

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Silvijo Granatir

# **OZLJEDE OD ELEKTRIČNE STRUJE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2020.

Karlovac University of Applied  
Sciences Safety and Protection  
Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Silvijo Granatir

# **INJURIES CAUSED BY ELECTRICITY**

Final paper

Karlovac, 2020

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni studij sigurnosti i zaštite

Silvijo Granatir

# **OZLJEDE OD ELEKTRIČNE STRUJE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc.dr.sc. Josip Žunić, prof. v. š.

Karlovac, 2020.



## ZAVRŠNI ZADATAK

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



### VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Stručni studij sigurnosti i zaštite

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2020.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Silvijo Granatir Matični broj: 0416615068

Naslov: Ozljede od električne struje

Opis zadatka:

U Završnom radu naznačiti izvor, vrstu i pristup ozljedama od električne struje te tehničke mjere zaštite propisane Zakonom i važećim Pravilnicima. Opisati utjecaj struje na organizam te moguće posljedice. Prikazati sredstva osobne zaštite koju moraju koristiti osobe u radu s električnom strujom. Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, Zakonima i Pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku Veleučilišta u Karlovcu.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane

svibanj 2019.

veljača 2020.

lipanj 2020.

Mentor:  
doc. dr. sc. Josip Žunić, prof.v.š.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:  
mr. sc. Snježana Kirin

## **PREDGOVOR**

Ovaj rad je nastao kao rezultat stručne prakse koju sam odrađivao u Hrvatskoj elektroprivredi (HEP) – Operator distribucijskih sustava d.o.o., koja je ovlaštena nacionalna energetska tvrtka za proizvodnju, distribuciju i opskrbom električnom energijom, a u posljednjih nekoliko desetljeća i distribucijom i opskrbom kupaca toplinskom energijom i prirodnim plinom.

Provođenjem stručne prakse imao sam priliku upoznati se s terenskim radom s električnom energijom (mijenjanje, iskopčavanje, parametrisiranje, očitavanje brojila, priključci limitatora i sl.) te sam dobio uvid u potencijalne opasnosti i ozljede uzrokovane rukovanjem električnom strujom u nesigurnim uvjetima.

Također, radeći na stručnoj praksi susreo sam se sa edukacijom, uputstvima i smjernicama zaposlenika u radu s električnom energijom u svrhu prevencije ozljeda i adekvatne zaštite na radu.

Zahvaljujem se mentoru doc.dr.sc. Josipu Žuniću na pruženoj pomoći, susretljivosti i strpljenju prilikom izrade Završnog rada.

## **Sažetak**

U ovom radu navedeni su načini i mehanizmi djelovanja električne struje na ljudski organizam. Također, prikazani su opći i sistemski utjecaji struje te posljedice po ljudski organizam. Mjere zaštite od direktnog i indirektnog dodira su navedene i definirane, kao i postupak provedbe zaštitnih mjera i njihova obilježja. S obzirom da je prevencija ozljeda na radu jedna od temeljnih zadaća struke, esencijalno je poznavati i razumjeti potencijalne ozljede i težinu njihovih posljedica, kao i trajno educirati i osposobljavati radnike sukladno postojećim pravilima zaštite na radu.

Ključne riječi: električna energija, ozljede od električne energije, sigurnost, zaštita na radu.

## **Summary**

In this paper, ways and mechanisms of electricity impact on human organism have been listed. In addition, general and systemic effects of electricity and potential consequences on human organism have been showed. Safety measurements for direct and indirect contact with electricity have, as well as their characteristics have been listed. Taken into account prevention, as one of the main tasks of occupational safety, it is essential to know and understand potential injuries and their consequences, as well as permanent education and training of employers according to presently used safety and protections rules.

Key words: electricity, injuries, safety, safety and protection.

## Sadržaj

Završni zadatak .....	I
Predgovor .....	II
Sažetak .....	III
Sadržaj .....	IV
1. Uvod.....	2
1.1. Predmet i cilj rada.....	3
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja .....	4
2. Električna struja.....	5
2.1. Uvod u fizikalna svojstva električne struje .....	6
2.2. Opasnosti od električne struje .....	10
3. Utjecaj električne struje na ljudski organizam .....	13
3.1. Prolazak električne struje kroz ljudsko tijelo.....	13
3.2. Djelovanje električne struje na ljudsko tijelo .....	16
3.3. Vrsta ozljeda od električne struje.....	17
4. Vrste ozljeda od električne struje .....	20
4.1. Udar struje gradske mreže .....	20
4.2. Udar munje .....	20
4.3. Udar struje visokog napona.....	21
4.4. Zbrinjavanje unesrećenika s ozljedama od električne struje.....	21
5. Mjere sigurnosti i zaštite pri radu s električnom strujom.....	24
6. Rasprava.....	28
7. Zaključak.....	30
8. Literatura.....	31

## Sadržaj slika

**Slika 1.** Mjesto oštećenja na električnoj instalaciji. Preuzeto iz Papić N., 2017.

**Slika 2.** Prikaz doticaja čovjeka sa strujnim krugom. A) Dodir čovjeka sa strujnim krugom preko zemlje radi neposrednog dodira faznog vodiča, B) dodir čovjeka sa strujnim krugom radi dodira dva vodiča pod naponom, C) dodir čovjeka sa strujnim krugom radi oštećene izolacije na električnom uređaju.

**Slika 3.** Otpor tijela u ovisnosti o naponu dodira.

**Slika 4.** Prikaz promjene rada srca i krvnog tlaka kod fibrilacije atrijske.

**Slika 5.** Primjeri označavanja opasnosti od električnog udara korišteni u praktičnom radu.

## Sadržaj tablica

**Tablica 1.** Pregled fiziološkog djelovanja izmjeničnih struja različite jakosti na ljudski organizam.



## 1. Uvod

Zakonom o zaštiti na radu (I. Opće odredbe, članak 1, NN 94/18) uređuje se sustav zaštite na radu u Republici Hrvatskoj, a osobito nacionalna politika i aktivnosti, opća načela prevencije i pravila zaštite na radu, obveze poslodavaca, prava i obveze radnika i povjerenika radnika za zaštitu na radu, djelatnosti u vezi sa zaštitom na radu te nadzor i prekršajna odgovornost. Svrha ovoga Zakona je sustavno unaprjeđivanje sigurnosti i zaštite zdravlja radnika i osoba na radu, profesionalnih bolesti i bolesti u vezi sa radom. Radi unaprjeđivanja sigurnosti i zaštite na radu propisuju se opća načela sprječavanja rizika na radu i zaštite zdravlja, pravila za uklanjanje čimbenika rizika i postupci osposobljavanja radnika te postupci obavješćivanja i savjetovanja radnika i njihovih predstavnika s poslodavcima i njihovim ovlaštenicima.

Prema Zakonu o zaštiti na radu (članak 18, NN 94/18) Poslodavac je obvezan, uzimajući u obzir poslove i njihovu prirodu, procjenjivati rizike za život i zdravlje radnika i osoba na radu, osobito u odnosu na sredstva rada, radni okoliš, tehnologiju, fizikalne štetnosti, kemikalije, odnosno biološke agense koje koristi, uređenje mjesta rada, organizaciju procesa rada, jednoličnost rada, statodinamičke i psihofiziološke napore, rad s nametnutim ritmom, rad po učinku u određenom vremenu (normirani rad), noćni rad, psihičko radno opterećenje i druge rizike koji su prisutni, radi sprječavanja ili smanjenja rizika. Poslodavac je prema istom tom istom Zakonu obvezan u skladu sa procjenom rizika primjenjivati sva pravila zaštite na radu, te poduzeti sve preventivne mjere kako bi se vjerojatnost nastanka ozljede na radu, oboljenja od profesionalne bolesti ili bolesti u vezi s radom otklonila ili svela na najmanju moguću mjeru, kako bi se osigurala bolja razine zaštite na radu.

## **1.1. Predmet i cilj rada**

Predmet ovog rada je sustavni prikaz i analiza ozljeda od električne energije na radu u Republici Hrvatskoj. Također, predmet rada biti će sustavna analiza fizikalnih svojstava pojedinih oblika električne struje te njihove potencijalne posljedice na ljudski organizam.

Cilj završnog rada je analizom teorije i prakse prikazati i utvrditi različitost potencijalnih ozljeda od električne energije na radu u Republici Hrvatskoj, ali i mogućnost smanjenja njihovog broja u funkciji unapređivanja stupnja sigurnosti u poslovnoj organizaciji kao preduvjet za poboljšanje zaštite na radu.

## **1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja**

Metodom sustavnog prikaza i analizom zapažanja i opisivanja literature, dostupne dokumentacije, propisa, normi i ostalih dostupnih korištenih podataka iz kojih utvrđujemo ozljede od električne energije, stanje ozljeda od električne energije na radu, kao i mogućnosti za njihovim smanjenjem adekvatnom edukacijom, prevencijom i provođenjem mjera sigurnosti i zaštite na radu.

