

## Granični uvjeti opasnosti od električne struje

na opasnost utječe

- otpor tijela čovjeka
  - vjerojatnost uvjeta dodira zbog prostora
  - vjerojatnost dodira zbog izvedbe uređaja
  - karakter struje (vrsta izvora)
- dodir dijelova pod naponom
  - dodir vodljivih dijelova koji su pod naponom zbog greške na izolaciji

## Opasnost od previsokog napona dodira

opasnost od strujnog udara ovisi o

- električnom otporu tijela
- djelovanju struje na tkivo

otpor čovječjeg tijela  $R_{\check{c}} = R_t + R_{pr} = f(U)$

$R_t$  - otpor tkiva

$R_{pr}$  - prijelazni otpori ulaska i izlaska struje kroz ekstremitete

$U$  - napon kojemu je izloženo tijelo

## IEC - četiri stupnja

BB 1 - potpuno suha koža **kontakt**

BB2 - vlažna koža **ruka - noga**

BB3 - mokra koža **noge u vodi kontakt rukom**

BB4 - uronjeno u vodu **samo otpor tkiva**

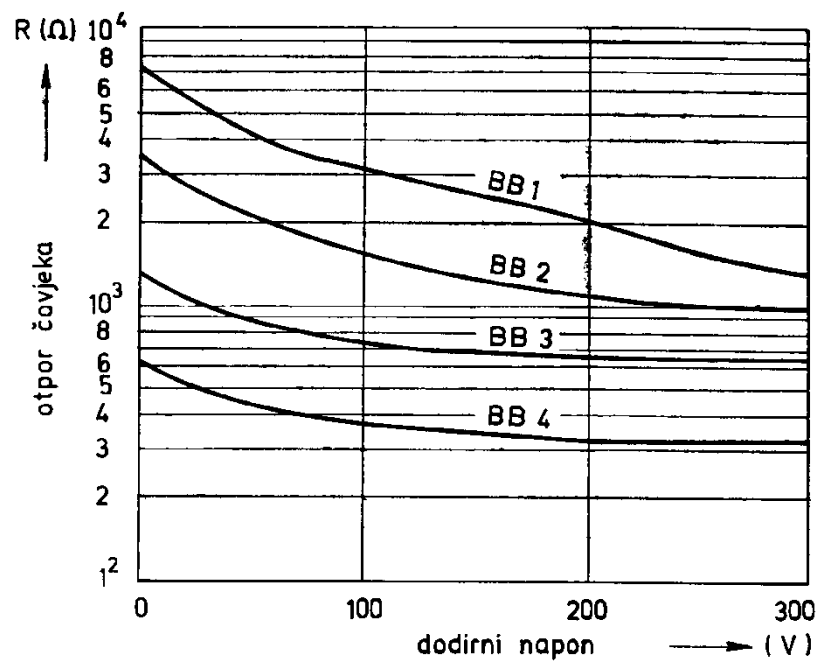
Ovisnost otpora čovjeka o naponu za BB2

Napon (V)	25	50	250
Otpor tijela ( $\Omega$ )	2500	2000	1000

$U_d = 50 \text{ V}$

## OTPOR ČOVJEČJEG TIJELA

Napon dodira (V)	UVJETI							
	BB1 (suho)		BB2 (vlažno)		BB3 (mokro)		BB4 (uronjeno)	
	R (Ω)	I (mA)	R (Ω)	I (mA)	R (Ω)	I (mA)	R (Ω)	I (mA)
10	7 000	1,4	3 500	3	1 200	8	600	17
25	5 000	5	2 500	10	1 000	25	500	50
50	4 000	12,5	2 000	25	875	57	440	114
100	3 000	33	1 500	67	750	133	375	267
250	1 500	167	1 000	250	650	385	325	770



**Ovisnost otpora čovječjeg tijela o naponu i uvjetima okoline**

## OPASNI DODIRNI NAPONI

Maksimalno trajanje greške (s)	Struja (mA)	Granica neopasnog napona (V)			
		BB1	BB2	BB3	BB4
5	25	$U_{d1} = 80$	$U_{d2} = 50$	$U_{d3} = 25$	$U_{d4} = 12$
5	25	80	50	25	12
1	43	115	75	40	20
0,5	56	130	90	50	27
0,2	77	170	110	65	37
0,1	120	230	150	90	55
0,05	210	320	220	145	82
0,03	300	400	280	190	110

