

BEZBEDNOSNI IZAZOVI I STANDARDI U PROJEKTOVANJU INFRASTRUKTURE ZA PUNJENJE ELEKTRIČNIH VOZILA - POŽARNI RIZICI I MERE PREVENCIJE

Lazar Miladinović¹ Radovan Radovanović²

Rezime: Ubrzan razvoj elektromobilnosti zahteva bezbednu i pouzdanu infrastrukturu za punjenje vozila na elektro pogon. Rad analizira ključne bezbednosne rizike, aktuelne standarde i predlaže mere za unapređenje sistema zaštite prilikom korišćenja elektro punjača i prateće infrastrukture na parkinzima i garažama. Poseban fokus je na prepoznavanju rizika od pojave incidenta prilikom upotrebe vozila na elektro pogon i punjača, kao i značaj upotrebe adekvatnih preventivnih mera zaštite, upotrebe sertifikovane opreme i tehnički ispravne instalacije. U radu se ističe se važnost edukacije korisnika, kao i primene pametnih punjača sa IKT sistemima za rano otkrivanje opasnosti. Cilj ovog rada je da se ukaže na činjenicu sa integracija tehničkih i preventivnih mera, standarda i edukacije korisnika ima ključnu ulogu u stvaranju bezbednih uslova za upotrebu elektro punjača u urbanom okruženju.

Ključne reči: Vozila na elektro pogon, litijum-jonske baterije, infrastruktura za punjenje, zaštita od požara, preventivne mere.

SAFETY CHALLENGES AND STANDARDS IN THE DESIGN OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE – FIRE RISKS AND PREVENTIVE MEASURES

Abstract: The rapid development of electromobility requires safe and reliable infrastructure for charging electric vehicles. This paper analyzes key safety risks, current standards, and proposes measures to improve protection systems during the use of electric chargers and related infrastructure in parking lots and garages. Special attention is given to identifying the risks of incidents involving electric vehicles and chargers, as well as the importance of implementing adequate preventive safety measures, using certified equipment, and technically sound installations. The paper emphasizes the importance of user education and the application of smart chargers with ICT systems for early hazard detection. The aim of this paper is to highlight that the integration of technical and preventive measures, standards, and user education plays a crucial role in creating safe conditions for the use of electric chargers in urban environments..

Key words: Electric vehicles, Lithium-ion batteries, Charging infrastructure, Fire safety, Preventive measures

1. UVOD

Povećana proizvodnja, prodaja i upotreba vozila na elektro pogon predstavlja ključni pravac transformacije savremenog saobraćajnog sektora, sa aspekta energetske efikasnosti, smanjenja emisije štetnih gasova i redukcije zavisnosti od fosilnih goriva. U kontekstu ubrzanih klimatskih promena i rastuće energetske nesigurnosti, upotreba EV-a postaje integralni deo nacionalnih i međunarodnih strategija održivog razvoja. Ova strategija ima poseban značaj u urbanim sredinama, u kojima prema aktuelnim statističkim podacima živi oko 75% stanovništva Evrope, sa izraženom tendencijom daljih migracija ka velikim gradskim centrima [1]. Ovakva demografska koncentracija dovodi do povećanja emisije izduvnih gasova, pogoršanja kvaliteta vazduha [2], kao i sve učestalijih saobraćajnih zagušenja, što dodatno doprinosi negativnim ekološkim efektima [3].

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), broj vozila na elektro pogon na globalnom nivou premašio je 26 miliona u 2022. godini, uz godišnji rast veći od 60%, a procene ukazuju da će do 2030. godine vozila na elektro pogon činiti značajan deo ukupne prodaje automobila, naročito u tržištima kao što su Kina, Evropska unija i Sjedinjene Američke Države [4]. Neke države idu i korak dalje, pa tako je Ujedinjeno Kraljevstvo najavilo potpunu zabranu prodaje novih vozila sa

¹Lazar Miladinović, spec. kriminalista, „Securitas Se“ d.o.o. Beograd, email: miladinovic.laza@gmail.com

²dr Radovan Radovanović, Kriminalističko-policijski univerzitet Beograd, email: radovan.radovanovic@kpu.edu.rs

motorima sa unutrašnjim sagorevanjem do 2035. godine, dok Norveška već beleži dominaciju upotrebe ovih vozila [5]. U Evropi, primena vozila na elektro pogon beleži konstantan rast [6], što potvrđuju podaci iz istraživanja „IEA Global EV Outlook 2022“. Prema ovom istraživanju, pored već pomenute Norveške, koja prednjači sa skoro 86% učešća vozila na elektro pogon, treba napomenuti i Island i Švedsku koji prate navedeni trend porasta prodaje i upotrebe vozila na elektro pogon [7].

