

**ZNANSTVENA PRILOGA
SCIENCE SUPPLEMENT**

UREDNIK/EDITOR:

**prim. prof. dr. Marjan Bilban,
dr. med.**

mag. Ivan Božič, univ. dipl. inž. el.
ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.
Chengdujska cesta 25
1260 Ljubljana Polje

Vsebina - Contents

NEVARNOST ELEKTRIČNEGA UDARA PRI VZDRŽEVANJU ELEKTRIČNIH IN HIBRIDNIH VOZIL

POVZETEK

Delavci, ki opravljajo vzdrževalna dela na električnih in hibridnih vozilih, so izpostavljeni veliki nevarnosti električnega toka. Napetostni viri, nevarnosti in tveganja so pri teh vozilih primerljiva s tveganji pri delu na inštalaciji in opremi, ki je napajana z nizkonapetostnim 230- do 400-voltnim omrežjem. Pri svojem delu morajo upoštevati varnostne ukrepe, s katerimi se tveganja odpravijo oziroma ustrezno omejijo, uporabljati morajo ustrezno osebno varovalno opremo in zaščitno opremo. Za delo na tovrstnih vozilih morajo biti posebej usposobljeni.

Gljučne besede: električna vozila, hibridna vozila, električni udar, osebna varovalna oprema, zaščitna oprema

RISK OF ELECTRIC SHOCK DURING MAINTENANCE OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES

ABSTRACT

Workers who perform maintenance work on electric and hybrid vehicles can be exposed to high risk of electroshock. Power sources and hazard on these vehicles are comparable to those on the installations and equipment powered by low voltage 230 V / 400 V network. In their work they should take into account the safety measures to eliminate or reduce the risk on acceptable level, they must use appropriate personal protective equipment and protective means. Workers must be specially trained for such work.

Key words: electric vehicles, hybrid vehicles, electric shock, personal protective equipment, protective equipment

Nevarnost električnega udara pri vzdrževanju električnih in hibridnih vozil

Uvod

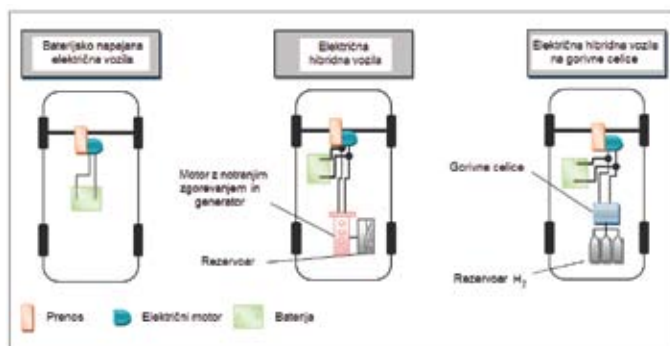
Današnji glavni vir energije so še vedno fosilna goriva. To velja tako za industrijo, gospodinjstva kot tudi transport. Zaradi vedno višjih cen fosilnih goriv, njihovega škodljivega vpliva na okolje in vedno večjih svetovnih potreb se mrzlično iščejo alternativni viri energije. Na področju avtomobilske industrije se kot alternativa motorjem z notranjim zgorevanjem – predvsem na področju osebnih vozil – v zadnjem času vedno bolj uveljavlja električni pogon. Vsi najpomembnejši proizvajalci in vodilne države vlagajo velika sredstva v razvoj novih tehnologij. Potekajo tudi številni projekti na področju standardizacije in poenotenja posameznih komponent, sistemov, postopkov in raznih zahtev, tako na nacionalnih kot tudi mednarodnih ravneh. Vendar tudi tu, kot že mnogokrat v preteklosti, standardizacija ne sledi skokovitemu razvoju. Po mnogih cestah se že vozijo električna in hibridna vozila, čeprav še nimamo mednarodno sprejetih in uveljavljenih standardov o tovrstnih pogonih, baterijskih sistemih, sistemih polnjenja, postopkih vzdrževanja ...

Pri raznih posegih na tovrstnih vozilih obstaja veliko večja nevarnost električnega toka kot na običajnih vozilih, v katerih imamo v veliki večini vgrajene le napetostne vire z zelo nizko napetostjo – običajno le 12-voltne akumulatorje. Med najbolj izpostavljenimi osebami so prav gotovo mehaniki, ki vzdržujejo vozila. Za tovrstna dela jih je treba posebej usposobiti in opremiti. Pripraviti oziroma dopolniti je treba tudi vse dokumente s področja varnosti in zdravja pri delu (oceno tveganja, delovne postopke, navodila za delo, opozorilne napise, oznake ...).

