

# Zaštita instalacija od atmosferskih pražnjenja

---

**Car, Magdalena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:991038>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike

Diplomski rad

**ZAŠTITA INSTALACIJA OD ATMOSFERSKIH PRAŽNENJA**

Rijeka, studeni 2023.

Magdalena Car

0069083736

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike

Diplomski rad

**ZAŠTITA INSTALACIJA OD ATMOSFERSKIH PRAŽNENJA**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Rene Prenc

Rijeka, studeni 2023.

Magdalena Car

0069083736

Rijeka, 11. rujna 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Zaštita i automatika električnih postrojenja**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Magdalena Car (0069083736)**  
Studij: Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike  
Modul: Elektroenergetika

Zadatak: **Zaštita instalacija od atmosferskih pražnjenja / Protection of electric installations from atmospheric discharges**

### Opis zadatka:

U radu će biti predstavljena zaštita objekata od atmosferskih pražnjenja. Na početku će se opisati Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama. Potom će se definirati osnovne karakteristike atmosferskih pražnjenja, zajedno sa posljedicama koje uzrokuje velika energija groma. Konačno, opisati će se postupak projektiranja gromobranskih instalacija, njihovi konstrukcijski dijelovi te način određivanja šticenog prostora. Na kraju rada bit će definirani uređaji za zaštitu od prenapona kako bi se spriječio proboj izolacije električnih instalacija.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Magdalena Car*

Zadatak uručen pristupniku: 11. rujna 2023.

Mentor:

*Rene Prenc*

Izv. prof. dr. sc. Rene Prenc

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit

Prof. dr. sc. Dubravko Pranković

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
TEHNIČKI FAKULTET

IZJAVA

Sukladno *Pravilniku o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija*, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom „Zaštita instalacija od atmosferskog pražnjena“, uz konzultiranje s mentorom rada.

Student \_\_\_\_\_

Matični broj

0069083736

Rijeka, studeni 2023.

## Zahvala

Zahvaljujem se svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje na Tehničkom fakultetu u Rijeci, svojim prijateljima i kolegama koji su bili uz mene u lijepim, ali i u teškim trenucima, zahvaljujem se svim profesorima, docentima i asistentima koji su mi dali potrebno znanje i vještine za buduću profesiju, zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Rene Prencu bez kojeg ovaj diplomski rad ne bi bio moguć.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. RAZVOJ ZAŠTITE OD GROMA .....	2
2.1. Izokerauničke karte .....	3
2.2. Nastanak olujnih oblaka .....	4
2.3. Nastanak udara groma .....	5
2.4. Tjemena vrijednost struje groma .....	5
2.5. Strmina struje .....	6
2.6. Naboj struje .....	7
2.7. Kvadratni impuls struje.....	8
3. DJELOVANJE ATMOSFERSKOG PRAŽNJENJA .....	9
3.1. Optičko djelovanje.....	9
3.2. Akustično djelovanje .....	9
3.3. Mehaničko djelovanje .....	10
3.4. Termičko djelovanje .....	10
4. OPASNOSTI ZA LJUDE .....	11
4.1. Izravni udar .....	11
4.2. Neizravni udar.....	12
4.3. Mjere zaštite.....	12
5. ODREĐIVANJE STUPNJA ZAŠTITE .....	14
5.1. Usvojena učestalost udara groma <b>NC</b> .....	14
5.2. Učestalost direktnog udara groma u objekt <b>Nd</b> .....	14
5.3. Klasifikacija objekata .....	14
5.4. Projektiranje gromobranske instalacije.....	16
5.4.1. Vanjska gromobranska instalacija .....	16
5.4.2. Unutrašnja gromobranska instalacija.....	17
6. UZEMLJENJE.....	18
6.1. Obilježja zemljišta .....	20
6.2. Trakasti uzemljivači .....	21
6.3. Štapni uzemljivači .....	21
6.4. Temeljni uzemljivači .....	22
6.5. Udarni otpor rasprostiranja.....	23
7. IZVEDBE GROMOBRANSKIH INSTALACIJA .....	25
7.1. Šipkasti gromobran.....	25
7.2. Dimenzioniranje gromobranskih instalacija u obliku zamke.....	25
7.3. Gromobranske instalacije specifičnih objekata.....	27
7.4. Elementi zaštite od groma.....	29

7.4.1. Verifikacija i održavanje.....	30
8. ZAŠTITA NADZEMNIH VODOVA.....	31
8.1. Udar groma u nadzemni vod bez zaštitnog užeta .....	32
8.2. Udar groma u stup ili zaštitno uže .....	34
8.3. Zaštita nadzemnih vodova 10 i 20 kV .....	35
8.4. Zaštitno iskrište.....	35
8.5. Procjena rizika za građevine spojene na NN mrežu .....	36
9. ODVODNICI PRENAPONA .....	39
9.1. Ventilni odvodnici prenapona .....	39
9.2. Cink – oksidni odvodnici prenapona.....	41
9.2.1. Izvedba i rad u pogonu .....	42
9.3. Cijevni odvodnici prenapona .....	43
10. ZAŠTITA ELEKTRIČNIH POSTROJENJA OD PRENAPONA .....	45
10.1. Zaštita prilaza postrojenju .....	46
10.2. Klasifikacija prenapona .....	46
10.3. Mjesto ugradnje odvodnika.....	48
11. TEHNIČKI UVJETI ZAŠTITE .....	49
11.1. Opći uvjeti.....	49
11.2. Uvjeti za izvođenje gromobranskih instalacija .....	49
11.3. Uvjeti za sustave uzemljenja .....	50
11.4. Materijali gromobranskih instalacija .....	50
12. ZAKLJUČAK.....	52
13. LITERATURA .....	53
14. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI .....	54
15. ABSTRACT AND KEYWORDS.....	55





## 1. UVOD

Još u doba antike, gotovo u svim kulturama, grom praćen grmljavinom predstavljali su znakove božanskog prisustva. Za stare Grke, grom je predstavljao Zeusovo oružje koje mu je stvorila Minerva, boginja mudrosti. Grci i Rimljani promatrajući olujno nebo, tumačili su gromove kao znakove koji prikazuju božansko zadovoljstvo ili ljutnju. Prema bogovima su imali strahopoštovanje te su vrlo često u znak njihove predanosti gradili hramove upravo na mjestima koja su bila pogođena gromom. Također, ta mjesta su za njih bila sveta. Asteci su nastojali pridobiti naklonost bogova prinoseći im žrtve. I danas, u nekim zajednicama kruži vjerovanje da zvuk crkvenih zvana može otjerati gromove.

Značajniji preokret u pogledu na fenomen groma dogodio se sredinom 18.st zahvaljujući istraživanjima američkog fizičara Benjamina Franklina. Koristeći se eksperimentima dolazi do povezanosti munje s električitetom, postavlja novu teoriju elektriciteta te povezanost pozitivnog i negativnog električnog naboja. Franklin je konstruirao gromobrane koji su služili za zaštitu ljudi i objekata. On je napravio značajan iskorak u promatranje gromova, no trebalo je proći dosta vremena kako bi se njegove ideje prihvatile u znanosti i praksi.

Krajem 19.st počelo se više istraživati kada su znanstvenicima bili dostupni fotografski i spektroskopski alati. Njemački znanstvenik Pockels među prvima je uspio izmjeriti jakost magnetskog polja koje proizvodi udar groma. Temeljem tih podataka, uspijeva izračunati jakost struje groma.

Suvremena istraživanja ove pojave počela su se razvijati u više smjerova. Jedan uključuje razvoj uređaja za detekciju i registraciju gromova povezanih u mrežu. U većini zapadnih zemalja to je mreža senzora osjetljivih na promjene električnog i magnetskog polja koje se stvari udarom groma. Povezanosti senzora omogućuje pregled situacije velikog područja. Omogućava praćenje oluja u stvarnom vremenu i pripreme elektroenergetskih sustava na mogućnost udara groma, također daje podatke o rasprostranjenosti gromova tijekom godine na nekom užem području. Godišnja raspodjela bitna je informacija za planiranje sustava gromobranske zaštite.

Drugi smjer usmjeren je na konstantno snimanje i matematičko opisivanje događaja za vrijeme udara groma. Znanstvenici ovoga smjera koriste eksperimente umjetnog izazivanja gromova. Grom nastane kada se prema olujnom nebu ispalila uzemljena raketa putem žice koja se odmotava. Vrlo često bi grom udario u raketu, nakon čega bi se instrumentima snimale pojave koje su slijedile nakon udara. Razvojem znanstvenim razvojem ljudima je omogućeno da bolje i detaljnije proniknu u snagu prirode te da se donekle zaštite od prirodnog neželjenog djelovanja.

## 2. RAZVOJ ZAŠTITE OD GROMA

Gromom se naziva tok atmosferskog izbijanja koje nastaje zbog međudjelovanja elektriziranih olujnih oblaka i zemlje. Sam naziv *grom* predstavlja akustičko djelovanje atmosferskog izbijanja, dok se pod nazivom *munja* misli na svjetlosnu pojavu. Obje pojave nastaju prolaskom struje groma. Ljudska znatiželja o tome što se događa u prirodi, navodi ljude da promatrajući nebo i oblake iz kojih su dolazili gromovi, te na temelju njihove boje i veličine pronalaze zaključke o tome hoće li doći do udara groma ili ipak ne. No, takvi primitivni načini razmatranja ovog problema nisu davali prihvatljive odgovore na mnoga pitanja o ovoj prirodnoj pojavi. Zato ne čudi kako su ljudi ovoj pojavi davali božanstvo podrijetlo. Za tadašnje prilike ovaj problem bio je gotovo ne rješiv i nije bilo ni govora o prihvatljivoj zaštiti od udara groma. Gromovi su i dalje izazivali požare na kolibama i smrtnu slučajevu kod životinja i ljudi. Gotovo nikakvo fizikalno znanje ovih pojava nije dopuštalo da se razvije adekvatna zaštita i spriječi štetno djelovanje.

