

1. OZEMLJITVE

- **Ozemljitev** je prevodna zveza med prevodnimi deli, ki jih moramo ozemljiti, in zemljo. Prevodni deli, ki jih ozemljujemo, so najpogosteje izpostavljeni prevodni deli in tuji prevodni deli. V sistemih TN in TT pa ozemljimo tudi eno točko sistema, najpogosteje nevtralno.
- V sistemih zaščite pred previsoko napetostjo dotika (posrednim dotikom) je ozemljevanje naprav eden od temeljnih elementov zaščite, ne glede na uporabljeno vrsto ozemljevanja sistema. Stik z zemljo dosežemo z ozemljilom, izvajamo pa ga z ustreznimi ozemljitvenimi vodi

1.1 OZEMLJILO

- **Ozemljilo** je prevodni del ali skupina prevodnih delov, ki so v zemlji in tako zagotavljajo trajen električni stik.

1.2 ZEMLJA

Zemlja je prevodna masa, pri kateri je električni potencial v katerikoli točki enak nič. Zemlja je lahko obsežen in pomemben vodnik za izenačenje potencialov.

Razlikujemo tri vrste ozemljitev:

- obratovalno,
- zaščitno in
- strelovodno.

1.3 OBRATOVALNA OZEMLJITEV

Obratovalna je ozemljitev dela naprave, ki pripada obratovalnemu tokokrogu. Sem spadajo:

- ozemljitev nevtralne točke transformatorjev (direktno ali prek majhnih upornosti),
- ozemljitev visokonapetostnih navitij napetostnih merilnih transformatorjev,
- ozemljitev kondenzatorjev, usmernikov ipd.

1.4 ZAŠČITNA OZEMLJITEV

Zaščitna je neposredna ozemljitev prevodnih delov naprave, ki ne pripadajo obratovalnemu tokokrogu, torej izpostavljenih prevodnih delov. Uporabljamo jo za zaščito pred previsoko napetostjo dotika. Izpostavljeni prevodni deli naprav so:

- kovinski okrovi (ohišja) električnih aparatov, strojev in naprav,
- kovinski (konstrukcijski) deli razdelilcev, pultov ipd.,
- kovinski plašči in armature kablov, kabelske glave in spojke ipd.

2. OZEMLJILA

Ozemljilo je prevodni del ali skupina prevodnih delov, ki so v zemlji in tako zagotavljajo trajen električni stik (z zemljo). Ker pa prek ozemljila teče v zemljo okvarni tok, želimo, da je ponikalna upornost ozemljila ustrezno majhna. Velikost ozemljitvene upornosti je v posameznih primerih določena s predpisi, odvisna pa je od vrste tal, t.j. specifične upornosti tal, dimenzije in razvrstitve ozemljila.

Dovoljena je uporaba naslednjih vrst ozemljil:

- cevi ali palice,
- trakovi ali žice,
- plošče,
- temeljsko ozemljilo,
- betonska armatura,
- kovinske vodovodne cevi in ostale vkopane konstrukcije pod določenimi pogoji.

Ločimo površinska in globinska ozemljila. Najpogosteje uporabljamo površinska ozemljila, ki so vodoravno položena na globini od 0,5 do 1 m. To je najpogosteje vroče pocinkan železni trak, v zadnjem času pa vse pogosteje uporabljamo temeljsko ozemljilo. Globinska ozemljila tvorijo vertikalno položene cevi ali palice oziroma globlji armiranobetonski temelji in jih redkeje uporabljamo.

Način in vkopno globino ozemljila je treba prilagoditi konkretnim razmeram, tako da sušenje in zmrzovanje tal ne povečata ozemljitvene upornosti nad zahtevano vrednostjo.

V tabeli je podan pregled raznih vrst ozemljil in zahtevane najmanjše dimenzije vroče pocinkanega železa, kajti baker uporabljamo samo v posebnih primerih (npr. agresivna tla).

	Vrsta ozemljila	Najmanjši Prerez mm ²	Najmanjša debelina mm	Opomba
<p>Železo, vroče Pocinkano Z najmanjšo Plastjo Cinka 70µm</p>	Trak	100	1	
	Okrogli polni profil	78	Φ 10	
	Cev	(578)	2	Premer cevi najmanj Φ 25mm
	Profilirani (L,U ali I profil)	100	3	

3. IZRAČUN OZEMLJIL

Izračun ozemljil temelji na izračunu ponikalne upornosti ozemljila, odvisne od vrste oz. sestave tal, dolžino in razvrstitve ozemljila.

