installed.

**Key words:** battery storage, electric vehicles, mixed integer linear programming, uncertainty

## 1. UVOD

Zelene energetske politike potiču smanjenje potrošnje fosilnih goriva i emisija CO<sub>2</sub> te povećanje broja električnih vozila (EV). Međutim, to uzrokuju poteškoće u tradicionalnom načinu planiranja i rada elektroenergetskog sustava. Uz porast udjela proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, vrlo brzo se očekuje i elektrifikacija prometa [1]. Ciljevi koje je navelo nekoliko zemalja potiču potpunu zabranu fosilnih goriva u prometu u nadolazećim godinama [2]. Električna vozila pokazala su se superiornijima od vozila s unutarnjim izgaranjem u aspektu zaštite okoliša (vozila s unutarnjim izgaranjem odgovorna su za 12% emisija CO<sub>2</sub> u Europskoj Uniji [3]), ali i vozačkog iskustva. Glavni nedostaci električnih vozila su njihovi spremnici energije, baterije, koji se danas još uvijek ne mogu usporediti s konvencionalnim spremnicima goriva. Kako bi se potaknula elektrifikacija prometa, fokus se stavlja na instaliranje brzih punionica za električna vozila na lokacijama s velikom gustoćom prometa. Iako bi ovo moglo potaknuti šire prihvaćanje električnih vozila od strane krajnjih korisnika, postoje i mnoge opasnosti za elektroenergetski sustav u vidu pada napona i neravnoteže frekvencije [4], nepredvidivost dolaska automobila na punionicu koji u kombinaciji s vršnim opterećenjima u sustavu može uzrokovati zagušenje.

S druge strane, povećanjem predvidljivost dolaska električnih vozila na punionicu i kontrolom punjenja, čitav sustav bi mogao profitirati punjenjem vozila kao novim izvorom fleksibilnosti [5], [6], [7], [8]. U 2015. godini bilo je 28.000 javno dostupnih brzih punionica [9] te taj broj eksponencijalno raste [10]. Zbog očekivanog porasta broja električnih vozila [11], mreža stanica za brzo punjenje morat će se značajno proširiti. Stoga je potrebno pronaći rješenje za adekvatno integriranje stanica za brzo punjenje u elektroenergetski sustav. Zanimljivo rješenje, analizirano u ovom radu, je integracija baterija unutar brzih punionica. Baterije bi služile kao međuspremnik između distribucijske mreže (potencijalno također i prijenosne mreže) i krajnjeg korisnika. Snaga punjenja bi se mogla kontrolirati i stoga bi bila znatno niža u usporedbi sa slučajem brze punionice bez baterije, dok bi se punjenje baterije pojavljivalo čak i u razdobljima kada vozila nisu spojena na punionicu, što osigurava dovoljno energije za brzo punjenje vozila kada je potrebno. Nekoliko radova predlaže rješenja za široke razmjere integracija FCS-a, fokusirajući se uglavnom na planiranje [12], optimalan plasman [13] ili sudjelovanje na tržištu agregiranih FCS [14]. Neki su istraživači već razmatrali integraciju spremnika i FCS, međutim ili se usredotočuju na strategije kontrole takvih sustavi [15] ili na odabir tehnologije baterije [16]. Jedini članak koji se bavi optimalnim dimenzijama i operativnim strategijama baterija je [17]. Međutim, autori u [17] zanemaruju neizvjesnost dolaska vozila i stanja napunjenosti (SOC) prilikom dolaska kao i utjecaj snage punjenja koju naplaćuje operator distribucijskog / prijenosnog sustava (ODS / OPS). U skladu s gore navedenim, doprinosi našeg članka su sljedeći:

-Mješoviti cijelobrojni linearni model za dimenzioniranje optimalnog kapaciteta baterije u brzom punionici električnih automobila. Model određuje operativnu strategiju za bateriju osiguravajući da utjecaj na distribucijsku mrežu (a posljedično i na ostatak elektroenergetskog sustava) bude čim manji uz održavanje željene razine udobnosti za korisnike električnih vozila. Model također uzima u obzir i nesigurnost povezanu s vremenom dolaska i stanje napunjenih baterija električnih vozila.

