

UPRAVLJANJE RIZICIMA I BEZBEDNOST NA RADU PRI KORIŠĆENJU HIBRIDNIH I ELEKTRIČNIH VOZILA RISK MANAGEMENT AND OCCUPATIONAL SAFETY IN THE USE HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES

Miliša TODOROVIĆ, Fakultet za tehničke studije, Univerzitet Travnik, BiH, ORCID: 0000-0001-6239-4285
milisa.todorovic@eftfts.edu.ba,

Snežana ŽIVKOVIĆ, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Srbija, ORCID: 0000-0002-7931-9334,
snezana.zivkovic@znrfak.ni.ac.rs

Ilhan BUŠATLIĆ, Fakultet inženjerstva i prirodnih nauka u Zenici, BiH; ORCID: 0000-0001-5003-0206
ilhan.busatlic@unze.ba

Hamza ŠEHOVIĆ, CEPS Kiseljak, BiH; ORCID 0009-0002-4388-6414, hamza.sehovic@gmail.com

KRATAK SADRŽAJ

Živimo u vremenu sve intenzivnije upotrebe hibridnih i električnih vozila. Ova vrsta vozila predstavlja specifičan i značajan rizik za vatrogasce kao i za korisnike ove kategorije automobila. Opasnosti i štetnosti koje nastaju kao sastavni deo požara kod ove kategorije vozila su izuzetno velike. S obzirom da u široj javnosti postoje ozbiljne dileme na samu taktiku gašenja ove kategorije požara, pitanje bezbednosti i zdravlja na radu je takođe veoma interesantno za proučavanje. Da li su češći požari na klasičnim automobilima ili kod ove kategorije automobila i koju vrstu lične zaštitne opreme treba da koristimo prilikom gašenja požara? U kojoj meri raspolažemo sa adekvatnim znanjima i da li su ona primenjiva u svakodnevnom životu i radu odgovornih lica za bezbednost i zdravlje na radu? Radi jasnijeg razumevanja problema, u radu ćemo pojasniti neke od osnovnih pojmova kada govorimo o baterijama ove kategorije automobila i potencijalnim sredstvima za gašenje požara. Odmah nakon toga, fokus našeg rada će biti na definisanju odgovarajućih mera za bezbedan rad, kako vatrogasaca tako i potencijalnih korisnika ove kategorije vozila. U radu je korišćena deskriptivna metoda uz proučavanje dostupne literature, kako domaće tako i inostrane.

Ključne reči: hibridna i električna vozila, požar, baterije, lična zaštitna sredstva, bezbednost i zdravlje na radu

ABSTRACT

We live in a time of increasingly intensive use of hybrid and electric vehicles. This type of vehicle presents a specific and significant risk for firefighters as well as for users of this category of automobiles. The hazards and harmful effects that arise as an integral part of fires involving these vehicles are extremely serious. Given that there are major public dilemmas regarding the tactics for extinguishing this type of fire, the issue of occupational safety and health is also very interesting to study. Are fires more common in conventional vehicles or in this category of vehicles, and what kind of personal protective equipment should we use when extinguishing such fires? To what extent do we possess adequate knowledge, and is it applicable in the everyday work and life of those responsible for occupational safety and health? For a clearer understanding of the problem, in this paper we will explain some of the basic concepts relating to the batteries used in this category of vehicles and the potential means for extinguishing fires. Immediately after that, the focus of our work will be on defining appropriate safety measures for both firefighters and potential users of these vehicles. A descriptive method was used in the paper, along with the study of available literature, both domestic and foreign.

Key words: hybrid and electric vehicles, fire, batteries, personal protective equipment, occupational safety and health

UVOD

Razvoj tehnike i tehnologije postaje sastavni deo naše svakodnevnice. U vremenu kada se smanjuje dostupnost određenih neobnovljivih resursa (na primer nafte), sve se više traga za rešenjima koja će omogućiti opstajanje postojećeg kvaliteta života u takvim uslovima. Nova rešenja koja daju neku vrstu odgovora na postojeće dileme

predstavljaju potencijalno rešenje aktuelne problematike. Međutim, ta rešenja veoma često generišu i neke probleme ili potencijalne rizike sa kojima moramo da se suočimo.

