

ZAŠTITNE MJERE KOD PRIMJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

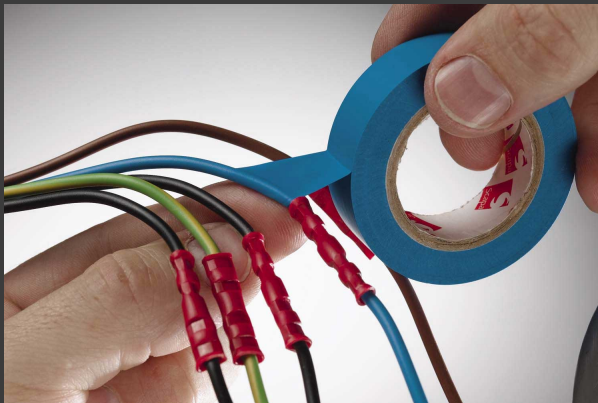
Neven Baničević
šk. 2025/2026

UVOD

- ⊙ Znaete li kada je počela veća primjena električne energije?
 - krajem 19. stoljeća
- ⊙ Kada je zabilježen prvi smrtni slučaj od udara električne energije?
 - 1880. – ložač na ruskoj jahti je uhvatio grlo rasvjetnog tijela i poginuo.
- ⊙ Bez obzira na stručnost ili osposobljenost, možemo reći da danas svaki čovjek dolazi u doticaj s električnom energijom.
- ⊙ Zbog toga je prilično velik postotak ozljeda uzrokovanih električnom strujom.
- ⊙ Uzroci nesreća?
 - često nepravilna upotreba ili upotreba neispravnih aparata i instalacija.

ZAŠTITNE MJERE

- Prve zaštitne mjere od strujnog udara zasnivale su se na sprječavanju dodira dijelova pod naponom.
- Danas takvu zaštitu nazivamo **osnovna zaštita (zaštita od izravnog ili direktnog dodira)**
- Najčešće se ostvaruje izoliranjem i pokrovima.



- Što je problem kod ove, osnovne, zaštite?

ZAŠTITNE MJERE

- Zbog utjecaja okoline i zbog starenja na izolaciji može nastupiti kvar što ima za posljedicu pojavu opasnih napona na metalnim kućištima naprava.
- Zato se ubrzo ukazala potreba za uvođenjem **zaštite od neizravnog (indirektnog) dodira**.
- Zaštita od neizravnog dodira, tj. od dodira dijelova koji su pod napon došli radi kvara.
- To je tzv. drugi zaštitni nivo koji najčešće ostvarujemo automatskim isključenjem napajanja i dodatnom izolacijom (npr. kućište od izolacijskog materijala).
- Može li zakazati i ovaj drugi nivo zaštite?

ZAŠTITNE MJERE

- ⦿ Ako kojim slučajem zakaže drugi nivo zaštite:
 - prekid zaštitnog vodiča,
 - pad sušila za kosu u kadu s vodom
- ⦿ Trebamo **treći zaštitni nivo**.
- ⦿ Treći zaštitni nivo provodi se efikasnim uređajima za brzo isključivanje, zaštitnim uređajima diferencijalne struje.
- ⦿ Zaštitni uređaji diferencijalne struje (ZUDS ili FID sklopke) nužni su sigurnosni uređaji u električnim instalacijama koji trenutno isključuju strujni krug pri pojavi struje greške (curenja).

ZAŠTITNE MJERE

- ⦿ Da ponovimo:

Zaštitu od udara električne struje možemo podijeliti u 3 stupnja:

- OSNOVNA ZAŠTITA (zaštita od izravnog dodira)
 - ZAŠTITA OD KVARA (zaštita od neizravnog dodira)
 - DODATNA ZAŠTITA (ZUDS i FID sklopke)
- ⦿ Danas praktički upotrebljavamo sva tri nivoa zaštite.

