

POŽARI ELEKTRIČNIH VOZILA

Vrabec, Ivan

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:930807>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Ivan Vrabc

POŽARI ELEKTRIČNIH VOZILA

Završni rad

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional graduate study of Safety and protection

Ivan Vrabec

FIRE OF THE ELECTRIC VEHICLES

Final paper

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij sigurnosti i zaštite

Ivan Vrabec

POŽARI ELEKTRIČNIH VOZILA

Završni rad

Mentor:
dr.sc. Zvonimir Matusinović, v. pred.

Karlovac, 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Trg J.J.Strossmayera 9
HR-47000, Karlovac, Croatia
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Stručni diplomski studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2024.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Ivan Vrabec
Matični broj: 0420422011

Naslov: POŽARI ELEKTRIČNIH VOZILA

Opis zadatka: Požari na električnim vozilima predstavljaju izazov i veliku opasnost za vatrogasce, ponajviše zbog pogonskih električnih baterija koje su zahtjevne za gašenje.

U teoretskom dijelu završnog rada prikazat će se općenite informacije o električnim vozilima, taktički pristup pri gašenju požara na električnim vozilima, suvremena sredstva za gašenje i opasnosti s kojima se vatrogasci susreću pri ovakvim intervencijama.

Važno je definirati i standardizirati postupke u takvim situacijama kako bi se povećala sigurnost vatrogasaca i svih korisnika električnih vozila.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datum obrane:
02/2024	09/2024	09/2024

Mentor:
Dr.sc. Zvonimir Matusinović, v.pred.

Predsjednik ispitnog povjerenstva
Lidija Jakšić, mag.ing.cheming.

PREDGOVOR

U suvremenoj Hrvatskoj, Europi i ostalom globaliziranom svijetu, a u skladu s napretkom gospodarstva, tehnologije i prometa, događaju se značajne promjene koje imaju mnoge prednosti, ali i neke nove izazove i poteškoće. Među zanimljive i sve značajnije prednosti spada i korištenje električnih vozila u unaprjeđenju prometa, a veliki izazov koji sa sobom donosi probleme i poteškoće jest mogućnost nastanka požara na ovakvim vozilima. Bio je to poticaj u odabiru teme za ovaj završni rad.

Ovaj završni rad, izrađen je samostalno, pri čemu je korišteno znanje stečeno tijekom studiranja i radnog iskustva te trenutno važeći zakonski propisi i podzakonski akti. Tijekom izrade ovog završnog rada proučavani su magistarski i doktorski radovi slične tematike pisani u razdoblju od 2018. do 2023. godine.

Zahvaljujem se svojoj obitelji koja mi je pružila razumijevanje i podršku tijekom studiranja. Hvala i mojoj Valentini, koja mi je dala završni poguranac prema kraju studiranja.

Zahvaljujem se i kolegama s posla koji su mi pomagali na sve načine da ne izostajem s predavanja i ostalih oblika nastave.

Posebna zahvala mojim kolegama studentima: Leonu D., Saši G., Antoniu M., Anđelku i Stjepanu M., te kolegicama Kristini K. i Magdaleni K. koji su mi bili velika podrška i dobro društvo u studentskim klupama.

Naposlijetku, velika hvala mom mentoru dr.sc. Zvonimiru Matusinoviću, v. pred., na prenesenom znanju, ukazanom povjerenju, razumijevanju, usmjeravanju te svekolikoj pomoći prilikom pisanja ovog završnog rada.

SAŽETAK

Požari na električnim vozilima predstavljaju (za sada) nedovoljno i pouzdano istraženu tehnologiju pa samim tim su izazov i velika opasnost za vatrogasce, ponajviše zbog pogonskih električnih baterija koje su zahtjevne za gašenje.

U teoretskom dijelu završnog rada daju se općenite informacije o električnim vozilima, prikaz najvećih opasnosti za hitne službe (pretežno vatrogasci) koje interveniraju na električnim vozilima, taktički pristupi pri gašenju požara na električnim vozilima, kao i suvremena sredstva za gašenje koja se mogu koristiti pri ovakvim intervencijama.

Praktični dio završnog rada analizira intervenciju požara na električnom vozilu koji se dogodio 25.08.2017. godine, u okrugu Orange, Kalifornija, u SAD-u. Ovakve vrste intervencija pokazale su se izazovnima i opasnim za vatrogasce, a analiza pokazuje potrebnu snalažljivost te opasnosti i nedostatke u znanju i iskustvu koji se javljaju pri gašenju požara na električnim vozilima.

Važno je definirati i standardizirati postupke aktivnosti u takvim situacijama kako bi se povećala sigurnost vatrogasaca kao i drugih hitnih službi koje interveniraju na električnim vozilima.

Ključne riječi:

Električna vozila, požari, vatrogasna oprema, intervencija, hitni odaziv

SUMMARY

Fires in electric vehicles pose a challenge and significant danger for firefighters, primarily due to the complex nature of extinguishing electric batteries.

In the theoretical part of this paper, general information about electric vehicles will be presented, tactical approaches to extinguishing fires in electric vehicles, modern firefighting equipment, and the hazards faced by firefighters during such interventions.

The practical part of the seminar will analyze a fire intervention in an electric vehicle that occurred on August 25th 2018, in Orange County, California, USA. These types of interventions have proven to be challenging and hazardous for firefighters, and the analysis will highlight resourcefulness, risks, and shortcomings encountered during firefighting in electric vehicles.

It is crucial to define and standardize procedures in such situations to ensure firefighter safety.

Key words:

Electric vehicles, fire, firefighting equipment, intervention, emergency response

SADRŽAJ

ZAVRŠNI ZADATAK.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY.....	IV
SADRŽAJ.....	V
1. Uvod	1
1.1. Predmet i cilj rada	1
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja	1
1.3. Sadržaj i struktura rada	2
2. Električna vozila.....	3
2.1. Povijesni razvoj.....	4
2.2. Nezavisna električna vozila	5
2.3. Zavisna električna vozila	5
2.4. Proizvodnja električnih vozila u Hrvatskoj	6
2.5. Električna i hibridna vozila na cestama Republike Hrvatske	8
3. Glavni dijelovi električnog vozila	9
3.1. Elektromotor	10
3.2. Baterija.....	11
3.3. Kontroler.....	12
4. Infrastruktura za punjenje električnih vozila	15
4.1. Punionica električnih vozila	15
4.2. Vrste punjača.....	16
4.2.1. Kućna utičnica	17

4.2.2. Kućni punjači	18
4.2.3. Punjači na rasvjetnim stupovima	19
4.2.4. AC punjači	21
4.2.5. DC punjači.....	22
4.2.6. Tesla punjači	24
5. Požari električnih vozila.....	25
5.1. Strujni udar	27
5.2. Toplinski bijeg.....	29
5.3. Zaostala energija	30
5.4. Opasnosti za hitne službe prilikom intervencije kod požara električnog vozila	31
5.5. Opasnost od požara baterija u električnom vozilu	33
6. Gašenje požara	34
6.1. Taktika gašenja požara električnog vozila	35
6.1.1. Upotreba vatrogasnog kontejnera	37
6.1.2. Upotreba vatrogasne deke	38
6.1.3. Upotreba vatrogasne vreće	39
6.1.4. Upotreba termalne kamere.....	40
7. Sredstva za gašenje požara električnih vozila	42
7.1. Gašenje vodom	42
7.2. F-500 u gašenju požara	44
7.3. Firesorb.....	45
8. Primjer požara eklektičnog automobila	46
8.1. Inicijalna reakcija hitnih službi	46
8.2. Daljnje postupanje	49
8.3. Istraga nakon nesreće.....	50

9. Savjeti za gašenje požara električnih vozila	52
10. Zaključak	54
11. Izvori	55
12. Prilozi	58
12.1. Popis slika	58
12.2. Popis tablica	59
12.3. Popis kratica	59

1. Uvod

1.1. Predmet i cilj rada

Predmet ovog završnog rada je analiza hitne intervencije u slučaju požara na električnim vozilima, kao u slučaju prikazanom u radu, radi se o požaru automobila. Pritom je najprije proučena teorijska podloga teme, a zatim su istraženi aplikativni primjeri.

Cilj ovog završnog rada je proučiti taktiku i postupke gašenja požara električnog vozila, upozoriti na znatno povećanje broja i vrste električnih vozila u opticaju, sve moguće opasnosti i rizike koji pritom mogu nastati te upoznati se s korištenjem modernih sredstava za gašenje požara električnog automobila.

1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Istraživanje o temi rada provedeno je korištenjem stručne literature, nastavnog materijala za vrijeme studiranja, literature vatrogasnih postrojbi te informacija prikupljenih s internetskih stranica vezanih uz temu vatrogastva i gašenja požara. Popis čitave literature korištene pri izradi ovog rada sastavni je dio rada te se nalazi na 46. stranici. Metode koje su korištene u radu su: induktivna i deduktivna metoda istraživanja, metoda analize dostupne literature, metoda sinteze te metoda komparacija.

1.3. Sadržaj i struktura rada

Ovaj završni rad je podijeljen u 9 poglavlja, od kojih su neka podijeljena na potpoglavlja:

- U prvom poglavlju je uvod, raščlanjen na predmet i cilj rada, izvore podataka te sadržaj i strukturu rada.
- Drugo poglavlje obrađuje tematiku električnih vozila, njihov razvoj kroz povijest, vrste električnih vozila, njihove razlike te njihovu proizvodnju u Republici Hrvatskoj.
- U trećem poglavlju detaljnije se objašnjavaju glavni dijelovi električnih vozila.
- Četrto poglavlje se odnosi na infrastrukturu za punjenje električnih vozila, te vrste punjača.
- Peto, šesto i sedmo poglavlje obrađuju požare električnih vozila, opasnosti za vrijeme akcije gašenja požara, te taktike gašenja požara i upotrebu specifičnih alata, stvari i sredstava za gašenje požara.
- Osmo poglavlje daje stvarnu situaciju požara električnog automobila.
- Deveto poglavlje je zaključak rada.
- U desetom i jedanaestom poglavlju nalazimo popis literature i priloga u radu.

2. Električna vozila

Električna su vozila ona što ih pokreće elektromotor koji koristi električnu energiju pohranjenu u akumulatoru, drugim uređajima za pohranu energije ili se direktno napaja iz mreže tijekom vožnje.