Tako se sve više suočavamo sa ozbiljnim izazovima u oblasti saobraćaja sa stanovišta dostupnosti energenata kao što je nafta i njeni derivati. Poznata je činjenica da sirovine iz kojih se proizvode ovi energenti imaju svoje izvore koji, prema grubim procjenama stručnjaka iz tih oblasti, imaju svoja ograničenja i postavlja se pitanje do kada će nam biti na raspolaganju. Sa druge strane, cena na tržištu, kao i cene u procesu proizvodnje, sve su više podložne raznim uticajima. Sve to unosi određenu nestabilnost u proizvodne procese što se često manifestuje kroz opravdana ili neopravdana povećanja cena. To nas dovodi do dileme, šta su moguća rešenja koja treba da nadomeste nedostatak klasičnih naftnih derivata? Odgovor je relativno jednostavan i svima nama je već u manjoj ili većoj meri poznat - hibridna ili električna vozila. Kroz rad ćemo pojasniti neke od osnovnih pojmova kada govorimo o vozilima koja se pokreću ovim novim tehnologijama. Za početak, suština je u bateriji koja omogućava pokretanje vozila na manju ili veću udaljenost. Obično govorimo o rešenjima koja su dosta efikasnija sa stanovišta cene njihovog korišćenja. Cena koštanja jednog pređenog kilometra kod električnog, hibridnog ili klasičnog vozila pokazuje da je najisplativija varijanta upravo vezana za električne ili hibridne verzije automobila. Kada tome dodamo i globalne trendove koji pokušavaju da stvore ambijent u kome bi se proširila svest o tome da benzinski i dizel motori predstavljaju značajan rizik sa stanovišta ugrožavanja životne sredine, odgovor bi trebao da bude relativno jednostavan. U vremenu koje dolazi bi trebalo stimulisati potrošače da sve više kupuju električne i hibridne modele. U velikim gradskim jezgrima već postoje jasna pravila da klasična vozila nemaju pravo pristupa užim gradskim jezgrima. Međutim, zašto se onda bavimo ovom problematikom kada je svima manje više jasno šta bi trebalo da bude budućnost? Svesni smo činjenice koja je opšte poznata, a to je da kod električnih vozila povremeno imamo problema sa pojavom požara, iz poznatih ili manje poznatih razloga. Jedan od prvih požara na električnom automobilu na baterijski pogon (BEV) koji se masovno proizvodio bio je požar na vozilu Tesla Model S, koji se dogodio 2. oktobra 2013. godine na autoputu u saveznoj državi Vašington. Do požara je došlo usled direktnog kontakta metalnog fragmenata sa jednim od 16 litijum-jonskih baterijskih modula.¹ I pored toga, električna vozila (EV) poslednjih godina doživljavaju značajnu ekspanziju na globalnom tržištu. Elektrifikacija vozila je od ključnog značaja za transformaciju transportnog sektora ka ekonomiji sa nultom emisijom i niskim nivoom ugljenika, uz istovremene ekonomske i ekološke koristi Wellten, Angelis, da Silva, 2025 (1). Ovaj rast prati i povećana pažnja prema sigurnosnim aspektima njihove tehnologije, posebno prema litijumskim baterijama koje predstavljaju srce pogonskog sistema EV-a. U poređenju s vozilima s unutrašnjim sagorijevanjem (ICE), EV zahtijevaju potpuno novi pristup razumijevanju rizika od požara. Dok su ICE požari često rezultat curenja goriva, kratkih spojeva ili visokih temperatura motora, EV požari proizlaze iz visokoenergetskih hemijskih reakcija unutar baterijskih ćelija. Zbog svoje visoke energetske gustine i dugog veka trajanja, litijumske baterije (LIB) dominiraju tržištem baterija, a očekuje se da će potražnja potrošača za električnim vozilima pokretanim LIB baterijama nastaviti snažno da raste i u narednoj deceniji. Međutim, hemijski sastav koji se koristi u LIB baterijama i dalje je podložan pojavi termičkog razbuktavanja, naročito u otežanim radnim uslovima. Štaviše, kako se LIB tehnologija razvija ka većim nivoima snage i energije, bezbednosni problemi postaju najkritičnija tačka njihove primene u električnim vozilima. Njihov kvar može dovesti do oslobađanja toksičnih gasova, požara, pa čak i eksplozija, što može izazvati katastrofalnu štetu po ljudske živote i imovinu Zhang, Xu, 2020 (2). Kako obezbediti mesto rada sa ovom kategorijom vozila? Šta se dešava kada dođe do "paljenja" jedne takve baterije? Na koji način može da se ugasi taj požar? Šta su izazovi sa stanovišta vatrogasaca koji pristupaju gašenju ovih požara? Na koji način mogu da se zaštite od posledica jednog takvog požara, kako sami vatrogasci tako i korisnici tih vozila i uže ili šire okruženje? Da li raspoložemo sa dovoljno znanja i usvojenih procedura koje nam omogućavaju brzo, kvalitetno a pre svega bezbedno stavljanje ovih požara pod kontrolu? Sve su to dileme na koje ćemo pokušati da damo odgovore kroz ovaj rad.

OSNOVNI POJMOVI O VOZILIMA I BATERIJAMA

Za početak bi smo trebali da se upoznamo sa osnovnim karakteristikama hibridnih i električnih vozila. Prva hibridna vozila razvijena su u zemljama koje danas nisu vodeće u automobilskoj industriji, poput Belgije i Austrije. Jedno od prvih hibridnih vozila bio je Lohner-Porsche, kojeg je 1901. konstruirao Ferdinand Porsche. U normalnoj vožnji benzinski motor punio je baterije, dok su pri većim naprezanjima, poput uspona, oba motora radila zajedno. Elektromotori su bili smešteni u točkovima.² Elektromotor se uglavnom koristi za gradsku

¹ Tesla Says Car Fire Started in Battery. Available online: <https://wheels.blogs.nytimes.com/2013/10/02/highway-fire-of-tesla-model-s-included-its-lithium-battery/> (pristupljeno 02.01.2026.).

² Lohner-Porsche-Real Story, dostupno na: <https://www.google.com/search?q=Lohner-Porsche-Real+Story&oeq=Lohner-Porsche-Real+Story&gs> (pristupljeno: 27.12. 2025).

vožnju, dok se motor s unutrašnjim sagorevanjem (benzinski ili dizelski) koristi za međugradsku vožnju. Kada govorimo o hibridnim vozilima obično govorimo o podeli na dve osnovne kategorije: polu-hibride (eng. Mild hybrid) i potpune hibride (eng. Full hybrid). Kod delimičnih hibrida elektromotor služi samo kao pomoć motoru s unutrašnjim sagorevanjem. Dodatna snaga koju on razvija je manja, pa je zbog toga i ušteda goriva manja. Sa druge strane potpuni hibrid omogućava vožnju pogonjenu samo elektromotorom. Razlog kupovine hibridnog vozila kod većine kupaca je njihova najveća prednost, tj. jako niska potrošnja goriva u odnosu na vozila bez hibridnog sistema. Nasuprot hibridnim modelima sve više se koriste i klasična električna vozila.

