

OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA NA VOZILIMA KOJA KORISTE ALTERNATIVNA GORIVA

Trop, Mateo

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:128:068897>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-10**



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 REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Mateo Trop

**OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI
INTERVENCIJAMA NA VOZILIMA KOJA
KORISTE ALTERNATIVNA GORIVA**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences

Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Mateo Trop

**DANGERS AND PROTECTIVE
MEASURES ON FIRE SCENE WITH
INCLUDED ALTERNATIVE FUELS
VEHICLES**

Master thesis

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu

Odjel sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Mateo Trop

**OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI
INTERVENCIJAMA NA VOZILIMA KOJA
KORISTE ALTERNATIVNA GORIVA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Filip Žugčić, mag. ing. el.

Karlovac, 2024.



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 diplomski studij: Sigurnost i zaštita

Usmjerenje: Zaštita od požara

Karlovac, 2024.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Student: Mateo Trop

Matični broj: 0248041275

Naslov: Opasnosti i mjere zaštite pri intervencijama na vozilima koja koriste alternativna goriva

Opis zadatka:

Tržište vozila koja koriste alternativne vrste goriva kao pogonsku energiju posljednjih je godina doživjelo značajan porast. Taj porast izazvan je sve većom ekološkom svijesti kod ljudi kao i potrebom za smanjenje emisije štetnih plinova koji su nusprodukt izgaranja fosilnih goriva. Sve veća primjena električnih, hibridnih i vozila na vodik u svakodnevnom životu donosi brojne prednosti, ali isto tako stvara i nove izazove za hitne službe. Cilj ovoga rada je prikazati dodatne opasnosti koje takva vozila predstavljaju te ponuditi rješenja kako te opasnosti svesti na minimalnu razinu provedbom mjera zaštita kao što su specijalizirane edukacije, obuke, oprema i korištenje vodiča za hitne slučajeve koje je proizvođač vozila obavezan propisati za svaki model vozila.

Zadatak zadan:
Travanj, 2024.

Rok predaje rada:
Prosinac, 2024.

Predviđeni datum obrane:
Prosinac, 2024.

Mentor:
Filip Žugčić, v. pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:
Lidija Jakšić, pred.

PREDGOVOR

Ovaj rad izradio sam samostalno koristeći znanje stečeno tijekom studija, na raznim vatrogasnim edukacijama, seminarima i radionicama te literaturu koja je citirana i navedena u popisu literature. Zahvaljujem se svome mentoru Filipu Žugčiću, mag. ing. el., na nesebično utrošenom vremenu i savjetima koje mi je davao prilikom pisanja diplomskog rada.

Posebno se želim zahvaliti obitelji, prijateljima, vatrogascima Javne vatrogasne postrojbe grada Karlovca i supruzi Anamariji na neizmjerne podršci i razumijevanju koje su mi pružili tijekom trajanja studija.

Mateo Trop

SAŽETAK

Tržište vozila koja koriste alternativne vrste goriva kao pogonsku energiju posljednjih je godina doživjelo značajan porast. Taj porast izazvan je sve većom ekološkom svijesti kod ljudi kao i potrebom za smanjenje emisije štetnih plinova koji su nusprodukt izgaranja fosilnih goriva.

Sve veća primjena električnih, hibridnih i vozila na vodik u svakodnevnom životu donosi brojne prednosti, ali isto tako stvara i nove izazove za hitne službe. Svako vozilo koje kao pogonsko sredstvo koristi alternativnu vrstu goriva zahtjeva poseban pristup prilikom intervencija spašavanja unesrećenih osoba.

Opasnosti koje predstavljaju vozila na alternativna goriva značajno se razlikuju od onih koje kao pogonsko sredstvo koriste konvencionalna goriva (benzin, nafta). Kod električnih i hibridnih vozila opasnost od električnog udara je znatno povećana ukoliko se ne pridržavamo propisanih procedura dok je kod vozila na vodik povećana opasnost od eksplozije izazvane skladištenjem vodika u visokotlačnim spremnicima.

Mjere zaštite pri intervencijama s uključenim vozilima na alternativna goriva uključuju specijalizirane edukacije, obuke, opremu i poštivanje vodiča za hitne slučajeve koje je proizvođač vozila propisao za svaki model vozila. U vodiču za hitne slučajeve proizvođač vozila točno opisuje radnje koje je potrebno poduzeti kako bi se recimo kod vozila na električni pogon isključio visokonaponski dio vozila te se na siguran način mogle spasiti unesrećene osobe iz vozila. Stoga je razvijanje navika korištenja vodiča za hitne slučajeve vrlo bitna kao i pravovremena identifikacija vozila na alternativna goriva, a sve u cilju što veće sigurnosti interventnog osoblja i unesrećenih osoba.

Ključne riječi: autoindustrija, alternativna, goriva, električni, vodik, hibridni

SUMMARY

The market of vehicles that use alternative types of fuel as propulsion energy has experienced a significant increase in recent years. This increase is caused by the increasing environmental awareness among people as well as the need to reduce the emission of harmful gases that are a byproduct of burning fossil fuels.

The increasing use of electric, hybrid and hydrogen vehicles in everyday life brings numerous advantages, but also creates new challenges for emergency services. Any vehicle that uses an alternative type of fuel as a means of propulsion requires a special approach during interventions to rescue victims.

The dangers posed by alternative fuel vehicles are significantly different from those that use conventional fuels (gasoline, oil) as a means of propulsion. With electric and hybrid vehicles, the risk of electric shock is significantly increased if the prescribed procedures are not followed, while with hydrogen vehicles, the risk of explosion caused by the storage of hydrogen in high-pressure tanks is increased.

Protection measures during interventions involving alternative fuel vehicles include specialized education, training, equipment and compliance with the emergency guides prescribed by the vehicle manufacturer for each vehicle model. In the emergency guide, the vehicle manufacturer describes exactly the actions that need to be taken in order, for example, to switch off the high-voltage part of the vehicle in an electrically powered vehicle, and to safely rescue the injured persons from the vehicle. Therefore, developing the habit of using emergency guides is very important, as is the timely identification of alternative fuel vehicles, all with the aim of increasing the safety of emergency personnel and injured persons.

Keywords: automotive industry, alternative, fuel, electric, hydrogen, hybrid

SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	IV
PREDGOVOR.....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY.....	VII
1. UVOD.....	1
2. VRSTE VOZILA NA ALTERNATIVNA GORIVA.....	2
2.1. Vozila na električni pogon	2
2.2. Vozila na vodik.....	6
2.3. Vozila na prirodni i naftni plin	7
3. OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S ELEKTRIČNIM I HIBRIDNIM VOZILIMA.....	9
3.1. Vrste požara i/ili eksplozija	11
3.2. Sustav upravljanja baterijom	13
3.3. Čimbenici koje dovode do požara baterije	13
3.4. Požari nastali na stanicima za punjenje električnih vozila	17
3.5. Razvoj požara električnog vozila.....	19
3.6. Gašenje požara električnog vozila	21
3.7. Vjerojatnost nastanka požara električnog vozila	23
4. OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA VODIK.....	26
4.1. Podjela i princip rada vozila na vodik	26
4.2. Spremnici vodika na vozilu.....	28
4.3. Opasnosti povezane s vozilima na vodik	29
4.4. Gašenje požara vozila na vodik	31

5.	OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA PRIRODNI I NAFTNI PLIN.....	33
5.1.	Vozila na komprimirani prirodni plin (CNG).....	33
5.2.	Vozila na ukapljeni prirodni plin (LNG).....	34
5.3.	Vozila na ukapljeni naftni plin (LPG).....	35
5.4.	Istjecanje plina kod vozila na prirodni i naftni plin.....	36
5.5.	Gašenje požara kod vozila na prirodni i naftni plin.....	36
6.	DODATNI RESURSI I OPREMA PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA ALTERNATIVNA GORIVA.....	39
7.	MEĐUNARODNA NORMA ISO 17840.....	42
8.	ZAKLJUČAK.....	48
9.	LITERATURA.....	49
10.	POPIS PRILOGA.....	51
10.1.	Popis slika.....	51
10.2.	Popis tablica.....	52

1. UVOD

Jedan od glavnih čimbenika u cilju ublažavanja klimatskih promjena je smanjenja ili eliminacija upotrebe vozila koja za pogonsku energiju koriste fosilna goriva kao što su benzin ili nafta, te njihova zamjena vozilima koja kao pogonsku energiju koriste alternativne vrste goriva. Vozila na alternativne vrste goriva obuhvaćaju vozila pogonjena električnom energijom (električna energija skladištena u visokonaponskim baterijama velike gustoće energije), komprimiranim prirodnim plinom (CNG), ukapljenim prirodnim plinom (LNG), ukapljeni naftni plin (LPG), bio-gorivima i vodikom.

Danas oko 5% osobnih i dostavnih vozila u Europskoj uniji kao pogonsku energiju koristi alternativna goriva. Broj električnih i hibridnih vozila u 2022. godini iznosio je 4,4 milijuna što je 16 puta više nego 2015. godine. U Hrvatskoj od gotovo 1,9 milijuna automobila njih oko 60 tisuća koristi alternativne vrste goriva među kojima je nešto više od 4 tisuće električnih i hibridnih vozila. Do 2022. godine na prostoru Europske unije postavljeno je oko 360 tisuća javno dostupnih punionica za električna i hibridna vozila, no većina ih je koncentrirana u nekoliko zemalja kao što su Švedska, Nizozemska, Njemačka, Francuska te Italija. [1]

Upotreba vozila na alternativna goriva eksponencijalno raste i ne uključuje samo osobna vozila već laka i teška komercijalna vozila kao što su razna dostavna vozila, autobusi, radni strojevi te vozila hitnih službi. Povećanjem broja vozila na alternativna goriva koja svakodnevno sudjeluju u prometu povećavaju se i zahtjevi koji se očekuju od hitnih službi u cilju suočavanja s dodatnim opasnostima koje ovakva vrsta vozila predstavlja u odnosu na vozila na fosilna goriva.

2. VRSTE VOZILA NA ALTERNATIVNA GORIVA

2.1. Vozila na električni pogon

Vozilo na električni pogon je vozilo koje se pokreće elektromotorom, koristeći električnu energiju skladištenu u baterijama. Ova vozila bila su popularna početkom 20. stoljeća do usavršavanja motora s unutarnjim izgaranjem te masovne proizvodnje jeftinih vozila na benzinski pogon. Ponovni kratkotrajni interes za električna vozila pojavio se s energetske krizama 1970-ih i 80-ih godina nakon čega se obnovio početkom 21. stoljeća. [2] Glavne prednosti vozila na električni pogon u odnosu na konvencionalna vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem su:

- Značajno smanjenje onečišćenja zraka
- Smanjenje emisije stakleničkih plinova
- Manja ovisnost o neobnovljivim izvorima energije (fossilna goriva)

Vozila koja za pogon koriste električnu energiju možemo podijeliti u 4 kategorije:

- 1) Vozila na vodik – Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)
- 2) Električna vozila – Battery Electric Vehicle (BEV)
- 3) Hibridna električna vozila – Hybrid Electric Vehicle (HEV)
- 4) Plug-in hibridna električna vozila – Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

2.1.1. Električna vozila (BEV)

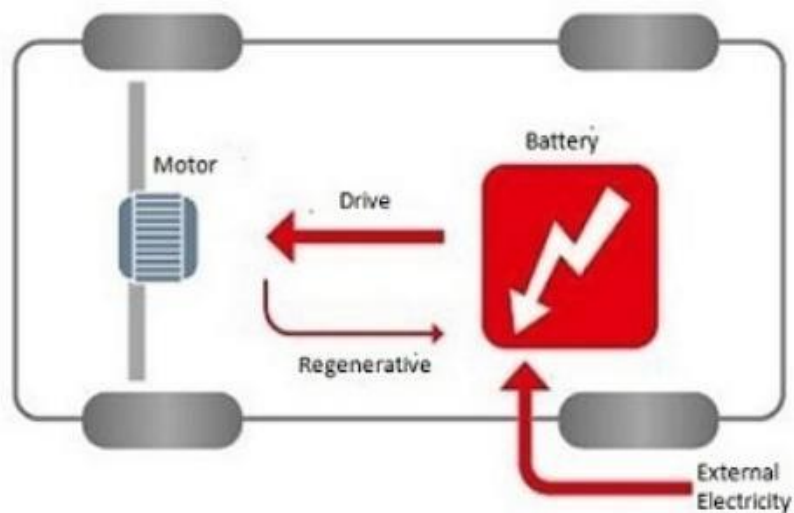
Električna vozila su vozila koja koriste isključivo električnu energiju pohranjenu u velikim baterijama koje se nalaze u vozilu kao pogonsko sredstvo. Baterija se puni priključivanjem vozila na električnu mrežu te pogoni jedan ili više elektromotor.

Električna vozila rade na principu da se električna energija iz baterije pretvara iz istosmjernog napona u izmjenični kako bi opskrbila izmjenični elektromotor. Preko papučice gasa vozač šalje signal kontroleru koji promjenom frekvencije regulira brzinu elektromotora. Kada vozilo usporava elektromotor postaje generator koji proizvodi električnu energiju i pohranjuje je u baterije. Jedan od primjera električnog vozila je Tesla Model 3 (Slika 1). [2]



Slika 1. Primjer električnog vozila - Tesla Model 3 [3]

Osnovne komponente koje se nalaze u električnom vozilom su elektromotor, inverter, baterija i kontroler (Slika 2).



