

## Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

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

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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.

ElR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

2

---

---

---

---

---

---

---

---

### Delovanje el. toka na človeško telo

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



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

ElR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

3

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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, izpuslitev komaj možna  
8,5 .. 16,5 mA: popoln krč rok, izpuslitev ni možna, bolečine, zdržimo cca. 20 s.

Vpliv velikosti toka:

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

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

5

---

---

---

---

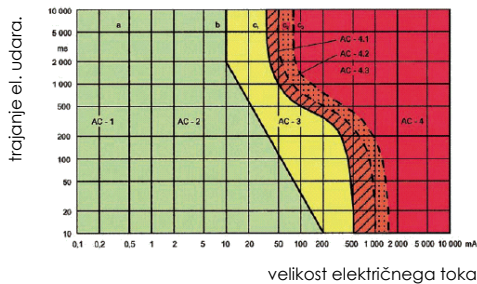
---

---

---

---

## Delovanje el. toka na človeško telo



EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

6

---

---

---

---

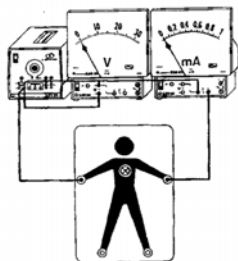
---

---

---

---

## 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.

---

---

---

---

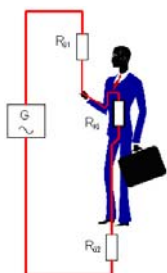
---

---

---

---

## Upornost človeškega telesa



Upornost človeškega  
telesa je odvisna od  
več dejavnikov:

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

---

---

---

---

---

---

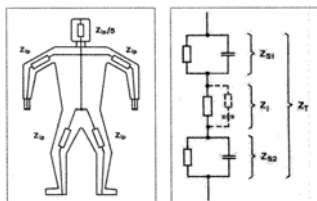
---

---

## 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 %.

---

---

---

---

---

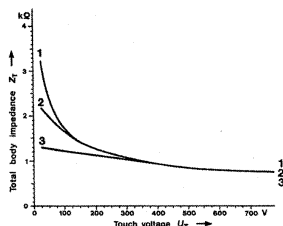
---

---

---

## Upornost človeškega telesa

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



---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 ...  $Z_T = 850 \Omega$

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

---

---

---

---

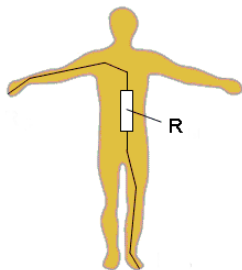
---

---

---

---

## 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:

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

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

---

---

---

---

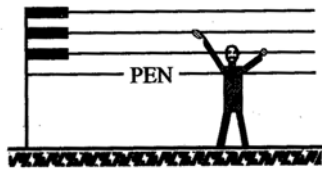
---

---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara



Neposreden dotik dveh faznih vodnikov:

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

---

---

---

---

---

---

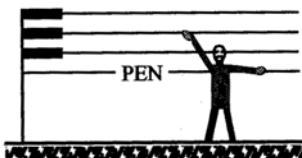
---

---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara



Neposreden dotik faznega in nevtralnega ali zaščitnega vodnika:

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

---

---

---

---

---

---

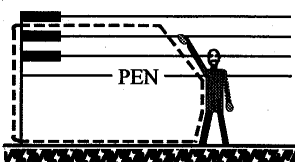
---

---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara



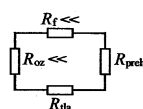
Neposreden dotik faznega vodnika v TN ali TT omrežju:

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

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

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

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




---

---

---

---

---

---

---

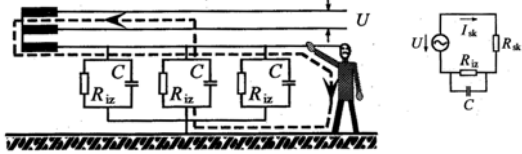
---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara

Neposreden dotik faznega vodnika v IT omrežju:



Mejna vrednosti kapacitivnosti pri napetosti 230 V in toku 30 mA (dozorna prevodnost in upornost telesa sta zanemarljeni) je 0,4  $\mu$ F.