3.1 POVRŠINSKA OZEMLJILA

Površinska ozemljila uporabljamo poleg temeljskih najpogosteje. Izvajamo jih z žico, trakovi ali vrvmi; najpogostejša je izvedba s trakovi, vkopanimi v globino med 0,5 in 1 m. Ponikalno upornost površinskega ozemljila izračunamo z enačbo:

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} (\Omega)$$

V enačbi pomenijo:

ρ ... specifično upornost tal v Ωm ,

l ... dolžino ozemljila v m,

d ... premer ozemljila v m.

Pri uporabi trakov polovica širine traku ustreza njegovemu premeru d .

3.1 PRIMER

Izračunajte ponikalno upornost površinskega ozemljila dolžine $l = 36$ m, izdelanega iz vroče pocinkanega železnega valjanca dimenzij 25×4 mm. Specifična upornost tal je $100 \Omega\text{m}$. Ponikalna upornost ozemljila je:

$$R = \frac{100}{\pi \cdot 36} \cdot \ln \frac{2 \cdot 36}{0,00125} = 7,6 \Omega$$

3.2 VERTIKALNO VKOPANA OZEMLJILA

Vertikalno vkopana ali paličasta ozemljila uporabljamo predvsem tam, kjer ne potrebujemo nizkih ponikalnih upornosti.

Najpogosteje jih izvajamo z jeklenimi vroče pocinkanimi cevmi dolžine od 1 do 3 m.

Ponikalno upornost vertikalno vkopanega ozemljila izračunamo po enačbi:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} (\Omega)$$

V enačbi pomenijo:

ρ ... specifično upornost tal v Ωm ,

l ... dolžino ozemljila v m,

d ... premer cevi v m.

3.2 PRIMER

Izračunajte ponikalno upornost paličastega ozemljila dolžine $l = 3$ m, izdelanega iz vroče pocinkane cevi $1\frac{1}{2}$ ". Specifična upornost tal je $100 \Omega\text{m}$. ($1'' = 25,4$ mm)

Ponikalna upornost ozemljila je:

$$R = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3}{0,038} = 30,5 \Omega$$

3.3 OBROČASTA OZEMLJILA

Doslej smo za ozemljevanje zgradb najpogosteje uporabljali obročasta ozemljila v obliki pravokotnika, narejenega iz vroče pocinkanega železnega traku, ki je obkrožal objekt. Taka oblika ozemljil je zelo prikladna za priključevanje strelovodnih instalacij. Ponikalno upornost obročastega ozemljila izračunamo po enačbi:

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{d} (\Omega)$$

V enačbi pomenijo:

ρ ... specifično upornost tal v Ωm ,

l ... dolžino ozemljila v m,

d ... premer vodnika v m (pri traku: polovica širine).

3.3 PRIMER

Izračunajte ponikalno upornost obročastega ozemljila objekta s talno ploskvijo 8 x 10m. Specifična upornost tal je 100 Ωm. Uporabimo vroče pocinkan valjanec dimenzij 25 x 4 mm. Vkopljemo ga v globino 0,8m na razdalji 1m od zidu stavbe.

Ponikalna upornost ozemljila je:

$$R = \frac{100}{\pi \cdot 44} \cdot \ln \frac{2 \cdot 44}{0,0125} = 6,5 \Omega$$

3.4 TEMELJSKO OZEMLJILO

Temeljsko ozemljilo najpogosteje uporabljamo v strnjenih naseljih, kjer se stavbe dotikajo, pa za obročasta ozemljila tudi ni več prostora. Ta ozemljila so izredno učinkovita, kajti beton, v katerem so, jih ščiti pred korozijo, sočasno pa je beton vedno vlažen in tako ustvarja dober stik z zemljo. So ekonomična in njihova trajnost je praktično neomejena.

Ponikalno upornost temeljskega ozemljila izračunamo po enačbi:

$$R = \frac{2 \cdot \rho}{\pi \cdot D} (\Omega)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot l \cdot b}{\pi}} (m)$$

V enačbi pomenijo:

ρ ... specifično upornost tal v Ωm ,

D ... premer nadomestnega ozemljila v krožni obliki v m,

l ... dolžino temeljskega ozemljila v m,

b ... širino temeljskega ozemljila v m.