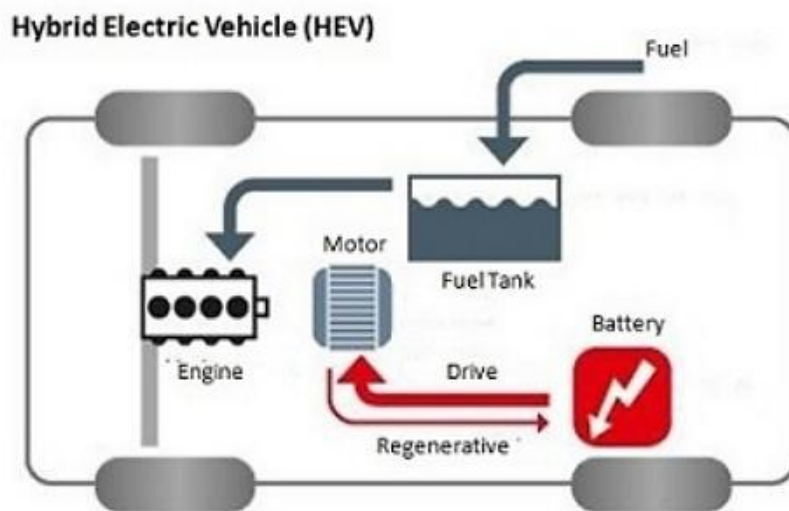
Slika 2. Komponente električnog vozila [4]

2.1.2. Hibridna električna vozila (HEV)

Hibridna električna vozila su vozila koja koriste dvije vrste pogonskih sredstva. Kod ove vrste električnih vozila motor s unutarnjim izgaranjem energiju dobiva iz pogonskog goriva, dok elektromotor pogonsku električnu energiju dobiva iz baterije. Baterije u hibridnom električnom vozilu ne mogu se puniti priključivanjem vozila na

energetsku mrežu već se ona puni isključivo putem motora s unutarnjim izgaranjem i usporavanjem vozila gdje elektromotor preuzima ulogu generatora.

Osnovne komponente koje se nalaze u hibridnom električnom vozilu su motor s unutarnjim izgaranjem, elektromotor, baterija s kontrolerom i inverterom te spremnik za gorivo (Slika 3).[2]



Slika 3. Komponente hibridnog električnog vozila [4]

2.1.3. Plug-in hibridna električna vozila (PHEV)

Plug-in hibridna električna vozila su vozila koja koriste dvije vrste pogonskih sredstva kao i hibridna električna vozila no razlika je u tome što se PHEV vozilima baterija može puniti priključivanjem na energetsku mrežu (Slika 4). Ova vrsta vozila pokreće se konvencionalnim gorivima kao što je benzin, alternativnim gorivom kao što je biodizel ili elektromotorom koji koristi pohranjenu električnu energiju u bateriji.

PHEV vozila mogu raditi u dva načina rada:

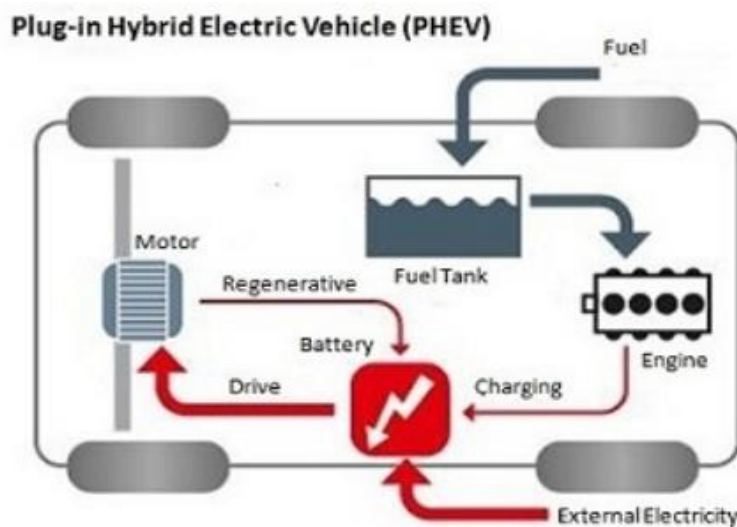
- 1) Potpuno električni način rada - elektromotor pokreće vozilo koristeći isključivo električnu energiju pohranjenu u bateriji
- 2) Hibridni način rada – vozilo istovremeno pokreće motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor

Najčešće se plug-in hibridna električna vozila pokreću u potpuno električnom načinu rada do trenutka potpunog pražnjenja baterije ili prelaze na hibridni način rada kada postignu određenu brzinu kretanja vozila. Motor s unutarnjim izgaranjem puni bateriju te radi kao hibridno električno vozilo. [2]



Slika 4. PHEV priključeno na elektroenergetsku mrežu [5]

Osnovne komponente koje se nalaze u plug-in hibridnom električnom vozilu su elektromotor, motor s unutarnjim izgaranjem, inverter, baterija, spremnik za gorivo, kontroler i priključak vozila na elektroenergetsku mrežu (Slika 5).



Slika 5. Komponente plug-in hibridnog električnog vozila [4]

2.2. Vozila na vodik

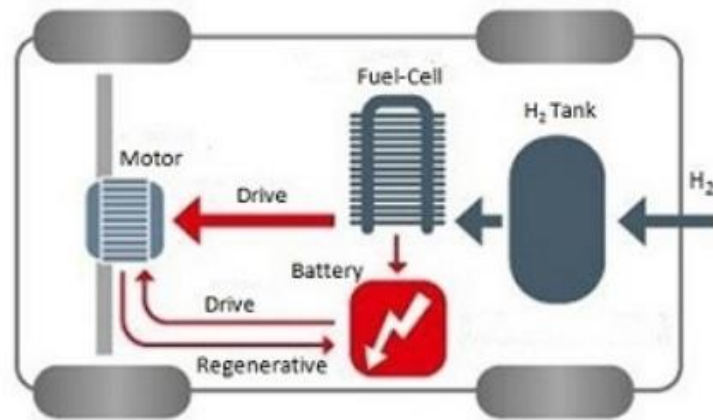
Vozila na vodik koriste tehnologiju gorivih ćelija za proizvodnju električne energije stoga ih još nazivamo električna vozila s gorivim ćelijama (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV). Tehnologijom gorivih ćelija kemijskom reakcijom vodika i kisika iz zraka uz nusprodukt vodenu paru proizvodi se električna energija potrebna za pokretanje vozila putem elektromotora. [6]



Slika 6. FCEV – Toyota Mirai

Osnovne komponente koje se nalaze u električnom vozilu s gorivim ćelijama su elektromotor, goriva ćelija, spremnik vodika te baterija s kontrolerom i inverterom (Slika 7).

Fuel-Cell Electric Vehicle (FCEV)



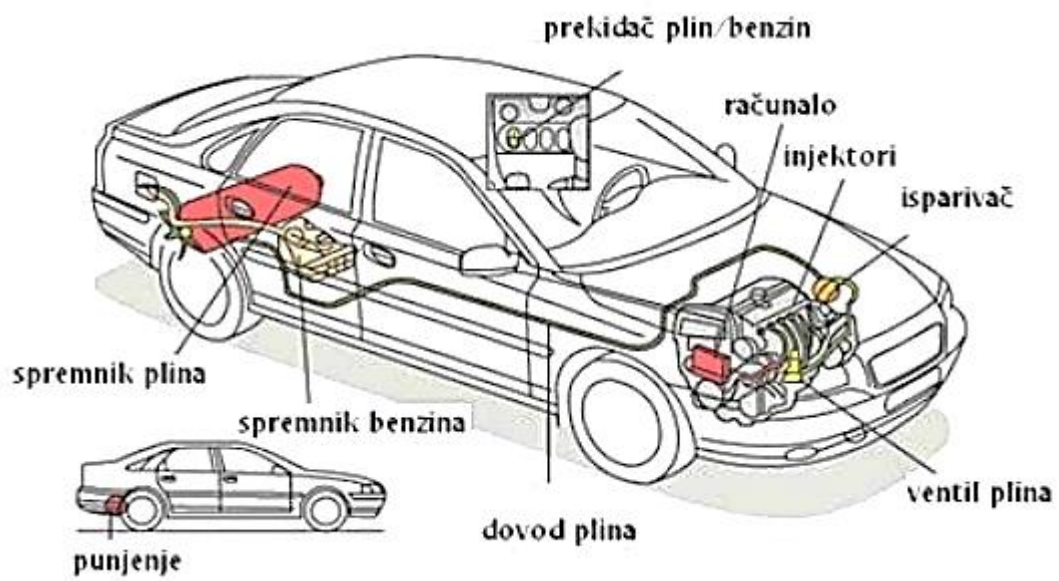
Slika 7. Komponente električnog vozila s gorivom ćelijom [4]

2.3. Vozila na prirodni i naftni plin

Komprimirani prirodni plin uglavnom se sastoji od metana (CH_4), a njegov volumen je manji od 1% koji zauzima pri standardnom atmosferskom tlaku. On se skladišti i distribuira u spremnicima, obično cilindričnog ili kuglastog oblika, pri tlaku od 20 – 25 MPa. Tri primarna plinovita goriva koja se koriste za pogon motora s unutarnjim izgaranjem su: komprimirani prirodni plin (CNG), ukapljeni prirodni plin (LNG) i ukapljeni naftni plin (LPG).

CNG se koristi u tradicionalnim vozilima s motorima s unutarnjim izgaranjem koja su modificirana, ili u vozilima posebno proizvedenima za korištenje CNG, bilo samostalno, ili sa zasebnim sustavom goriva, čime se povećava doseg (dvojno gorivo), ili u kombinaciji s nekim drugim gorivom kao što je diesel. Iako je ukapljeni prirodni plin (LNG) teži od zraka, komprimirani prirodni plin (LNG) lakši je od zraka. Ispušteni LNG ostati će nisko pri tlu sve dok se ne zagrije kada će se krenuti uzdizati prema gore.

LPG (propan ili butan) je ukapljen naftni plin pri tlaku od 1,4 MPa, pohranjuje se pri približno 1,65 MPa. Pare propana su približno 1,5 puta teže od zraka, pa će se on nakon ispuštanja zadržati nisko pri tlu. Njegovo područje zapaljivosti je 2 – 10% u smjesi zraka. (Slika 8). [7]



Slika 8. Shematski prikaz vozila na prirodni plin [8]

3. OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S ELEKTRIČNIM I HIBRIDNIM VOZILIMA

Standardna operativna procedura za sva vozila koja za pogonsko sredstvo koriste alternativna goriva uključuje:

1. Izvid mjesta intervencije
2. Identifikacija pogonskog goriva
3. Imobilizacija vozila
4. Isključenje sklopova za dovod alternativnog goriva

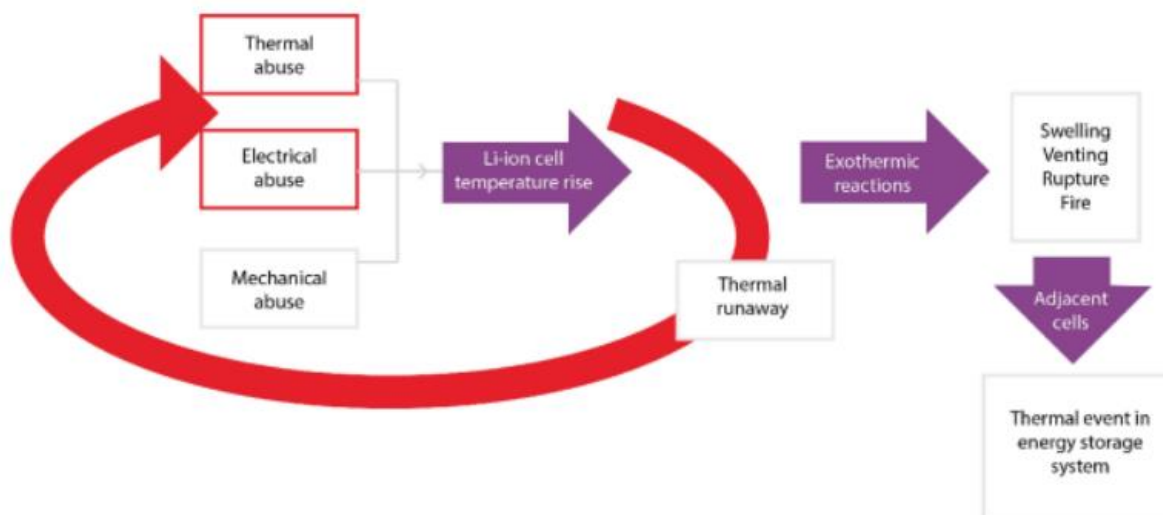
Uvijek je potrebno pretpostaviti kako vozilo koristi alternativnu vrstu goriva sve dok se ne utvrdi suprotno. Neki od načini utvrđivanja mogu uključivati vanjske oznake koje označavaju vozilo na alternativno gorivo. Oznake mogu biti skrivene uslijed sudara ili požara, stoga je možda potrebno koristiti alternativne metode identifikacije kao što je određivanje proizvođača, modela i godine proizvodnje vozila za pristup točnim informacijama o vozilu. Neki hibridni i električni modeli možda nemaju vanjsku oznaku za prepoznavanje ali će i dalje imati naljepnice upozorenja o visokom naponu i druge sekundarne indikatori kao što je oznaka "Nulta emisija" na Nissan Leafu (Slika 9).



Slika 9. Oznaka "Nulta emisija" na vozilu Nissan Leaf [9]

Požar koji se inicira unutar baterije električnog ili hibridnog vozila ima znatno drugačije ponašanje u odnosu na onoga kod motora s unutarnjim izgaranjem iz razloga što se u bateriji može dogoditi toplinski bijeg na kojeg utječe veličina, kemijski sastav, stupanj napunjenosti baterije i ostalo.