Slično povećanje broja vozila na elektro pogon primećuje se i u Rusiji, gde je prema podacima analitičke agencije „Avtostat“, broj električnih vozila porastao za skoro 70%, a najveća ekspanzija u implementaciji vozila na elektro pogon na putevima zabeležena je u Kini, koja predstavlja globalnog lidera u ovoj oblasti [8].

Ovaj trend nije zaobišao ni zemlje u razvoju, pa tako u Srbiji, iako električna vozila čine tek oko 0,5% ukupnog registrovanih vozila, interesovanje za njih raste zahvaljujući subvencijama, razvoju mreže punjača i dostupnosti novih modela [1], [9], [10].

Glavni tehnološki oslonac vozila na elektro pogon jeste upotreba litijum-jonske baterije (Li-ion), koje omogućavaju visoke performanse, ali istovremeno otvaraju čitav spektar novih izazova u pogledu bezbednosti, naročito kada je reč o riziku od požara [11], [12]. Fenomen termalnog otkaza („thermal runaway“), karakterističan za Li-ion baterije, može dovesti do lančanih reakcija koje rezultiraju intenzivnim požarima i eksplozijama, često teško kontrolisanim konvencionalnim sredstvima za gašenje [13], [14].

Garaže i parkinzi u stambenim naseljima, ali i na benzimskim stanicama i javnim parkiralištima, predstavljaju ključna mesta na kojima se postavlja mreža punjača. Upravo na ovim mestima se mogu javiti specifični bezbednosni izazovi, budući da standardne mere zaštite od požara nisu uvek primenjene u potpunosti i adekvatne za specifične zahteve koje nameću Li-ion tehnologije [15]. Osim pojave navedenih rizika na vozilima na elektro pogon, treba sagledati i postojanje rizika od pojave požara i kod tzv. lakih električnih vozila („light electric vehicles“), uključujući skutere, bicikle i trotinete, koji se često nepropisno skladište i pune u zatvorenim prostorijama, dodatno ugrožavajući požarnu bezbednost ljudi i imovine [16]. Naime, neadekvatno projektovana ventilacija, nedostatak odgovarajućih sistema za otkrivanje i dojavu požara i sistema za automatsko gašenje, kao i neregulisano punjenje, predstavljaju faktore visokog rizika koji moraju biti sistematski analizirani.

Takođe, ovde treba napomenuti i izazove u pogledu infrastrukture, naročito u urbanim sredinama, gde raste potreba za bezbednim uslovima za parkiranje i punjenje vozila na elektro pogon, posebno u zatvorenim prostorima kao što su javne garaže i podzemna parkirališta. Zbog toga je važno razviti specifične protokole zaštite koji odgovaraju tehnološkim karakteristikama i rizicima koje ova vozila nose.

Cilj ovog rada je da identifikuje i analizira požarne rizike povezane sa električnim vozilima, s posebnim osvrtnom na infrastrukturu za punjenje u zatvorenim prostorima poput garaža i javnih parkirališta. Kroz pregled literature, tehničkih standarda i praksi iz inostranstva, rad nudi preporuke za unapređenje bezbednosnih mera i usklađivanje propisa sa savremenim zahtevima elektromobiliteta.

2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE, KLASIFIKACIJA ELEKTRO PUNJAČA I PROCEDURA PUNJENJA BATERIJA

Sa porastom broja vozila na elektro pogon javlja se i potreba za unapređenjem infrastrukture za punjenje, što podrazumeva izgradnju mreže elektro punjača čija je primarna funkcija omogućavanje kontrolisanog prenosa električne energije iz distributivne mreže u akumulatorski sistem vozila. Prema navodima International Electrotechnical Commission [17], savremeni elektro punjači moraju zadovoljiti složene tehničke, komunikacione i bezbednosne standarde kako bi se osigurala njihova visoka efikasnost prilikom procesa punjenja, a istovremeno eliminisali ili smanjili potencijalni rizici od pojave požara ili drugih neželjenih incidenata na prihvatljivom nivou, ali takođe i skraćivalo vreme punjenja, što predstavlja jedan od ključnih zahteva savremenog korisnika.

