

Gašenje požara električnih automobila

Extinguishing fires in electric cars

Marijan Šipuš, dipl. ing.

SAŽETAK

U ovom članku prikazani su rezultati istraživanja iz stručne literature o vatrogasnim intervencijama u slučajevima požara na električnim automobilima te pregled trenutne taktike za hitne intervencije. Spomene su potencijalne opasnosti za hitne službe i ukratko predočene informacije o onom što je drugačije u odnosu na konvencionalna vozila te koje su to potrebne taktičke prilagodbe.

Ključne riječi: električni automobili, požari električnih automobila, gašenje požara, opasnost od električne energije.

Summary

This article presents the results of a literature-based study on interventions involving electric cars and provides an overview of the current emergency response tactics. This article explains the potential dangers that face emergency services. It briefly presents information about the differences with respect to conventional vehicles, while enlisting the necessary tactical adjustments.

Keywords: electric cars, fires of electric cars, fire extinguishing, danger of electricity.

UVOD

Introduction

Živimo u vremenu u kojem se svakodnevno događaju razne promjene među kojima su i one koje bi trebale unaprijediti i olakšati život čovjeka. Kako se svijest stanovništva mijenja, tako i električni automobil prolazi kroz razne faze: od komercijalne proizvodnje, dostupnosti svakom čovjeku, preko kratkotrajnog zaborava do ponovnog oživljavanja kroz vrijeme.

Izumljeni su dalekih 1800-ih godina, tj. točnije prvi praktični električni automobil sastavljen je 1835. godine. Nedugo nakon njihova izuma, velik udarac proizvođačima električnih automobila zadao je Henry Ford sa svojim konceptom masovne proizvodnje konvencionalnih benzinskih vozila s čime je uzrokovao smanjenje korištenja

vozila na električni pogon. Na to se nadovezao i razvoj cesta koje su potakle želju za putovanjem na duge relacije i otkriće novih naftnih polja. Cijena goriva je u to vrijeme padala, a benzinskih postaja je svakim danom bilo sve više. Stoga električni automobili tada nisu dugo zaživjeli i polako su pali u zaborav. Tadašnji glavni problem električnih automobila bila je daleko manja autonomija zbog baterija malog kapaciteta i slabo razvijena električna mreža.

U posljednjih 100 godina tehnologija proizvodnje baterija doživjela je mnoge promjene, gotovo svakodnevno svjedočimo novim otkrićima u procesu proizvodnje. Autonomija električnog automobila polako se svakodnevno povećava, a mjesta za punjenje baterija sve je više. Pad cijena električnih vozila te povećanje autonomije i mjesta za punjenje loša su vijest za vozila s motorima na unutarnje izgaranje.

Ozbiljniji interes za električne automobile javlja se tek u ovom stoljeću. Rast cijena nafte i globalno zagrijavanje utjecali su na to da se veliki proizvođači okrenu ekološki prihvatljivijim rješenjima, te su gotovo svi veliki proizvođači automobila već proizveli vlastite električne ili barem hibridne automobile.

Prema navedenom, vidi se da će električni automobili igrati vodeću ulogu u bliskoj budućnosti.

Planet Zemlja pogođena je klimatskim promjenama i negativnim posljedicama korištenja fosilnih goriva pa su električna vozila jedan segment održivog razvoja koji se počinje primjenjivati kako bi se očuvao okoliš i zdravlje ljudi. Zahvaljujući tome, električni automobili imaju potencijal da promijene svijet i to nabolje.

No, uz sve prednosti i pogodnosti, sve veća primjena automobila na električni pogon stvorila je i neočekivane probleme. Ova tehnologija vjerojatno nije opasnija od tehnologije dosadašnjih tipova motora automobila, ali trenutačno postoje vrlo ograničena iskustva u vezi s nesrećama s električnim automobilima, što je tipično za brzi razvoj kojeg presporo prate tehničke norme i obuka timova koji sudjeluju u hitnim intervencijama, prvenstveno vatrogasaca.

AUTOMOBILI POGONJENI ELEKTROMOTOROM “ELEKTRIČNI AUTOMOBILI” - *Electric propulsion cars* - “*Electric cars*”

Električni automobil je automobil koji se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju pohranjenu u baterijama. Navedeni automobili bili su popularni krajem

19. i početkom 20. stoljeća, dok su unapređenja motora s unutarnjim izgaranjem i masovna proizvodnja jeftinijeg vozila na benzin doveli do smanjenja korištenja vozila na električni pogon. Energetske krize 1970-ih i 80-ih dovele su do kratkotrajnog zanimanja za električne automobile, da bi se ponovo sredinom 2000. obnovio interes za proizvodnju ovih automobila.

