

Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani
Oddelek za tehniško varnost
3. letnik – Univerzitetni študij

Elektrotehnika in varnost Varnost

Nevarnosti električnega toka

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Poškodbe z električnim tokom

Poškodbe z električnim tokom so
lahko zelo hude!



EV V: Nevarnosti električnega toka

2

Delovanje el. toka na človeško telo

Podatki za združene
države Amerike:

- približno 1000 mrtvih letno,
- smrtnost 3 % – 5 %.



EV V: Nevarnosti električnega toka

3

Delovanje el. toka na človeško telo



Glavni simptomi pri električnem udaru so:

- izguba zavesti (kratkotrajna),
- omotičnost, zmedenost,
- ožganine na koži,
- hitro in plitvo dihanje.



EV V: Nevarnosti električnega toka

4

Delovanje el. toka na človeško telo

Najbolj vidne poškodbe so opekline:



- običajne so predvsem opekline kože;
- možne so tudi opekline notranjega tkiva.

EV V: Nevarnosti električnega toka

5

Delovanje el. toka na človeško telo

Človeško telo je prevodno, zato se pri električnem udaru pojavijo podobni učinki kot pri drugih prevodnikih:



- termični učinek,
- mehanski učinek,
- kemični učinek,
- biološki učinek.

EV V: Nevarnosti električnega toka

6

Delovanje el. toka na človeško telo

Različne vrste toka imajo običajno različne posledice:



EV V: Nevarnosti električnega toka

- visoki tokovi zaradi visokih napetosti ali udara strele: **termični učinki**,
- enosmerni tok, ki traja dalj časa: **kemični učinki**,
- izmenični tok, tokovni impulzi: **biološki učinki**.

7

Delovanje el. toka na človeško telo

Med biološke učinke in njihove posledice, ki so največkrat vzrok za smrtni izid lahko štejemo:

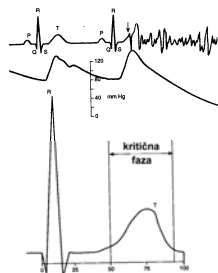


EV V: Nevarnosti električnega toka

- mišične krče,
- motnje zavesti,
- prenehanje dihanja,
- fibrilacija srčnih prekatov,
- zastoj srca.

8

Delovanje el. toka na človeško telo

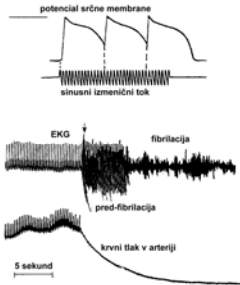


EV V: Nevarnosti električnega toka

Za nastanek fibrilacije srčnih prekatov je dovolj že zelo kratek električni impulz v pravem trenutku.

9

Delovanje el. toka na človeško telo



Fibrilacijo srčnih prekatov lahko povzroči tudi izmenični sinusni tok.

EV V: Nevarnosti električnega toka

10

Delovanje el. toka na človeško telo

Posledice električnega udara so odvisne od:



- velikosti toka,
- časa trajanja,
- vrste toka (izmenični, enosmerni),
- poti toka skozi človeško telo.

EV V: Nevarnosti električnega toka

11

Delovanje el. toka na človeško telo

0,7 .. 1,7 mA: tok na površini kože komaj zaznaven
1,0 .. 3,0 mA: lahno ščemenje na površini kože
1,5 .. 3,5 mA: ščemenje v zapestju
2,0 .. 4,4 mA: vibriranje rok, pritisek v zapestju
2,5 .. 5,5 mA: rahli krči v spodnjem delu rok
3,2 .. 7,2 mA: rahli krči v zgornjem delu roke
4,3 .. 8,9 mA: krč v zgornjem delu roke, dlani postanejo težke, zbadanje po površini kože
7,0 .. 15 mA: splošen krč mišičja rok do ramen, izpusitilev komaj možna
8,5 .. 16,5 mA: popoln krč rok, izpusitilev ni možna, bolečine, zdržimo cca. 20 s.

Vpliv velikosti toka:

Podatki veljajo za izmenični tok 50 Hz na poti roka-roka pri odrasli osebi.

EV V: Nevarnosti električnega toka

12

Delovanje el. toka na človeško telo

6 .. 8 mA: ščemenje v zapestju
10 .. 15 mA: občutek toplote, povečano ščemenje dlani, majhen pritisk v zapestjih
18 .. 25 mA: povečan pritisk in bolečina v zapestjih in dlaneh
25 .. 30 mA: ščemenje v spodnjem delu roke, pritisk v zapestjih, bolečina, povečan občutek toplote
30 .. 35 mA: povečan občutek bolečine zaradi pritiska v zapestju, ščemenje do ramen
30 .. 40 mA: akutna bolečina povzročena z pritiskom v zapestju, bolečine v celih rokah.