Pokusi koji su se počeli izvoditi u 18. st, a nisu bili ni malo bezopasni, doveli su znanstvenike toga vremena do činjenice da je materija groma ista kao elektricitet koji postoji na zemlji. Jedan od znanstvenika bio je i Benjamin Franklin, koji je dokazao kako je udar groma izbijanje statičkog elektriciteta prikupljenog u oblacima. Do tog zaključka došao je 1752. godine, kada je za vrijeme oluje vinuo zmaja sa zašiljenim vrhom. Zmaja je pridržavao užetom na čijem je kraju bio metalni ključ. U blizini je imao dvije leidske boce<sup>1</sup>. Uže je postalo mokro te se počelo ponašati kao vodič, on je to uže zajedno s metalnim ključ približio leidskoj boci. U trenutku nastanka izbijanja munje, došlo je do preskoka jake električne iskre između ključa i leidske boce. Zatim je oprezno to ponovio i s drugom bocom. Nakon eksperimenta došao je do zaključka da je srž groma zapravo električni naboj i da je taj naboj jednak onome koji se dobiva trenjem u laboratorijima. Samo godinu dana nakon ovog zaključka počelo se s postavljanjem prvih gromobrana na visokim zgradama u Philadelphiji. Franklinov gromobran sastavljen je od hvataljki, odvodnika i uzemljivača. Zanimljivo je kako su to i danas osnovni dijelovi gromobranske zaštite. Hvataljka je bila na mjestu udara, odvod prema zemlji imao je ulogu provođenja struje groma izvan zgrade, a svrha uzemljivača je da tu struju odvede kroz zemlju. [1]

Danas se za određivanje struja groma koriste magnetski registratori, a za određivanje oblika koristi se katodni oscilografi. Na temelju tih podataka bazira se cijela zaštita od groma. Vrlo važno pitanje kod projektiranja zaštite je koliko puta i gdje najčešće dolazi do udara groma. Prema tim podacima određuje se razina zaštite što čini ekonomičnost ove zaštite. Za ovu vrstu mjerenja koriste

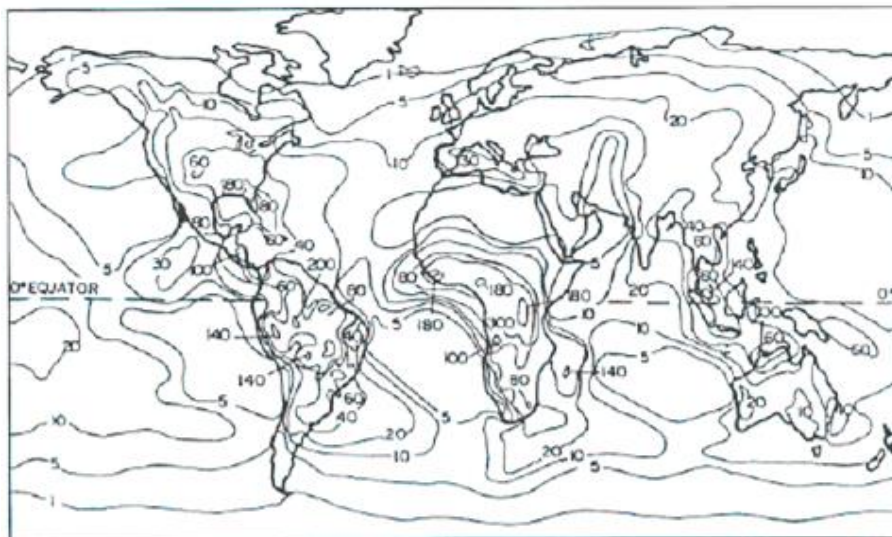
---

<sup>1</sup>Leidska boca – prvi oblik električnog kondenzatora. To je bila staklena boca s vodom ili živom kao jednom elektrodom i staklom koje je predstavljalo izolator. Druga, uzemljena elektroda bila je šaka u kojoj se držala boca. Unutrašnjost boce polako se punila elektricitetom. [4]

se osjetljivi akustički i optički alati, a i specijalno konstruirani registratori koji skupljaju podatke o broju udara groma na određenom mjestu.

## 2.1. Izokerauničke karte

Nikad sa sto postotnom sigurnošću ne možemo znati kada će doći do izbijanja prema zemlji, ali na temelju iskustva znamo da je broj udara groma povezan s pojavom grmljavine. Broj oluja bilježe meteorološke stanice. Tako postoji pojam *grmljavinskog dana* koji predstavlja dan kada se barem jednom začula grmljavina. Ekvatorsko područje tako bilježi oko 200 grmljavinskih dana na godišnjoj razini, dok se u našoj zemlji taj broj kreće oko 30 do 40 dana. Broj grmljavinskih dana mijenja se s obzirom na klimatske uvijete određenog područja. Na temelju prikupljenih podataka izrađuju se tzv. izokerauničke karte. Povezane linije na kartama označavaju ona mjesta koja imaju prosječno jednak broj grmljavinskih dana u godini. Ako su te linije zatvorene krivulje ona one označavaju veća područja s prosječno istim brojem dana. Na *slici 2.1.* prikazana je izokeraunička karta svijeta. Vidljivo je kako polarna područja imaju vrlo mali broj grmljavinskih dana, dok ta brojka naglo raste što se gleda bliže ekvatoru. Za takva ekstremna područja kaže se da imaju visoku izokerauničku razinu. [1]



Slika 2.1. Izokeraunička karta svijeta [5]

Uzimajući u obzir ovaj broj prosječnih dana moglo bi se zaključiti kako je pojava lošeg vremena periodična no to nikako nije točno. Grmljavine nisu jednoliko raspoređene tijekom godine već ovise o godišnjem dobu. Zbog toga postoje izokerauničke karte za svaki mjesec u godini. Razvijene zemlje prikupljaju podatke o grmljavini na razini jednoga dana. Čime se utvrdilo da najviše

grmljavine nastaje u večernjim satima. Svi ovi podaci uvelike pomažu kod određivanja mjera zaštite objekata i osoba. [1]

## 2.2. Nastanak olujnih oblaka

Klasični olujni oblak naziva se kumulonimbus, naziv dolazi od latinskih riječi *cumulus* što predstavlja gomilu i *nimbus* što označava kišni oblak. Ovakav oblak karakterizira vertikalno dizanje u visine do 15 km, te nalikuje na veliko brdo. Može se protezati na nekoliko kvadratnih kilometara, a njegova najniža točka je otprilike 2 do 3 km od zemlje. Najčešće nastaju u toplijoj polovici godine kada se iznad vrućeg tla počinje dizati topli zrak koji se hladi kako se diže prema atmosferi. Taj vlažni, topli zrak se počne kondenzirati te dolazi do nastanka kišnih kapi. U vrlo visokim dijelovima atmosfere te kapljice mogu prelaziti u led. Na zemlji, kada dođe do oluje, pojavljuje se jak vjetar, obilni pljuskovi i pojava tuče. Ovakve oluje su najčešće kratkog trajanja.

C. T. R. Wilson i G. C. Simpson razvili su teoriju koje govori da na elektriziranje kapljica vode utječe strujanje vjetra i sudaranje kišnih iona s ionima koji se nalaze u zraku. U oblaku se nalaze tri zone naboja. Pozitivna zona na ulazu zračne struje u oblak, pretežno negativna zona te opet na samom vrhu oblaka pozitivna zona. Prilikom sudara velike kapljice se rasprše u sitnije. Pri tome raspršivanju ostaju električni negativno nabijene. Te negativne ione zatim zračne struje sa zemlje nose u gornje slojeve oblaka. U gornjem sloju zatim dolazi do taloženje negativno nabijenih čestica, koje se zatim ponovno spuštaju prema zemlji. Može se ukratko reći da topli vjetar sa zemlje, svojim strujanjem, formira kumulonimbus te mehaničkim putem stvara u oblaku električne naboje. U jednom sloju oblaka tako imamo pozitivne naboje, dok se u drugom formiraju negativni naboji. Najčešće je gornji sloj načinjem od pozitivnih, dok se u nižim slojevima oblaka nalazi negativni naboj. Ovakvi oblaci čine dipole, u kojima vladaju jaka električna polja i visoki naponi. Stoga, do izbijanja dolazi kada vrijednost napona pređe određene granice.

Jakost električnog polja zemljine površine, za lijepog vremena, iznosi oko  $100\text{ V/m}$ . Elektrizirani oblak, koji se kreće relativno blizu površine zemlje, izaziva povećanje jakosti električnog polja zemlje. Takvo tlo može poprimiti vrijednosti od 15 do  $20\text{ kV/m}$ , u tim uvjetima nastaje izbijanje naboja iz olujnog oblaka prema tlu.