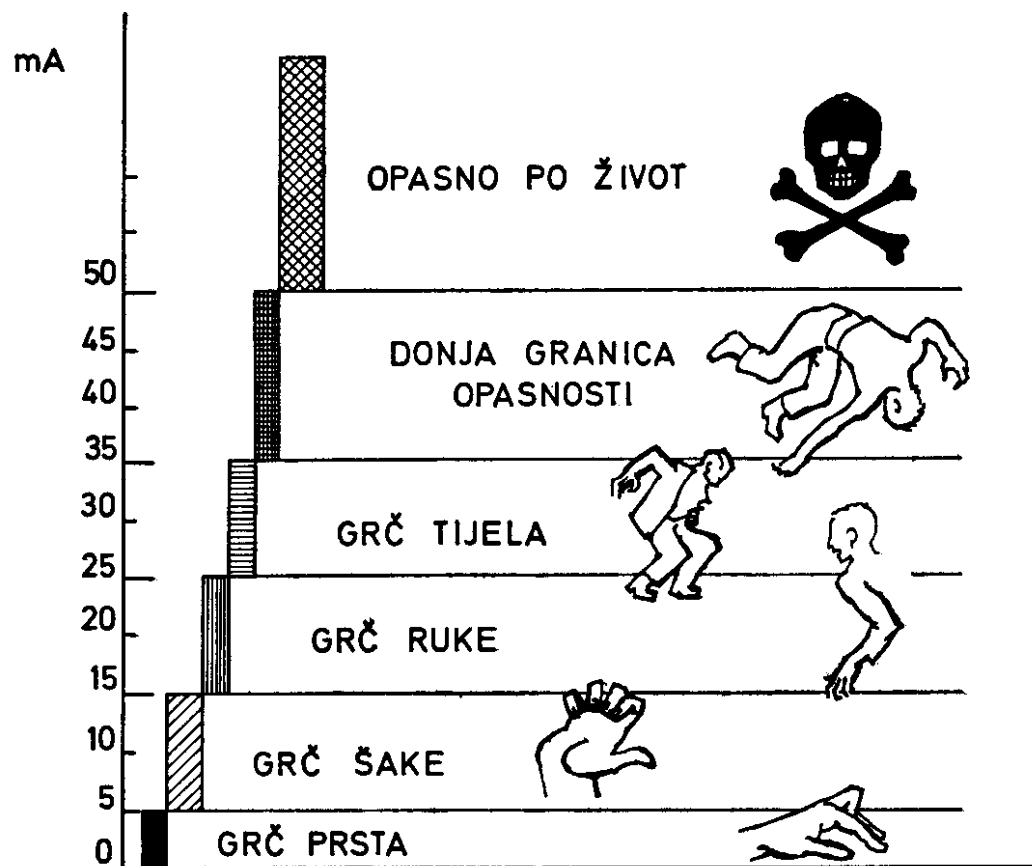
mogućnost dodira s potencijalom zemlje

- BC1 - nema dodira
- BC2 - dodir moguć
- BC3 - dodir čest
- BC4 - trajni dodir

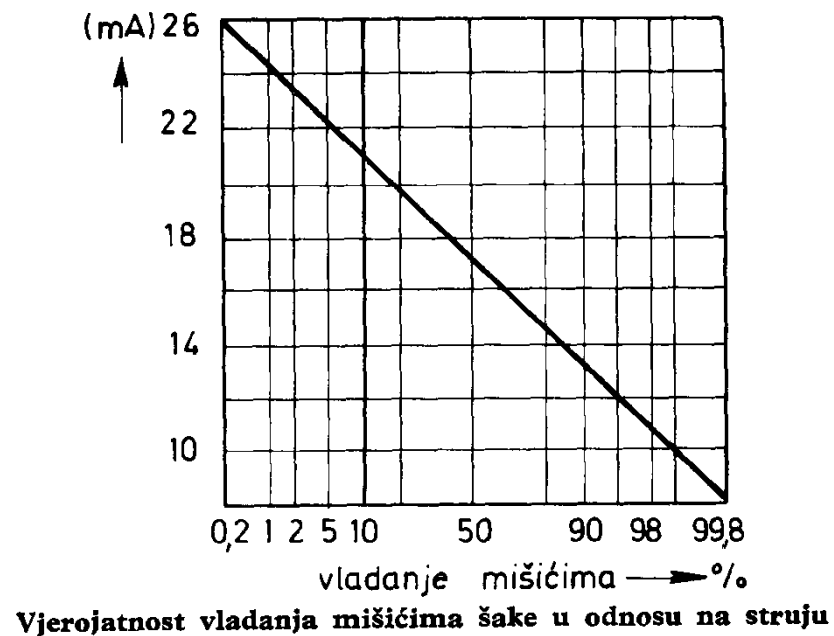
**Izvori električne struje koji ne predstavljaju opasnost od strujnog udara**

- ograničen napon
- ograničena energije izboja