---

---

---

---

---

---

---

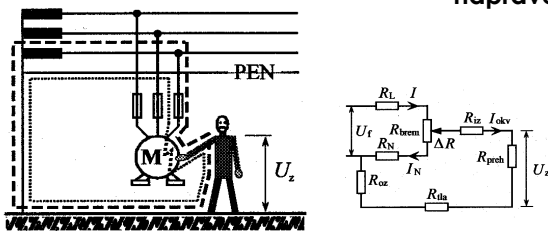
---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara

Posreden dotik okvarjene električne naprave:




---

---

---

---

---

---

---

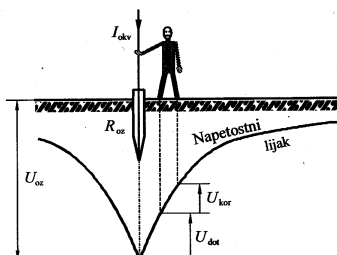
---

---

---

## Najpogostejše vrste električnega udara

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




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Najpogostejše vrste električnega udara

Ostale nevarnosti:

- inducirana napetost;
- približevanje delom pod napetostjo;
- zaostala napetost.



EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

25

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

26

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Tako ločimo:

- zaščito pred neposrednim dotikom (osnovno zaščito);
- zaščito pri posrednem dotiku (zaščita ob okvari);
- dopolnilno zaščito.

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

27

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Vsak del električne inštalacije mora biti zaščiten:

- s primerno kombinacijo zaščite pred neposrednim dotikom in neodvisne zaščite ob posrednem dotiku ali
- z ustrezno zaščito, ki zagotavlja tako zaščito v normalnem obratovanju kot tudi ob okvari.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Zaščita pred neposrednim dotikom (osnovna zaščita):

- z izoliranjem aktivnih delov,
- z okrovi in pregradami,
- z ovirami,
- s postavitvijo zunaj dosega rok.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Zaščita pri posrednem dotiku:

- s samodejnim izklopom,
- z dvojno ali ojačano izolacijo,
- z električno ločitvijo,
- z neprevodnimi prostori,
- z izenačitvijo potenciala.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Istočasna zaščita pred neposrednim in pri posrednem dotiku:

- varnostna mala napetost SELV,
- zaščitna mala napetost PELV,
- omejevanje toka in energije.



---

---

---

---

---

---

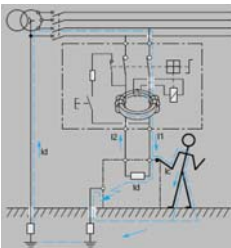
---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Dodatna zaščita:

- zaščitna stikala (RCD),
- dodatna zaščitna izenačitev potencialov.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred električnim udarom

Ločimo:

- **popolno zaščito**, ki ščiti pred hotenim in naključnim (nehotenim) dotikom in
- **nepopolno zaščito**, ki ščiti samo pred naključnim dotikom.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred neposrednim dotikom

### Zaščita z izoliranjem aktivnih delov:

- zaščito zagotavlja osnovna izolacija, ki preprečuje dotik delov pod napetostjo;
  - deli pod napetostjo morajo biti popolnoma prekriti z izolacijo, ki je odstranljiva samo z uničenjem;
- za opremo mora izolacija ustrezati veljavnim standardom za opremo.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred neposrednim dotikom

### Zaščita s pregradami ali okrovi:

- deli pod napetostjo morajo biti za pregradami ali v okrovih s stopnjo zaščite IP XXB ali IP 2X, če so odprtine večje, moramo predvideti druge ustrezne ukrepe;
- dostopne vodoravne zgornje površine pregrad ali okrovov:
  - IP XXD ali IP 4X;
  - pregrade in okrovi morajo biti ustrezno pritrjeni;
  - odstranitev mora biti možna le s ključem ali orodjem po izklopu napajanja;
  - če so zadaj deli, nevarni zaradi električnega naboja, je potrebno namestiti opozorilno oznako.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pred neposrednim dotikom

### Zaščita z ovirami:

- uporablja se izključno v inštalacijah, ki so v upravljanju in pod nadzorom strokovnega in poučenega osebja;
- preprečiti morajo naključno fizično približevanje delom pod napetostjo;
  - preprečiti morajo naključni dotik delov pod napetostjo med upravljanjem aktivne opreme v normalnem obratovanju;
- preprečena mora biti nenamerna odstranitev.