3.4 PRIMER

Izračunajte ponikalno upornost vroče pocinkanega železnega traku, ki je v betonskem temelju stavbe dimenzij 10 x 8 mm. Specifična upornost tal je 200 Ωm .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 10 \cdot 8}{\pi}} = 10\text{m}$$

$$R = \frac{2 \cdot 200}{\pi \cdot 10} = 12,8(\Omega)$$

4. SPECIFIČNA UPORNOST TAL

Specifično upornost podajamo z enačbo:

$$R = \frac{\Omega \cdot m^2}{m} = \Omega \cdot m$$

Vrsta tal, vode in drugih snovi	Specifična upornost v Ωm
Morska voda	0,56
Voda v jezerih in rekah	10 – 100
Močvirje	10 – 100
Orna zemlja	90 – 150
Droben vlažen pesek	90 – 150
Vlažen prod	200 – 400
Droben suh pesek	500
Suh prod	1000 – 2000
Kamnita tla	100 – 3000
Apno	500 – 1000
Beton	150 – 500

5. OZEMLJITVENI VODI

Ozemljitveni vodnik je zaščitni vodnik, ki povezuje glavno ozemljitveno sponko z ozemljilom.

Glavna ozemljitvena sponka je sponka, namenjena za povezavo zaščitnih vodnikov; vodnikov za izenačenje potencialov in vodnikov za obratovalno ozemljitev, če obstaja.

Ozemljitveni vodi so lahko izolirani in neizolirani ter mehansko zaščiteni; od tega je odvisen tudi minimalni prerez voda.

Ozemljitveni vod mora ustrezati določbam standarda za zaščitni vodnik, če je vkopan, mora njegov prerez ustrezati naslednjim vrednostim

	Mehansko zaščiten	Mehansko nezaščiten
Izoliran	Enako kot zaščitni vodnik	16 mm ² Cu 16 mm ² Fe
Neizoliran	25 mm ² Cu 50 mm ² Fe vroče pocinkano Trak 100 mm ² Fe najmanjše debeline 3mm, vroče pocinkan	

Standard, ki obravnava ozemljitve, zahteva, da se mora v vsaki inštalaciji predvideti en glavni ozemljitveni priključek ali ozemljitvena zbiralka, na katero se povežejo:

- ozemljitveni vodi,
- zaščitni vodniki (PE-vodniki),
- zaščitno-nevtralni vodniki (PEN-vodniki) pri sistemu TN,
- glavni vodniki za izenačevanje potencialov,
- vodniki za obratovalno ozemljitev, če uporabljeni sistem ozemljitve to zahteva, in
- strelovodna inštalacija.

Ker je tu posebej naveden vodnik za obratovalno ozemljitev (če obstaja), moramo posebej poudariti, da uvrščamo med ozemljitvene vode tudi tiste, ki povezujejo npr. zaščitno ozemljitev, dodatna ozemljila (npr. vodovodne cevi), ozemljitev telekomunikacijskih naprav ipd.

6. ZAŠČITNI VODNIKI

Zaščitni vodnik ali PE-vodnik, kot ga imenujemo, je tisti ki ga zahtevajo zaščitni ukrepi pred električnim udarom, za električno povezavo izpostavljenih prevodnih delov, tujih prevodnih delov, glavne ozemljitvene sponke (ozemljitvene zbiralke), ozemljila, ozemljene točke napajalnega vira ali umetne nevtralne točke.

Zaradi izjemne pomembnosti zaščitnih vodnikov v sistemu zaščit morajo biti zaščitni vodniki skrbno položeni, da niso izpostavljeni zunanjim vplivom (mehanskim, kemičnim in elektrodinamičnim). **V tokokrog zaščitnega vodnika ne sme biti vgrajen noben aparat (npr. stikalo, merilna ali sprožilna tuljavica ipd.).** Izpostavljeni prevodni deli opreme, ki morajo biti povezani z zaščitnim vodnikom, ne smejo biti vezani zaporedno v zaščitni tokokrog. Spoji morajo biti dostopni zaradi preverjanja in preskušanja.

Kot zaščitne vodnike lahko uporabimo:

- vodnike v več žilnih kabljih,
- gole ali izolirane vodnike v skupnem kanalu, inštalacijskem kanalu ali cevi z vodniki,
- posebne izolirane ali gole vodnike,
- kovinske obloge, npr. oplete, zaslone, armature itd. nekaterih kablov,
- kovinske inštalacijske cevi ali kanale in
- določene tuje prevodne dele.

