KVALITETA OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

V

Prof.dr.sc. Tomislav Tomiša
Zavod za visoki napon i energetiku
FER Zagreb

UZEMLJENJE

Uzemljivački sustavi: **POGONSKO UZEMLJENJE**
ZAŠTITNO UZEMLJENJE
GROMOBRANSKO UZEMLJENJE

Funkcija: - zaštita i ispravan rad uređaja
- osiguranje kvalitetne električne energije
- zaštita ljudi

Zahtjevi:

- prevencija izravnih šteta pri kratkom spoju i udaru groma
- održanje napona dodira i koraka u sigurnim granicama
- osiguranje funkcionalnosti elektroničkih uređaja

Uzemljivački sustavi

POGONSKO UZEMLJENJE

- uzemljenje metalnih dijelova koji pripadaju strujnim krugovima elektroenergetskog postrojenja (npr. zvjezdište transformatora)

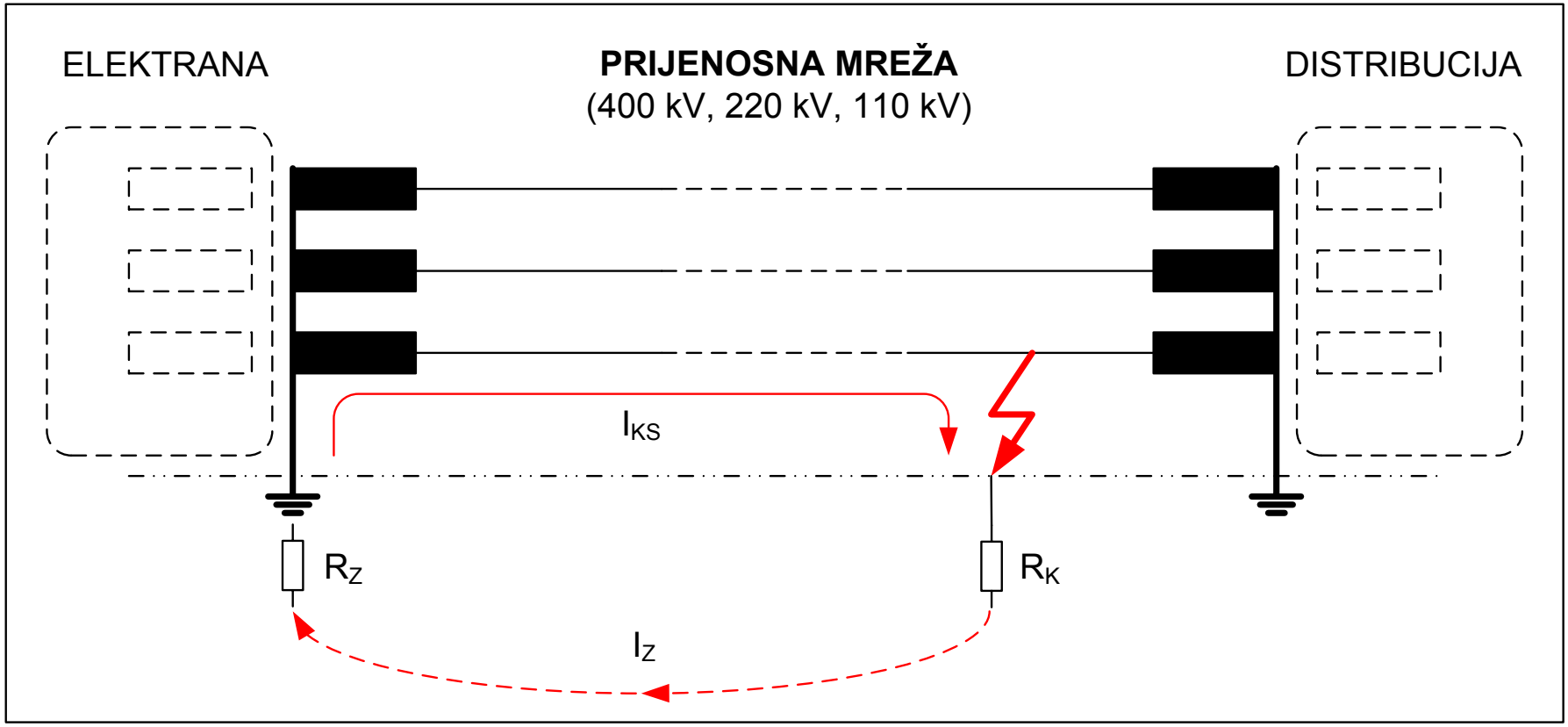
ZAŠTITNO UZEMLJENJE

- uzemljenje metalnih dijelova električnih postrojenja koji ne pripadaju strujnim krugovima, radi zaštite ljudi od opasnoga dodirnog napona i napona koraka

GROMOBRANSKO UZEMLJENJE

- uzemljeni metalni dijelovi koji štite postrojenje i ljude od izravnog udara groma