---

---

---

---

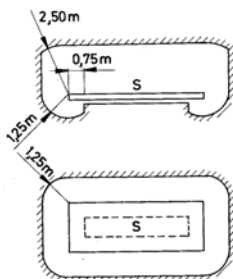
---

---

---

---

## Zaščita pred neposrednim dotikom



### Zaščita s postavitvijo zunaj dosega rok:

- hkrati dosegljivi deli z različnimi potenciali ne smejo biti v območju dosega rok;
- kjer se uporabljajo večji ali daljši prevodni predmeti, je potrebno razdalje ustrezno povečati.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri posrednem dotiku

### Zaščita s samodejnim izklopom:

- zaščita mora v primeru okvare samodejno izklopiti okvarjeno napravo oz. tokokrog v dovolj kratkem času, da uporabniki niso ogroženi;
- izklopni časi so definirani v standardu SIST HD 60364-4-41 v odvisnosti od napetosti dotika in vrste inštalacije (TN ali TT).

---

---

---

---

---

---

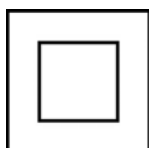
---

---

## Zaščita pri posrednem dotiku

### Zaščita z dvojno ali ojačano izolacijo:

- naprava ima osnovno izolacijo (omogoča delovanje in nudi zaščito pred neposrednim dotikom) in dodatno izolacijo (zaščita pri posrednem dotiku);
- ali je opremljena z ojačano izolacijo, ki zagotavlja obe vrsti zaščite hkrati.



---

---

---

---

---

---

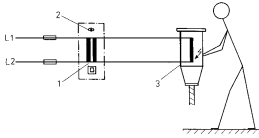
---

---

## Zaščita pri posrednem dotiku

### Zaščita z električno ločitvijo:

- zaščita je omejena na napajanje enega porabnika iz neozemljenega ločilnega vira z enostavno ločitvijo;



- za zagotovitev ustrezne zaščite je predpisanih več dodatnih pogojev.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita pri posrednem dotiku

### Zaščita z neprevodnimi prostori:

- izpostavljeni prevodni deli morajo biti razporejeni tako, da se ni mogoče hkrati dotakniti dveh izpostavljenih prevodnih delov ali enega izpostavljenega prevodnega dela in tujega prevodnega dela;
- v neprevodnem okolju ne sme biti zaščitnega vodnika;
- okolje mora imeti izolirana tla in stene (50 k $\Omega$  do 500V oz. 100 k $\Omega$  nad 500 V);
- zaščitni ukrep mora biti trajen in zagotavljati zaščito tudi v primeru uporabe ročne in premične opreme.

---

---

---

---

---

---

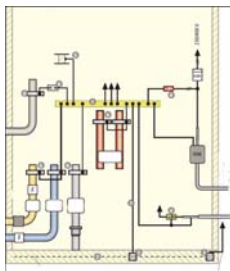
---

---

## Zaščita pri posrednem dotiku

### Zaščita z izenačitvijo potenciala in zaščitna ozemljitev:

- Zaščitna izenačitev potenciala povezuje ozemljitveni vodnik, kovinske cevi napajalnih sistemov (plinovod, vodovod), tuje prevodne dele konstrukcije stavbe, kovinske armature železobetonskih konstrukcij, ...;
- zaščitna ozemljitev povezuje izpostavljene prevodne dele instalacije; hkrati dotakljivi deli morajo biti povezani na isti ozemljitveni sistem; zaščitni vodnik mora biti na voljo v vsakem tokokrogu.



---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Varnostna mala napetost (SELV):

- Napetost v sistemu mora biti pod dovoljeno napetostjo dotika (50 V izmenično, 120 V enosmerno);
- sistem mora biti zaščitno ločen od vseh drugih tokokrogov, ki ne pripadajo SELV;
- med sistemi SELV in PELV mora biti nameščena osnovna izolacija;
- med sistemom SELV in zemljo mora biti nameščena osnovna izolacija;
- izpostavljeni prevodni deli ne smejo biti povezani z izpostavljenimi prevodnimi deli drugih tokokrogov.