Prvi električni automobil konstruisao je Robert Anderson još 1832. godine.³ Električni automobil definiše se kao vozilo koje se pokreće elektromotorom koristeći električnu energiju spremljenu u akumulatoru ili drugim uređajima za čuvanje električne energije. Često se može čuti da su električni automobili naša budućnost i sve veći broj vozača već i prelazi na delimično ili potpuno električna vozila. Međutim, kao i svako drugo vozilo tako i električno vozilo ima svoje prednosti i mane. Prednosti električnih automobila su izvesne: nema neugodnih mirisa koji nastaju tokom eksploatacije vozila, troškovi održavanja su niži nego kod automobila koji se pokreću uz pomoć bentina ili dizela, omogućava mirnu i tihu vožnju i trenutno ubrzanje, kod značajnog broja država prisutne su i subvencije prilikom kupovine. Sa druge strane, ova kategorija vozila ima i svoje nedostatke. Neki od njih su: cena električnog vozila je u samom startu značajno veća od vozila s benzinskim ili dizel motorom, cena električne energije je sve veća što takođe postaje problem jer ekonomičnost više nije tako izražena u korist električnih automobila. U zimskim uslovima performanse baterija su manje. Takođe, kod velikog broja nerazvijenih zemalja i zemalja u razvoju javlja se ozbiljan problem koji se tiče nedovoljne i komplikovane infrastruktura za punjenje što predstavlja ozbiljan problem za povećavanje učešća električnih automobila u ukupnoj prodaji vozila. Kada govorimo o baterijama, moramo na umu imati neke osnovne informacije. Baterijski sistem električnog vozila osmišljen je za napajanje elektromotora koji pogoni električno vozilo. U prošlosti su električni automobili koristili nikal-metal-hibridne baterije, koje su imale sklonost samopražnjenja pri višim temperaturama. S vremenom su ovu zastarjelu vrstu baterija zamijenile litij-ionske baterije koje imaju veću gustoću energije, duži vek trajanja i veću gustoću snage. Ipak, korišćenje litij-ionskih baterija nosi sa sobom izazove vezane uz sigurnost, trajnost i troškove, pa se za bezbedan rad moraju koristiti unutar raspona sigurne temperature i napona. Kako se litij-ionske baterije postupno poboljšavaju, tako se povećava i prodaja električnih vozila širom svijeta. Zbog male zapremine baterijskog odeljka kod mobilne opreme za skladištenje energije i velike potrebe za energetsom efikasnošću, dizajn sistema za termičku zaštitu i kontrolu ima određena ograničenja Tan, Ren, Tian Ma, Wang, Zhang, 2025 (3). Tipovi baterija koje se najčešće koriste u električnim vozilima su: olovne, nikal-kadmij baterija (NiCd), nikal-metalhidrid baterija (NiMh) i Litij-ion baterija (Li-ion) Muslimin, Nawawi, Suprpto, Dewi, 2022 (4). Svaki od navedenih tipova baterija ima prednosti i mane. Tako olovne baterije po svojim karakteristikama su robusna i ekonomične, ali ima nisku specifičnu energiju i ograničen broj ciklusa punjenja i pražnjenja. U režimu rada gdje se prazne velikim strujama, njihov vek trajanja znatno se smanjuje, a pri niskim temperaturama kapacitet im takođe naglo opada. Za razliku od njih nikal-kadijumske baterije koristi se kada je potrebna velika struja pražnjenja i otpornost na ekstremne temperature. Ova je baterija poznata po svojoj robusnosti i izdržljivosti te omogućuje vrlo brzo punjenje uz minimalni stres na bateriju. Glavni nedostatak ove baterije je to što je kadmij vrlo otrovan i opasan, te se danas zbog ekoloških razloga sve više zamjenjuje drugim materijalima. Nikal-metalhidrid bateriji se pojavila kao zamena je za NiCd jer ima samo blago toksične metale i osigurava veću specifičnu energiju. Međutim, veliki problem ove vrste baterije je relativno kratak vijek trajanja. Na kraju, dolazimo i do Litij-ion baterije. Reč je o baterijama koje su lakše i sa velikom gustoćom snage te imaju dugi vek trajanja i veliki kapacitet, i zbog toga su skuplje od ostalih vrsta baterija. Ono što predstavlja problem kod ove baterije se tiče zaštite njenih elektronskih komponenti i stvaranja stanja u kojima postoji mogućnost pojave požara. Analiza načina, mehanizama i posledica otkaza (FMMEA) obezbeđuje rigorozan okvir za definisanje načina na koje litijum-jonske baterije mogu da otkazu, kako se otkazi mogu detektovati, koji procesi ih uzrokuju i kako se mogu modelovati radi predviđanja otkaza Hendricks, Williard, Mathew, Pecht, 2015 (5).

UPRAVLJANJE RIZIKOM PRI RADU SA VOZILIMA SA ELEKTRIČNIM I HIBRIDNIM VOZILIMA

Rizik je sastavni deo svih naših aktivnosti i visina rizika može varirati u zavisnosti od karakteristika samog proizvodnog procesa. Jedna od osnovnih mera bezbednosti i zdravlja na radu polazi od potreba da se pristupi izradi akta o proceni rizika sa težnjom da se prepoznaju sve potencijalne opasnosti ili štetnosti koje mogu da ugroze ljudski život. Kada govorimo o elektro vozilima pre svega postoji mogućnost kontakta sa visokim naponom električne energije. Električni pogonski sklopovi električnih vozila imaju zadatak da pretvore

³ <https://elektriciiautomobil.rs/prvi-elektricni-automobil/>, pristupljeno 31.12.2025.godine

električnu energiju u mehaničku, dok tradicionalni pogonski sklopovi sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (ICE) pretvaraju hemijsku energiju uskladištenu u gorivu u mehaničku energiju.