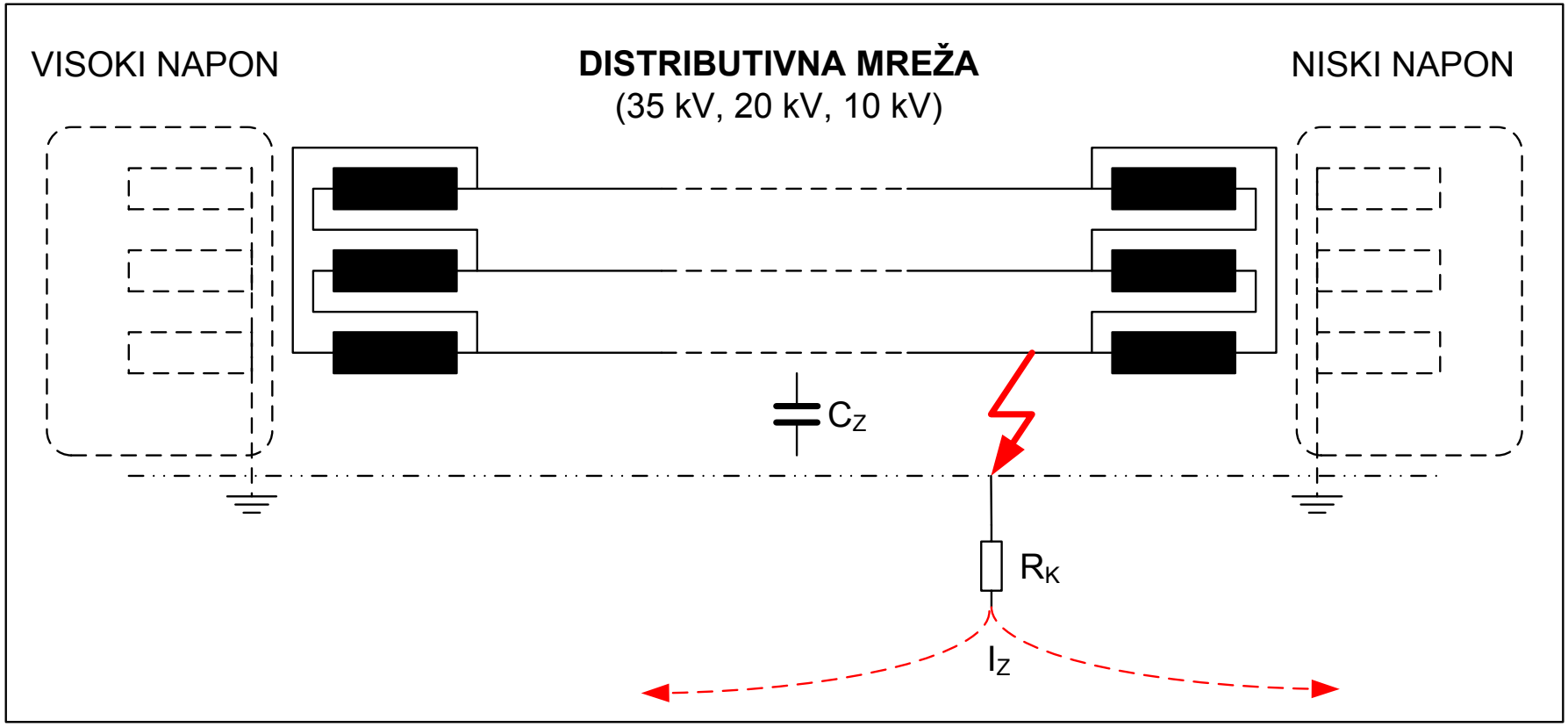
VISOKI NAPON



Spoj sa zemljom → Jednopolni kratki spoj

I_Z ~ kA

SREDNJI NAPON



Spoj sa zemljom → Dozemni spoj

I_Z ~ A

NISKI NAPON

IEC 60354 tri vrste sustava uzemljenja **TN, TT i IT**

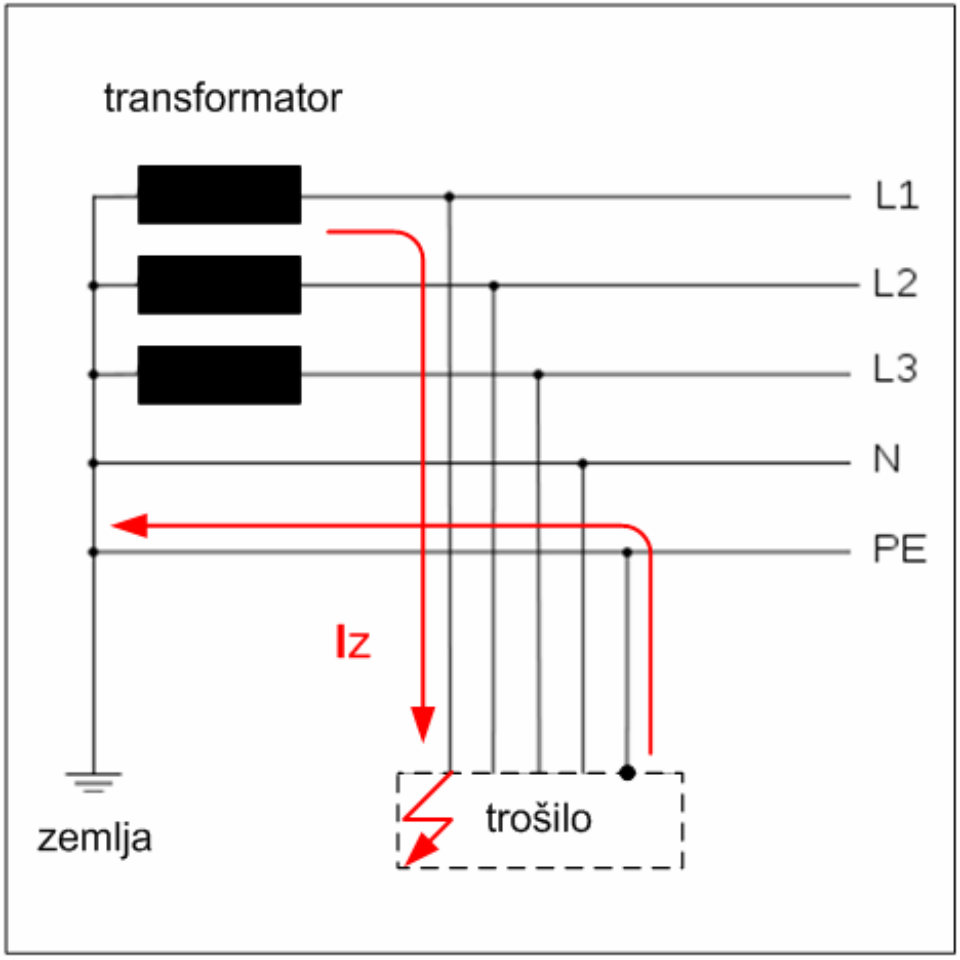
Prvo slovo označava način spoja izvora sa zemljom:

T – izravan spoj zvijezdišta sa zemljom (latinski: terra)
I – izolirano zvijezdište

Drugo slovo označava način spoja trošila sa zemljom:

T – izravan spoj kućišta sa zemljom
N – spoj kućišta sa zemljom preko mreže

TN-S sustav

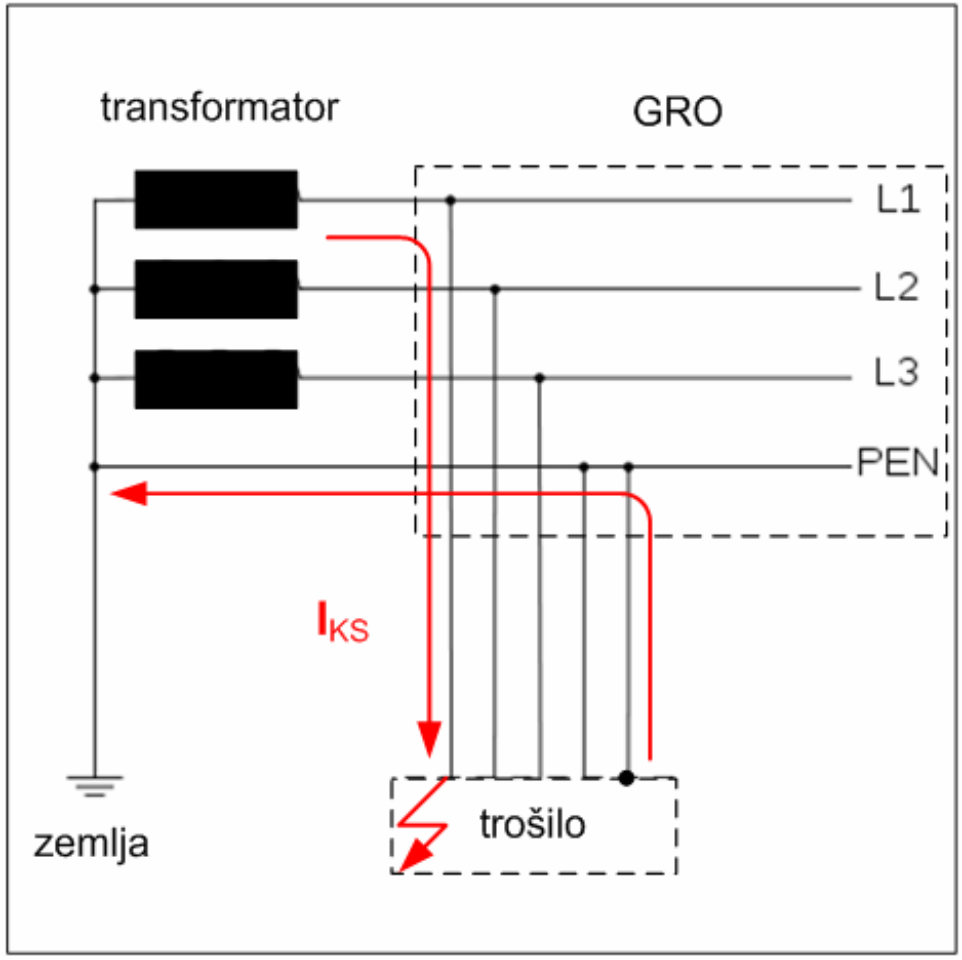


L1, L2, L3 – fazni vodovi
N – neutralni (nul) vod
PE – zaštitni vod (Protective Earth)