---

---

---

---

---

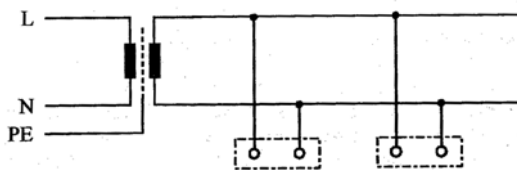
---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Varnostna mala napetost (SELV):



---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Zaščitna mala napetost (PELV):

- Napetost v sistemu mora biti pod dovoljeno napetostjo dotika (50 V izmenično, 120 V enosmerno);
- sistem mora biti zaščitno ločen od vseh drugih tokokrogov, ki ne pripadajo PELV;
- med sistemi PELV in SELV mora biti nameščena osnovna izolacija;
- tokokrogi PELV in izpostavljeni prevodni deli naprav, napajani iz teh tokokrogov, so lahko ozemljeni.

---

---

---

---

---

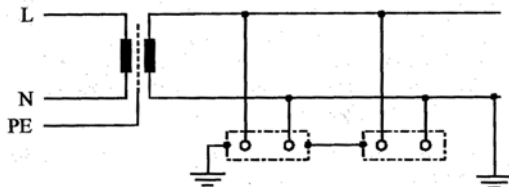
---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Zaščitna mala napetost (PELV):



EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

46

---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Mala napetost (SELV ali PELV):

Uporabljajo se lahko naslednji napajalni viri:

- varnostni ločilni transformator inštalirani v skladu z zahtevami za dvojno oz. ojačano izolacijo;
- napajalni viri, ki zagotavljajo enako stopnjo varnosti (npr. motor-generator z ločenimi navitji) in so inštalirani v skladu z zahtevami za dvojno oz. ojačano izolacijo;
- elektrokemični viri (baterije, akumulatorji) ali drugi viri, ki so neodvisni od drugih tokokrogov;
- elektronske naprave, pri katerih je zagotovljena ustrezna varnost.

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

47

---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

### Mala napetost (SELV ali PELV):

Zaščitno ločevanje do drugih sistemov se lahko izvede z:

- nekovinskim plaščem ali izolirno oblogo okoli vodnikov z osnovno izolacijo;
- ločitev z ozemljenim kovinskim plaščem ali ozemljenim kovinskim zaslonom;
  - fizična ločitev sistemov.

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

48

---

---

---

---

---

---

---

---



## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

Mala napetost (SELV ali PELV):

Vtiči in vtičnice sistemov SELV in PELV morajo ustrezati naslednjim zahtevam:

- onemogočena mora biti uporaba vtičev drugih sistemov;
- onemogočena mora biti uporaba naprav za SELV ali PELV sistem v drugih sistemih;
- vtiči in vtičnice v SELV sistemu ne smejo imeti zaščitnega kontakta.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

Mala napetost (SELV ali PELV):

Izolacija:

- osnovna zaščita (pred neposrednim dotikom) v splošnem ni potrebna v normalnih in suhih okoljskih razmerah do napetosti 25 V (60 V) v SELV in PELV, kjer so izpostavljeni prevodni deli in/ali deli pod napetostjo povezani z glavno ozemljitveno zbiralko;
- če nazivna napetost presega 25 V (60 V) ali če je oprema potopljena v vodi, je potrebno zagotoviti osnovno zaščito ali z izoliranjem ali s pregradami ali okrovi.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Istočasna zaščita pred neposrednim dotikom in pri posrednem dotiku

Omejevanje toka ali energije:

- Enakovreden ukrep mali napetosti je tudi sistem za omejevanje toka in energije;
- tok kratkega stika ne sme preseči 3 mA v izmeničnih sistemih oz. 12 mA v enosmernih sistemih;
- ob okvari sproščena energija ne sme preseči 350 mJ oz. 350 mWs.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dodatna zaščita

### Naprave na diferenčni tok (RCD):

- Kot dodatni zaščitni ukrep v primeru odpovedi zaščite pred neposrednim dotikom in/ali zaščite pri posrednem dotiku se lahko uporabljajo naprave na diferenčni tok z diferenčnim tokom do 30 mA;
- ta zaščitni ukrep ne sme biti edini zaščitni ukrep.



EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

52

---

---

---

---

---

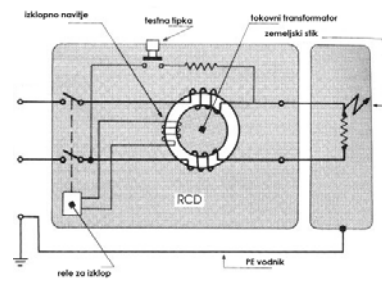
---

---

---

## Dodatna zaščita

### Naprave na diferenčni tok (RCD)



EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

53

---

---

---

---

---

---

---

---

## Dodatna zaščita

### Dodatna zaščitna izenačitev potenciala:

- Dodatna izenačitev potencialov mora povezati hkrati dosegljive izpostavljene prevodne dele nepremične opreme in zunanje prevodne dele vključno z glavno armaturo konstrukcij (če je mogoče). Ta sistem mora biti povezan z zaščitnimi vodniki vse opreme vključno z vtičnicami;
- upornost med hkrati dosegljivimi izpostavljenimi prevodnimi deli in zunanjimi prevodnimi deli mora biti manjša od:

$$R \leq \frac{50V_{izm}}{I_a}; R \leq \frac{120V_{enosm}}{I_a}$$

EIR: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

54

---

---

---

---

---

---

---

---

## Splošno uporabni zaščitni ukrepi

Po SIST HD 60364-4-41:2007 :

- zaščita mora obsegati primerno kombinacijo zaščite pred neposrednim dotikom in neodvisne zaščite pri posrednem dotiku (ali ustrezen ukrep, ki zagotavlja oboje);
- v vsakem delu inštalacije mora biti uporabljen en ali več zaščitnih ukrepov (odvisno od zunanjih vplivov).

Potrebujemo torej zaščitni sistem, ki bo vključeval ustrezno kombinacijo dveh neodvisnih zaščit (osnovno zaščito in zaščito ob okvari).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Splošno uporabni zaščitni ukrepi

Po SIST HD 60364-4-41:2007 se v splošnem lahko uporabljajo naslednji zaščitni ukrepi (sistemi):

- samodejni odklop napajanja;
- dvojna ali ojačana izolacija;
- električna ločitev za napajanje enega porabnika in
- mala napetost (SELV ali PELV).

Vsak od teh ukrepov vključuje vsaj dve neodvisni zaščiti.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

Osnovna zaščita:

- zaščita z izoliranjem aktivnih delov ali
- zaščita s pregradami ali okrovi.

Zaščita ob okvari:

- zaščitna ozemljitev in zaščitna izenačitev potenciala in
- zaščita s samodejnim odklopom.

Dodatna zaščita (če je zahtevana):

- zaščita z napravo na diferenčni tok (RCD).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### Samodejni odklop ob okvari:

- ob stiku z zanemarljivo impedanco med L vodnikom in izpostavljenim prevodnim delom ali PE vodnikom, mora zaščitna naprava izklopiti v ustreznem času.
- Namesto izklopa se lahko predvidi ustrezno hitro znižanje napetosti pod 50 V (120 V).
- Če izklopnega časa ne moremo doseči je treba izvesti dodatno zaščitno izenačitev potencialov.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### Samodejni odklop ob okvari (max t izkl.):

SISTEM	50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		120 V < U <sub>0</sub> ≤ 230 V		230 V < U <sub>0</sub> ≤ 400 V		U <sub>0</sub> > 400 V	
	s		s		s		s	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	Op. 1	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT	0,3	Op. 1	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

Če se v TT-sistemu kot izklopna naprava uporabi ena od nadtokovnih varovalnih naprav in se zaščitna izenačitev potencialov poveže z vsemi izpostavljenimi prevodnimi deli instalacije, lahko uporabimo največji izklopni čas predviden za TN-sistem.  
U<sub>0</sub> je nazivna AC ali DC napetost med linjskim vodnikom in zemljo.  
Opomba 1: Izklop se lahko zahteva iz drugih razlogov kot zaradi zaščite pred električnim udarom.  
Opomba 2: Kjer je izklop izveden s stikalom RCD je treba spoštovati zahteve, ki so navedene pri uporabi RCD.

Za razdelilne tokokroge (napajanje stikalnih blokov) in tokokroge, ki niso navedeni v tabeli so dovoljeni izklopni časi:  
TN – 5s, TT – 1 s.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### Dodatna zaščita:

Dodatna zaščita z RCD stikali z nazivnim tokom ne več kot 30 mA se uporablja:

- za vtičnice za splošno uporabo z nazivnim tokom do 20 A, če jih uporabljajo laiki;
- za končne tokokroge prenosne opreme do 32 A za zunanjo uporabo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### TN sistem inštalacije:

- potreben je zanesljiv in učinkovit spoj PEN ali PE z zemljo; če je ozemljitev zagotovljena izven objekta (v omrežju), mora za spoj poskrbeti upravljavec omrežja;
- nevtralna ali skupna točka ali eden od L vodnikov mora biti ozemljen;
- izpostavljeni prevodni deli morajo biti preko PE vodnika povezani z glavno ozemljitveno sponko ta pa z ozemljitveno točko napajalnega sistema.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### TN sistem inštalacije:

- zaščitne naprave za samodejni izklop in impedanca okvarne zanke morajo biti izbrani tako, da velja:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

- okvarno zanko sestavljajo: vir, L vodnik do mesta okvare, PE vodnik od mesta okvare do vira.
- uporabijo se lahko **nadtokovne zaščitne naprave** in **RCD zaščitne naprave** (razen v TN-C in delno v TN-C-S)

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### TT sistem inštalacije:

- vsi izpostavljeni prevodni deli naprav na eni zaščitni napravi, morajo biti s PE vodniki povezani s skupnim ozemljilom;
- nevtralna ali skupna točka ali eden od L vodnikov mora biti ozemljen;
- uporablja se RCD zaščitna stikala, lahko tudi nadtokovne zaščitne naprave, če je impedanca okvarne zanke dovolj majhna.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### TT sistem inštalacije:

- zaščitne naprave za samodejni izklop in impedanca okvarne zanke morajo biti izbrani tako, da velja:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

- okvarno zanko sestavljajo: vir, L vodnik do mesta okvare, PE vodnik izpostavljenih prevodnih delov, ozemljitveni vodnik, ozemljilo inštalacije in ozemljilo vira.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### TT sistem inštalacije:

- v primeru uporabe RCD zaščitnega stikala mora biti izklopni čas ustrezno kratek in izpolnjen pogoj:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50V$$

- upornost sestavljata vsota upornosti ozemljila in upornosti zaščitnega/ozemljilnega vodnika do izpostavljenih prevodnih delov.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### IT sistem inštalacije:

- vsi deli pod napetostjo morajo biti izolirano oz. povezani preko dovolj velike impendace;
- vsi izpostavljeni prevodni deli naprav na eni zaščitni napravi, morajo biti s PE vodniki povezani s skupnim ozemljilom;
- samodejni izklop ni potreben, če velja:

$$R_A \cdot I_d \leq 50V_{izm}; R_A \cdot I_d \leq 120V_{enosm}$$

- potreba pa je ustrezna zaščita v primeru dveh okvar hkrati.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### IT sistem inštalacije:

Dovoljeno je uporabljati naslednje nadzorne ali zaščitne naprave:

- naprave za nadzor izolacije (IMD);
- naprave za nadzor diferenčnega toka (RCM);
- sisteme za lociranje okvare izolacije;
  - nadtokovne zaščitne naprave;
- zaščitne naprave na diferenčni tok (RCD).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### IT sistem inštalacije:

Če ni predviden izklop ob prvi okvari:

- predvideti je potrebno napravo za nadzor izolacije, ki signalizira prvo okvaro (zvočno ali vidno);
- lahko se uporabi tudi naprava za nadzor diferenčnega toka ali naprava za lokacijo okvare (zvočni in/ali vidni signal)



---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: samodejni odklop napajanja

### IT sistem inštalacije:

V primeru druge okvare je potreben izklop pri naslednjih pogojih:

- če so izpostavljeni prevodni deli ozemljeni s skupnim ozemljilom (izklopni časi kot TN):

$$2 \cdot I_a \cdot Z_{SL-PE} \leq U_{mf}; 2 \cdot I_a \cdot Z'_{SN-PE} \leq U_f$$

- če so izpostavljeni prevodni deli ozemljeni v skupinah ali posamično (TT):

$$R_A \cdot I_a \leq 50V$$

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: funkcionalna mala napetost

### Funkcionalna mala napetost (FELV)

Ko je napetost manjša od 50 V (120 V) vendar niso izpolnjeni pogoji za SELV ali PELV:

- enaka osnovna zaščita (izolacija ali pregrade oz. okrovi);
- izpostavljeni prevodni deli morajo biti povezani z PE vodnikom primarnega tokokroga; primarni tokokrog mora biti zaščiten z samodejnim izklopom;
- ustrezni napajalni viri (TR z vsaj enostavno ločitvijo med navijji);
- posebne vtičnice in vtiči z zaščitnimi kontakti (da ni možna zamenjava z drugimi sistemi).