Opasnosti koje proizilaze iz visokog napona i velike snage, poput strujnog udara, svakako su značajne kako za putnike tako i za vozače. Pored toga, požari baterija i problemi sa bezbednošću pri sudaru smanjuju tržišno interesovanje sa električnih vozila. Osim potrošača, stručnjaci i inženjeri iz oblasti električnih vozila neprestano istražuju nove tehnologije i kreiraju savremene propise kako bi unapredili nivo bezbednosti vozila. Hibridni i BEV (električna vozila na baterije) obično rade sa naponima akumulatora od 300v DC do 600v DC - sve iznad 120v DC je klasifikovano od strane odgovornih lica za bezbednost i zdravlje na radu kao "visok rizika" i može izazvati ozbiljne povrede ili čak smrtne slučajeve Tompkins, Pam., 2024 (6). Osnovno pravilo je da se bilo kakav rad izvodi na visokonaponskom (HV) sustavu koji je bez napona kod hibridnih i električnih vozila. Da bi struja prolazila kroz telo tokom rada na električnom ili hibridnom vozilu, telo mora istovremeno doći u kontakt s oba priključka izvora napona što se u normalnoj eksploataciji teško može desiti. Visine napona u tim vozilima obično su mnogo veće nego u kućnim utičnicama, a kako u vozilima ne postoji zaštita u obliku FID/uzemljnog zaštitnog prekidača, rizik od povreda zbog prolaska struje kroz telo je značajno veći. Kada uzmemo u obzir zabrinutost za bezbednost radnika koji obavljaju različite aktivnosti sa ovom kategorijom vozila, važno je sagledati celu sliku i podeliti "hibridnu i BEV bezbednost" u četiri odvojene kategorije:

- Bezbednost radionice
- Bezbednost vozila
- Lična bezbednost
- Visokonaponski alati i oprema za ispitivanje

Kada govorimo o bezbednosti samog radnog prostora u okviru koga se pristupa servisiranju ili popravci ove kategorije vozila moramo povesti računa o sledećim stvarima. Pre svega, radni prostor mora biti obezbeđen od pristupa trećih lica. U tom radnom prostoru moraju postojati oznake i bezbednosne barijere koje upozoravaju sve one koji se nalaze u tom prostoru da postoji opasnost od visokog napona kao na slici.

SLIKA br.1 – PRIMER OBEZBEĐIVANJA RADNOG PODRUČJA PRILIKOM RADA NA DELOVIMA HV SITEMA KOJI SU POD NAPONOM



Izvor: https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/209-093_ENG.pdf

Što se tiče bezbednosti vozila svaki serviser koji pristupa servisu ili popravci vozila mora biti svestan rizika i potrebnih mera koje treba preduzeti da bi mogao obaviti definisani posao na bezbedan način. Za početak, potrebno je povesti računa o kategoriji samih vozila. PHEV (Plug-in električna vozila) i BEV će obično imati neki oblik "izolatora" - prekidača, poznatiji kao MSD (ručni servis isključivanje) prekidač, koji treba ukloniti pre nego što se bilo kakav posao obavlja na vozilu. Ovaj prekidač treba da stvori efekat izolacije visokonaponske baterije od ostatka vozila. Međutim, važno je da drugi tehničari u radionici budu svesni da je ovo vozilo visokog napona, i ne pokušavajte da pokrenu, ili pomere vozilo. Stoga treba koristiti odgovarajuće sisteme za zaključavanje i identifikaciju (na primer, znakove upozorenja, brave, itd.) Todorović, Palić, 2025 (7). MSD treba čuvati na sigurnom mestu, kako bi se izbegao rizik da ga neko slučajno ponovo montira dok tehničar radi na vozilu. Kada se MSD ukloni, visokom naponu će trebati neko vreme da se „isprazni“. Upotreba odgovarajućeg testera "odsustva napona" za verifikaciju nedostatka napona je od suštinskog značaja pre početka bilo kakvog posla, zajedno sa odgovarajućim izolacionim materijalima za zaštitu visokonaponskih kola.

Lična bezbednost je pružanje zaštite tehničaru koji radi na vozilu i obuhvata odgovarajuću ličnu zaštitnu opremu kao što su odgovarajuće izolacione rukavice i štitnik za lice koji treba nositi kako bi se zaštitio od curenja visokog napona i rizika od bljeska luka. Ako radite na visokonaponskoj bateriji i / ili kolima, može biti potrebna dodatna specijalistička zaštita jer će tehničar sada raditi u živom visokonaponskom okruženju. Ova vrsta alata i oprema ima specifične standarde za testnu opremu koja će se koristiti u visokonaponskom okruženju. Ovo je poznato kao CAT standard, minimum CAT III 600v, ili CAT IV 1000v je potrebno kako bi se

osiguralo da su testni alati su pogodni i bezbedni za rad na visokonaponskim sistemima. Ručni alati moraju biti u potpunosti testirani i izolovani prema IEC 60900: 2012 standardima, i nose međunarodne simbole za visokonaponske alate.

Tipični alati koji su potrebni će uključivati setove utičnica, ključeve, odvijače, alate za obrtni moment i šesterougane i Tork ključeve - iako će većina proizvođača vozila koristiti samo ograničen izbor veličina svakog. Potrebno je razdvojiti rad na bateriji koja je pod stalnim naponom od rada na elektronici koja u slučaju odvajanja baterije, ostaje bez napona, pa se primjenjuju standardne mere zaštite.