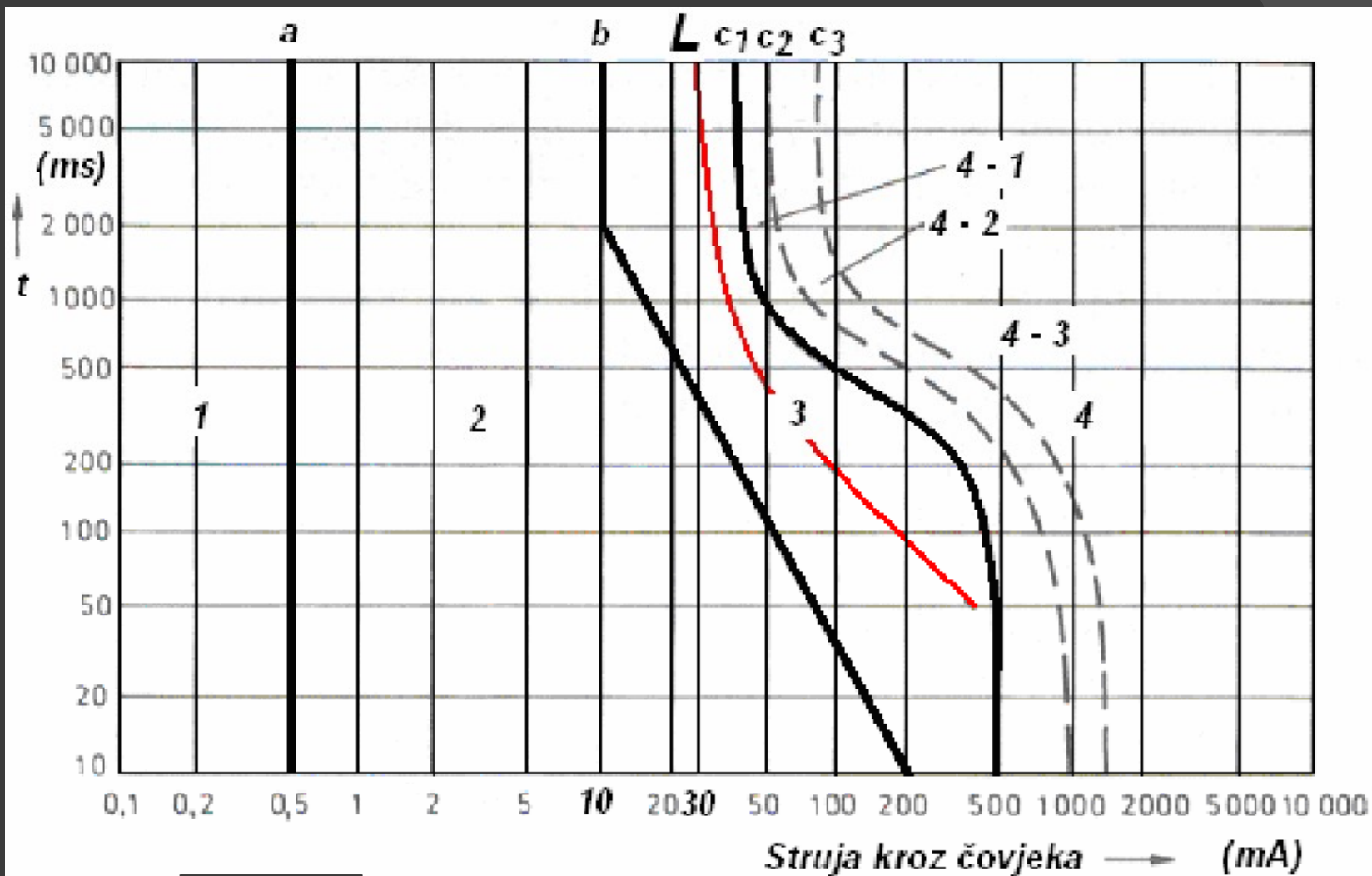
DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE NA LJUDSKO TIJELO

- ⦿ Električni udar je patofiziološki efekt koji nastaje prilikom prolaza električne struje kroz ljudsko ili životinjsko tijelo. Električna struja, prolazeći kroz ljudski organizam, djeluje na sljedeće načine:
 - **TOPLINSKI** - pri čemu se tijelo zagrijava, naročito na mjestu ulaza i izlaza struje iz tijela, do te mjere da nastaju teške vanjske i unutrašnje opekline
 - **MEHANIČKI** - jer za vrijeme prolaza struje kroz tijelo dolazi do grčenja mišića, što može izazvati kidanje krvnih žila, živaca, pa čak i lomove kostiju
 - **KEMIJSKI** - jer električna struja, prolazeći kroz krv, elektrolitički rastvara krvnu plazmu
 - **BIOLOŠKI** - što se očituje grčenjem mišićnog tkiva, paralizom disanja, grčevima krvotoka, treperenjem srčanih klijetki i nepovoljnim utjecajem na živčani sustav.
- ⦿ Sva ova djelovanja mogu dovesti do lakših i težih ozljeda čovjeka, pa čak izazvati i smrt,

DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE NA LJUDSKO TIJELO

- Fiziološko djelovanje električnih struja raznih jakosti na ljudski organizam su prikazani u sljedećem pregledu:
 - **12 - 15 mA** - ruke se teško odvajaju od elektroda, snažni bolovi u prstima i rukama, bol se može trpjeti 5-10 sekundi
 - **20 - 25 mA** - paraliza ruku, veoma jaki bolovi, otežano disanje
 - **50 - 80 mA** - paraliza disanja, početak treperenja srčanih klijetki
 - **80 -100 mA** - paraliza disanja, paraliza rada srca
 - **iznad 3.000 mA** - paraliza disanja i rada srca pri djelovanju duljem od 0,1 sekunde, razaranje tkiva toplinskim djelovanjem struje.
- Ovi podaci odnose se na prolaz izmjenične struje 50 Hz.

DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE NA LJUDSKO TIJELO



Utjecaj električne struje na ljudski organizam

DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE NA LJUDSKO TIJELO

- Dijagram se odnosi na izmjeničnu struju frekvencije 15 - 100 Hz te za put struje od lijeve ruke prema objema nogama.
- Označena područja:
 - 1 - područje gdje nema reakcije (prag osjetljivosti je 0,5 mA)
 - 2 - nema fiziološki opasnog djelovanja
 - 3 - povećanje krvnog tlaka, opasnost fibrilacije srca postoji, ali je vrlo mala
 - 4 - opasnost fibrilacije srca je vrlo vjerojatna i to:
 - 4-1 - opasnost fibrilacije srca je ispod 5 % vjerojatnosti
 - 4-2 - opasnost fibrilacije srca je ispod 50 % vjerojatnosti
 - 4-3 - opasnost fibrilacije srca je iznad 50 % vjerojatnosti
- Unutar područja 3 nalazi se konvencionalna krivulja (L) koja predstavlja preporučenu granicu opasnosti, uzimajući u obzir jakost struje i dozvoljeno vrijeme njezinog protjecanja kroz ljudsko tijelo.

DJELOVANJE ELEKTRIČNE STRUJE NA LJUDSKO TIJELO

- ⦿ Ta krivulja predstavlja osnovu za izbor zaštitnih mjera od strujnih udara.
- ⦿ Na osnovi toga možemo zaključiti da je **30 mA** najveća struja koja neće ugroziti čovjeka bez obzira na vrijeme njezina protjecanja.
- ⦿ Struja od **10 mA** naziva se **otpuštajuća struja** jer se kod te jakosti čovjek još može snagom svojih mišića osloboditi iz strujnog kruga (za 50 Hz).

IZVORI OPASNOSTI OD ELEKTRIČNE ENERGIJE

- ⦿ Najčešći izvori opasnosti od električne energije u električnim instalacijama nastaju kao posljedica
 - previsokog napona dodira uslijed **izravnog (direktnog) dodira** vodljivih dijelova električnih instalacija, uređaja, opreme i sl., koji su pod naponom,
 - **neizravnog (indirektnog) dodira.**
- ⦿ Međutim, treba imati na umu i druge vrste opasnosti koje nam prijete kod primjene električne energije:
 - Opasnost od električnog luka
 - Inducirani naponi
 - Zaostali naboji
 - Opasnost od kratkog spoja
 - Opasnost od približavanja vodičima visokog napona
 - Prijenos potencijala iz VN mreže u mrežu i instalaciju NN mreže
 - Opasnost od atmosferskih i sklopnih prenapona
 - Utjecaji električnih i magnetskih polja

IZVORI OPASNOSTI OD ELEKTRIČNE ENERGIJE

INDUCIRANI NAPONI

- Kod rada u blizini visokonaponskog postrojenja ili u postrojenjima gdje, zbog tehnološkog procesa, teku struje izvanredno velike jakosti, postoji opasnost od induciranih napona.
- Inducirani naponi mogu biti izazvani i elektrostatičkim ili elektromagnetskim utjecajima.
- Inducirani naponi mogu se pojaviti i na vozilima, cisternama i dizalicama koje se nalaze u visokonaponskim postrojenjima.
- Zaštita od induciranih napona izvodi se uzemljenjem vodiča na mjestu rada.
- Sva vozila u visokonaponskom postrojenju također se moraju uzemljiti.

IZVORI OPASNOSTI OD ELEKTRIČNE ENERGIJE ZAOŠTALI NABOJ

- ⦿ Zbog zaostalog naboja na kondenzatoru (i do 10 %) nakon pražnjenja, može preostali napon na njemu biti vrlo opasan za čovjeka.
- ⦿ Slična opasnost prijeti nam kod kabela te transformatora velikih snaga.
- ⦿ Preporučena energija koja, nakon izbivanja, ne bi bila opasna za čovjeka je 350 mJ.
- ⦿ Eliminiranje ove opasnosti je relativno jednostavno, tj. uzemljenje aktivnih vodiča da se električni naboj odvede u zemlju.

IZVORI OPASNOSTI OD ELEKTRIČNE ENERGIJE

OPASNOST OD PRIBLIŽAVANJA VODIČIMA VISOKOG NAPONA

- Kod postrojenja visokog napona vrlo je opasno ne samo dodirivanje vodiča, već i približavanje vodičima pod naponom na određenu kritičnu udaljenost.
- Pri nekoj kritičnoj udaljenosti doći će do električnog proboja zraka, nastat će električna iskra, a može doći i do stvaranja električnog luka.
- Struja će tada poteći kroz vodljivi zrak te kroz čovjeka u zemlju. S obzirom na visoke napone i struje su relativno velike, pa mogu nastati teške i smrtne ozljede čovjeka.
- Zaštita se zasniva na dopuštenim razmacima između čovjeka i vodiča, tj. na sprječavanju ulaska čovjeka u zonu opasnosti.