Prerez faznega vodnika S v mm^2	Najmanjši prerez zaščitnega vodnika S_p v mm^2	Ozemljitveni sistemi
$S \leq 10$	S	Sistemi IT z izklopom ob prvi okvari
$S > 10$	10	
$S \leq 16$	S	Ostali sistemi
$16 < S \leq 35$	16	
$S > 35$	$S/2$	

7. ZAŠČITNO NEVTRALNI VODNIKI

Zaščitno-nevtralni vodnik (PEN-vodnik) je ozemljeni vodnik, v katerem so združene funkcije| zaščitnega in nevtralnega vodnika.

V TN-sistemih je lahko vloga zaščitnega in nevtralnega vodnika združena, če gre za trajno položene bakrene vodnike prereza najmanj 10 mm^2 (oziroma 16 mm^2 za Al) in če ta del inštalacije ni zaščiten z napravo za diferenčni tok.

Višje prereze PEN-vodnika od 10 mm^2 , če je bakren, oziroma 16 mm^2 , če je aluminijast, določimo pod enakimi pogoji kot zaščitne (PE) vodnike, torej uporabimo naslednjo tabelo.

PEN-vodnik mora biti izoliran enako kot fazni vodniki, brez izolacije je lahko samo znotraj stikalnih naprav.

V TN-C-S-sistemu se v določeni točki električne inštalacije ločita funkciji zaščitnega in nevtralnega vodnika (PEN-vodnik se cepi v PE-vodnik in N-vodnik). Za ločitveno točko ju ne smemo več povezati. N-vodnik se loči od PEN-vodnika.

Nevtralnega vodnika po ločitvi ne smemo več ozemljiti. Na mestu ločitve (npr. v razdelilniku) morajo biti posebne sponke za zaščitni in nevtralni vodnik. PEN-vodnik moramo priključiti na označeno sponko ali zbiralko za zaščitni vodnik. Iz navedenega sledi, da uporabljajo za N-vodnike lahko samo izolirane sponke (npr. vrstne sponke).

Nazivni prerezi

	Zaščitni ali PEN-vodnik		Zaščitni vodnik ločeno polagan		
Fazni vodniki mm ²	Izolirani Energetski vodi mm ²	0,6/1kV kabli z 4 vodniki mm ²	Zaščitni		Nezaščitni
			Cu (mm ²)	Al (mm ²)	Cu (mm ²)
1,5	1,5	1,5	2,5	4	4
2,5	2,5	2,5	2,5	4	4
4	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6
10	10	10	10	10	10
16	16	16	16	16	16
25	16	16	16	16	16
35	16	16	16	16	16
50	25	25	25	25	25
70	35	35	35	35	35
95	50	50	50	50	50
120	70	70	50	50	50
150	70	70	50	50	50
185	95	95	50	50	50

8. SISTEM ZAŠČITE PRED DELOVANJEM STRELE

Klasične strelovodne inštalacije za zaščito objektov že dolgo ne zadostujejo, saj je razvoj elektronike v vsakdanje človekovo delo vključil veliko, predvsem na elektromagnetne učinke občutljivih naprav, ki jih je potrebno ščititi. Nahajajo se znotraj ščitene objekta. Z novimi predpisi pri načrtovanju sistema zaščite pred delovanjem strele sta predvidena dva sistema: zunanji in notranji, ki šele skupaj zagotavljata celovito zaščito.

- Zunanji sistem zaščite pred delovanjem strele tvorijo lovilni sistem, sistem strelovodnih odvodov in ozemljitveni sistem.
- Notranji sistem zaščite pred delovanjem strele tvorijo predvsem sistemi za izenačenje potencialov in prenapetostna zaščita.

S sistemom zaščite pred delovanjem strele varujemo predvsem:

- Visoke zgradbe, tovarniške dimnike, silose in druge objekte, ki so precej višji od okolice;
- objekte za predelavo lesa, mline, tovarne in skladišča barv, lakov, razstreliv, vnetljivih tekočin in plinov ter druge objekte, ki so lahko vnetljivi ali v katerih lahko pride do požara ali eksplozije;
- objekte, kjer se zbira ali prebiva večje število ljudi, kot npr.: gledališča, kino dvorane, športne in druge dvorane, cirkusi, razstavišča, veleblagovnice, bolnice, zdravstveni domovi, šole, vojašnice, velike stanovanjske hiše ipd.;
- Objekte, ki pomenijo posebno kulturno, zgodovinsko ali gospodarsko vrednost, kot npr.: muzeji, knjižnice, spomeniki, elektrarne, transformatorske postaje s (transformatorji nad 1000kVA), itd.