## 2. Električna struja

U današnje vrijeme život bez kontakta s električnom strujom je praktički nemoguć. No, koliko god je električna struja nužna, u kontaktu s njom potrebno je biti oprezan. Nesreće koje se događaju zbog pojave opasnog dodirnog napona na električnoj instalaciji i električnim uređajima i dodira čovjeka s neispravnim dijelom instalacije ili kućištem uređaja mogu izazvati strujni udar koji može biti opasan za život i zdravlje čovjeka. Događaju se i nesreće prilikom rada, većinom električara, na električnim instalacijama i postrojenjima, kada čovjek dodirne metalni dio koje je zbog oštećene ili neispravne izolacije poprimilo određeni napon prema zemlji i istovremeno dodirom drugog, uzemljenog dijela zatvori strujni krug (Slika 1). Tada nastaje razlika potencijala koja uzrokuje protjecanje električne struje kroz tijelo. Strujni udar može nastati direktnim / izravnim dodirom s dijelovima pod naponom ili indirektnim / neizravnim dodirom dijelova pod naponom kao posljedica kvara na izolaciji električnih uređaja ili čak približavanjem dijelovima pod visokim naponom.

Da bi se izbjegao potencijalni rizik potrebno je pratiti osnovna pravila sigurnosti; sustavi električne struje moraju biti projektirani za siguran rad, koristiti na siguran način i omogućiti sigurnost za svakodnevnu upotrebu.

Ukoliko čovjek u radu s oštećenom opremom dođe u kontakt s povećanim naponom električne struje dolazi do opasnosti od ozljeda od električne struje. Potencijalni rizici i sigurni načini rada sa električnom strujom definirani su Pravilnikom o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom.



**Slika 1.** Mjesto oštećenja na električnoj instalaciji. Preuzeto iz Papić N., 2017.

## 2.1. Uvod u fizikalna svojstva električne struje

Električna struja označava gibanje negativno nabijenih čestica; u metalnim vodičima to je gibanje elektrona, u poluvodičima gibanje elektrona i šupljina, dok se u elektrolitskim otopinama gibaju pozitivni i negativni ioni. U električnom vodiču do takvog gibanja dolazi ako je električni vodič krajevima priključen na polove izvora struje između kojih postoji električni napon. Električni napon između polova nastaje radi razlike količine elektrona, stoga oni nastoje izjednačiti razliku gibajući se od pola gdje su u suvišku, prema polu gdje su u manjku. Ako između obiju vodljivo spojenih točaka određenog izvora struje vlada stalni električni napon, u električnom vodiču će teći električna struja. Pol izvora struje koji ima viši električni potencijal označuje se s plus (+), a pol koji ima niži električni potencijal s minus (-).

Električno strujanje u strujnim krugovima sastavljenima od električnih vodiča naziva se *provodnom strujom*, a gibanje nabijenih materijalnih čestica u slobodnom prostoru naziva se *konvekcijskom strujom*. Električna struja, to jest elektroni, struje od mjesta gdje su u suvišku (- pol) prema mjestu gdje su u manjku (+ pol), odnosno smjerom suprotnim smjeru električnog polja, a taj smjer nazivamo elektronski smjer. No., u elektrotehnici se obično uzima tehnički, tj. suprotni smjer od pozitivnog prema negativnom polu, koji je usvojen prije samog otkrića elektrona. U stručnoj literaturi smjer se do danas nije mijenjano jer bi se radi toga morale mijenjati razne definicije u elektrotehnici.

Svako gibanje nastaje radi određenog uzroka. Tako je, na primjer uzrok gibanju vode u vodovodnim cijevima razlika tlaka, a uzrok gibanju elektrona je elektromotorna sila, ona sila koja stvara razliku električnih potencijala, tj. električni napon. Uređaji koji stvaraju elektromotornu silu zovu se izvori struje, kao npr. džepna baterija. Da bi struja mogla teći, strujni krug mora biti zatvoren. Strujni krug se sastoji od izvora struje i električnih vodiča priključenih na njegove polove. Za otvaranje i zatvaranje strujnih krugova služe različite sklopke i/ili prekidači. Otvori li se strujni krug, elektromotorna sila će i dalje tjerati elektrone, pa će na negativnom polu nastati suvišak, a na pozitivnome manjak elektrona. Između polova će vladati napeto stanje koje nazivamo električni napon i/ili napetost, posljedica elektromotorne sile.

Električno polje stvoreno naponom što ga imaju električni izvori na svojim stezaljkama se smatra uzrokom električnog strujanja. Smjer djelovanja električnog polja je onaj smjer u kojem polje djeluje silom na pozitivni električni naboj, pa se zato se kao smjer električne struje uzima onaj smjer u kojem se gibaju pozitivni električni naboji. S obzirom da je

električna struja u metalnim vodičima ostvarena gibanjem elektrona, ovdje se elektroni doista gibaju u suprotnome smjeru od dogovorenog smjera struje. No, u pogledu magnetskog učinka električne struje, koji je među svim njezinim učincima najvažniji, svejedno je gibaju li se pozitivni naboji u jednome smjeru ili negativni u suprotnome smjeru. Ostali osnovni učinci električne struje su toplinski (proizvodnja topline u otporu kroz koji prolazi struja) te kemijski (razdvajanje elektrolita pri prolazu struje).

Intenzitet električnog strujanja ili jakost električne struje ( $I$ ) izražava se količinom elektriciteta koja struji u jedinici vremena na promatranome mjestu vodiča. Dakle,

$$I = Q/t$$

gdje je  $Q$  količina elektriciteta koja je u vrijeme  $t$  prošla kroz poprečni presjek vodiča.

Jedinica jakosti električne struje naziva se amper ( $A$ ), a definira se prema veličini magnetske sile koja nastaje među vodičima kojima protječe električna struja (u 1 sekundi kroz neki presjek električnog vodiča proteče količina elektriciteta od 1 kulona). Osim ampera upotrebljava se još 1 kA (kilo amper)= $10^3$  A; 1 mA (mili amper)= $10^{-3}$  A; 1  $\mu$ A (mikro amper)= $10^{-3}$  mA= $10^{-6}$  A. Mjerni instrument za mjerenje jakosti električne struje naziva se ampermetar, a za mjerenje električnog napona voltmetar.

Pri određivanju jakosti struje u elektrolitskim otopinama, gdje struju tvori gibanje pozitivnih i negativnih iona u suprotnim smjerovima, treba uzeti u obzir količine elektriciteta obaju polariteta. Ako je strujanje elektriciteta nejednolično, jakost struje bit će vremenski promjenljiva i u svakome će trenutku imati drukčiju trenutačnu vrijednost, koja se izražava jednadžbom;

$$i = dQ/dt.$$

Obzirom na prolazak električnog naboja u tijeku vremena razlikuje se vrsta električne struje. Istosmjernom strujom naziva se struja koja ima u tijeku vremena konstantnu jakost i trajno jedan, isti smjer. Za istosmjernu struju u strujnim krugovima vrijede osnovni zakoni: Ohmov zakon, oba Kirchhoffova zakona, Jouleov zakon za toplinski učinak, Faradeyevi zakoni elektrolize te Hopkinsonov zakon magnetskog toka.

Pri promjenljivom strujanju električnog naboja struja je promjenljiva, a njezine vrijednosti mogu se za svaki trenutak vremena saznati ako je poznat grafički prikaz tih promjena u koordinatnome sustavu ( $i$ ,  $t$ ) ili ako je zadan analitički izraz  $i = f(t)$  promjene struje s

vremenom. Od svih promjenljivih struja najveću važnost imaju periodično promjenljive struje, a to su one kod kojih se promjene stalno ponavljaju u određenim vremenskim intervalima. Trajanje jedne potpune promjene nazivamo perioda ( $T$ ). Ako periodično promjenljiva struja mijenja osim jakosti još i smjer, naziva se izmjeničnom strujom. Osim periodom  $T$ , promjenljivost izmjeničnih struja može se označiti i brojem titraja u jednoj sekundi, a to nazivamo frekvencijom izmjenične struje ( $f$ ):

$$(f): f = 1/T.$$

Budući da se svaka periodično promjenljiva struja prema Fourierovu pravilu može rastaviti u niz komponenata, za proučavanje izmjeničnih struja vrlo je bitno poznavanje zakona kojima podliježe sinusoidna izmjenična struja. Analitički je izraz za sinusoidnu izmjeničnu struju:

$$i = I_{max} \sin \omega t$$

gdje je  $I_{max}$  = amplituda struje;  $\omega = 2\pi f$  kružna frekvencija.