NAPONSKI OPSEZI I GRANICE OPASNIH NAPONA DODIRA

Za instalacije u zgradama razlikujemo dva naponska područja:

- ◎ **Naponsko područje I** obuhvaća:

- instalacije u kojima se zaštita od strujnog udara postiže primjenom dovoljno niskog (malog) napona,
- instalacije u kojima je visina napona ograničena iz funkcionalnih razloga (npr. telekomunikacije, signalizacija, alarmni sustavi)

- ◎ **Naponsko područje II** obuhvaća:

- instalacije za kućanstva, trgovine, javne ustanove, industriju i slično.

NAPONSKI OPSEZI I GRANICE OPASNIH NAPONA DODIRA

Naponski opsezi izmjeničnih (AC) sustava

Naponsko područje	Uzemljeni sustavi		Izolirani ili posredno uzemljeni sustavi
	Napon između faze i zemlje (V)	Napon između faza (V)	Napon između faza (V)
I	$U \leq 50$	$U \leq 50$	$U \leq 50$
II	$50 < U \leq 600$	$50 < U \leq 1000$	$50 < U \leq 1000$

Naponski opsezi istosmjernih (DC) sustava

Naponsko područje	Uzemljeni sustavi		Izolirani ili posredno uzemljeni sustavi
	Napon između pola i zemlje (V)	Napon između polova (V)	Napon između polova (V)
I	$U \leq 120$	$U \leq 120$	$U \leq 120$
II	$120 < U \leq 900$	$120 < U \leq 1500$	$50 < U \leq 1500$

U - nazivni napon instalacije

SUSTAVI NISKONAPONSKIH MREŽA I VRSTE UZEMLJENJA

Neven Baničević
šk. 2025/2026

SUSTAVI NISKONAPONSKIH MREŽA

- ⊙ Sustav zaštite od udara električne struje bitno zavisi o tipu razdjelnog sustava.
- ⊙ Koliko tipova NN mreža razlikujemo?
 - Tri. Koji su to?
 - TN, TT i IT.
- ⊙ S obzirom na uvjete i postavljene zahtjeve, pojedini tipovi sustava, najčešće se upotrebljavaju:
 - TN - u industriji, stambenim, poslovnim i sličnim zgradama,
 - TT - u poljoprivredi, gradilištima, te poslovnim stambenim i sličnim zgradama,
 - IT - u rudnicima, željezarama, kemijskoj industriji, na brodovima, elektranama, vojnim objektima, bolnicama, rezervnim sustavima napajanja, upravljačkim krugovima, itd.

VRSTE UZEMLJENJA

- Pod zemljom (Earth) podrazumijevamo vodljive mase u zemlji (ili zemlju), kod kojih je električni potencijal u bilo kojoj točki jednak nuli.
- Pod pojmom uzemljenja podrazumijeva se povezivanje vodljivih dijelova iznad zemlje sa zemljom.
- Na taj način se potencijal uzemljenog dijela postrojenja drži na potencijalu zemlje (osim za vrijeme kvara). To se izvodi pomoću različitih vrsta uzemljivača ukopanih u zemlju.
- Uzemljivač, odnosno uzemljivački sustav, je skup međusobno povezanih metalnih dijelova koji se nalaze u zemlji i ostvaruju električnu vodljivu (što bolju) vezu uzemljenih dijelova postrojenja sa zemljom.
- Zemljovod je vod između dijelova postrojenja koje se uzemljuje i uzemljivača, postavljen izvan zemlje ili izolirano u zemlji

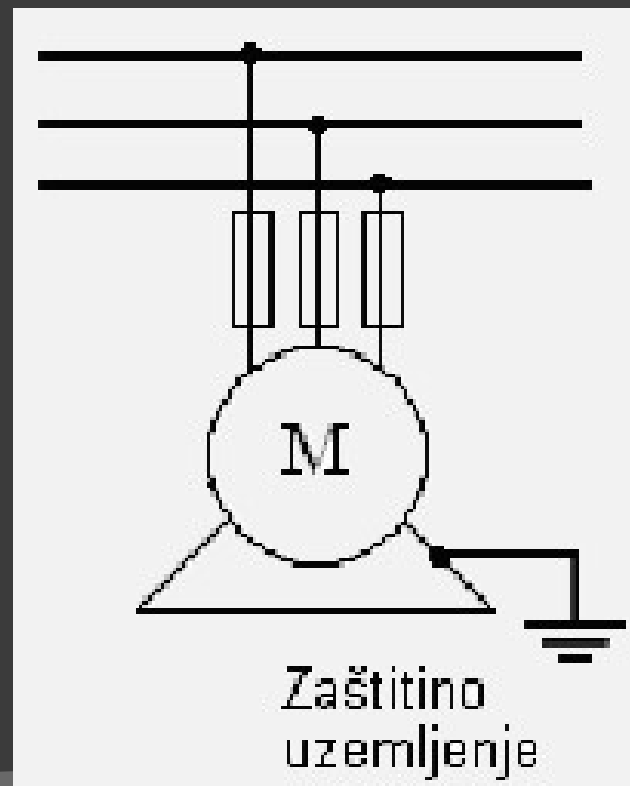
VRSTE UZEMLJENJA

Razlikujemo tri vrste uzemljenja;