- Profitabilnost ulaganja u brzu punionicu s integriranim spremnikom energije za različite lokacije i učestalost prometa i punjenje vozila pri čemu se investicija temelji na energetske arbitraži, ali i snazi preuzetoj iz mreže koju naplaćuje operator sustava.

## 2. OPIS MODELA

### 2.1. Optimizacijski model

U ovom poglavlju predstaviti ćemo optimizacijski model brze punionice električnih vozila s instaliranim baterijskim spremnikom opisujući tehničke i ekonomske karakteristike punionica. Matematički model opisuje tehnička ograničenja i mogućnosti punionica, električnih vozila i baterijskog spremnika.

Cilj optimizacijskog modela je minimizirati operativne troškove električne energije prilikom punjenja električnih vozila. Odabrana je upravo ova funkcija cilja s obzirom na značajnu razliku u trošku električne energije koja se postiže punjenjem spremnika za vrijeme niskih cijena na tržištu. Cijene korištene u modelu su cijene s tržišta dan-unaprijed EPEX SPOT [18]. Operativni trošak zadan je sljedećom funkcijom cilja (1):

$$\text{Operativni trošak} = \sum_{t=1}^T P_t^{ch} \cdot \lambda_t^{DA} \quad (1)$$

Kako bismo prikazali i drugu perspektivu, neto sadašnja vrijednost (NPV) je izračunata za svaku simulaciju (2). Računanje NPV-a je ekonomska metoda procjene profitabilnosti investicije. NPV je razlika između sadašnje vrijednosti priljeva novca i sadašnje vrijednosti troškova kroz neki određeni vremenski period [19].

$$NPV = -\text{Investicija} + \sum_{i=1}^n \frac{\text{tok novca}_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

Regularne brze punionice automobila izravno su spojene na mrežu, dakle opskrbljivač im naplaćuje trošak za vršnu snagu. U Hrvatskoj se trošak vršne snage naplaćuje za snagu iznad 20 kW mjesečnom naknadom od 6 € / kW za izmjerenu vršnu snagu [20]. Stoga će u naše proračune biti uključena i ta naknada uzimajući u obzir da punionice koje imaju instaliran baterijski spremnik tu nakladu ne plaćaju jer baterijski spremnik limitira izlaznu snagu.

U našem proračunu uzeta je cijena baterije od 132 € / kWh [21]. Predviđeno je da baterija traje 10 godina uz diskontnu stopu od 5%. Treba napomenuti da punjenje i obrasci pražnjenja utječu na vijek trajanja baterije, međutim u ovom radu to se ne razmatra.

## 2.2. Lokacije brzih punionica i modeliranje punjenja

Modeliranje nesavršene informacije provedeno je upotrebom scenarija. Razmatrane su tri različite lokacije s obzirom da je svaka lokacija karakterizirana drugačijim rasporedom dolaska električnih vozila. Za svaku od lokacija, sljedeći parametri služe kao ulazni podatci u model:

- vrijeme dolaska
- vrijeme odlaska
- SOC u vrijeme dolaska
- zahtijevani SOC na kraju punjenja
- vrsta automobila

Tri su popularne lokacije za punionicu automobila opisane u nastavku. Zadani rasporedi za svaku lokaciju, kao i početno i konačno stanje napunjenosti automobila koji dolaze na punionicu prikazani su u tablicama I, II i III.

