

Nenad Papić, dipl. ing. el.

## NESREĆE UZROKOVANE UDAROM ELEKTRIČNE STRUJE – NESREĆE NA ŽELJEZNICI

### 1. Uvod

Nesreće koje se događaju zbog pojave opasnoga dodirnog napona na električnoj instalaciji i električnim uređajima i dodira čovjeka s neispravnim dijelom instalacije ili kućištem uređaja mogu dovesti do strujnog udara, koji može biti opasan za život i zdravlje čovjeka.

Vještačenje uzroka nesreća uzrokovanih strujnim udarom provodi vještak za elektrotehnička vještačenja pregledom i ispitivanjem električne instalacije i električnih uređaja na mjestu događaja nesreće. Također se vještače izuzeti električni uređaji (aparati) koji se dostavljaju na vještačenje zbog sumnje da su zbog kvara mogli dovesti do strujnog udara. U oba slučaja radi se o kombiniranome vještačenju za koje je osim elektrotehničkog vještačenja potrebno provesti i sudsko medicinsko vještačenje u vezi ozljeda i uzroka ozljeđivanja, odnosno smrti unesrećenog.

Do strujnog udara može doći direktnim (izravnim) dodirima s dijelovima pod naponom ili indirektnim (neizravnim) dodirima dijelova pod naponom kao posljedica kvara na izolaciji električnih uređaja. Također do strujnog udara može doći približavanjem dijelovima pod visokim naponom.

U svakodnevnome životu događaju se nesreće, većinom djeci ili mlađim osobama, zbog udara električne struje visokog napona u željezničkim kolodvorima do kojih dolazi zbog igre, nemara i neznanja. Do opasnosti i nesreće dolazi prilikom približavanja električnim instalacijama visokog napona. Često su posljedice smrtonosne za nastradale ili su posljedice teške ozljede koje zahtijevaju dugotrajno liječenje.

U članku je opisano nekoliko slučajeva strujnog udara visokog napona koji su bili predmet rada vještaka i dana je usporedba sa sličnim slučajevima koji su se dogodili na željeznici.

Na kraju članka dani su podaci i analiza nesreća na željeznici zbog udara električne struje visokog napona dobiveni od HŽ Infrastrukture za razdoblje od 2008. do rujna 2017. [12] te podaci o izvanrednim događajima zbog udara električne struje visokog napona od 2012. do 2017. koji su objavljeni u godišnjem izvješću o sigurnosti za 2017. HŽ Infrastrukture [1].

## 2. Realni slučajevi električnih udara kod visokog napona

Prikazani su realni slučajevi električnih udara kod visokog napona, i to jedan slučaj strujnog udara pri radu električara u trafostanici i jedan slučaj strujnog udara koji se dogodio prilikom rada kamiona pumpe za istovar betona na gradilištu u blizini dalekovoda koji su bili predmet rada autora, koji radi kao vještak za tehnička vještačenja u Centru za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“ pri MUP-u (CFIIV „Ivan Vučetić“) [4] i [5].

### 2.1. Nesreća na radu električara u trafostanici 6/0,4 kV

Nesreća se dogodila pri radu električara u trafostanici poduzeća koje se nalazi u krugu željezare, u čeliji s prekidačima transformatora snage 400 kVA, napona 6/0,4 kV. Pregledom mjesta događaja nesreće utvrđeno je to da se radi o dijelu rasklopnoga postrojenja visokog napona, što je i bilo označeno pločom upozorenja na vratima ormara (vidi sliku). Električar je nesmotrenošću, odnosno uporabom neodgovarajućeg instrumenta, doživio strujni udar, nasreću bez smrtne posljedice. Vjerojatno želeći obaviti neko mjerenje u trafostanici, radnik je preživio strujni udar prilikom približavanja dije-



Slika 1. Znak upozorenja [4]



Slika 2. Tragovi na rasklopnjoj opremi [4]



Slika 3. Tragovi na mjernome instrumentu [5]



Slika 4. Pravilan način ispitivanja napona [2]

lovima pod naponom zbog proboja izolacije i preskoka visokog napona u obliku električnog luka, što je dovelo do ozljeđivanja radnika. Na slikama su prikazana oštećenja na postrojenju i instrumentu.