- ⦿ pogonsko (radno)
- ⦿ gromobransko (odvodničko)
- ⦿ Zaštitno uzemljenje

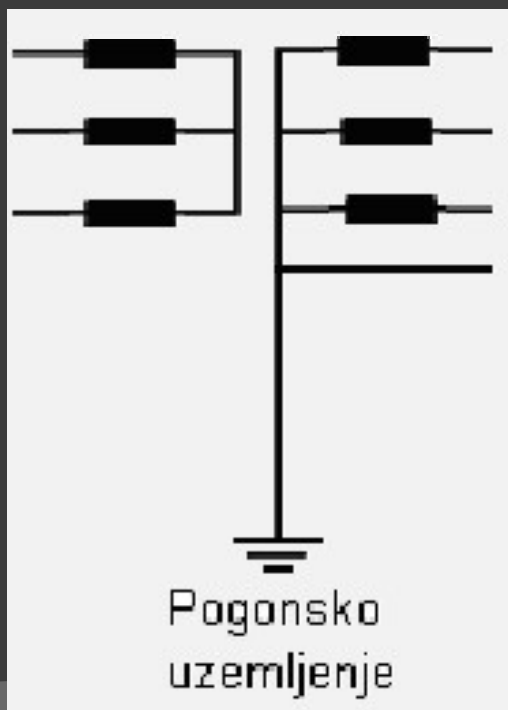
VRSTE UZEMLJENJA

- **Zaštitno uzemljenje** je uzemljenje izloženih vodljivih dijelova el. uređaja, koji nisu dio strujnog kruga, a na dohvatu su čovjeka.



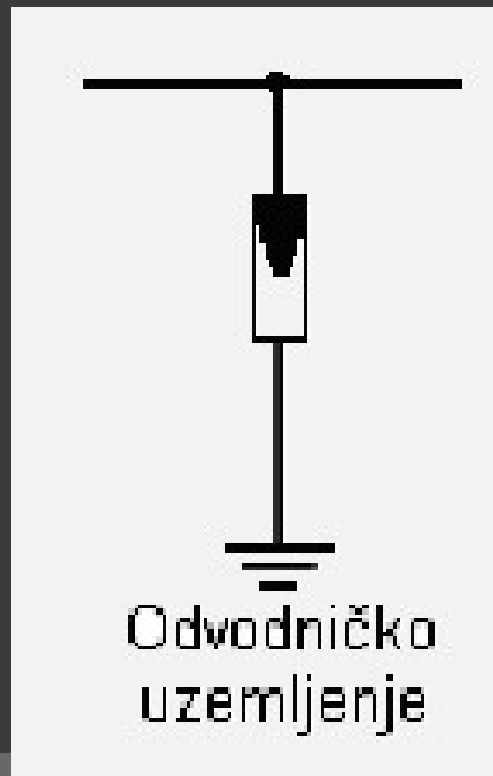
VRSTE UZEMLJENJA

- ⦿ **Radno (pogonsko) uzemljenje** je uzemljenje vodljivih dijelova el. uređaja koji su dio strujnog kruga (npr. uzemljenje neutralnog vodiča, uzemljenje kondenzatora i slično). Ovo uzemljenje služi prvenstveno za sprječavanje pojave unutarnjih (pogonskih) prenapona.



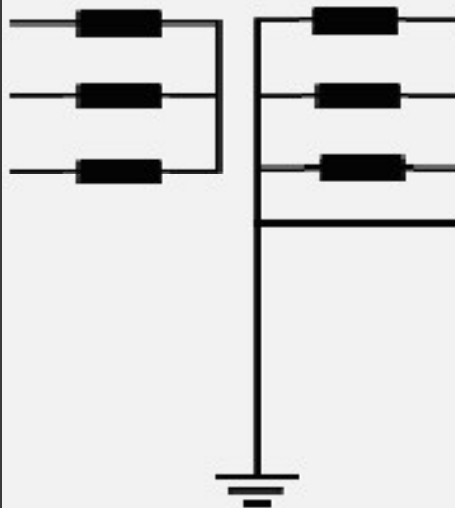
VRSTE UZEMLJENJA

- ⦿ **Gromobransko uzemljenje** služi za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja. Ako se radi o uzemljivanju dijelova postrojenja preko odvodnika prenapona, onda takvi dijelovi nisu u stalnoj galvanskoj vezi sa zemljom.