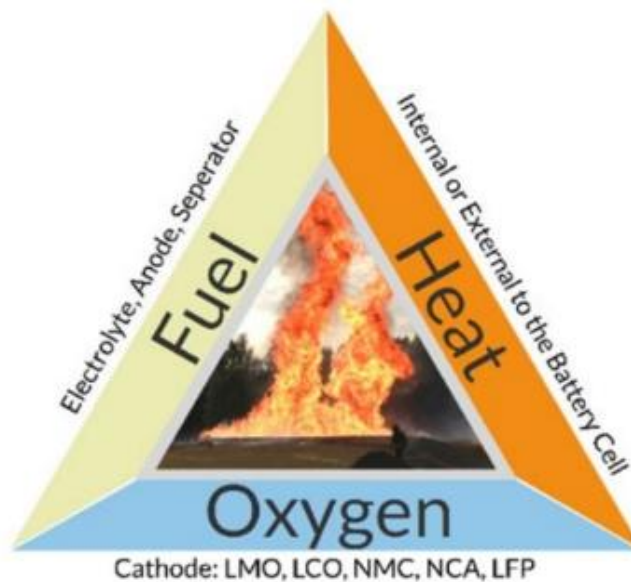
Toplinski bijeg je proces unutar baterijskih ćelija koji dovodi do razgradnje elemenata baterije te može izazvati požar unutar same baterije. On se još opisuje kao pregrijavanje u kojemu visoka temperatura ili visoki napon pokreću kemijske reakcije unutar baterije pri čemu sustav hlađenja ne može dovoljno ohladiti ćelije baterije što rezultira nastavljanje zagrijavanja. Ukoliko uslijed toplinskog bijega na ćeliji baterije nastane požar vrlo je vjerojatno kako će se uslijed zagrijavanja požar proširiti i na susjedne ćelije. Što je veći broj ćelija zahvaćen toplinskim bijegom to je veća vjerojatnost kako će u konačnici cijela baterija biti zahvaćena požarom. Toplinski bijeg može se pojaviti i pri relativno niskim temperaturama što će rezultirati ispuštanjem velike količine zapaljivih plinova koje se mogu zapaliti ukoliko u blizini postoji odgovarajući izvor paljenja uz zadovoljene uvjete gorenja, npr. dovoljna količina kisika, gorive tvari i toplina. [10]



Slika 10. Uzroci i posljedice nastanka toplinskog bijega [10]

3.1. Vrste požara i/ili eksplozija

Li-ion baterije trenutno su najzastupljenija vrsta baterije za električna i hibridna vozila. Litij se koristi kao nositelj naboja u obliku iona u elektrolitu na bazi ugljikovodika. Elektrolit unutar baterije vrlo je zapaljiv i postoji velika mogućnost zapaljenja baterije ukoliko dođe do toplinskog bijega. Ako iz nekog razloga dođe do kontakta između elektrolita i elektrode unutar baterije on može dovesti do lančane reakcije zbog samoopskrbe kisikom iz kemijskih reakcija koje se odvijaju. Požarni trokut za požare li-ion baterija se pomalo razlikuje od požarnog trokuta na koji smo inače navikli iz razloga što li-ion baterije uslijed gorenja same sebi pružaju, uslijed odvijanja kemijskih reakcija, gorivu tvar i kisik te potencijalno i izvor topline. [10]



Slika 11. Uvjeti gorenja – požarni trokut [10]

Ovisno o okolini u kojoj se baterija nalazi, ispuštanje opasnih zapaljivih plinova može dovesti do četiri slučaja.

- Slučaj 1: Gorenje pri kojemu zapaljivi plinovi gore uz prisutnost izvora paljenja
- Slučaj 2: Usmjereni, mlazni požar pri kojemu se zapaljivi plinovi pod pritiskom ispuštaju u određenom smjeru uz mogućnost zapaljenja
 - Neke baterije u vozilima izrađene su tako da sadrže bočni ventilacijski otvor koji služi za smanjenje tlaka zapaljivih plinova unutar baterije što

može dovesti do bočno usmjerenog mlaznog požara koji može imati negativan utjecaj na okolinu kao i na hitne službe koje se nalaze oko vozila

- Slučaj 3: Eksplozija, deflagracija zapaljivih plinova koji se nalaze u određenoj smjesi sa zrakom između donje i gornje granice eksplozivnosti pri čemu se plamen širi podzvučno gdje stvara zanemarivi ili gotovo nikakav opasni nadtlak
- Slučaj 4: Eksplozija smjese zapaljivih plinova i para koje se nalaze između donje i gornje granice eksplozivnosti uz prisutnost izvora paljenja

Dok se li-ion baterije koriste u mnogim modernim uređajima, baterije u električnim i hibridnim vozilima većih su dimenzija i gustoća energije stoga mogu izazvati velike požare u smislu količine oslobođene energije koja može iznositi od 32,6 kWh i 118 kWh za električna vozila na području SAD-a. [10]

Uvjeti potrebni za nastanak eksplozije zapaljivih plinova i para uključuju prisutnost gorive tvari, kisika, izvora paljenja, odgovarajuća koncentracija čestica i ograničenje širenja čestica. Ispareni elektrolit i ostali plinovi ispušteni iz li-ion baterije kao rezultat utjecaja topline ili toplinskog bijega mogu stvoriti oblak zapaljivih plinova i para koji može biti u obliku bijelog niskog dima ili kao tamni oblak. Najčešći izvori zapaljenja su iskrenje, statički elektricitet, zagrijane površine, trenje i otvoreni izvor paljenja. Navedeni izvori zapaljenja mogu se nalaziti unutar same baterije kao rezultat toplinskog bijega. Ukoliko se oblak zapaljivih plinova zadržava u zatvorenom prostoru u koncentraciji između donje (DGE) i gornje (GGE) granice eksplozivnosti uz prisutnost izvora paljenja može doći do eksplozije zapaljivih plinova. Eksperimentalno je utvrđeno kako je ovo mogući scenarij kojemu je prethodio usmjereni, mlazni požar baterije. Ukoliko se zapaljivi plinovi zapale prije nego li zauzmu veći volumen prostora doći će do deflagracije ili mlaznog požara. [10]

Testiranjima i istraživanjima dokazano je kako je potrebno mnogo više vremena da bi se ugasio požar nastao na električnim i hibridnim vozila. Povećanje vremena može uzrokovati oštećenje strukturalnog objekta izazvano velikom količinom topline kao i potreba za velikim količinama vode. Također jedan od uzroka može biti ponovno zapaljenje baterije vozila do čega dolazi kada su druge susjedne ćelije unutar baterije oštećene prilikom čega može doći do toplinskog bijega. Gotovo 13% vozila ponovno

se zapalilo nakon gašenja početnog požara, dok je kod nekoliko vozila došlo do višestrukih samozapaljenja unutar nekoliko sati. Do 22 sata nakon gašenja može doći do ponovnog zapaljenja iako nema vidljivih znakova požara kao što su plamen, dim i isijavanje topline.

3.2. Sustav upravljanja baterijom

Sustav upravljanja baterijom je sustav koji prati ukupan napon baterije, napon svake pojedine ćelije unutar baterije, temperaturu baterije, te ukupnu struju kroz baterijske module. Prati „zdravlje“ baterije u točno određenim intervalima te regulira temperaturu baterije putem sustava upravljanja toplinom kako bi održao bateriju u optimalnom temperaturnom rasponu te pružila najbolje karakteristike.

Ukoliko sustav upravljanja baterijom otkrije kvar programiran je tako da taj kvar ukloni na način ovisan o „veličini“ kvara. Na primjer, to može biti tako što će deaktivirati neispravnu ćeliju, modul ili cijelu bateriju od električnog sustava kako bi spriječio nastanak toplinskog bijega. U slučaju otkazivanja sustava upravljanja baterijom uzrokovanu električnim kvarom ili programskom pogreškom može uzrokovati nastanak požara na bateriji. [10]

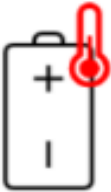


Kako je sustav upravljanja baterijom sastavni dio vozila proizvođač je dužan pružiti mjere za sprječavanje nastanka kvara sustava. Takve mjere mogu uključivati:

- Vlasnik vozila održava prema uputama proizvođača
- Implementacija modula u slučaju otkrivanja kvara na sustavu upravljanja baterijom
- Ugradnjom nadzora ćelija na elektrokemijske reakcije kako bi se utvrdilo kada je sustav upravljanja baterijom u kvaru te kada bi moglo doći do toplinskog bijega u kojeg će slučaju na siguran način isključiti bateriju.

3.3. Čimbenici koje dovode do požara baterije

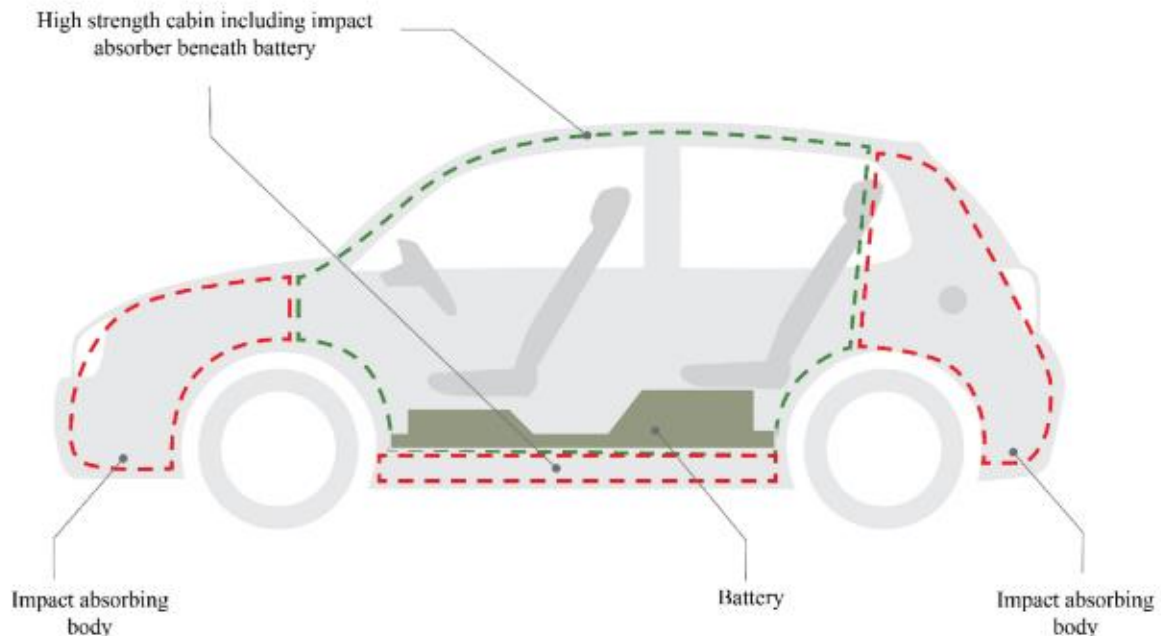
Požari baterije u električnim i hibridnim vozilima najčešće nastaju uslijed mehaničkih oštećenja, topline i izlaganja visokim naponima i strujama. U tablici 1. prikazani su različiti čimbenici koji mogu dovesti do nastanka požara baterije.

Tablica 1. Mehanizam uzroka i čimbenici koji dovode do požara baterije [10]

Čimbenici koje dovode do požara baterije	Mehanizam uzroka zapaljenja
 <p data-bbox="502 672 614 705">Toplina</p>	<p data-bbox="678 448 1388 649">U slučaju kada je li-ion baterija izložena visokim temperaturama uzrokovanim vanjskim požarom, dolazi do porasta temperature ćelija unutar baterije što može izazvati pregrijavanje.</p> <p data-bbox="678 660 1388 862">Pregrijavanje može dovesti do temperature potrebne za nastanak toplinskog bijega (približno 200°C) te postoji velika vjerojatnost nastanka požara na bateriji.</p>
<p data-bbox="279 985 582 1019">Visoki naponi i struje</p> 	<p data-bbox="678 891 1388 1422">Li-ion baterije izrađene su za pohranu određene količine električne energije tijekom određenog vremenskog razdoblja. Ukoliko nazivna vrijednost struje i/ili napona prijeđe maksimalnu vrijednost (na primjer zbog kvara na sustavu upravljanja baterijom) energija se rasipa u obliku topline. Ukoliko sustav hlađenja nije u mogućnosti odvesti tu količinu topline doći će do povraćanja temperature unutar baterije što može rezultirati nastankom toplinskog bijega.</p>
<p data-bbox="279 1467 582 1500">Mehanička oštećenja</p> 	<p data-bbox="678 1447 1388 1747">Do mehaničkih oštećenja najčešće dolazi uslijed sudara vozila koja mogu izazvati kratki spoj. Kratki spoj ćelija je mjesto gdje struja prolazi kroz vodljive terminale stvarajući tako toplinu koja ako se dovoljno brzo ne odvede može izazvati toplinski bijeg.</p>

Baterije unutar električnih i hibridnih vozila imaju dodatnu zaštitu od nastanka mehaničkih oštećenja uslijed sudara vozila kako bi se spriječilo oštećivanje baterije. Odgovarajuća zaštita postiže se izradom karoserije vozila od materijala visoke

čvrstoće, dodatnim zaštitama ispod baterije te u zonama prednjeg i stražnjeg dijela vozila predviđenim za apsorpiranje sile prilikom sudara (Slika 12). [10]



Slika 12. Dodatna zaštita od nastanka mehaničkih oštećenja na bateriji [10]

3.3.1. Prodor vode u bateriju kao uzrok požara

Baterije električnih i hibridnih vozila napravljene su na način da zadovolje minimalne mjere zaštite od prodora vode kao što je IP66 norma koja štiti kućište baterije od krutih čestica većih od 1mm i od prskanja vode niskog pritiska iz svih smjerova.