- **posebni N i PE vodovi**

- **međusobno spojeni samo u blizini zvijezdišta transformatora**

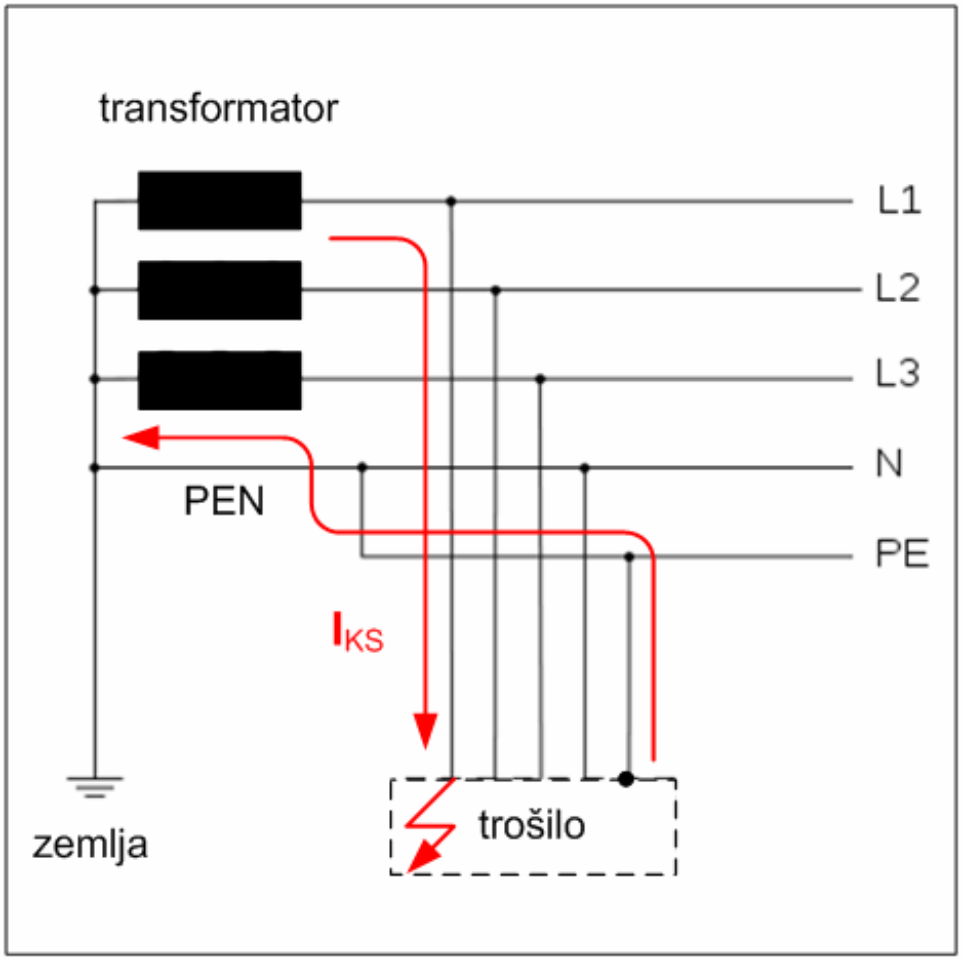
TN-C sustav



PEN – zajednički nul i zaštitni vod

- **između transformatorske stanice i glavnog razvodnog ormara u objektu**

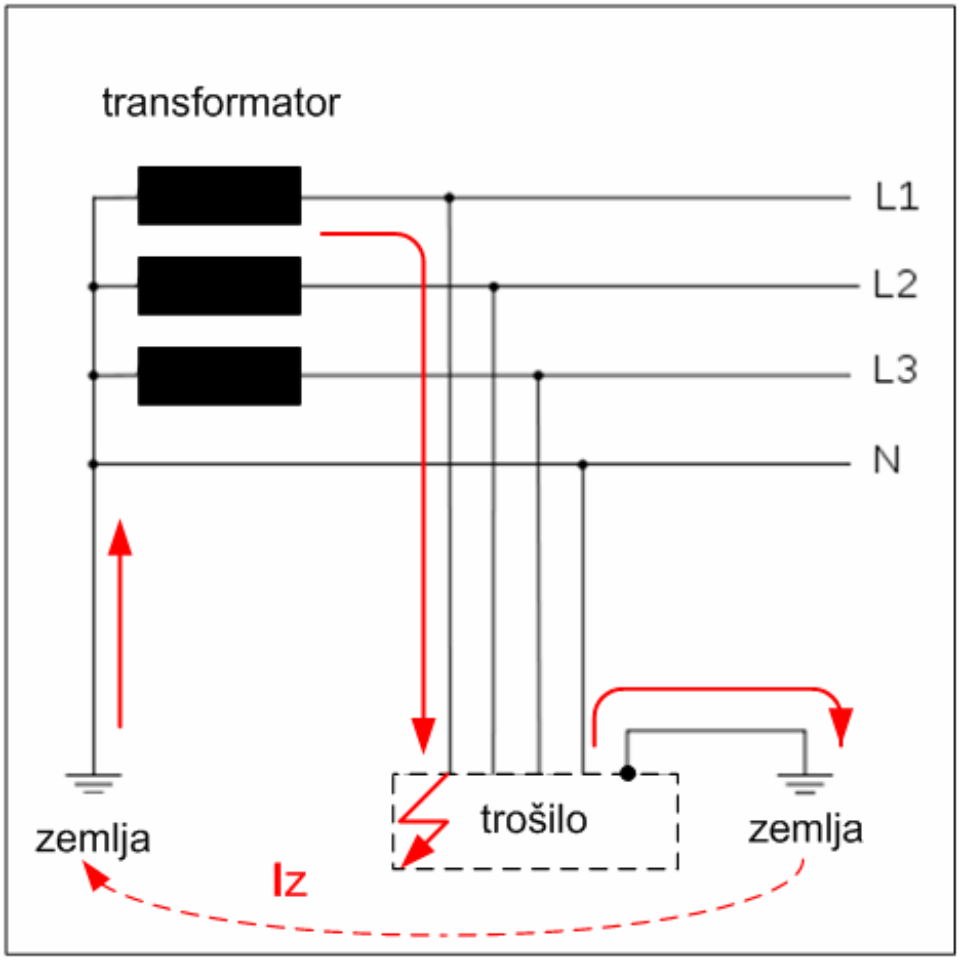
TN-C-S sustav



- **zajednički PEN vod od transformatorske stanice do glavnog razvodnog ormara**

- **posebni N i PE vodovi u instalaciji objekta**

TT sustav



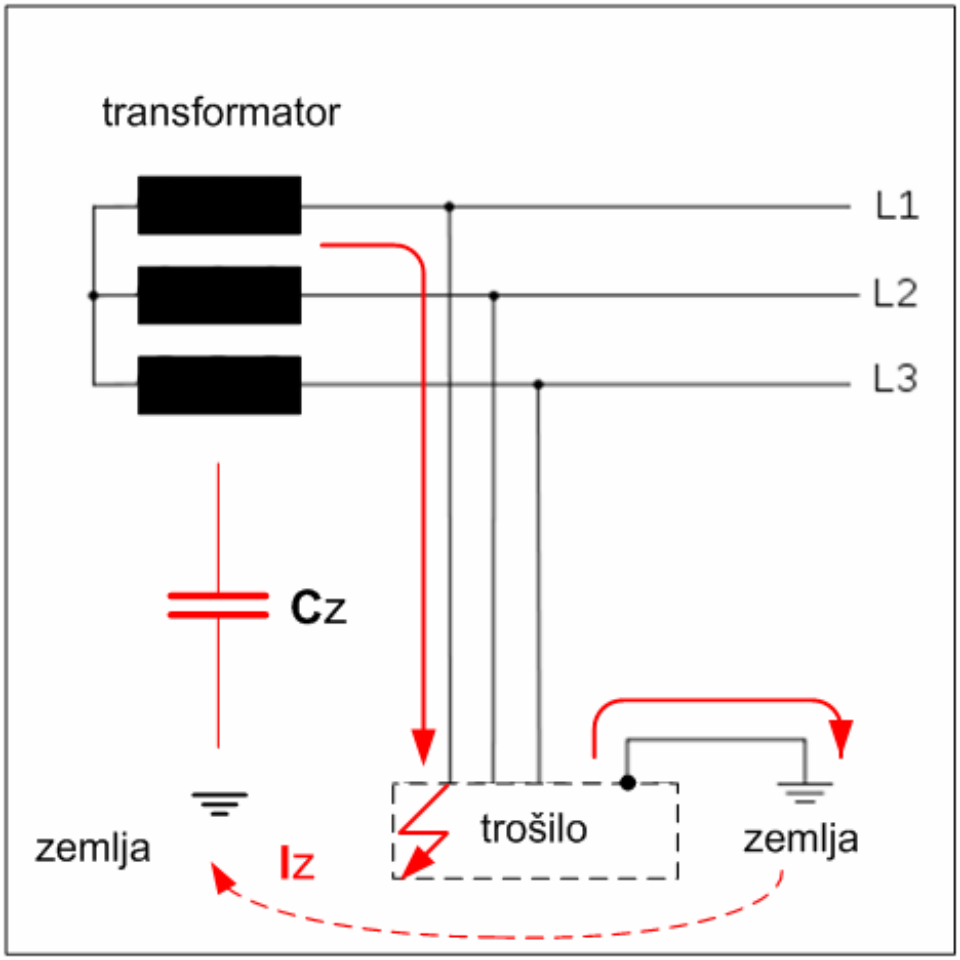
- trošila (instalacija) imaju posebno uzemljenje nezavisno od uzemljenja transformatorske stanice

- pri zemljospoju na kućištu se javlja napon → potreban nadzor

  naponska zaštitna sklopka (ZN)

- danas se više ne koriste ZN sklopke nego strujne zaštitne sklopke (FID)
  RCD = Residual Current Device

IT sustav

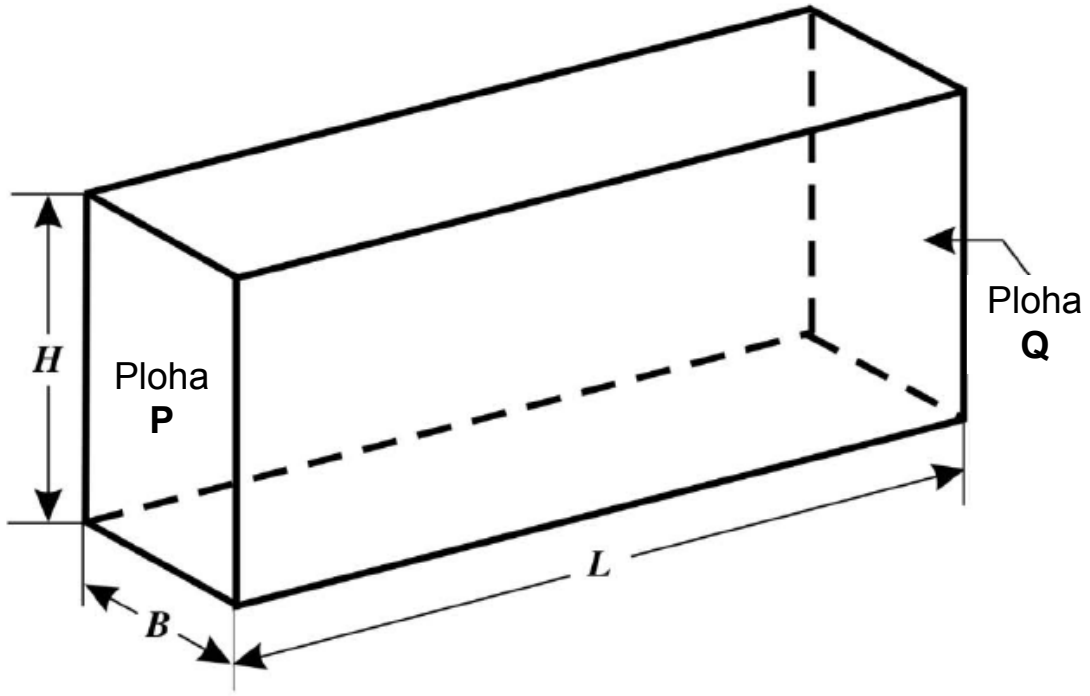


- izvor nema izravnu vezu sa zemljom
- postoji samo kapacitivna sprega (visokoimpedantna)
- potreban je nadzor izolacije

uređaji za nadzor izolacije

Električka svojstva zemlje

Specifični otpor tla ρ_E definicija



površina plohe P, Q:

$$A = B \times H$$

otpor između ploha P i Q:

$$R_{P\text{-}Q} = \rho_E \, L / A$$

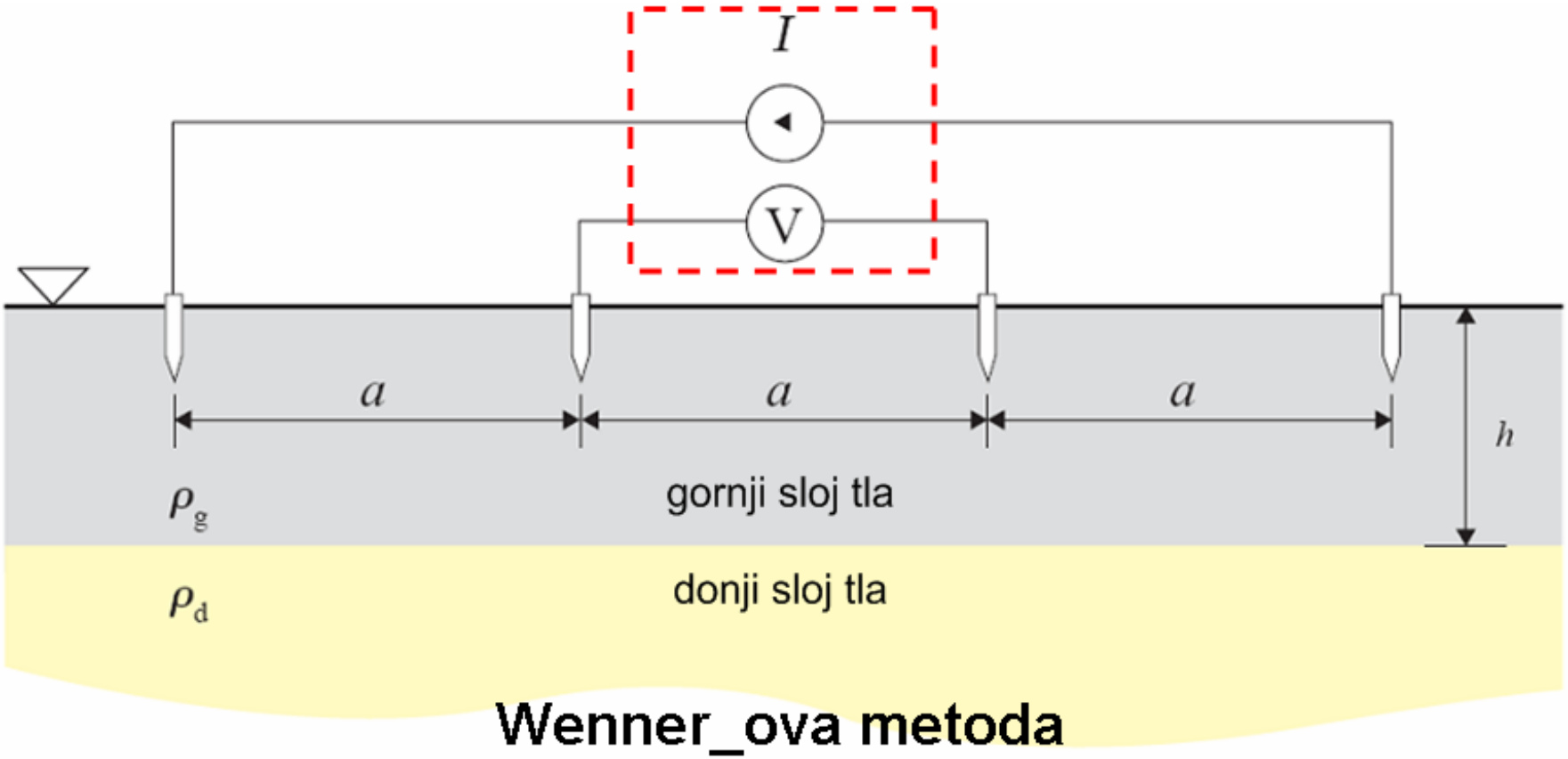
B = 1 m
H = 1 m → **A = 1 m², L = 1 m** → **ρ_E = specifični otpor [Ωm]**

Mjerenje specifičnog otpora tla

- proračun uzemljivača
- geoelektrička ispitivanja (slojevi)

$$\rho_E = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

dubina zatvaranja struje: $h \approx a$



Wenner_ova metoda

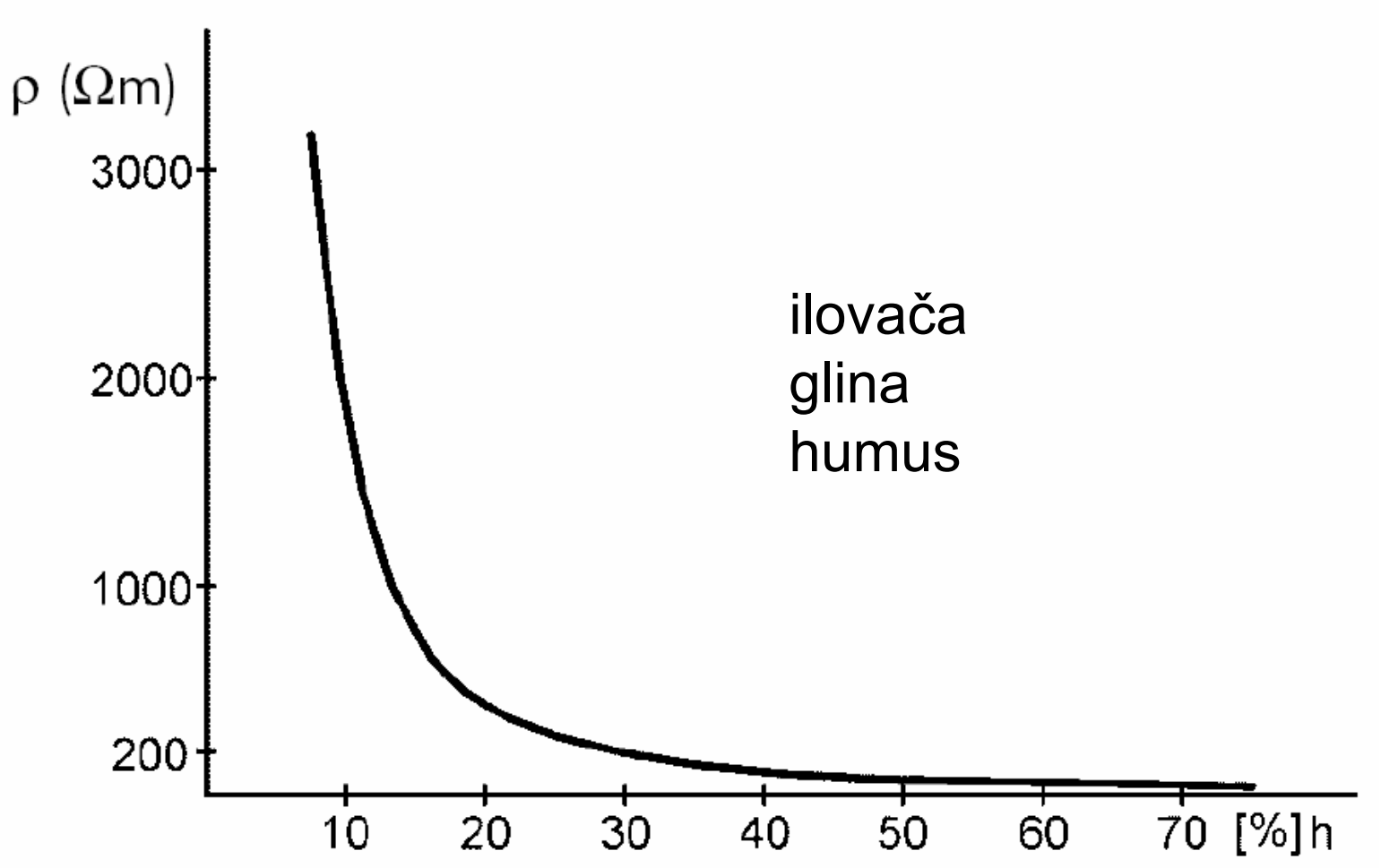
Specifični otpor tla (1)

- za struju industrijske frekvencije (50-60 Hz):

Vrsta tla	Specifični otpor tla ρ_E (Ωm)
Močvarno tlo	5 do 40
Ilovača, glina, humus	20 do 200
Pijesak	200 do 2 500
Šljunak	2000 do 3 000
Kamenito tlo	većinom ispod 1 000
Pješčenjak	2000 do 3 000
Granit	do 50 000
Naplavina šljunka	do 30 000

Specifični otpor tla (2)

ρ_E → jako ovisi o vlažnosti



Značajke uzemljivača

Otpor uzemljenja = $R_D + R_Z$

R_D = otpor zemljovoda

R_Z = otpor rasprostiranja

$R_D << R_Z$

Otpor rasprostiranja

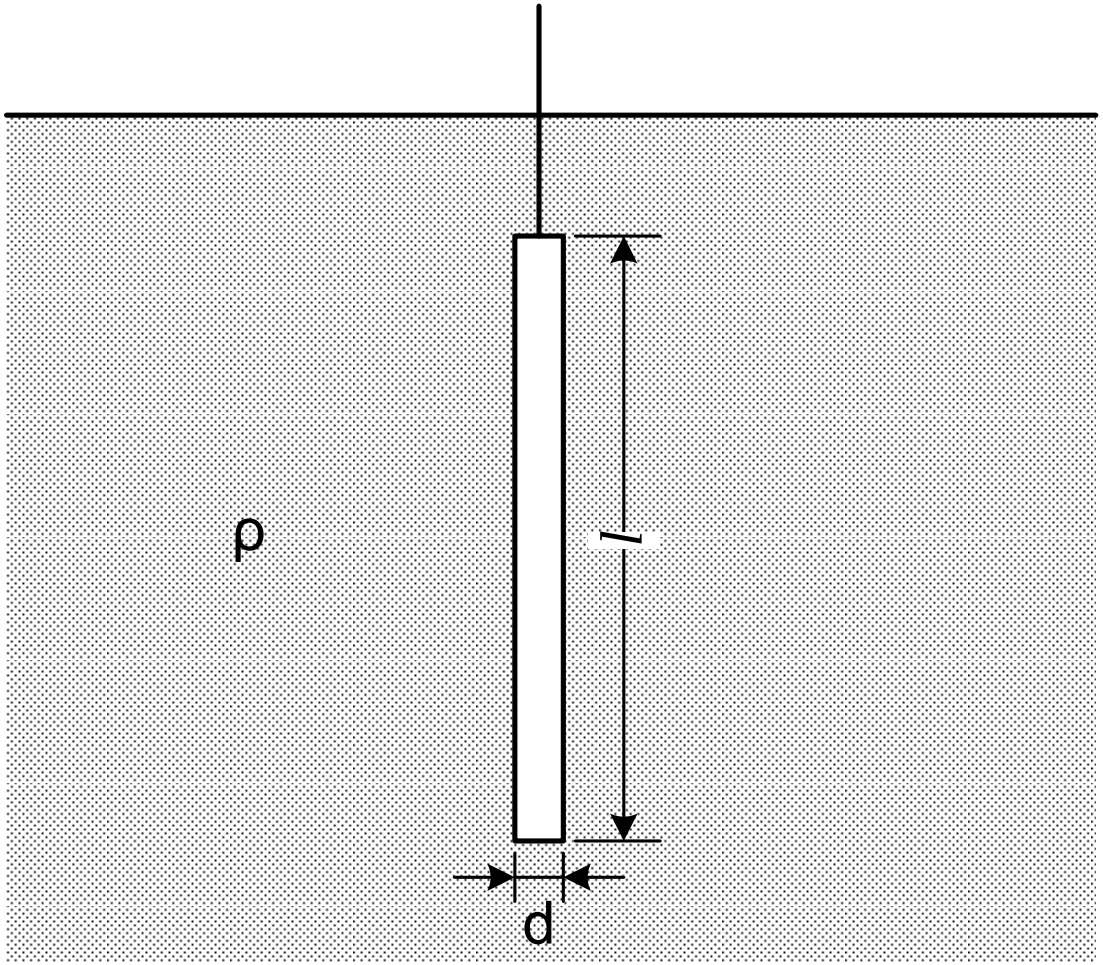
- električni otpor uzemljivača prema neutralnoj zemlji