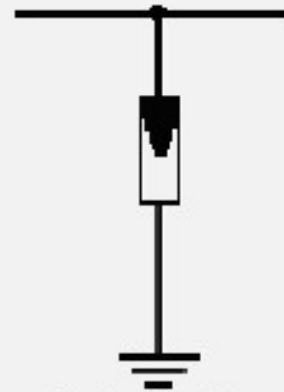


VRSTE UZEMLJENJA

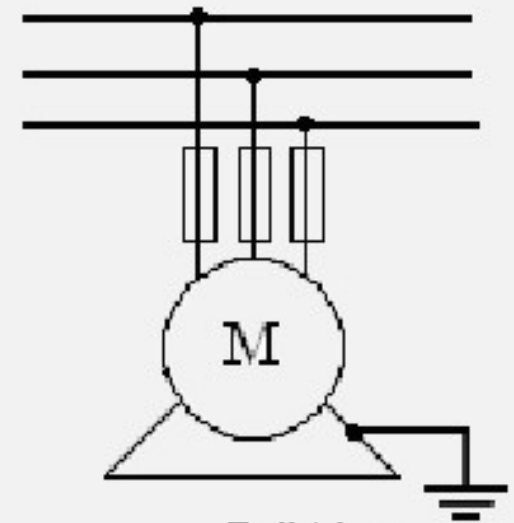
- U praksi se ova uzemljenja najčešće udružuju pa onda govorimo o tzv. ***združenom uzemljenju***.



Pogonsko
uzemljenje



Odvodničko
uzemljenje



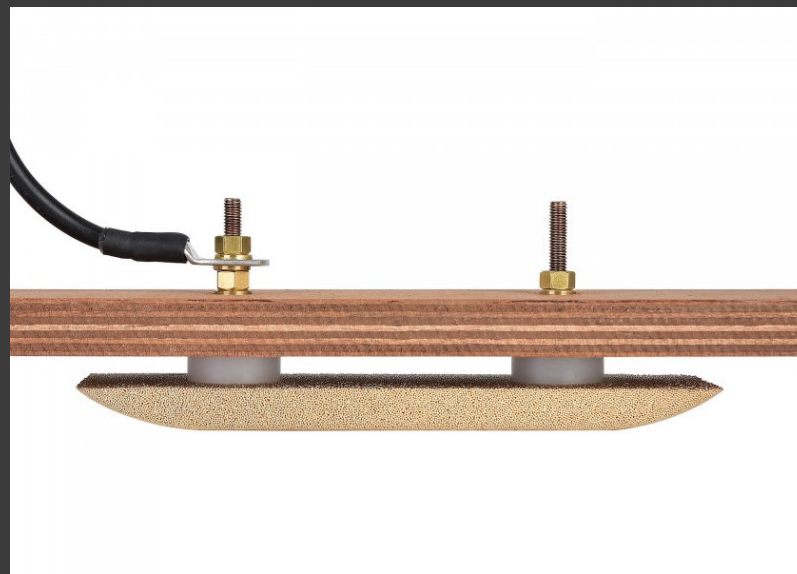
Zaštitino
uzemljenje

IZVEDBE UZEMLJENJA

- ⦿ Uzemljenja se izvode pomoću raznih vrsta uzemljivača.
- ⦿ Što je uzemljivač?
 - Uzemljivač predstavlja vodič koji se postavlja u zemlju i s njom je u vodljivoj vezi ili vodič što se stavlja u beton koji je sa zemljom u dobro vodljivoj vezi.
 - Za kvalitetu i trajnost uzemljivača vrlo je bitno da su oni izrađeni od materijala koji ne korodiraju, kao npr. **pocinčani čelik** ili **bakar**.
- ⦿ Prema obliku vodiča uzemljivača razlikujemo:
 - Pločaste,
 - Štapne ili cijevne (ukopani vertikalno) i
 - Trakaste (ili žice) uzemljivače