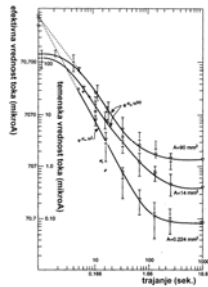
Vpliv velikosti toka:

Podatki veljajo za enosmerni tok na poti roka-roka pri odrasli osebi.

EV V: Nevarnosti električnega toka

13

Delovanje el. toka na človeško telo



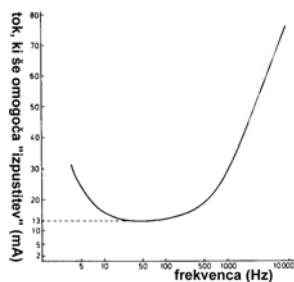
Vpliv časa trajanja toka:

pri daljšem času trajanja toka so posledice večje.

EV V: Nevarnosti električnega toka

14

Delovanje el. toka na človeško telo



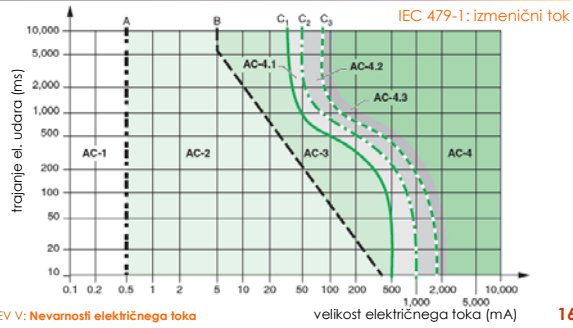
Vpliv frekvence toka:

izmenični tok nižjih in visokih frekvenc je manj nevaren kot izmenični tok industrijskih frekvenc.

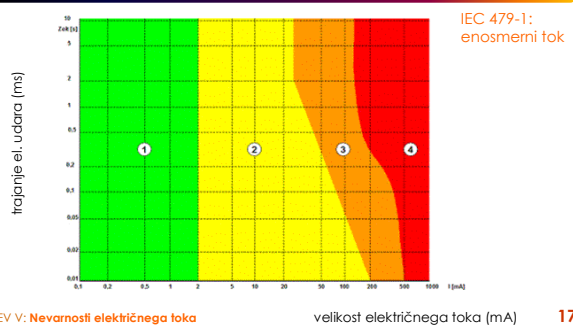
EV V: Nevarnosti električnega toka

15

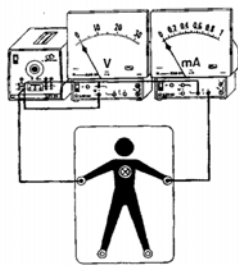
Delovanje el. toka na človeško telo



Delovanje el. toka na človeško telo



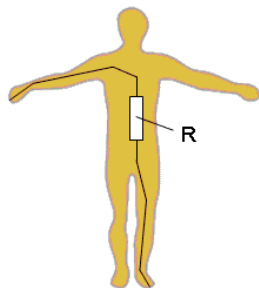
Delovanje el. toka na človeško telo



Smrtno nevaren je
torej lahko že tok:
30 mA.

Kako nevarna pa je
napetost, pa je
odvisno
od upornosti
človeškega
telesa na poti toka.

Upornost človeškega telesa



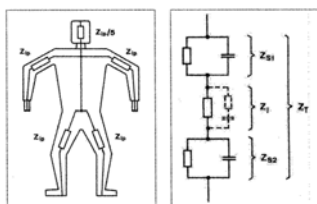
Upornost človeškega telesa je odvisna od več dejavnikov:

- poti toka,
- debeline in stanja kože,
- napetosti dotika,
- zunanjih razmer,
- dražljajev,
- časa.

Upornost človeškega telesa

Upornost telesa sestavljata:

- upornost notranjosti in
- upornost kože.



Upornost človeškega telesa

Upornost notranjosti telesa je razmeroma majhna:

- pot toka roka – roka ali roka - noga:

$$Z_i = 500 \Omega$$

pri drugačni poti toka:
roka - obe nogi: 75 %;
obe roki – obe nogi: 50 %,
obe roki – trup: 25 %.