Konfiguracija

- oblik naponskog lijevka
- naponi dodira i koraka

Otpor rasprostiranja (1)

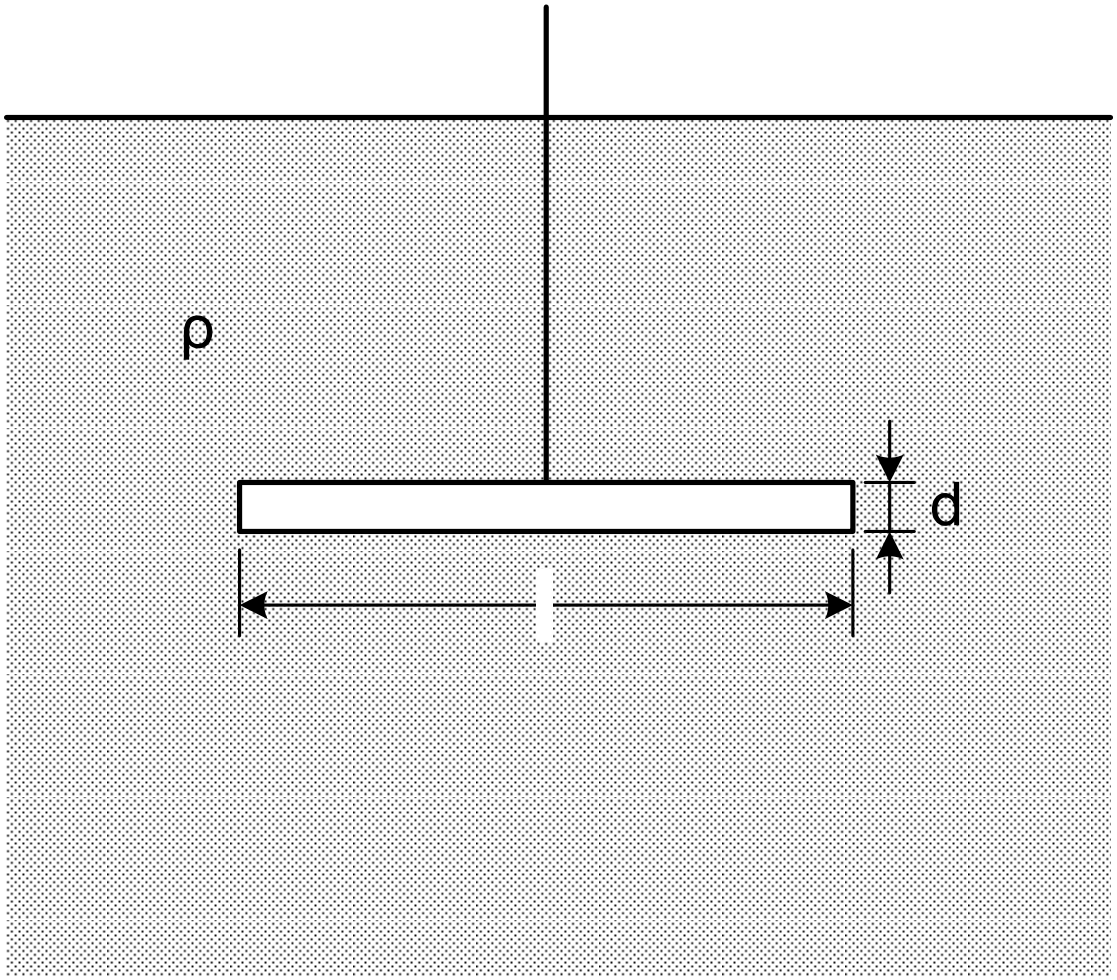
Štapni uzemljivač



$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

Otpor rasprostiranja (2)

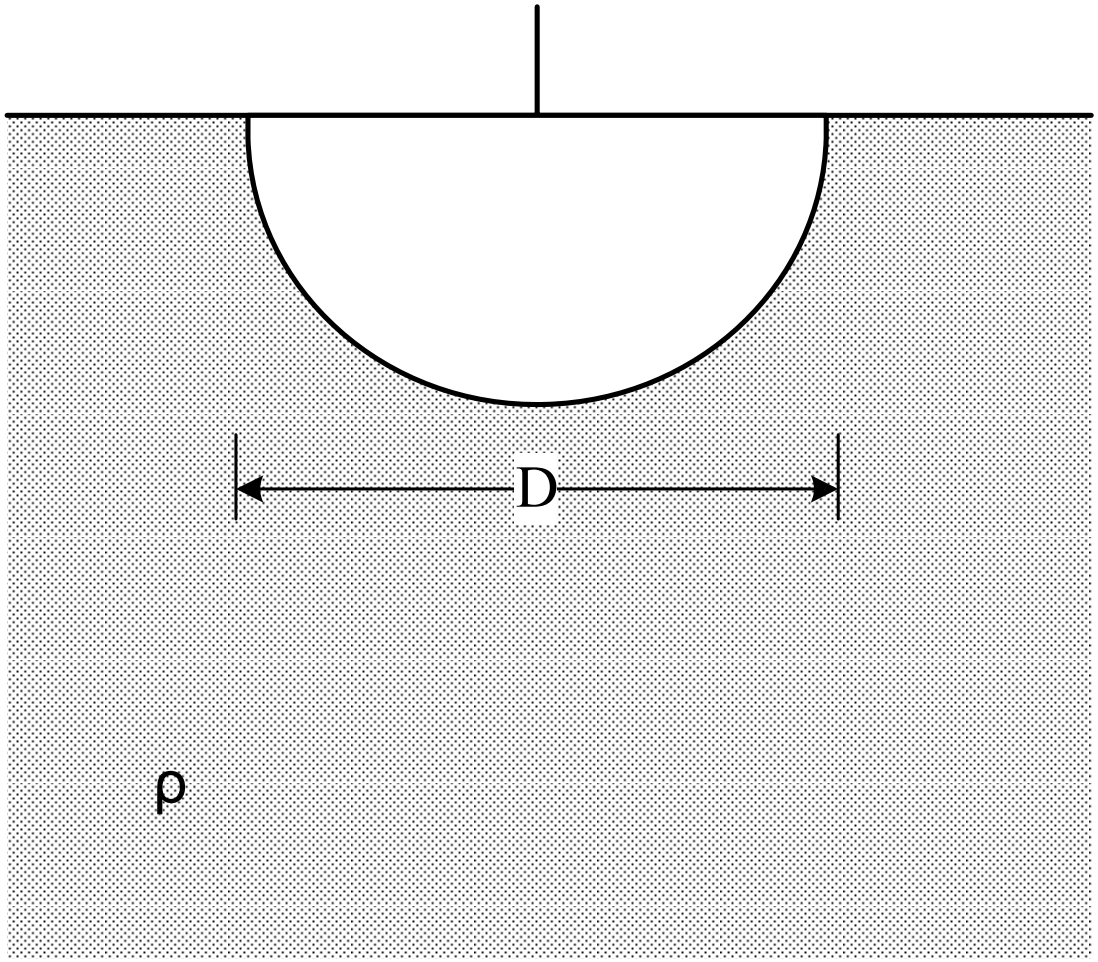
Trakasti uzemljivač



$$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$$

Otpor rasprostiranja (3)

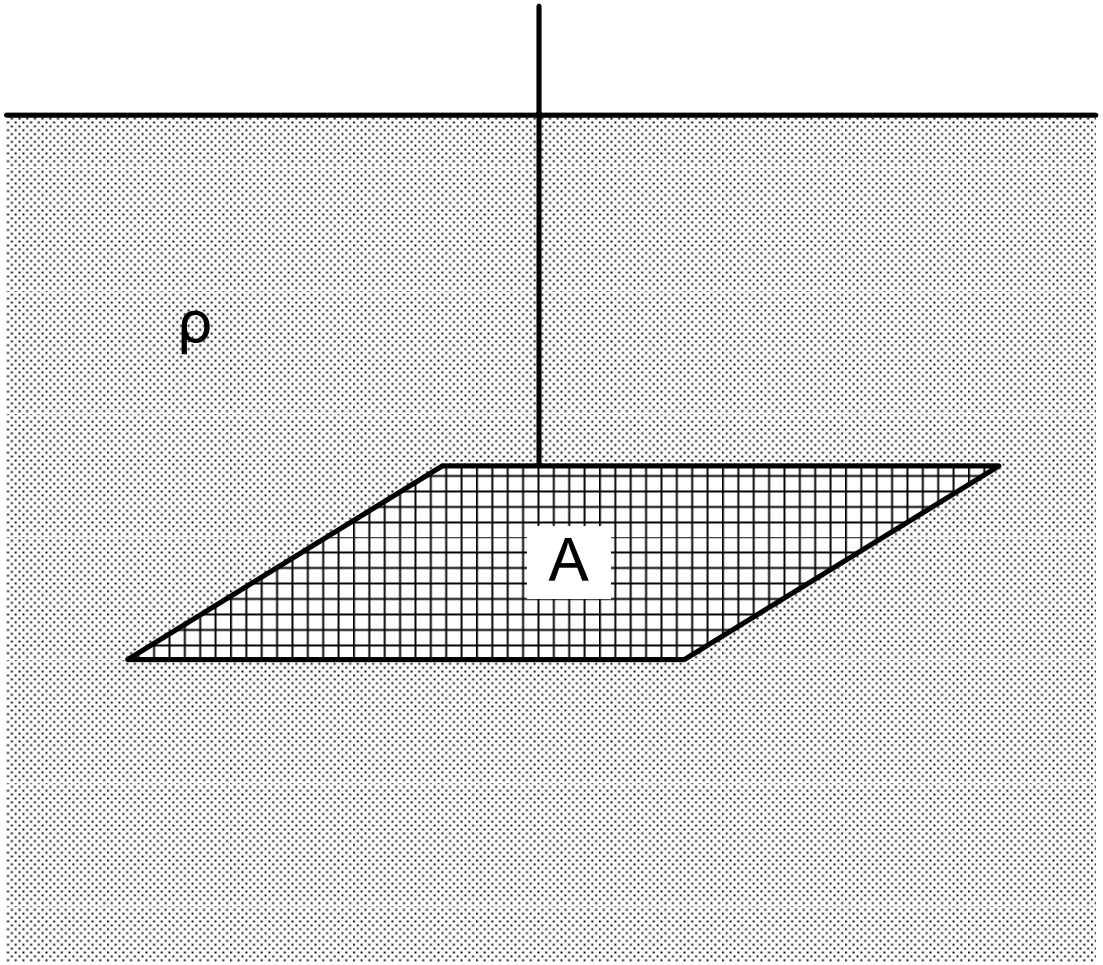
Polukuglasti uzemljivač



$$R = \frac{\rho}{\pi D}$$

Otpor rasprostiranja (3)