Uzrok stradavanja električara od visokog napona jest nepravilan rad kada je zbog nesmotrenosti koristio mjerni instrument za niski napon, umjesto odgovarajućeg indikatora napona za visoki napon 6 kV (vidi sliku). Radove u postrojenjima visokog napona mogu obavljati samo osposobljene i stručne osobe, ali najčešće se događa to da stradavaju iskusni električari koji postaju previše samouvjereni upravo zbog vlastitog iskustva te dolazi do „ljudske pogreške”.

## 2.2. Preskok napona s dalekovoda 110 kV prilikom rada na gradilištu

Drugi slučaj dogodio se na gradilištu kada je došlo do preskoka visokog napona s dalekovoda 110 kV koji prolazi iznad gradilišta na kamion pumpu prilikom manipulacije cjevovodom pumpe za beton. Kada se metalni dio zadnjeg elementa cjevovoda pumpe približio na udaljenost od vodiča dalekovoda tako da je električno polje između vodiča i cjevovoda prekoračilo probojnu vrijednost električnog polja za zrak, došlo je do proboja i preskoka visokog napona s dalekovoda na pumpu.

Kao posljedica preskoka visokog napona nije došlo do ozljeđivanja radnika koji je rukovao pumpom za beton, ali su nastala oštećenja na ogradi te na električnoj instalaciji i uređajima tehničkog nadzora u obližnjemu trgovačkom centru.

Događaj je zabilježen na videosnimkama nadzornih kamera (prikazano na slici 5), a kao posljedica događaja nastao je prekid opskrbe električnom energijom područja Zagreba koje je napajano preko dalekovoda.

Slučaj preskoka napona s dalekovoda 110 kV na cjevovod kamiona pumpe za beton dogodio se prilikom



Slika 5. Snimak kamere videonadzora u trenutku preskoka napona s dalekovoda [5]



Slika 6. Izgled pumpe prilikom istovara betona [2]

rada u blizini napona zbog približavanja dijelovima pod naponom na razmak manji od minimalno dopuštenog (zaštitni razmak manji od 2000 mm za 110 kV), odnosno kod građevinskih radova nije bila održana sigurnosna udaljenost veća od 3000 mm za 110 kV.

Sigurnosne udaljenosti  $D_s$  propisane su Pravilnikom o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom [10], a prikazane su u Tablici 1.

Tablica 1. Sigurnosne udaljenosti  $D_s$  [10]

Nazivni napon mreže (kV)	Sigurnosna udaljenost $D_s$ (mm)
do 1,0	1000
od 1,0 do 35	2000
od 35 do 110	3000

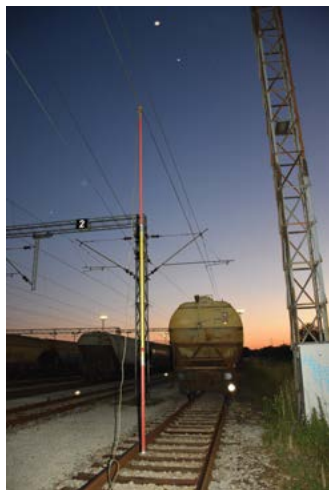
## 3. Realni slučajevi nesreća na željeznici zbog udara električne struje visokog napona

Prikazani su slučajevi električnih udara kod visokog napona koji su se dogodili u željezničkim kolodvorima, a čije su posljedice bile stradavanja djece ili mlađih osoba.

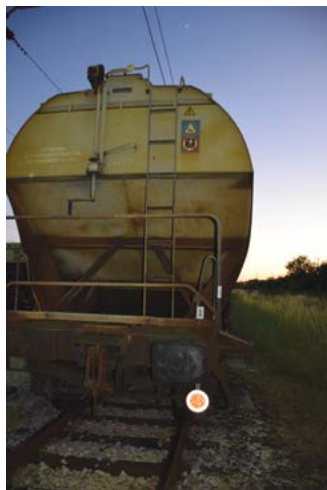
### 3.1. Stradavanje djeteta

Očevid je obavila Ekpa za očevide u ranžirnom kolodvoru u Zagrebu, gdje je dijete stradalo prilikom penjanja na vagon za rasute terete, kada je došlo do strujnog udara i teškog ozljeđivanja [2]. U razgovoru s doktorom policijski službenik dobio je informacije da je dječak zadobio ozljede opasne po život u vidu opekline.