- ograničeno trajanja greške

## Fiziološko djelovanje električne struje na tijelo čovjeka



Fiziološko djelovanje električne struje na čovječje tijelo



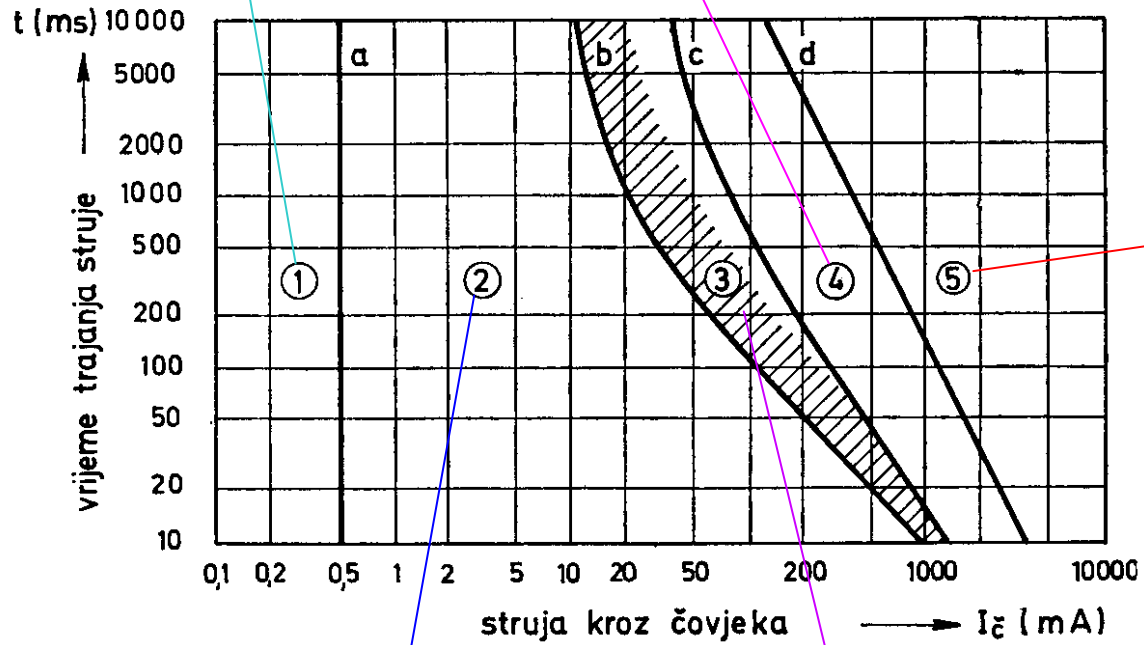
$I > 25 \text{ mA}$  djeluje na ritam rada srca

$I > 30 \text{ mA}$  djeluje na rad zalisaka  $\Rightarrow$  donja granica opasnosti