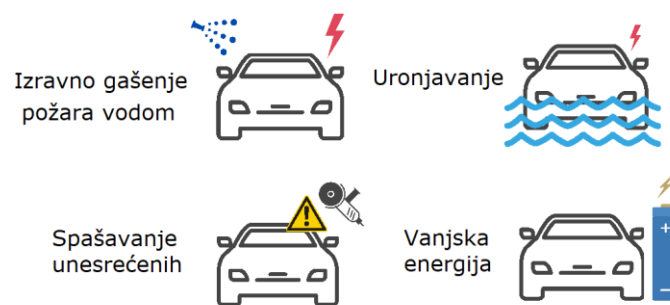
U slučaju da je baterija pretrpjela mehanička oštećenja, npr. prilikom sudara, postoji opasnost od prodiranja vode u bateriju i izazivanja kratkog spoja između ćelija. Sustavi za zaštitu od nastajanja kratkog spoja mogu otkriti postoji li električna veza između baterije i karoserije vozila u kojem će slučaju sustav automatski isključiti bateriju vozila kako bi se spriječio nastanak kratkog spoja ili dovođenje karoserije vozila pod napon.

EV Fire Safe, istraživački projekt financiran od strane australske vlade koji pruža besplatne informacije o opasnostima i mjerama zaštite pri intervencijama s električnim ili hibridnim vozilima te statistikama za hitne službe, istražili su požare koji se odnose na uronjavanje električnih vozila u vodu prilikom čega je zabilježeno kako su se

dogodila samo tri požara na svjetskoj razini. Dva slučaja odnosila su se na uranjanje vozila u slanu vodu prilikom čega je vrlo vjerojatno došlo do nastanka kratkog spoja iz razloga što slana voda ima bolju električnu vodljivost dok je samo jedan slučaj požara povezan s uranjanjem u slatku vodu. Možemo zaključiti kako rizik od nastanka požara uslijed uronjavanja vozila u vodu postoji no on je vrlo nizak. Nastajanje mjehurića na površini vode iznad uronjenog vozila ne moraju biti povezani s toplinskim bijegom baterije već nusprodukt elektrolize između pozitivnog i negativnog pola baterije koji razgrađuje molekule vode u vodik i kisik. [11]

Strujni udar

Nisu pronađeni nikakvi dokazi o strujnom udaru ili *near miss* hitnih službi od:



Slika 13. Čimbenici koji bi mogli dovesti do strujnog udara [11]

U slučaju izvlačenja uronjenog vozila iz vode i prilikom istjecanja vode iz baterije potrebno je obratiti pozornost na znakove koji mogu ukazati na nastanak požara baterije vozila:

- Tamni i svijetli oblaci pare koji izgledaju poput dima
- Pucketanje ili zviždanje
- Plamen koji prodire ispod vozila

3.4. Požari nastali na stanicima za punjenje električnih vozila

Postoje tri glavne vrste stanica za punjenje električnih vozila:

- Razina 1: klasična „šuko“ utičnica (ne preporučuje se zbog gubitaka energije i same sigurnosti). Koristi se za noćno punjenje vozila kod kuće (Slika 14).



Slika 14. Punjač razine 1 [2]

- Razina 2: AC punjač s već instaliranom utičnicom ili kabelom tipa 2. Omogućuju brže punjenje i obično su dostupni na javnim punionicama, polujavnim i privatnim kućama gdje žele brže punjenje i kombiniraju se sa solarnom elektranom (Slika 15).



Slika 15. Punjač razine 2 [2]

- Razina 3: DC punjač s već instaliranim kabelom – Ovi punjači omogućuju najbrže punjenje i obično su dostupni na javnim stanicama za punjenje uz autoceste i glavne prometnice. Oni mogu napuniti električno vozilo do 80% kapaciteta za oko 30 minuta (Slika 16).

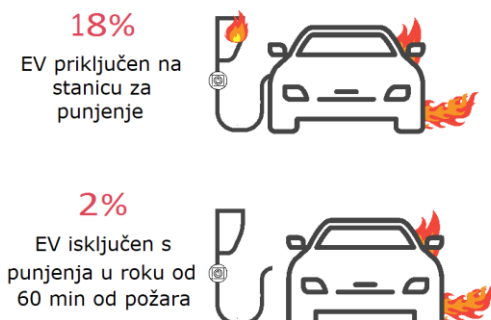


Slika 16. Punjač razine 3 [2]

Postoji sve veći broj podataka o ukupnom broju i vjerojatnosti nastanka požara na električnim vozilima, no ne postoji dovoljno informacija kako bi se točno utvrdilo je li požar nastao tijekom punjenja vozila, kvara na stanici za punjenje ili na priključnom kabelu (Slika 17). Također ne postoje informacije utječe li povećanje snage stanice za punjenje na vjerojatnost nastanka požara. [10]

Punjenje

Od ukupnog broja požara baterije EV:



Slika 17. Postotak požara električnih vozila povezanih sa stanicom za punjenje [11]

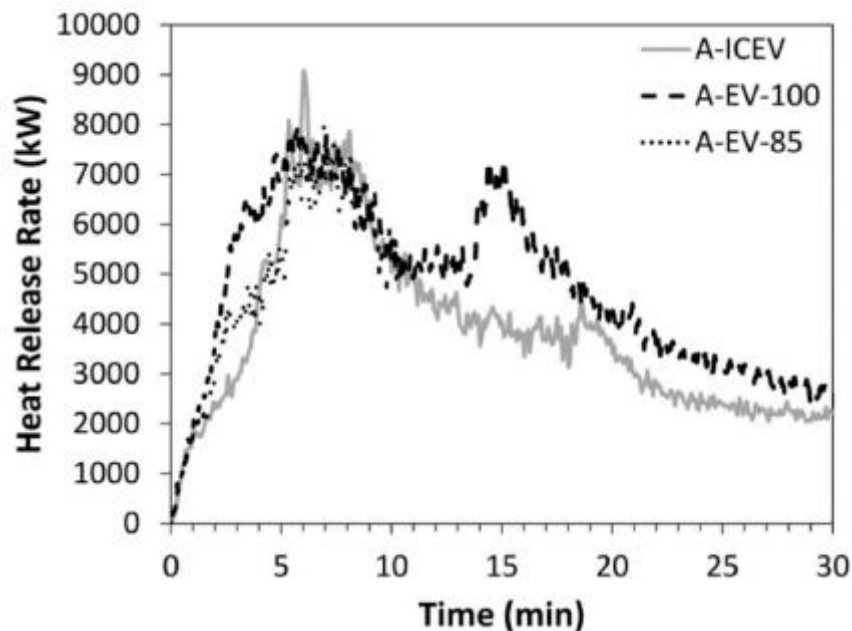
Svaka baterija zahtjeva od stanice za punjenje niz faktora kako bi se osigurali idealni uvjeti rada. To uključuje odgovarajući napon ćelije odnosno odgovarajuću struju punjača tako da je rezultatni napon snage punjača unutar odgovarajućeg raspona za ćeliju, te odgovarajuću postavku punjenja kao što je stalna struja ili stalni napon.

3.5. Razvoj požara električnog vozila

Iako postoje sličnosti između požara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje, postoji i mnogo različitosti. Testiranjima i istraživanjem o postupcima gašenja požara utvrđeno je kako je potrebno više vremena za gašenje električnog vozila, otprilike između 6 minuta i 49 minuta u usporedbi s 5 minuta koliko je potrebno za gašenje požara na vozilu s motorom na unutarnje sagorijevanje. Povećanjem vremena potrebnog za gašenje povećava se vjerojatnost širenja požara na okolne objekte kao i potreba za velikim količinama sredstva za gašenje.[10]

Baterije unutar električnog vozila uzrokuju drugačiju krivulju razvoja požara. Istraživanjima se dokazalo kako kod vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje krivulja ima jednu maksimalnu vrijednost nakon koje slijedi postepen pad krivulje kako zapaljivi materijal izgara. Kod požara električnih vozila krivulja najčešće ima dvije maksimalne vrijednosti: prva kada je zapaljivi materijal zahvaćen požarom te druga

maksimalna vrijednost kada požar zahvati bateriju vozila. Krivuljom (Slika 18.) prikazuje se vrijednosti isijavanja topline gdje vrijednost krivulje oznake A-EV-100 prikazuje rezultat pri 100% napunjenosti baterije, a oznake A-EV-85 prikazuje rezultat pri 85% napunjenosti baterije. Najveću maksimalnu vrijednost doseglo je vozilo s motorom na unutarnje sagorijevanje oznake A-ICEV, dok najveću brzinu isijavanja topline ima električno vozilo pri 100% napunjenosti baterije. Testiranjima je prikazano kako se ukupna količina i brzina oslobođene energije znatno ne razlikuju između vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje i električnih vozila te kako ona iznosi približno 8 MW.



Slika 18. Vrijednost isijavanja topline u jedinici vremena [10]

Kod požara električnog vozila postoji velika vjerojatnost ponovnog zapaljenja nakon početnog gašenja požara. Nakon toplinskog bijega, utvrđeno kako je kod 13% vozila došlo do ponovnog zapaljenja, te su zabilježena dva slučaja gdje je unutar nekoliko sati došlo do višestrukih ponovnih zapaljenja iako nakon gašenja nije odmah bilo vidljivih znakova požara (plamen, dim). U nekim literaturama se navodi kako gotovo do 22 sata nakon gašenja požara može doći do ponovnog zapaljenja baterije električnog vozila.

Slučaj namjerne paleži električnog vozila nije još dovoljno istražen no kroz razna ispitivanja požara električnih vozila može se zaključiti kako namjerna palež utječe na razvoj i širenje požara. U slučajevima gdje je požar namjerno izazvan na stražnjem djelu vozila, u putničkom prostoru ili ispod vozila imao je isto vrijeme i smjer širenja kao kod vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Kako je baterija zaštićena karoserijom vozila te dodatnom zaštitom ispod vozila ne postoji velika vjerojatnost namjernog izazivanja požara na samoj bateriji.

Postoji malo podataka koji procjenjuju rizik od širenja požara s jednog vozila na drugo vozilo, no postoje podaci koji prikazuju kako je automobilima proizvedenima 2000-ih godina potrebno otprilike 5 minuta kako bi dosegнули razbuktalu fazu požara dok je kod vozila proizvedenih 1980-ih to vrijeme iznosilo 15 minuta u odnosu na one iz 1990-ih godina gdje je iznosilo gotovo 25 minuta. Provedena istraživanja nisu pravila razliku radi li se o vozilu s motorom na unutarnje sagorijevanje ili električnom vozilu. No iz toga se može zaključiti kako je povećana brzina širenja požara uzrokovana dvama čimbenicima. Povećanje dimenzija vozila uzrokuje smanjenje udaljenosti između vozila, na primjer, podaci prikazuju kako je Toyota Corolla 210mm šira 2018. godine u usporedbi s 1970. godinom. Također razvoj dizajna vozila uzrokovao je povećano korištenje zapaljivih materijala od plastike i ostalih anorganskih materijala unutar i izvan vozila što dovodi do povećanog požarnog opterećenja vozila. Prosjek petogodišnje količine plastike korištene u vozilima 1988. godine iznosio je 100 kg, dok je 2016. godine iznosio gotovo 160 kg. Navedeni čimbenici podjednako utječu na vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje te na električna vozila. [10]

3.6. Gašenje požara električnog vozila

Zbog različitog razvoja nastanka požara pristup gašenju požara električnog vozila može se razlikovati od onoga nastalog na vozilu s motorom na unutarnje sagorijevanje osobito ako je baterija zahvaćena požarom. Požari nastali na vozilima vrlo su slični iz razloga što proizvođači vozila koriste vrlo slične materijale kako za unutrašnjost vozila tako i za vanjske dijelove. Prilikom požara koji uključuju Li-ion baterije proizvest će se dodatni zapaljivi plinovi kao nusprodukt izgaranja elektrolita i litija. Pri gašenju požara električnog vozila potrebno je koristiti propisanu osobnu zaštitnu opremu koja uključuje

uređaj za zaštitu dišnih organa kao i kod požara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Potrebno je dodatno ispitati postoji li potreba za dodatnom zaštitom s povećanjem kapaciteta i veličine baterije.

Svaka intervencija koja uključuje električno vozilo može biti različita što će utjecati na odabir taktičkog nastupa voditelja intervencije. Pri odabiru taktičkog nastupa potrebno je razmotriti razlike između gašenja požara električnog vozila i vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje kao što je potreba za većom količinom vode. Utvrđeno je kako je za gašenje požara električnog vozila potrebno od 6 do 49 minuta dok je za gašenje požara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje potrebno otprilike 5 minuta. Potrebno je otprilike 10 000 L vode za gašenje u slučaju da je baterija uključena u požar dok je kod vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje potrebno otprilike 4 000 L vode za gašenje požara. U navedene količine vode potrebne za gašenje nije uračunat slučaj ponovnog zapaljenja baterije. Kako se baterija nalazi u metalnim ili plastičnim kućištima vatrogascima je otežano izravno nanošenje vode za gašenje i hlađenje na bateriju. Potrebni su različiti pristupi kako bi se pristupilo bateriji električnog vozila. Ponekad to može zahtijevati podizanje jedne strane vozila kako bi se pristupilo bateriji ispod vozila. Također mogu postojati i ograničenja u smislu pristupa i prolaza oko vozila kao što su parkirališna mjesta ili podzemne garaže. [10]

Nakon gašenja početnog požara baterije električnog vozila može doći do ponovnog zapaljenja. Kao što je navedeno u poglavlju 3.1 , u 13% proučavanih požara električnog vozila došlo je do ponovnog zapaljenja, dok su u dva slučaja zabilježena višestruka zapaljenja kroz nekoliko sati. Kako bi se smanjila vjerojatnost od ponovnog zapaljenja baterija koje su djelomično izgorjele, bateriju je potrebno nadzirati termovizijskom kamerom i obratiti pozornost na zvukove pucketanja ili zviždanja. Kao jedna od metode koja se koristi u europskim zemljama podrazumijeva uranjanje vozila u namjenski kontejner s vodom (Slika 19). Kontejner ne mora biti napunjen vodom već se voda može utočiti u bazen u slučaju pojave znakova toplinskog bijega ćelije do razine kako bi baterija bila u potpunosti uronjena u vodu. Ova moda zahtijeva velike količine vode za punjenje kontejnera (do 20 000L vode) te odgovarajuće zbrinjavanje kontaminirane vode iz kontejnera.