Elektromotorni pogon takvih vozila naziva se i električnom vučom, pa se ona često nazivaju i *elektrovučnim vozilima*. [1]

Električna vozila uglavnom ne ispuštaju ispušne plinove, ne stvaraju buku, imaju bolji stupanj iskoristivosti i bolja vozna svojstva u odnosu na vozila pokretana motorom s unutarnjim izgaranjem jednake snage pa su njihove prednosti znatne. Ipak, zbog ograničene autonomnosti uzrokovane tehničkim poteškoćama vezanima uz dobavu električne energije ta su vozila široku primjenu pronašla u:

- javnome prometu (željeznica, tramvaj i trolejbus)
- pojedini slučajevi autonomnog teretnog i osobnog prijevoza (osobito za osobe s posebnim potrebama)
- za prijevoz manjih tereta unutar tvorničkih pogona, skladišta i slično rabe se akumulatorska *elektrokolica*, *električni viličari*, u rudnicima: *akumulatorske i trolej – lokomotive*
- na željezničkim kolodvorima *manevarske lokomotive*
- u gradskim jezgrama i područjima s posebnim zahtjevima u području zaštite okoliša *elektrobusi elektrotaksiji* i druga laka električna vozila za prijevoz osoba i tereta
- u zaštićenim prirodnim područjima brodovi na električni pogon (nacionalni parkovi, parkovi prirode)
- prijevoz gradskim četvrtima vrše i osobni transporteri, električni romobili, motocikli i sl.

U suvremeno doba intenzivno se radi na razvoju i postupnom uvođenju električnih osobnih automobila i lakih dostavnih vozila pa se predviđa kako će oni uskoro preuzeti veći dio automobilskoga tržišta.

Nekonvencionalna vozila, kao npr. pružna lebdeća vozila pogonjena linearnim elektromotorima, tek su u početnoj fazi primjene. Prema načinu dobave električne energije razlikuju se nezavisna i zavisna električna vozila. [1]

2.1. Povijesni razvoj

Začetak primjene električnih vozila bila je mala akumulatorska lokomotiva Amerikanca Thomasa Davenporta iz 1835. U drugoj polovici 19. stoljeća podjednako su razvijana električna željeznička i cestovna vozila. Električni automobili komercijalno su se počeli koristiti krajem 19. stoljeća te su se intenzivno koristili do 1920-ih, kada su ih istisnuli automobili s benzinskim motorom koji su bili vrlo traženi.

Među tim prvim električnim automobilima bilo je i vozila koja su obarala rekorde, npr. električni automobil belgijskog izumitelja *Camillea Jenatzyja* postao je 1899. prvi automobil koji je vozio brže od 100 km/h. Prvu upotrebljivu električnu lokomotivu prikazao je W. Siemens na Berlinskoj izložbi 1879., a već dvije godine poslije bila je elektrificirana kratka željeznička pruga u blizini Berlina.

Šira elektrifikacija željezničkih pruga prvo je započela u Švicarskoj, a početkom 20. stoljeća proširila se diljem svijeta pa je električni pogon vlakova do danas ostao prevladavajući u željezničkom prometu.

Od početka 2000-ih ponovno raste interes za energetske učinkovitija rješenja električnih automobila pa se nakon brojnih konceptnih automobila javljaju i prvi modeli u serijskoj proizvodnji (sportski model *Tesla Roadster* američke tvrtke *Tesla Motors* proizvodi se od 2008.). Usporedno s tim, pojedine države različitim mjerama potiču razvoj i korištenje električnih automobila. [1]

2.2. Nezavisna električna vozila

Nezavisna električna vozila crpe električnu energiju za pogon elektromotora iz izvora ugrađenog u samom vozilu. Kod *baterijskih vozila* električna je energija pohranjena u bateriji (npr. kod električnog automobila), a kod nekih se nezavisnih vozila dobiva izgaranjem goriva, što se ostvaruje pogonom električnoga generatora dizelskim ili benzinskim motorom, rjeđe plinskom turbinom (vozila s hibridnim pogonom). Izvor električne energije može biti i gorivi članak s izravnom pretvorbom kemijske energije u električnu, ili sunčana baterija (kao kod *sunčanog ili solarnog automobila*). [1]

2.3. Zavisna električna vozila

Zavisna električna vozila preuzimaju električnu energiju iz elektroenergetske mreže preko kontaktnog voda i pantografa koji po njemu klizi (npr. električna lokomotiva, tramvaj, trolejbus) ili s pomoću posebne tračnice (podzemna željeznica). Tehničke i ekonomske prednosti električnoga pogona osobito su uočljive u željezničkom prometu. [1]

Nasuprot parnog i dizelskog pogona ističe se pouzdanošću, većom instaliranom snagom po osovini, prijevoznom i propusnom moći pruga, a manjim utroškom energije, troškovima iskorištavanja i štetnim utjecajem na okoliš.

Bolji su također i higijensko-tehnički uvjeti rada osoblja. Zbog velikih investicijskih ulaganja u elektrifikaciju željeznica, navedene prednosti dolaze do izražaja kod većih gustoća prometa.

Na elektrificiranim željezničkim prugama električna energija dovodi se do *elektrovučnih podstanica*, koje izravno napajaju kontaktne mreže pojedinih dionica pruge. U njima se izmjenična struja visokog napona pretvara u istosmjernu ili izmjeničnu struju onog napona i frekvencije koji odgovara vrsti sustava električnoga pogona.

Istosmjerni sustavi napajanja nazivnih su napona 1,5 kV ili 3 kV (sustavi su gradskoga prometa nazivnoga napona između 600 V i 750 V). Njihovi su nedostaci razmjerno masivan kontaktni vod te gusto raspoređene elektrovučne podstanice.

Izmjenični sustavi napajanja u znatnoj mjeri otklanjaju nedostatke istosmjernih sustava. U upotrebi su sustavi napona 15 kV i frekvencije 16.67 Hz te noviji sustavi napona 25 kV i frekvencije 50 Hz, a njihovu je primjenu potaknuo razvoj poluvodičke energetske elektronike 1960-ih.

Za električni pogon rabe se kolektorski istosmjerni ili jednofazni elektromotori te trofazni asinkroni elektromotori. Posljednji se odlikuju znatno povoljnijim omjerom mase i nazivne snage, lakše se održavaju, a moguća je i fina regulacija vučne sile i brzine vožnje. [1]

2.4. Proizvodnja električnih vozila u Hrvatskoj

Električna vozila u Hrvatskoj primjenjuju se uglavnom u gradskom javnom te željezničkom prometu, a odnedavna i u osobnom i lako dostavnom cestovnom prijevozu. Tramvaji pogonjeni istosmjernom strujom napona 660 V prometovali su u Rijeci od 1899., Zagrebu od 1910., a u Osijeku od 1926.

Elektrifikacija željeznice u Hrvatskoj započela je instaliranjem istosmjernog sustava napona 3 kV na pruzi Rijeka – Šapjane – hrvatsko slovenska granica, a tim je sustavom elektrificirana i pruga Rijeka – Ogulin. Ostale elektrificirane hrvatske pruge imaju izmjenični napon 25 kV i frekvenciju 50 Hz.

Od ukupno 2.604 km pruga u Hrvatskoj (2017.) elektrificirano je 970 km. Godine 2021. bilo je registrirano približno 16.000 automobila s električnim pogonom.

Proizvodnja elektrovučnih sredstava (tramvaji, dizelsko-električne diodne i tiristorske lokomotive, elektromotorni vlakovi) ima u Hrvatskoj dugu tradiciju, a okosnicu proizvodnje čine tvrtke Končar - Elektroindustrija iz Zagreba, „Đuro Đaković“ iz Slavenskoga Broda i Tvornica željezničkih vozila Gredelj iz Zagreba.

Posebno se ističe razvoj i izradba dizelsko električnoga (tzv. aluminijskoga) motornog vlaka (1961.), koji je bio jedan od prvih primjera suvremenoga motornog vlaka, tiristorske lokomotive (1981.), tada jedne od najmodernijih u svijetu, niskopodnog tramvaja *TMK 2200* (2005.) te niskopodnog elektromotornog vlaka za regionalni promet serije *6112* (2011.).

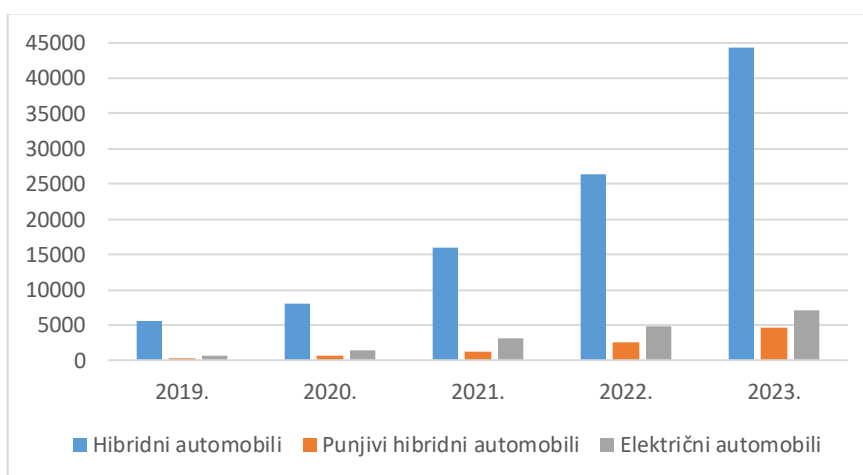
U posljednje su se doba hrvatski inovatori i poduzetnici uključili u razvoj električnih automobila, pa su tako 2011. predstavljena dva konceptna modela tih vozila, gradski automobil *XD Concept* tvrtke DOK-ING iz Zagreba te sportski *Concept One* tvrtke Rimac automobili koja je 2021. predstavila još snažniji automobil *Rimac Nevera*, te novo predstavljena *Rimac Nevera R* (2024.).

[1]

2.5. Električna i hibridna vozila na cestama Republike Hrvatske

U nastavku se prikazuje broj prodanih novih automobila u Republici Hrvatskoj, prema podacima dostupnim iz Centra za vozila Hrvatske, u vremenskom razdoblju 2019. - 2023. godina. [2]

S obzirom na vrstu pogona, očita je cijelo vrijeme dominacija vozila na hibridni pogon, dok su punjivi hibridni i električni pogon znatno manje zastupljeni, a udio im se proporcionalno povećava u promatranom periodu. Vozila na električni pogon su 2019. godine zauzela 11,01 % a 2023. godine 12,58 % svih prodanih novih automobila u Republici Hrvatskoj, vidljivo na slici 1.



Slika 1. Prodana nova vozila prema vrsti pogona 2019. – 2023. [2]

Zbog zahtjevnih normi Europske unije, ali i ekološke osviještenosti proizvođača automobila i njihovih kupaca, sve više se kupuju automobili na alternativni pogon. Na grafu (slika 1) vidi se očito usmjerenje kupovine novih automobila koji su održiviji i ekološki prihvatljiviji.

3. Glavni dijelovi električnog vozila

Za razliku od vozila na pogon fosilnim gorivima, električna vozila (EV) ne zahtijevaju motore s unutarnjim izgaranjem za rad. Opremljeni električnim motorom i punjivom baterijom, električna vozila se kreću po cestama bez sagorijevanja benzina ili stvaranja štetnih ispušnih plinova, istovremeno stvarajući znatno manje onečišćenja bukom. [3]

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 unaprjeđenja 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. godine 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 probleme oko ubrzanog povećanja njezine cijene.

Glavni dijelovi vozila pogonjenog električnom energijom jesu:

- električni motor
- električne pogonske baterije
- upravljač (kontroler) motora.