Zaščitni nivoji sistema zaščite:

Zaščitni nivo	Učinkovitost sistema zaščite pred delovanjem strele
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

8.1 NAČRTOVANJE ZUNANJEGA SISTEMA ZAŠČITE PRED DELOVANJEM STRELE

Zunanji sistem zaščite pred delovanjem strele je namenjen preprežanju strele in vodenju razelektritvenega toka od točke udara strele do zemlje in porazdelitvi v zemlji brez termičnih in mehanskih poškodb na objektu, ki ga ščitimo.

Zunanji sistem zaščite pred delovanjem strele tvorijo naslednji sistemi:

- lovilni,
- odvodniški in
- ozemljitveni.

Lovilni sistem na ščitenem objektu je lahko sestavljen iz poljubne kombinacije naslednjih elementov:

- Paličnih lovilcev,
- Napete žice,
- Lovilne mreže.

Palične lovilce uporabljamo predvsem na visokih in ozkih objektih, kot so npr. razni drogovi, dimniki, stolpi... Od dimenzij objekta je odvisno, ali jih je potrebno namestiti več.

Napete lovilne vodnike, najpogosteje so to horizontalni in poševni, uporabljamo pri manjših objektih, kot so manjše stanovanjske hiše, manjša gospodarska poslopja ipd...

Lovilne mreže uporabljamo pri obsežnih objektih, npr. velikih stanovanjskih, poslovnih in javnih zgradbah, bolnišnicah ipd.; gostota mreže je odvisna od zaščitnega nivoja.

Velikost kota, ki opredeljuje ščitni prostor v odvisnosti od višine namestitve lovilnega sistema s paličnimi ali vodniškimi lovilci in od zaščitnega nivoja.

Zaščitni nivo	Višina namestitve lovilnega sistema h v metrih			
	20	30	45	60
	Velikost zaščitnega kota v stopinjah			
I	25	*	*	*
II	35	25	*	*
III	45	35	25	*
IV	55	45	35	25

Velikost stranic zaščitne lovilne mreže v odvisnosti od zaščitnega nivoja.

Zaščitni nivo	Velikost zanke lovilne mreže
I	5
II	10
III	15
IV	20

8.2 PRIMER

Določite velikost ščitenega prostora, če kot lovilec uporabite 20m visok drog?

Ščiteni prostor spada v III. zaščitni nivo.

Ščiteni prostor ima obliko stožca, visokega 20m in z osnovno ploskvijo premera 2b.

Po podatkih je zaščitni kot 45° .

Polmer osnovne ploskve stožca je:

$$b = h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 20 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 20 \cdot 1 = 20m$$

Ploščina osnovne ploskve je :

$$A = \pi \cdot b^2 = \pi \cdot 20^2 = 1256m^2$$

Najmanjše dimenzije vodnikov lovilnega sistema!

Zaščitni nivo	Material	Najmanjša debelina vodnika v mm	Najmanjši prerez vodnika v mm ²
I – IV	Cu	Φ 6	35
	Al	Φ 10 (3,5 – trak)	70
	Fe	Φ 8 (3 – trak)	50

Odvodniški sistem je nameščen med lovilnim in ozemljitvenim sistemom, da zagotavlja toku strele najkrajšo pot. Sistem tvori več vzporednih tokovnih poti – vodnikov, ki zmanjšujejo možnost nastanka iskrenja. Povprečna razdalja med odvodniškimi vodniki v odvisnosti od zaščitnega nivoja.

Zaščitni nivo	Povprečna razdalja v metrih
I	10
II	15
III	20
IV	25

Najmanjše dimenzije vodnikov odvodniškega sistema!

Zaščitni nivo	Material	Najmanjša debelina vodnika v mm	Najmanjši prerez vodnika v mm ²
I – IV	Cu	Φ 6	16
	Al	Φ 10 (3,5 – trak)	25
	Fe	Φ 8 (3 – trak)	30