Elektro punjači koji se koriste za napajanje vozila na elektro pogon se sastoje od nekoliko ključnih funkcionalnih celina, od kojih svaka ima značajnu ulogu u obezbeđivanju osnovnih funkcija samog uređaja, što omogućava bezbedno i efikasno punjenje baterija vozila na elektro pogon. Sastavni delovi elektro punjača su:

- **Sistem napajanja:** Vrsta napajanja koja se koristi u punjaču zavisi od namene i lokacije instalacije, a takođe značajno utiče na snagu i brzinu punjenja. Punjači mogu koristiti jednofazno napajanje (230 V) koje omogućava sporije punjenje i manje kapacitete, kao i trofazno napajanje (400 V) koje omogućava brže punjenje i veće kapacitete [18].
- **Kontrolni modul:** Ova komponenta ima možda i ključnu ulogu u upravljanju celokupnim procesom punjenja, jer njegova osnovna funkcija je nadgledanje i regulisanje parametara kao što su struja, napon i temperatura. Takođe, ovaj modul ima ulogu i obezbeđivanja zaštite od prenapona, kratkog spoja i termičkih oštećenja, čime značajno povećava bezbednost samog procesa, ali i produžetak životnog ciklusa samog sistema [11], [19].
- **Napojni kabl i konektor:** Standardi za konektore variraju u zavisnosti od regiona i proizvođača, ali najzastupljeniji tipovi koji se koriste na teritoriji Evrope su Type 1 i Type 2, kao i CCS (Combined Charging System) i CHAdeMO koji se koriste za brzo punjenje. Ovi konektori imaju značajnu ulogu u ostvarivanju sigurnog i efikasnog prenosa električne energije iz elektro punjača u vozilo na elektro pogon [20].
- **Komunikacioni interfejs:** Ova komponenta omogućava dvosmernu komunikaciju između elektro punjača i elektronskog sistema vozila, a njegovom primenom omogućava se optimizacija procesa punjenja, ali se tako istovremeno omogućava povezivanje sa sistemima za naplatu i monitoring samog procesa [21].
- **Zaštitni elementi:** Ovi elementi uključuju osigurače, uređaje za zaštitu od strujnog odstupanja, kao i prenaponsku zaštitu i senzore za detekciju temperature i prisustva dima, koji su prisutni u naprednim sistemima, a sve u cilju minimiziranja potencijalnih rizika od pojave incidenata u procesu punjenja baterija na elektro vozilima [22].

Elektro punjači se mogu klasifikovati prema više kriterijuma, uključujući vrstu električne struje koju koriste u radu, nominalnu snagu, tip komunikacionih protokola koji primenjuju, kao i u skladu sa zahtevanim nivoom infrastrukture. U osnovi, razlikuju se dve glavne kategorije i to:

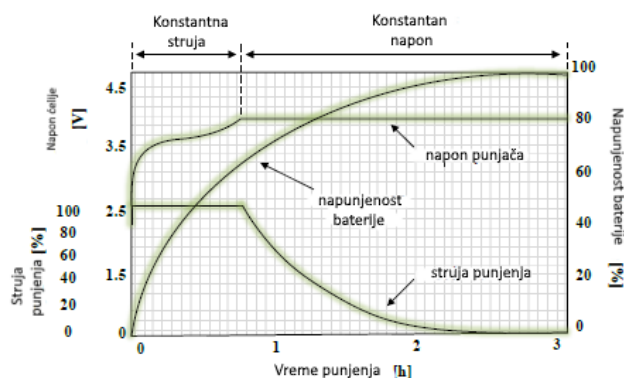
- **AC punjače (punjači naizmenične struje),** koji su najčešće zastupljeni u domaćinstvima, stambeno-poslovnim objektima i javnim garažama. Njihova snaga se kreće u rasponu od 3,7 do 22 kW, što uslovljava značajno duže vreme potrebno za punjenje baterija, ali sa druge strane, njihova prednost se ogleda u nižim troškovima investicija u razvoj i širenje infrastrukture, što ih čini dostupnijim krajnjem korisniku.
- **DC punjače (punjači jednosmerne struje),** koji omogućavaju značajno brže punjenje, jer njihova snaga može dostići i do 350 kW. Ipak, primena ovih punjača zahteva znatno veća ulaganja u izgradnju i održavanje, kao i prilagođavanje postojeće energetske infrastrukture naprednijim tehničkim zahtevima [23].