Aritmetička srednja vrijednost sinusoidne struje jednaka je nuli, ali kvadratna srednja vrijednost o kojoj ovise učinci izmjenične struje jednaka je

$$I = I_{max} \sqrt{2} = 0,707 I_{max}$$

i naziva se efektivnom vrijednosti. Sinusoidna izmjenična struja upotrebljava se za stvaranje topline u elektrotermičkim aparatima, jer je za proizvodnju topline svejedno u kojem smjeru prolazi struja kroz otporni grijač. Računski se to vidi prema tome što po Jouleovu zakonu proizvedena toplina ovisi o kvadratu jakosti struje, pa je za to mjerodavna efektivna vrijednost. Jednako se tako može s pomoću sinusoidne izmjenične struje u elektromotorima proizvesti zakretna sila, jer i ona u motorima izmjenične struje ovisi o kvadratu jakosti struje. No, kako je kemijski učinak, kao npr. pri galvanizaciji, ovisan o srednjoj vrijednosti koja je za sinusoidu jednaka nuli, ne može se izmjeničnom strujom postići spomena vrijedan kemijski učinak. Ipak, energija izmjenične struje se može upotrijebiti i za elektrolizu, pa i za ostale aparate koji traže istosmjernu struju, ako se izmjenična struja ispravi. Takva struja sastavljena je od samih pozitivnih polovica sinusoide, pa je njezina srednja vrijednost prozvana elektrolitskom srednjom vrijednošću.

Računski ona iznosi:

$$I_{el\ sr} = \frac{2}{\pi} I_{max} = 0,637 I_{max}$$

Pri računima s promjenljivim strujama uvedene su općenito ove prosječne vrijednosti:

aritmetička srednja vrijednost: 
$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T i \, dt$$
,

elektrolitska srednja vrijednost: 
$$I_{el\ sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |i| \, dt$$
,

efektivna vrijednost: 
$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \, dt}$$
.

Često se računa s još jednom veličinom, a to je gustoća električne struje. Ona je pri linijskim vodičima definirana kao broj ampera na jedinicu površine poprečnoga presjeka vodiča (m<sup>2</sup> ili mm<sup>2</sup>):

$$J = I/S.$$

Obrnuto je onda jakost struje kroz cijeli presjek S jednaka:

$$I = JS.$$

U vezi s veličinom  $J$ , može se općenito i pri prostornom strujanju odrediti jakost struje kroz neki presjek u prostoru. Ako je, prostorno strujanje zadano time što je za svaku točku prostora zadana gustoća  $J$ , a to je vektorska veličina, jer osim veličine ima još i određen smjer u prostoru, onda je ukupna struja što prolazi kroz površinu  $S$ :

$$I = \oint_S J \, d \cdot S$$
.



Izmjenična struja koja teče zatvorenim strujnim krugom naziva se jednofaznom, kako bi se istaknula razlika prema višefaznim strujama. Od svih višefaznih struja najveću važnost u elektrifikaciji ima trofazna struja. Trofazna je struja sustav triju sinusoidno promjenljivih struja koje su vremenski jedna prema drugoj fazno pomaknute za  $1/3$  periode, što u grafičkom prikazu odgovara faznomu kutu od  $120^\circ$ . Prema tome to nije jedna, nego su to tri struje koje se u generatoru zajednički proizvode, dalekovodom zajednički prenose i predaju potrošačima.

## **2.2. Opasnosti od električne struje**

Svaki protok struje koji prelazi prag djelovanja, u kombinaciji sa strujnim udarom ili bilo kojom sekundarnom nezgodom može biti opasan, no nije životno ugrožavajući. Kontakt s naponom nižim od granične vrijednosti od 50 V izmjenične struje ili 120 V istosmjerne struje može izazvati ozljedu. Svaki dodirni napon koji dovodi do prolaska struje čija jačina prelazi 10 mA se smatra opasnim. Ukoliko radni uvjeti nisu otežani, kao npr. rizik da čovjek dođe u kontakt s uređajima pod naponom, neopasni napon koji može proteći kroz ljudsko tijelo smije biti do 50 V. U otežanim uvjetima rada možda će biti potrebno ograničiti napon na manje od 24 V izmjenične ili 60 V istosmjerne struje. Protok električne struje kroz ljudsko tijelo napona 50 V može rezultirati smrtnim ishodom, što je statistički pokazano. Ipak, većina nezgoda i nesreća u radu s električnom strujom se dogodi pri naponu od 230 V izmjenične struje ili 400 V izmjenične struje, između dva vanjska vodiča, što odgovara niskonaponskim instalacijama široke potrošnje (npr. kućanski uređaji). Niski napon je izmjenični napon vrijednosti između 0 i 1000 V, dok su vrijednosti izmjeničnog napona iznad 1000 V definirane kao visoki napon. Svi električni uređaji i alati namijenjeni su za korištenje unutar određenog napona.

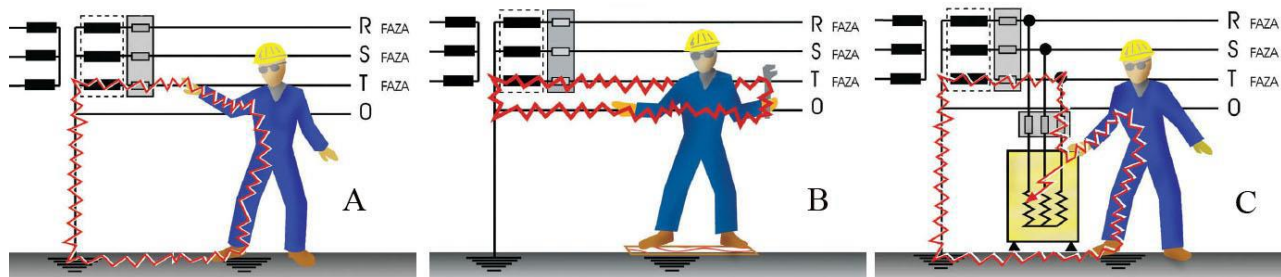
Opasnosti uzrokovane električnom strujom dijelimo u dvije grupe, primarne i sekundarne. Primarne opasnosti rezultiraju ozljedama izravno uzrokovanim djelovanjem električne struje tj. protokom struje kroz ljudsko tijelo. Mogu dovesti do strujnog udara sa štetnim učincima na unutarnje organe. Težina i kompleksnost ozljeda nastalih radi primarnih opasnosti ovise o jakosti, frekvenciji i putu prolaska struje, duljini trajanja kontakta unesrećenika i djelovanja električne struje te uvjetima u kojima je ozljeda nastala, kao npr. temperatura zraka, koncentracija vlage u zraku i sl.

Ako uspoređujemo isti tip primarne ozljede i različit tip električne struje, u istovjetnim okolnostima izmjenična struja je opasnija po ljudski organizam od istosmjerne. S obzirom da je ljudsko tijelo osjetljivo na jačinu struje, slabija struja će dovesti do funkcionalnih poremećaja, dok jaka struja uzrokuje opekline, a može doći do stvaranja električnog luka. Električni luk je pražnjenje električne energije u smjesi ionizirajućeg zraka, plinova i para vodljivih materijala. Može biti praćen visokim temperaturama, jakom svjetlošću, tlakom, zvukom, parama metala i krhotinama. Zasljepljujući bljesak električnog luka dovodi do privremenog ili trajnog oštećenje oka, toplinsko zračenje, vrući zrak i pare metala uzrokuju teške opekline, dok udisanje produkata ozbiljno oštećuje dišni sustav s opeklinama pluća i grla, i potencijalno dovodi do otrovanja. Električni luk je najčešće uzrokovan kratkim spojem, radi nepravilnog rada ili nepravilnim uključivanjem i isključivanjem uređaja. Opseg ozljeda ovisi o vremenu izloženosti, jakosti luka, udaljenosti, barijeri i dostupnosti osobne zaštitne opreme.

Sekundarne opasnosti nastaju kada električna struja izazva druge opasnosti, kao što su izvori vatre i/ili eksplozije. Da bi došlo do požara i/ili eksplozije tri faktora su nužna: zapaljivi metal, izvor zapaljenja i oksidator (zrak tj. kisik). Električni luk, iskre i ugrijani dijelovi instalacija predstavljaju izvore zapaljenja.

Vrste opasnosti od ozljeđivanja električnom strujom:

- približavanje postrojenju pod visokim naponom,
- izravan dodir električnih instalacija pod naponom,
- neizravan dodir (previsok napon dodira radi kvara na izolaciji uređaja niskog napona),
- previsoki napon dodira i napon uvjetovan prolaskom struje kroz uzemljivače,
- iznošenje potencijala,
- inducirani naponi,
- preskok visokog napona na postrojenjima niskog napona,
- preopterećenja i kratki spojevi,
- električni luk,
- zaostali naboj,
- statički i atmosferski elektricitet i
- utjecaj električnog polja i magnetskog polja na čovjeka.



**Slika 2.** Prikaz doticaja čovjeka sa strujnim krugom. A) Dodir čovjeka sa strujnim krugom preko zemlje radi neposrednog dodira faznog vodiča, B) dodir čovjeka sa strujnim krugom radi dodira dva vodiča pod naponom, C) dodir čovjeka sa strujnim krugom radi oštećene izolacije na električnom uređaju.