Pregledom mjesta događaja na prvome kolosijeku ranžirnog kolodvora utvrđeno je to da se na prvome kolosijeku nalazi kompozicija s vagonima za rasute terete iznad kojih se nalazi kontaktna mreža s električnim



Slika 7. Kontaktna mreža [2]



Slika 8. Teretni vagon [2]

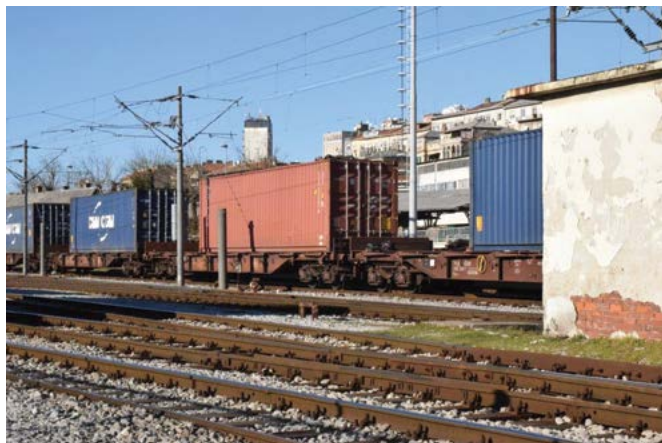
vodom koji se nalazi na visini 550 cm od tla (prikazano na slikama 7. i 8.). Na vagonu visine oko 410 cm nalaze se metalne ljestve koje vode na vrh vagona.

### 3.2. Stradavanje dvojice mladića

Na kontejnerskome terminalu u Rijeci došlo je do strujnog udara od kojega je jedna osoba smrtno stradala, a druga je teško ozlijeđena i u kritičnome stanju prevezena u HMP u Rijeci [2]. Nastradali mladići popeli su se na kontejner koji se nalazio na teretnome vagonu i nastradali vjerojatno dodirnuvši kontaktni vod napona od 25 000 V, (prikazano na slici 9).

Prema dokumentaciji očevida, radilo se o kontejneru 40', visine 2,9 m, koji se nalazio na otvorenome plato-vagonu oznake „RGS-Z“, visine 1,32 m. Iznad kontejnera i vagona nalazio se kontaktni vodič na visini 550 cm od tla.

Nakon što su radnici HŽ-a osigurali mjesto događaja, pregledan je kontejner s gornje strane. Na krovu kontejnera zatečeno je mrtvo tijelo jednog od nastradalih mladića na čijoj su odjeći, obući i dijelovima tijela pro-



Slika 9. Kontejneri na teretnim vagonima i kontaktna mreža [2]

nađeni tragovi termičkih oštećenja, odnosno opekline. Tijelo nastradalog pregledano je uz pomoć dežurnog patologa.

Na kontaktnome vodiču napojne električne mreže koji se protezao iznad tijela nastradalog bili su vidljivi tragovi taljenja bakra, a na metalnome krovu kontejnera na mjestu na kojemu je nastradali vjerojatno stajao nalazili su se tragovi zacrnjenja te tragovi taljenja i izgorjene boje.

### 3.3. Analiza uzroka nesreća na željeznici

Željeznička infrastruktura osigurava električnu energiju iz električne mreže putem elektrovučnih podstanica i kontaktne mreže i omogućuje električnu vuču. Na mreži željezničkih pruga u Hrvatskoj većinom se koristi jednofazni sustav izmjeničnog napona 25 kV, 50 Hz.

U brošuri HŽ Infrastrukture „Opasnosti od strujnog udara uz prugu“ navedeno je to da je u Hrvatskoj elektrificirano 980 km željezničke pružne mreže, od toga 977 km izmjeničnim sustavom električne vuče od 25 kV, 50 Hz, a 3 km istosmjernim sustavom od 3 kV.

Pravilnik o tehničkim uvjetima kojima mora udovoljavati željeznički elektroenergetski infrastrukturni podsustav u članku 46. propisuje visinu kontaktnog vodiča:

- nazivna visina 5500 mm;
- najmanja visina 5020 mm.

U tablici 2. dane su ukupne visine vagona na željeznici, i to za teretni vagon iz primjera 1 (stradavanje djeteta) i teretni vagon s kontejnerom iz primjera 2 (stradavanje dvojice mladića).

Tablica 2: Visine vagona na željeznici<sup>1</sup>

	Ukupna visina
Teretni vagon (zatvoreni), primjer 1	4,1 m
Teretni vagon (plato) s kontejnerom, primjer 2	3,9 m (1,2 m visina vagona + 2,7 m visina kontejnera)

U tablici 3 dani su razmaci između najviše točke pojedinih objekata (vagona i vagona s kontejnerom) i visine kontaktnog vodiča pod naponom od 25 kV kada su se nalazili na pruzi ispod kontaktnog vodiča.