Slika 19. Namjenski kontejner za uranjanje električnog vozila u vodu [10]

Moguće je postavljanje modularnih metalnih barijera oko vozila kao što je provedeno istraživanje u Kini gdje se pokazalo kao vrlo učinkovito u gašenju požara baterije i njenog hlađenja. Ispitivanje se provelo prilikom požara električnog vozila u početnoj fazi gdje je nakon postavljanja barijera za punjenje bazena utrošeno gotovo 6 000 L vode koje je dovelo do gašenja požara (Slika 20).



Slika 20. Modularne metalne barijere [10]

3.7. Vjerojatnost nastanka požara električnog vozila

Postoji nekoliko studija slučaja požara električnih vozila na svjetskoj razini no zbog nedovoljne suradnje između različitih agencija postoji velika vjerojatnost netočnih

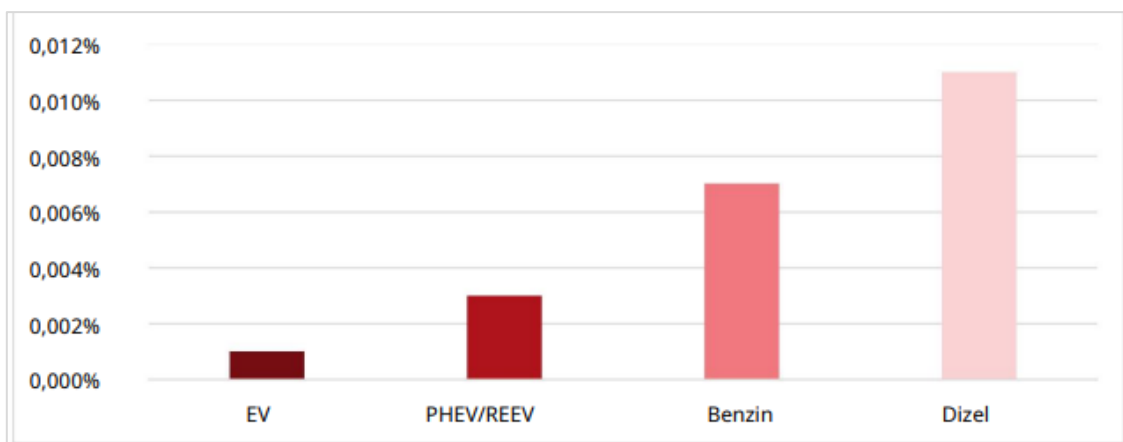
podataka. [12] Često su izostavljeni parametri koji bi mogli pružiti bolji uvid na uzročnike požara nastalih na električnim vozilima kao što su:

- Je li vozilo bilo priključeno na stanicu za punjenje električnih vozila
- Potvrđeni uzrok nastanka požara
- Je li baterija bila uključena u nastali požar
- Starost električnog vozila

Norveška predstavlja jedno od najvećih tržišta električnih vozila u Europskoj uniji. Statistički podaci prikazuju kako je 2020. godine broj električnih vozila u Norveškoj iznosio 270 309 što je činilo 9,7% ukupnog broja vozila. Izvješće Norveške vatrogasne organizacije navodi 110 slučajeva požara električnih vozila u razdoblju od 2016. do 2021. godine dok su u istom tom razdoblju zabilježena 4 026 požara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Iz toga se da zaključiti kako su električna vozila činila 2,7% ukupnog broja požara vozila.

Izvješće Londonske vatrogasne postrojbe navodi kako je zabilježeno ukupno 811 slučajeva požara vozila od kojih je 56 slučajeva (6,9%) uključivalo električno vozilo. Ovi podaci uključuju sve vrste električnih vozila (BEV, PHEV, HEV). Uzrok nastanka požara, njih 25 (3%) pripisan je električnom kvaru (ne nužno kvaru baterija ili stanice za punjenje). [13]

Thatcham Research, istraživački centar osiguravatelja motornih vozila Ujedinjenog Kraljevstva, upotrijebio je podatke iz Registra osiguranja motornih vozila protiv prijevara i krađe (MIAFTR) i vlastite podatke za kategorizaciju odštetnih zahtjeva prema vrsti goriva vozila, isključujući odštetne zahtjeve koji se odnose na krađu. Ovi podaci su uspoređeni s podacima na web stranici vlade Ujedinjenog Kraljevstva kako bi se izračunao postotak požara godišnje po prosječnom broju vozila određenog tipa pogonskog goriva za razdoblje od 2018. do 2020. godine. Analiza podataka prikazala je kako je vjerojatnost nastanka požara na električnim vozilima u odnosu na vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje iznosila 0,001%, dok je za PHEV vozila iznosila 0,003%. Vjerojatnost nastanka požara na vozilu koje kao pogonsko gorivo koristi benzin iznosi 0,007% dok za dizel vozila ona iznosi 0,011% (Slika 21). [14]



Slika 21. Usporedba vjerojatnosti nastanka požara na vozilu [14]

Navedena istraživanja i dostupni podaci pokazuju kako je manja vjerojatnost nastanka požara električnog vozila u odnosu na vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Za vjerovat je kako vjerojatnost nastanka požara ovisi o starosti vozila. Ovaj faktor može biti razlog nastanka manjeg broja požara električnih vozila iz razloga što su se električna vozila počela masovno upotrebljavati otprilike 2010. godine stoga većina električnih vozila nije starija od 14 godina.

Tesla, svjetski proizvođač električnih vozila, također je proveo istraživanje gdje su uspoređivali slučajeve požara Tesla vozila i vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Podaci o nastanku požara na Tesla vozilima prikupljeni u razdoblju od 2012. do 2020. godine temeljeni su na broju prijeđenih kilometara. Procjenjuju kako se u prosjeku dogoditi jedan slučaj nastanka požara njihovog vozila svakih 330 milijuna prijeđenih kilometara u usporedbi sa 30 milijuna prijeđenih kilometara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Iz ovoga se može zaključiti kako postoji manja vjerojatnost nastanka požara na Tesla vozilu u odnosu na vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. U obzir je potrebno uzeti kako je Tesla viša klasa proizvođača dok se kod vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje u obzir uzimaju svi proizvođači vozila bez obzira na socijalno ekonomske utjecaje. [3]

4. OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA VODIK

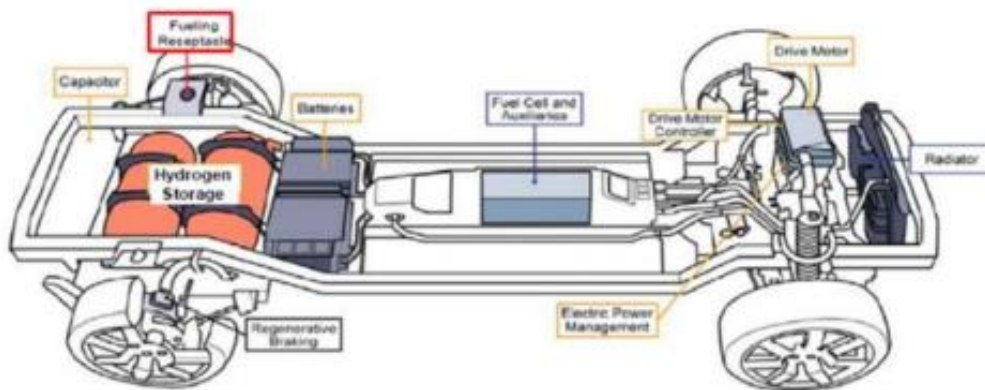
Vodik je plin bez boje, mirisa i okusa te je 14 puta lakši od zraka, s područjem zapaljivosti od 4% do 74% koncentracije smjese sa zrakom i s temperaturom samozapaljenja od 585°C. Vodik se ne može namirisati. Sivi vodik proizvodi se korištenjem fosilnih goriva kao što su nafta i ugljen, koja pri izgaranju emitiraju CO₂. Čišća verzija je „plavi“ vodik, koji se proizvodi iz prirodnog plina, pri čemu se emisije ugljika hvataju i pohranjuju ili ponovno koriste. Najčišći od svih je „zeleni“ vodik, koji se proizvodi s energijom iz obnovljivih izvora kao što su vjetar, sunce ili voda bez emisije ugljika. Ako energija dolazi iz obnovljivih izvora, tada su jedine emisije ugljika one koje su vezane s infrastrukturom potrebnom za tu proizvodnju. [6]



Slika 22. Oznaka vozila na vodik sukladno normi ISO 17840 [15]

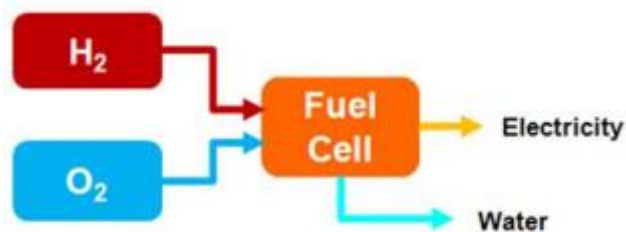
4.1. Podjela i princip rada vozila na vodik

Vozila pogonjena vodikom dijele se na dvije vrste: vozila gdje vodik pogoni motor s unutarnjim sagorijevanjem i na električna vozila s gorivim ćelijama (FCEV) (Slika 23). Kemijska energija vodika pretvara se u pogonskom sklopu u mehaničku energiju izgaranjem vodika u motoru s unutarnjim sagorijevanjem ili češće reakcijom vodika s kisikom u gorivim ćelijama koje pogone elektromotore. [6]



Slika 23. Shematski prikaz električnog vozila s gorivim ćelijama (FCEV) [6]

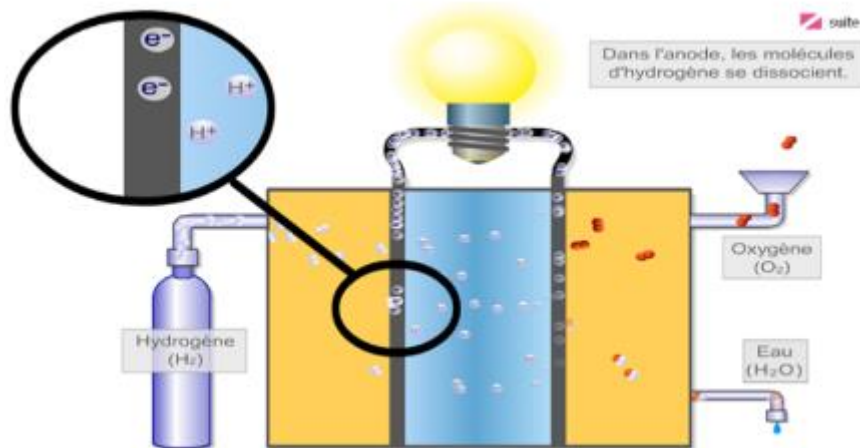
Vozila s gorivim ćelijama koriste isti visokonaponski električni sustava kao i onaj koji se koristi u hibridnim i električnim vozilima. U gorivim ćelijama nema pokretnih dijelova, pa su vozila pogonjena vodikom učinkovitija i pouzdanija od onih pogonjenim motorima s unutarnjim sagorijevanjem. Baterije vozila s gorivim ćelijama su manje i lakše od onih koje se koriste kod električnih vozila, a punjenje vozila na vodik mnogo je brže od punjenja baterija električnih vozila. Stoga su vozila s gorivim ćelijama vrlo pogodna za korištenje u javnom prijevozu gdje gubitak vremena nije prihvatljiv.



Slika 24. Shematski prikaz rada gorive ćelije [6]

Gorive ćelije su elektrokemijski uređaj koji služi za pretvorbu kemijske energije, sadržane u nekom kemijskom elementu ili spoju, u istosmjernu električnu energiju. Goriva ćelija, isto tako kao i baterija, sastoji od dviju elektroda uronjenih u isti elektrolit. Na anodi gorivog članka oksidira gorivo, tj. neki kemijski element ili spoj visokog sadržaja unutrašnje energije. Elektroni, proizvedeni oksidacijom goriva, odvođe se od anode vanjskim krugom vodiča i preko trošila (električni motor istosmjerne struje) do katode. Na katodi neki se drugi element ili spoj (oksidans) reducira zahvatom elektrona proizvedenih na anodi. Proizvodi reakcije, negativni i pozitivni ioni, spajaju se u

elektrolitu, a nastali produkt odvodi se iz gorivog članka (Slika 25). Često je konačni produkt reakcije isti kao da je gorivo izgorjelo u oksidansu uz izravnu pretvorbu kemijske u unutrašnju toplinsku energiju. Odatle i potječe naziv gorivi članak. [6]



Slika 25. Prikaz pretvorbe kemijske u električnu energiju [6]

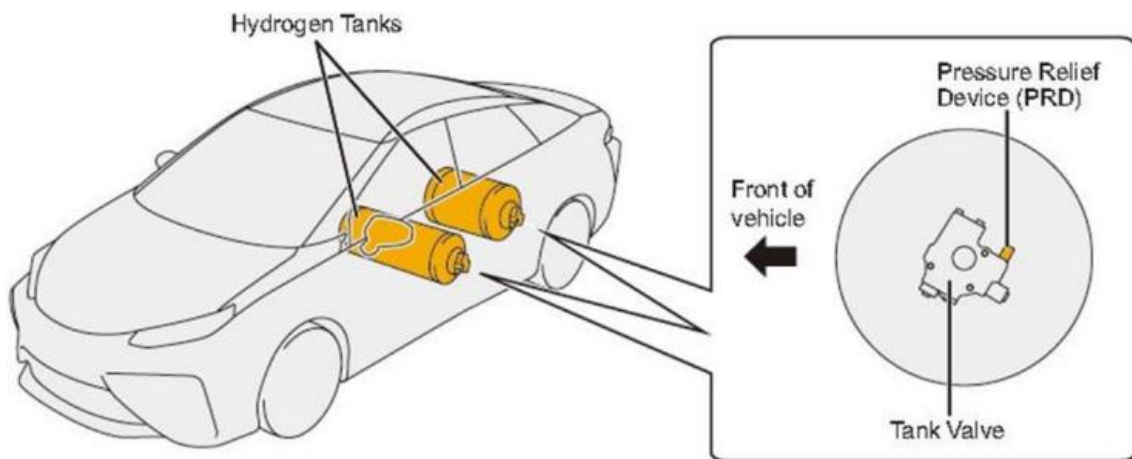
4.2. Spremnici vodika na vozilu

Vodik se obično skladišti kao stlačeni plin u spremnicima ispod vozila. Tlak u spremnicima može biti od 350 bara za autobuse do 700 bara za automobile.