U skladu sa prosečnim vremenom potrebnim za punjenje baterije elektro vozila, elektro punjači se mogu podeliti i na:

- **Spore punjače,** čija snaga se kreće u rasponu od 1,4 do 3,7 kW i isti su pogodni za individualnu, pre svega kućnu upotrebu. Prosečno vreme punjenja primenom ovih punjača se kreće u intervalu od nekoliko sati do preko deset sati, zavisno od kapaciteta baterije i nivoa iskorišćenja.
- **Polubrže punjače,** čija snaga se kreće u rasponu od 7 do 22 kW, a koji predstavljaju najzastupljeniji tip punjača u urbanim, gradskim sredinama, javnim parkiralištima i komercijalnim objektima i garažama. Oni nude prihvatljiv kompromis između vremena punjenja i potreba za infrastrukturom i
- **Brze i ultrabrže punjače,** čija snaga se kreće u rasponu od 50 do 350 kW, a koji su bazirani na DC tehnologiji, što omogućava značajno skraćeno vreme punjenja, koje se kreće u intervalu od

15 do 45 minuta, u zavisnosti od konkretnog kapaciteta baterije i podešavanja samog sistema [24].

Efikasno upravljanje procesom punjenja baterija predstavlja jedan od ključnih preduslova za postizanje što veće autonomije električnih vozila. Osnovni cilj ovog procesa je da se u najkraćem vremenskom intervalu postigne maksimalno iskorišćenje kapaciteta baterije, uz istovremeno očuvanje njene funkcionalnosti i produžetak životnog ciklusa iste. Savremeni sistemi za punjenje sve više teže pronalaženju optimalnog balansa između brzine samom punjenja, efikasnosti i bezbednosti samog procesa [25]. Procedura brzog punjenja sastoji se iz dve osnovne faze, gde u prvoj fazi, punjač isporučuje konstantnu struju sve dok napon ćelija raste. Nakon toga sledi faza balansiranja, tokom koje se struja smanjuje, a punjenje nastavlja pri konstantnom naponu. U ovoj fazi, balansno kolo izjednačava napunjenost svih ćelija do unapred definisanog nivoa.



Slika 1. Procedura punjenja [25]

Stanje napunjenosti baterije predstavlja direktan pokazatelj dometa električnog vozila, odnosno prosečne razdaljine koja se može preći između dva ciklusa punjenja. Primenom Li-Ion baterijskih sistema u elektro vozila, omogućava se postizanje dometa u rasponu od približno 320 do 480 km u realnim uslovima urbane vožnje [25], pri čemu treba napomenuti da na sam domet utiče više parametara, a pre svega broj i tip ugrađenih baterija, stepen njihovog trošenja, masa i tip vozila, otpor vazduha, konfiguracija terena, kao i stil i dinamika vožnje.

Kako bi se zadovoljili sve veći zahtevi korisnika vozila na elektro pogon, sve više se koriste savremeni sistemi za punjenje koji uključuju upotrebu napredne funkcije pametnog upravljanja, kao što su balans opterećenja, dinamička alokacija snage i „Vehicle-to-Grid“ komunikaciju, koja omogućava dvosmernu razmenu energije između vozila i elektro instalacije [26], [27]. U okviru ovakvog koncepta, elektro punjač se transformiše iz pasivnog uređaja u aktivan energetska čvor koji je sposoban da vraća deo energije u mrežu u uslovima pune potrošnje ili nestabilnosti sistema [28]. Značajnu ulogu ima i sve veća integracija obnovljivih izvora energije u infrastrukturu punjača, što pored smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu, povećava i ukupnu energetska efikasnost [29]. Kombinacijom sa algoritmicima mašinskog učenja i stohastičkim modelima moguće je optimizovati rad sistema u realnom vremenu i postići bolje korišćenje raspoloživih resursa [30]. Međutim, integracija velikog broja punjača u postojeću distributivnu mrežu nosi i određene izazove, koji mogu usled neadekvatnog planiranja dovesti do lokalizovanih preopterećenja, gubitaka i smanjenja pouzdanosti [31], [32]. Ipak, sa druge strane, primenom pametnih sistema i fleksibilnih rešenja za upravljanje, moguće je unaprediti stabilnost i efikasnost celokupne mreže [33].

3. RIZICI OD POJAVE POŽARA NA ELEKTRO PUNJAČIMA

Iako primena vozila na elektro pogon donose mnoge prednosti, poput smanjenja emisije štetnih gasova i poboljšanja energetska efikasnosti, njihov sve veći broj, zajedno sa razvojem infrastrukture za punjenje istih, stvara nove bezbednosne rizike. Povećanje rizika od pojave požara na elektro punjačima postaje sve važnije pitanje koje zahteva ozbiljan pristup i rešavanje od strane stručnjaka iz

ove oblasti. Ključni izvor opasnosti povezan je sa skladištenjem energije u pogonskim litijum – jonskim baterijama [1].