Upornost človeškega telesa

1000 Ω	200 V	200 mA
	400 V	400 mA
	600 V	600 mA
1000 Ω	200 V	200 mA
	400 V	400 mA
	600 V	600 mA
750 Ω	200 V	267 mA
	400 V	534 mA
	600 V	801 mA
450 Ω	200 V	444 mA
	400 V	888 mA
	600 V	1332 mA
550 Ω	200 V	364 mA
	400 V	728 mA
	600 V	1092 mA

EV V: Nevarnosti električnega toka

22

Upornost človeškega telesa

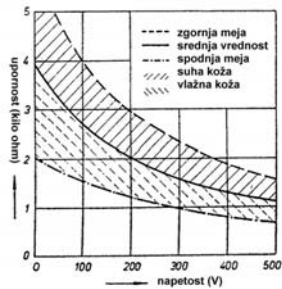
Pot toka	število nesreč	od tega smrtnih	število nesreč	od tega smrtnih	smrtnost
roka-roka	2891	82	77,3 %	48,5 %	2,84 %
roka-noga	349	19	9,2 %	11,2 %	5,44 %
roka-nogi, roki-noga	294	18	7,7 %	10,7 %	6,12 %
roki-nogi	106	20	2,8 %	11,8 %	18,67 %
roka-prsi, prsi-hrbet	108	30	3,0 %	17,8 %	27,78 %
skupaj	3748	169	100 %	100 %	4,51 %

Nemčija, nesreče z nizko napetostjo (130 V do 400 V, 50 Hz, min 300 ms).

EV V: Nevarnosti električnega toka

23

Upornost človeškega telesa

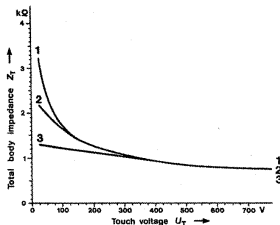


Upornost kože in s tem tudi celotna upornost telesa padata s povečano napetostjo dotika.

EV V: Nevarnosti električnega toka

24

Upornost človeškega telesa



Skupna upornost, ki omejuje tok skozi telo, je sestavljena iz upornosti kože in upornosti telesa.

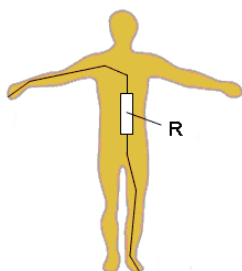
Upornost človeškega telesa

Nekaj vrednosti skupne upornosti telesa pri različnih napetostih dotika:

- 50 V ... $Z_T=2500 \Omega$
- 100 V ... $Z_T=1725 \Omega$
- 150 V ... $Z_T=1400 \Omega$
- 200 V ... $Z_T=1275 \Omega$
- 400 V ... $Z_T=950 \Omega$
- 500 V ... $Z_T=850 \Omega$

poč toka roka-roka, izmenični tok 50 Hz, odrasla oseba, velika površina dotika, 50 % populacije.

Upornost človeškega telesa



Za osnovne izračune si velja zapomniti sledeči vrednosti:

- 230 V ... $Z_T=1300 \Omega$
- 400 V ... $Z_T=1000 \Omega$

Napetost dotika

Napetost dotika je napetost, ki se pojavi na telesu prizadete osebe ob dotiku prevodnih delov naprav, na katerih je normalno ali zaradi okvare prisotna napetost.

Napetost dotika

Kolikšna napetost dotika je že nevarna:

$$U_d = I_n \cdot Z_T = 30 \text{ mA} \cdot 1300 \Omega = 39 \text{ V}$$

Ker zunanji vplivi običajno zmanjšajo tveganje (majhna površina dotika, dodatna zaporedna upornost, neprevodne dostopne površine, ...) je dogovorna dovoljena napetost dotika nekoliko višja.

Napetost dotika

Dogovorjena mejna napetost dotika:

- pri normalnih razmerah:
50 V izmenično; 120 V enosmerno;
- pri neugodnih razmerah:
25 V izmenično; 60 V enosmerno;
- pri zelo neugodnih razmerah:
12 V izmenično; 30 V enosmerno.

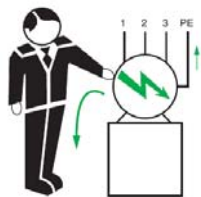
Napetost dotika



Neposreden dotik delov pod napetostjo: dotik delov, ki so normalno pod napetostjo (npr. kontakt v vtičnici).