3.1. Elektromotor

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. [4]



Slika 2. Elektromotor za vozilo. [4]

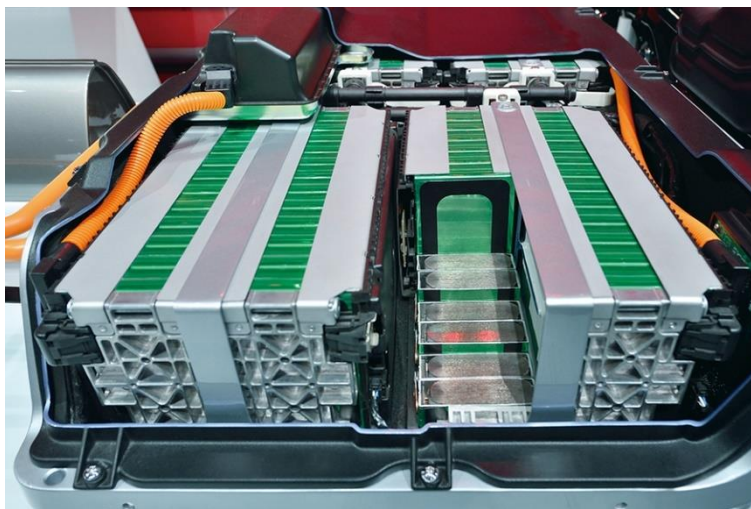
3.2. Baterija

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, definira njegovu cijenu, autonomiju (doseg) i njegovu raspoloživost. Dva su čimbenika koji 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 litijevskih baterija na tržištu. [4]

Razlikujemo baterije prema vrstama: $LiMnCo$, $LiFePO_4$ te $LiPo$, a svakim danom se pojavljuju nove inačice. U daljnjem tekstu rada biti će detaljnije opisana problematika litij-ionskih (li-ion) baterija jer mogu biti podložne oštećenjima koja mogu dovesti do pregrijavanja, požara i eksplozije. [4]



Slika 3. LiPo baterija za vozilo na električni pogon [5]

3.3. Kontroler

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. [4]

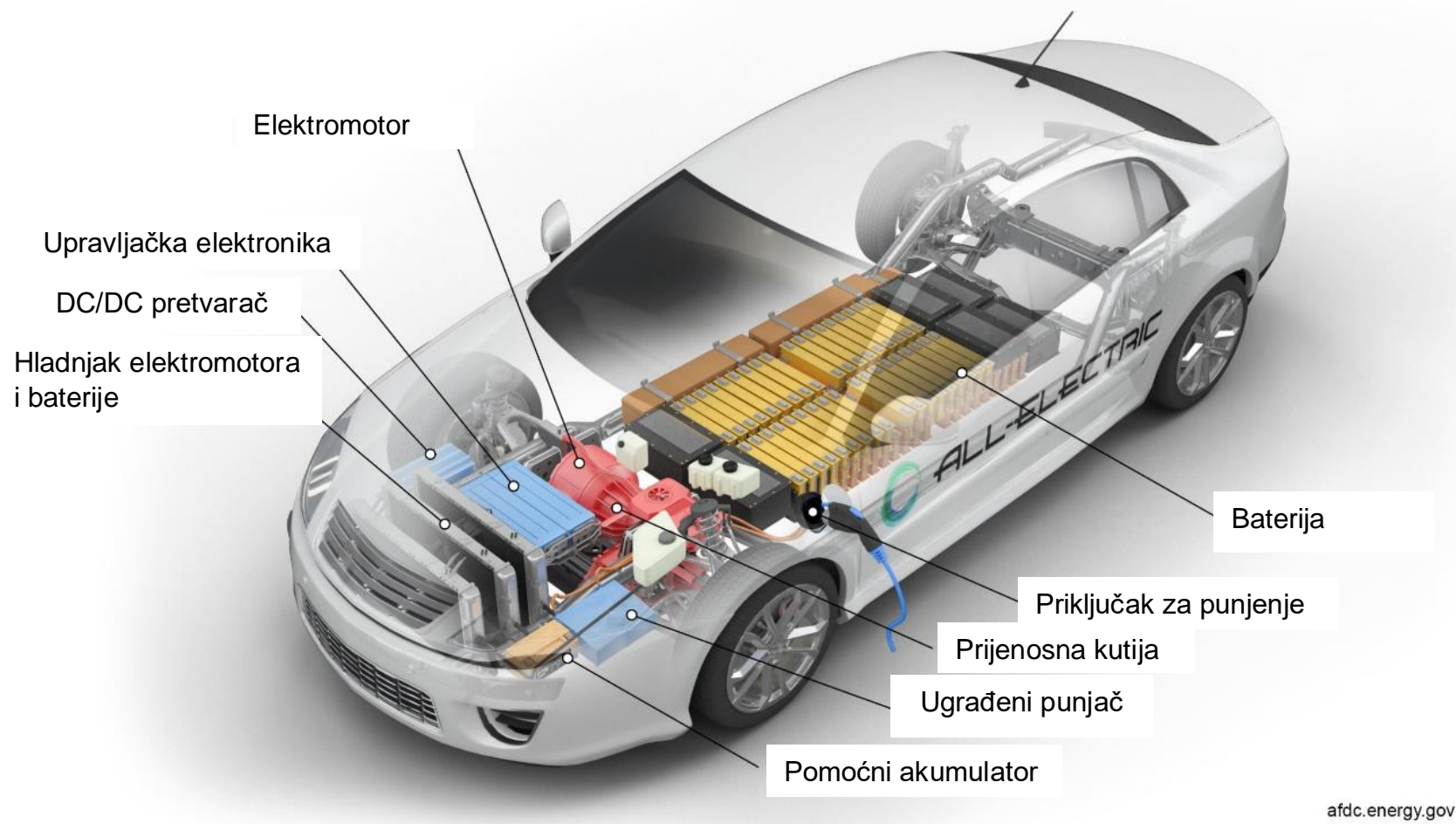


Slika 4. Kontroler sustava napajanja električnog vozila [6]

3.4. Ostale bitne komponente potpuno električnog automobila

- **Akumulator** (električni, pomoćni): U vozilu s električnim pogonom, pomoćni akumulator osigurava električnu energiju za pomoćne sustave vozila.
- **Priključak za punjenje**: Priključak za punjenje omogućuje spajanje vozila na vanjsko napajanje kako bi se punila visokonaponska baterija.
- **DC/DC pretvarač**: Ovaj uređaj pretvara istosmjernu snagu višeg napona iz vučne baterije u niženaponsku istosmjernu snagu koja je potrebna za pokretanje dodatne opreme vozila i punjenje pomoćne baterije.
- **Ugrađeni punjač**: preuzima dolaznu izmjeničnu struju dovedenu preko priključka za punjenje i pretvara je u istosmjernu struju za punjenje vučne baterije. Također komunicira s opremom za punjenje i prati karakteristike baterije kao što su napon, struja, temperatura i stanje napunjenosti tijekom punjenja vozila.
- **Regulator energetske elektronike**: Ova jedinica upravlja protokom električne energije koju isporučuje visokonaponska baterija, kontrolirajući brzinu električnog vučnog motora i zakretni moment koji proizvodi.
- **Hladnjak baterije i elektromotora**: Ovaj sustav održava ispravan raspon radne temperature motora, elektromotora, energetske elektronike i drugih komponenti.
- **Prijenosna kutija kod električnih vozila**: Prenosi mehaničku snagu s električnog vučnog motora na pogon kotača. [7]

Električni automobil



Slika 5. Dijelovi električnog automobila [7]

4. Infrastruktura za punjenje električnih vozila

4.1. Punionica električnih vozila

Punionica za punjenje električnih vozila, mjesto je ponovnog punjenja električnom energijom, ista je dio infrastrukture koja omogućuje električnu energiju za punjenje električnih vozila. Kako se tržište punjivim hibridnim vozilima i električnim vozilima na baterije povećava, raste i potreba za sve većom dostupnošću javno dostupnih stanica za punjenje (neke od njih podržavaju brže punjenje većim snagama). [8]

Mnoge stanice za punjenje su na samim prometnicama koje pružaju električne komunalne tvrtke ili su smještene uz maloprodajne „šoping“ centre i upravljane su mnogim privatnim tvrtkama. Te stanice za punjenje pružaju jedan ili niz posebnih priključaka koji odgovaraju različitim standardima električnih priključaka za punjenje.

Stanica za punjenje električnih vozila ne treba nužno potpuno novu infrastrukturu čak manje nego što je potrebno za dostavu novog alternativnog goriva novom mrežom. Stanice mogu koristiti postojeću sveprisutnu električnu mrežu i kućno punjenje kao opciju. Na primjer, ankete su pokazale da više od pola kućevlasnika u Ujedinjenom Kraljevstvu ima pristup priključku za punjenje njihovog auta. Također, većina vozi lokalno na kraćim udaljenostima što smanjuje potrebe za punjenjem. U SAD-u, na primjer, 78% korisnika su unutar 40 milja (64 km) radijusa kretanja. Štoviše, duže vožnje između gradova i ostalih mjesta zahtijevaju mrežu javnih stanica za punjenje ili drugih metoda za povećanje dometa električnih vozila iznad normalnih dnevnih potreba.

Jedan od izazova u takvoj infrastrukturi je razina potrebe: Punionica električnih automobila na prometnoj autocesti će imati puno više korisnika nego punionica u malom selu. U prvoj polovici 20. stoljeća i motori s unutarnjim izgaranjem suočili su se sa sličnim infrastrukturnim problemom. [8]

4.2. Vrste punjača

Razlikujemo dva oblika korištenja električne struje, a to su izmjenična struja (AC) i istosmjerna (DC) .

Razlog zašto koristimo izmjeničnu struju (AC) je taj što je izmjeničnu struju puno lakše transportirati, uz neke druge prednosti koje nisu vezane za ovu temu.

Problem s električnim vozilima je taj da baterije treba puniti istosmjernom strujom i zato postoje pretvarači iz izmjenične u istosmjernu struju. Stoga svako električno vozilo ima u sebi jedan takav pretvarač, a od vozila do vozila ovisi koliko je jak taj pretvarač. Starija vozila su imala pretvarače od samo 3,6 kW, a danas je ta brojka povećana na 7,2 kW dok kod nekih vozila iznosi i do 22 kW.

Da bi se baterija napunila brže od 22 kW na sat, pretvarač je izbačen iz vozila i postavljen u punjače koji su zbog toga postali istosmjerni (DC). S obzirom na to da se ne moraju prevoziti zajedno s vozilom, mogu biti velikih težina, a time i velikih snaga, pa danas imamo punjače i do 400 kW, a u najavi su i punjači od 1,2 MW.

Generalno govoreći, AC punjači služe za napuniti vozilo preko noći, dok DC punjači služe da napune vozila kada su na dužem putu. S obzirom da su električna vozila više kao mobiteli nego kao klasična vozila, savjet je da se električna vozila pune svaku noć na sporom AC punjaču. [9]

4.2.1. Kućna utičnica

Najrašireniji punjač je nadaleko poznata kućna utičnica. Gotovo svaka kućna utičnica može se koristiti za punjenje električnih vozila. Ona je najjednostavniji i najpovoljniji, ali istovremeno i najsporiji način punjenja.