Isti imaju nekoliko mogućih prednosti u odnosu na konvencionalne automobile s unutarnjim izgaranjem, a to su: značajno smanjenje onečišćenja zraka u gradovima jer ne ispuštaju onečišćenja iz svojih izvora energije tijekom rada, smanjene emisije stakleničkih plinova ovisno o gorivu i tehnologiji koja se koristi za proizvodnju električne energije za punjenje akumulatora, manja ovisnost o nafti koja je vezana uglavnom za zabrinutosti oko njezinog ubrzanog povećanja cijene.

Od rujna 2011. godine u nekim zemljama dostupni su modeli serijske proizvodnje električnih automobila Tesla Roadster, REVAi, Buddy, Mitsubishi i-MiEV, Nissan Leaf, Smart ED i Wheego Whip LiFe. Hrvatska ima dvije inačice električnih automobila, a razvile su ih tvrtke ih Rimac Automobili (Concept One) i DOK-ING (DOK-ING XD).

GLAVNI DIJELOVI AUTOMOBILA POGONJENOG ELEKTRIČNOM ENERGIJOM - *Main components of an electric car*

Osnovni elementi za pogon električnog automobila su: električni motor, električne pogonske baterije te upravljač



Slika 1. Osnovni dijelovi električnog automobila
Figure 1. Basic components of an electric car

(kontroler) motora.

Ostali dijelovi električnog automobila su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa (informacija željene brzine od strane vozača vozila), sklopnik, osigurač ili prekidač, istosmjerni pretvarač napona za pogon uobičajeno ugrađenih trošila vozila na naponskoj razini 12V (svjetla, pokazivači smjera, brisači, zvučni signal, radio uređaj i slično), mjerni instrumenti za upravljanje vozila (pokazivač preostalog kapaciteta baterija, napon, struja, snaga, brzina) i punjač baterija. Uz navedene osnovne i ostale dijelove, vozilo na električni pogon mora sadržavati: kabel pogonskog napona, kabel pomoćnog napona 12V, baterije pomoćnog napona 12V, kabelske stopice te kabelski priključak.

ELEKTROMOTOR - *The electric engine*

Sigurno najveća razlika između klasičnih i električnih automobila jest motor. Konvencionalni automobili koriste benzinske ili dizel motore, za razliku od električnog automobila kojeg pokreće elektromotor što je i njegova najvažnija komponenta. Elektromotori su znatno jednostavnije konstrukcije od motora s unutarnjim izgaranjem. Moderni motori s unutarnjim izgaranjem sastoje se od oko tisuću sitnih dijelova, dok se elektromotor u pravilu sastoji od tri do pet pokretnih dijelova.



Slika 2. Elektromotor u električnom automobilu
Figure 2. The electric engine in an electric car

BATERIJA - *The battery*

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, definira njegovu cijenu, autonomiju (doseg) i njegovu raspoloživost. Dva su čimbenika koja određuju performanse baterije: energija (prijeđena udaljenost) i snaga (ubrzanje). Omjer snage i energije pokazuje koliko je snage po jedinici energije potrebno za određenu primjenu.

Glavni razlog sporog razvoja električnih automobila je problem skladištenja električne energije. Do prije desetak godina za skladištenje većih količina električne energije koristile su se u pravilu olovne akumulatorske baterije ili iznimno nikal-kadmijeve baterije. Najveći nedostatak olovnih baterija je njihova masa.

U novije vrijeme na tržištu su se pojavile akumulatorske baterije zasnovane na litiju. Njihove prednosti pred olovnim brzo su prepoznate. Jedna velika prednost je njihova masa, jer su u pravilu tri puta lakše i manje od olovnih baterija istog kapaciteta.

Razvoju električnih automobila u novije vrijeme pogodovala je upravo pojava litijskih baterija na tržištu. Postoji više tipova litijskih baterija koje se međusobno bitno razlikuju konstrukcijom, materijalima, kemijskim procesima i drugim svojstvima. Tako razlikujemo LiMnCo, LiFeP04, LiPo, LiYFeP04, a svakim danom se pojavljuju nove inačice.