Električna oprema in nevarnosti na električnih in hibridnih vozilih

»Električno (baterijsko) vozilo« je vozilo, ki uporablja baterije za napajanje krmiljenih električnih motorjev za pogon koles in napajanje vse ostale pomožne opreme. Motor se napaja z vgrajenim nizkim (LV) ali z rezervnim zelo nizkim (ELV) virom napetosti. Poleg glavne pogonske baterije, ki ima najpogosteje nazivno napetost okoli 300 voltov, so še vedno vgrajeni 12-voltni akumulatorji kot pomožni vir energije.

»Električno hibridno vozilo« je vozilo, ki uporablja dve vrsti energije oziroma motorjev za pogon: motor z notranjim izgorevanjem in električni motor, ki se napaja preko pogonske baterije. Hibridno vozilo uporablja za pogon bodisi elektromotor bodisi motor z notranjim izgorevanjem ali pa oba hkrati (vzporedna in vzporedno-serijska izvedba). V tako imenovani serijski izvedbi pa je pogon koles izveden le z električnim pogonom. Motor z notranjim izgorevanjem se po potrebi uporablja le za polnjenje pogonske baterije. Osnovni principi pogonov električnih osebnih vozil so predstavljeni na sliki 1. Poleg zgoraj naštetih pogonov je na sliki predstavljen še princip pogona z gorivnimi celicami, ki proizvajajo električno energijo s pomočjo kemične reakcije med vodikom in kisikom.



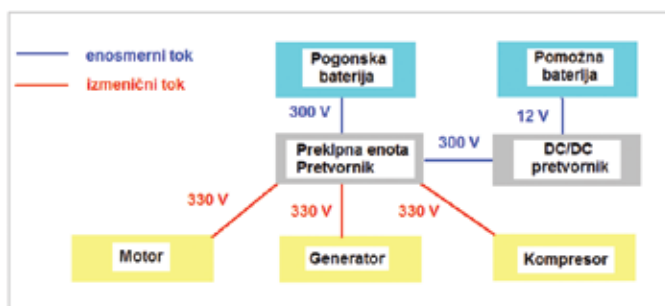
Slika 1: Osnovni principi električnih vozil

Napajalne napetosti: oprema električnih in hibridnih vozil je v območju nivojev male in nizke napetosti. Meje med posameznimi nivoji so podane v tabeli 1.

Napetostna območja	Maksimalna nazivna napetost	
	AC	DC
Mala napetost Extra low voltage (ELV)	$\leq 50V$	$\leq 120V$
Nizka napetost Low voltage (LV)	$50 V < U_n \leq 1000V$	$120 V < U_n \leq 1500V$

Tabela 1: Napetostna območja električne opreme električnih pogonov vozil. V normalnih razmerah (suhe razmere, neprevodni prostori) se lahko pri dotikih izmenične napetosti nad 50 voltov oziroma enosmerne 120 voltov pojavijo v telesu tokovi, ki povzročijo škodljive fiziološke učinke. Do te meje pa dotiki v suhih, neprevodnih prostorih naj ne bi bili nevarni. 12-voltni akumulator zato ne predstavlja nevarnosti za električni udar, je pa treba upoštevati tveganja zaradi nevarnosti kratkega stika, eksplozije, nevarnih plinov.

Električni pogoni so izvedeni z električnimi izmeničnimi trifaznimi motorji ali motorgeneratorji. Enosmerna napetost pogonskih baterij se zato na frekvenčnih pretvornikih pretvori v trifazni izmenični napetostni sistem. Izmenična napetost je zlasti v frekvenčnem območju med 15 in 100 hercev za človeka bolj nevarna kot enosmerna (če primerjamo enake amplitude). Trenutni trifazni izmenični sistemi v električnih in hibridnih vozilih obratujejo pri nazivnih efektivnih napetostih med 300 in 600 volti. Primer povezav in prenosa električne energije v električnem vozilu je shematsko podan na sliki 2.



Slika 2: Primer povezav in prenosa električne energije v električnem vozilu

Pri dotikih dveh potencialov, med katerima so take napetosti, stečejo čez človeka smrtno nevarni tokovi (za daljše čase je meja nevarnih tokov okoli 40 mA), če je njegova impedanca med točkama dotika med 7500 in 15.000 omov. Višja impedanca pomeni manjšo nevarnost, vendar teh vrednosti brez ustrezne plasti izolacijskega materiala običajno ne dosežemo. Brez ustreznih ukrepov obstaja veliko tveganje za električni udar – patofiziološke učinke električnega toka na človeško telo.