Lokacija I: Punionica uz autocestu

- otvorena 0-24h
- najkraće moguće vrijeme punjenja zbog želje vozača da čim prije završi putovanje

Lokacija II: Punionica u sklopu trgovačkog centra

- otvorena 07-22h
- znatno duže vrijeme punjenja, 60-90 minuta zbog vremenskih navika kupca

Lokacija III: Punionica na parkiralištu restorana

- otvorena 10-24h
- najčešći dolasci za vrijeme ručka 12-15h i za vrijeme večere 20-24h

Tablica I Lokacija I

Tip vozila	Vrijeme dolaska	Vrijeme odlaska	Početni SOC	Konačni SOC
Tesla	02:00	02:45	35%	80%
BMW	04:00	04:30	20%	55%
VW	06:00	06:45	10%	85%
Tesla	07:30	08:15	10%	65%
Nissan	09:00	09:30	30%	70%
Tesla	10:00	10:30	30%	65%
VW	12:30	13:00	40%	85%
BMW	13:00	14:00	5%	95%
Tesla	15:30	16:15	20%	75%
Nissan	16:15	17:00	20%	80%
BMW	18:00	19:00	10%	80%
Nissan	19:00	20:00	25%	90%
VW	20:00	20:30	45%	80%
Tesla	21:30	22:00	20%	60%
VW	22:30	23:30	5%	60%

Tablica II Lokacija II

Tip vozila	Vrijeme dolaska	Vrijeme odlaska	Početni SOC	Konačni SOC
VW	07:00	08:00	15%	90%
Tesla	08:00	08:30	65%	85%
Nissan	09:30	10:30	30%	85%
Nissan	10:30	11:30	50%	90%
Tesla	12:00	13:30	5%	95%
BMW	14:30	15:30	40%	90%
VW	15:30	16:30	40%	80%
Tesla	17:00	18:00	50%	90%
Nissan	18:00	19:30	20%	95%
VW	20:30	21:30	25%	80%
Tesla	21:30	22:00	45%	65%

Tablica III Lokacija III

Tip vozila	Vrijeme dolaska	Vrijeme odlaska	Početni SOC	Konačni SOC
BMW	10:00	10:30	25%	60%
Nissan	10:30	11:00	40%	70%
Tesla	12:00	12:45	40%	80%
Nissan	12:45	14:00	25%	90%
Tesla	14:00	15:00	55%	95%
BMW	17:00	18:00	55%	90%
BMW	19:15	20:00	20%	50%
Tesla	20:00	21:00	65%	95%
VW	21:00	22:00	30%	75%
VW	22:00	23:00	45%	95%
Nissan	23:00	24:00	10%	80%

Vremena dolaska i odlaska, kao i početno stanje napunjenosti automobila modelirani su kao nesigurni parametri. Na primjer, početno stanje napunjenosti baterije automobila koji dolazi na punionicu će odstupiti od zadane vrijednosti za nasumično odabranu vrijednost unutar definiranih granica. Za vrijeme dolaska i odlaska ove granice su definirane kao  $\pm 15$  minuta, dok početni SOC može varirati do  $\pm 28\%$ . Definirali smo 16 scenarija i svaki je scenarij podjednako vjerojatan. U ovom se modelu koriste četiri različita automobila čiji su tehnički detalji navedeni u tablici IV:

Tablica IV Karakteristike vozila

Model	Kapacitet baterije [kWh]	Maksimalna snaga punjenja [kW]
Tesla model S P85D	85	120
Volkswagen E-Golf	35.8	50
Nissan Leaf	30	50
BMW i3	33	50

Za svaki automobil postoji različita krivulja punjenja (3-6) koja je izvedena iz podataka prikupljenim u [22], [23], [24], [25].