Prema podacima Pekinškog tehnološkog instituta, 27,5% požara na električnim vozilima javlja se tokom procesa punjenja, dok 38,5% izbijanja požara nastaje kada su vozila parkirana [34]. Ovi rezultati potvrđeni su i u Evropi, gde je zabeleženo da je većina incidenata izbila dok su vozila mirovala, od čega se 60% požara dogodilo tokom samog punjenja [6].

Rizici se mogu svrstati u tri osnovne kategorije: termičke, električne i mehaničke. Termički faktori uključuju pregrevanje baterije usled visokih temperatura ili brzog punjenja, što može izazvati tzv. „thermal runaway“ reakciju [35]. Električni faktori obuhvataju kratke spojeve i prepunjavanje, posebno u uslovima neadekvatnog održavanja ili sistema zaštite [36]. Mehanički faktori se javljaju usled oštećenja baterijskog paketa u saobraćajnim nezgodama, što takođe može dovesti do unutrašnjih kratkih spojeva i požara [37].

U kontekstu infrastrukture za punjenje, dodatni bezbednosni rizici nastaju usled tehničkih otkaza [11], preopterećenja sistema [31] i uticaja spoljašnjih faktora kao što su vlaga, prašina, meteorološki uslovi, kao i nepravilna upotreba [38]. Takođe, sve je češće da dolazi do samozapaljenja ili eksplozija tokom punjenja baterije i to u slučajevima kada se koristi neispravan tj. nesertifikovan elektro punjač [16].

Statistički podaci pokazuju da je učestalost požara kod električnih vozila niža u poređenju sa vozilima sa SUS motorima, ali ipak, određeni incidenti tokom punjenja, posebno u zatvorenim prostorima kao što su garaže, i dalje predstavljaju ozbiljan bezbednosni rizik [39]. Naime, rizici koji prate požare vozila na elektro pogon uključuju visoku brzinu oslobađanja toplote, toksičnost dimnih gasova i mogućnost ponovnog zapaljenja čak i nakon uspešno sprovedene akcije gašenja požara [40].

Iz navedenih razloga, a kako bi se eliminisali bezbednosni rizici, moderni elektro punjači se opremaju zaštitnim mehanizmima, kao što su: temperaturni senzori, RCD uređaji, automatski prekidači, detektori i senzori koji prate zadate parametre koji se mogu javiti u požaru [41], ali je neophodna izrada i implementacija sveobuhvatnih bezbednosnih procedura, posebno u urbanim sredinama i zatvorenim objektima kako bi se ostvario viši nivo zaštite od požara prilikom punjenja baterija elektro vozila.

4. PREVENTIVNE MERE, BEZBEDNOSNI STANDARDI I PREDLOG MERA ZA UNAPREĐENJE SISTEMA ZAŠTITE

U cilju eliminacije ili smanjenja rizika povezanih sa upotrebom infrastrukture za punjenje vozila na elektro pogon, neophodno je definisati specifične mere i bezbednosne standarde koji se odnose na instalaciju elektro punjača i uređenje parking prostora u garažama i stambenim objektima.

Prema smernicama iz Odobrenog dokumenta S (ADS) iz 2021. godine, najmanje jedno parking mesto po stambenoj jedinici mora biti opremljeno elektro punjačem, uz obaveznu mogućnost naknadne instalacije punjača na svim mestima u novim stambeno-poslovnim zgradama [42]. Ove mere imaju za cilj da olakšaju pristup infrastrukturi za punjenje i ubrzaju tranziciju ka održivim vidovima saobraćaja. Npr. u Londonu, zakonska regulativa zahteva da najmanje 20% parking mesta bude opremljeno aktivnim elektro punjačima, dok preostala parking mesta moraju imati postavljenu adekvatnu infrastrukturu koja omogućava njihovu naknadnu montažu. Dodatno, posebna pažnja posvećuje se obezbeđivanju parking mesta za osobe sa invaliditetom u neposrednoj blizini ulaza i liftova [43], kako bi se u slučaju pojave incidenta omogućila njihova brza i bezbedna evakuacija.