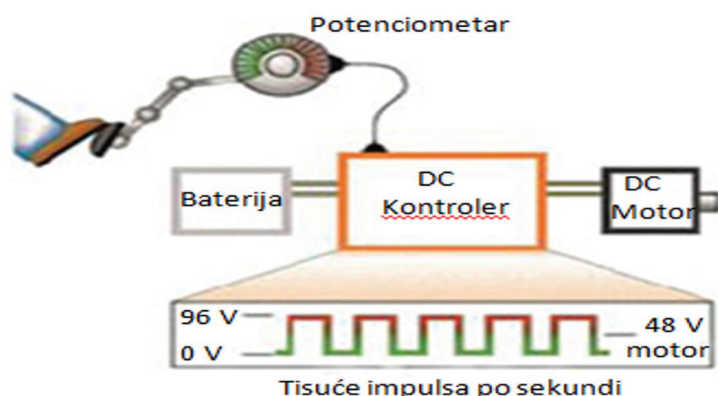
U daljnjem tekstu rada bit će detaljnije opisana problematika litij-ionskih (li-ion) baterija jer mogu biti podložne oštećenjima koja mogu dovesti do pregrijavanja, požara i eksplozije.



Slika 3. Smještaj baterija u električnom automobilu
Figure 3. Battery position in an electric car

KONTROLER - *The motor controller*

Kontroler je vrlo složen upravljački elektronski sklop te ga možemo promatrati kao funkcionalnu cjelinu s elektromotorom. Cijena ovog elektronskog sklopa je često veća nego elektromotora kojim upravlja. Kontroler upravlja radom motora i po funkciji ga možemo usporediti s rasplinjačem kod starijih tipova benzinskih motora ili visokotlačnom pumpom kod dizelskih motora. Ovisno o pritisku na papučicu gasa ili kočnicu, kontroler će osigurati elektromotoru potrebnu struju ili ga koristiti kao generator u regenerativnom kočenju.



Slika 4. Prikaz načina rada kontrolera u automobilu
 Figure 4. How a motor controller works in a car

OPASNOSTI ZA HITNE SLUŽBE PRILIKOM INTERVENCIJE KOD ELEKTRIČNOG AUTOMOBILA - *Emergency response when intervening an electric car*

Požari koji uključuju automobile, kamione i druga vozila čest su problem za hitne službe koje interveniraju u tim slučajevima. Vatrogasci su prošli obuku o opasnostima povezanim s podsustavima vozila (npr. zračni jastuk, inicijatori sigurnosnog pojasa zatezačima, itd). Za požare vozila, a posebno požare koji uključuju vozila pogonjena na električni pogon, ključno pitanje koje se postavlja u hitnim slučajevima je: što je drugačije s električnim vozilima, te koje su taktičke prilagodbe potrebne?

U usporedbi s konvencionalnim automobilima, hibridna i električna vozila koriste "visokonaponske" (ova se terminologija koristi u ovom navodu, iako se visoki napon drugačije definira u drugim industrijskim sekto-

rima) baterije (poznate kao “sustavi za pohranu energije s mogućnošću punjenja” ili “RESS”) za pohranu energije koje automobil zatim opskrbljuju strujom kada je to potrebno za njegovo pokretanje.

Naponi prisutni u električnim automobilima znatno su veći (trenutno do 650V struje DC) od onih koji se koriste u drugim vozilima (12/24V - DC). U suhim uvjetima, slučajni kontakt s dijelovima koji su pod naponom iznad 120V DC može biti opasan pa i smrtonosan.

Ako se iz bilo kojeg razloga tijelo čovjeka uključi u strujni krug u kojem djeluje napon viši od 120V DC, kroz tijelo će protjecati struja odgovarajuće jakosti određena otporom tijela i prolaznim otporom između čovjeka i zemlje.

Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) koristi 1000W kao tipičnu vrijednost otpora ljudskog tijela, za odrasle.