### **3. Utjecaj električne struje na ljudski organizam**

Udar električne struje nastaje uključivanjem tijela u strujni krug. Razlikujemo istosmjernu i izmjeničnu struju, čije je djelovanje na ljudski organizam različito. Istosmjerna struja izaziva snažno, ali kratkotrajno stezanje (kontrakciju) mišića, koje unesrećenu osobu obično odbaci od izvora struje. Na taj način istosmjerna struja može prouzročiti pad, udarac u tlo ili okolne predmete i posljedično različite ozljede, uključujući ozljede kralježnice. Izmjenična struja također dovodi do snažnih, ali dugotrajnih kontrakcija mišića koji pritom ostaju zgrčeni. Na taj način unesrećena osoba se ne može osloboditi izvora struje te duže vrijeme ostaje u strujnom krugu.

Strujni udar je stanje koje nastupa prilikom prolaska struje kroz živo biće iz bilo kojeg izvora napona koji generira struju dovoljne jakosti, kako bi prošla kroz mišiće ili kožu. Najveći broj nesreća prouzročenih udarom električne struje vezan je uz izmjeničnu struju napona 220 V (struja gradske mreže), dok je manji broj vezan uz istosmjerne struje visokog napona (munja, dalekovod). Najmanja struja koju čovjek može osjetiti se procjenjuje na oko 1 mA. Za čovjeka je opasna električna struja jača od 20 mA, pri čemu se u dodiru električne struje i čovjekovog tijela javlja toplinsko (tijelo se zagrijava, nastaju teške vanjske i unutarnje opekline), mehaničko (na mjestima ulaska i izlaska struje dolazi do uništenja tkiva, grčenja mišića što dovodi do kidanja krvnih žila, živaca i lomove kostiju), kemijsko (elektrolitički se razdvaja krvna plazma), biološko djelovanje (stezanje mišićnih skupina, zastoj rada pluća, treperenje srčanih klijetki i nepovoljni utjecaj na živčani sustav). Električna struja najviše djeluje na ulazu i izlazu struje iz tijela gdje dolazi do najvećih opekotina i razaranja tkiva, dok je najopasnije po život čovjeka ako se strujni krug zatvori kroz srce. Poznavanje vrsta strujnog udara je važno zbog razlika u sigurnosti pristupa unesrećenoj osobi. Postupak zbrinjavanja veoma je sličan.

#### **3.1 Prolazak električne struje kroz ljudsko tijelo**

Ljudsko tijelu najprije mora postati dio strujnog kruga kako bi električna struja potekla. To se događa u slučaju kada čovjek dođe u kontakt s dva vodiča nekog strujnog kruga između kojih vlada napon (izravni / direktni dodir), s jednim vodičem koji se nalazi pod naponom u odnosu na zemlju (izravni / direktni dodir), s metalnim dijelom (kućištem) koji je u normalnom pogonu izoliran od napona, ali je došao pod napon uslijed kvara na

izolaciji (neizravni / indirektni dodir), s uzemljivačem elektroenergetskog postrojenja koji za vrijeme prolaska struje kvara kroz njega poprima potencijal prema zemlji (napon dodira), s dvije točke na površini zemlje između kojih vlada razlika potencijala uslijed prolaska struje kvara kroz uzemljivač i zemlju (napon koraka), te ako se čovjek nađe u blizini visokonaponskog elektroenergetskog postrojenja u kojem se dogodio električni proboj zraka i strujni krug se preko čovjeka zatvara u zemlju.

Tada, napon koji vlada između bilo kojih dviju točaka na tijelu, pokrenut će kroz tijelo električnu struju. Jakost struje određujemo prema Ohmovom zakonu. Jakost struje ovisit će o veličini napona i impedancije ljudskog tijela:

$$I_m = U_d \times R_t$$

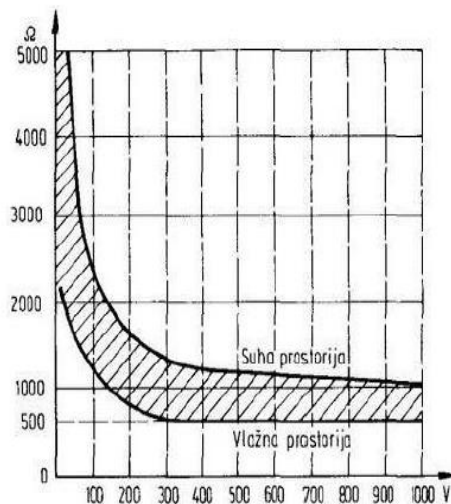
$I_m$  – jakost struje (A),

$U_d$  - napon dodira (V),

$R_t$  - otpor tijela ( $\Omega$ ).

Za djelovanje struje na čovjeka važan je put struje kroz ljudsko tijelo. Najopasniji put je kroz srce, a do njega dolazi kada struja teče putem ruka – ruka i ruka - noga. 90% smrtnih slučajeva nastaje pri dodiru uređaja pod naponom jednom rukom, dok je druga ruka ili noga dobro uzemljena. 10% smrtnih slučajeva nastaje pri dodiru dvaju vodiča.

Da bi kontrirali moguće izlaganje čovjeka djelovanju električne struje nužno je odrediti napon koji uzrokuje protjecanje dopuštene granične struje. Stoga je važno poznavati impedanciju ljudskog tijela, koju čine radni i kapacitivni dio otpora. Dok se kapacitivni dio otpora uglavnom zanemaruje jer je utjecaj neznačajan, radni otpor se sastoji od unutarnjeg otpora i otpora kože na mjestu ulaza i izlaza električne struje iz tijela čovjeka. Granica unutarnjeg otpora ljudskog tijela se kreće između 500-800  $\Omega$  i ovisi o masi tijela, dok površinski sloj kože varira u širokim granicama od 0 do 20000  $\Omega$ . Radni otpor ljudskog tijela ovisi o nizu čimbenika: čistoći, vlažnosti, debljini, temperaturi kože, pritisku dodira, općem zdravstvenom stanju, trajanju, visini napona, frekvencije i vrsti struje.



**Slika 3.** Otpor tijela u ovisnosti o naponu dodira. Izvor:

[https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_sigurnost\\_1/SUPEE\\_POG\\_02.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_sigurnost_1/SUPEE_POG_02.pdf)

Temeljem istraživanja i sustavnih analiza ozljeda i smrtnih slučajeva dobiveni su podatci o djelovanju jakosti struje na organizam (Tablica 1).

**Tablica 1.** Pregled fiziološkog djelovanja izmjeničnih struja različite jakosti na ljudski organizam.

Jakost struje (mA)	Posljedica na organizam
0.6 – 1.5	početak osjeta, lagano podrhtavanje prstiju
2 – 3	Jako podrhtavanje prstiju
5 – 10	grčevi šaka
12 – 15	ruke se teško odvajaju od elektroda, snažni bolovi u prstima i rukama
20 – 25	paraliza ruku, veoma jaki bolovi, otežano disanje
50 – 80	moguća paraliza disanja, početak treperenja srčanih klijetki (40mA pri 3 sekundi ili 50 mA pri 1 sekundi)
80 – 100	paraliza rada srca, paraliza disanja, moguće treperenje srčanih klijetki pri 100 mA i 0.5 sekundi
≥ 3000	paraliza disanja i rada srca pri djelovanju od 0.1 sekundu, razaranje tkiva toplinskim djelovanjem

### 3.2. Djelovanje električne struje na ljudsko tijelo

Ozljede od električne struje mogu biti posljedica dodira električnih žica u kućanstvu, oborenih električnih vodova, segmenta koji provode elektricitet iz električne žice pod naponom. Težina ozljede, koja može varirati od blage opekline do smrti unesrećenika, ovisi o vrsti i jačini struje, tjelesnom otporu na mjestu ulaza, putu prolaza struje kroz tijelo i trajanju kontakta sa strujom. Kao što smo prethodno pokazali, istosmjerna struja je manje opasna od izmjenične. Učinci izmjenične struje na tijelo uvelike ovise o brzini kojom se struja izmjenjuje (frekvencija), izmjerenoj u ciklusima na sekundu (Hz). Struja niske frekvencije od 50 do 60 Hz, koja se obično rabi u SAD-u, opasnija je od visokofrekventne struje i tri do pet puta opasnija od istosmjerne struje istog napona i jačine. Istosmjerna struja može izazvati jake mišićne kontrakcije koje često žrtvu odbace daleko od izvora struje. Izmjenična struja od 60 Hz uzrokuje ostanak mišića u zauzetom položaju što često sprječava žrtvu da se oslobodi kontakta s izvorom struje. Posljedica može biti produljenje kontakta što uzrokuje teške opekline. Općenito, što su napetost i jakost veći, to je veće oštećenje jednom i drugom vrstom struje. Tijelo može osjetiti istosmjernu struju koja ulazi u šaku od oko 5 do 10 mA; ono može osjetiti običnu kućansku izmjeničnu struju od 60 Hz jakosti oko 1 do 10 mA. Najjača struja koja uzrokuje stezanje mišića ruke, ali dopušta da se šaku odvoji od električnog izvora naziva se struja koja otpušta. Ta vrijednost iznosi oko 75 mA za istosmjernu struju, a za izmjeničnu struju oko 2 do 5 mA za djecu, 5 do 7 mA za žene, te 7 do 9 mA za muškarce, ovisno o mišićnoj masi ruke dotične osobe.