Iako kućna utičnica može poslužiti za punjenje električnih vozila, preporučuje se da se ista koristi samo ako je nužno jer slabije i starije kućne instalacije mogu dovesti do zapaljenja istih zbog većih opterećenja. Upravo zbog toga brojne europske države vlasnicima električnih vozila preporučuju korištenje isključivo AC punionica ili 'kućnih punjača'.

Struja koju baterija može dobiti iz kućne utičnice preko noći dovoljna je za 100-150 km, što je čak 4-6 puta više od hrvatskog dnevnog prosjeka vožnji. Za punjenje je potreban kabel s pretvaračem.

Maksimalna snaga koja se može dobiti iz električne utičnice iznosi 3,6 kW. Kod nekih modela električnih automobila se ta snaga punjenja može smanjiti i na 2,2 kW, ukoliko su instalacije stare. [9]



Slika 6. Punjač za automobile s jednofaznom kućnom utičnicom [9]

4.2.2. Kućni punjači

Kućni punjač je prihvatljivije od kućne utičnice rješenje za punjenje električnog vozila, a ujedno ima svoje parkirno ili garažno mjesto. Takvi uređaji za punjenje nisu prevelika investicija, a osim toga pružaju znatno veće mogućnosti i puno su sigurniji od korištenja kućne utičnice.

Kućni punjač najčešće može puniti snagom i do 22 kW, ako vozilo to podržava i naravno, postoji dovoljna snaga struje na priključku.

Većina električnih vozila ima mogućnost punjenja snagom 7,4 kW ili 11 kW, a svakako vrijedi uzeti u obzir su takve snage dovoljne za svakodnevne potrebe.

[9]



Slika 7. Kućni punjač velike snage [9]

Neki modeli kućnih punjača dolaze s priključnim kablom, a neki imaju samo utičnicu pa se mora koristiti kabel koji kupujete odvojeno. On je danas obavezan komad opreme svakog električnog vozila s obzirom na to da AC punjači na cestama vrlo često imaju samo utičnicu, a ne i kabel za punjenje.

4.2.3. Punjači na rasvjetnim stupovima

Iako ih u Hrvatskoj još nema, osim nekolicine prototipova, trebalo bi se zakonskim okvirom omogućiti tvrtkama postavljanje punjača u rasvjetne stupove uz parkirališta. Britanski proizvođač punjača u rasvjetnim stupovima *Ubitricity* je od 2019. godine do 2022. godine postavio više od 5500 takvih punjača u Londonu.

Na taj se način broj punjača u urbanim sredinama značajno povećava. Ovakav pilot projekt trebao je početi, u šest hrvatskih gradova (Zagreb, Velika Gorica, Rijeka, Osijek, Split, Samobor) 2023. godine, a ukupno bi trebalo biti postavljeno oko 2000 punjača. Punjači u rasvjetnim stupovima će se bez značajnijih izmjena instalacija postaviti u rasvjetne stupove koji se nalaze uz parkirališta, a snage punjenja iznosit će od 2 do 7,2 kW po punjaču. U pilot projektu će biti ugrađen po jedan punjač po rasvjetnom stupu, ali kako će potrebe rasti tako će se broj punjača po stupu povećavati. [9]

Prema trenutno dostupnim podacima, jedino je u Samoboru postavljeno 5 takvih punjača, u sklopu projekta Regionalne energetske i klimatske agencije sjeverozapadne Hrvatske i Grada Samobora, sufinancirano novcem Europske unije.

Jednog dana, kada veći broj automobila na parkiralištima budu električni, postavljat će se punjači i između postojećih stupova kako bi svako parkirališno mjesto bilo pokriveno s po jednim punjačem. [9]



Slika 8. Punjač za automobile na rasvjetnom stupu [9]

4.2.4. AC punjači

AC punjači su namijenjeni dopunjavanju vozila dok smo kraće vrijeme parkirali automobil jer smo odsutni (na primjer: u kupovini ili na sastanku).

Većina AC punjača podržava punjenje do 22 kW, a oni koji podržavaju samo 11 kW će veliku većinu električnih vozila dopunjavati sa samo 3,6 kW jer će ih puniti samo s jednom fazom.

Iznimke su Tesla 'destination' punjači te DC punjači koji uz DC nude i AC punjače jer takvi punjači dolaze sa svojim kablovima i potrebno je samo prikopčati vozilo na punjač. [9]



Slika 9. AC punjač za automobile [9]

4.2.5. DC punjači

DC punjači, poznatiji i kao „brzi punjači“, namijenjeni su duljim putovanjima i najčešće se nalaze na autocestama, iako ih se velik broj danas može naći i u Zagrebu.

DC punjači su danas uglavnom snage 50 kW, te ih ima najviše, ali diljem Hrvatske su raspoređeni i brojni ‘ultra-brzi’ punjači s još većom snagom. Prvi jači punjač od 175 kW postavljen je na autocesti u sklopu stanice za opskrbu gorivom u Vukovoj Gorici u smjeru Zagreba. Najbrži punjači u Hrvatskoj su *IONITY* punjači, dostupni na nekoliko lokacija: Vrankovec, Sop pokraj Zagreba, Kanfanar, Zadar, Gospić; te Varaždin i Rasčane (koji su trenutno u izgradnji), svaka punionica snage od 350 kW.

Budući da ne mogu sva vozila iskoristiti tako veliku snagu, većina njih će i na tom punjaču puniti brzinom 80-150 kW što je dovoljno za otprilike 250-500 km autoputa u 30-45 minuta punjenja. [9]



Slika 10. DC punjač za automobile [9]

Do sada su u Europi postojala tri tipa brzih (DC) punjača: „CHAdEMO“, „CCS“ i „Tesla Type 2“. Europska unija je još 2014. donijela odredbu prema kojoj je standardni konektor za DC punjenje „CCS“ te „Type 2“ za AC punjenje. Danas još uvijek možemo naći vrlo velik broj punjača koji imaju i „CHAdEMO“ punjače, ali se u 2020. godini počinju pojavljivati prvi punjači koji imaju samo „CCS“, a ne oba tipa konektora. Tesla je sve svoje super punjače unaprijedila pa tako na Teslinim super punjačima može se naći stari „Type 2 port“ koji je Tesla korigirala na starijim modelima za punjenja i do 100 kW te nove „CCS“ konektore za novija Teslina vozila. [9]

Budući da DC punionice isporučuju najveću snagu i omogućuju najbrže punjenje, i to uglavnom za 30-45 minuta za punjenje baterije 10-80%, one su najčešće i najskuplje, za izgradnju i cijenom električne struje za punjenje.

4.2.6. Tesla punjači

Vozači Tesla vozila, osim što mogu koristiti sve druge punjače, mogu koristiti i svoju daleko najbolje raspoređenu mrežu super punjača i 'destination' punjača.

Super punjači su postavljeni strateški tako da pokrivaju rutu od Zagreba prema Dubrovniku te od Italije, preko Istre i Primorja prema Dubrovniku. Na putu od Zagreba prema istoku zemlje i Vukovaru nalazi se čak 8 punjača.

Tesla super punjači u Hrvatskoj su snage 120 do 150 kW, iako je po svijetu krenula nadogradnja punjača na čak 250 kW. To znači da će se Tesle nadopuniti za 20-60 minuta ovisno o kapacitetu i prethodne napunjenosti baterije.

Osim super punjača postoji i mreža Teslinih „Destination“ punjača u Hrvatskoj, u Zagrebu i okolici, a najviše po Dalmaciji i otocima. Tesline „Destination“ punjače mogu koristiti i druga vozila ukoliko su postavljena 3 uređaja jer je tada jedan od uređaja otključan za sva vozila. [9]



Slika 11. Tesla punjač [9]

5. Požari električnih vozila

Vozila pogonjena elektromotorima, zavisna ili nezavisna, nisu u ništa manjoj opasnosti od požara nego vozila pogonjenih motorima s unutarnjim izgaranjem koji su pokretani fosilnim gorivima. Ako se vozila nepravilno skladište i transportiraju, mogu biti u daleko većoj opasnosti od požara nego vozila pokretana klasičnim motorom sa unutarnjim izgaranjem.

Baterijska električna vozila zahtijevaju visokoenergetske baterije koje mogu pohraniti velike količine električne energije, učinkovito je skladište te imaju sposobnost da ju iskoriste u kratkom roku, ukoliko je to potrebno.

Litij-ionske baterije odabrane su za baterijska električna vozila zbog bitnih svojstava. One imaju:

- visoku gustoću energije (što im omogućuje pohranjivanje velikih količina energije za određeni volumen)
- nisku stopu samopražnjenja (tako mogu zadržati naboj)
- odličan elektrokemijski potencijal (koji omogućuje pražnjenje velike snage).

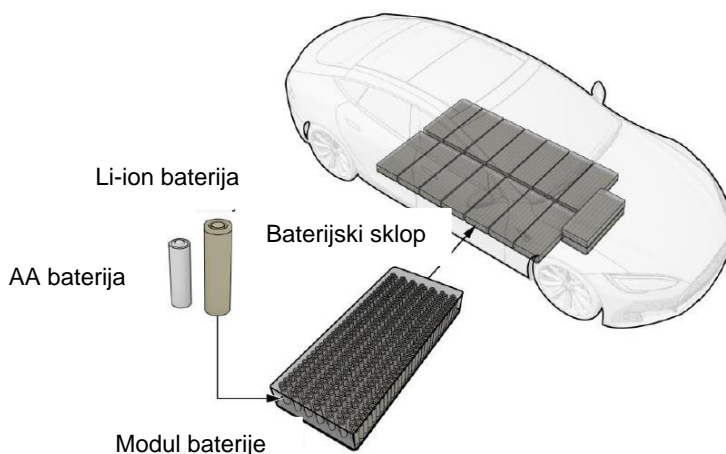
Za održavanje punjenja i pražnjenja unutar sigurnih granica potrebni su zaštitni krugovi.

Kao i sve baterije, litij-ionske baterije sastoje se od ćelija koje proizvode električnu struju pretvarajući kemijsku energiju u električnu. Svaka baterijska ćelija sastoji se od dvije elektrode (jedna negativna - anoda, i jedna pozitivna - katoda) koje provode struju.

Napon baterije (izražen u voltima) je njezin potencijal za proizvodnju električne struje, to jest, za guranje elektrona oko zatvorenog strujnog kruga. Litij-ionske baterije u električnim vozilima opisuju se kao visokonaponske jer imaju napon do 800 volti, za razliku od klasičnih automobila, čiji akumulatori imaju napon od 12 V.[8]

Za usporedbu, automobili s klasičnim akumulatorom, koji daje snagu za pokretanje motora s unutarnjim izgaranjem i za rad pomoćnih električnih sustava vozila, ima samo 12 V.