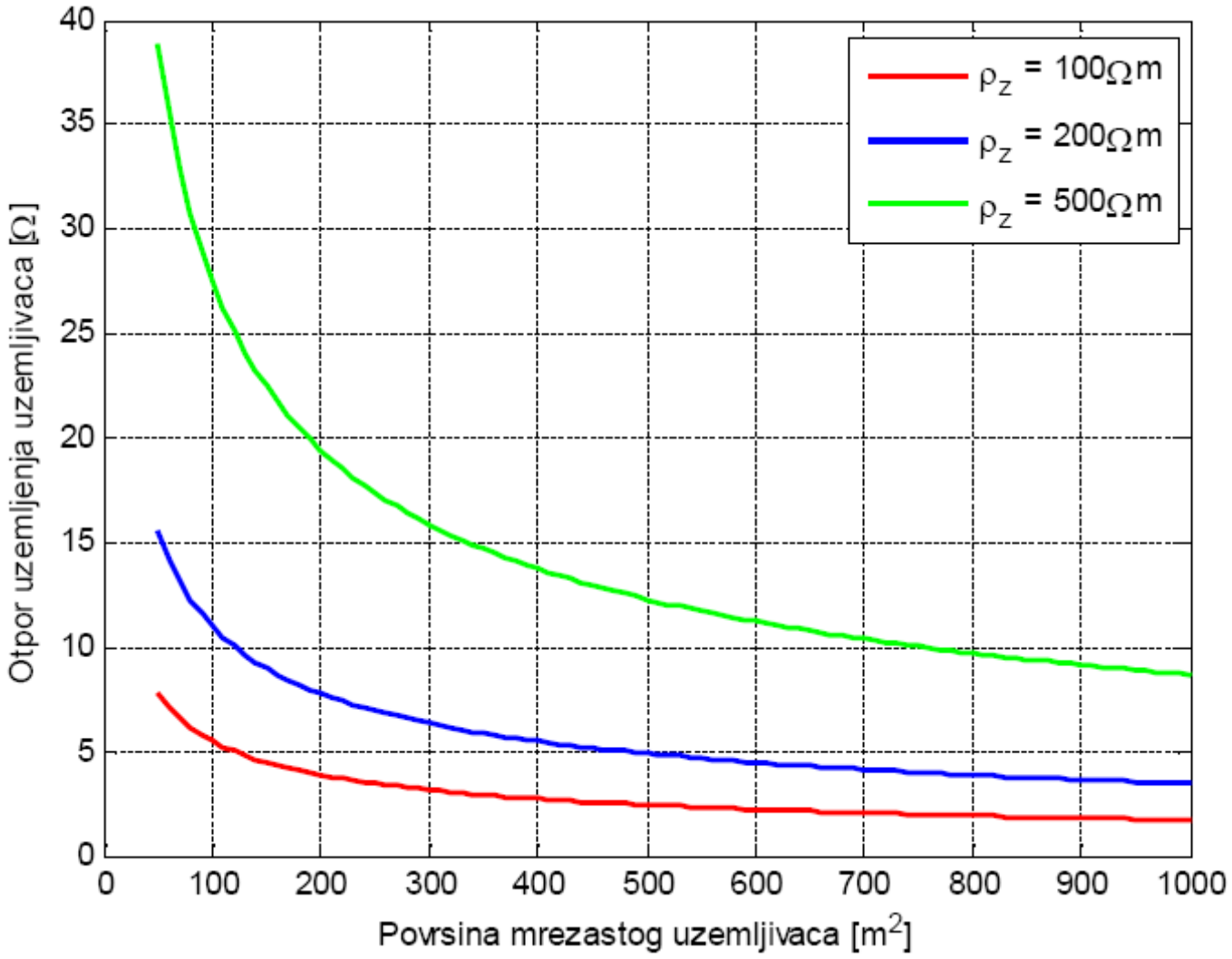
Mrežasti uzemljivač



$$R_z = \frac{0{,}55\rho_z}{\sqrt{A}}\,[\Omega]$$

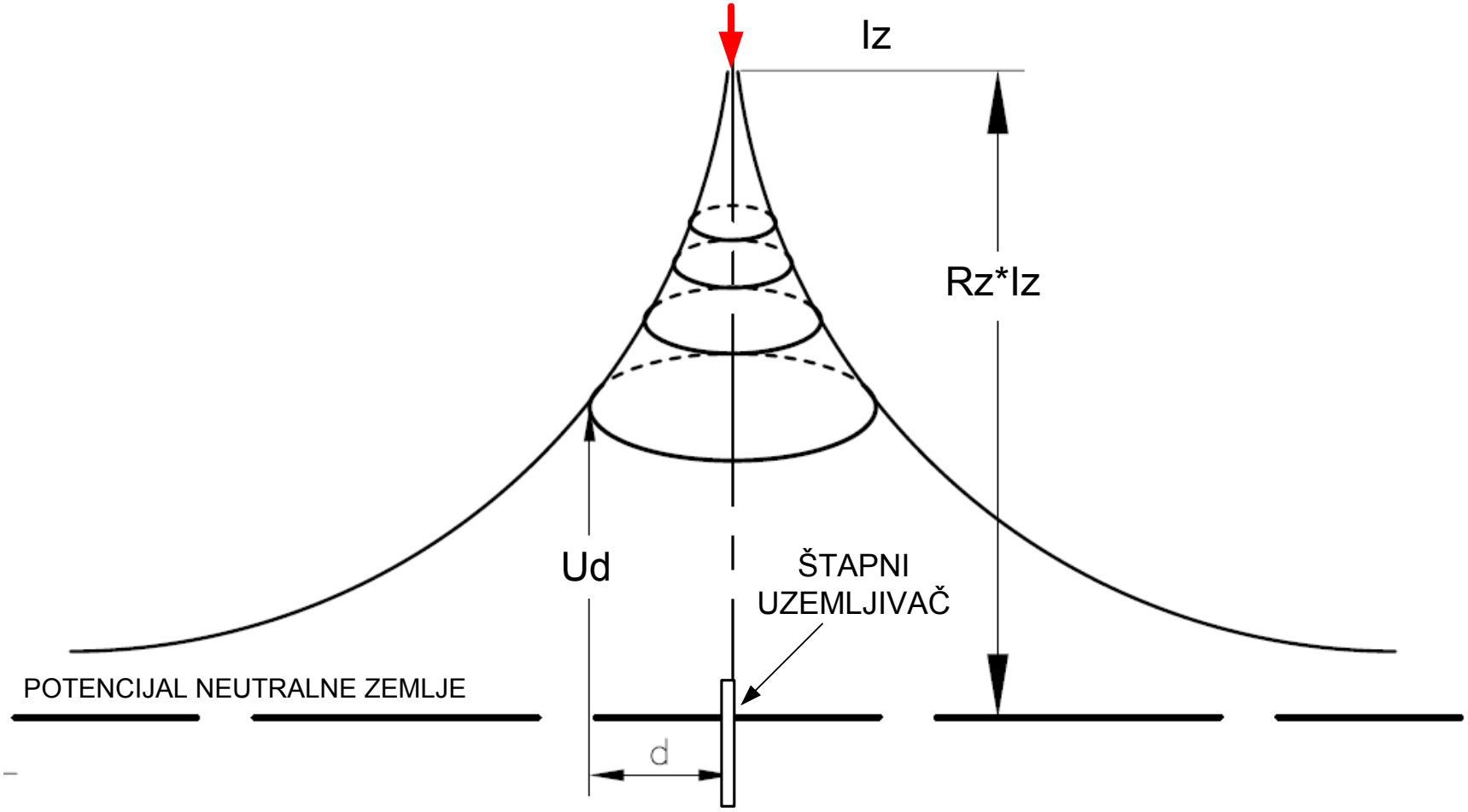
Mrežasti uzemljivač

armatura u temeljima → **temeljni uzemljivač**



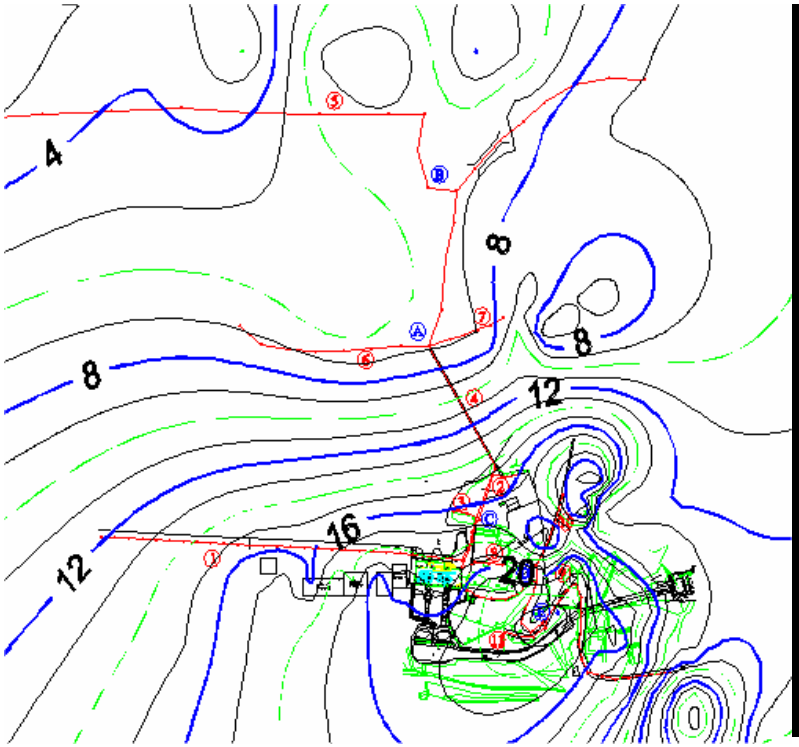
Naponski lijevak (1)