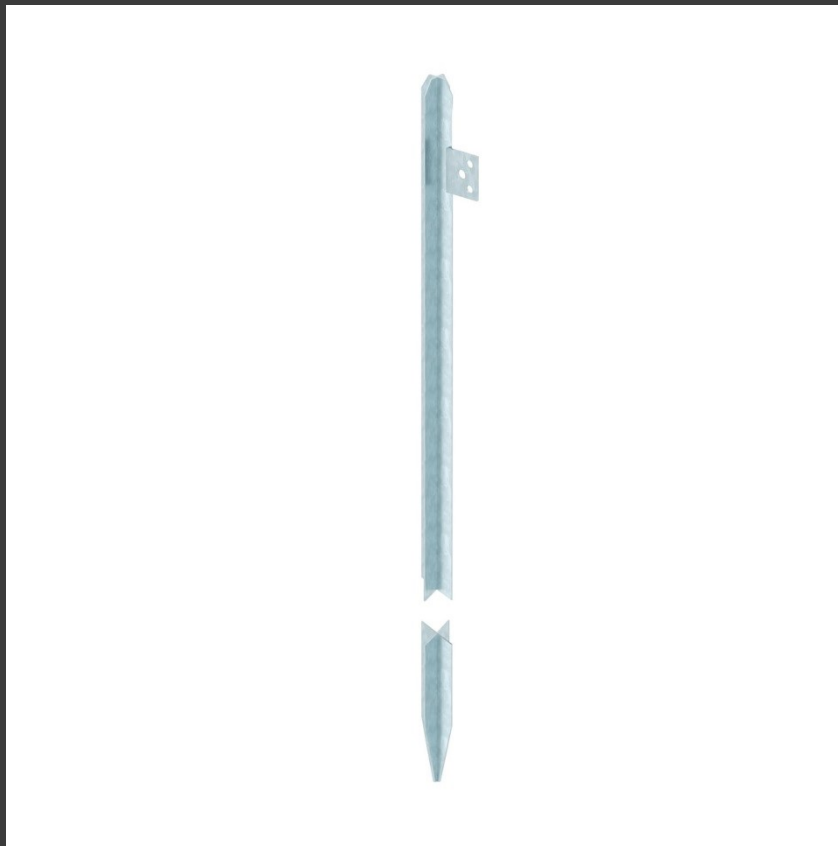
IZVEDBE UZEMLJENJA

- **Pločasti uzemljivači** su tanke metalne ploče vertikalno ukopane u zemlju na dubinu od oko jednog metra.
- Umjesto punih metalnih ploča mogu se koristiti i metalne rešetke.



IZVEDBE UZEMLJENJA

- **Štapni uzemljivači** metalne su cijevi ili profilno pocinčano željezo dužine 2 - 5 metara, vertikalno ukopano u zemlju.



IZVEDBE UZEMLJENJA

- ⦿ **Trakasti uzemljivači** sastoje se od pocinčanih čeličnih traka, metalnih šipki ili metalnih užeta, vodoravno ukopanih u zemlju.
- ⦿ Dubina ukapanja obično je između 0,5 do 1 m.
- ⦿ Spajanjem trakastih uzemljivača u obliku mreže dobivaju se tzv. **plošni uzemljivači**, koji najčešće služe za postizanje ravnomjernije raspodjele potencijala na površini zemlje.



IZVEDBE UZEMLJENJA

- Prema rasporedu plošne uzemljivače dijelimo na
 - zrakaste,
 - prstenaste
 - zamkaste (zrakasto-prstenasti)



a)



b)



c)

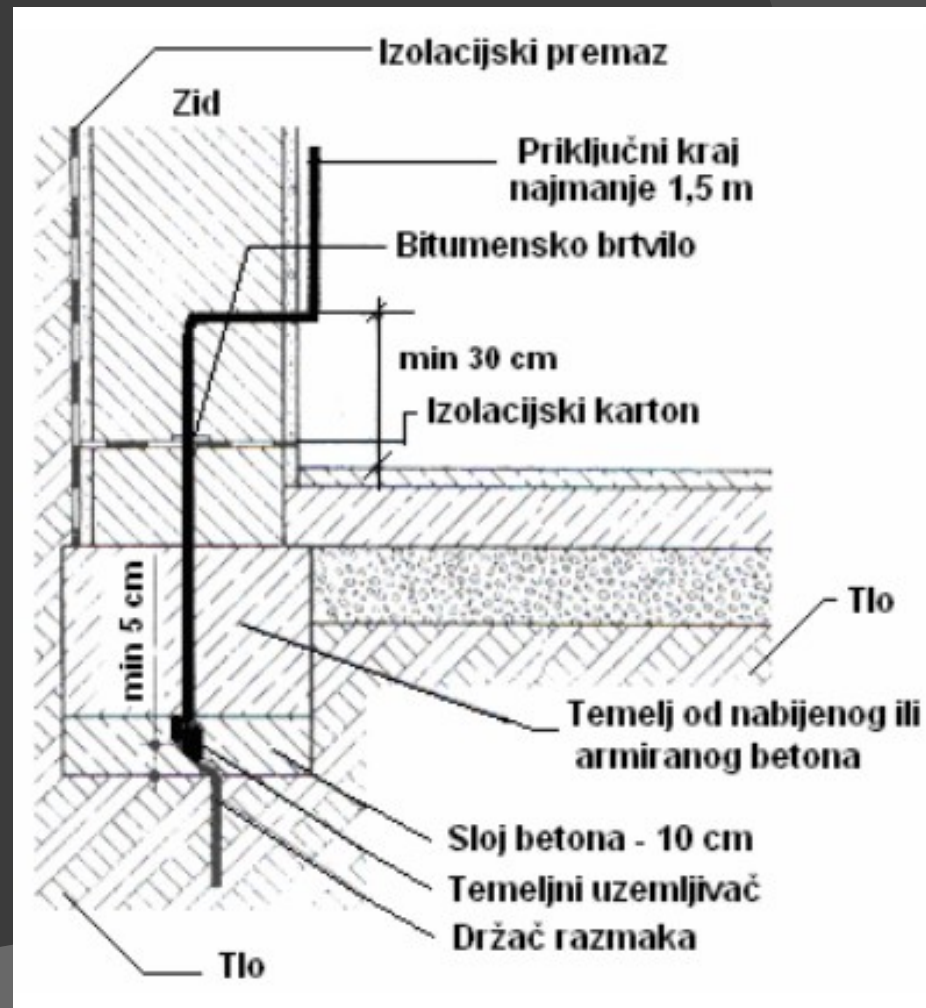
- a) Zrakasti uzemljivač
- b) Prstenasti uzemljivač
- c) Zamkasti uzemljivač