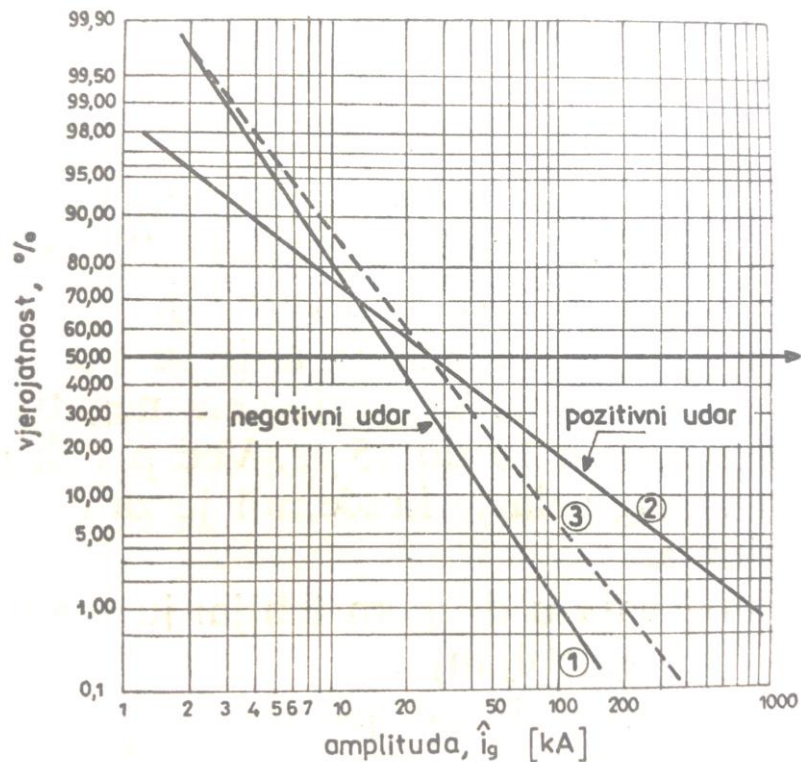
### 2.3. Nastanak udara groma

Najčešći udari groma negativnog polariteta, koji izlaze iz oblaka, a završavaju u zemlji. Proučavanjem te pojave saznalo se da negativan naboj kreće prema zemlji ioniziranim kanalom. To se događa u trenutku kada jakost električnog polja, zbog nagomilanih kapljica, preskoči probojnu čvrstoću zraka pomiješanog s kapljicama, koja iznosi  $500 - 1000 \text{ kV/m}$ . To je prva faza izbijanja i karakterizira ju slabo svjetlucanje. Izbijanje dalje kreće skokovito, kroz još slabo ioniziranu atmosferu prema zemlji. Po završetku svakog preskoka mijenja se smjer izbijanja, te izbijanje izgleda stepenasto. Od glavnog dijela stabla groma odvajaju se manje grane koje traže suprotni polaritet u zraku ili na zemlji. Ova pojava događa se prosječno brzinom od  $0,15 \text{ m}/\mu\text{s}$ . Predvodnik izlazi iz negativno nabijenog oblaka, te je njegov kanal kretanja pun negativnih naboja. Što se glava predvodnika više približava zemlji, sve više privlači pozitivne naboje koji mogu biti na nekom stablu ili objektu. Međusobno privlačenje postaje sve jače što je glava bliže. Tada na zemlji dolazi do naglog povećanja jakosti električnog polja. U sljedećem trenutku dolazi do dodira glave predvodnika i uzlaznog izbijanja, te tada dolazi do ulaska pozitivnog naboja sa zemlje u negativno ionizirani kanal. To je trenutak glavnog izbijanja i njegovo trajanje je  $70 - 100 \mu\text{s}$ . Glavno izbijanje praćeno je snažnim bljeskovima. [1,3]

Ovakvo kretanje negativnog naboja iz oblaka prema tlu ili prema nekom objektu na zemlji događa se vrlo brzo te gore navede faze nije moguće opaziti golim okom.

### 2.4. Tjemena vrijednost struje groma

Karakteristična veličina strujnih valova koji nastaju prilikom udara je tjemena vrijednost ili amplituda strujnog vala (najveća trenutna vrijednost struje). Svaki udar ima svoju tjemenu vrijednost struje. Stoga, se ne može predvidjeti tjemena vrijednost, već se tu radi o slučajnim događajima. Na slici 2.2. prikazane su vrijednosti koje prikazuju kod koliko udara očekujemo pozitivne, a kod koliko udara negativne amplitude strujnog vala. Negativan udar označen je krivuljom 1, dok je pozitivni udar prikazan krivuljom 2. Brojem 3 prikazana je globalna raspodjela koje je dobivena na osnovu prikupljenih podataka cijeloga svijeta. Vjerojatnost za ovakvu raspodjelu prikazana je u postocima. Vidljivo je da pozitivne struje groma amplitude više od  $150 \text{ kA}$  postoje u samo  $10 \%$  udara. Dok nasuprot tome u  $10 \%$  udara groma pojavit će se negativne struje veće od  $50 \text{ kA}$ . Negativne struje mnogo su slabije od pozitivnih.



Slika 2.2. Raspodjela tjemernih pozitivnih i negativnih vrijednosti struja groma [1]

Tjemena vrijednost struje groma ( $I_g$ ) značajna je zbog toga što pomoću te vrijednosti možemo izračunati najveći pad napona koji ta struja stvara na zemlji.

## 2.5. Strmina struje

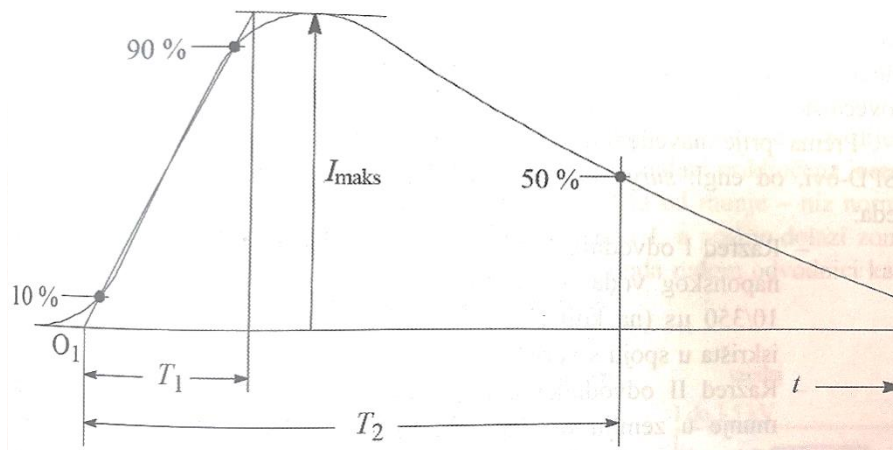
Oblik struje groma izgleda poput jednog strujnog impulsa. Strujni udar vrlo brzo poprima najveću vrijednost, koja se onda postupno smanjuje. Taj nagli porast struje prilikom udara u neki objekt, izazivaju nagli porast magnetskog polja što rezultira opasnim naponima. Struje groma mogu se mijenjati, u svojem čelu, brže ili sporije. One koje imaju brzu promjenu za njih se kaže da imaju veliku strminu, dok ove sporije imaju malu strminu. Brzina promjene struje groma računa se prema izrazu (2.1):

$$s = \frac{di}{dt}, \left[ \frac{kA}{\mu s} \right] \quad (2.1)$$

gdje je:

$s$  strmina struje groma

Istraživanjima su pokazala kako su kod negativnih gromova, iako oni imaju manje amplitude od pozitivnih gromova, strmine mnogo veće. U 50% slučajeva kada se dogodi negativan grom strmina struje premašuje vrijednost od  $20 \frac{kA}{\mu s}$ . Dok u 50% slučajeva pozitivnog groma strmine premašuju samo  $2 \frac{kA}{\mu s}$ . Strmine na čelu strujnih valova mogu biti različite. Između tjemene vrijednosti i strmina na njihovom čelu nema čvrstog odnosa. Naprimjer, ako je tjemena vrijednost velika ne mora i njezina strmina biti velika. Puno je češće da velike tjemene vrijednosti struje imaju male strmine. Strmina je važna karakteristika struje groma i ima vrlo važnu ulogu u projektiranju zaštite. Na slici 2.3. prikazana je strmina struje groma, gdje  $T_1$  predstavlja trajanje čela vala,  $T_2$  polutrajanje hrpta vala i  $I_{maks}$  je vršna jakost udarne struje (amplituda).



Slika 2.3. Strmina struje groma [7]

## 2.6. Naboj struje

Još jedna karakteristična veličina vezana za struju groma je ukupna količina naboja  $Q$  koja se neutralizira tijekom udara. Prosječna vrijednost naboja nije velika i iznosi oko desetak kulona, no u određenim jačim izbijanjima može postići vrijednosti do 300 kulona. O naboju  $Q$  ovisi količina pretvorene energije na mjestu udara groma. Na mjestu udara groma stvara se određena energija koja se pretvara u toplinu. Količina naboja imat će utjecaj na rastapanje vrha nekog gromobrana ili aluminijskih pokrivača na objektima. Energija na mjestu udara groma izražena je izrazom (2.2):

$$W = Q \cdot U_{AK} \quad (2.2)$$

gdje je:

$W$  energija na mjestu udara



$Q$  naboj

$U_{AK}$  katodni pad napona

Prilikom projektiranja zaštite za normalne uvijete naboj iznosi 50 As, dok pri strožim uvjetima sigurnosti naboj iznosi 300 As. Vrijednost katodnog pada napona uzima se svega nekoliko desetaka volti. U stvarnosti udar groma ima kratko trajanje pa je i pretvorba energije  $W$  malena.