- raspodjela potencijala **<u>na površini tla</u>** u okolini uzemljivača

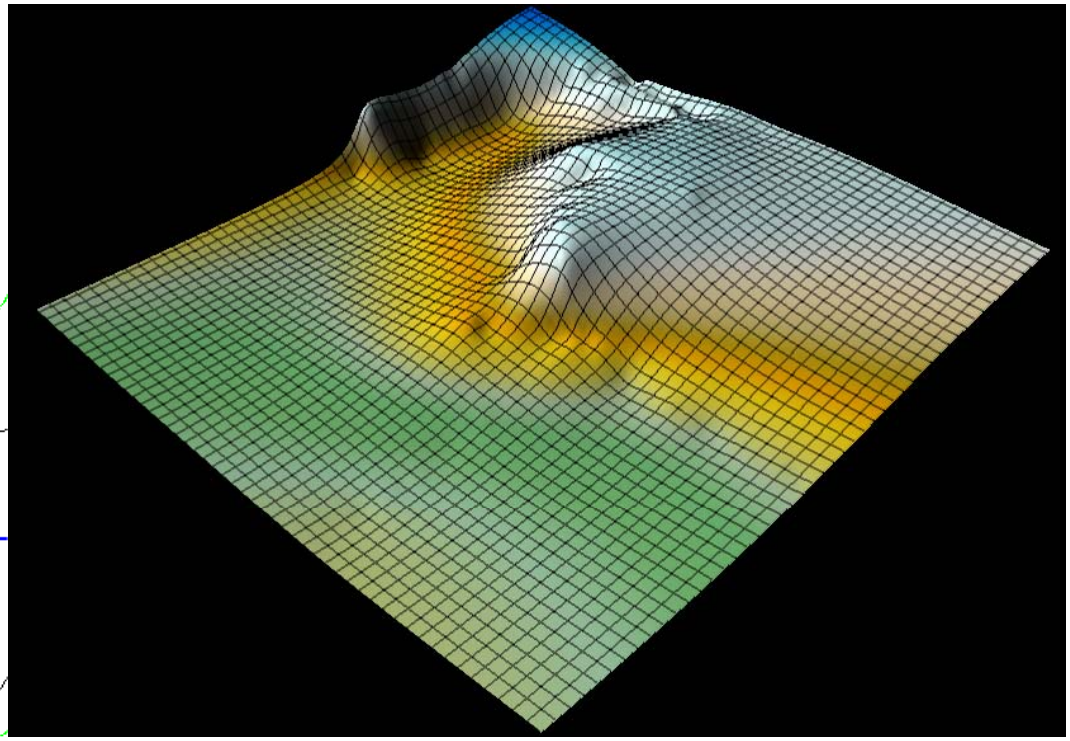


Naponski lijevak (2)

Ekvipotencijalne linije



Trodimenzionalni prikaz

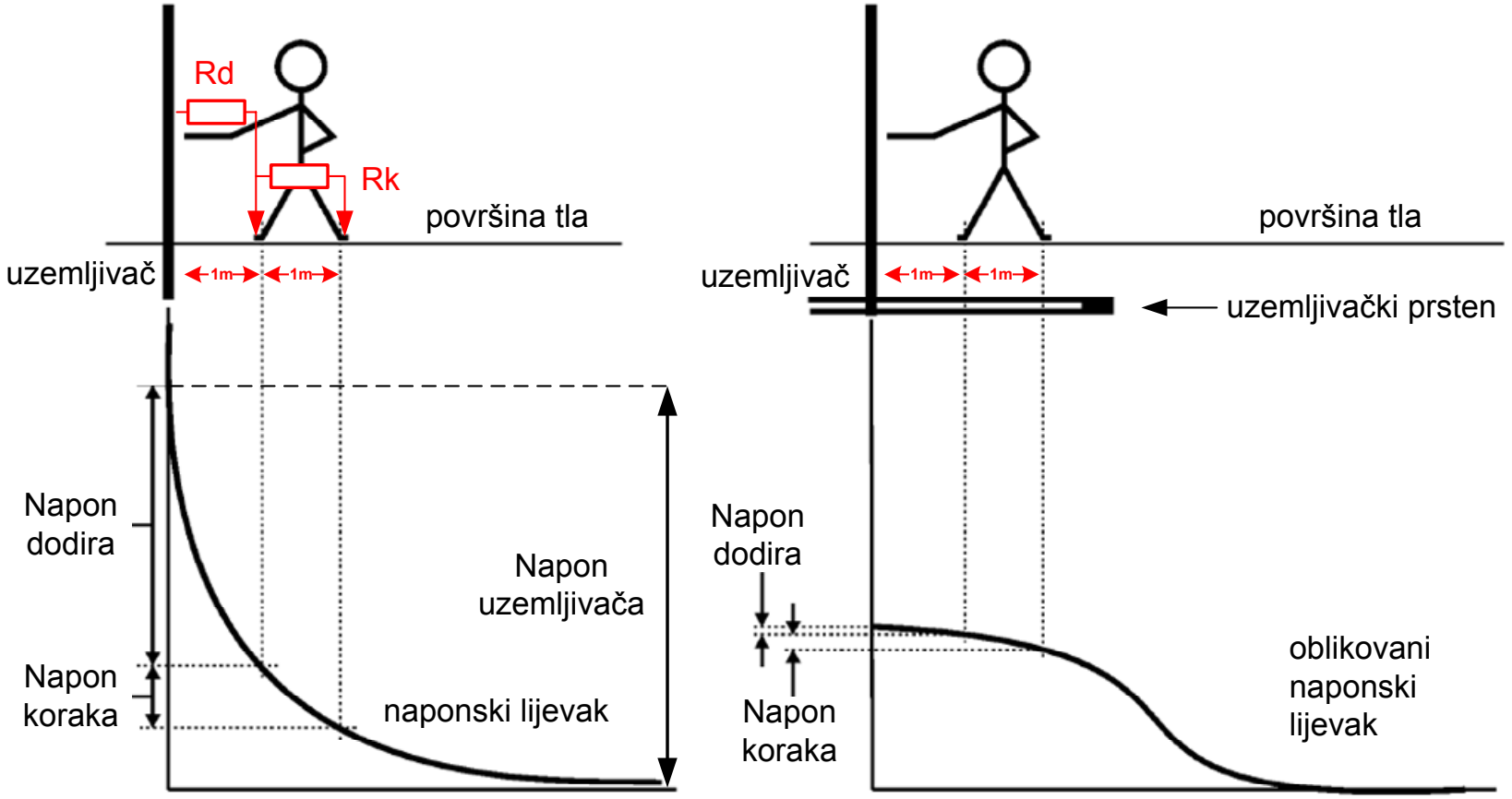


bliže linije → veći napon dodira/koraka

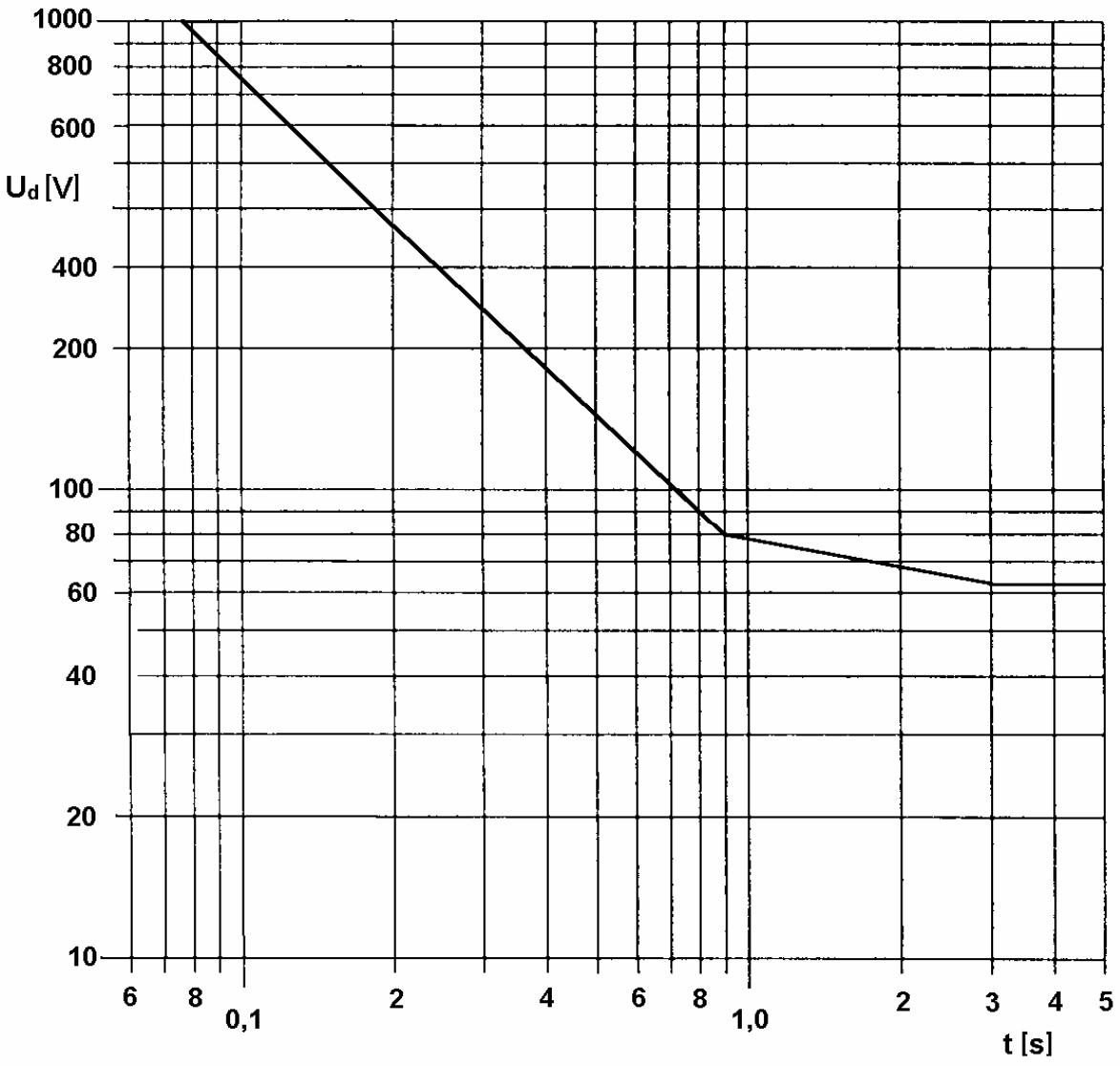
Naponi dodira i koraka (1)