# djelovanje ovisi o obavljenom radu

nema nikakva utjecaja

fibrilacija srca moguća s 50% vjerojatnosti



opasna fibrilacija srca moguća s više od 50% vjerojatnosti

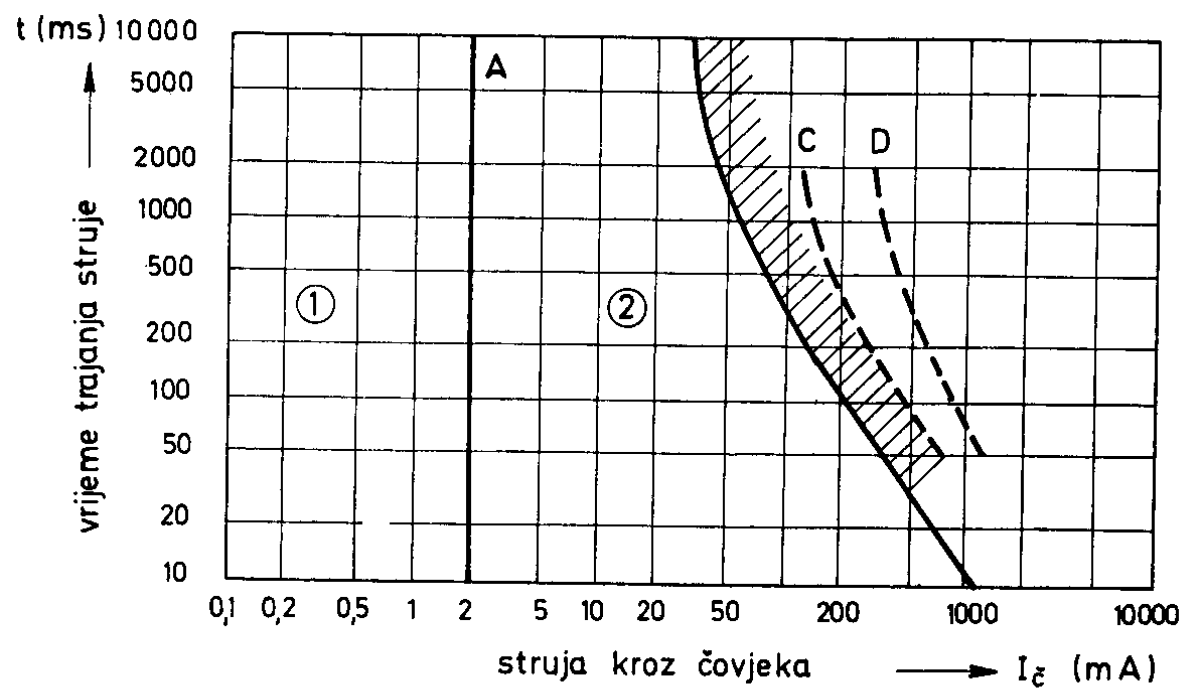
opasnost fibrilacije srca

nema efekta fiziopatološke opasnosti

Opasnosti od izmjenične struje kroz čovjeka

**jakost struja granice fiziopatološkog djelovanja djelovanje u vremenu t (ms)**

$$I \leq 10 + \frac{10}{t} \text{ (mA) izmjenična struja} \quad I_{is} = I_{iz} \cdot \log t \text{ (mA) istosmjerna struja}$$



**Opasnosti od istosmjerne struje kroz čovjeka**

**Boilsoft Unregistered Version**





911

19:27:58.31



CAMERA 7

BREAK





BREAK

## Ograničenje napona

**$U < 25 \text{ V}$  u normalnom pogonu ili kvaru**

- izvor sigurnosni izolacijski transformator
- izvor struje jednakog stupnja sigurnosti
- elektrokemijski izvori

**$U < 50 \text{ V}$  u normalnom pogonu ili kvaru**

- zaštita od slučajnog dodira
- zaštita od direktnog dodira
- zaštita malim naponom

- izvor sigurnosni izolacijski transformator
  - izvor struje jednakog stupnja sigurnosti
  - elektrokemijski izvori

**- izolirani namoti ( $U > 50\text{V}$ ) opasni U dodira ne opstaje uz grešku između primarnog i sekundarnog namota**

- dio sekundara pod naponom spojen na zaštitu primara
- vodljivi dio sekundara spojen na zaštitu primara
- kombinacija mjera

**vodovi i vodiči moraju se voditi odvojeno od drugih strujnih krugova ili štićeni**

- izolacijskom pregradom
- uzemljenim vodljivim zaslonom
- pojedinačno ili grupno dodatno izolirani