Napetost dotika je v tem primeru enaka nazivni napetosti tokokroga (običajno 230 V).

Napetost dotika



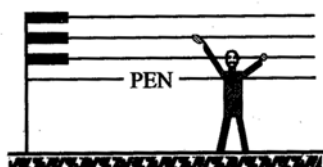
Posreden dotik delov pod napetostjo: dotik delov, ki normalno niso pod napetostjo, so pa lahko pod napetostjo zaradi okvare (npr. kovinsko ohišje pralnega stroja).

Napetost dotika je v tem primeru običajno manjša od nazivne:

c...faktor bližine (0,8);
m...razmerje upornosti PE in L vodnika (1).

$$U_d = c \cdot U_n \cdot \frac{m}{1+m}$$

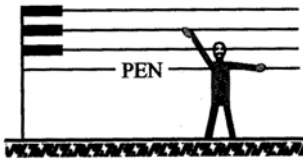
Najpogostejše vrste električnega udara



Neposreden dotik dveh faznih vodnikov:

$$I = \frac{U_d}{Z_T} = \frac{400V}{1000\Omega} = 400mA$$

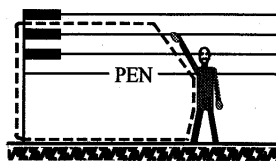
Najpogostejše vrste električnega udara



Neposreden dotik faznega in nevtralnega ali zaščitnega vodnika:

$$I = \frac{U_d}{Z_T} = \frac{230V}{1300\Omega} = 177\text{ mA}$$

Najpogostejše vrste električnega udara



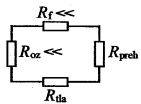
Neposreden dotik faznega vodnika v TN ali TT omrežju:

$$I = \frac{U_d}{Z_T + Z_{\text{st}}'} = \frac{230V}{1300\Omega + 1M\Omega} = 0,23\text{ mA}$$

$$I = \frac{U_d}{Z_T + Z_{\text{st}}'} = \frac{230V}{1300\Omega + 1k\Omega} = 100\text{ mA}$$

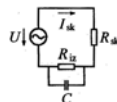
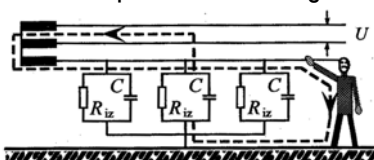
$$I = \frac{U_d}{Z_T + Z_{\text{st}}'} = \frac{230V}{1300\Omega + 200\Omega} = 153\text{ mA}$$

$$I = \frac{U_d}{Z_T + Z_{\text{st}}'} = \frac{230V}{1300\Omega + 0\Omega} = 177\text{ mA}$$



Najpogostejše vrste električnega udara

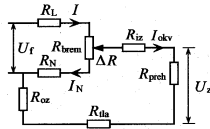
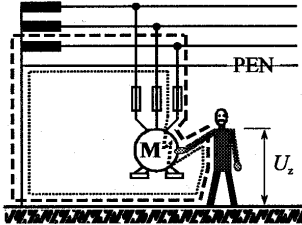
Neposreden dotik faznega vodnika v IT omrežju:



Mejna vrednosti kapacitivnosti pri napetosti 230 V in toku 30 mA (dozemna prevodnost in upornost telesa sta zanemarjeni) je 0,4 μF .

Najpogostejše vrste električnega udara

Posreden dotik okvarjene električne naprave:

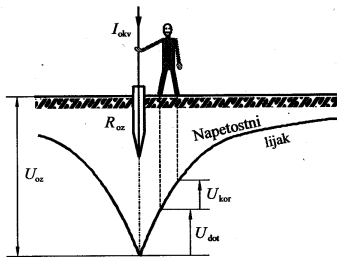


EV V: Nevarnosti električnega toka

37

Najpogostejše vrste električnega udara

Napetost dotika in napetost koraka v bližini ozemljila, ki prevaja električni tok:



EV V: Nevarnosti električnega toka

38

Najpogostejše vrste električnega udara

- Ostale nevarnosti:
- inducirana napetost;
 - približevanje delom pod napetostjo;
 - zaostala napetost.



EV V: Nevarnosti električnega toka

39

Zaščita pred električnim udarom

Osnovni pravili zaščite pred električnim udarom:

- nevarni deli pod napetostjo morajo biti tako zaščiteni, da se jih ne da dotakniti;
- na prevodnih delih, ki se jih lahko dotaknemo, se ne sme pojaviti nevarna napetost dotika.

... in še:

Vprašanja?