---

---

---

---

---

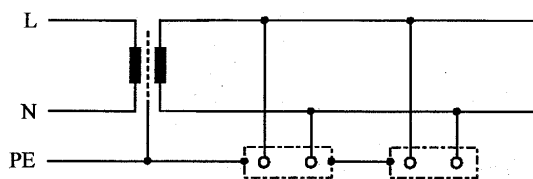
---

---

---

## Zaščitni ukrep: funkcionalna mala napetost

### Funkcionalna mala napetost (FELV)



---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: dvojna ali ojačana izolacija

- Dvojna ali ojačana izolacija predstavlja hkrati osnovno zaščito in zaščito ob okvari.
- Uporabna je praktično povsod razen v določenih primerih (HD 60364-7, HD 384).
- Če se v delu inštalacije uporablja kot edini zaščitni ukrep, mora biti ta del stalno pod nadzorom. To ni možno, če se v tem delu nahajajo vtičnice ali če uporabnik lahko sam zamenja del opreme.

---

---

---

---

---

---

---

---



## Zaščitni ukrep: dvojna ali ojačana izolacija

**Električna oprema, ki je del inštalacije s to zaščito, mora izpolnjevati naslednje zahteve:**

- oprema mora biti izdelana z dvojno ali ojačano izolacijo (razred II) ali enakovredno, tipsko preizkušena in označena (znak);
- če ima oprema samo osnovno izolacijo je med inštalacijo potrebno dodati dodatno izolacijo (okrov), če ima oprema neizolirane dele, je potrebno dodatno namestiti ojačano izolacijo;
- okrovi morajo biti izdelani ustrezno, brez kovinskih delov, ki bi potekali skozi in brez plastičnih delov, ki bi jih lahko zamenjali s kovinskimi (npr. vijaki).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: dvojna ali ojačana izolacija

**Del inštalacije s to zaščito mora izpolnjevati tudi naslednje zahteve:**

- tokokrogi, ki napajajo opremo razreda II, morajo vseeno vsebovati PE vodnik (razen če je ta ukrep edini v tem delu inštalacije);
- kablji oziroma vodniki morajo imeti nazivno napetost vsaj enako nazivni napetosti napajalnega sistema (najmanj 300/500V) in imeti ustrezno mehansko zaščito osnovne izolacije (nekovinski plašč ali nekovinski kanal, polico, cev, ...).

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: električno zaščitno ločevanje

**Osnovna zaščita:**

- zaščita z izoliranjem aktivnih delov ali
- zaščita s pregradami ali okrovi.

**Zaščita ob okvari:**

- enostavna ločitev tokokrogov od drugih tokokrogov in zemlje

**Razen izjemoma je ta zaščitni ukrep omejen na napajanje enega porabnika.**

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: električno zaščitno ločevanje

### Zahteve:

- napajalni vir mora imeti vsaj enostavno ločitev, napetost ne sme presegati 500 V;
  - deli pod napetostjo ne smejo biti povezani z drugimi tokokrogi, zemljo ali PE vodnikom;
  - med tokokrogi mora biti vsaj osnovna izolacija;
- zvižavi vodniki in vrvice morajo biti v primeru možnosti poškodbe vidni;
- ločeni sistemi ožičenja oziroma ustrezna izolacija do drugih tokokrogov;
  - izpostavljeni prevodni deli ne smejo biti povezani s PE vodnikom, zemljo ali izpostavljenimi prevodnimi deli drugih tokokrogov.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščitni ukrep: mala napetost SELV ali PELV

Osnovna zaščita in zaščita ob okvari sta zagotovljeni z uporabo napetosti, ki je nižja od 50 V izmenično oziroma 120 V enosmerno.

Tokokrogi SELV ali PELV morajo biti zaščitno ločeni od ostalih tokokrogov (osnovna izolacija).

Pri sistemih SELV je potrebna tudi osnovna izolacija proti zemlji.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita električnih naprav

Ko električno napravo priključimo na električno inštalacijo s koordinacijo zaščite in s konstrukcijsko priredbo opreme dosežemo določeno stopnjo varnosti –

**razred zaščitne opreme.**

Za določeno opremo lahko razred določimo šele po inštalaciji, za drugo lahko tudi prej.