OPASNOSTI I ŠTETNOSTI PRI RADU SA HIBRIDNIM I ELEKTROAUTOMOBILIMA

Kada govorimo o osnovnim opasnostima i štetnostima koje nastaju kao sastavni deo rada sa hibridnim i električnim vozilima prema regulativama Ujedinjenih nacija, bezbednosne odredbe za električna vozila treba da obuhvate električnu bezbednost tokom normalne i svakodnevne upotrebe i nakon saobraćajnih nezgoda. Teme koje se odnose na „normalnu upotrebu“ uključuju: zaštitu od strujnog udara, bezbednosne zahteve za punjive izvore energije, funkcionalnu bezbednost i zaštitu od kvarova. Kada govorimo o temama koje se odnose na „period posle sudara“ one uključuju: električnu izolaciju i zaštitu od strujnog udara, integritet baterije, postupke pražnjenja elektroenergetskih komponenti. Da bi smo smanjili efekte potencijalnih opasnosti i štetnosti koje mogu nastati tokom upotrebe ove kategorije vozila, moramo da se upoznamo sa svim problemima električne bezbednosti kod električnih vozila. Suštinski, kada govorimo o opasnostima i štetnostima koje nastaju pri potencijalnom kontaktu sa baterijama, sve opasnosti možemo grupisati u nekoliko osnovnih grupa. Pre svega, postoji izvesna opasnost od potencijalnog strujnog udara. Naponi koji se koriste u električnim vozilima (mogu biti potencijalno) su opasni. Delovi pod naponom koji su deo električnog pogonskog sistema moraju biti zaštićeni od direktnog kontakta sa osobama u vozilu ili izvan njega, putem izolacije ili nepristupačnog položaja. Uklanjanje zaštitnih uređaja i otvaranje vrata ili zaštitnih poklopaca koji omogućavaju pristup opremi pod naponom treba da bude moguće samo uz korišćenje alata ili specijalnih ključeva. Problem indirektnog dodira usko je povezan sa oštećenjima karoserije vozila. Svaka sekundarna veza između pogonskog kola i vozila smatra se greškom. Greške na karoseriji mogu dovesti do više opasnosti, kao što su kratki spoj, električni udar ili nekontrolisan rad sistema. Tri glavne mere su sledeće: zaštita od direktnog kontakta, zaštita od indirektnog kontakta sa izloženim provodnim delovima i izolaciona otpornost. Baterija je najkritičniji deo električnih vozila. Ona predstavlja više potencijalnih opasnosti: električne, mehaničke, hemijske, kao i opasnost od eksplozije. Električni aspekti obuhvataju zaštitu od električnog udara i kratkog spoja. Zbog toga je potrebno obezbediti zaštitne uređaje – osigurače baterije. Takođe, odeljak u kojem se nalaze baterije mora biti konstruisan tako da spreči svaki nenamerni direktni kontakt ili kratki spoj između delova baterije i karoserije automobila. Što se tiče mehaničkih aspekata, pošto je baterija težak deo, njen položaj mora biti definisan tako da se izbegne nestabilnost vozila, kao i da se ograniči mogućnost oštećenja u slučaju nezgode. Opasnosti sa hemijskog aspekta zavise od tipa baterije, a za svaki tip propisani su posebni načini rukovanja i reciklaže. Baterije sa vodenim elektrolitom emituju vodonik usled elektrolize elektrolita. Ovo se naročito dešava na kraju procesa punjenja, pa je potrebno preduzeti odgovarajuće mere kako bi se izbegao rizik od eksplozije. Tokom procesa punjenja baterije, električno vozilo je povezano na glavnu distributivnu mrežu i moraju se preduzeti sve mere predostrožnosti da bi se izbegao rizik od električnog udara Kiosevski, Kostikj, Kochov, 2017 (8). Unutrašnji otpor (IR) je jedan od važnih parametara koji odražavaju bezbednost baterije, jer veći, abnormalni unutrašnji otpor dovodi do povećanog generisanja toplote i olakšava prelazak baterije u kritično stanje termičkog rasplamsavanja (thermal runaway) Deng, ZhangWang, Zhou and Liu, 2023 (9). Glavni zahtev u vezi sa prevelikom strujom je jednostavno taj da sistem za skladištenje punjive energije „ne sme da se pregreje“. Zbog tog je baterija opremljena sa elektronikom koja prati temperaturu iste i koja uključuje ventilatore za rashladjivanje, tako da visoke vanjske temperature produžuju vrijeme punjenja baterije. Međutim, ukoliko ipak može doći do pregrevanja, sistem mora biti opremljen nekim zaštitnim uređajem, kao što su osigurači, prekidači ili glavni kontaktori. Do požara, koji je nastaje unutar same baterije dolazilo je najčešće zbog neresenih tehničkih problema. U poslednje vreme je takva vrsta požara dosta retka.

Na kraju, kada govorimo o funkcionalnoj bezbednosti i zaštita od kvarova, ona se odnosi na ukupnu bezbednost sistema i naročito je važna kod složenih sistema zasnovanih na softveru. Električna vozila obično zahtevaju veću upotrebu distribuiranih upravljačkih sistema nego konvencionalna vozila, pri čemu ti sistemi mogu biti visoko integrisani. Međutim, ovde fokus nije na tim složenim električnim i elektronskim sistemima, već na mogućnosti neočekivanog pokretanja vozila, do kog može doći zato što vozači (ili druge osobe) nisu svesni da je vozilo u aktivnom režimu. EV vozila mogu predstavljati određene funkcionalne bezbednosne rizike, naročito u vezi sa bezbednim upravljanjem pogonskim sklopom od strane vozača. Da bi se sprečilo nenamerno pokretanje vozila

aktiviranjem pogonskog kola, neophodno je postojanje uređaja za upozorenje. Kada govorimo o sigurnosti posle udesa, jasno je da sudar može ugroziti mere električne bezbednosti i povećati rizik od strujnog udara.