Različiti proizvođači vozila koriste različite baterije i različite pakete baterija. Tesla model S (kao i druga vozila proizvođača) ima ravnu bateriju koja leži ispod poda. Baterija se sastoji od nekoliko tisuća malih, cilindričnih baterijskih ćelija (malo većih od AA baterije) pakiranih u 16 modula. Chevrolet Volt, kao primjer drugog proizvođača, koristi ćelije u vrećici, a baterija je u obliku slova T, s gornjim dijelom T spojnice ispod stražnjeg sjedala automobila. Voltova baterija sadrži 192 ćelije pakirane u četiri modula. [10]



Slika 12. Sadržaj Tesline baterije [10]

Požari u električnim vozilima s pogonom na litij-ionske baterije sadrže nekoliko glavnih opasnosti za hitne službe. Prvi je rizik od **strujnog udara** zbog izlaganja visokonaponskim vezama u oštećenoj bateriji. Drugi je rizik da će oštećene ćelije u bateriji doživjeti nekontrolirano povećanje temperature i tlaka, poznat kao **toplinski bijeg**, što može dovesti do ispuštanja i izgaranja otrovnih plinova, pucanja ćelija i ispuštanja projektila te ponovnog paljenja/požara baterije.

Rizici od strujnog udara i ponovnog paljenja/požara baterije proizlaze iz energije koja ostaje u oštećenoj bateriji, poznata kao **zaostala energija**. [10]

5.1. Strujni udar

Ljudsko tijelo je vodič električne energije, pa tako ako dođe u kontakt s izvorom električne energije pod naponom, struja će teći kroz njega. Otpornost tijela – njegova sposobnost da smanji električnu struju – razlikuje se od osobe do osobe i ovisno o tome je li koža mokra ili suha, između ostalog. Maksimalni naponi koji se smatraju sigurnima za ljude su 50 ili 60 V istosmjerne struje i 30 V izmjenične struje.

Visokonaponski sustav baterijskih električnih vozila radi znatno iznad tih pragova (do 800 V), stvarajući sigurnosni rizik kada visokonaponska baterija napona koja je oštećena u sudaru i sigurnosne značajke kao što su zaštitni poklopci i osigurači strujnog kruga su izvan funkcije. [10]

Kako bi zaštitili putnike, promatrače koji komuniciraju s ozlijeđenim osobama i hitne službe od strujnog udara, sigurnosni standardi zahtijevaju električnu izolaciju visokonaponskog akumulatorskog sustava od šasije vozila. Ako sudar ošteti sustav električne izolacije, osoba koja dotakne vozilo (ili izloženi konektor) može postati dio visokonaponskog kruga i pretrpjeti ozbiljne ozljede ili smrt.

U kućanstvima imamo izmjeničnu struju od 220 V, kod električnih vozila imamo 400 V izmjenične struje koju proizvodi alternator, dok kod istosmjerne struje, koja se pohranjuje u baterijama, danas imamo napone preko 800 V.

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

$$I = U / R$$

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)

$$I = 800/1000 = 0,8 \text{ A} = \mathbf{800 \text{ mA!}}$$

Kako struja djeluje na čovjeka, prikazano je u tablici 1. [11]

Tablica 1. Djelovanje električne struje na ljudsko tijelo [11]

STRUJA (mA)	UTJECAJ NA LJUDSKO TIJELO
0-1	nema utjecaja
1-15	grčenje mišića (ruke, prsti), samopražnjenje je teže
15-30	jedva podnošljivi bolovi, kontrakcije mišića i ruku, otežano disanje i rast krvnog tlaka
30-50	nesvjestica, srčana fibrilacija s dužim izlaganjem, rast krvnog tlaka, kontrakcija mišića
50-500	srčana fibrilacija, nesvijest, moguća brza smrt
>500	zastoj srca, moguća neposredna smrt

Stoga je uvijek preporuka da se koristi zaštitna oprema i slijede sigurnosne procedure.

5.2. Toplinski bijeg

Toplinski bijeg je kemijski proces koji proizvodi toplinu (egzotermna reakcija); toplina povećava brzinu reakcije, što dodatno povećava temperaturu i eskalira proces. Toplinski bijeg može se proširiti s jedne ćelije na mnoge druge u domino efektu. Izvorni uzrok toplinskog odlaska općenito je kratki spoj unutar ćelije baterije i rezultirajuće povećanje unutarnje temperature ćelije. [10]

Kratki spoj u ćeliji litij-ionske baterije može nastati zbog nedostataka uvedenih tijekom proizvodnje, kao što je kontaminacija, ili oštećenja ćelije uzrokovano gnječenjem ili bušenjem – točno one vrste oštećenja koja nastaje pri udaru automobila velike težine. Vanjska vatra također može zagrijati baterijsku ćeliju dovoljno da pokrene toplinski bijeg.

Požar i eksplozija mogu rezultirati kada stanice odu u toplinski bijeg. Zapaljivo otapalo u elektrolitu može se zapaliti ako je izloženo visokim temperaturama ili elektrostatičkim iskrama. Pucketanje ili drugi zvukovi koji proizlaze iz ispuštanja topline i plinova često prate toplinski bijeg. Znanstveni rad identificirao je četiri primarne opasnosti od toplinskog bijega:

1. ispuštanje otrovnih i zapaljivih para iz elektrolitskog otapala, kroz uređaje za rasterećenje tlaka ili rupe u kućištu baterije
2. izgaranje para izbačenih iz zapaljivog otapala elektrolita
3. lokalizirani pretlak
4. puknuće kućišta ćelije i izbacivanje „projektila“ ako uređaji za rasterećenje pritiska nedostaju ili ne rade.

Sekundarne opasnosti identificirane u studiji bile su ispuštanje otrovnih i korozivnih kemikalija, paljenje i gorenje zapaljivih dijelova vozila, gušenje putnika u vozilu od otrovnih plinova koje ispušta akumulator i strujni udar za putnike, osobe koje su prve reagirale ili osoblje za održavanje uslijed izlaganja na visokonaponske vodiče ako se električna izolacija i izolatori tope ili gore. Zapaljivi plinovi (vodik, etilen, etan i propan) koji se oslobađaju iz oštećene baterije predstavljaju najveću opasnost od požara, prema studiji. [10]

5.3. Zaostala energija

Ako se visokonaponska baterija ošteti, energija ostaje unutar nje (neoštećeni baterijski moduli i ćelije), bez puta za pražnjenje. Ta zaostala energija može uzrokovati ponovno paljenje visokonaponske baterije više puta nakon što vatrogasci ugase požar u električnom vozilu. Djelatnici hitnih službi nemaju načina izmjeriti koliko energije ostaje u oštećenoj bateriji i nemaju načina isprazniti tu energiju, osim dugotrajnih metoda kao što je dopuštanje požaru baterije da sama izgori. Inženjeri ili drugi stručnjaci mogu koristiti bateriju sustav upravljanja za provjeru preostalog napona ako sustav radi, a neke baterije imaju ugrađene otvore za pražnjenje, također za upotrebu od strane stručnjaka. Međutim, visokonaponski baterijski sustav može biti oštećen u sudaru, sprječavajući pristup sustavu upravljanja baterijom ili otvorima za pražnjenje. Jedan od prvih koraka prilikom gašenja požara električnog vozila je presjeći kabel do 12-voltne baterije, što će isprazniti sustav upravljanja baterijom.

Električna vozila često su opremljena petljama za hitne slučajeve, niskonaponskim žičanim petljama koje službe prve pomoći mogu sigurno presjeći kako bi odspojili visokonaponski sustav od ostatka vozila. Međutim, rezanje petlji neće ukloniti energiju iz visokonaponske baterije.

Proizvođači su razvili alate za pražnjenje visokonaponskih akumulatora u svojim vozilima, ali alati, za čije rukovanje je potreban stručnjak, obično su specifični za vozilo i rade samo na neoštećenom akumulatoru. Jedna od metoda pražnjenja oštećenog akumulatora je uranjanje u kupku sa slanom vodom (slana voda provodi struju). Međutim, možda neće biti moguće izvaditi oštećenu bateriju iz vozila nakon teškog sudara, a osobe koje hitno reagiraju općenito nemaju stručnost za uklanjanje oštećene baterije. [10]

5.4. Opasnosti za hitne službe prilikom intervencije kod požara električnog vozila

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 sektorima) 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 800 V struje DC) od onih koji se koriste u drugim vozilima (12/24 V – DC). U suhim uvjetima, slučajni kontakt s dijelovima koji su pod naponom iznad 120 V 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 120 V DC, kroz tijelo će protjecati struja odgovarajuće jakosti određena otporom tijela i prolaznim otporom između čovjeka i zemlje.

Za čovjeka je opasna električna struja jača već od 20 mA, 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). [4]

Električna struja najviše djeluje na ulazu i izlazu iz tijela gdje dolazi do najvećih opekotina i razaranja tkiva. Usporedi li se ovaj podatak s vrijednostima o djelovanju struja raznih jakosti na organizam čovjeka, i uz pretpostavku 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 daljnji znatan rast broja električnih automobila pa 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 još uvijek nije upoznato.

Primjerice, električni automobil obično ne daje nikakve zvukove ("šute") dok je vozilo zaustavljeno. Tako električni automobil može biti "uključen" i spreman za pogon pritiskom papučice gasa. 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.

Dodatne probleme stvaraju oznake na električnim vozilima, tj. njihov nedostatak. Prema trenutno dostupnim podacima, proizvođači električnih vozila nemaju standardizirane oznake koje bi olakšale hitnim službama postupanje prilikom intervencije, u slučaju nesreće. Ne postoji standardizirana glavna sklopka, koja bi isključila visokonaponsku bateriju iz strujnog kruga vozila, dosta slabo su označena sigurna mjesta za rezanje karoserije vozila (za slučaj potrebe).

Na području Republike Hrvatske ne postoji jasno vidljiva oznaka koju bi hitne službe jasno uočile i odmah znale da se radi o vozilu koje u sebi ima visoki napon. U slučaju lančanog sudara više vozila, za osobu koja se ne razumije dobro u aute, teško je za prepoznati o kakvom vozilu je riječ.[11]

5.5. Opasnost od požara baterija u električnom vozilu

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? Bilo je mnogo dokumentiranih slučajeva Li-ion baterija u prijenosnim računalima i mobitelima kod kojih je došlo do požara. [4]

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 jasno je da su i male Li-ion baterije u mobitelima opasne.

Koliko su opasnije ogromne baterije u automobilima?