---

---

---

---

---

---

---

---

## Zaščita električnih naprav



### Električna zaščita:

**Razred 0:** samo delovna izolacija;

**Razred 0I:** delovna izolacija in ozemljilna sponka brez možnosti priključka na zaščitni kontakt vtičnice (prenosne svetilke);



**Razred I:** delovna izolacija in ozemljitev kovinskih delov;



**Razred II:** dvojna izolacija in brez ozemljitve;

**Razred III:** mala napetost (SELV, PELV).

---

---

---

---

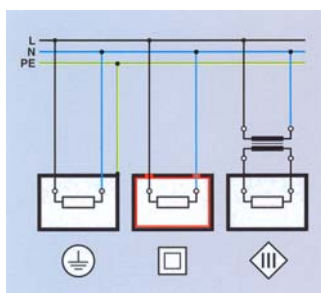
---

---

---

---

## Zaščita električnih naprav



### Električna zaščita:

**razred I**

**razred II**

in

**razred III**

(od leve proti

desni)

---

---

---

---

---

---

---

---

## IP oznaka zaščite

IP (International Protection Rating) sistem označevanja zaščite (IEC 60529):

# IP 45 S

črki IP, dve cifri in dodatne črke

**prva cifra:** zaščita pred vdorom tujkov

**druga cifra:** zaščita pred vdorom vode (vlage)

dodatne črke

---

---

---

---

---

---

---

---

## IP oznaka zaščite

### Zaščita pred vdorom tujkov:

- 0 brez zaščite;
- 1 zaščita pred vdorom tujkov večjih od 50 mm (zaščita pred dotikom z hrbtno stranjo dlani);
- 2 zaščita pred vdorom tujkov večjih od 12,5 mm (zaščita pred dotikom s prstom);
- 3 zaščita pred vdorom tujkov večjih od 2,5 mm (zaščita pred dotikom z orodjem - izvijačem);
- 4 zaščita pred vdorom tujkov večjih od 1,0 mm (zaščita pred dotikom z žico);
- 5 zaščita pred nabiranjem prahu (zaščita pred dotikom z žico);
- 6 zaščita pred vdorom prahu (zaščita pred dotikom z žico).

## IP oznaka zaščite

### Zaščita pred vdorom vode (vlage):

- 0 brez zaščite;
- 1 zaščita pred kapljajočo vodo iz navpične smeri;
- 2 zaščita pred kapljajočo vodo iz poševne smeri (do 15 ° glede na navpičnico);
- 3 zaščita pred pršečo vodo iz poševne smeri (do 60 ° glede na navpičnico);
- 4 zaščita pred brizgajočo vodo iz vseh smeri;
- 5 zaščita pred curkom vode iz poljubne smeri;
- 6 zaščita pred močnimi curki ali poplavljanjem;
- 7 zaščita pred potopom za omejen čas (vodotesna zaščita)in
- 8 zaščita pred potopom v določeno globino za neomejen čas (tlačna vodotesna zaščita)

## IP oznaka zaščite

### Z dodatno črko je lahko označena zaščita pred dostopom do nevarnih delov pod napetostjo:

- A zadnja stran roke (dlani);
- B prst;
- C orodje;
- D žica.

## IP oznaka zaščite

Črkovna oznaka, ki podaja dodatne informacije glede naščite naprave:

- **H** visokonapetostne naprave;
- **M** preizkus naprave (vdor vode) pri premikajočih se gibljivih delih;
- **S** preizkus naprave (vdor vode) pri mirujočih gibljivih delih;
- **W** naprave, ki so primerne tudi za uporabo pri določenih vremenskih razmerah

---

---

---

---

---

---

---

---

## IP oznaka zaščite

### IP 4X, IP X5

Če stopnja zaščite (pred vdorom tujkov ali pred vdorom vode) ni določena, se v oznaki uporabi znak X.

---

---

---

---

---

---

---

---

## IP oznaka zaščite

Včasih je bila v uporabi še tretja številka, ki je podajala mehansko trdnost. Danes se ta podaja z IK oznako po standardu EN 50102.

Nemški standard DIN 40050-9 pozna tudi oznako IP 69K za naprave, pri katerih je dovoljeno visokotlačno pranje z vročo vodo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

... in še:



# Vprašanja?

ER: Nevarnosti električnega toka in zaščitni ukrepi

88

---

---

---

---

---

---

---

---