Na primer, električna izolacija može biti narušena, pa može doći do toga da i pozitivna i negativna strana strujnog kola dođu u kontakt sa karoserijom vozila. Ako bi neko od putnika dodirnuo karoseriju u takvoj situaciji, postao bi deo visokonaponskog strujnog kola i doživeo strujni udar. Teoretski postojala bi mogućnost da putnik doživi strujni udar ali je mala verovatnoća da to može da se desi. Međutim, verovatno je da će većina električnih vozila biti opremljena uređajem koji u slučaju sudara automatski isključuje sistem za skladištenje energije iz visokonaponskog kola. Ovo se obično postiže povezivanjem sistema sa senzorima sudara koji se koriste za aktiviranje zatezača pojaseva i vazdušnih jastuka. Isključivanje sistema za skladištenje energije iz ostatka visokonaponskog kola smanjuje rizik od strujnog udara tokom i nakon sudara. Takođe je od ključne važnosti da sistem za skladištenje energije ne bude oštećen na način koji može dovesti do požara ili eksplozije.

Pored toga, pražnjenje energije uskladištene u visokonaponskoj energetskej elektronici (npr. DC sabirnički kondenzator i vučni motor) je neophodno radi bezbednog rukovanja i zbrinjavanja vozila nakon nezgode.⁴

Uklanjanje teško oštećenih HV vozila i izdvojenih HV baterijskih sistema mora se obavljati odgovarajućim alatom i uz korišćenje odgovarajuće lične zaštitne opreme (zaštita lica, po potrebi respiratorna zaštita, zaštitne rukavice za rad na delovima pod naponom). Svaki poslodavac koji poseduju ovu vrstu vozila kao i druge institucije koje su odgovorne za gašenje požara (vatrogasci) bi trebalo da imaju pripremljen plan evakuacije i postupanja u vanrednim situacijama u slučaju ozbiljne i neposredne opasnosti kao postupka evakuacije u slučaju teške povrede zaposlenog. Gde god je moguće da dođe do potencijalnog problema potrebno je da imamo na raspolaganju defibrilator (AED) i odgovarajući broj radnika koji će biti osposobljeni za korišćenje te opreme za oživljavanje radnika koji su doživeli strujni udar. Da bi smo sve aktivnosti kod ovih automobila obavili na bezbedan način potrebno je da se pridržavamo nekoliko kategorija ključnih pravila⁵.

Pravilo br.1 podrazumeva potpuno isključivanje napajanja vozila. To podrazumeva da se pre svega urade sledeće aktivnosti: isključiti paljenje vozila (kontakt); izvaditi servisni utikač / isključiti glavni prekidač baterije; ukloniti osigurače; aktivirati uređaj za isključenje tako što se izvadi utikač međuzavisne / pilotske / nadzorne brave; isključiti 12 V akumulator vozila kod nekih hibrida; isključiti vozilo sa mrežnog napajanja (npr. izvući kabl punjača), sprovesti vođenu proceduru izolacije putem dijagnostičkog uređaja. **Pravilo 2** polazi od potreba da se obezbedi zaštita od ponovnog uključenja, da se ukloni ključ za paljenje i spreči neovlašćeni pristup ključu, da se servisni utikač odloži tako da bude zaštićen od neovlašćenog pristupa / obezbediti glavni prekidač baterije od ponovnog uključenja, na primer pomoću brave ili poklopca koji je zaključan. **Pravilo 3** podrazumeva da se utvrdi da li je instalacija osim baterije bez napona. U tu svrhu je potrebno koristiti odgovarajući ispitivač napona kako bi se proverilo da sistem nije pod naponom (npr. dvopolni ispitivač napona). Preostali napon može biti prisutan čak i kada je HV napon isključen. Stanje bez napona HV sistema uvek mora biti provereno pre početka rada. Bitno je naglasiti da se pri postupku provere stanja bez napona moraju se poštovati uputstva proizvođača vozila. Moraju se koristiti odgovarajući ispitivači napona ili merni uređaji koje je odobrio proizvođač. **Pravilo 4** definiše da je potrebno obezbediti zaštitu od susednih delova pod naponom pomoću poklopca ili barijera. HV sistem se obično potpuno izoluje pre početka rada na HV komponentama. Međutim, kada je rad na delovima koji su pod naponom ipak neophodan (npr. tokom otklanjanja kvara), izloženi delovi pod naponom na kojima se ne radi moraju biti prekriveni, na primer zaštitnim navlakama u skladu sa DIN EN 61112.

PROCENA RIZIKA I MERE ZA BEZBEDAN RAD

Geeneralno, kada govorimo o kreiranju nebezbednih stanja koja mogu da se manifestuju kroz stvaranje uslova za dešavanje povreda na radu, svako od nas treba da se zapita šta su to naše odgovornosti i šta svako od nas može učiniti da se takvo stanje izbegne. To je osnovni postulat bezbednosti i zdravlja na radu i tek kada postanemo toga svesni možemo očekivati stvaranje bezbednijeg okruženja. Nova zakonska i podzakonska akta jesu potreban ali ne i dovoljan uslov koji će stvoriti preduslove za sigurnije okruženje Todorović, Hadžić, Živković, 2018, (10). Upravo zbog toga trebamo insistirati na odgovornosti svakog pojedinca i menjati njegovu bezbednosnu kulturu Todorović, Živković, Rađenović, 2025 (11). Kada govorimo o izazovima koji se tiču rada sa električnim automobilima situacije nije ništa drugačija nego kao i kod nekih drugih aktivnosti. Samo je pitanje vrste rizika, njihove visine i obuhvata potrebnih mera za bezbedan rad koje bi trebalo da pomognu u procesu stvaranja bezbednog okruženja. Za početak treba da se podsetimo da je svaki poslodavac dužan da organizuje proces rada na način da smanji mogućnost i verovatnoću za dešavanje povreda na radu Živković, Todorović,

⁴ https://livrepository.liverpool.ac.uk/3076191/1/201126249_Nov2019.pdf, pristupljeno 28.12.2025.godine

⁵ https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/209-093_ENG_pristupljeno_02.01.2026.godine

2016, (12). Sve aktivnosti koje se tiču obuka za bezbedan rad se organizuju i sprovode na osnovu Akta o proceni rizika.