Tablica 3. Razmaci između vagona na željeznici i kontaktnog vodiča [2]

	Razmak
Od teretnog vagona (zatvorenog)	5,5 m - 4,1 m = 1,4 m
Od teretnog vagon s kontejnerom	5,5 m - 3,9 m = 1,6 m

<sup>1</sup> Dimenzije su korigirane prema stvarnim dimenzijama [3].

Prema Pravilniku o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom u tablici 4. propisane su sigurnosne udaljenosti za rad u blizini napona, koja u konkretnome slučaju za napon od 25 kV iznosi najmanje 2000 mm. Pravilnikom [10] je dopušten rad u blizini dijelova postrojenja pod naponom za neelektričarske radnike bez primjene zaštitnih mjera protiv dodira dijelova pod naponom ako su razmaci između radnika i dijelova pod naponom veći od sigurnosne udaljenosti D<sub>s</sub> prikazane u tablici 4.

Tablica 4. Sigurnosna udaljenost D<sub>s</sub> [10]

Nazivni napon mreže (kV)	Sigurnosna udaljenost D <sub>s</sub> (mm)
od 1,0 do 35	2000

Penjanjem na vagone koji se nalaze u željezničkim kolodvorima ispod kontaktnog voda koji je pod naponom od 25 kV, bilo da se radi o teretnim bilo o putničkim vagonima, odnosno teretnim vagonima s kontejnerima, dijete ili odrasla osoba može dodirnuti kontaktni vodič ili doći u blizinu kontaktnog vodiča na razmak manji od sigurnosnog razmaka koji iznosi 2000 mm za napon 25 kV te doći u opasnost od udara električne struje visokog napona zbog preskoka i električnog luka. Udar električne struje visokog napona u navedenim okolnostima može izazvati smrtonosne posljedice ili teške ozljede zbog opekline.

#### 4. Analiza podataka o nesrećama na željeznici zbog udara električne struje visokog napona

Od HŽ Infrastrukture dobiveni su podaci o nesrećama na željeznici zbog udara električne struje u razdoblju od 2008. do rujna 2017. [12] u kojima je zabilježeno ukupno 26 izvanrednih događaja zbog strujnih udara koji su se dogodili prilikom ulaska u zonu opasnosti kontaktne mreže (vidi tablicu 5). U 20 slučajeva nesreće su se dogodile kao posljedica penjanja na vagone. U jednome slučaju do nesreće je došlo pri pokušaju krađe dijelova uređaja koji su pod naponom, u tri slučaja nastradali su ribiči koji su štapom za pecanje vjerojatno dodirnuti kontaktnu mrežu, u jednome slučaju do nesreće je došlo zbog penjanja na portal (stup) kontaktne mreže, a u jednome slučaju stradao je policijski službenik prilikom potrage za ilegalnim migrantima u teretnome vagonu.

HŽ Infrastruktura u svojim analizama i javno objavljenim izvješćima [12] uz navedene izvanredne događaje koji su uzrokovani kretanjem i prelaskom preko pruge na mjestima na kojima to nije dopušteno posebno ističe i izvanredne događaje urokovane udarom električne

struje visokog napona. Pri tome kao ozbiljne nesreće označava događaje u kojima je poginula najmanje jedna osoba, i/ili je teško tjelesno ozlijeđeno pet ili više osoba, dok ostale događaje označava kao nesreće.

Tablica 5. Prikaz izvanrednih događaja prema načinu stradavanja [12]

Način stradavanja	Broj stradalih	Smrtno stradavanje	Teško ozlijeđivanje
Penjanje na vagone	20	4	16
Dodir štapom za pecanje	3	1	2
Krađa dijelova pod naponom	1	0	1
Penjanje na stup kontaktne mreže	1	0	1
Policijski službenik prilikom potrage	1	0	1
<b>Ukupno</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>21</b>

U nesrećama na željeznici zbog strujnog udara pet osoba smrtno je stradalo, a 21 osoba je teško ozlijeđena. Među pet poginulih osoba tri osobe su mlađi punoljetnici (18-21 godine), a ostalo su osobe starije od 21 godine. Među 21 teško ozlijeđenom osobom u dva slučaja radilo se o djeci staroj 11 i 13 godina, deset je osoba bilo u dobi do 14 do 17 godina, dvije su osobe bile mlađi punoljetnici, a ostalih sedam osoba bile su starije od 21 godine. Po spolu osoba, u 24 slučaja radi se o osobama muškog spola, dok su u dva slučaja teško ozlijeđene osobe ženskog spola.