Pri slabim strujama (60 do 100 mA) niskog napona (110 do 220 V), izmjenična struja od 60 Hz koja prolazi kroz prsni koš u sekundi može uzrokovati životno ugrožavajuće nepravilne srčane ritmove (aritmije). Za isti učinak istosmjernoj struji treba 300 do 500 mA. Ako struja prolazi izravno u srce kao npr. preko srčanog elektrostimulatora, struja slabija od 1 mA može izazvati srčane aritmije.

Otpor je sposobnost zaustavljanja ili usporavanja toka električne struje. Većina otpora tijela usredotočena je u koži i ovisi neposredno o stanju kože. Prosječni otpor suhe, zdrave kože je 40 puta veći od otpora tanke, vlažne kože. Kada je koža probijena ili ogrebena ili kada se struja primijeni na vlažne sluznice kao što su usta, rektum ili rodnicica, otpor je za polovicu manji od otpora vlažne, nedirnutе kože. Otpor debelog, otvrdnutog dlana ili tabana može biti 100 puta veći nego otpor tanjih područja kože. Kako električna struja prolazi kroz kožu, mnogo energije se može osloboditi na površini, jer

tamo nailazi na otpor. Ako je otpor velik, mogu se pojaviti opekline različitog stupnja na prostranoj površini na mjestima ulaska i izlaska s pougljenjenim tkivom između njih. Ovisno o otporu potkožnog tkiva, mišića i tkiva unutarnjih organa, mogu se verificirati opekline različitih stupnjeva imenovanih vrsta tkiva.

Put kojim struja prolazi kroz tijelo može biti presudan u određivanju proširenosti ozljede. Najčešće ulazno mjesto električne struje je šaka, a zatim glava. Najčešće izlazno mjesto je stopalo. Zbog toga što struja koja putuje od ruke do ruke ili od ruke u nogu može proći kroz srce, opasnija je nego struja koja prolazi između noge i tla. Struja koja prolazi kroz glavu može izazvati konvulzije, krvarenje u mozgu, onemogućavanje disanja, psihološke promjene (problemi kratkotrajnog sjećanja, promjene osobnosti, agresivnost, razdraženost i poremećaj sna) te nepravilni rad srca. Oštećenje očiju može dovesti do zamućenja leće (katarakte).

Trajanje izloženosti je još jedan važan faktor. Što je vremenski duža izloženost, to je oštećeno više tkiva. Unesrećenik koji se "prilijepi" za izvor struje može zadobiti teške opekline. S druge strane, unesrećenik pogođen munjom rijetko ima opekline, jer se to dogodi tako brzo da struja obično naglo poteče čitavim tijelom a da ne uzrokuje prekomjerno unutarnje oštećenje tkiva. Međutim, udar munje može izazvati kratki spoj i paralizu srca i pluća te može oštetiti mozak.

### **3.3. Vrsta ozljeda od električne struje**

Simptomi ozljeda ovise o složenim međudjelovanjima svih značajki električne struje. Šok od električne struje može uplašiti unesrećenika uzrokujući pad ili snažna mišićna stezanja. Oboje navedeno može rezultirati iščašenjima, frakturama i tupim ozljedama. Unesrećenik može izgubiti svijest, prestati disati, srce može prestati raditi, dok se na koži mogu uočiti oštro ocrtane električne opekline, koje se potencijalno mogu se širiti u potkožna tkiva. Struja visokog napona može uništiti tkivo između mjesta ulaza i izlaza što dovodi do opsežnih opekline tkiva koje se nađe na putu. Radi toga dolazi do gubitka velike količine tekućine i elektrolita, što ponekad može rezultirati opasno niskim krvnim tlakom, kao i pri drugim teškim opeklinama. Oštećena mišićna vlakna otpuštaju mioglobin, koji potencijalno može oštetiti i dovesti do zatajenja sustava za eliminaciju štetnih tvari, prvenstveno bubrega.

Unesrećeniku koji u dodir s električnom strujom dođe kada je koža ili okolina vlažna (npr. kada sušilo za kosu padne u kadu za kupanje ili kada unesrećenik zakorači u vodu koja



je u dodiru s električnim vodom pod naponom), otpor kože se može dramatično sniziti i na taj način neće doći do opekline, no može doći do zastoja srca i posljedične smrti.

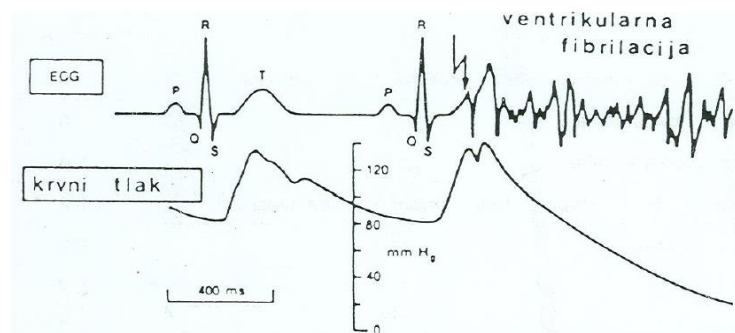
Udar munje rijetko uzrokuje ulazne i izlazne opekline, kao i oštećenje mišića ili pojavu mioglobina u mokraći. Pri udaru munje najprije dolazi do poremećaja svijesti ili prolazna zbunjenost koja obično nestaje tijekom nekoliko sati ili dana. Najčešći uzroci smrti pri udaru munje su srčani i dišni zastoj.

Ukoliko je unesrećenik koji zadobije ozljedu od električne struje malo dijete, najčešća ozljeda su opekline usta i/ili usne šupljine koje posljedično dovode do deformacija lica i problema sa zubima, čeljusti i licem. Dodatnu opasnost predstavlja mogućnost nastanka teškog arterijskog krvarenja iz usne šupljine, obično 7 do 10 dana nakon ozljede.

Razlikujemo dvije vrste ozljeda čovjeka uzrokovanih električnom strujom:

- električni udar – ozljeđuje cijeli organizam; ne ostavlja vanjske vidljive znakove,
- električne traume – izazivaju vanjske ozljede (opekline, metalizacija kože).

Električni / strujni udar je najopasniji oblik ozljede čovjeka električnom strujom, a nastaje kada električna struja prolazi kroz prsni koš i zahvaća srce, a najčešće dovodi do smrti. Fiziološke reakcije organizma pri električnom udaru su oštećenje živčanog sustava (nadražaj živčanog sustava manifestira se grčevima te lakšim poremećajima svijesti) i krvotoka (na krvnim žilama nastaju grčevi koji izazivaju naglo povećanje krvnog tlaka). Uzroci smrti pri električnom udaru su paraliza disanja (manjak kisika u krvi zbog grčenja pluća), prestanak rada srca tj. fibrilacija ili „treperenje“ srca (srce prestaje ritmički raditi kao jedna cjelina, nastupaju odijeljena nenadzirana titranja mnogobrojnih vlakana srčanog mišića, što dovodi do prestanka njegova rada i posljedično smrti koja nastupa nakon nekoliko minuta) te istovremeni prestanak disanja i rada srca (Slika 4).



Promjena rada srca i krvnog tlaka kod fibrilacije srca

**Slika 4.** Prikaz promjene rada srca i krvnog tlaka kod fibrilacije atrijske.

U električne traume ubrajamo opekline, električne znake ili biljege, metalizaciju kože te ozljede pri padu s visine. Električne opekline nastaju kao rezultat toplinskog djelovanja električne struje i djelovanja električnog luka. Nažalost, posljedice su trajne, a pri zahvaćanju većeg dijela kože i/ili unutarnjih organa, može nastupiti smrt unesrećenika. Električni znaci ili strujni biljezi nastaju kao rezultat kemijskog i mehaničkog djelovanja električne struje, pri kontaktu tijela s vodljivim dijelovima strujnog kruga, a verificiraju se na mjestu ulaza i izlaza struje iz tijela. Mjesto električnog biljega je otečeno, nalazi se ožiljak boje. Ne uzrokuju bolesno stanje i ne ostavljaju posljedice. Elektrometalizacija kože nastaje kao rezultat kemijskog i mehaničkog djelovanja električne struje. Koža je prekrivena česticama metala, a zamjetna su opečena kao i nekrotična područja (područja odumrle kože).