#### Tesla model S:

$$P_{dis}(t) = -1062 * \frac{SOC_{car}(Tesla, t)}{CarCapacity(Tesla)} + P_{max}(Tesla) \quad (3)$$

#### Volkswagen E-Golf

$$P_{dis}(t) = -250 * \frac{SOC_{car}(VW, t)}{CarCapacity(VW)} + P_{max}(VW) \quad (4)$$

#### Nissan Leaf

$$P_{dis}(t) = -420 * \frac{SOC_{car}(Nissan, t)}{CarCapacity(Nissan)} + P_{max}(Nissan) \quad (5)$$

#### BMW i3

$$P_{dis}(t) = -305 * \frac{SOC_{car}(BMW, t)}{CarCapacity(BMW)} + P_{max}(BMW) \quad (6)$$

### 2.3. Brze punionice i model baterije

Baterijski spremnik instaliran u sklopu brze punionice može se puniti iz mreže maksimalnom snagom od 19 kW kako bi se izbjegao dodatan trošak plaćanja vršne snage i kako bi se smanjio štetan utjecaj na mrežu (7):

$$0 \text{ kW} \leq P_{ch}(t, s, v) \leq 19 \text{ kW} \quad (7)$$

Punionica je dimenzionirana za brzo punjenje s maksimalnom snagom od 120 kW, što znači da korisnik može iz baterije napuniti svoj automobil snagom od 120 kW (8):

$$0 \text{ kW} \leq P_{dis}(t, s, v) \leq 120 \text{ kW} \quad (8)$$

Stanje napunjenosti baterije može biti od minimalnog stanja napunjenosti do kapaciteta baterije (9):

$$SOC_{min} \leq SOC(t, s, v) \leq Bat\_cap \quad (9)$$

Stanje napunjenosti baterije definirano je kao (10):

$$SOC(t, s, v) = SOC(t-1, s, v) + P_{ch}(t, s, v) - P_{dis}(t, s, v) \quad (10)$$

Stanje napunjenosti automobila definirano je (11):

$$SOC_{car}(i,t,s,v) = SOC_{car}(i,t-1,s,v) + P_{dis}(t,s,v) \quad (11)$$

Na početku punjenja, svako vozilo ima definirano početno stanje napunjenosti (12):

$$SOC_{car}(i,t_0,s,v) = percentage_{t_0}(i,s,v) * CarCapacity(i) \quad (12)$$

Svako vozilo napušta punionicu sa zadanim stanjem napunjenosti (13):

$$SOC_{car}(i,t_e,s,v) = percentage_{t_e}(i,s,v) * CarCapacity(i) \quad (13)$$

Inicijalni uvjeti na početku dana dani su s (14) i (15):