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. [4]

Uglavnom postoje tri načina na koja se to može dogoditi: [4]

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

6. Gašenje požara

Prilikom gašenja požara mora se imati na umu sljedeće: [4]

- 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 dostatnu 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 sa 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 od najmanje 15 metara, sve dok se baterija ne može sigurno izvaditi iz automobila sukladno pravilima proizvođača vozila. [4]

Broj električnih vozila vjerojatno će nastaviti s rastom u sljedećim godinama. Tehnologija će se razvijati i dalje, baterije će imati veći kapacitet, a punionica će biti sve više što će dovoditi do dužeg operativnog raspona i nižih troškova 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 sva iskustva i informacije dragocjene te ih se treba nadopunjavati sve dok se ne steknu nova znanja i nova iskustva u ovom području. [4]

6.1. Taktika gašenja požara električnog vozila

Taktički nastup preuzet je od kolega vatrogasaca iz Francuske i SAD-a te će biti prikazan kroz zamišljenu intervenciju požara na električnom vozilu s opremom i vozilima koje posjeduju javne vatrogasne postrojbe. [11]

Za gašenje se koriste dvije vrste načina gašenja, i to:

- **Ofanzivni napad** – preporuča se kada vatra nije zahvatila električne baterije.
- **Defanzivni napad** – preporuča se kada je požarom zahvaćena električna baterija.

Po zaprimanju dojave o požaru električnog vozila u vatrogasnom operativnom centru zapovjednik smjene, odnosno voditelj intervencije, upućuje navalno vozilo te autocisternu s posadama na mjesto događaja.

Voditelj intervencije po dolasku vrši izviđanje te prikuplja podatke kao što su marka i tip vozila te obavještava VOC, koji mu šalje povratne informacije o vozilu, poput mjesta gdje se nalazi električna baterija, sigurna mjesta gdje se može prekinuti visokonaponski kabel te sigurna mjesta za rezanje lima ako je potrebno.

Također, ako je električno vozilo priključeno na stanicu za punjenje potrebno je pronaći izvor napajanja i isključiti ga iz struje, sve dok se izvor napajanja ne isključi ne smije se gasiti požar. [9]

U nemogućnosti isključenja izvora napajanja, iz razloga što je požar s vozila prešao na stanicu za punjenje, potrebno je isključiti kompletnu struju za to područje, u suradnji s HEP-om.

Potrebno je imati na umu da ovakva intervencija može potrajati oko 2 sata, ako ne postoji izravan pristup ćelijama električne baterije zahvaćene požarom te osigurati dovoljnu količinu vode kao i uređaja za zaštitu dišnih organa.

Osim toga, potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se zaštitile ostale interventne službe i civili koji se nalaze nizbrdo ili niz vjetar od zapaljenog vozila. U toj situaciji preporuka je upotrebljavati ventilator koji kombinira zrak i maglu te na taj način usmjerava otrovni dim i pare. [11]

6.1.1. Upotreba vatrogasnog kontejnera

Postoje dvije vrste kontejnera namijenjenih za ovu upotrebu: *roll of i obični*. Osnovna razlika je što kod *roll of* kontejnera se isti doveze do vozila koje gori/tinja i tada se vozilo u plamenu uvuče u kontejner i potopi vodom, dok kod običnog, vozilo u plamenu treba dizalicom uroniti u kontejner i potopiti. [11]

Kontejneri mogu biti opremljeni slijedećom dodatnom opremom:

- električno vučno vitlo za utovar automobila
- sprinkler sustav (podno + bočno)
- pumpa za vodu
- agregat
- LED rasvjetna tijela
- detektori dima i plamena
- termalna kamera
- vatrodojavni sustav
- automatski aktivni nadzorni sustav 24/7. [11]



Slika 13. Vatrogasni kontejner [12]

6.1.2. Upotreba vatrogasne deke

Jedno od jednostavnijih sredstava koju koriste vatrogasci za gašenje požara na vozilima na električni pogon su **vatrogasne deke** – služe za prekrivanje vozila u plamenu, sprječavanja kontakta s kisikom i gašenja. Vatrogasna deka proizvođača *Bridgehill* je jedna od najčešće upotrebljivanih deka u vatrogastvu. Izuzetno je lagana (28 kilograma), unatoč svojoj veličini (6X19 metara). Nije krajnje rješenje za gašenje požara električnih vozila, ali je pomoć da se ne bi dalje širile bezbrojne kemikalije i drugi otrovi u okoliš. [13]



Slika 14. Pospremljena vatrogasna deka [13]



Slika 15. Upotrebljena vatrogasna deka [14]

6.1.3. Upotreba vatrogasne vreće

Još jedno od jednostavnijih sredstava koja upotrebljavaju vatrogasci za gašenje požara na vozilima na električni pogon su **vatrogasne vreće** – vozilo u plamenu se stavlja u vreću, vreća se steže oko vozila i puni vodom (kao i kontejner, ali stane znatno manje vode i oprema je znatno jeftinija i manje zahtjevna za upotrebu). [15]



Slika 16. Vatrogasna vreća „Recover-e-bag“ [15]

6.1.4. Upotreba termalne kamere

Termalne kamere igraju ključnu ulogu u gašenju požara, posebno kod električnih vozila. Korištenje termalnih kamera značajno poboljšava sposobnost vatrogasaca da učinkovito i sigurno gase požare, posebno kod složenih situacija kao što su požari električnih vozila.



Slika 17. – Termalna kamera [16]

Termalne kamere imaju višestruku namjenu i koriste se u različitim situacijama:

- **Detekcija izvora topline**

Termalne kamere omogućuju vatrogascima brzo identificirati točke visokih temperatura, što je ključno za lociranje izvora požara. Kod električnih vozila, to može pomoći u otkrivanju koje baterijske ćelije su zahvaćene požarom.

- **Praćenje temperature**

Tijekom gašenja, vatrogasci koriste termalne kamere za kontinuirano praćenje temperature baterija. To im omogućuje vidjeti jesu li uspješno dovoljno ohladiti baterije kako bi spriječili ponovno zapaljenje.

- **Sigurnost vatrogasaca**

Termalne kamere pomažu vatrogascima u kretanju kroz zadimljene i slabo vidljive prostore. Mogu identificirati opasne elemente, poput plinskih boca ili pregrijanih električnih krugova, što povećava sigurnost tijekom intervencije.

- **Identifikacija skrivenih žarišta**

Nakon što je požar naizgled ugašen, termalne kamere mogu otkriti preostala vruća mjesta koja bi mogla uzrokovati ponovno izbijanje požara. Ovo je posebno važno kod električnih vozila, gdje baterije mogu ponovno planuti.

- **Brza reakcija**

Termalne kamere omogućuju brzu reakciju jer vatrogasci mogu odmah vidjeti gdje je najpotrebnije djelovati. To smanjuje vrijeme potrebno za gašenje požara i povećava učinkovitost intervencije. [16]

7. Sredstva za gašenje požara električnih vozila

Osnovna sredstva koja vatrogasci najčešće koriste su **voda, pjena i prah**. U novije vrijeme, na tržištu, se javljaju i nova sredstva poput **F-500 i Firesorb**.

Kako je i ranije navedeno, pri gašenju požara električnih vozila, koristi se uglavnom voda, a pjenu i prah možemo koristiti dok vatra ne zahvati električne baterije.

Nova sredstva imaju puno bolje karakteristike od vode, pjene i praha, te će biti kroz slijedeći tekst opisana i uspoređena. Ispitivanja je provela **DEKRA**, pri ispitivanju korištene su litij-ionske baterije koje su se trenutno koristile u električnim vozilima. [11]

7.1. Gašenje vodom

Za potrebe ispitivanja koristila se mlaznica tipa AWG CM (DIN 14365) te voda iz hidranta, dok je protok mlaznice bio namješten na *100 l/min pri tlaku od 8 bara*.



Slika 18. Obična mlaznica sa zasunom [11]

Nakon zapaljenja električne baterije, uzrokovanog kratkim spojem, prvi znakovi gorenja i oštećenja pojavili su se nakon 8 minuta. Također, tijekom zapaljenja pojavile su se određene deformacije na samoj električnoj bateriji te su počeli izbijati zapaljivi toksični plinovi, blješteći plameni jezici, poput plamena prilikom zavarivanja, 2 metara u dužini. [11]

Zatim je uočeno prskanje male količine tekućeg aluminija u krugu od 2 metra, dok se temperatura baterije penjala do 750°C. Za gašenje plamena utrošeno je 70 litara vode u vremenu od 40 sekundi. Nakon gašenja plamena električna baterija se samozapalila za 2,2 minute te je u sljedeće 4 minute utrošeno još 200 litara vode za gašenje i 200 litara vode za rashlađivanje dima. [11]

Za vrijeme gašenja uočeno je znatno ispuštanje otrovnog dima pri čemu su razine toksičnih para bile izrazito visoke. Za cijeli proces gašenja utrošeno je oko 500 litara vode u vremenu od 17 minuta.

Tri sata nakon, električna baterija, je još bila uronjena u bazen s vodom te je još slijedeća 3 sata ispuštala balone dima. Ispitivanje je pokazalo da se nakon gašenja vodom, baterija počela ponovo grijati, zbog čega se i ponovo zapalila. Stoga se može očekivati da i nakon 24 do 48 sati može doći do zapaljenja, na što treba posebno obratiti pozornost. [11]

7.2. F-500 u gašenju požara

F-500 je aditiv koji se dodaje vodi, a djeluje na način da odjednom smanjuje toplinu, neutralizira gorenje te prekida lančane reakcije slobodnih radikala, što za rezultat ima brže obaranje plamena, trajniju otpornost na izgaranje i uklanjanje većine pare, čađe i dima. Također, skoro trenutno smanjuje površinsku napetost vode što rezultira boljom apsorpcijom topline i bolje prodiranje u pore gorivog materijala, te smanjuje isparavanje i poboljšava vidljivost, što je izuzetno povoljno za same vatrogasce.

Za ispitivanje je korištena voda iz hidranta i AWG Turbo-mlaznica 2000 Venturi 75-C2L, koja je specijalno dizajnirana za dopremanje F-500 aditiva.

Mlaznica je podešena na *protok od 75 l/min*, a doziranje na 1%. Pri započetom gašenju plamen je odmah nestao u kontaktu s mješavinom vode i aditiva F-500, za što je bilo potrebno 14 s i 15 L mješavine. Za razliku od vode temperatura baterije nakon gašenja nije rasla. Također, uz još nekoliko prskanja gašeno je da se smanji količina dima. Sveukupno je utrošeno oko 80 L mješavine. [11]



Slika 19. Posebno dizajnirana turbo mlaznica za gašenje aditivom F-500 [18]

7.3. Firesorb

Firesorb je aditiv koji se također miješa s vodom te nanošenjem na zapaljivu površinu formira gel koji se lijepi. Stvara sloj debljine otprilike 10 centimetara te se može koristiti na glatkim, okomitim površinama i stropovima. Zbog svojih kemijsko-fizikalnih svojstava, brzina isparavanja vode se značajno smanjila čak i pri visokim temperaturama, što dovodi do smanjenja potrošnje vode. Može se koristiti za različite vrste požara doziranjem od 1% do 3%.

Karakteristike *Firesorb* sredstva za gašenje su da dobro hladi, smanjuje brzinu isparavanja vode, prekida dovod kisika te sprječava isparavanje zapaljivih plinova i čađe. U svrhu ispitivanja, korištena je voda iz hidranta te međumiješalica protoka 200 l/min dozirana na 1,8%.