## 2.7. Kvadratni impuls struje

Struja groma prilikom udara prolazi kroz metalne vodiče zaštite i ona dovodi do zagrijavanja. Mjerodavna veličina za zagrijavanje vodiča kojima prolazi struja je kvadratni impuls struje groma  $\int i_g^2 dt$ . Vodiči kojima prolazi struja imaju određeni omski otpor. Energija utrošena na vodičima jednaka je umnošku kvadratnog impulsa struje i otpora vodiča (2.3):

$$W = R \cdot \int i_g^2 \cdot dt \quad (2.3)$$

gdje je:

$W$  energija na vodičima [WS]

$R$  otpor vodiča, [ $\Omega$ ]

$i_g$  trenutna vrijednost struje groma [A]

### 3. DJELOVANJE ATMOSFERSKOG PRAŽNENJA

#### 3.1. Optičko djelovanje

Postoje različiti oblici izbijanja munje koji su vidljivi golim okom. Tako kada vidimo izbijanje u obliku jedne crte koja se grana u blizini zemlje takvo izbijanje nazivamo linijskom munjom. Ako postoje više takvih crta onda se radi o trakastoj munji. Ponekad se ne čuje nikakva grmljavina, a vidimo samo svjetlost, onda se tu radi o munji sijevalici. Nekada je i obrnuto, da čujemo grmljavinu a ne vidimo svjetlost, tada je riječ o tamnoj munji. Svjetlost munje može biti i titrajuća, gdje se titranje odvija u vremenskim intervalima od nekoliko stotinki sekunde. Svjetlosni učinci munje su zračenja vruće plazme koja ima temperaturu od oko 3 000 °C. [1]

#### 3.2. Akustično djelovanje

U kanalu kojim teče struja izbijanja vlada vrlo visoka temperatura i tlak. U trenutku kada prestane teći struja oslobađa se tlak plazme i počinje njegovo širenje radijalno prema van. Taj nastali zračni tlak djeluje na naše slušne organe i mi to čujemo kao grmljavinu.

Najviši je tlak nekoliko centimetara od kanala munje, te se s udaljenosti naglo smanjuje. Grmljavinu ljudsko uho čuje kao prasak praćen tutnjavinom, no ako se nalazimo na nešto većoj udaljenosti čut ćemo samo buku. Na udaljenostima većim od 10 km neće čuti ništa. Ako bi se čovjek nalazio u neposrednoj blizini udara munje postoji velika vjerojatnost da može ostati bez sluha radi visoke vrijednosti tlaka koji vlada u tom području.

U *tablici 3.1.* prikazani su podaci koji su dobiveni istraživanjem u laboratoriju uz pretpostavku struje od 48 kA. Navedene su prosječne vrijednosti tlaka  $p$  i brzine kretanja vala  $v$  na udaljenosti od kanala munje.

*Tablica 3.1.* Podaci istraživanja pri struji od 48 kA [1]

$i = 48 \text{ kA}$	$r$	0,15	0,5	1	5	m
	$p$	7	1,3	0,5	0,06	bar
	$v$	510	420	380	350	m/s

Iz tablice je vidljivo kako vrlo brzo opadaju tlak i brzina već na nekoliko metara od kanala.

### **3.3. Mehaničko djelovanje**

Mehaničko djelovanje munje očituje se kao oštećenja na dijelovima zgrada ili kao srušeno stablo. Također, udar munje izaziva izobličenja vodiča, prilikom prolaska struje kroz njih. Kada bi se udar munje dogodio u zatvorenom prostoru bez zraka, nastali tlak bio bi puno veći u odnosu na onaj tlak koji uzrokuje da ljudsko uho čuje grmljavinu. Ako se dogodi da struja prilikom udara prolazi kroz vlažne pukotine u zidovima kuća, doći će oštećenja. Ova pojava vidljiva je kada munja udari u neko stablo te u tom trenutku struja prolazi kroz kapilare drveta. Tada dolazi do raspuknuća drva. [1]

### **3.4. Termičko djelovanje**

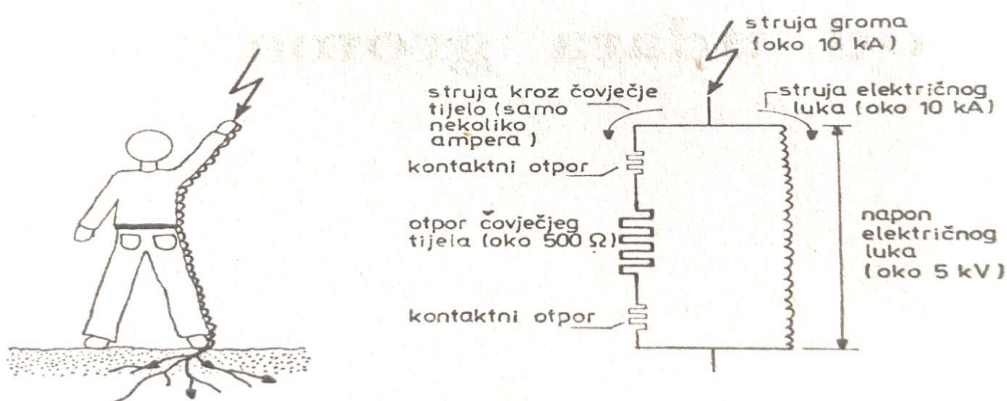
Najviše temperaturno djelovanje događa se na mjestu gdje struja ulazi u metalnu površinu. Često se na tome mjestu rastali par milimetara metala. Ova pojava se događa zbog toga što najveći dio energije prelazi zračenjem u okolinu, a tek manji dio prelazi na zagrijavanje. Otprilike može se računati da jak udar munje napravi rupu promjera 20 mm u čeličnom limu debljine 0,5 mm. Pri taljenju materijala nastaju visoki tlakovi koji mogu dovesti do mehaničkih razaranja. Također, mogu nastati požari i eksplozije kao posljedica iskrenja metalnih dijelova. Česta je pojava struja munje nakon udara prolazi kroz zemlju, te se na tim mjestima mogu pronaći izgorjeli pijesak cjevastog oblika tzv. fuluriti. [1]

## 4. OPASNOSTI ZA LJUDE

Najveći broj nesreća zbor udara groma događa se kada se ljudi nalaze na otvorenom području, te ako se nalaze izvan šticećenog područja. Broj nesreća na otvorenom području nije se značajnije smanjio u odnosu na prošlost, čak naprotiv zbog toga što ljudi danas češće i duže borave u prirodi. Pri izravnom udaru groma kod čak 60% ljudi odmah nastupa smrt. Oni koji uspiju preživjeti najčešće imaju velika oštećenja sluha i vida te živčanog sustava. Mjesto izlaza struje groma jasno je vidljivo na ljudskom tijelu. Razlikujemo izravni i neizravni udar u čovjeka.

### 4.1. Izravni udar

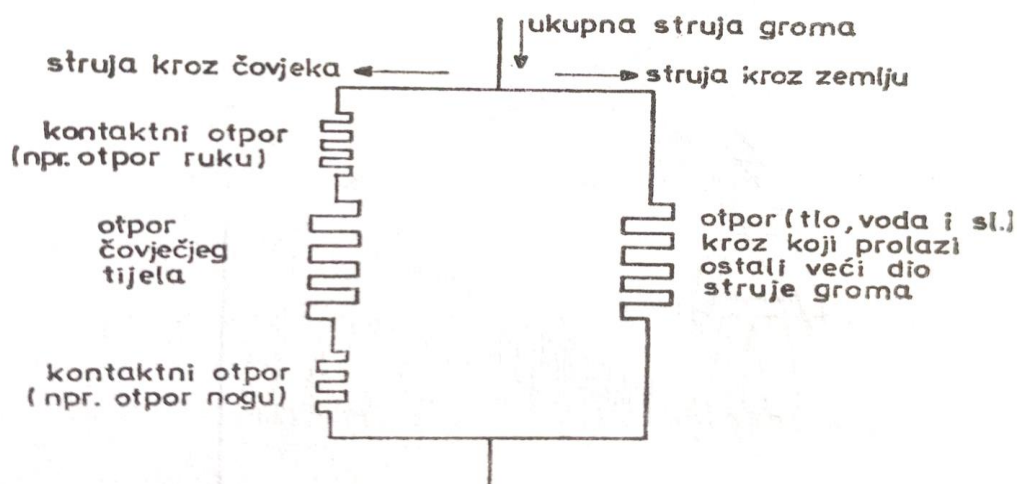
Izravni udar groma u čovjeka događa se kada se ljudi nalaze daleko od šticećenog prostora ili na otvorenom. Ljudsko tijelo ima otpor od  $500 \Omega$ , nakon udara groma na čovjeku se pojavi napon koji postupno raste, jednako kao što raste i čelo strujnog vala. Kada ta vrijednost prijeđe 100 kV, nastaje preskok površinom ljudskog tijela. Na slici 4.1. prikazana je shema otpora ljudskoga tijela, tada kod udara groma zamislimo još jedan paralelno spojen otpor električnog luka. Otpor električnog luka mnogo je manji od otpora čovjeka pa najveći dio struje prolazi upravo tim putem. Struja od 10 kA prolazi površinom ljudskog tijela, dok njezin mali dio, od nekoliko ampera, prolazi kroz tijelo čovjeka. Čak i tako mala struja dovoljna je da nastupi smrt. Jači dio struje koji prolazi površinom tijela izaziva opekotine pogotovo ako se radi o vlažnoj odjeći.



Slika 4.1. Shema izravnog udara groma u čovjeka [1]

## 4.2. Neizravni udar

Neizravni udar groma je onaj kada čovjek nije pogođen ukupnom strujom groma, već samo jednim dijelom. Takav udar najčešće se događa kada se čovjek penje na neku planinu ili se nalazi u moru ili bazenu. Udar može biti opasan i na udaljenostima od 100 m. U zemlji, oko udara groma, struja se raspršuje na silnice, te je moguće da jedna od silnica prođe kroz ljudsko tijelo. Ako je njezina vrijednost struje veća od 100 A, može nastupiti smrt. Veliku ulogu kod neizravnog udara ima otpor ljudskog tijela kao i kontaktni otpori ruku i nogu. Kontakti su zapravo mjesta gdje struja uđe i izađe iz čovjeka. Na *slici 4.2.* prikaza je shema neizravnog udara groma u ljudsko tijelo. Za čovjeka će veća opasnost biti što je specifični otpor tla veći i što je razmak između ekstremiteta veći. Ekstremitetima čovjek premošćuje dio prostora.