Kao teža posljedica električnih trauma može doći do šoka (teška smetnja krvotoka i živčanog sustava, a posljedice mogu nastati i više sati nakon ozljede iako je osoba pri svijesti i izgleda zadovoljavajuće), krvarenja (kao posljedica unutarnjih ozljeda) te uremija (unutarnje trovanje raspadnutim sastojcima uslijed oštećenja bubrega).

## **4. Ozljeđe od električne struje**

Prema vrsti kontakta unesrećenika s električnom strujom, ozljeđe od električne struje dijelimo na udar struje gradske mreže, udar munje te udar struje visokog napona.

### **4.1. Udar struje gradske mreže**

Kao što smo prethodno pokazali i raspravili, udar električne struje koju koristimo u kućanstvu ili na radnom mjestu najčešće nastaje zbog nepažnje, neznanja ili kao posljedica neispravnih električnih uređaja odnosno oštećenih priključaka. Voda je vrlo dobar vodič struje te predstavlja dodatnu opasnost, pa će ako vlažne ruke ili stajanje na vlažnom materijalu prilikom rukovanja električnim uređajima znatno povećati mogućnost strujnog udara.

Udar struje gradske mreže kod unesrećene osobe može prouzročiti teške ozljeđe, no može dovesti i do različitih drugih poremećaja u organizmu pa čak i do smrti. Na mjestu ulaza struje u tijelo te na mjestu njenog izlaza nastaju ozljeđe slične teškim opeklinama. Na tim mjestima dolazi do odumiranja stanica s velikim gubicima kože, potkožnog i mišićnog tkiva. Jake mišićne kontrakcije prouzročene strujom mogu rezultirati ozljedom mišića ili čak lomom kosti. Djelovanjem na središnji živčani sustav, udar struje može dovesti do kratkotrajnog gubitka svijesti te oduzetosti ili konvulzija različito dugog trajanja. Strujni udar također može dovesti do poremećaja srčanog ritma s posljedičnim prestankom rada srca i gubitkom ostalih vitalnih funkcija.

### **4.2. Udar munje**

Munja je prirodno pražnjenje električne energije iz atmosfere, odnosno udar istosmjernje struje praćen intenzivnim svjetlom i toplinom. Iako se radi o struji velike snage, zbog kratkoće njenog djelovanja ljudi često prežive udar munje. Često se umjesto o udaru munje govori o udaru groma. To je pogrešno, budući da je grom zapravo samo zvučni fenomen koji prati munju. Udar munje može biti izravan i neizravan. Do izravnog udara obično dolazi kada unesrećena osoba nosi neki metalni predmet na otvorenom prostoru za vrijeme grmljavine pa taj predmet privuče struju. Neizravni udar najčešće nastaje kada struja prolazi kroz drvo ili tlo te se dio struje provede kroz unesrećenu osobu u blizini.

U rijetkim slučajevima unesrećena osoba preživi izravni udar munje. Pri takvom udaru, njena odjeća i obuća obično se zapale i raspadnu, a struja koja kroz nju prolazi dovede do poremećaja više organskih sustava te osoba umire. U većine preživjelih unesrećenih osoba udar munje je neizravan, ali također može prouzročiti snažan protok struje kroz tijelo. Posljedično nastaju višestruke ozljede i poremećaji različitih organskih sustava.

Zbog zagrijavanja metalnih predmeta na tijelu (nakit, kopče i sl.) te naglog isparavanja znoja i kapljica kiše prilikom udara, na tijelu se mogu naći teške opekline, a zbog samog prolaza struje kroz tijelo nalaze se brojne površinske opekline različitih oblika (često imaju izgled paprati). Uslijed odbacivanja tijela udarom munje moguće su različite ozljede poput prijeloma kostiju, ozljeda glave, ozljeda kralježnice i tako dalje.

Djelovanjem udara munje na središnji živčani sustav može doći do pojave konvulzija, poremećaja svijesti, gubitka pamćenja te različitih neuobičajenih oblika ponašanja. Poremećajem centra za disanje udar munje može dovesti do zastoja disanja, dok poremećajem srčanog ritma može dovesti do prestanka rada srca. U oba slučaja konačno dolazi do gubitka vitalnih funkcija.

### **4.3. Udar struje visokog napona**

Doticaj s visokonaponskom strujom kakva prolazi dalekovodima obično je trenutno smrtonosan. Kada se unesrećena osoba nađe u blizini visokonaponskog provodnika, nastaje električni luk u kojem struja može preskočiti do 20 metara. Pri padu visokonaponskog provodnika na vlažnu zemlju unesrećena osoba može stradati i kada je od njega udaljena nekoliko metara.

Učinci udara struje visokog napona slični su učincima udara munje. Ukoliko preživi, unesrećena osoba će imati teške opekline. Česte su i različite vrste ozljeda zadobivenih pri padu. Unesrećena osoba nerijetko umire zbog zastoja disanja ili rada srca, jer joj se zbog opasnosti ne može dovoljno brzo pristupiti kako bi se započeo postupak oživljavanja.

### **4.4. Zbrinjavanje unesrećenika s ozljedama od električne struje**

Prva pomoć ozljeda od električne struje se sastoji od odvajanja unesrećenika od izvora struje, uspostavljanja srčanog rada i disanja postupkom oživljavanja ukoliko je potrebno te liječenja opekline i srodnih ozljeda.

Prije početka zbrinjavanja potrebno je dobro promotriti unesrećenu osobu, bez dodirivanja. Ukoliko je još u doticaju s izvorom električne struje i za spasitelja postoji opasnost od strujnog udara. U tom slučaju, prije pristupa unesrećenoj osobi, potrebno je isključiti ga iz strujnog kruga. Najbolje je to učiniti isključivanjem glavne sklopke ili osigurača na razvodnoj kutiji. Ako se to ne može izvesti, potrebno je pokušati isključiti uređaj putem kojeg je unesrećeni u strujnom krugu, izvlačenjem utikača iz utičnice. Ukoliko su izložene žice potencijalno visoke voltaže, nitko ne smije dotaknuti unesrećenika sve dok se struja ne isključi. Mnogi dobronamjerni spasitelji su se ozlijedili električnom strujom kada su pokušali osloboditi unesrećenika jer je teško razlikovati žice pod visokim naponom i niskom voltažom, posebice vanjske. Strujni krug se također može prekinuti odmicanjem izvora struje ili unesrećenog. Pritom je potrebno stati na suhi izolacijski materijal (drvena kutija, plastični otirač, knjiga i sl.) te predmetom napravljenim od izolacijskog materijala (drveni ili plastični štap, metla i sl.) prekinite doticaj unesrećenog s izvorom struje.

Kada se unesrećenika može sa sigurnošću dotaknuti, potrebno je procijeniti svijest, disanje i rad srca, pozvati hitnu medicinsku službu te zbrinuti sve ostale ozljede, ukoliko je moguće. Ako unesrećenik ne diše i nema zamjetljiv puls, treba odmah započeti postupak oživljavanja. Ukoliko unesrećenik diše i pri svijesti je, do dolaska hitne medicinske službe treba ostati s njim, ohrabriti ga i umiriti te pratiti njegovo stanje. U slučaju gubitka vitalnih funkcija potrebno je započeti postupak oživljavanja.

Nakon udara munje unesrećenoj osobi smije se pristupiti odmah. Struja koja je dovela do udara provedena je u zemlju i ne predstavlja daljnju opasnost. Često se unesrećenik udara munje može oživjeti postupkom oživljavanja. Presudno je brzo djelovanje, ali oživljavanje treba pokušati čak i kod unesrećenika koje se čine mrtvima, jer se oni koje se može podražiti da počnu sami disati, gotovo uvijek oporave. Postupak zbrinjavanja identičan je onome nakon udara struje gradske mreže. Ostale nazočne potrebno je upozoriti da do završetka grmljavine potraže zaklon u zatvorenom prostoru jer postoji opasnost ponovnog udara munje.

Pristup unesrećenoj osobi koja je doživjela udar struje visokog napona nije siguran dok se struja ne isključi. Potrebno je najprije obavijestiti nadležne službe i pričekati njihovu potvrdu sigurnosti pristupa unesrećenoj osobi. Postupak zbrinjavanja identičan je onome nakon udara struje gradske mreže.