U pogledu zaštite od požara, u svetu se primenjuje veliki broj standarda, kao što su npr. BS 9991:2015 i BS 9999:2017 [44], koji definišu preventivne mere za sprečavanje pojava požara u zatvorenim i poluotvorenim parkiralištima i garažama. Ove mere uključuju obaveznu instalaciju sistema za detekciju i dojavu požara, odgovarajući sistem ventilacije, kao i automatske sisteme za gašenje požara. Standard BS EN 12845:2015+A1:2019 propisuje tehničke uslove za sisteme za automatsko gašenje požara vodom putem prskalica. Istraživanja su pokazala da takvi sistemi mogu

značajno smanjiti temperaturu u početnim fazama požara i sprečiti njegovo širenje, ali ne mogu u potpunosti sprečiti fenomen „thermal runaway“ koji je karakterističan za litijum-jonske baterije u vozilima na elektro pogon [45].

Planiranje i projektovanje infrastrukture za punjenje baterija vozila na elektro pogon mora se vršiti uz punu primenu propisanih standarda i u skladu sa analizom saobraćajne infrastrukture, sigurnosti distributivne mreže i ekonomskih faktora [46], dok instalacija mora biti izvedena korišćenjem isključivo sertifikovanih uređaja (npr. CE, RoHS, UL), kako bi se osigurala tehnička ispravnost i rizici od požara ili eksplozija sveli na minimum [16].

Takođe, moderni elektro punjači moraju imati ugrađene i bezbednosne sisteme, kao što su senzori za temperaturu, automatski prekid punjenja u slučaju pregrevanja, pojave prenapona ili kratkog spoja. Kako bi se eliminisali potencijalni bezbednosni rizici preporučuje se da infrastruktura i sami elektro punjači budu postavljanjeni na suvim i provetrenim mestima, zaštićenim od direktnog sunčevog zračenja i drugih izvora toplote, kao i mehaničkih i meteorološkim uslovima okoline. Elektroinstalacije moraju biti dimenzionisane tako da mogu da podnesu visoko opterećenje i opremljene odgovarajućim zaštitnim uređajima.

Kontinuirana edukacija korisnika vozila na elektro pogon, električnih bicikala i trotineta predstavlja jedan od ključnih faktora za unapređenje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju. Obuka korisnika o pravilnom rukovanju i održavanju baterija i sklopova vozila, kao i upotrebe elektro punjača, uz poseban osvrt na prepoznavanje potencijalnih rizičnih situacija i pravilno reagovanje u slučaju pojave incidenta ima značajnu ulogu u smanjenju opisanih bezbednosnih rizika.

Takođe, savremena rešenja u ovoj oblasti obuhvataju primenu pametnih elektro punjača koji koriste informaciono-komunikacione tehnologije za praćenje procesa punjenja u realnom vremenu. Ovi uređaji korisnicima šalju upozorenja u slučaju odstupanja, pregrevanja, slabog kontakta ili prisustva neautentičnih baterija [46]. Pored toga, u savremenim urbanističkim planovima sve češće se predviđaju specijalizovane zone za punjenje koje uključuju dodatne mere zaštite poput ventilacije, detekcije dima i temperaturnih senzora, što značajno unapređuje ukupni nivo bezbednosti infrastrukture za punjenje baterija na vozilima na elektro pogon.

5. ZAKLJUČAK

Elektromobilnost predstavlja jedan od strateških pravaca smanjenja negativnih uticaja na životnu sredinu i stvaranju održivog urbanog razvoja, kojima se stvaraju bolji uslovi života i rada ljudi. Međutim, pored brojnih ekoloških i funkcionalnih prednosti, integracija vozila na elektro pogon u postojeći saobraćajni i infrastrukturni sistem, sa sobom nosi i niz novih bezbednosnih rizika, čije rešavanje zahteva sistemski pristup, kako bi se izbegle negativne posledice usled eventualne pojave incidenta u kojima učestvuju vozila na elektro pogon i infrastruktura koja se koristi za punjenje baterija u njima. Poseban rizik predstavljaju litijum-jonske baterije, čija složena elektrohemijska struktura može dovesti do pojava incidenta sa potencijalno katastrofalnim posledicama po život i zdravlje ljudi, materijalna dobra i životnu sredinu.

Analiza postojeće pravne regulative, propisanih standarda, kao i primeri dobre prakse u oblasti planiranja, projektovanja, izvođenja i manipulacije sa elektro punjačima, ukazuje na potrebu za permanentnim unapređenjem tehničkih i organizacionih mera zaštite uz poštovanje tehničkih propisa koji definišu minimum zahteva za bezbednost na parkinzima, kao javnim i privatnim stambeno poslovnim objektima u kojima postoje elektro punjači i prateća infrastruktura.