$$SOC(0,s,v) = 0 \quad (14)$$

$$Pch(0,s,v) = 0 \quad (15)$$

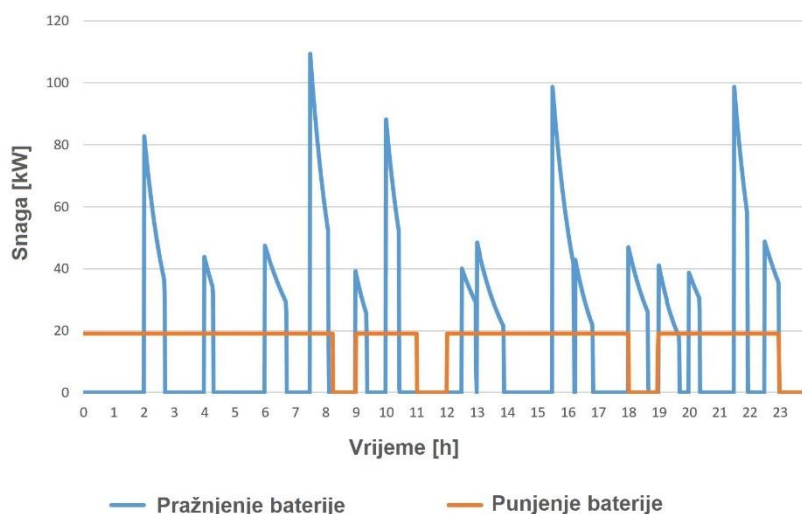
### 3. REZULTATI

#### 3.1. Rezultati optimizacije

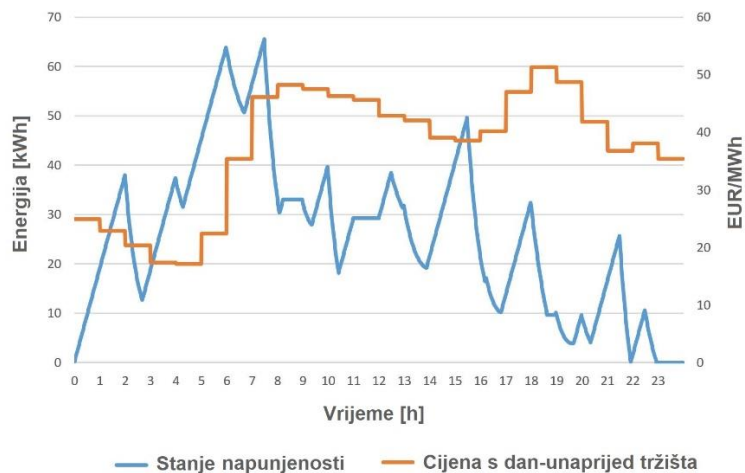
Rezultati optimizacije prikazani su u Tablici V. Podaci su prikazani za za operativni trošak jedne brze punionice sa i bez baterije, najniži operativni trošak, veličinu baterije, maksimalno punjenje automobila za navedene rasporede i scenarije te minimalni kapacitet baterije koji zadovoljava sve uvjete opisane u prethodnom poglavlju.

Tablica V Rezultati optimizacije

	Lokacija I	Lokacija II	Lokacija III
<b>Operativni trošak [€/godini]</b>	4993.20	3080.6	2062.25
<b>Operativni trošak bez baterije [€/godini]</b>	5504.20	4263.2	3062.35
<b>Kapacitet baterije [kWh]</b>	76.58	133.00	133.00
<b>Maksimalna snaga punjenja [kW]</b>	109.4	114.7	84.7
<b>Minimalni kapacitet baterije [kWh]</b>	39.50	48.00	30.50



Slika 1 Punjenje i pražnjenje baterije na lokaciji I

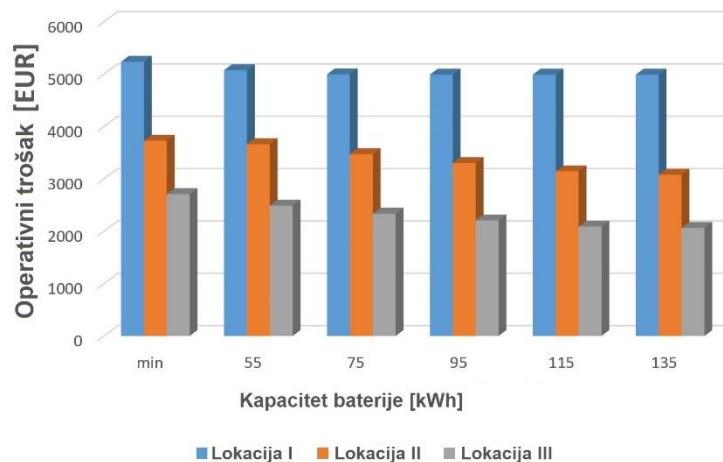


Slika 2 Stanje napunjenosti baterije na lokaciji I i cijene s dan-unaprijed tržišta