**rudarstvo - granica opasnog napona 50 V**

## Ograničenje energije izboja

- opasnost od izboja otklonjena ako je
- količina elektriciteta  $q \leq 1 \text{ mC}$
  - vršna vrijednost struje izboja preko  $R = 2000\Omega$ 
    - $i_i \leq 0,7 \text{ mA}$  izmjenična struja
    - $i_i \leq 2 \text{ mA}$  istosmjerna struja

pri različitim naponima različiti dopušteni kapaciteti

## Ograničenje trajanja greške

bazira se na dva osnovna principa

ograničenje struje greške na neopasnu (25 mA) unutrašnjim otporom izvora

ograničenje vremena trajanja greške kao funkcije struje greške (energije u As)

- trajanja greške ovisno o
- veličini otpora izolacije s obzirom na napon mreže
  - brzini opadanja izolacije mreže

otpor izolacije  $R_i \geq \frac{1}{i_g} Q / V$  u rudnicima  $i_g \leq 25 \text{ mA}$   $\rightarrow R_i \geq 40\Omega/V$

granično vrijeme

$$t \leq \frac{10R_c}{U - 10R_c} (s)$$

$U$  - opasni dodirni napon (V)

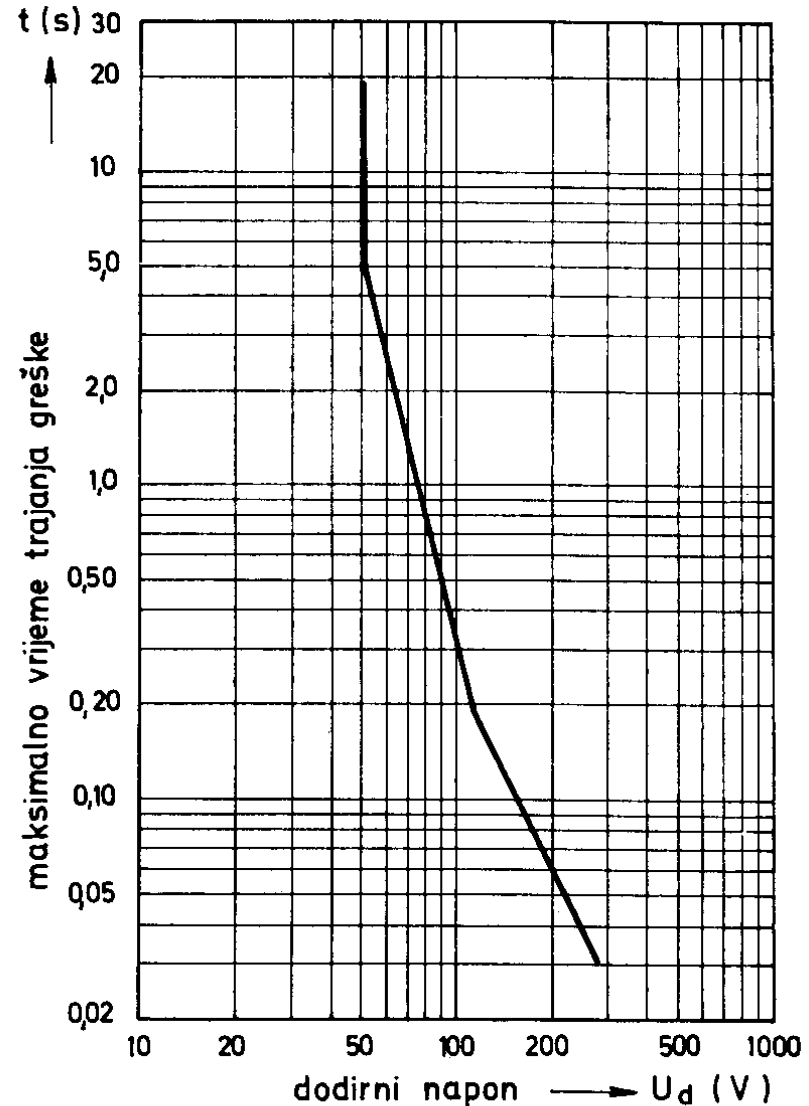
$R_c$  - otpor čovjeka u najnepovoljnijim radnim uvjetima ( $\Omega$ )

uz  $R_c=1000\Omega$

za $U=50V$	$t \leq 0.25$ (s)
za $U=250V$	$t \leq 0.042$ (s)

potrebno utvrditi napon greške  
za različite sustave mreže

- dodirni napon kod greške na uređaju
- dodir faze
- greška na mreži  
(izvan uređaja - spoj faze i zemlje)