Govorimo o dokumentu koji je na sistematičan način identifikuje sve potencijalne opasnosti i štetnosti, definiše odgovarajuće mere za bezbedan rad. Ovde je bitno naglasiti važnost uloge neposrednog rukovodioca koji kroz redovne aktivnosti radi na povećavanju znanja i svesti radnika o potencijalnim opasnostima i štetnostima.

U procesu promene organizacione kulture menadžment igra značajnu ulogu. Pošto je svaki pojedinac društveno biće sa sopstvenim uverenjima i vrednostima, neophodno je da se one identifikuju kod svakog zaposlenog. Tek nakon toga je moguće odrediti kako treba delovati i koje su praktične koristi u slučaju promene određenih vrednosti i ponašanja zaposlenih. Međusobna interakcija aktivnosti koje dovode do prilagođavanja okruženju, s jedne strane, i promene unutrašnjih organizacionih vrednosti, s druge strane, proizvodi i pozitivna i negativna rešenja Todorović, Rađenović, Vasović, Vranjac, 2023 (13). U tom smislu je za početak bitno naglasiti da pre svega treba jasno definisati radni zadatak i postupke koji će se primenjivati tokom rada. Pre izvršavanja definisanih radova potrebno je kroz kretak sastanak sa radnicima proći kroz aktivnost, rizike, mere za bezbedan rad, vrstu lične zaštitne opreme koja treba da se koristi tokom rada. Ova vrsta aktivnosti zahteva uključivanje svih radnika i ne sme da bude samo dnevna rutina. Bez jasne percepcije da je radnik u velikoj meri odgovoran za svoj siguran rad, ne može se očekivati veliki pomak u procesu smanjivanja broja smrtnih i teških povreda na radu. Kada govorimo o merama za bezbedan rad pri servisiranju električnih vozila, u narednoj matrici ćemo prikazati osnovne opasnosti kao i mere za bezbedan rad u odnosu na prepoznate opasnosti, u delu koji se tiče specifičnosti rada sa vozilima sa visokim naponom.

TABELA br.1 – PREGLED POTENCIJALNIH OPASNOSTI I MERA ZA BEZBEDAN RAD

Rb	Vrste opasnosti usled neodgovarajućeg postupanja sa električnim vozilima	Mere za bezbedan rad
1.	Nepravilno postupanje ili greške usled nedovoljne stručnosti u rukovanju HV vozilima	Priprema uputstava za rad u vezi sa rukovanjem HV vozilima na osnovu proizvođačevog uputstva za upotrebu. Obuka zaposlenih na osnovu pripremljenih uputstava za rad. Rukovanje vozilima koja su učestvovala u nezgodi mora se posmatrati odvojeno.
2.	Električni udar i električni luk usled kvara (na HV sistemima), kratak spoj	Specifikacije proizvođača moraju se poštovati prilikom rada na vozilu. Tokom neelektričnih radova na vozilu, potrebno je proveriti da li se u zoni rada nalaze HV-komponente; ukoliko se nalaze, HV sistem mora biti doveden u stanje bez napona. Rad na HV sistemu mogu obavljati samo zaposleni koji poseduju potrebnu stručnost, ili pod nadzorom i kontrolom takvih zaposlenih. Obeležavanje vozila opremljenih HV komponentama, npr. Znakom za upozorenje na opasni električni napon. Obeležavanje radne zone tokom električnih radova na HV sistemu. Vizuelni pregled HV komponenti radi utvrđivanja spolja vidljivih oštećenja. Rad na HV sistemu sme se obavljati samo kada je HV sistem doveden u stanje bez napona i nakon primene 4 sigurnosna pravila: potpuno isključiti instalaciju; osigurati protiv ponovnog uključivanja; proveriti da je instalacija bez napona; obezbediti zaštitu od susednih delova pod naponom poklopcima ili barijerama. Prva tri pravila moraju uvek da se primenjuju a preostala dva u skladu sa instrukcijama proizvođača automobila
3.	Požar i deflagracija izazvani nepropisnim rukovanjem, termičko razbuktavanje	Rukovanje i skladištenje litijum-jonskih baterija u skladu sa specifikacijama proizvođača i uz poštovanje važećih propisa o zaštiti od požara. Obezbeđivanje bezbedne parking-zone za vozila učestvovala u nezgodi, kod kojih je stanje baterije neizvesno. Izrada koncepta rukovanja baterijama sa neizvesnim stanjem. Standardni ABC aparati pomažu samo kod okolnog požara, ne i samog runaway-a. Kontrolisati vozilo više sati nakon gašenja zbog rizika ponovnog paljenja. Ne dirati oštećene baterije. Prije rada deaktivirati/izolirati visokonaponski sistem prema uputama proizvođača. Koristiti PPE: izolacione rukavice, zaštitne naočare, odeću bez metala. Održavati bezbednu udaljenost od baterijskog sistema. Ne oštećivati kućište baterije i izbegavati mehaničke udare, koristiti namenski aparati za gašenje požara ove vrste baterija
4.	Hemijske štetnosti	Koristiti PPE: izolacione rukavice, zaštitne naočare, ventilacija ako govorimo o zatvorenom radnom prostoru, izrada i primena odgovarajućih procedura saglasno uputstvu proizvođača
5.	Nekontrolisano pokretanje vozila i manipulacija sa baterijama	Pre servisa vozilo mora da se obezbedi od nekontrolisanog pomeranja uz upotrebu podmetača, vozilo se mora isključiti uz obaveznu kontrolu ključeva. Manipulacija sa baterijama podrazumeva upotrebu PPE kao i upotrebu mehanizovanih sredstava kad je god to moguće za manipulaciju sa baterijama, dizanje tereta u paru sa drugim radnikom

Generalno, kada govorimo o radu sa ovom kategorijom vozila, osnovno pravilo je rad u beznaponskom stanju na ostatku sistema bez baterije.