U tablici 6. vidi se trend rasta i pada nesreća, a najveći broj nesreća dogodio se 2016., kada su u sedam nesreća smrtno stradale dvije osobe, a teško je ozlijeđeno pet osoba. Prosječan broj nesreća u promatranome razdoblju od 2008. iznosi 2,6 nesreća na godinu.

Tablica 6. Prikaz izvanrednih događaja po godinama [12]

Godina	Broj nesreća	Smrtno stradalih	Teško ozlijeđenih
2008.	1	0	1
2009.	2	1	1
2010.	1	0	1
2011.	2	0	2
2012.	1	1	0
2013.	5	0	5
2014.	2	0	2
2015.	1	0	1
2016.	7	2	5
2017.	4	1	3
<b>Ukupno</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>21</b>

U tablicama 7. i 8. prikazani su podaci o izvanrednim događajima zbog udara električne struje visokog napona i njihovim posljedicama od 2012. do 2017., koji su objavljeni u godišnjem izvješću o sigurnosti za 2017. HŽ Infrastrukture [1].

**Tablica 7. Izvanredni događaji zbog udara električne struje visokog napona [1]**

VRSTA IZVANREDNOG DOGAĐAJA	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Ozbiljna nesreća	1	0	0	0	2	1
Nesreća	1	5	2	1	5	4
Ukupno	2	5	2	1	7	5

**Tablica 8. Posljedice udara električne struje visokog napona [1]**

POS LJEDICE	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.
Smrtno stradalo	1	0	0	0	2	1
Teže ozlijeđeno	1	5	2	1	5	5

## 5. Zaključak

Prilikom pregleda mjesta događaja za koje se sumnja da je došlo do električnog udara, prije ulaska ekipe za očevid na mjesto događaja mora biti isključeno napajanje električnom energijom. Vještačenje uzroka električnih udara kombinirano je vještačenje vještaka za elektrotehnička vještačenja i sudsko-medicinskog vještaka. Poštovanje pravila struke, a u slučaju rada na električnim postrojenjima i instalacijama to su zaštitne mjere poznate kao „pet zlatnih pravila“ za osiguranje mjesta rada, uz poštovanje uputa za rad i svih mjera zaštite na radu te uporabe zaštitnih sredstava i osobne zaštitne opreme, umnogome bi pridonijelo smanjenju broja nesreća na radu zbog električnog udara.

Penjanjem na vagone koji se nalaze u kolodvorima ispod kontaktnog voda koji je pod naponom dijete ili odrasla osoba može dodirnuti kontaktni vodič ili doći u blizinu kontaktnog vodiča te doći u opasnost od udara električne struje visokog napona zbog preskoka i električnog luka. Udar električne struje visokog napona u navedenim okolnostima može izazvati smrtonosne posljedice ili teške ozljede zbog opekline.

Prema podacima HŽ Infrastrukture, najviše nesreća događa se zbog penjanja na vagone, ukupno 20 od 26 zabilježenih nesreća od 2008. do rujna 2017., a najviše stradavaju djeca i mladi ljudi starosti do 21 godine, od kojih je troje smrtno stradalo, a 14 je teško ozlijeđeno.

Unatoč edukaciji i drugim mjerama koje provodi HŽ Infrastruktura, zabrinjavajući je i trend porasta broja nesreća, sedam nesreća u 2016. i šest nesreća u 2017. Unatoč navedenim činjenicama treba nastaviti s mjerama koje poduzima HŽ Infrastruktura, a također bi bilo dobro čuti i mišljenja drugih stručnjaka koji se bave navedenim područjem iznesena u stručnim člancima, na predavanjima i na druge načine.