Napon dodira – potencijal između metalnog dijela i stajališta koji se može premostiti dodirom (1m)

Napon koraka – potencijal tla koji se može premostiti korakom (1m)



Naponi dodira i koraka (2)



dozvoljeni napon dodira i koraka tijekom trajanja kratkog spoja

$$U_{d\,(t>3s)} = 65\ V$$

← vrijeme isključenja

Utjecaj struje na ljudsko tijelo

Rd = otpor između ruke i stopala 1 ÷ 2 kΩ
Rk = otpor između dva stopala 2 ÷ 3 kΩ

prosječni otpor → 2 kΩ

Jakost struje	Utjecaj
100 μA	granica osjetljivosti
1÷ 5 mA	osjećaj boli
5 ÷ 10 mA	pojačana bol
10 ÷ 20 mA	izrazita bol, grčenje
30 mA	smetnje disanja
40 ÷ 60 mA	gušenje
75 mA	fibrilacija

Djelovanje groma (1)

Optičko djelovanje → munja

- zračenje vruće plazme (3000ºC)
- svjetlosni promjer 5 – 30 cm
- promjer strujnog kanala 1 mm

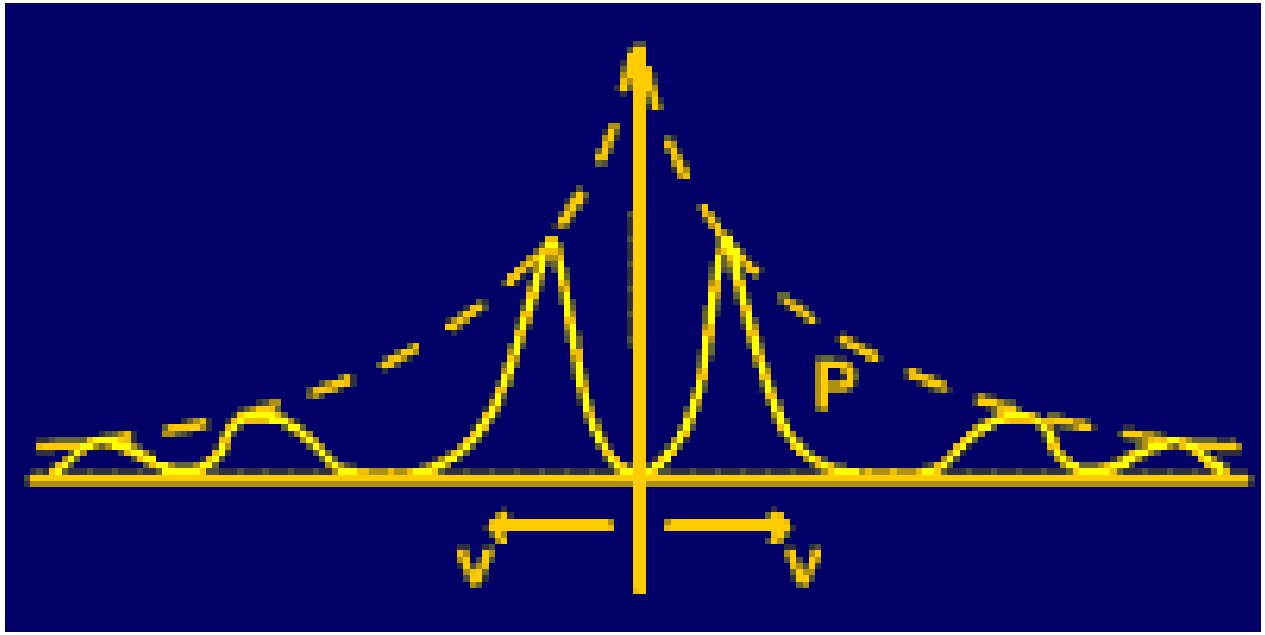
- linijska munja
- trakasta munja
- perlasta munja
- kuglasta munja



Djelovanje groma (2)

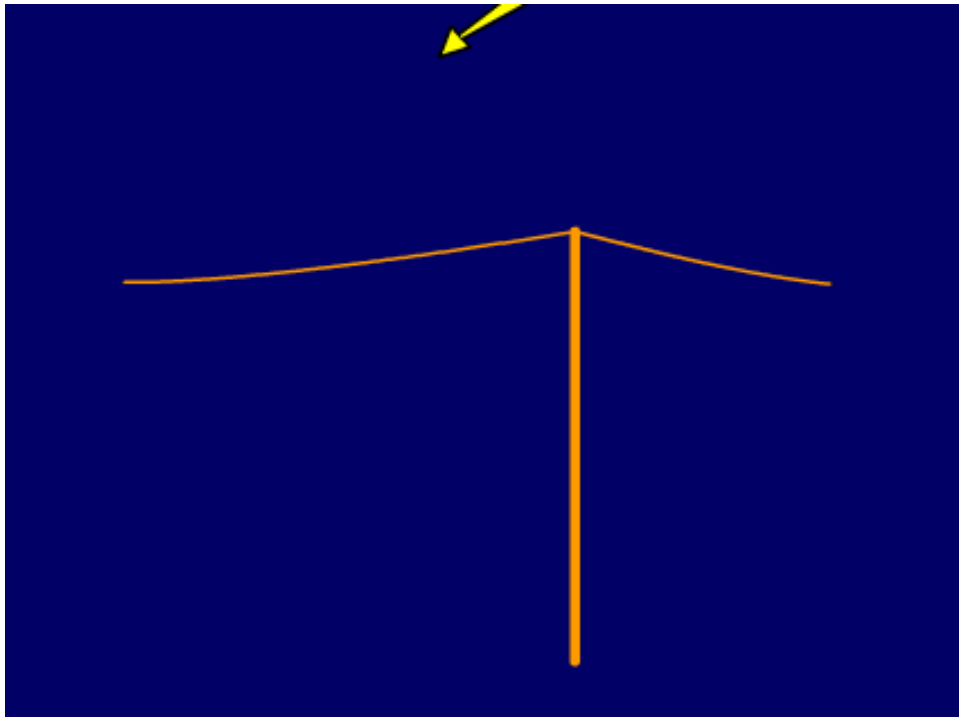
Zvučno djelovanje → grmljavina

- nastaje nakon prestanka toka struje pražnjenja
- oslobađa se tlak plazme → tlačni val
- val se radijalno širi u prostor → zvučni efekt

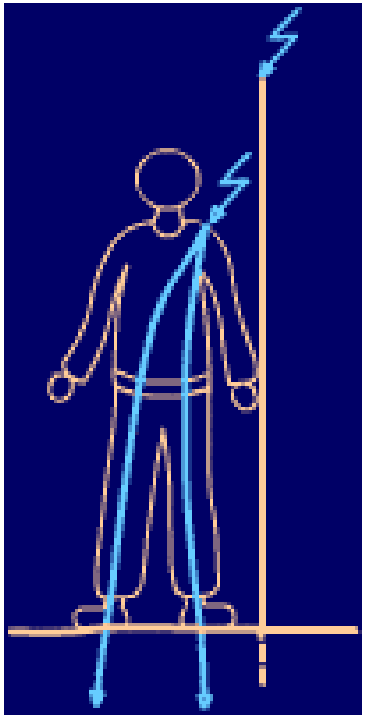


Djelovanje groma (3)

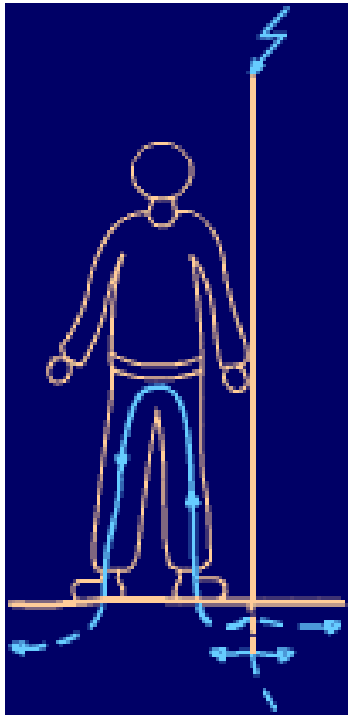
Udar groma u električnu instalaciju



- udarni val se širi instalacijom prema zemlji



preskok



napon dodira i koraka