Slika 26. Spremnici vodika za vozila

Najveća opasnost je puknuće spremnika uzrokovano porastom tlaka uslijed porasta temperature. Kako bi se spriječilo pucanje spremnika uslijed porasta tlaka, svaki spremnik opremljen je sigurnosnim tlačnim ispusnim ventilom koji se aktivira temperaturom. Ovaj sigurnosni uređaj konstruiran je tako da ukoliko temperatura okoline dosegne 110°C ispušta vodik iz spremnika u atmosferu. Ventilacijski vod kod autobusa nalazi se na krovu, sa strane kod viličara, te se na automobilima najčešće nalazi između stražnjih guma usmjeren prema stražnjem dijelu vozila (Slika 27).



Slika 27. Spremnici vodika smješteni u vozilu [6]

4.3. Opasnosti povezane s vozilima na vodik

Kako su vozila s gorivim ćelijama također i električna vozila postoji niz opasnosti izazvanih uslijed kvara, požara, spašavanja ili sudara prikazanih u Tablica 2.

Tablica 2. Opasnosti prilikom intervencije s vozilima na vodik [6]

Opasnost	Izvor opasnosti	Posljedica
Električna energija	Baterija Kondenzatori velikog kapaciteta	Električni udar izazvan uslijed kvara, požara, sudara ili spašavanja
Toplinska energija	Izgaranje legura metala	Prskanje metala uslijed korištenja neprikladnog sredstva za gašenje
Burno razvijanje požara	Baterija	Toplinski bijeg ćelije izazvan povećanjem temperature uslijed požara
Otrovanje	Curenje elektrolita iz baterije	Curenje elektrolita izazvano požarom ili mehaničkim oštećenjem kućišta baterije

Uz navedene opasnosti postoji još nekoliko dodatnih opasnosti zbog korištenja vodika
Tablica 3.

Tablica 3. Dodatne opasnosti prilikom intervencije s vozilima na vodik [6]

Opasnost	Izvor opasnosti	Posljedica
Gušenje	Vodik (zbog svog prirodnog svojstva zagušljivosti)	Istjecanje vodika u zatvorenom prostoru
Opekline	Gorenje vodika nevidljivim plamenom	Požar vozila na vodik sa aktiviranim sigurnosnim ventilom za ispuštanje pritiska u spremniku
Udarni val	Eksplozija spremnika vodika	Požar vozila na vodik prilikom otkazivanja

		sigurnosnog ventila za ispuštanje pritiska u spremniku
Udarni i toplinski val	Eksplozija zapaljive smjese vodika i zraka	Istjecanje vodika uz prisutan izvor zapaljenja

4.4. Gašenje požara vozila na vodik

Vatrogasci koji gase požar vozila pogonjenog vodikom trebaju nositi potpunu i odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu, uključujući korištenje aparata za zaštitu dišnih organa. Požare vodika ne bi trebalo gasiti, osim u slučaju ako je moguće zaustaviti istjecanje plina. Požari vodika stvaraju vrlo malo radijacijske topline uz nepostojanje dima, pa je gotovo nemoguće osjetiti prisutnost požara osim iz neposredne blizine. Noću je plamen vidljiv golim okom. Ako vodik gori zajedno s drugim gorivima koja sadrže ugljik, njihov plamen će vjerojatno dati boju plamenu vodika. Prilikom intervencija s vodikom preporučeno je koristiti termovizijsku kameru kako bi se utvrdila prisutnost izgaranja. U slučaju neposrednog djelovanja plamena ili topline na kompozitni spremnik vodika potrebno ga je hladiti kako bi se aktivirao sigurnosni ventil ukoliko već nije (Slika 28). Ukoliko sigurnosni ventil zakaže, a spremnik se adekvatno ne hladi može doći do eksplozije spremnika vodika koji može imati katastrofalne posljedice. Što se tiče visokonaponskih elemenata i baterijom potrebno je postupati na isti način kao pri intervencijama s električnim i hibridnim vozilima. [7]



Slika 28. Sagorijevanje vodika propuštanjem sigurnosnog ventila [7]

5. OPASNOSTI I MJERE ZAŠTITE PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA PRIRODNI I NAFTNI PLIN

Mjesto postavljanja spremnika prirodnog plina ovisi o vrsti vozila. U osobnim vozilima mogu biti smješteni u prtljažnom prostoru (Slika 29) ili na mjesto na kojem bi se normalno nalazio rezervoar benzina ili dizel goriva. Kod srednjih ili teških vozila mogu biti smješteni ispod ili iza kabine, u horizontalnom ili vertikalnom položaju, ili na mjestu gdje bi bio tank dizel goriva. Na autobusima i ostalim teškim vozilima, mogu se nalaziti na krovu. [7]



Slika 29. Spremnik prirodnog plina smješten u prtljažni prostor vozila [8]

5.1. Vozila na komprimirani prirodni plin (CNG)

Metan pod visokim pritiskom kao gorivo koristi se umjesto benzina, dizel goriva i ukapljenog naftnog plina. Sagorijevanjem komprimiranog prirodnog plina (CNG-a) nastaje manje nepoželjnih nusprodukata sagorijevanja od ostalih fosilnih goriva. U usporedbi s ostalim fosilnim gorivima, prirodni plin predstavlja manju opasnost u slučaju izlivanja zbog relativno male gustoće što ga čini lakšim od zraka. CNG se stvara komprimiranjem prirodnog plina (koji se uglavnom sastoji od metana, CH₄), na manje od 1 % volumena koji zauzima pri standardnom atmosferskom tlaku. Čuva se i distribuira u tvrdom spremniku pod pritiskom od 20-25 MPa (3000-3600 psi), obično u cilindričnim ili sfernim oblicima, na temperaturi okoline. CNG se koristi u tradicionalnim automobilima sa benzinskim motorima i motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem koji

su modificirani ili u vozilima posebno proizvedenim za upotrebu CNG-a, samostalno (namjenski), sa izdvojenim benzinskim sustavom za proširenje dometa (dvostruko gorivo) ili u kombinaciji s drugim gorivom, poput dizela. Temperatura na kojoj dolazi do samozapaljenja u prisustvu izvora paljenja iznosi 540°C, a područje eksplozivnosti je u rasponu od 5 do 15 %. Sustav je opremljen sigurnosnim ventilom koji se aktivira povećanjem tlaka većem od 15 bara u odnosu na maksimalni dozvoljeni tlak, padom tlaka ispod 15 bara u odnosu na maksimalni dozvoljeni tlak ventil se automatski zatvara. (Slika 30) [7]



Slika 30. Oznaka vozila na komprimirani prirodni plin sukladno normi ISO 17840 [15]

5.2. Vozila na ukapljeni prirodni plin (LNG)

Ukapljeni prirodni plin (LNG) prirodni je plin ohlađen do točke da je kriogena tekućina. U svom je tekućem stanju još uvijek više od 2 puta gušća od CNG-a. Zbog kriogene prirode čuva se u posebno dizajniranim izoliranim spremnicima. Spremnici LNG-a imaju dvostruku stijenku, toplinsku izolaciju te sigurnosni ventil koji se aktivira povećanjem tlaka s pripadajućim ispusnim priključcima za slučaj nužde. LNG se tipično koristi na srednjim i teškim vozilima i njegovi se spremnici najčešće nalaze učvršćeni na nosivoj konstrukciji, no u nekim slučajevima mogu biti smješteni iza kabine vozila. Ti spremnici rade pri relativno niskom tlaku u rasponu od 5 do 10 bara u usporedbi s CNG-om. U sustav za gorivo ugrađen je isparivač koji pretvara LNG u plinovito stanje (što se može smatrati CNG sa niskim tlakom). Prednosti u odnosu na benzin i dizel LNG, a pogotovo CNG manje korodira i troši dijelove motora manje od benzina. CNG također emitira od 20 do 29% manje CO₂ od dizela i benzina. Emisije plinova su čišće, s nižom emisijom ugljika i manjom emisijom čestica po razmjernoj prijeđenoj udaljenosti uz manju potrošnju goriva. (Slika 31) [7]



Slika 31. Oznaka vozila na ukapljeni prirodni plin sukladno normi ISO 17840 [15]

5.3. Vozila na ukapljeni naftni plin (LPG)

Ukapljeni naftni plin (LPG, UNP, propan-butan ili autoplín) je mješavina ukapljenih ugljikovodika nastalih preradom nafte koji su u normalnom stanju plinovi, a pri povećanju tlaka prelaze u tekuće stanje. Ima vrlo raširenu upotrebu, kao izvor energije u industriji i domaćinstvu kao i zamjena za skuplja goriva u vozilima, u zadnje vrijeme zamjenjuje razne tipove freona kao aerosol u raznim bocama pod pritiskom, da bi se smanjio štetan utjecaj čovjeka na okoliš, tj. da bi se izbjeglo oštećenje ozonskog omotača freonskim plinovima. Ukapljeni naftni plin sastoji se većinom od propana C_3H_8 ili butana C_4H_{10} , no najčešće je smjesa oba plina. U manjim koncentracijama, u ukapljenom naftnom plinu sadržani su i neki drugi plinovi, kao što su propilen, butilen, i sl. Kako je ukapljeni naftni plin bez boje i mirisa, a prilikom ispuštanja predstavlja potencijalnu opasnost. Kako bi se lakše otkrilo ispuštanje dodaju mu se posebni dodaci (npr. etan-etiol ili tetrahidro-tiofen) koji ukapljenom naftnom plinu daju miris. Temperatura vrelišta ukapljenom naftnom plinu iznosi od $-42^{\circ}C$ do $-0,4^{\circ}C$ ovisno o omjeru propana i butana. Temperatura samozapaljena iznosi $470^{\circ}C$, a područje eksplozivnosti kreće se u rasponu od 2 do 10 %. Tlak unutar spremnika iznosi do 10 bara u plinskoj fazi. Kod osobnih vozila spremnici LPG-a najčešće su smješteni u prtljažnom prostoru ili na mjesto na kojem bi se normalno nalazio rezervoar goriva. Kod dostavnih vozila ili kamiona spremnici mogu biti smješteni na nosivoj konstrukciji vozila. Kod srednjih ili teških vozila, oni se mogu nalaziti duž unutarnje ili vanjske strane šasije vozila. Budući da je propan prirodno teži od zraka zbog svoje relativno velike gustoće izbjegava se postavljanje spremnika na krov vozila. (Slika 32) [7]



Slika 32. Oznaka vozila na ukapljeni naftni plin sukladno normi ISO 17840 [15]

5.4. Istjecanje plina kod vozila na prirodni i naftni plin

LNG istječe u tekućem agregatnom stanju, a pri isparavanju njegov volumen se povećava do 600 puta. Ispušteni LNG lakši je od zraka i izgleda kao oblak vodene pare. Malo propuštanje (kapanje) tekuće faze LNG-a pasti će na tlo i ispariti, pa se neće pojaviti zvuk šištanja izlazećeg plina. Neki spremnici LNG-a rade pri većim tlakovima, pa bi istjecanje tekućeg stanja moglo biti pod pritiskom. U ovom slučaju istjecanje tekućine pod tlakom može biti popraćeno zvukom šištanja. Ako je LNG iz spremnika ili iz spojnih cijevi ispušten u plinovitoj fazi putem sigurnosnog ventila koji se aktivira povećanjem tlaka, tada će zvuk zbog tlaka od otprilike 16 bara biti čujan. Protok plina iz spremnika zatvara se upotrebom zavojnice niskog napona kad je vozilo isključeno. Za zatvaranje istjecanja plina može postojati i mogućnost ručnog zatvaranja. [7]

5.5. Gašenje požara kod vozila na prirodni i naftni plin

Vatrogasci koji sudjeluju u intervenciji gašenja požara vozila na prirodni i naftni plin moraju biti opremljeni odgovarajućom i potpunom osobnom zaštitnom opremom koja uključuje uređaj za zaštitu dišnih puteva. Ne smije se pokušavati ugasiti požar koji je povezan s aktivnim istjecanjem plina, osim u slučaju mogućnosti zaustavljanja istjecanja plina. Požar plina potrebno je ostaviti da kontrolirano gori štiteći pri tome okolnu imovinu dok sav plin ne isteče. U slučaju požarom zahvaćenih spremnika, ne preporuča se približavati vozilu već je potrebno uspostaviti sigurni radijus od minimalno 25 metara. Ako se radi o manjem požaru dovoljno udaljenom od spremnika plina, tako

da plamen ili isijavanje topline na utječu na spremnik, može se koristiti taktički nastup kao pri požaru vozila koje kao gorivo koristi benzin ili dizel.