**Maksimalni dodirni napon i njegovo trajanje u odnosu na zaštitu od strujnog udara**

## Direktni i indirektni dodir

mehanička zaštita dijelova pod naponom zaštita je od direktnog dodira

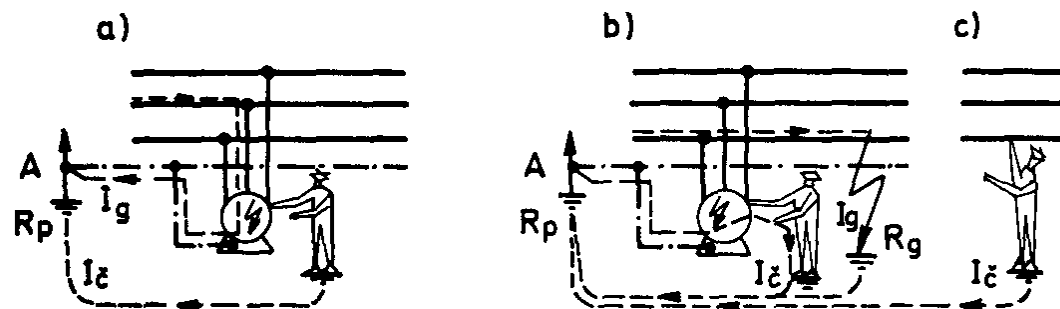
- upozorenje natpisima i znakovima
- prepreke (kućišta, ormarići, zaštitne mreže i sl.) skidanje može biti spriječeno
- natpisi o prethodnom isključenju napona
- blokada odgovarajućim alatom
- blokada automatskim isključenjem napona kod pristupačnih dijelova pod naponom

## Stupanj električnog izoliranja

četiri kategorije

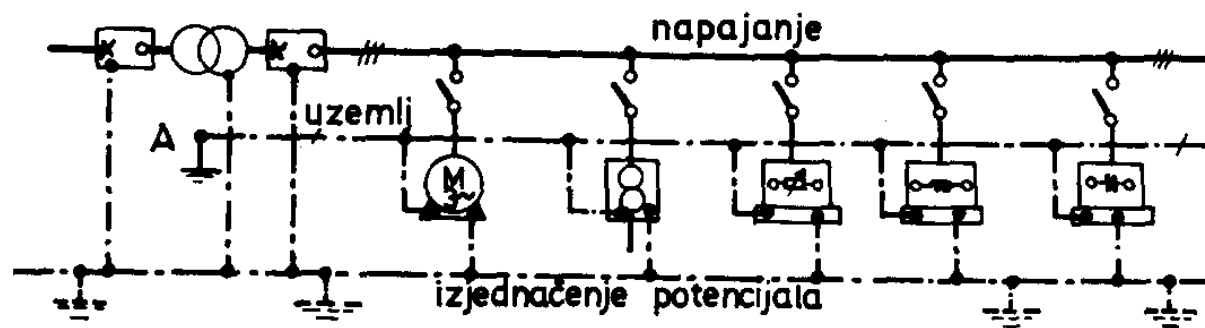
- funkcionalna izolacija
- funkcionalna izolacija + oblaganje vodljivom zaštitom (metalnim kućištem)
- funkcionalna izolacija + dodatna zaštitna izolacija
- funkcionalna izolacija + dodatna zaštitna izolacija + oblaganje vodljivom zaštitom (m.k.)

**Greške u mreži**  
**obzirom na sustav**  
**zaštite**



**Opasni dodirni napon u mreži**

**Uzemljenje i izjednačenje potencijala**



**Uzemljenje električnih uređaja i izjednačenje potencijala**