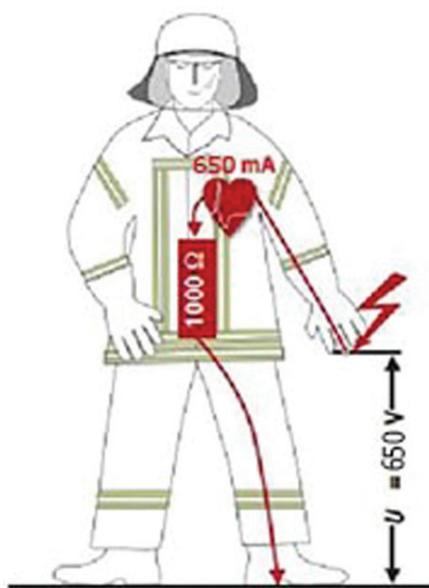
$$I = \frac{U}{R}$$

I – jakost struje koja protječe kroz tijelo u amperima (A)
 U – napon koji djeluje između faze i nul-točke, odnosno zemlje, u voltima (V)

R – otpor čovječjeg tijela u omima (W)

$$I = \frac{U}{R} \quad I = \frac{650}{1000} = 0,65 \text{ A} = 650 \text{ mA}$$

Z a čovjeka je opasna električna struja



Slika 5. Djelovanje električne struje na čovjeka
 Figure 5. The effect of the electric current on the human body

jača već od 20mA, pri čemu se u dodiru električne struje i čovjekovog tijela javlja toplinsko (opekotine), mehaničko (na mjestima ulaska i izlaska struje dolazi do razaranja tkiva), kemijsko (rastavlja krvnu plazmu) i biološko djelovanje (stezanje mišića, paraliza srca i pluća). Električna struja najviše djeluje na ulazu i izlazu iz tijela gdje dolazi do najvećih opekotina i razaranja tkiva.

Usporedimo li ovaj podatak s vrijednostima o djelovanju struja raznih jakosti na organizam čovjeka, i pretpostavimo li da protjecanje kroz tijelo traje duže vrijeme, može se gotovo sigurno tvrditi da će to za organizam predstavljati teške posljedice pa čak i smrt.

Trenutno u Hrvatskoj nema stručnih materijala koji bi dali uvid u ovu vrstu problematike, a u skorije vrijeme se očekuje rast broja električnih automobila, a s time i mogućih požara koji mogu na njima nastati. Pored gore opisanih opasnosti, ova vozila mogu predstavljati dodatne izazove za vatrogasnu službu. Mnoga od ovih vozila imaju operativne značajke s kojima osoblje vatrogasne službe trenutačno nije upoznato. Na primjer, električni automobil obično ne daje nikakve zvukove ("šute") dok je vozilo za-



Slika 6. Zone u kojima nije dopušteno rezanje
Figure 6. Areas where cutting is not permitted



Slika 7. Dugme za “paljenje” i “gašenje” električnog automobila
Figure 7. The electric car ignition switch

ustavljeno. Tako električni automobil može biti “uključen” i spreman za pogon pritiskom akceleratora. Vatrogasci ili druge hitne službe ne mogu pretpostaviti da je vozilo “isključeno” kad ne čuju kako motor radi. Veliku opasnost predstavljaju i sustavi baterija koji sadržavaju kemikalije koje mogu biti štetne ako se oslobode tijekom prometne nesreće, npr. ako se baterija zapali, kontakt s nastalim parama treba izbjegavati što je više moguće.

OPASNOST OD POŽARA BATERIJA U ELEKTRIČNOM AUTOMOBILU - *Battery fire hazard in an electric car*

Baterija je ključna komponenta u gotovo svim električnim vozilima. Kod električnih vozila akumulatorska baterija je jedino spremište energije i komponenta s najvećim volumenom, težinom i najvišom relativnom cijenom.

No, dok se polagano prelazi s konvencionalnih na električna vozila, kreće li se do nečega što je još manje sigurno od onoga što imamo sada?

Koliko su sigurne li-ion baterije? Prisjetimo se, bilo je mnogo dokumentiranih slučajeva li-ion baterija u prijenosnim računalima i mobitelima kod kojih je došlo do požara.

Problem se odnosi na veliku gustoću energije u svakoj bateriji, tako je kapacitet baterije relativno velik u odnosu na njezinu veličinu. Komponente baterije oblikovane su tako da budu lagane, te su pregrade tanke između stanica i vanjskog pokrova. Pregrade ili premazi su prilično krhki

pa se mogu lako probiti. Ako je baterija oštećena i pojavi se kratki spoj, ova iskra može zapaliti visoko reaktivni litij.

Prema navedenom smo vidjeli da su i male li-ion baterije u mobitelima opasne, možemo li zamisliti koliko su opasnije ogromne baterije u automobilima. Baterija u Tesla Roadster, npr. sastoji se od 7.000 baterija pod kapuljačom jednog automobila.

Potencijalne opasnosti koje predstavljaju li-ion baterije zahtijevaju integralni koncept sigurnosti od požara koji premašuje mogućnosti tradicionalnih rješenja za zaštitu od požara.