Na stopnjo oziroma resnost poškodb zaradi električnega udara vplivajo številni dejavniki:

- amplituda (velikosti) toka, ki je funkcija napetosti oziroma razlike napetosti kontaktnih točk in impedance telesa (impedanca telesa, ki je predvsem uporovna, je spet funkcija številnih dejavnikov – napetosti, fizioloških lastnosti telesa, vlažnosti kože, površine dotika, pritiska na mestu dotika, temperature ... in se med delovanjem toka lahko

tudi bistveno spremeni);

- vrsta in oblika toka (izmenični sinusni tok poškoduje tkivo pri določeni vrednosti, za isto poškodbo pa bi potrebovali dva- do trikrat večji enosmerni tok);
- čas izpostavljenosti;
- frekvenca izmeničnega toka;
- pot prehoda električnega toka skozi organizem;
- pripravljenost na udar toka (poskusi so pokazali, da je človek v spanju bolj odporen proti delovanju toka kot v budnem stanju).

Nevarnost pa ne preti le zaradi električnega udara. Že pri 12-voltnih akumulatorjih so nevarni obloki ob kratkih stikih med obema poloma. Veliko močnejši in še nevarnejši so obloki pri kratkih stikih na pogonskih baterijah in ostalih hranilnikih energije (kondenzatorji) z veliko kapacitivnostjo. Ob oblokih se poleg visoke temperature (nevarnost opeklin, požara, eksplozije) pojavi močno UV-sevanje, raztaljene kovine, strupeni plini, lahko pride do poškodb baterij, razlitja zelo agresivnih alkalnih raztopin ...

Zaščitni ukrepi na električni opremi vozil

Proizvajalci vozil morajo slediti zahtevam splošnih standardov s področja električnih inštalacij in naprav ob upoštevanju specifičnih pogojev in razmer, ki lahko nastopijo pri transportu, uporabi (problematične so predvsem nezgode), vzdrževanju in razgradnji vozil. Zaščita pred električnim udarom se v splošnem doseže z zaščito:

1. Ob normalnih razmerah z **osnovno zaščito** oziroma zaščito proti neposrednemu dotiku (izolacija – LV in ELV – aktivni deli pod napetostjo se imajo za dostopne oziroma nezavarovane pred neposrednim dotikom, če je zaščita slabša od IP 2X (slika 3), ograditev, mala napetost ...). Karoserija avtomobilov ni več eden od polov električnega sistema.
2. Ob okvari – **zaščita proti posrednemu dotiku** (samodejni odklop napajanja, dodatna ali dvojna izolacija, električna ločitev, mala napetost ...).

Zaščitni ukrep mora predstavljati:

- primerno kombinacijo ukrepov za osnovno zaščito in neodvisni ukrep za zaščito ob okvari ali
- povečan zaščitni ukrep, ki zajema hkrati osnovno zaščito in zaščito ob okvari.

Zaščita pred električnim udarom se lahko uporabi za celotno inštalacijo, njen del ali posamezno opremo. Če niso izpolnjeni osnovni pogoji za zaščito, so potrebni dodatni ukrepi za zagotovitev ustrezne ravni popolne zaščite.



Slika 3: Primer ustrezne zaščite in neustrezne zaščite pred neposrednim dotikom

Varno vzdrževanje električnih in hibridnih vozil

Predpis, ki v Sloveniji najbolj neposredno obravnava zahteve za varno delo na električnih inštalacijah in opremi, je Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka (Ur. list RS, št. 29/92), v nadaljevanju pravilnik. V tem poglavju so povzete osnovne zahteve pravilnika, ki jih morajo delavci in delodajalci upoštevati tudi pri vzdrževanju obravnavanih vozil. Glede na določila pravilnika veljajo različne zahteve za osebje in postopke za naslednja dela:

- delo pod napetostjo (če se jim ni mogoče izogniti, zahtevajo posebne postopke in usposobljenost);
- delo v breznapetostnem stanju na električni in neelektrični opremi vozil;
- delo v bližini delov pod napetostjo;
- meritve (iskanje napak, po popravilu), preskušanje delovanja.

Delodajalci morajo ustrezno oceniti tveganja in za posamezna dela usposobiti osebje, pripraviti ustrezne prostore, zaščitno opremo in osebno varovalno opremo, izdelati ustrezne postopke in navodila za varno delo:

1. Izjava o varnosti z oceno tveganja

V oceni tveganja je treba opredeliti nova tveganja, ki so jim delavci izpostavljeni ob vzdrževanju teh vozil. Določiti je treba predvsem usposabljanje (roke za preizkuse usposobljenosti), varnostne in organizacijske ukrepe, uporabo zaščitne opreme in osebne varovalne opreme (vrsta, značilnosti, preizkušanje ...).