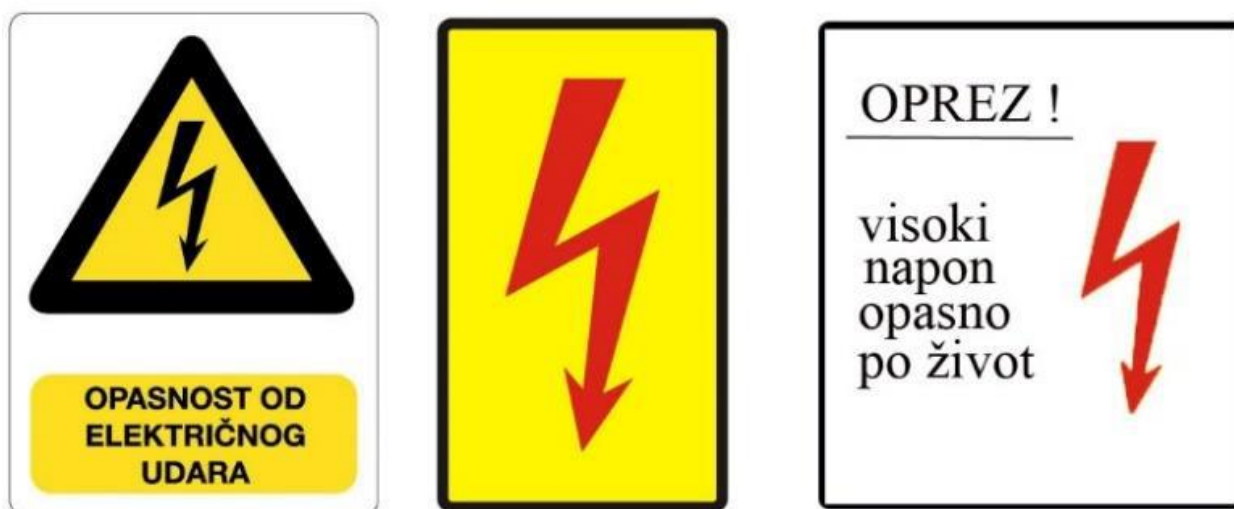
Osooblje hitne medicinske pomoći ili bolničko osoblje treba pregledati unesrećenu osobu s obzirom na moguće prijelome, iščašenja, tupe ozljede ili ozljede kralježnične moždine.

Ako je oštećenje mišića jako, mioglobin može oštetiti bubrege pa se daju velike količine tekućine da se spriječi oštećenje bubrega. Elektrokardiogramom se nadzire srčani rad žrtve. S obzirom da je srce moglo dobiti električni šok, žrtva se prati tijekom 12 do 24 sata. Ako je unesrećena osoba bila bez svijesti ili zadobila ozljedu glave, može se napraviti kompjutorizirana tomografija da se ispita potencijalno oštećenje mozga.

## 5. Mjere sigurnosti i zaštite pri radu s električnom strujom

U današnje vrijeme električna energija dio je gotovo svakog segmenta naših života. Najčešće su ozlijede radi pogrešno izvedenih električnih instalacija, te loše održavanje instalacija i nestručno rukovanje istima. Zato, električne instalacije treba redovito održavati i uvijek moraju biti u ispravnom stanju, a sve osobe koje obavljaju poslove vezane uz električnu struju trebaju biti upoznate sa ispravnim i sigurnim načinom rada i uporabom električnih strojeva i uređaja. Zaštitne mjere od električne struje treba provoditi primjenom odgovarajuće opreme i materijala od kojih se izrađuju električne instalacije kao i primjenom zakonskih propisa vezanih za uporabu električne struje. Osim toga svaki prostor u kojem postoji opasnost od električnog udara mora biti pravilno označen.

Bitni su izobrazba i shvaćanje opasnosti od električne struje. Električne ozljede u kući i na radu mogu se spriječiti provjerom ispravnosti i održavanjem električnih uređaja. Svaki električni uređaj koje tijelo dotiče ili može dotaknuti treba ispravno uzemljiti i uključiti u strujni krug koji sadrži zaštitnu opremu za isključenje iz kruga. Odlična i lako raspoloživa sigurnosna sredstva su prekidači kruga koji prekidaju strujni krug, kada izbija struja jačine od 5 mA. Sprječavanje udara munje ovisi o poduzimanju mjera predostrožnosti.



**Slika 5.** Primjeri označavanja opasnosti od električnog udara korišteni u praktičnom radu.

Prema Međunarodnoj elektrotehničkoj komisiji (eng. *International Electrotechnical Commission*) normama naponi veći od 50 V smatraju se opasnima po život, pa se prema tome provodi odgovarajuća zaštita. Zaštita od direktnog i indirektnog dodira dijelova pod naponom temelj je za sigurnu uporabu trošila u distribucijskoj mreži te mora pružati potpunu zaštitu od električnog udara.

Razina razvijenosti zaštitnih mjera i kvalitete električnih instalacija neke zemlje se procjenjuju pomoću broja nesreća na milijun stanovnika i broja nesreća na 1 TWh potrošene električne energije. Od ukupnog broja nesreća od elektrokcije koje završavaju smrću 80 - 85% su muškarci, dok su 15 - 20% žene. Najveća zastupljenost smrtnih slučajeva je kod ljudi od 25 do 34 godine starosti. Od svih nesreća uzrokovanih električnom strujom 5% su smrtni. Većinu ozljeda od električne struje, njih 85% izazove napon do 1 kV, dok tek 15% izaziva napon iznad 1 kV. No, iako si nesreće na visokom naponu rjeđe, oko četiri puta su opasnije.

Tehničke mjere zaštite od električnog udara propisane su normama i pravilnicima a dužni su ih provoditi svi koji su uključeni u projektiranje, izradu, instaliranje, montažu, održavanje i rukovanje električnim uređajima i postrojenjima kako bi se smanjila opasnost od štetnog djelovanja električne struje na ljudski organizam. Distributivna mreža iz koje se napajaju stambeni i poslovni objekti, a time i sva električna trošila u njima je izmjenična, trofazna, standardnog napona 230/400 V i frekvencije 50 Hz, a samim time je i opasna po život. Razvojem primjene električne energije, uvode se i tehničke zaštitne mjere, kako bi se uklonile opasnosti koje sa sobom nosi upotreba električne energije.

Zaštita čovjeka od ozljeđivanja električnom strujom niskog napona, moguća je na tri načina. Prvi je onemogućavanje dodira čovjeka s bilo kojim dijelom postrojenja ili instalacije pod naponom, provođenjem zaštitnih mjera kojima se želi izbjeći djelovanje napona na čovjeka, bilo da se onemogući direktan dodir vodiča, bilo da se ukloni mogućnost da čovjek svojim tijelom premosti dvije točke različitih potencijala. Nadalje, ograničavanje jakosti struje kroz čovječe tijelo na neopasne vrijednosti, provođenjem zaštitnih mjera kojima se želi ograničiti visinu napona koji može djelovati na čovjeka. Time se ograničavaju struje koje prolaze kroz tijelo na neopasne vrijednosti. Treći način je ograničavanje količine elektriciteta kojemu je izloženo ljudsko tijelo na neopasne vrijednosti, provođenjem zaštitnih mjera s brzim isključenjem strujnih krugova u kvaru kako bi se količina elektriciteta koji djeluje na tijelo ograničila na sigurne vrijednosti.



Prilikom korištenja i rukovanja električnih postrojenja, instalacija i trošila za rad na električni pogon zaštita čovjeka od električnog udara se postiže provedbom tehničkih zaštitnih mjera:

- zaštita od direktnog dodira - zaštita dijelova koji su u normalnom pogonu pod naponom (npr. fazni vodič pod naponom),
- zaštita od indirektnog dodira - zaštita koja djeluje kada dostupni vodljivi dijelovi trošila i elemenata instalacija zbog kvara dođu pod opasni napon dodira (npr. zbog oštećenja izolacije),
- dopunska zaštita - zaštita koja djeluje ako ne djeluje jedna od navedenih osnovnih zaštita, a provodi se efikasnim uređajima za brzo isključivanje.

Potpuna zaštita od djelovanja električne struje u električnim postrojenjima, instalacijama i trošilima postiže se primjenom tehničkih zaštitnih mjera zaštite od direktnog i indirektnog dodira, a dopunska zaštita se koristi u nekim propisanim slučajevima kada je obvezna, te je preporučljiva zbog velike efikasnosti u svim slučajevima iako nije obvezujuća propisima. Tehničke zaštitne mjere se primjenjuju na električnim instalacijama objekata u cjelini, na pojedine prostore unutar objekata te na pojedinu opremu, trošilo ili uređaj.

Pravilnik o sigurnosti i zaštiti pri radu s električnom energijom propisuje pet osnovnih pravila sigurnosti nazvanih „*pet zlatnih pravila*“ za siguran rad u bez naponskom stanju koja čine zaštitne mjere za osiguranje mjesta rada:

1. isključiti i odvojiti od napona,
2. osigurati od slučajnog uključenja,
3. utvrditi bez naponsko stanje,
4. uzemljiti i kratko spojiti,
5. ograditi mjesto rada od dijelova pod naponom.

Za osiguranje mjesta rada prije pregleda mjesta događaja zbog utvrđivanja uzroka strujnog udara treba učiniti sljedeće:

- prije ulaska na mjesto događaja potrebno je utvrditi je li napajanje električnom energijom isključeno zbog sigurnosti ljudi prilikom kretanja i obavljanja pregleda mjesta događaja.

- Pregled priključka objekta na električnu mrežu i provjeru je li isti isključen s napajanja treba izvoditi samo uz pomoć djelatnika Elektre ili električara zaduženog za održavanje električne instalacije u objektu.