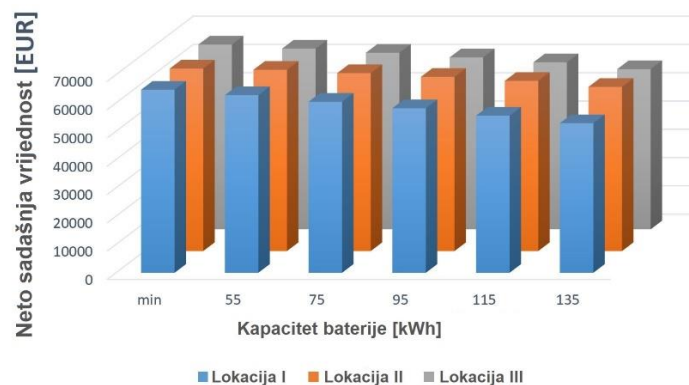
Slika 1 predstavlja punjenje baterije iz distribucijske mreže te pražnjenje baterije (snagu punjenja vozila). Na Slici 2 je prikazano stanje napunjenosti baterije na lokaciji I i cijene električne energije s dan-unaprijed tržišta za jedan dan i jedan odabrani scenarij. Kao što se može vidjeti sa Slika 1 i 2, baterija se punila maksimalnom snagom skoro čitav dan kako bi se izbjegli periodi s visokom cijenom električne energije. U slučaju kada je u funkciji cilja razmatrana samo minimizacija operativnih troškova bez investicije u bateriju, kapacitet baterije je poprilično velik, čak 133 kWh. Baterije te veličine su poprilično skupe i nisu potrebne za ispunjenje svih zahtjeva za punjenje vozila od strane korisnika. U idućem potpoglavlju ćemo usporediti profit ukoliko uzimamo u obzir cijenu investicije u baterijski spremnik.

### 3.2. Određivanje optimalne veličine baterije uzimajući u obzir investiciju

Za svaku od opisanih lokacija provedeno je šest simulacija. Početna veličina baterije je baterija minimalnog kapaciteta kako je prikazano u Tablici 5. Dodatno smo analizirali povećanje kapaciteta baterije u koracima od 20 kWh: 55 kWh, 75kWh, 95 kWh i 135 kWh. Rezultati najmanjih operativnih troškova prikazani su na Slici 3, dok su neto sadašnje vrijednosti prikazane na Slici 4. Veći kapacitet baterije rezultira nižim operativnim troškovima, međutim i nižom netom sadašnjom vrijednosti. Najveći NPV za sve tri lokacije postignut je u slučaju s minimalnim kapacitetom baterije kao što je vidljivo na Slici 4.



Slika 3 Godišnji operativni trošak



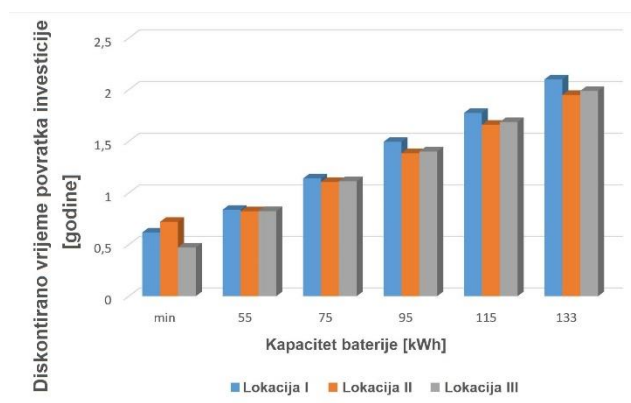
Slika 4 Neto sadašnja vrijednost

### 3.3. Vrijeme isplativosti investicije

Uz neto sadašnju vrijednost, jedan od ekonomskih faktora je i vrijeme povrata investicije koje govori o broju godina nakon kojih će investicija biti isplativa. Zanimljivo je uočiti na Slici 5 kako je vrijeme povratka investicije za sve promatrane lokacije i kapacitete baterija najkraće za najmanji kapacitet baterije (vrijeme povratka investicije je manje od godinu dana za sve lokacije).