CNG spremnici opremljeni su sigurnosnim ventilom koji se aktivira uslijed povećanja tlaka. U slučaju djelovanja plamena ili topline na kompozitni spremnik, spremnik možda ne treba hladiti jer time možemo ohladiti sigurnosni ventil i onemogućiti njegov ispravan rad, što može uzrokovati eksploziju spremnika. Potrebno je omogućiti da sigurnosni ventil djeluje kako je zamišljeno i ispusti CNG u okolinu pri povećanju temperature odnosno pritiska. Za razliku od ispuštanja plina iz vozila na vodik koje je usmjereno, istjecanje CNG-a iz vozila može biti u bilo kojem smjeru. [7]

U slučaju gašenja požara na vozilu koje koristi LNG kao pogonsko gorivo potrebno je izbjegavati močenje sigurnosnog ventila na spremniku LNG-a kako uslijed ekstremno niske temperature uzrokovane istjecanju LNG-a ne bi došlo do smrzavanja oduška sigurnosnog ventila. Kako su spremnici LNG-a dobro izolirani, čak iako je vozilo potpuno zahvaćeno požarom doći će do stvarno malog porasta tlaka. Ako tlak ipak poraste, sigurnosni ventil za otpuštanje nadtlaka treba se aktivirati i ispustiti prekomjerni tlak. Spremnici LNG-a izrađeni su od čelika otpornog na hladnoću, u slučaju oštećenja izolacija može biti vidljiva zamrznuta točka na vanjskoj stijenci spremnika, tlak u spremniku LNG-a može vrlo brzo porasti te može doći do eksplozije spremnika (BLEVE) (Slika 33).



Slika 33. Mehanizam nastanka BLEVE-a [16]

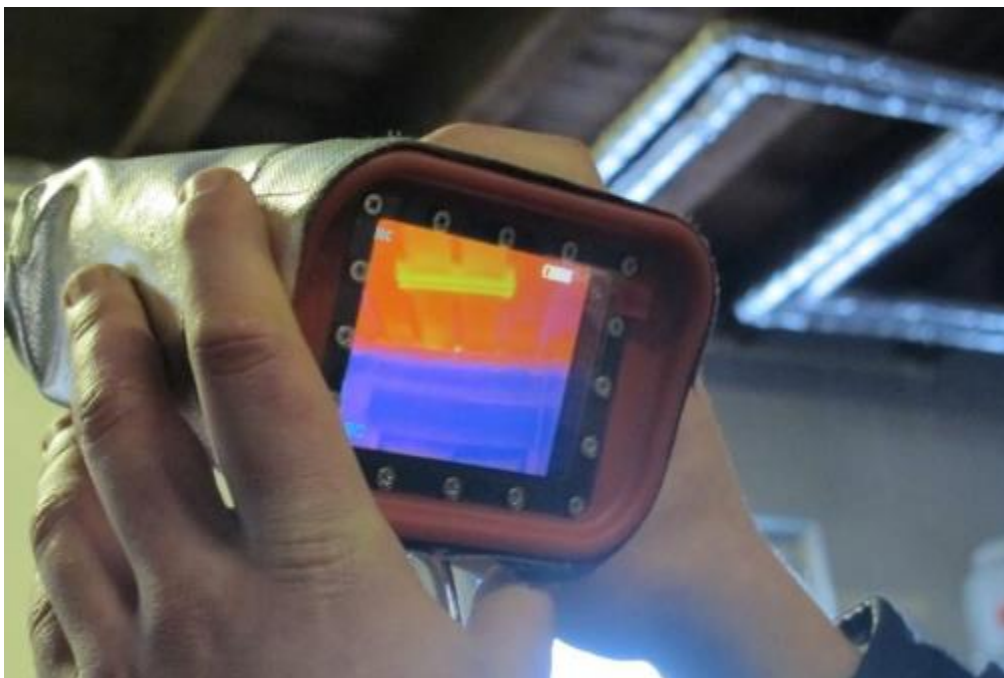
U slučaju dodira plamena sa spremnicima potrebno je nanesti velike količine vode kako bi hladili spremnike i smanjili rizik od nastanka BLEVE-a. Do BLEVE dolazi u slučaju ako sigurnosni ventil koji se aktivira toplinom zakaže uslijed čega dolazi do povećanja tlaka u spremniku. Ako ne možemo osigurati dovoljnu količinu vode za hlađenje potrebno je evakuirati se na sigurnu udaljenost i pratiti izgaranje LNG-a iz spremnika.

Zbog opasnosti od ponovnog paljenja ili ispuštanja plinova i čestica koje sadrže toksične i kancerogene tvari prilikom gašenja požara potrebno je koristiti odgovarajuću osobnu zaštitnu opremu. Potrebno je uvijek uzeti u obzir kako su spremnici pod tlakom, čak i ako se aktivirao sigurnosni ventil. Prije pomicanja i zbrinjavanja vozila pogonjena prirodnim i naftnim plinom koja su sudjelovala u intervenciji potrebno je pregledati i provjeriti je li sustav goriva ispravan i utvrditi kako ne postoje istjecanja. Sve spremnike koji su bili zahvaćeni požarom ili su oštećeni potrebno je pregledati, isprazniti i ukloniti od strane ovlaštene osobe. Preporučljivo je pri pomicanju i zbrinjavanju vozila kontaktirati proizvođača ili ovlaštenu osobu za određenu plinsku instalaciju koja se nalazi u vozilu. [7]

6. DODATNI RESURSI I OPREMA PRI INTERVENCIJAMA S VOZILIMA NA ALTERNATIVNA GORIVA

U slučaju požara ili porasta temperature unutar vozila na alternativna goriva potrebno je osigurati dovoljne količine vode za gašenje i hlađenje kao i dodatne resurse pri gašenju i zbrinjavanju takvih vozila. Prilikom zaprimanja dojava o intervenciji sa uključenim vozilima na alternativna goriva potrebno je prikupiti što je moguće više informacija kako bi se brzo i učinkovito mogla odraditi intervencija. Tokom intervencije takvoga tipa potrebno je koristiti odgovarajuću osobnu i skupnu zaštitnu opremu koja zadovoljava norme gašenja uređaja pod naponom. [17]

Koristeći termovizijsku kameru možemo provjeriti je li baterija vozila zahvaćena požarom, kako vanjska temperatura utječe na temperaturu baterije te pratiti učinak hlađenja baterije. Potrebno je voditi računa o zaštitama oko baterije ili kućištima koje mogu izazvati greške pri mjerenju temperature. Ukoliko se baterija nalazi ispod vozila poželjno je vozilo podići, ukoliko situacija dozvoljava, kako bi učinak hlađenja i mjerenja temperature bio veći.



Slika 34. Provjera stupnja zagrijanosti baterije uporabom termovizijske kamere [17]

U slučajevima gdje je potrebno ograničiti širenje plamena uzrokovano požarom baterije moguće je koristiti protupožarni pokrivač. Prilikom korištenja protupožarnog pokrivača potrebno je uzeti u obzir nekoliko činjenica:

- Protupožarni pokrivač neće ugasiti požar unutar baterije vozila već će ograničiti širenje plamena
- Uslijed gorenja oslobođeni plinovi mogu stvoriti tlak ispod pokrivača što može rezultirati njegovim podizanjem
- Postoji opasnost od nastanka opekline preko protupožarnog pokrivača uslijed razvijanja visokih temperatura
- Vatrogasci bi trebali biti obučeni za pravilno korištenje protupožarnog pokrivača
- Oko vozila na koje se postavlja protupožarni pokrivač mora postojati dovoljno prostora kako bi se on ispravno postavio



Slika 35. Gašenje požara protupožarnim pokrivačem [17]

Korištenjem nadtlačnog ventilatora na otvorenom prostoru možemo postići stvaranje sigurne zone za rad na način da dim usmjerimo u određenom, povoljnom smjeru. Kako ventilator ima svoja ograničenja, ventilacija će uvelike ovisiti o prirodnom strujanju zraka na mjestu događaja. U zatvorenim prostorima, kao što su podzemne garaže,

nadtlačni ventilatori koriste se za odvod dima čime se osiguravaju bolji radni uvjeti i vidljivost na mjestu događaja. Kao i kod strukturnih požara, ventilaciju je potrebno uskladiti sa taktičkim nastupom. Prilikom izvođenja prisilne ventilacije potrebno je voditi računa o širenju dima na stubišta i izlaze kako ne bi došlo do neželjenih posljedica. [17]

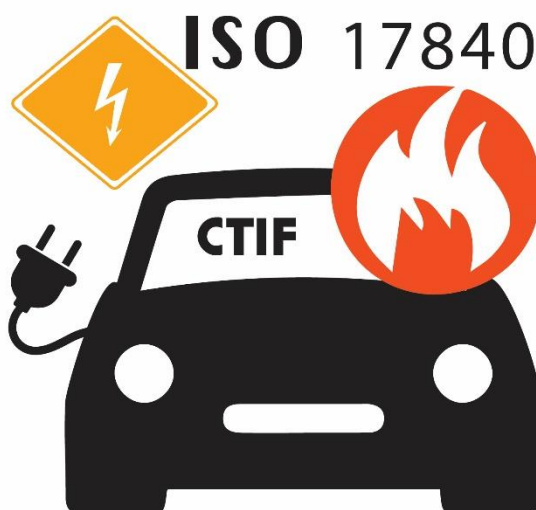


Slika 36. Korištenje „LUF 60“ za ventilaciju i vuču vozila iz podzemnih parkirališta ili parkirnih garaža [17]

Požari u podzemnim garažama stvaraju veliki izazov za vatrogasce pogotovo u slučaju požara vozila na alternativna goriva. Kao jednu od taktika može se razmotriti uklanjanje jednog ili više vozila kao preventivna mjera sprječavanja širenja požara ili kao izravna mjera uklanjanja „gorućeg“ vozila. U oba slučaja, uklanjanje vozila predstavlja planiran i koordiniran zadatak uz pomno razmatranje rizika.

7. MEĐUNARODNA NORMA ISO 17840

Poznavanje načina na koji se energija skladišti unutar vozila može činiti bitnu razliku između uspješne intervencije i potencijalno opasne situacije kao što je neočekivana eksplozija, curenje plina, nastanak požara ili električnog udara. Uz sve više alternativnih goriva i pogonskih sustava koji se pojavljuju na tržištu, potrebno je više znanja i više pripreme prije sigurnog pristupa mjestu intervencije. Kako bi objedinili sve nove i postojeće opasnosti povezane sa spašavanjem u prometu te požarima i intervencijama na vozilima, CTIF je u suradnji s ISO-om izradio međunarodni sigurnosnog standarda ISO 17840. (Slika 37.) [15]



Slika 37. Međunarodni standard ISO 17840 produkt je CTIF „Komisije za spašavanje i nove tehnologije“ nastao u suradnji s Euro NCAP, SIS i ISO [15]

ISO standard 17840 može se implementirati u cijelom svijetu u javnom prijevozu, vatrogasnim i spasilačkim službama, automobilskoj industriji te kod teških vozila, a sastoji se od:

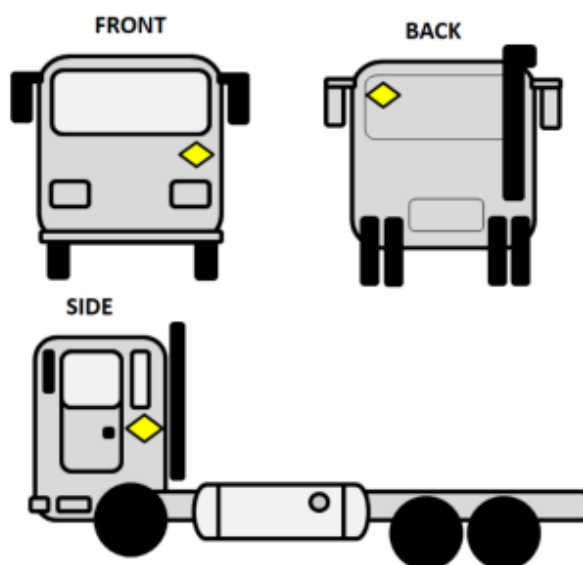
1. **Simboli** koji pokazuju koja se pogonska energija koristi i gdje se u vozilu nalaze spremnici, baterije i sl.

2. **Spasilački listovi** (brze informacije o konstrukciji vozila) koje koriste hitne službe
3. **Vodiči za hitne slučajeve** (ERG) koji sadrže detaljne informacije o vozilu(s istim naslovima kao listovi za spašavanje).

Sve osobe koje prilaze mjestu nesreće ili požaru vozila trebali bi biti u stanju prepoznati vrstu pogonske energije vozila prije nego li započnu akciju spašavanja ili gašenja. (Slika 38.) Za sva vozila već postoje natpisi tipa pogona koji su razvijeni i spremni za tiskanje i implementaciju, koristeći posebno razvijene simbole. (Slika 39.)