Pored primene tehničkih rešenja, od suštinske je važnosti i kontinuirana edukacija korisnika vozila na elektro pogon, kao i podizanje svesti o potencijalnim rizicima i pravilima bezbednog rukovanja kako vozilima, tako i elektro punjača i prateće infrastrukture. Integracija „pametnih“ tehnologija, kao što su IKT sistemi za nadzor i automatizovano isključivanje procesa punjenja u slučaju pojave opasnosti, predstavlja ključnu komponentu modernog koncepta sistema zaštite.

Bezbedna integracija vozila na elektro pogon i prateće infrastrukture mora biti rezultat multisektorske saradnje sa multidisciplinarnim pristupom u rešavanju problema, a učešće moraju uzeti svi relevantni učesnici procesa i to od predstavnika zakonodavnih tela i institucija, inženjerske struke svih profila i sektora za vanredne situacije, pa sve do krajnjih korisnika tj. vlasnika vozila na elektro pogon. Samo takav, celokupan, holistički pristup, omogućiće razvoj sistema u kome će elektromobilnost biti ne samo ekološki, već i bezbednosno održiv.

6. LITERATURA

- [1] Miladinović, L., Radovanović, R., Mlađan, D., & Mitrović, N.: Fires in electric buses with lithium-ion batteries: Risks, prevention, and extinguishing methods. In Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Firefighting and Rescue Operations in the Aftermath of Traffic Accidents Involving Electric Vehicles. Russian-Serbian Humanitarian Center, Niš, Serbia, 2024.
- [2] Borowik, M., & Cywiński, M.: Fire safety in the operation of electric vehicle charging stations: Challenges and solutions. *Journal of Fire Safety*, 84, 55-65, 2016.
- [3] Sierzychula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B.: The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183–194, 2014.
- [4] International Energy Agency: Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions. IEA Publications, 2023.
- [5] International Energy Agency: Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future. IEA Publications, 2022.
- [6] Rosmuller, N., & Reinders, A.: Fire incidents involving electric vehicles: Patterns and recommendations. *EV Safety Journal*, 2(1), 14–22, 2023.
- [7] Hynynen, J., Quant, M., Willstrand, O., & Mallin, T.: Analysis of combustion gases and fire water run-offs from passenger vehicle fires. *Proceedings from the Seventh*, 160, 2023.
- [8] Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M.: A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272–288, 2022.
- [9] Ministarstvo zaštite životne sredine: Izveštaj o implementaciji politika održivog transporta u Republici Srbiji. Vlada Republike Srbije, 2022.
- [10] Ministarstvo unutrašnjih poslova Republike Srbije, 2023.
- [11] Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., He, X., & Xia, Y.: Thermal runaway mechanism of lithium-ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246–267, 2018.
- [12] Glaister, B.: Safety challenges of EV charging stations. *Fire Safety Journal*, 122, 103265, 2021.
- [13] Evans, A. W., McDonald, F., & Skryabina, E.: Fire risks in battery electric vehicles: Challenges and implications. *Fire Technology*, 55(4), 1233–1257, 2019.
- [14] Niedzielski, P., Burek, P., & Pawlak, A.: Fire protection challenges of electric vehicles in parking structures. *Procedia Engineering*, 199, 2915–2920, 2020.
- [15] Nicol, L., Skryabina, E., & Evans, A.: Electric vehicle charging infrastructure: Safety and fire risk assessment. *Fire Safety Journal*, 100, 1–10, 2018.
- [16] Slašťan, K., & Svetlik, J.: Draft of the experiment methodology to determine car fire blankets effectiveness in conditions of the Slovak Republic. *Transportation Research Procedia*, 74, 1479–1484, 2023.
- [17] International Electrotechnical Commission (IEC): IEC 61851-1: Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements. IEC, 2021.