### 3.4. Pogled u budućnost

Očekuje se pad cijena baterija na 60 €/kWh do 2030. godine [21]. Također se pretpostavlja i porast broja električnih vozila, kao i korištenje brzih punionica automobila. Provedene su dodatne simulacije za 2030. godinu s navedenom cijenom baterije i s povećanjem broja električnih vozila u iznosu od 50%. Trebamo samo naglasiti da su cijene električne energije aproksimirane za budućnost, odnosno uzete su današnje vrijednosti cijena. Predviđanje cijena na tržištu u budućnosti nije se promatralo u okviru ovog istraživanja. Brze punionice na lokaciji I nisu mogle zadovoljiti sve potrebe za punjenjem električnih vozila. S obzirom na to da je punjenje baterije ograničeno na 19 kW, brze punionice dnevno mogu isporučiti maksimalno 456 kWh energije. Ukoliko razmatramo povećanje broja vozila za 50%, ukupna potražnja za električnom energijom veća je od one koju spremnik može pružiti. Brze punionice na lokacijama II i III mogu zadovoljiti ukupnu potražnju za električnom energijom. U Tablici VI. Prikazan je operativni trošak, optimalna veličina baterije, minimalni kapacitet baterije i NPV za 2030. godinu. Možemo zaključiti da veći broj dolazaka električnih vozila rezultira i većom baterijom, ali s nižom cijenom baterije i NPV raste.



Slika 5 Vrijeme povratka investicije



Tablica VI Rezultati optimizacije za 2030. godinu

	Lokacija I	Lokacija II	Lokacija III
<b>Operativni trošak [€/godini]</b>	/	4901.95	3106.15
<b>Operativni trošak bez baterije [€/godini]</b>	/	6007.90	4103.70
<b>Kapacitet baterije [kWh]</b>	/	133.00	133.00
<b>Minimalni kapacitet baterije [kWh]</b>		87.40	50.50
<b>Neto sadašnja vrijednost [EUR]</b>	/	67276	66430

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu smo opisali koncept ugradnje baterijskih spremnika u brze punionice električnih vozila te pokazali dodatnu razinu upravljivosti i fleksibilnosti brzih punionica koje inače predstavljaju jedan od izvora nesigurnosti u budućim elektroenergetskim sustavima. Unatoč pozitivnom utjecaju na elektroenergetsku mrežu kao i na elektroenergetski sustav, postavlja se pitanje isplativosti takve investicije s ekonomskog aspekta. Analize provedene u ovom radu jasno pokazuju pozitivne neto sadašnje vrijednosti i povoljno vrijeme povrata investicije već i za najmanji baterijski spremnik koji zadovoljava sva tehnička ograničenja i ne ugrožava komfor brzog punjenja. Simulacije pokazuju da instaliranje baterija rezultira stalnim opterećenjem gledano sa strane elektroenergetskog sustava. Dodatno su provedene simulacije za 2030. godinu kada se očekuje značaj pad cijena baterija, ali i porast broja električnih vozila. Rezultati pokazuju porast u veličini baterije, ali i veći iznos operativnih troškova upravo zbog porasta potrošnje.

#### ZAHVALA

Ovaj rad financiran je dijelom od strane Hrvatske zaklade za znanost i u suradnji s Operatorom distribucijskog sustava (HEP ODS d.o.o.) unutar projekta IMAGINE (PAR2018-12).

#### 7. LITERATURA

- [1] "Electrification of the Transport System Studies and reports." [Online]. [https://www.ieee.org/about/ieee\\_europe/electrification\\_of\\_transportation\\_15\\_november\\_2017.pdf](https://www.ieee.org/about/ieee_europe/electrification_of_transportation_15_november_2017.pdf)
- [2] A. Petroff, "These countries want to ban gas and diesel cars," CNNMoney, 2017. [Online]. <http://money.cnn.com/2017/09/11/autos/countriesbanning-diesel-gas-cars/index.html>
- [3] PBL Netherlands Environmental Assessment Agency and Joint Research Centre, "Trends in Global CO2 Emissions 2016 Report," pp. 6–86, 2016. [Online]. [http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news\\_docs/jrc-2016-trendsin-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf](http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2016-trendsin-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf)
- [4] I. Pavić, T. Capuder, I. Kuzle, "A Comprehensive Approach for Maximizing Flexibility Benefits of Electric Vehicles," IEEE Systems Journal, August 2017 pp. 1–12, 2017.
- [5] T. Capuder, I. Kuzle, and I. Pavić, "Value of flexible electric vehicles in providing spinning reserve services," Applied Energy, vol. 157, pp. 60–74, 2015.
- [6] T. Capuder, I. Kuzle, and I. Pavić, "Low carbon technologies as providers of operational flexibility in future power systems," Applied Energy, vol. 168, pp. 724–738, 2016.
- [7] Y. Xiang, J. Liu, R. Li, F. Li, C. Gu, and S. Tang, "Economic planning of electric vehicle charging stations considering traffic constraints and load profile templates," Applied Energy, vol. 178, pp. 647–659, 2016.
- [8] F. Teng, Y. Mu, H. Jia, J. Wu, and P. Zeng, "Challenges of Primary Frequency Control and Benefits of Primary Frequency Response Support from Electric Vehicles," Energy Procedia, vol. 88, pp. 985–990, 2016.