Slika 4.2. Shema neizravnog udara groma u čovjeka [1]

## 4.3. Mjere zaštite

Jedno od osnovnih pravila je da čovjek svojom visinom ili duljinom koraka ne smije premostiti veće razmake na tlu. Zbog tog razloga preporuka je da se za vrijeme trajanja oluje ne ostaje na većim osamljenim površinama, kako zbog svoje visine čovjek ne bi postao mjesto udara groma. U prilikama da se ipak nalazi u prirodi, preporuka je skloniti se u jarak, ili ispod stabla koje nije osamljeno. Najbolja zaštita je sakriti se u automobil ili vagon ako se nalaze u blizini. Također, je preporuka da se u tim trenucima ne stoji, već je preporučeno čučnuti. Ako se ljudi nalaze u objektu koji nije štićen gromobranskom zaštitom, najbolje se držati podalje od zidova toga objekta. Najbolje je potražiti zaklon već pri samim počecima grmljavine, kako nam ne bi ponestalo vremena za traženje

zaklona. Grmljavinske oluje brzo se kreću, stoga ostaje nekoliko minuta za traženje prikladnog zaklona.

## 5. ODREĐIVANJE STUPNJA ZAŠTITE

Određivanje stupnja zaštite obavlja se u svrhu rizika od oštećenja uzrokovanog direktnim atmosferskim pražnjenjem u određeni objekt. Za svaki pojedini objekt rizik se određuje na temelju podataka o učestalosti udara u objekt, mogućnost oštećenja i opasnosti od oštećenja nastalih nakon udara groma. U određenim slučajevima, za određivanje stupnja zaštite uzimaju se u obzir i neizravno atmosfersko pražnjenje. Za svaku pojedinu vrstu objekta određene su najveće dopuštene razine oštećenja, na temelju najveće usvojene vrijednosti učestalosti udara groma  $N_C$ . [2]

### 5.1. Usvojena učestalost udara groma $N_C$

Vrijednost usvojene učestalosti udara groma  $N_C$  dobivaju se na temelju analize rizika oštećenja uzimajući u obzir faktore kao što su vrsta objekta, prisustvo eksplozivnih tvari, broj ljudi u objektu, važnost i vrsta javne službe te vrijednost robe koja može biti oštećena. Vrijednost određuje investitor objekta, a ponekad projektant gromobranske zaštite. [2]

### 5.2. Učestalost direktnog udara groma u objekt $N_d$

Srednja godišnja vrijednost  $N_d$  dobivena je iz izraza [2]:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6}, [\text{broj udara/god.}] \quad (5.1.)$$

gdje je:

$N_g$  prosječna godišnja gustoća pražnjenja za neko područje

$A_e$  prihvatna površina objekta

### 5.3. Klasifikacija objekata

Klasifikacija objekata izvodi se u odnosu na posljedice uzrokovane udarom groma, njihove sadržaje ili njihovu okolinu. Opasne posljedice udara groma su požari, mehanička oštećenja, oštećenje električne opreme, smrtni slučajevi ljudi i životinja. Atmosfersko pražnjenje može izazvati eksplozije, ispuštanje radioaktivnih tvari, otrovnih elemenata ili kemijskih agenasa. Sve to za posljedicu može imati uništenje opreme, ispade energetskog sektora ili gubitke proizvoda. U *tablici 5.1.* prikazana je klasifikacija različitih objekata.

Tablica 5.1. Klasifikacija četiri vrste objekata [2]

Tip objekta	Namjena objekta	Posljedice uslijed udara groma
Tipični objekt	Stambeni	Oštećenje električnih instalacija, požar, materijalna šteta
	Farme	Primarna opasnost od požara i napona koraka. Sekundarna opasnost od gubitka električne energije, uginuće životinja, oštećenja sustava upravljanja farmom
	Kazališta, robne kuće, škole, sportski objekti	Gubitak električne energije što dovodi do nastanka panike, ispad protupožarnog sustava
	Banke, komercijalne ustanove	Gubitak električne energije što dovodi do nastanka panike, ispad protupožarnog sustava, onemogućena komunikacija, ispad računala i mogućnost gubitka podataka
	Bolnice, zatvori	Iste posljedice kao i kod objekata gdje boravi veći broj ljudi, dodatno ugroženi bolesnici na intenzivnoj njezi, problemi kod pružanja pomoći bolesnicima
	Muzeji	Trajni gubitak kulturnog bogatstva
Objekti ograničenih opasnosti	Telekomunikacija, elektroenergetska postrojenja, industrija ugrožena požarom	Opasnosti od nastanka požara po okolinu
Objekti opasni za njihovu neposrednu okolinu	Rafinerije, postrojenja za napajanje, tvornice oružja i lako zapaljivih materijala	Nastanak požara i eksplozija proizvodnih pogona i neposredne okoline
Objekti opasni za širu okolinu	Kemijska industrija, nuklearna postrojenja	Požar i prestanak rada praćen posljedicama za širu okolinu



Posebni objekti podjeljeni su u četiri skupine:

1. Objekti ograničenih opasnosti: objekti čiji konstrukcijski materijal, sadržaj te ljudi u njima čine cijelu zapremninu objekta te su tako izravno ugroženi od ugara groma.
2. Objekti opasni za njihovu neposrednu okolinu: objekti čiji sadržaj može biti opasan za okolinu nakon udara groma.
3. Objekti opasni za širu okolinu: objekti koji prilikom udara groma mogu izazvati biološke, kemijske i radioaktivne emisije.
4. Različiti objekti: objekti čija gromobranska zaštita mora imati posebnu izvedbu (objekti viši od 60 m, šatori, igrališta, privremeni objekti, objekti u izgradnji). [2]

#### **5.4. Projektiranje gromobranske instalacije**

Gromobransku instalaciju dijelimo na vanjsku i unutarnju. Uloga vanjske instalacije je da prihvati i odvede energiju u zemlju, dok je uloga unutarnje instalacije da dodatnim uređajima smanji opasno djelovanje atmosferskog pražnjenja u unutrašnjosti objekta.

##### **5.4.1. Vanjska gromobranska instalacija**

Vanjska instalacija sastoji se od prihvatnog sustava, sustava odvodnika i sustava uzemljenja. Također vanjska gromobranska instalacija može biti izolirana (prihvatni i sustav odvodnika postavljeni tako da struja groma nema kontakt sa šticećenim objektom) i neizolirana (prihvatni i sustav odvodnika postavljeni su tako da struja groma može biti u kontaktu sa šticećenim objektom).

Prihvatni sustav smanjuje vjerojatnost direktnog udara groma u šticećeni objekt i može biti sastavljen od štapne hvataljke, razapete žice i mreže odvodnika. Za dokazivanje djelotvornosti prihvatnog sustava koriste se metode zaštitnog ugla, fiktivne sfere ili mreže provodnika.

Sustav odvodnika mora biti postavljen tako da predstavlja direktno produženje odvodnika prihvatnog sustava. Da bi se smanjile opasnosti od preskoka, odvodnici moraju biti postavljeni tako da od mjesta udara groma do zemlje postoji nekoliko paralelnih strujnih putova.

Sustav uzemljenja treba imati mali otpor uzemljenja, da bi se osiguralo protjecanje struje groma u zemlju bez mogućnosti stvaranja opasnih prenapona. U praksi se najčešće koriste jedan ili više prstenastih uzemljivača, vertikalni uzemljivači i radialni uzemljivači. [2]

#### 5.4.2. Unutrašnja gromobranska instalacija

Unutrašnja gromobranska instalacija osigurava izjednačavanje potencijala u cilju sprečavanja neželjenih i opasnih posljedica napona kao i prenapon koji je atmosferskog podrijetla. To se može postići uređajima koji služe za zaštitu električnih instalacija niskoga napona. Razlog pojave prenapona može biti raznolik, naprimjer ako dođe do udara munje u neposrednoj blizini objekta. Takav udar stvara jako induksijsko polje koje se zatim prenosi do instalacija u objektu. To može izazvati oštećenja. U ovakvom slučaju najčešće se koriste prenaponski odvodnici napona. [2]

## 6. UZEMLJENJE

Uzemljenje predstavlja povezivanje sa zemljom bilo kakvih metaliziranih dijelova koji u normalnim uvjetima nisu pod naponom. Uzemljenje se izvodi pomoću sustava vodiča (uzemljivača) koji moraju spriječiti štetno djelovanje kad se ti metalni dijelovi nađu pod naponom. Uzemljenje zajedno sa zemljom moraju pružiti što manji otpor rasprostiranju struje kako ne bi došlo prekoračenja vrijednosti neželjenog napona dodira ili koraka. Otpor rasprostiranja (uzemljenja)  $R$  je otpor koji pri prolasku struje pruža dio zemlje koji se nalazi između nekog uzemljivača i područja kroz koji se struja širi u tlu. Dijelovi zemlje izvan tog područja nazivaju se neutralna zemlja. Otpor rasprostiranja  $R$  možemo izračunati na način da izmjerimo ukupni napon  $U$  između uzemljivača i neutralne zemlje, te da ga podijelimo sa strujom koju vodi uzemljivač. Otpor uzemljenja  $R$  prikazan je izrazom (6.1.):

$$R = \frac{U}{i} \quad (6.1.)$$

gdje je:

$U$  ukupni napon

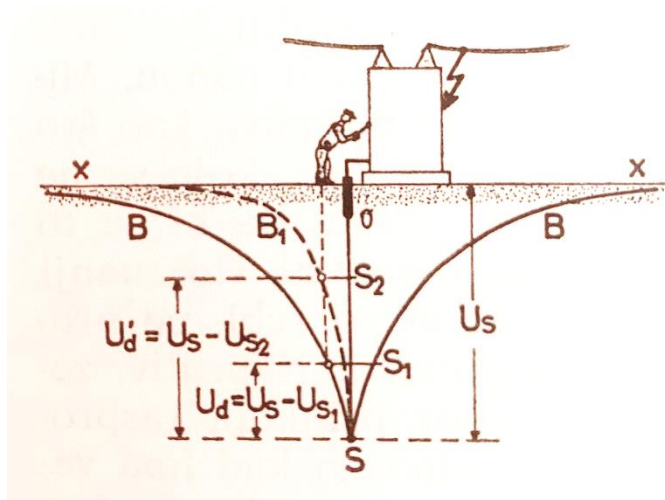
$i$  struja kroz uzemljivač

Prvi slojevi zemlje pružaju struji veći otpor od onih udaljenijih slojeva. Iz tog razloga prvi slojevi troše veći dio ukupnog napona. Raspodjela potencijala oko uzemljivača prikazana je na slici 6.1. Raspodjela potencijala prikazana je krivuljom B, u tom slučaju puni potencijal uzemljivača bit će jednak  $SO = U_S = U$ . Iznos potencijala opada što se više udaljavamo od uzemljivača. Ako bi se čovjek zatekao na udaljenosti od jednog metra od nekog štíćenog objekta i ako bi rukom dirao uzemljeni objekt kroz čiji uzemljivač prolazi struja, on bi bilo zahvaćen razlikom potencijala:

$$U_d = U_S - U_{S1} \quad (6.2.)$$

Ovakvu razlika potencijala prikazanom izrazom (6.2.) naziva se *napon dodira*. Može biti opasna po život čovjeka. Ako bi raspodjela potencijala bila prikazana okomitijom krivuljom  $B_1$ , što bi značilo da je veći dio ukupnog napona akumuliran blizu uzemljivača, tada bi napon dodira bio još veći i mogao bi se zapisati kao (6.3.):

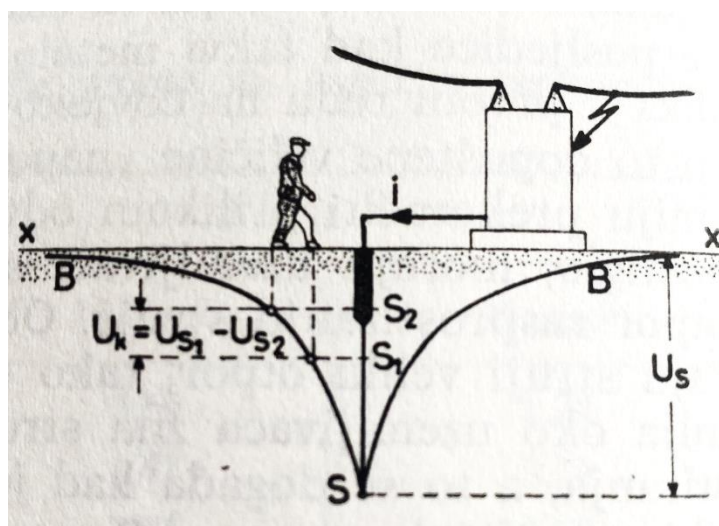
$$U'_d = U_S - U_{S2} \quad (6.3.)$$



Slika 6.1. Raspodjela potencijala oko uzemljivača – napon dodira [1]

Poneki uzemljivači građeni su tako da smanjuju razliku napona koja bi se mogla pojaviti između čovjekovih nogu. Tada, se ta razlika potencijala naziva *naponom koraka*. Ako se krivuljom B na slici 6.2. označi raspodjela potencijala, tada će čovjekova lijeva noga imati potencijal  $U_{S1}$ , a desna potencijal  $U_{S2}$ . Sam čovjek se u tom trenutku nalazi pod naponom koraka (6.4.):

$$U_k = U_{S1} - U_{S2} \quad (6.4.)$$



Slika 6.2. Raspodjela potencijala oko uzemljivača – napon koraka [1]

Napon koraka bit će veći što je čovjek bliži uzemljivaču, zbog toga što će svojim korakom premostiti veće razlike napona. Napon koraka i napon dodira ovise o struji koja teče kroz zemlju,

otporu uzemljenja  $R$  i o obliku krivulje po kojoj je raspoređen potencijal. Uzemljivači se koriste za odvođenje izmjenične ili istosmjernje struje, ali koriste se i za odvođenje struje groma koja se očituje kao kratki impuls. Kod odvođenja takvih struja uzemljivači imaju drugačiji otpor u odnosu na uzemljivače koji odvođe istosmjernu ili izmjeničnu struju. Otpor uzemljenja kod struje groma nazivamo udarni otpor uzemljenja  $R_U$ . Njegova vrijednost može biti manja ili veća od otpora uzemljenja  $R$ .

## 6.1. Obilježja zemljišta

Kod projektiranja uzemljenja proračuni otpora uzemljenja često se razlikuju od otpora u stvarnosti. Razlog tomu je nehomogenost tla. Također, veliku ulogu igra i vlaga prisutna u zemlji u određenom godišnjem dobu. Zemlja se, u elektrotehničkom smislu, kao vodič definira otporom koji pruža prolaskom struje jedna imaginarna kocka nekog homogenog zemljišta sa stranicama od 1 m. Takav otpor se naziva *specifični otpor* i označava se simbolom  $\rho$  i mjernom jedinicom ommetar ( $\Omega\text{m}$ ). Specifični otpor značajno se mijenja s promjenom vlažnosti. Njegova vrijednost bit će manja što je vlažnost veća i obrnuto. Ukoliko je temperatura iznad ništice može se zanemariti utjecaj temperature na specifični otpor. No, kada dođe do znatnog pada temperature i dođe do pojave leda vodljivost se naglo smanjuje i specifični otpor može poprimiti vrlo visoke vrijednosti. U *tablici 6.1.* prikazane su vrijednosti specifičnog otpora za tla koja se najčešće koriste.

*Tablica 6.1. Vrijednosti specifičnog otpora [1]*

Vrsta tla i vode	Specifični otpor [ $\Omega\text{m}$ ]
Morska voda	0,5
Jezera i rijeke	10 - 100
Vlažni sitni pijesak	90 - 150
Vlažni krupni pijesak (šljunak)	200 - 400
Suhi sitni pijesak	500
Suhi krupni pijesak	1000 - 2000
Beton	150 - 500

Zbog razlika u specifičnom otporu kod izvođenja uzemljenja, najbolje je držati se osnovnih pravila:

- postaviti uzemljivač na najmanju dubinu od 0,5 m zbog toga što vrijedi pretpostavka kako na toj dubini nema toliko velike promjene vlage i temperature, te da se tlo teže zaleđuje.
- treba izbjegavati slojeve koji se sastoje od šljunka i kamena jer oni u tlu mogu smanjiti dodir površine uzemljivača s okolišnom zemljom. Kako bi se to izbjeglo, poželjno je uzemljivač postaviti u sloj zemlje koja ne sadrži šljunak ili kamenje kako bi se uspostavio što bolji kontakt. [1]

## 6.2. Trakasti uzemljivači

Horizontalno ukopani (trakasti) vodiči se ravno polažu u zemlju od 50 do 100 cm dubine. U stvarnosti su to obično trake od pocinčanog čelika. Presjek traka je  $100 \text{ mm}^2$  i debljina trake oko 3,5 mm. Struja koja se preko trakastih uzemljivača raspršuje u zemlju nailazi na otpor tla koji se može prikazati izrazom (6.5):

$$R = \frac{K \cdot \rho}{2\pi \cdot l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{l}{2h} \right) \quad (6.5.)$$

gdje je:

$l$  duljina uzemljivača

$d$  promjer uzemljivača

$h$  dubina uzemljivača

$K$  korekcijski faktor (1 – 1,5)

S povećanjem duljine  $l$  otpor uzemljenja se bitno smanjuje, pa se zbog toga mora odabrati dovoljna duljina trake. S druge strane, dubina postavljanja  $h$  ne utječe bitno da smanjenje otpora uzemljenja, posebno ako je tlo homogeno i uzemljivač dovoljno dug. U praksi se najčešće koristi dubina od 0,5 do 1 m. [1]

## 6.3. Štapni uzemljivači

Okomito ukopani uzemljivači (štapni) su vodiči od 1 do 3 m duljine koji se postavljaju okomito u zemlju, ali tako da im zadnji kraj nije pod zemljom više od 20 do 30 cm. Ovakvi uzemljivači su najčešće čelične cijevi vanjskog promjera najmanje 38 mm i debljine stijenke od 2,5

mm. Osim cijevi mogu se upotrebljavati i u-profilu. U ovom slučaju struja će u zemlji naići na otpor koji je dan izrazom (6.6.):

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l}{r} \quad (6.6.)$$

gdje je:

$\rho$  specifični otpor zemlje [ $\Omega\text{m}$ ]

$l$  duljina uzemljivača [m]

$r$  polumjer cijevi [m]

Otpor uzemljenja se vrlo malo smanjuje ako povećamo polumjer cijevi. Zbog toga se u slučaju štapnih uzemljivača otpor uzemljenja smanjuje povećanjem duljine cijevi. Ako postoje problemi kod ukopavanja tako dugačkih uzemljivača, rješenje je ukopati više štapnih uzemljivača i povezati ih paralelno. [1]

#### 6.4. Temeljni uzemljivači

U današnje vrijeme u temelje nekog objekta postavljaju se metalni vodiči koji velike površine betona dolaze u kontakt sa zemljom. Takvi uzemljivači nazivaju se temeljni uzemljivači. Značajna prednost ovakvog tipa uzemljivača je što se nalaze u betonu koji ih štiti od korozije te im je na taj način produljen životni vijek. Beton je pod zemljom uvijek vlažan te na ovaj način postavljen uzemljivač ima dobar kontakt s tlom i to na velikoj površini. Time se smanjuje otpor uzemljenja, a može se odrediti pomoću izraza (6.7.):

$$R = \frac{\rho}{\pi d} \quad (6.7.)$$

gdje je:

$\rho$  specifični otpor tla [ $\Omega\text{m}$ ]

$d$  promjer zamišljene kugle koja ima jednak volumen kao betonski temelj u kojemu je vodič

Promjer  $d$  dobije se izrazom (6.8.):

$$d = 1,57 \sqrt[3]{V} \quad (6.8.)$$

gdje je:

$V$  volumen temelja [ $\text{m}^3$ ]

S obzirom da su uzemljivači ugrađeni u beton, na njihov otpor uzemljenja ne djeluju mnogo vanjski utjecaji, kao što je sušenje ili smrzavanje zemlje.