IZVEDBE UZEMLJENJA

- Danas se u električnim instalacijama najčešće upotrebljavaju **temeljni uzemljivači**.
- Ugrađujemo ih u betonske temelje objekta tako da je između njih i zemlje barem 10 cm betona.
- Uglavnom se upotrebljava čelična pocinčana traka koja se povezuje s betonskom armaturom, npr. na svaka 2-3 m.
- Takvi uzemljivači vrlo su učinkoviti jer su u vlažnom betonu (ispod hidroizolacije) i na taj način imaju dobar spoj sa zemljom.
- Također su ekonomični i praktički neograničenog vijeka trajanja.

IZVEDBE UZEMLJENJA

● TEMELJNI UZEMLJIVAČ



IZVEDBE UZEMLJENJA

Specifični otpori tla

Vrsta tla	ρ ($\Omega \cdot m$)
Mokra zemlja, močvara	8 - 60
Oranica, glina, ilovača	20 - 300
Vlažno pjeskovito tlo	200 - 600
Suho pjeskovito tlo	200 - 2 000
Kamenito i mješovito kamenito tlo	300 - 80 000
Čisti kamen	10 000 - 1 000 000

Što možemo zaključiti?

- U kamenitim predjelima vrlo teško se mogu ostvariti mali otpori uzemljenja.

POVRŠINSKI UZEMLJIVAČI

- Ovakvi se uzemljivači (pored temeljnih) upotrebljavaju najčešće.
- Izvodimo ih od pocinčanih čeličnih traka, metalnih šipki ili metalnih užeta, vodoravno ukopanih u zemlju.
- Dubina ukapanja obično je između 0,5 do 1 m.



ZAŠTITNI VODIČI I ZEMLJOVODI

- **Zemljovod (dozemni vod)** je vodič koji povezuje glavnu stezaljku za uzemljenje s uzemljivačem, postavljen izvan ili u zemlji.
- Ako je zemljovod ukopan u zemlju, njegov presjek mora biti u skladu s vrijednostima iz tablice:

Izvedba	Mehanički zaštićen	Mehanički nezaštićen
Izoliran	Kao i presjek zaštitnog vodiča	16 mm ² Cu 16 mm ² Fe
Neizoliran	25 mm ² Cu 50 mm ² Fe, vruće pocinčano 100 mm ² Fe, pocinčana traka, min. 3 mm debljine	

ZAŠTITNI VODIČI I ZEMLJOVODI

- U svakoj je instalaciji potrebno predvidjeti jedan glavni priključak za uzemljenje (sabirnicu) na koji se spajaju:
 - Dozemni vodiči (ili vodiči za uzemljenje)
 - Zaštitni vodiči (PE)
 - PEN vodič (kod TN sustava)
 - Vodiči glavnog izjednačenja potencijala (GIP)
 - Vodiči pogonskog uzemljenja (ako sustav instalacije zahtijeva takvo uzemljenje)
 - Gromobranska instalacija

ZAŠTITNI VODIČI I ZEMLJOVODI

- **Zaštitni vodič (PE)** je vodič koji u instalaciji povezuje izložene vodljive dijelove uređaja sa sabirnicom za izjednačavanje potencijala ili zaštitnom sabirnicom razvodnog ormara.
- Glavni zaštitni vodič je vodič koji u instalaciji povezuje sabirnicu za izjednačavanje potencijala objekta i zaštitnu sabirnicu razvodnog ormara.
- U krug zaštitnog vodiča ne smije se ugraditi nikakva naprava (npr. sklopka, osigurač, magnetski svitak i slično).
- Izloženi vodljivi dijelovi ne smiju se spajati na zaštitni vodič u seriji.

ZAŠTITNI VODIČI I ZEMLJOVODI

Najmanji presjeci zaštitnih vodiča

Vrsta sustava razdiobe	Presjek faznog vodiča S (mm ²)	Presjek zaštitnog vodiča (mm ²)
IT sustav sa zaštitnim uređajem za isklapanje nakon prvog kvara	$S \leq 10$	S
	$S > 10$	10
TT i TN sustavi	$S \leq 16$	S
	$16 < S \leq 35$	16
	$S > 35$	$S / 2$

- Ako se radi o tzv. PEN vodiču (objedinjen PE i N u TN – S sustavu), onda njegov minimalni presjek za trajno položene vodiče mora biti minimalno 10 mm² Cu (ili 16 mm² Al). Veći presjeci se određuju prema gornjoj tablici.