- [9] International Energy Agency, "Global EV Outlook 2016 Electric Vehicles Initiative," IEA, p. 51, 2016. [Online]. Available: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)
- [10] Chargemap, "Recharge stations statistics." [Online]. Available: <https://chargemap.com/about/stats>
- [11] I. E. A. International and E. Agency, "Global EV Outlook 2017 Two million and counting," 2017. [Online]. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>
- [12] H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu, "A Second Order Cone Programming Model for Planning PEV Fast-Charging Stations," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 8950, pp. 1–14, 2017.
- [13] Y. Xiong, J. Gan, B. An, C. Miao, and A. L. C. Bazzan, "Optimal Electric Vehicle Fast Charging Station Placement Based on Game Theoretical Framework," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, pp. 1–12, 2017.
- [14] M. R. Sarker, Y. Dvorkin, M. A. Ortega-Vazquez, "Optimal Participation of an Electric Vehicle Aggregator in Day-Ahead Energy and Reserve Markets," Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 2016, Boston, USA, vol. 31, no. 5, pp. 3506–3515, 2016.
- [15] B. Sun, T. Dragičević, F. D. Freijedo, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, "A Control Algorithm for Electric Vehicle Fast Charging Stations Equipped with Flywheel Energy Storage Systems," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 31, no. 9, pp. 6674–6685, 2016.
- [16] J. Deng, J. Shi, Y. Liu, and Y. Tang, "Application of a hybrid energy storage system in the fast charging station of electric vehicles," IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 10, pp. 1092–1097, 2016.
- [17] S. Negarestani, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Rastegar, A. Rajabi-ghahnavieh, "Optimal Sizing of Storage System in a Fast Charging Station for Plug-in Hybrid Electric Vehicles," IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 2, no. 4, pp. 443–453, 2016..
- [18] EPEX, "Day-Ahead auction," EPEXSPOT, 2018. [Online]. <https://www.epexspot.com/en/market-data>
- [19] Investopedia, "Net Present Value," Net Present Value. [Online]. <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>
- [20] HEP, "Tarifne stavke(cijene)." [Online]. <http://www.hep.hr/ods/korisnici/poduzetnistvo/tarifne-stavke-cijene-161/161>
- [21] C. Curry, "Lithium-ion Battery Costs and Market," 2017. [Online]. <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEFLithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- [22] "Tesla Supercharger Charging Rate." [Online]. <https://insideevs.com/tesla-ups-supercharger-charging-rate-refreshed-model-s-90d-p90d-video>
- [23] T. Saxton, "DC fast charging billing models and encouraging efficient usage." [Online]. Available: <https://chargedevs.com/features/dc-fast-charging-billing-models-and-encouraging-efficient-usage/>
- [24] "E-Golf DC fast charging." [Online]. <http://www.myvwgolf.com/forum/viewtopic.php?f=12&t=444>.
- [25] "DC fast charging." [Online]. Available: [http://electrifyatlanta.com/wp/?page\\_id=357](http://electrifyatlanta.com/wp/?page_id=357).