- Provjerom je potrebno sigurno utvrditi da je objekt isključen s mrežnog napajanja te osigurati da za vrijeme rada u objektu ne dođe do ponovnog uključanja električne energije u objektu ili u jednom dijelu objekta.

- Ako je potrebno izvršiti neke izmjene na električnoj instalaciji zbog osiguravanja nužnog napajanja na drugim dijelovima objekta (npr. kod objekta s više stambenih jedinica), navedeno trebaju prije pregleda mjesta događaja obaviti djelatnici Elektre.

- Kod pregleda visokonaponskih postrojenja treba raditi uz pomoć djelatnika Elektre ili radnika poduzeća zaduženih za održavanje postrojenja.

- Pregled postrojenja treba obavljati uz pomoć kvalificiranih zaposlenika koji dobro poznaju konkretno postrojenje.

Poštovanje pravila struke u slučaju rada na električnim postrojenjima i instalacijama je korištenje zaštitnih mjera poznatih 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, pod uvjetom da su električne instalacije izvedena i održavane u ispravnom stanju, pridonosi smanjenju nesreća na radu radi električne struje.

## 6. Rasprava

Električni tj. strujni udari, nasreću nisu tako česti uzroci nesreća i smrtnog stradavanja, ali se pojavljuju i kao takvi su predmet istraživanja. Bez električne energije život bi bio nezamisliv, a struja je jedan od najelegantnijih, najpristupačnijih, ekološki prihvatljiv i praktičan oblik energije. U dosadašnjem tekstu prikazano je djelovanje električne energije na ljudsko tijelo te raspon ozljeda koje udar električnom strujom može izazvati. Stoga je, osim prevencije udara električne energije, potrebno staviti naglasak i na prepoznavanje vrste udara električne energije (udar struje gradske mreže, udar munje, udar struje visokog napona). Prepoznavanjem vrste udara električne energije moguće je pravovremeno pristupiti unesrećenoj osobi i započeti primjenjivati postupke prve pomoći kao i pozvati Hitnu medicinsku pomoć, ali i ostale nadležne službe, ukoliko je potrebno kao npr. kod udara struje visokog napona. Do dolaska Hitne medicinske pomoći svakako je potrebno procijeniti svijest, disanje i rad srca, pozvati hitnu medicinsku službu te zbrinuti sve ostale ozljede, ukoliko je moguće. Ako unesrećenik ne diše i nema zamjetljiv puls, treba odmah započeti postupak oživljavanja. Ukoliko unesrećenik diše i pri svijesti je, do dolaska hitne medicinske službe treba ostati s njim, ohrabriti ga i umirite te pratiti njegovo stanje. U slučaju gubitka vitalnih funkcija potrebno je započeti postupak oživljavanja. Pružanje prve pomoći je vještina, a teorijsko i praktično znanje se također stječe u sklopu Sigurnosti i zaštite na radu.

Kao što je u tekstu već navedeno, ozljede električnom energijom najčešće nastaju radi pogrešno izvedenih i loše održavanih električnih instalacija kao i njihovim nestručnim rukovanjem. Radi opasnosti od ozljeda električne instalacije treba redovito održavati, a sve osobe uključene u poslove oko električnu struje trebaju biti educirane o sigurnom načinu rada i rukovanja sa električnim uređajima. Zaštitne mjere provode se primjenom odgovarajuće opreme kao i primjenom zakonskih propisa vezanih za uporabu električne struje. Razvojem primjene električne energije, a na temelju poznavanja u prethodnom tekstu detaljno navedenih karakteristika djelovanja električne struje na ljudsko tijelo, razvili su se i sustavi tehničkih zaštitnih mjera za uklanjanje opasnosti i štetnosti. Tehničke mjere zaštite od električnog udara propisane su normama i pravilnicima kao npr. Pravilnikom o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom (NN 88/2012) Ministarstva rada i mirovinskog sustava kojim su propisani sigurni načini rada kod rizika od električne struje, a potom i Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije (NN 5/2010) Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva koji propisuje

norme i Pravilnike Republike Hrvatske prema kojima se moraju: projektirati, izvoditi, ispitivati, održavati i koristiti električne instalacije kao sastavni dijelovi zgrada, kako bi iste ispunile sve zahtjeve u odnosu na stabilnost, sigurnost korištenja, utjecaja na okoliš i sl. Zaštita od ozljeđivanja električnom strujom niskog napona, moguća je na tri načina:

- onemogućavanjem dodira čovjeka s bilo kojim dijelom postrojenja i/ili instalacije pod naponom, onemogućavanje direktnog dodira elemenata pod naponom te uklanjanje mogućnosti da čovjek dijelovima tijela premosti dvije točke različitih potencijala,
- ograničavanjem jakosti struje kroz ljudsko tijelo na neopasne vrijednosti te ograničenje visine napona; time ograničenje struje koja prolazi kroz tijelo na neopasne vrijednosti,
- ograničavanjem količine elektriciteta kojemu je izloženo ljudsko tijelo na neopasne vrijednosti te zaštite s brzim isključenjem; količina elektriciteta koji djeluje na čovjekovo tijelo ograniči se na sigurne vrijednosti.

## 7. Zaključak

Sigurnost i zaštita na radu je struka koja se aktivno fokusira na sprječavanje ozljeda na radu, bolesti vezanih uz rad, profesionalnih bolesti te zaštita radnog okoliša. Utvrđenih i primijenjenih mjere sigurnosti bi se svi trebali pridržavati te na taj način ne dopustiti ugrožavanje svog ili drugih života. Do nesreće u radu s električnom strujom može doći nesvjesno, zbog različitih kvarova električnih instalacija ili uređaja te ukoliko unesrećena osoba dođe u kontakt sa kućištem uređaja. Mjere sigurnosti i zaštitu je potrebno napraviti na odgovarajući i zadovoljavajući način poštujući aktualne pravilnike mjera zaštite.

Zakonom o zaštiti na radu određeno je da svaki poslodavac bez obzira na djelatnost koju obavlja i svoju veličinu mora izraditi procjenu rizika, osposobiti radnike za rad na siguran način i urediti način vođenja poslova zaštite na radu, a ovisno o svojim specifičnostima, odnosno djelatnosti koju obavlja, dužan je ispuniti i niz drugih obveza kao na primjer: izrada plana evakuacije i spašavanja, ispitivanje električnih instalacija, radnog okoliša i radne opreme, znakovi sigurnosti, liječnički pregledi, prva pomoć te zbrinjavanje ozljeda. Razvijanje zaštitnih mjera i zaštitne opreme dovelo je do sigurnijeg i jednostavnije vođenja i korištenja sustava. Neželjene situacije i nesreće su se prorijedile, što je znatno olakšalo daljnje unapređenje sustava. Sve se više razvija zaštitna oprema, stambeni i radni prostor, kao i svi ostali objekti u kojima je izvedena električna instalacija štice su određenim sustavom zaštite, broj ozljeda radnika na radu svake godine je sve manji. Ovakvi objektivni pokazatelji su dokaz da se adekvatno provode mjere sigurnosti i zaštite, no svakako je potrebno i dalje raditi i razvijati i primjenjivati nove, poboljšane metode sigurnosti i zaštite pri radu s električnom strujom.

## 8. Literatura

1. Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom, Ministarstvo rada i mirovinskog sustava, NN 88/2012
2. Zakon o zaštiti na radu, Hrvatski sabor, NN 71/2014
3. Boris Ožanić, Sigurnost u primjeni električne energije, Skripta VUKA, Karlovac 2016.
4. Djelovanje električne struje na čovjeka, <http://hzzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Opasnost-od-elektri%C4%8Dne-energije.pdf>
5. Vrste (izvori) opasnosti od električne struje, [https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_sigurnost\\_1/SUPEE\\_POG\\_03.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_sigurnost_1/SUPEE_POG_03.pdf)
6. Zakon o radu („Narodne novine“, br. 093/2014, 127/2017)
7. Komen, V.: Sigurnost u primjeni električne energije: 8. tehničke mjere sigurnosti kod radova na elektroenergetskim postrojenjima, dostupno na: [veleri.hr/...sigurnost.../SUPEE-POG-08](http://veleri.hr/...sigurnost.../SUPEE-POG-08).
8. Mileusnić, E.: Mjere sigurnosti i zaštite na radu kod primjene električne energije, ZIRS, Zagreb, 1999.
9. Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom, N.N., br. 88/12.
10. Pravilnik o pregledu i ispitivanju radne opreme, N.N., br. 16/16.
11. Papić N. Nesreće na radu uzrokovane udarom električne struje. Sigurnost 59:(3):245 - 253 (2017)
12. Pravilnik o poslovima s posebnim uvjetima rada („Narodne novine“, br. 005/1984.)
13. Pravilnik o pružanju prve pomoći radnicima na radu („Narodne novine“, br. 056/1983)
14. Pravilnik o osposobljavanju iz zaštite na radu i polaganju stručnog ispita („Narodne novine“, br. 112/2014)