Slika 38. Označavanje pogonske energije vozila sukladno normi ISO 17840 [15]



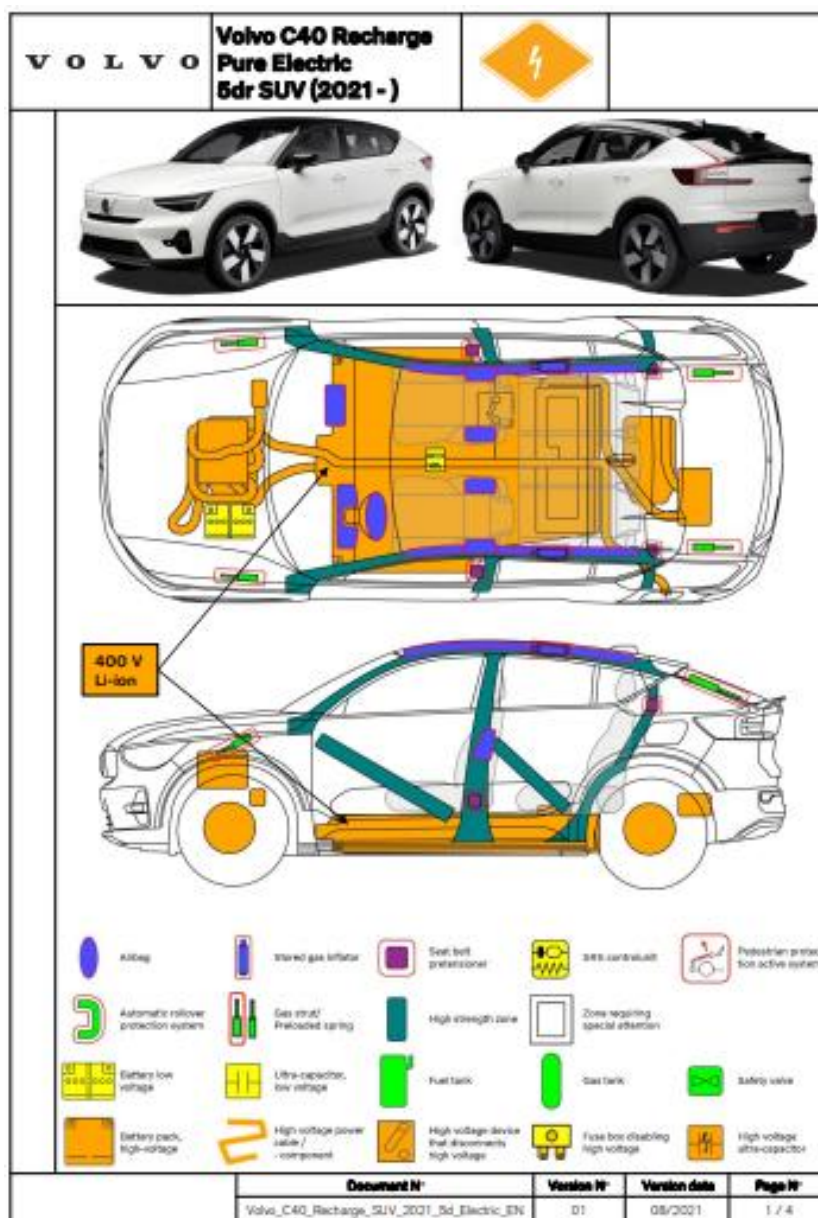
Slika 39. Pozicije oznaka pogonske energije kod teškog vozila [15]

Za većinu osobnih automobila na tržištu već postoje spasilački listovi, a jedan od najboljih načina da im se pristupi je preuzimanje besplatne službene aplikacije Eurorescue za pametne telefone, tablete i web sučelje, razvijene u suradnji s CTIF-om (Slika 40.). Također na tržištu postoji besplatna Rescue Code aplikacija te Crash Recovery System koja uključuje većinu teških i gospodarskih vozila no nudi se uz plaćanje pretplate. [15]



Slika 40. Sučelje Euro Rescue aplikacije [15]

Postoje i mnogi drugi izvori na internetu za pristup listovima za spašavanje za uobičajene proizvođače automobila, unutar i izvan Europe. U budućnosti CTIF i Euro NCAP očekuju razvoj suradnje s automobilskom industrijom kako bi razvili sustave radijskih signala koji će prenijeti važne informacije o spašavanju, kao što su vrsta pogonske energije i informacije o spašavanju, izravno na pametne telefone ili tablet uređaje hitnim službama na mjestu događaja. (Slika 41.)



Slika 41. Primjer lista za spašavanje za vozilo „Volvo C40 Recharge“ [15]

Vodiči za hitne slučajeve (ERG) su vodiči proizvođača koji opisuju specifične informacije, mjere opreza i upozorenja potrebne za svako vozilo. Bez važnih informacija o spašavanju od proizvođača vozila, hitne službe često moraju nagađati kako pristupiti vozilu koje je sudjelovalo u nesreći, što može dovesti do ozbiljnih posljedica za hitne službe i ostale osobe. Vodič za hitne slučajeve može se odnositi na određeni model vozila, na grupu sličnih modela vozila ili na određenu vrstu tehnologije vozila te sadrži:

- važne informacije za vozilo koje je sudjelovalo u prometnoj nesreći (uključujući imobilizaciju, uklanjanje opasnosti, pristup putnicima, sigurnosne postupke, rukovanje pohranjenom pogonskom energijom)
- informacije u slučaju požara ili uranjanja
- informacije o vuči, transportu i zbrinjavanju

Informacije bi trebale biti strukturirane na sličan način kroz sva različita poglavlja, tako da hitne službe mogu brzo prepoznati gdje se nalazi baterija, koje su boje kabeli pod naponom itd. (Slika 42.) Treba imati na umu da u novim vozilima može postojati više vrsta izvora pogonske energije. Iako je glavna pogonska energija na električnom vozilu električna, mogu postojati i drugi energetske sustavi koji se temelje na izgaranju za grijanje, odmrzavanje i sl. Potrebno je upoznati se sa svim potencijalnim opasnostima prije pristupa vozilu. Zbog toga listovi za spašavanje uvijek imaju istu strukturu i raspored s potrebnim informacijama, jedinstvenim simbolima i standardiziranim bojama. [15]

0.	Rescue sheet(s)
1.	Identification / recognition
<small>RGB: 191,191,191</small>	
2.	Immobilisation / stabilisation / lifting
<small>RGB: 204,255,204</small>	
3.	Disable direct hazards / safety regulations
<small>RGB: 255,204,0</small>	
4.	Access to the occupants
<small>RGB: 102,255,51</small>	
5.	Stored energy / liquids / gases / solids
<small>RGB: 255,255,0</small>	
6.	In case of fire
<small>RGB: 255,0,0</small>	
7.	In case of submersion
<small>RGB: 0,0,255</small>	
8.	Towing / transportation / storage
<small>RGB: 255,204,153</small>	
9.	Important additional information
<small>RGB: 141,179,226</small>	
10.	Explanation of the used symbols

Slika 42. Struktura informacija vodiča za hitne slučajeve sukladno ISO 17840 [15]

8. ZAKLJUČAK

U cilju ublažavanja klimatskih promjena potrebno je smanjiti ili eliminirati uporabu vozila koja za pogonsku energiju koriste fosilna goriva kao što su benzin ili nafta, te njihova zamjena vozilima koja kao pogonsku energiju koriste alternativne vrste goriva kao što su električna energija ili vodik. Upotreba vozila na alternativna goriva eksponencijalno raste i ne uključuje samo osobna vozila već laka i teška komercijalna vozila kao što su razna dostavna vozila, kamioni, autobusi, radni strojevi te vozila hitnih službi. Povećanjem broja vozila na alternativna goriva koja svakodnevno sudjeluju u prometu povećavaju se i zahtjevi koji se očekuju od hitnih službi. Prepoznavanje i poznavanje vrste pogonske energije unutar vozila može činiti bitnu razliku između uspješne intervencije i potencijalno opasne situacije. Iako postoje mnoge sličnosti između požara vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje, postoji i mnogo različitosti. Testiranjima i istraživanjima o postupcima gašenja požara dokazano je kako je potrebno više vremena i sredstva za gašenje požara električnog vozila. Stoga je bitno u slučaju požara ili porasta temperature unutar vozila na alternativna goriva osigurati dovoljne količine sredstva za gašenje i hlađenje kao i dodatne resurse za zbrinjavanje takvih vozila. Prikazana istraživanja i dostupni podaci pokazuju kako je manja vjerojatnost nastanka požara električnog vozila u odnosu na vozila s motorom na unutarnje sagorijevanje. Uz sve više prisutnih vrsta alternativnih goriva i pogonskih sustava koji se pojavljuju na tržištu, potrebno je više znanja i više pripreme prije sigurnog pristupa mjestu intervencije.

9. LITERATURA

- [1] Europski parlament, Alternativna goriva za automobile: kako povećati njihovu upotrebu, preuzeto s: <https://www.europarl.europa.eu/>, pristupljeno 17.05.2024.
- [2] Cvitanović V., Ćurković T., Hreljić R., Kovač S., Kučina T., Robić M., Tirić S., Vidić L.: "Električnim automobilom u evropu", Škola za cestovni promet, Zagreb 2014.
- [3] Tesla, preuzeto s: <https://www.tesla.com/model3>, pristupljeno 15.05.2024.
- [4] Omazaki, Types of Electric Cars and Working Principles, preuzeto s: <https://www.omazaki.co.id/en/types-of-electric-cars-and-working-principles/>, pristupljeno 15.05.2024.
- [5] Motor trend, preuzeto s: <https://www.motortrend.com/>, pristupljeno 15.05.2024.
- [6] Lecomte L., Verriest F., Stefic W.: European Emergency Response guide, Hy Responder, 2022.
- [7] Regent A.: JOIFF Guideline on Emergency Response to incidents involving vehicles powered by Alternative Fuels (including Hybrid vehicles), JOIFF, 2020.
- [8] Ružić G.: Vozila na alternativna goriva CNG, LNG, LPG i baterije definiranje vrsta pogona, 2022.
- [9] Nissan motor corporation, preuzeto s: <https://usa.nissannews.com/>, pristupljeno 18.05.2024.
- [10] Office for zero emission vehicles, Covered car parks – fire safety guidance for electric vehicles, ARUP, 2023.
- [11] EV Fire safe, preuzeto s: <https://www.evfiresafe.com/ev-battery-fire-data>, pristupljeno 24.05.2024.
- [12] LaBovick Law Group, Electric Vehicle Fire Incidents and Statistics, preuzeto s: <https://www.labovick.com/blog/electric-vehicle-fire-incidents-and-stats/>, pristupljeno: 26.05.2024.
- [13] Transport for London, Travel in London reports, preuzeto s: <https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/>, pristupljeno: 30.05.2024.
- [14] Thatcham Insurance Research Department, "Fire Risk of Electric Vehicles," Thatcham Insurance, 2022.

- [15] CTIF, Komisija za spašavanje i nove tehnologije, preuzeto s: <https://ctif.org/commissions-and-groups/extrication-and-new-technology/>, pristupljeno: 02.06.2024.
- [16] The petrosolutions, preuzeto s: <https://thepetrosolutions.com/boiling-liquid-expanding-vapour-explosion/>, pristupljeno: 05.06.2024.
- [17] Theme booklet: Responding to electric and hybrid vehicle fires, Danish Emergency Management Agency, 2023.

10. POPIS PRILOGA

10.1. Popis slika

Slika 1. Primjer električnog vozila - Tesla Model 3 [3]	3
Slika 2. Komponente električnog vozila [4].....	3
Slika 3. Komponente hibridnog električnog vozila [4]	4
Slika 4. PHEV priključeno na elektroenergetsku mrežu [5]	5
Slika 5. Komponente plug-in hibridnog električnog vozila [4]	5
Slika 6. FCEV – Toyota Mirai	6
Slika 7. Komponente električnog vozila s gorivom ćelijom [4]	7
Slika 8. Shematski prikaz vozila na prirodni plin [8].....	8
Slika 9. Oznaka "Nulta emisija" na vozilu Nissan Leaf [9]	9
Slika 10. Uzroci i posljedice nastanka toplinskog bijega [10]	10
Slika 11. Uvjeti gorenja – požarni trokut [10]	11
Slika 12. Dodatna zaštita od nastanka mehaničkih oštećenja na bateriji [10] ..	15
Slika 13. Čimbenici koji bi mogli dovesti do strujnog udara [11]	16
Slika 14. Punjač razine 1 [2].....	17
Slika 15. Punjač razine 2 [2].....	17
Slika 16. Punjač razine 3 [2].....	18
Slika 17. Postotak požara električnih vozila povezanih sa stanicom za punjenje [11]	19
Slika 18. Vrijednost isijavanja topline u jedinici vremena [10]	20
Slika 19. Namjenski kontejner za uranjanje električnog vozila u vodu [10]	23
Slika 20. Modularne metalne barijere [10].....	23
Slika 21. Usporedba vjerojatnosti nastanka požara na vozilu [14]	25
Slika 22. Oznaka vozila na vodik sukladno normi ISO 17840 [15]	26
Slika 23. Shematski prikaz električnog vozila s gorivim ćelijama (FCEV) [6]....	27
Slika 24. Shematski prikaz rada gorive ćelije [6]	27
Slika 25. Prikaz pretvorbe kemijske u električnu energiju [6].....	28
Slika 26. Spremnici vodila za vozila	28
Slika 27. Spremnici vodika smješteni u vozilu [6]	29

Slika 28. Sagorijevanje vodika propuštanjem sigurnosnog ventila [7]	32
Slika 29. Spremnik prirodnog plina smješten u prtljažni prostor vozila [8]	33
Slika 30. Oznaka vozila na komprimirani prirodni plin sukladno normi ISO 17840 [15]	34
Slika 31. Oznaka vozila na ukapljeni prirodni plin sukladno normi ISO 17840 [15]	35
Slika 32. Oznaka vozila na ukapljeni naftni plin sukladno normi ISO 17840 [15]	36
Slika 33. Mehanizam nastanka BLEVE-a [16]	37
Slika 34. Provjera stupnja zagrijanosti baterije uporabom termovizijske kamere [17]	39
Slika 35. Gašenje požara protupožarnim pokrivačem [17]	40
Slika 36. Korištenje „LUF 60“ za ventilaciju i vuču vozila iz podzemnih parkirališta ili parkirnih garaža [17]	41
Slika 37. Međunarodni standard ISO 17840 produkt je CTIF „Komisije za spašavanje i nove tehnologije“ nastao u suradnji s Euro NCAP, SIS i ISO [15]	42
Slika 38. Označavanje pogonske energije vozila na sukladno normi ISO 17840 [15]	43
Slika 39. Pozicije oznaka pogonske energije kod teškog vozila [15]	43
Slika 40. Sučelje Euro Rescue aplikacije [15]	44
Slika 41. Primjer lista za spašavanje za vozilo „Volvo C40 Recharge“ [15]	45
Slika 42. Struktura informacija vodiča za hitne slučajeve sukladno ISO 17840 [15]	47

10.2. Popis tablica

Tablica 1. Mehanizam uzroka i čimbenici koji dovode do požara baterije [10] .	14
Tablica 2. Opasnosti prilikom intervencije s vozilima na vodik [6]	30
Tablica 3. Dodatne opasnosti prilikom intervencije s vozilima na vodik [6]	30