## Literatura:

- [1] Godišnje izvješće o sigurnosti 2017., HŽ Infrastruktura, dostupno na: <http://www.hzinfra.hr/wp-content/uploads/2018/10/Izvjescje-o-sigurnosti-2017.pdf>, pristupljeno 29.3.2019.
- [2] MUP, CFIV „Ivan Vučetić“: Zapisnici o vještačenju i dokumentacija očevida, 2001.-2018.
- [3] Opasnosti od strujnog udara uz prugu, brošura, HŽ Infrastruktura, Zagreb, 2017.
- [4] Papić, N.: „Nesreće uzrokovane strujnim udarom“, Zbornik radova 6. međunarodnog stručno-znanstvenog skupa „Zaštita na radu i zaštita zdravlja“ u Zadru, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2016.
- [5] Papić, N.: „Nesreće na radu uzrokovane udarom električne struje“, časopis „Sigurnost“, broj 3, vol. 59, 2017.
- [6] Papić, N., Marcikić, M.: „Vještačenje nesreća uzrokovanih strujnim udarom“, časopis „Sigurnost“, broj 2, vol. 60, 2018.
- [7] Papić, N.: „Vještačenje nesreća na radu uzrokovanih strujnim udarom“, predavanje na seminaru HRO CIGRE održanom 27.9.2018. na FER-u, na Zavodu za visoki napon i energetiku
- [8] Papić, N.: „Nesreće na radu uzrokovane udarom električne struje“, predavanje na Konferenciji „Zaštita na radu – jučer, danas, sutra“, održano 22.10.2018. u Tehničkom muzeju Nikola Tesla u Zagrebu
- [9] Papić, N.: „Nesreće na radu uzrokovane udarom električne struje“, savjetovanje „SIZ 2019 – Sigurnost i zdravlje pri radu“, održano 21.3.2019. u Hrvatskom inženjerskom savezu, Berislavićeva 6, ELEKTROTEHNIČKO DRUŠTVO ZAGREB, zbornik radova
- [10] Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom, Narodne novine, br. 88/12., Zagreb, 2012.
- [11] Pravilnik o tehničkim uvjetima kojima mora udovoljavati željeznički elektroenergetski infrastrukturni podsustav, Narodne novine, br. 129/10. i 23/11., Zagreb, 2010. i 2011.
- [12] Stradanja od strujnog udara 2008.-9.2017., podaci HŽ Infrastruktura, Zagreb, 2017.

## UDK: 656.25

Adresa autora:

Nenad Papić, dipl. ing. el.  
MUP RH, Centar za forenzična ispitivanja, istraživanja i vještačenja „Ivan Vučetić“  
Ilica 335, 10000 Zagreb  
npapic@mup.hr, npapic59@gmail.com

**SAŽETAK**

**NESREĆE UZROKOVANE UDAROM ELEKTRIČNE STRUJE – NESREĆE NA ŽELJEZNICI**

Strujni udari nisu tako česti uzroci nesreća i smrtnog stradavanja, ali se pojavljuju i kao takvi su predmet istraživanja vještaka za elektrotehnička vještačenja i sudsko-medicinskog vještaka. Opisano je više realnih slučajeva iz područja rada vještaka elektrotehničke struke te su navedeni mogući uzroci koji su doveli do nesreća. U radu su uspoređene nesreće koje su bile predmet rada vještaka i nesreća koje su se dogodile na željeznici zbog udara električne struje prilikom približavanja ili dodira kontaktne mreže tijekom penjanja na vagone. Prema mišljenju vještaka, uzroci nesreća na željeznici jesu igra, neznanje i neoprezno postupanje nastradalih. Na kraju članka dani su podaci koji nas upozoravaju na opasan trend porasta broja nesreća na željeznici zbog strujnih udara i na stradavanje uglavnome djece i mladih ljudi, i to unatoč edukaciji i drugim mjerama koje provodi HŽ infrastruktura.

**Ključne riječi:** nesreće, strujni udar, elektrotehnička vještačenja, nesreće na željeznici

**Kategorizacija:** stručni rad

**SUMMARY**

**ACCIDENTS CAUSED BY ELECTRIC SHOCK – RAILWAY ACCIDENTS**

Even though electric shocks are not so common as the cause of accidents and deaths, they still occur and are the subject of investigation by electrical engineering experts and medical examiners. Several real-life examples from electrical engineering experts' experience are presented in the paper and possible causes leading to these accidents are identified. A comparison is made of accidents that were the subject of experts' work and railway accidents which occurred due to electric shock when approaching or touching the overhead contact line while climbing onto wagons. In experts' opinions, accidents are caused by playing, ignorance, and negligent behaviour of people who got injured. At the end of this article, there is data which warns us of a dangerous trend of increasing railway accidents due to electric shock and mostly children and young people who get hurt, despite education and other measures carried out by HŽ Infrastruktura.

**Key words:** accidents, electric shock, electrical engineering experts' reports, railway accidents

**Categorization:** professional paper

**PODUPIRUĆE ČLANICE HDŽI-a**



RADIONICA ŽELJEZNIČKIH VOZILA - ČAKOVEC