Naravno, da bi došlo do zapaljenja, trebaju se posložiti posebni uvjeti, odnosno mora se dogoditi nešto zbog čega će se podići temperatura elektrolita, odnosno čitave baterije što će pokrenuti gorenje.

U osnovi imamo tri načina na koja se to može dogoditi:

- a) punjenje prejakim strujama/previsokim naponom koji naglo zagrijava bateriju nakon čega slijedi zapaljenje
- b) pražnjenje prejakim strujama koje zagrijavaju slabo hlađenu bateriju što izaziva zapaljenje
- c) poseban gornji slučaj – kratki spoj baterije zbog sva tri načina, tehničke neispravnosti, mehaničkog oštećenja dovodi do zagrijavanja i zapaljenja.

GAŠENJE POŽARA ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA - *Extinguishing fires in electric cars*

U slučaju kada se li-ion baterija ipak zapali, situacija je drugačija. Elektrolit koji se u njoj nalazi dolazi s vlastitim oksidatorom, tako da li-ionske baterije gore vrlo postojano,



Slika 8. Požar električnog automobila modela Tesla S
Figure 8. A fire of a Tesla S electric vehicle

čak i pod vodom. Gašenje vodom uopće se ne preporuča jer litij reagira s njom na način da pojačava vatru. Voda se stoga može koristiti za hlađenje materijala oko baterije ili baterija koje su se zapalile (ako ih je više na okupu i jedna plane, ostale će sigurno zahvatiti vatra), ali ne i za gašenje same vatre.

Postoje znatne razlike u nacrtima električnih automobila različitih proizvođača. Uvid u informacije specifične za proizvođača i vozilo, dovodi nas do saznanja koja su bitna za uspješnost izvođenja intervencije. Trenutačno postoje vrlo ograničena iskustva u vezi s nesrećama električnih automobila. Stoga slijede navodi koje bi trebalo uzeti u obzir nakon sudara u kojem je sudjelovao električni automobil, ili u slučaju požara u takvom automobilu. Dakako, informacije se trebaju nadopunjavati dok se ne steknu nova znanja i nova iskustva u ovom području.

U slučaju prometne nezgode (sudara) potrebno je:

- Utvrditi radi li se o električnom automobilu. Nema standardnog ili industrijskog dogovora o tome kako bi električni automobili trebali biti označeni, a svaka izvedba automobila ima svoje oznake. Stoga je ponekad teško identificirati električnu energiju, tj. automobil. Hitne službe moraju uvijek biti svjesne da automobil može imati bateriju i ako postoji neka nesigurnost treba zatražiti informacije o tome od vozača ili putnika.

- Nikad ne pretpostaviti da je pogonski sustav isključen. Na primjer, električni automobili obično ne daju nikakve zvukove (“šute”) dok je vozilo zaustavljeno. Tako električni automobil može biti “uključen” i spreman za pogon pritiskom akceleratora. Vatrogasci ili druge hitne službe više ne mogu pretpostaviti da je vozilo “isključeno” kad ne čuju kako motor radi. Potrebno je odspojiti pogonski sustav ili alternativno osigurati vozilo s blokovima za stabilizaciju vozila.

- Isključiti servisnu sklopku ako postoji. Ovi automobili često imaju mogućnost za prekid napajanja električne energije. Napajanje se iz baterije mehanički prekida pomoću sklopke i ožičenja, tj. kablovi prema elektromotoru ostaju bez električne energije. Na taj način se izvodi prekid električne struje prilikom spašavanja čime povećavamo sigurnost radnog prostora. Međutim, taj sustav može biti uništen tijekom karambola vozila i nije moguće prekinuti električnu struju, te postoji mogućnost da se cijela šasija automobila nalazi pod naponom električne energije.

Vatrogasci i drugo hitno osoblje treba biti svjes-

no tog rizika i poduzeti mjere predostrožnost i nositi odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu.

- Nikada ne dodirivati, izrezivati ili otvarati narančasti kabel visokog napona. Naponi do 650V mogu se pojaviti u električnim automobilima. Kablovi visokog napona su u narančastoj boji i obično se nalaze u sigurnim strukturama u tijelu vozila. Zabranjeno je rezati ili na bilo koji način oštećivati te kablove jer u suhim uvjetima, slučajni kontakt s dijelovima koji su pod naponom iznad 120V DC može biti opasan, pa i smrtonosan.