- [18] Wolbertus, R., van den Hoed, R., Maase, S., & van den Brink, R.: Data for electric vehicle charging infrastructure policy. *World Electric Vehicle Journal*, 9(2), 1–13, 2018.
- [19] Zhang, C., Deng, T., Xie, L., & Wang, Y.: Review of onboard chargers for electric vehicles and future trends. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(7), 5297–5309, 2020.
- [20] IEC 61851-1.: Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements, 2019.
- [21] Lopez, D., Perez, A., & Ruiz, P.: Smart charging communication protocols: A review. *Electric Power Systems Research*, 205, 107697, 2022.
- [22] Reinders, A., Rosmuller, N., & Van den Berg, R.: Fire safety of electric vehicle charging infrastructure. *TNO Reports*, 2023.
- [23] Ghosh, A., Debnath, K., & Sinha, A.: A comprehensive review on charging infrastructure for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109776, 2020.
- [24] Pillai, J. R., Bak-Jensen, B., & Blaabjerg, F.: An overview of fast-charging technologies for EVs. *Energy*, 239, 121829, 2022.
- [25] Petrović, P., & Jerkan, M.: Sigurnosni izazovi pri korišćenju infrastrukture za punjenje električnih vozila. *Journal of Electrical Engineering*, 68(5), 234-245, 2021.
- [26] Wang, Y., Chen, Q., & Sun, Y. A multi-objective model for the location of electric vehicle charging stations. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(5), 2211–2219, 2013.
- [27] Chandra Mouli, G. R., Bauer, P., & Zeman, M.: Comparison of residential EV charging concepts using solar energy. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5(1), 210–220, 2018.
- [28] Kempton, W., & Tomić, J.: Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144(1), 280–294, 2005.
- [29] Zhang, X., Wu, J., Zhou, Y., & Long, C.: Integration of renewable energy into EV charging stations: Technologies, modeling, and control. *Applied Energy*, 281, 116019, 2021.
- [30] Nandy, B., Saha, T. K., & Shahnia, F.: Smart EV charging management: A review on methods, challenges and future research directions. *Energy Reports*, 9, 450–467, 2023.
- [31] Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J.: The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 371–380, 2010.
- [32] Lopes, J. A. P., Soares, F. J., & Almeida, P. M. R.: Integration of electric vehicles in the electric power system. *Proceedings of the IEEE*, 99(1), 168–183, 2011.
- [33] García-Villalobos, J., Zamora, I., San Martín, J. I., Asensio, F. J., & Aperribay, V.: Plug-in electric vehicles in electric distribution networks: A review of smart charging approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 717–731, 2014.
- [34] Kanonin, N. V., & Lyshchik, I. A.: Анализ причин возгораний электромобилей. *Научно-технический вестник безопасности*, 4(2), 15–21, 2023.
- [35] Şenyürek, Ü., Soyhan, H. S., & Celik, C.: Elektrikli araçlarda batarya kaynaklı yangınlar. *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi*, 10(1), 21-27, 2022.
- [36] Dvoenko, S., Gusev, I., Shulpinov, A., Kuzmenko, V.: Thermal hazard analysis of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655, 2020.
- [37] Bisschop, R., Willstrand, T., Rosengren, M., & Bjerketun, S.: Fire safety of lithium-ion batteries in road vehicles. *RISE Research Institutes of Sweden*, 2019.
- [38] Zhang, C., Wang, J., & Chen, Z.: Risk assessment and control strategy of fire hazards in electric vehicle charging stations. *Safety Science*, 128, 104758, 2020.

- [39] Reinders, A., Rosmuller, N., & Van den Berg, A.: Fire safety challenges of electric vehicle charging stations in underground and multi-storey car parks. *Fire Safety Journal*, 135, 103776, 2023.
- [40] Spearpoint, M., & Stallwood, M.: Assessment of recent UK fire safety guidance for covered car parks and electric vehicles. Fire Research Group, University of Edinburgh, 2023.
- [41] Lopez, J., et al. Electric vehicle charging safety systems: A comprehensive review. *IEEE Access*, 10, 23354–23367, 2022.
- [42] Singh, P. P., Wen, F., Palu, I., Sachan, S., & Deb, S.: Electric vehicles charging infrastructure demand and deployment: Challenges and solutions. *Energies*, 16(1), 7, 2022.
- [43] Brandt, A. W., & Glansberg, K.: Charging of electric cars in parking garages (RISE Report 2020:30). RISE Research Institutes of Sweden, 2020.
- [44] Fire Protection Association: Fire safety guidelines for electric vehicles, 2020.
- [45] Willstrand, M., Bisschop, R., Rosengren, M.: Fire suppression tests for vehicle battery packs (Technical Report). RISE Research Institutes of Sweden, 2019.
- [46] Mihajlović, N., & Popović, S.: Prevention and safety standards for electric vehicle chargers and lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Journal of Electrical Engineering*, 65(5), 147–160, 2020.