Prilikom gašenja s mješavinom vode i *Firesorba*, za gašenje plamenova, bilo je potrebno 6 s i 40 L mješavine. Temperatura električne baterije nije ponovo rasla. Za sveukupno gašenje požara utrošeno je 120 L mješavine, dok su razine koncentracije toksičnih para bile zanemarive. [11]



Slika 20. Firesorb aditiv vodi [19]

8. Primjer požara eklektičnog automobila

U petak 25. kolovoza 2017. u 18:17 sati po lokalnom vremenu, Tesla Model X iz 2016., u kojem su se nalazili vozač i jedan putnik kretalo se ulicom u naseljenom mjestu u okrugu Orange u Kaliforniji, koji je imao ograničenje brzine od 60 kilometara na sat. [10]

Vozač je izgubio kontrolu nad vozilom koje je sletjelo s kolnika, prešlo pločnik i zeleni pojas uz pločnik, sletjelo niz odvodni jarak te udarilo u odvod. Na kraju je automobil udario u zid ograde, otvorenu garažu i parkirani auto u garaži.

Prema snimaču podataka o događajima u vozilu, vozač je ubrzao do 130 kilometara na sat malo prije nesreće. Vozač je zadobio teške tjelesne ozljede u nesreći, a suvozač je zadobio lakše ozljede. Požar nakon sudara proširio se s terenca na auto parkiran u garaži, a bila je zahvaćena i sama garaža i kuća. [8]

8.1. Inicijalna reakcija hitnih službi

Vatrogasna postrojba okruga Orange primila je prvu obavijest u 18:17, a vatrogasci na mjesto događaja su stigli u 18:25 sati. Policajci šerifovog odjela okruga Orange stigli su u 18:28 i uspostavili jedinstveno zapovjedništvo na intervenciji. Policajci su upravljali mjestom događaja, što je uključivalo identifikaciju prisutnih i uzimanje izjava svjedoka. Kad su vatrogasci stigli, gorjeli su i Tesla i kuća. [10]

Prva ekipa koja je izašla na mjesto požara vodom je gasila zapaljeno vozilo u garaži. Do 18:44 najveći dio požara je ugašen, ali se činilo da je u garaži bila uskladištena mala količina goriva, a vatra je gorjela u potkrovlju iznad garaže. Konstrukcija garaže je počela popuštati, pa je vatrogascima bio otežan pristup požaru potkrovlja koji je prijetio kući.

Vatrogasci su oko 19 sati zaustavili širenje požara. Činilo se da je požar ispod automobila ugašen, ali se zatim nekoliko puta ponovno rasplamsao.

Do 19:17 sati, posada iz teškog navalnog vozila je na mjestu događaja stabilizirala zid garaže. Vatrogasci su zatim uklonili automobil iz garaže kako bi procijenili požar i kao izvor gorenja identificirali visokonaponsku bateriju električnog automobila. U 20:04 sati, nakon što je Tesla izvučena na dvorište, baterija se ponovno upalila.



Slika 21. Tesla u plamenu [10]

Požar je brzo ugašen vodom, nakon čega je Tesla ostala stabilna te ugašena otprilike 45 minuta. Tijekom tog vremena, vatrogasci su stavili pod kontrolu požar na kući. Tesla je počela ispuštati gusti bijeli dim 45 minuta nakon što je plamen ugašen, ponovno se zapalila i počela gorjeti. Vatrogasci su započeli akciju gašenja sa protokom od 757 l/min (200 galona u minuti), ali to nije ugasilo plamen. [10]

Posada je pustila vozilo da slobodno gori kako bi izgorilo što više zapaljivih tvari iz unutrašnjosti vozila. U 21:13 vatrogasci su postavili Teslu na blokove kako bi otkrili donju stranu vozila i gasili sa još vode, maksimalnim protokom od 2270 l/min (600 galona po minuti), oko 45 minuta kako bi ohladili bateriju.

Nabacivanjem vode na donji dio vozila požar je ugašen. Jedan od voditelja odjela koji je bio na intervenciji rekao je istražiteljima da je požar "vrlo ozbiljan" te ga je teže ugaziti nego što su vatrogasci prvotno očekivali. Iako su izbacili veliku količinu vode, donji dio vozila se stalno palio i teško ga je bilo ugaziti. Prema riječima voditelja odjela, vatrogasne ekipe pregledale su vodiče za hitne slučajeve i pretražile na internetu smjernice o odgovarajućim radnjama koje treba poduzeti. [10]

Šef je rekao da su vatrogasci koristili aparate za disanje zbog velike količine oštrog dima – osjećao se gotovo kao požar opasnih materijala. Također, oni koji su zapovijedali akcijom gašenja požara, voljeli bi pustiti da se vatra vozila sama ugasi, ali su bili zabrinuti da bi to moglo potrajati i do 24 sata i da bi dim mogao utjecati na ljude u tom dijelu naselja.

Kao rezultat početnih napora hitne intervencije, dva policijska službenika okruga Orange zadobila su lakše ozljede zbog udisanja dima. Više od 75.000 L vode (20.000 galona) nabačeno je na vatru vozila, različitim protocima, tijekom najmanje 2 sata.

8.2. Daljnje postupanje

Vučna služba pozvana je u 22:40 sati, a stigla je u 23:09 sati. Dok je Tesla bila utovarena na vozilo vučne službe, iz nje se ponovno počelo dimiti, a vatra baterije vozila ponovno se rasplamsala. Vatrogasci su bateriju ponovno polili vodom, ali je vodu bilo teško usmjeriti ispod vozila jer je postavljeno na daske (kotači su uništeni tijekom sudara). Tesla je bila spuštana s vozila vučne službe, a vatrogasci su ponovno ugasili požar. Lakše je stradao vozač vučne službe, koji je opekao ruke dok je spuštao Teslu s platforme jer su kontrole bile blizu bočnih strana gorućeg vozila i morao je skinuti mokre, skliske rukavice da bi njima upravljao.

Vatrogasci su nastavili s nabacivanjem vode brzinom od oko 1130 l/min (300 galona u minuti) kako bi ohladili bateriju. Nakon što se baterija ohladila, Tesla je odvučena s mjesta nesreće, oko 00:21 poslije ponoćni, 6 sati nakon nesreće.



Slika 22. Stavljanje Tesle u plamenu na vozilo vučne službe [10]

Baterija se ponovno upalila na nekoliko sekundi dok je vozilo istovareno na odlagalištu. Iako se iz vozila dimilo, nije se zapalilo, a vozač vučne službe nije pozvao vatrogasce. Tesla je bila postavljena na odlagalištu što dalje od drugih vozila ili zgrade, oko 15 metara od drugih vozila s dvije strane, oko 6 metara od ostalih vozila s treće strane te oko 4 metra od betonskog zida s četvrte strane. Prema dnevniku rada vučne službe, posao je završen u 1:15 poslije ponoći.

8.3. Istraga nakon nesreće

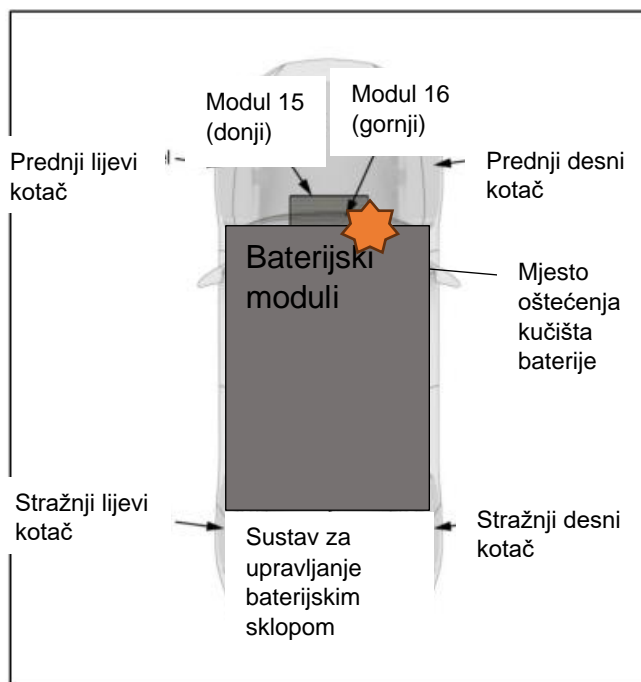
Šestog i sedmog rujna 2017. istražitelji su pregledali Teslu i bateriju na odlagalištu. Obišli su i mjesto nesreće. Tesla je pretrpjela veliku štetu od požara i udarca. Sklopka za isključenje visokonaponske baterije od ostatka električnog kruga u vozilu bila je u području teške požarne i udarne štete u unutrašnjosti, čineći nemogućim utvrditi jesu li joj vatrogasci uspjeli pristupiti i isključiti ju. Kada je vozilo bilo podignuto kako bi se mogla pregledati donja strana, istražitelji su otkrili da je prednji desni kut kućišta baterije puknut, otkrivajući pojedinačne ćelije baterije, kao što je prikazano na slici 23.



Slika 23. Oštećeno kućište visokonaponske baterije [10]

Litij-ionska baterija Tesle sadržava 16 modula. Pukotina na kućištu baterije je otkrila module 13 i 15 u desnom prednjem kutu, u ravnini s desnim prednjim kotačem, kočionim diskom, a ostale komponente podvozja su nedostajale, najvjerojatnije su izgubljene u sudaru vozila s odvodnom cijevi. Oštećeni su i moduli 11 i 9, neposredno iza modula 13.

Baterijske ćelije iz modula 13 i 15 su nedostajale, a pojedinačne ćelije pronađene su na ulici, u prilazu te u odvodnom jarku. Kućište baterije je pokazalo toplinsko oštećenje, savijanje i deformaciju na oko 80 % vanjskog dijela. Samo stražnji dijelovi nisu pokazali toplinska oštećenja. Svi sigurnosni ventili pokazali su znakove ispuštanja vrućeg plina, a odzračnici na prednjoj strani su bili potpuno izgorjeli. Na lijevoj strani i u sredini pokazali su velika toplinska oštećenja, dok su oni straga imali manja oštećenja.



Slika 24. Prikaz položaja baterije u Tesli i mjesto oštećenja [10]

Iako je baterija pokazala toplinsko oštećenje, veći dio ostao je netaknut. Trajanje požara nakon sudara i višestruka ponovna paljenja baterije bili su dokaz da je baterija sadržavala zaostalu energiju. Međutim, količina zaostale energije nije se mogla izravno izmjeriti jer su priključni terminali modula bili nedostupni.