GAŠENJE POŽARA - *Fire extinguishing*

Prilikom gašenja požara mora se imati na umu sljedeće:

- ako bateriju u automobilu nije zahvatila vatra, požar u automobilu potrebno je ugasiti na tradicionalan način te što je moguće više izbjegavati da voda dođe do baterije koja nije zahvaćena požarom

- ako je baterija zahvaćena požarom, mora se hladiti s velikom količinom vode. Prema podacima pronađenim u stručnim materijalima, potrošnja vode za gašenje požara električnih automobila je višestruko veća nego za gašenje požara na konvencionalnim automobilima. Potrošnja koja se navodi kreće se od 1500 pa i preko 9000 litara vode, na što može utjecati više faktora. Stoga je potrebno osigurati sigurnu opskrbu vode o čemu je potrebno voditi računa, jer je neusporedivo s gašenjem požara konvencionalnog automobila.

- poklopac kućišta baterije ne smije se otvarati ili uklanjati, jer postoji veliki rizik od ozbiljnih ozljeda zadobivenih zbog visokog napona koji generiraju baterije.

- svi koji se nalaze u blizini do 15 m od električnog automobila kojeg je zahvatio požar moraju biti opremljeni s kompletnom osobnom zaštitnom opremom i izolacijskim aparatom za zaštitu dišnih organa jer se tijekom požara oslobađaju različiti toksični spojevi. Potrebno je osigurati dovoljan broj izolacijskih aparata, tj. boca s zrakom za zamjenu jer gašenje požara može trajati i preko sat vremena.

- vozilo s oštećenim ili spaljenim Li-ion baterijama mora se udaljiti od ostalih vozila ili drugog gorivog materijala na udaljenosti ne manjoj od 15 metara, sve dok se baterija ne može sigurno izvaditi iz automobila sukladno pravilima proizvođača vozila i kvalificiranim osobljem.

ZAKLJUČAK

Conclusion

Broj električnih vozila vjerojatno će nastaviti s rastom u narednim godinama. Tehnologija će se razvijati i dalje, baterije će imati veći kapacitet, a punionica će biti sve više što će dovesti do dužeg operativnog raspona i nižih troška po jedinici prijeđenog puta.

Ova tehnologija vjerojatno nije opasnija od tehnologije konvencionalnih automobila, ali trenutačno postoje vrlo ograničena iskustva u vezi s nesrećama električnih automobila. Stoga su svakako sva iskustva i informacije dragocjene te se trebaju nadopunjavati sve dok se ne steknu nova znanja i nova iskustva u ovom području.

LITERATURA

Bibliography

1. Anderson Curtis D., Anderson J.; 2010: *Electric and hybrid cars*. NC: McFarland, Jefferson.
2. BoronExtrication(2017)<http://135jik1bbhst1159ri1ax2pj.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/sites/20/2010/11/FireFighter-Safety-Emergency-Response-Electric-Drive-and-Hybrid-Electric-Vehicles.pdf> (05.10.2017.)
3. Cvitanić V., Ćurković T., Heljić R., Kovač S., Kučina T., Robić M., Tirić S., Vidić L., 2014: *Električnim automobilom u evropu. Škola za cestovni promet, Zagreb*.
4. Donateo T., 2017: *Hybrid Electric Vehicles*. InTech, Chapters published, London.
5. Dokaz H., 2016: *Doprinos električnih vozila održivom razvoju (diplomski rad)*. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac.
6. Editor Dan Wargclou, 2011: *Extrication from Cars during Road Traffic Accidents*. Swedish Civil Contingencies Agency (MSB).
7. FireFighterNation (2017) <http://www.firefighternation.com/articles/2012/12/training-tips-resources-for-hybrid-electric-vehicle-extrication.html> (20.08.2017.)
8. Forbes Magazines (2017) <https://www.forbes.com/sites/hannahelliott/2013/10/03/the-tesla-fire-is-a-textbook-pr-problem-and-they-should-fix-it/#192fd39f6ead> (10.09.2017.)
9. National Fire Protection Association (NFPA) (2017) <http://www.nfpa.org/training-and-events/by-topic/alternative-fuel-vehicle-safety-training> (17.08.2017.)
10. Society of Fire Protection Engineers (SFPE) (2017) http://www.sfpe.org/?page=2014_Q2_3 (17.09.2017)
11. Virginia Clean Cities (2017) <http://www.vacleancities.org/news/first-responder-safety-for-alternativ>