2. Usposobljenost osebja

Na električni opremi lahko delajo delavci električne stroke in elektrotehnično poučeni delavci. Po definiciji iz pravilnika so to:

- strokovna oseba elektrotehniške stroke je oseba, ki na osnovi strokovne izobrazbe, znanja in izkušenj poznavanja tehničnih predpisov in standardov s področja svojega dela kot tudi predpisov s področja varnosti in zdravja pri delu lahko predvidi nevarnosti in tudi varnostne ukrepe, ki te nevarnosti omejijo in preprečijo;
 - elektrotehnično poučeni delavec je delavec, ki ga oseba elektrotehnične stroke pouči o nevarnostih in možnih tveganjih, do katerih lahko pride pri neustreznem ravnanju ob izvajanju določenih nalog oziroma del. Prav tako mora biti poučen o uporabi zaščitne in osebne varovalne opreme kakor tudi o varnostnih ukrepih, ki tveganja omejijo ali preprečijo.
- Usposobiti je treba tudi ostale delavce, ki bodo delali na neelektrični opremi vozil.

3. Navodila za varno delo

V navodilih za varno delo morajo delodajalci podrobno opisati vsaj naslednje:

- postopek pri vzdrževanju tovrstnih vozil (našteti vse faze od prevzema vozila do zaključka vzdrževalnega posega);
- navesti seznam pooblaščenih delavcev, ki smejo izvajati posamezne faze;
- opisati, katere dokumente je treba pri tem izpolnjevati;

- natančno mora biti opredeljeno, kdo in kako zagotovi breznapetostno stanje, kako in kdaj se uporabljajo opozorilni napisi, zaščitna sredstva, osebna varovalna oprema;
- kdo in kako skrbi za prvo pomoč in varstvo pred požarom.

V veliki meri bo treba slovenskim predpisom le ustrezno prilagoditi postopke in navodila, ki jih proizvajalci vozil pripravljajo za vzdrževalne posege na posameznih vozilih.

4. Zaščitna in osebna varovalna oprema

Delodajalci morajo zagotoviti ustrezne prostore za izvajanje dejavnosti in:

- v postopkih predpisano osebno varovalno opremo (rokavice, vizirje, čelade, delovno obleko, zaščitno obutev ...);
- zaščitno in merilno opremo (izolacijska pregrinja, izolacijsko orodje, preizkuševalec breznapetostnega stanja);
- opozorilne table, napise, oznake, sredstva za ograjitev vozila;
- omarico za prvo pomoč, reševalni kavelj, navodila za prvo pomoč;
- gasilnike, primerne za gašenje požarov na električnih napravah.

Osnovni koraki pri vzdrževanju električnih vozil

Pred začetkom vzdrževalnih del je treba odstraniti ali ustrezno omejiti vsa tveganja na električnem ali hibridnem vozilu. Treba je upoštevati tako imenovana zlata pravila o varnem delu na električni opremi in inštalacijah v breznapetostnem stanju. Pred tem je treba vozilo ustrezno identificirati in zavarovati. Posamezne korake je treba izvajati v naslednjem zaporedju:

- Identificirati in zavarovati vozilo (ograditi, namestiti opozorilne napise ...) na delovnem mestu.
- Izklopiti in vidno ločiti naprave pred napetostjo z vseh strani.

Pozor! Običajno je treba po odklopu (odstranitvi lo-

čilnikov) počakati nekaj časa (minut), da se izpraznijo nabiti kondenzatorji!

- Preprečiti ponovno vklopitev vseh izolirnih naprav v izklopljenem položaju in po potrebi namestiti ustrezna opozorila.
- Ugotoviti breznapetostno stanje z ustreznim dvolnim preizkuševalcem (slika 4).
- Po potrebi ograjiti mesto dela od delov, ki so pod napetostjo.



Slika 4: Preizkušanje breznapetostnega stanja

Delavci morajo pri posameznih korakih in nato pri delih na vozilih uporabljati predpisano osebno varovalno premo, ki jo morajo preveriti pred vsako uporabo (npr. izolacijske rokavice: vizualni pregled, tesnjenje – z napihovanjem, rok uporabe ...). Kadar obstaja tveganje neposrednega dotika, je obvezna uporaba izolacijskih rokavic, pri nevarnosti dotika z glavo tudi čelade! Kadar obstaja tveganje kratkega stika, je obvezna uporaba obraznega ščita! V bližini delov pod napetostjo je obvezna uporaba izolacijskega orodja. Pred kakršnim koli delom na vozilu je treba obleči delovno obleko in odstraniti kovinske predmete (ure, zapestnice, pisala ...).

Viri

Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka. Ur. list RS, št. 29/92.

TSG-N-002:2009 Niskonapetostne električne inštalacije.

The German Standardization Roadmap for Electromobility, GGEMO, Berlin, 2010.