9. Savjeti za gašenje požara električnih vozila

Budući da ovaj rad može poslužiti i kao priručnik za prikaz potencijalnih opasnosti tijekom gašenja požara električnih vozila, u nastavku donosi i nekoliko dodatnih savjeta za gašenje požara kod električnih vozila:

- **Izolacija vozila**
 - Ako je moguće, izolirati vozilo od drugih objekata i vozila kako bi se spriječilo širenje požara. Postaviti sigurnosnu zonu oko vozila.
- **Korištenje velike količine vode**
 - Za gašenje požara na litij-ionskim baterijama često je potrebna velika količina vode. Voda pomaže u hlađenju baterija i sprječava ponovno zapaljenje. Neki izvori preporučuju korištenje do 80.000 litara vode.
- **Specijalizirana oprema**
 - Koristiti specijaliziranu opremu, poput termalnih kamera, za praćenje temperature baterija i identifikaciju skrivenih žarišta. Također, razmisliti o korištenju specijaliziranih aparata za gašenje požara na baterijama.
- **Kontinuirano hlađenje**
 - Nakon što je požar ugašen, nastaviti s hlađenjem baterija kako bi se spriječilo ponovno zapaljenje. Ovo može trajati nekoliko sati, stoga treba strpljenje i temeljitost.
- **Edukacija i obuka**
 - Redovito educirajte i obučavajte vatrogasce o najnovijim metodama i tehnologijama za gašenje požara na električnim vozilima. Organizirajte simulacije i praktične vježbe kako bi vatrogasci bili spremni za stvarne situacije.

- **Sigurnosne mjere**
 - Osigurati da vatrogasci koriste odgovarajuću zaštitnu opremu, uključujući zaštitne maske i odijela, kako bi se zaštitili od otrovnih plinova i kemikalija koje mogu nastati tijekom požara baterija.
- **Komunikacija s proizvođačima**
 - Održavati komunikaciju s proizvođačima električnih vozila radi potrebe informiranosti o specifičnostima različitih modela i potencijalnim rizicima. Proizvođači često imaju korisne informacije i smjernice za gašenje požara na njihovim vozilima.
- **Dokumentacija i analiza**
 - Nakon svake intervencije, dokumentirati postupke i rezultate. Analizirati što je bilo uspješno, a što bi se moglo poboljšati. Ova analiza može pomoći u unapređenju budućih intervencija.

Ovi savjeti mogu pomoći vatrogascima da se učinkovitije nose s izazovima koje donose požari električnih vozila.

10. Zaključak

Požari električnih vozila predstavljaju jedinstven izazov za vatrogasne službe širom svijeta. Ovi požari, uzrokovani specifičnim karakteristikama Litij-ionskih baterija, zahtijevaju posebne taktike i opremu za učinkovito gašenje.

Kroz analizu brojnih intervencija i studija slučaja, postaje jasno da su potrebne inovativne metode i kontinuirana edukacija kako bi se uspješno nosili s ovim izazovima.

Električna vozila donose mnoge prednosti, uključujući smanjenje emisija štetnih plinova i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima. Međutim, s ovim prednostima dolaze i novi rizici.

Požari baterija mogu biti izuzetno intenzivni i teško ih je ugasiti zbog mogućnosti ponovnog zapaljenja. Stoga je ključno razviti standardizirane operativne postupke koji će omogućiti brzu i sigurnu reakciju vatrogasaca.

Jedna od ključnih preporuka je kontinuirana edukacija vatrogasnog osoblja. Vatrogasci moraju biti upoznati s najnovijim tehnologijama i metodama gašenja požara baterija. Također, potrebno je unaprijediti opremu koja se koristi u ovakvim intervencijama, uključujući specijalizirane aparate za gašenje i zaštitnu opremu.

U budućnosti, s očekivanim porastom broja električnih vozila na cestama, važno je da vatrogasne službe budu spremne na nove izazove. To uključuje ne samo tehničku pripremljenost, već i razvoj strategija za prevenciju požara. Samo kroz stalno usavršavanje i prilagodbu može se osigurati da požari električnih vozila ne predstavljaju nepremostiv problem za vatrogasne službe.

Na kraju, važno je naglasiti da su električna vozila ključni dio održive budućnosti. Njihov razvoj i integracija u svakodnevni život donose mnoge prednosti, ali i izazove koje treba zajednički rješavati. Kroz suradnju, inovacije i kontinuiranu edukaciju, može se povećati sigurnost i učinkovitost u borbi protiv požara električnih vozila, te tako doprinijeti sigurnijem i čistijem svijetu za sve ljude.

11. Izvori

- [1] URL: Enciklopedija – električna vozila, dostupno na <https://enciklopedija.hr/clanak/elektricna-vozila>, pristupljeno 10.05.2024.
- [2] URL: Centar za vozila Hrvatske – broj vozila s električnim i hibridnim pogonom, dostupno na https://www.cvh.hr/media/5160/s15__broj_vozila_s_elektricnim_i_hibridnim_pogonom_2007do2023.pdf, pristupljeno 10.05.2024.
- [3] URL: Dijelovi hibridnog automobila, dostupno na <https://korak.com.hr/dijelovi-hibridnog-automobila/>, pristupljeno 10.05.2024.
- [4] Šipuš M., Gašenje požara električnih vozila, dostupno na <https://hrcak.srce.hr/file/316671>, pristupljeno 11.05.2024.
- [5] URL: Baterija električnog vozila, dostupno na <https://news.mit.edu/2021/designing-better-batteries-electric-vehicles-0816>, pristupljeno 11.05.2024.
- [6] URL: Kontroler baterije električnog vozila, dostupno na https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fm.youtube.com%2Fwatch%3Fv%3D8DMtTK0cbp0&psig=AOvVaw18mOBcFtRBRu_TabV6XQtZ&ust=1726848446373000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCNCIfaxz4gDFQAAAAAdAAAAABAK, pristupljeno 11.05.2024.
- [7] URL: Kako rade potpuno električni automobili, dostupno na <https://epunjaci.hr/2022/01/05/kako-rade-potpuno-elektricni-automobili/>, pristupljeno 11.05.2024.
- [8] URL: Punionica za električne automobile, dostupno na https://hr.wikipedia.org/wiki/Punionica_za_elektri%C4%8Dne_automobile, pristupljeno 11.05.2024.
- [9] URL: Vodič kroz punjače za električna vozila, dostupno na <https://www.strujnikrug.hr/vodic-kroz-punjace-za-elektricna-vozila/>, pristupljeno 12.05.2024.

- [10] *Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles*, National Transportation Safety Board, dostupno na <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SR2001.pdf>, pristupljeno 12.05.2024.
- [11] Skupina autora, Procjena ugroženosti i tehnološke eksplozije za tunele Kamenice i Debeli Brijeg kao dio brze ceste D8 – Most Pelješac – D414 – D8 (Zaštita i sigurnost j.d.o.o., 2023.)
- [12] URL: Vatrogasni kontejner, dostupno na <https://opensourcecelab.dfki.de/the-red-boxx-a-bathtub-for-cars/>, pristupljeno 14.05.2024.
- [13] URL: Vatrogasna deka, dostupno na <https://www.jutarnji.hr/autoklub/aktualno/video-vatrogasna-deka-u-slucaju-pozara-automobila-je-sigurno-rjesenje-evo-i-kako-se-koristi-15071389>, pristupljeno 14.05.2024.
- [14] URL: Vatrogasna deka, dostupno na <https://www.thedrive.com/news/could-a-giant-fireproof-blanket-be-the-solution-for-stubborn-ev-battery-fires>, pristupljeno 14.05.2024.
- [15] URL: Vatrogasna vreća „Recover-e-bag“, dostupno na <https://www.weber-rescue.com/en/feuerwehr/zusatzausruestung/glasmanagement-und-sicherungssysteme/recover-e-bag.php>, pristupljeno 15.05.2024.
- [16] URL: Termalna kamera, dostupno na <https://mipexauthors.com/termalne-kamere/>, pristupljeno 20.05.2024.
- [17] URL: Termalna kamera, dostupno na <https://www.securitysee.com/2020/07/22/15-razlicitih-upotreba-termalnih-kamera/>, pristupljeno 20.05.2024.
- [18] URL: F500 aditiv, dostupno na <https://hct-world.com/f-500-encapsulator-agent-f-500-ea/>, pristupljeno 20.05.2024.

[19] URL: Firesorb aditiv, dostupno na
<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.dinamitek.com%2Fen%2F3880-4720-firesorbent-vegetable-flame-retardant-for-any-type-of-liquid-airbank&psig=AOvVaw2o35SLO97HV3lB2k2PRgmn&ust=1726850560800000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjRxqFwoTCNiHneO5z4gDFQAAAAAdAAAAABAE>, pristupljeno 20.05.2024

[20] Žakula M, Kirin S.: *Istraživanje postupaka gašenja požara na električnim vozilima*, Časopis Sigurnost, 65 (2023); 255 – 267.

[21] Žakula M., Krin S., Šarić M.: *Extinguishing fire in electric vehicles*, Book of proceedings 7th international scientific conference on safety engineering fire, environment, work environment and integrated risk, (2021.) 86-93

12. Prilozi

12.1. Popis slika

Slika 1. – Prodana nova vozila prema vrsti pogona.....	8
Slika 2. – Elektromotor za vozilo.....	10
Slika 3. – Baterija za vozilo na električni pogon.....	11
Slika 4. – Kontroler sustava električnog vozila.....	12
Slika 5. – Dijelovi električnog automobila.....	14
Slika 6. – Punjač za automobile sa jednofaznom utičnicom.....	17
Slika 7. – Kućni punjač velike snage.....	18
Slika 8. – Punjač za automobile na rasvjetnom stupu.....	20
Slika 9. – AC punjač.....	21
Slika 10.– DC punjač.....	22
Slika 11. – Tesla punjač.....	24
Slika 12.– Sadržaj Tesline baterije.....	26
Slika 13. – Vatrogasni kontejner.....	37
Slika 14. – Pospremljena vatrogasna deka.....	38
Slika 15. – Upotrebljena vatrogasna deka.....	38
Slika 16. – Vatrogasna vreća „ <i>Recover-e-bag</i> “.....	39
Slika 17. – Termalna kamera.....	40
Slika 18. – Obična mlaznica sa zasunom.....	42
Slika 19. – Posebno dizajnirana turbo mlaznica za gašenje aditivom F500.....	44
Slika 20. – Firesorb aditiv vodi.....	45
Slika 21. – Tesla u plamenu.....	47
Slika 22. – Stavljanje Tesle u plamenu na vozilo vučne službe.....	49
Slika 23. – Oštećeno kućište visokonaponske baterije.....	50
Slika 24. – Prikaz položaja baterije u Tesli i mjesto oštećenja.....	51

12.2. Popis tablica

Tablica 1. – Djelovanje električne struje na ljudsko tijelo.....28

12.3. Popis kratica

AC – izmjenična struja

DC – istosmjerna struja

V – volt [jedinica za napon električne struje]

kV - kilovolt

Hz – herc [jedinica za frekvenciju]

Li-ion – litij ionska

LiMnCo – Litij mangan kobalt

LiFePO₄ – Litij željezo fosfat

LiPo – litij polimer

EU – Europska unija

kW – kilovat (jedinica za snagu)

MW - megavat

km - kilometar

CHAdeMO – *Charge de Move* – vrsta punjača za električna vozila

CCS – *combined charging system* – vrsta punjača za električna vozila

mA – miliamper (jedinica za jakost električne struje)

RESS - Rechargeable energy storage system - sustavi za pohranu energije s mogućnošću punjenja