Međutim, ako isključenje nije moguće, baterije tada se mogu preduzeti i neke druge tehničke mere, korišćenje odgovarajuće zaštitne opreme koja je navedena od strane proizvođača vozila. Kada ni te mere ne mogu da smanje rizik od povređivanja, onda se pristupa definisanju i korišćenju odgovarajuće lične zaštitne opreme. Pored toga, veoma je važno da osobe koje rade u kontaktu sa ovom vrstom automobila imaju završenu odobrenu obuku iz reanimacije (AED) i da je defibrilator dostupan na svakom radnom mestu.

ZAKLJUČAK

Na kraju moramo konstatovati da apsolutne sigurnosti pri radu elektro i hibridnim vozilima nema. Evidentno je da određeni rizici postoje i da su veći od rizika na klasičnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. Međutim, kada sagledamo šta su sve benefiti upotrebe ove kategorije vozila u odnosu na „klasična“ vozila jasno je da ova kategorija verovatno nema alternativu. U jednom takvom ambijentu poseban naglasak mora da se stavi na odgovarajuću edukaciju, kako korisnika ovih vozila tako i svih nadležnih službi koje se angažuju u akcidentnim situacijama. Za svaku situaciju koja može da se pojavi u servisu mora postojati jasan plan postupanja i svi radnici moraju biti upoznati sa njim. Pre početka rada, serviseri moraju da prođu detaljne treninge i budu spremni za sve izazove koji mogu da se pojave tokom rada. Posebnu pažnju treba pokloniti organizaciji i uređenju radnog prostora. Dobro organizovan prostor, poštovanje jasnih procedura od strane proizvođača vozila, u velikoj meri može da spreči pojavu akcidentnih situacija. Kada govorimo o alatu i opremi koja se koristi, s obzirom na mogućnost pojave visokog napona i rada u takvom okruženju, redovan pregled i kontrola alata treba da bude polazna aktivnost na dnevnom nivou. Kada govorimo o načinu postupanja u slučaju požara, neophodno je da se ustanove jasne procedure i planovi za postupanje u situacije kada dođe do požara. Za sve radnike koji mogu da se nađu u takvom okruženju neophodno je obezbediti odgovarajuću ličnu zaštitnu opremu. Ovaj rad je deo istraživanja urađenog u okviru Bilateralnog projekta Slovenija – Srbija (br.337-00-110/23-05/52) koji je podršalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije u skladu sa sporazumom br.451-03-137/2025-03/200148.

LITERATURA

- (1) Johan Wellten, Jannis Angelis, Elias Ribeiro da Silva, 2025, Enabling a viable circular ecosystem for electric vehicle batteries, Technological Forecasting and Social Change, Volume 210,123876, ISSN 0040-1625
- (2) Zhang H, Xu K (2020). Fire Risk Quantification in Lithium-Ion Vehicle Batteries. Safety Science. 135: 14–29.
- (3) Wei Tan, Long-Bo Ren, Tie Tian, Ke Ma, Su-Lei Wang, Zhi-Yong Zhang, (2025), Thermal runaway propagation and suppression in mobile energy storage lithium battery module, Journal of Energy Storage, Volume 131, Part B,
- (4) Selamat Muslimin, Zainuddin Nawawi, Bhakti Yudho Suprpto, Tresna Dewi, 2022, Comparison of Batteries Used in Electrical Vehicles, <https://www.atlantispress.com/proceedings/first-t1-t2-21>, ISBN 978-94-6239-535-0
- (5) Christopher Hendricks, Nick Williard, Sony Mathew, Michael Pecht, (2015), A failure modes, mechanisms, and effects analysis (FMMEA) of lithium-ion batteries, Journal of Power Sources, Volume 297, Pages 113-120,
- (6) Tompkins, Pam., 2024, "High-Voltage Electric Safety: Safety Precautions for Working On or Near High-Voltage Power Lines." Paper presented at the ASSE Professional Development Conference and Exposition, Las Vegas, Nevada
- (7) Todorović, M., Palić, N., (2025): Uređaji i sistemi zaštite, Ceps, Kiseljak, Bosna i Hercegovina
- (8) A Stevan Kioseviski, Prof. Aleksandar Kostikj, Atanas Kochov; 2017; International Scientific Journals of Scientific Technical Union of Mechanical Engineering "Industry 4.0", Vol. 2 (2017), Issue 1, pg(s) 37-40
- (9) D. Li, J. Deng, Z. Zhang, Z. Wang, L. Zhou and P. Liu, 2023, "Battery Safety Risk Assessment in Real-World Electric Vehicles Based on Abnormal Internal Resistance Using Proposed Robust Estimation Method and Hybrid Neural Networks," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 38, no. 6, pp. 7661-7673
- (10) Todorović, M., Hadžić, S., Živković, S., (2018): Managing work safety by analysing injuries at work, INTERNATIONAL Conference of the Series Man and Working Environment (18 ; 2018 ; Niš),
- (11) Todorović, M., Živković, S., Rađenović, T., (2025), Stanje bezbednosti kroz analizu povreda na radu, VI konferencija Bezbednost i zdravlje na radu sa zdravstveno-medicinskog i tehničko bezbednosnog aspekta, zaštita životne sredine i zaštita od požara, Beograd
- (12) Živković, S., Todorović, M. (2016): Organizational culture and its importance on safety management – Comparison of the research results in Serbia, Russia and Slovenia, Lambert Academic Publishing

(13) Todorović, M., Rađenović, T., Vasović, D., Vranjac Ž., (2023), Challenges in the implementation of the new law on occupational safety and health, The 20th International Conference "Man and Working Environment" (SEM-SIE 2023), University of Niš, Faculty of Occupational Safety