## 6.5. Udarni otpor rasprostiranja

Udarni otpor rasprostiranja  $R_U$  je manji ili veći od otpora uzemljenja  $R$  koji će nastati zbog djelovanja izmjenične ili istosmjerne struje u tlu. Razlika između udarnog otpora rasprostiranja i otpora uzemljenja ovisi o jačini struje ali i o obliku struje. Na tu razliku ponajprije utječe strmina struje groma ( $di/dt$ ) koja može imati vrijednosti od 0,3 do 80 kA/ $\mu$ s. Takve struje sporije prolaze u uzemljivač zbog toga što se događa odupiranje induktivnog otpora uzemljivača. Ako je strmina struje veća (vrijeme trajanja čela vala  $T_{\check{c}}$  kraće), struja prolazi cijelom duljinom uzemljivača. Tu dolazi do nemogućnosti odvođenja struje groma uzemljivačem kada na njega dolazi naponski val. Prilikom odvođenja struje groma u zemlju sudjeluje samo određena duljina uzemljivača. Ta aktivna duljina određuje se izrazom (6.9):

$$l_a = 1,1 \sqrt{\frac{T_{\check{c}}}{G_1 \cdot L_1}} \quad (6.9)$$

gdje je:

$G_1$  jedinični odvod (S/m)

$L_1$  jedinični induktivitet (H/m)

$T_{\check{c}}$  vrijeme trajanja čela struje ( $\mu$ s)

Vrijednost jediničnog induktiviteta  $L_1$  za uzemljivače mijenja se vrlo malo svega 1 do 2  $\mu$ H/m. Zbog toga udarni otpor rasprostiranja  $R_U$  ovisi samo o funkciji odvoda uzemljivača  $G_1$  i o trajanju čela vala  $T_{\check{c}}$ . Izraz za udarni otpor rasprostiranja (6.7) [1]:

$$R_U = \frac{1}{K_U \sqrt{G_1 \cdot T_{\check{c}}}} \quad (6.7)$$

gdje je:

$K_U$  faktor ovisan o duljini i odvodu uzemljivača te o vremenu trajanja čela struje

$G_1$  jedinični odvod (S/m)

$T_{\check{c}}$  trajanje čela struje groma ( $\mu$ s)



Računanje udarnog otpora rasprostiranja koristi se kada postoji sumnja da uzemljivač, koji se nalazi u lošem zemljištu, neće provoditi struju groma cijelom svojom duljinom. Ukoliko je udarni otpor rasprostiranja  $R_U$  veći o otpora rasprostiranja  $R$  onda za izračun najvećeg potencijala  $U_{max}$  (na uzemljivaču) množi tjemena vrijednost struje s izračunatim udarnim otporom rasprostiranja (6.8):

$$R_U \cdot (U_{max} = i_g \cdot R_U) \quad (6.8)$$

U praksi najčešće nema dovoljno mjesta za postavljanje dugih uzemljivača, pa se zato postavljaju paralelno spojeni veći broj kraćih uzemljivača. Kada se računa udarni otpor tako paralelno spojenih uzemljivača dobiveni rezultat dijeli se s brojem korištenih uzemljivača i koeficijentom međudjelovanja (6.9) [1]:

$$R_U = \frac{(R_U)_1}{n \cdot \eta} \quad (6.9)$$

gdje je:

$(R_U)_1$  udarni otpor rasprostiranja jednog uzemljivača

$n$  broj korištenih uzemljivača

$\eta$  koeficijent međudjelovanja

## 7. IZVEDBE GROMOBRANSKIH INSTALACIJA

### 7.1. Šipkasti gromobran

Šipkasti gromobran spada u jednu od najjednostavnijih zaštita od groma. Napravljen je od jedne hvataljke koja je s uzemljivačem vezana preko jednog ili više odvoda. Zadaća odvoda je najkraćim putem odvesti struju groma u zemlju. Prvu verziju ovakvog tipa gromobranske zaštite napravio je američki fizičar B. Franklin. Njegov šipkasti gromobran bio je sastavljen od bakrenog štapa visine 5 metara, koji se postavljao na krov. Na vrhu štapa nalazio se pozlaćeni šiljak. Od vrha je vodilo golo bakreno uže, po vanjskom dijelu krova, sve do zemlje, gdje je završavao bakrenom pločom. Ploča je bila postavljena na vlažno tlo. Franklinov šipkasti gromobran izvršavao je svoju zadaću, a to je dobro i lako odvođenje struje groma.

Ako se radi usporedba između zaštitnog svojstva šipkastog gromobrana i odvodnom funkcijom, šipkasti gromobran bit će mnogo korisniji prilikom odvođenja struje groma i svojim djelovanjem spriječiti će direktan udar groma u objekt. Na djelotvornost šipkaste gromobranske zaštite imat će utjecaj njegova konstrukcija, te oblik i veličina drugih vodljivih elemenata u blizini šipkaste zaštite. Zaštitno djelovanje šipkastog gromobrana neće se povećati postavljanjem više šiljaka na hvataljku. Može se zaključiti kako je zaštita ovakvog gromobrana u tome što je stvoren prostor unutar kojeg je vjerojatnost udara groma vrlo mala. No, ona ipak postoji i ne treba u zanemariti.

U novije vrijeme pojavio se i radioaktivni gromobran koji pomoću radioaktivnog šiljka povećava zaštićeni prostor. Radioaktivni vrh emitira veći broj iona i tako otvara prema glavi groma vodljivi kanal. Zbog toga se može utjecati na mjesto udara groma. Ovakav tip zaštite se vrlo rijetko koristi zbog radioaktivnih svojstava i većina stručnjaka ne priznaje radioaktivni tip zaštite. [1]

### 7.2. Dimenzioniranje gromobranskih instalacija u obliku zamke

U trenutku udara groma kroz prihvatni vod poteći će struja kroz svaku od grana metalne zamke. Takva struja koja se raspoređuje na grane, u svakoj će grani izazvati padove napona, koji mogu imati za posljedicu preskoke prema metalnim predmetima ili dijelovima objekta. Zbog toga je vrlo važno te razlike potencijala kontrolirati. Prilikom dimenzioniranja važno je uzeti u obzir kolika će biti razlika potencijala između vrha objekta i zemlje, tj. koliki će pad napona stvoriti struja po jednoj grani. Struja groma ima impulsni oblik i brzo se mijenja pa će za napon u grani biti mjerodavni brzina promjene struje i induktivitet odvoda (7.1) [1]:

$$U_L = L \left( \frac{di}{dt} \right) \quad (7.1)$$

gdje je:

$U_L$  pad napona

$L$  induktivitet odvoda

$\frac{di}{dt}$  strmina struje groma

Izraz (7.1) govori kako je razlika napona između vrha objekta i zemlje veća, što je induktivitet odvoda veći i što je veća strmina struje groma. Ako želimo smanjiti tu razliku treba se smanjiti strmina struje groma ili induktivitet odvoda. Kako po prirodi, ne možemo utjecati na strminu struje groma treba smanjiti induktivitet. Induktivitet odvoda računa se pomoću izraza (7.2) [1]:

$$L = 0,2 l \left( \ln \frac{2l}{r} - \frac{3}{4} \right) \quad (\mu\text{H}) \quad (7.2)$$

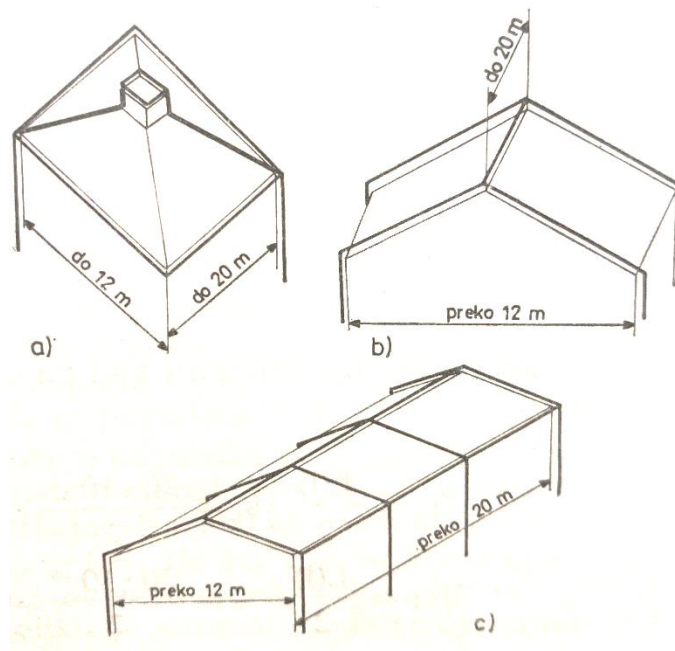
gdje je:

$l$  duljina odvodnog vodiča

$r$  polumjer odvodnog vodiča

Smanjivanje induktiviteta vodiča može se izvesti tako da se smanji njegova duljina ili poveća promjer. To u praksi nije uvijek moguće zbog toga što je duljina određena visinom objekta. Zbog toga se najčešće smanjuje induktivitet tako da se spoji više paralelnih vodiča. Paralelnim spajanjem smanjuje se induktivitet odvoda i u isto vrijeme se povećava zaštitno djelovanje cijele instalacije. Postiže se Faradayev kavez koji ima dobro zaštitno djelovanje, tako što na sebe prima izravni udar groma tako štiti objekt koji se nalazi unutar njega. Broj odvoda ovisi o dimenzijama građevina, zbog toga se prilikom projektiranja treba držati nekoliko osnovnih smjernica:

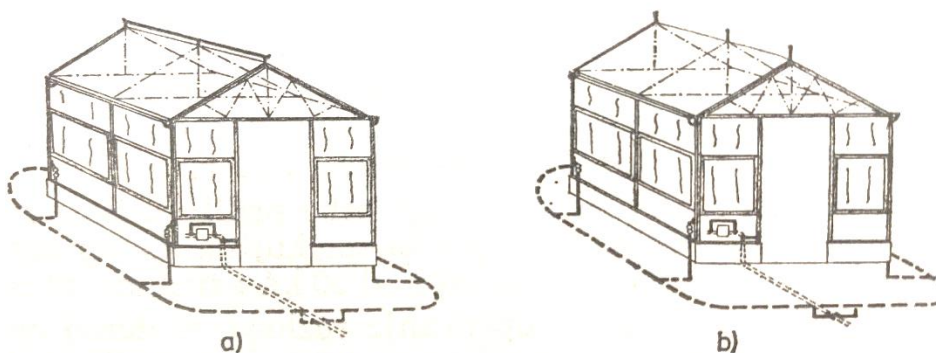
- Za građevine čija površina nije veća od 50 m<sup>2</sup> dovoljan je jedan odvod.
- Za građevine čija je tlocrtna površina veća od 50 m<sup>2</sup> moraju imati najmanje dva odvoda (*slika 7.1.a*), no ako je duljina takvih objekata veća od 20 m i širina veća od 12 m, tada moraju imati četiri odvoda (*slika 7.1.b*).
- Građevina dulja od 20 m treba na svakih započelih 20 m duljine dodati po jedan odvod i to s obje strane ako je širina građevine veća od 12 m (*slika 7.1.c*). Ako nije šira, odvodi se postavljaju sa svake strane naizmjenično.
- Ako je građevina šira od 20 m onda za svakih 20 m širite također treba dodati po jedan odvod.



Slika 7.1. Raspodjela odvodnika ovisno o veličini građevine [1]

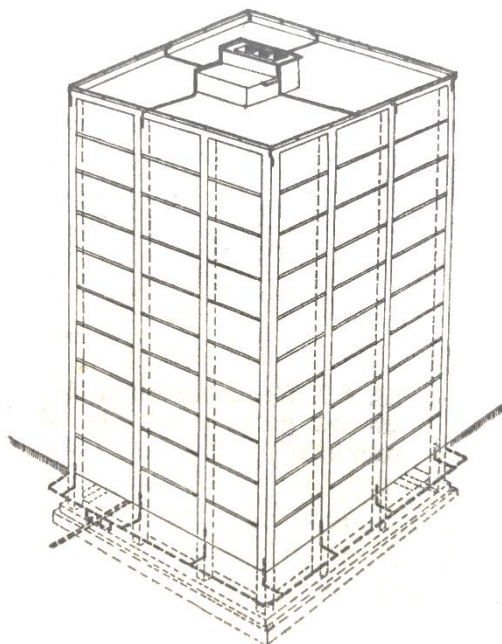
### 7.3. Gromobranske instalacije specifičnih objekata

Osim uobičajenih građevina, postoje i one koje se po obliku, veličini i primarnoj namjeni razlikuju. Na slici 7.2.a je građevina s čeličnom konstrukcijom i njezina gromobranska zaštita. Kod ovakvog tipa objekata bitno je koristiti se upravo njihovom konstrukcijom kao pomoćnim dijelom zaštite. Hvataljke moraju biti spojene na više mjesta s konstrukcijom na takav način da stvaraju galvansku cjelinu. Hvataljke i krovna konstrukcija povezuju se svakih 20 m, tada vertikalni elementi objekta služe kao odvodnici zbog svoje čelične konstrukcije. Odvodi moraju biti povezani preko sabirnih elemenata s uzemljivačem. Osim hvataljki u obliku užeta, na ovakav tip građevina, može se postaviti i štapne hvataljke kao što je prikazano na slici 7.2.b. Hvataljke su obično visoke oko 0,2 m.



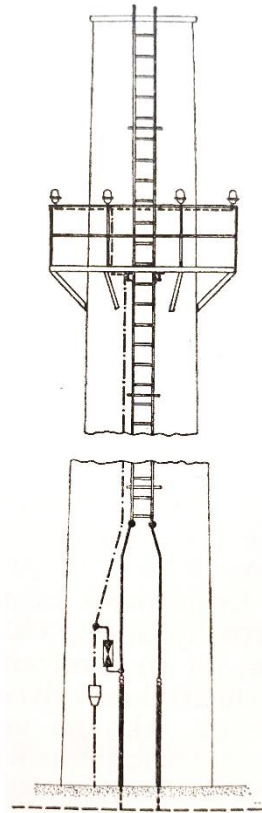
Slika 7.2. Gromobranska instalacija objekta s čeličnom konstrukcijom [1]

Često možemo susresti u našoj blizini neboder. Na *slici 7.3.* prikazana je gromobranska instalacija nebodera s armirano betonskom konstrukcijom i izoliranim krovom. U ovom slučaju također, se koriste vodljivi dijelovi zgrade kao dio sustava za gromobransku zaštitu. Ako neboder ima metalnu ogradu, ograda može poslužiti kao prstenasta hvataljka. Važno je povezati hvataljke s armirano betonskom konstrukcijom, zbog toga što će željezo iz betona služiti kao odvod gromobranske instalacije. Najčešće se na krovu nebodera nalazi strojarnica dizala koja se mora zajedno s konstrukcijom dizala povezati na gromobransku zaštitu. Na kraju, sve zajedno povezuje se sabirnim vodom na uzemljivač. Na visinama od 1,5 m odvodni vodiči moraju biti postavljeni u metalne cijevi koje služe kao zaštita od mehaničkih oštećenja. Mehanička oštećenja predstavljaju opasnost za ljudski život. Također, vodovodne i plinske cijevi moraju se povezati na gromobransku instalaciju.



*Slika 7.3. Gromobranska instalacija nebodera [1]*

Vrlo često vidimo da tvornice imaju različite vrste dimnjaka koje moraju imati gromobransku zaštitu zbog svoje visine. Na *slici 7.4* prikazana je gromobranska instalacija tvorničkog dimnjaka. Ako visina dimnjaka ne prelazi 20 m dovoljno je da imati jedan odvod, no ako im je visina veća od 20 m gromobranska instalacija izvodi se s dva odvoda. Na tvorničkim dimnjacima vrlo često se mogu vidjeti metalne ljestve koje služe za održavanje, no one također imaju i ulogu u gromobranskih odvodima, koje tada moraju biti povezane na uzemljivač. Hvataljke groma kod visokih tvorničkih dimnjaka najčešće su izvedene u obliku prstena.



*Slika 7.4. Gromobranska instalacija tvorničkog dimnjaka [1]*

#### **7.4. Elementi zaštite od groma**

Danas se gromobranska zaštita temelji na dva osnovna elementa: hvataljki u obliku štapa i hvataljki u obliku užeta. Njihova osnovna uloga je da provode izravni udar munje, čime je objekt ispod njih zaštićen. Druga, ne i manje važna uloga, je prihvaćenu struju munje odvedu s objekta u zemlju kako ne bi nekim drugim putem stigla prema tlu. Iz ovog razloga, na objekte se postavljaju odvodnici. Odvodi moraju podnijeti toplinsko opterećenje koje nastaje prilikom prolaska struje. Treća uloga gromobranske zaštite je da struju koju su prihvatili odvodnici nesmetano odvesti u zemlju. Zbog toga se postavljaju uzduž kuće štapni prstenasti uzemljivači. Prilikom uporabe uzemljivača mogu nastati problemi zbog toga što tjemene vrijednosti struje i otpor uzemljenja izazivaju na uzemljivaču pad napona. Ti padovi napona najčešće uzrokuju preskoke na druge metalne elemente u blizini, a dolaze iz zemlje za koju vrijedi da je njezin potencijal nula. Ovaj problem moguće je riješiti na dva načina. Prvi način, ako je moguće, potrebno je smanjiti otpor uzemljenja na najmanju moguću vrijednost. U tom slučaju nema velikog pada napona, pa neće doći ni do preskoka. Drugi način, ako ne postoji mogućnost smanjivanja otpora, je međusobno povezivanje uzemljivača s metalnim dijelovima iz okoline. Ovakvo spajanje naziva se izjednačavanje potencijala. Četvrta uloga zaštite je izbjegavanje preskoka ili proboja što može dovesti do induciranih napona. Inducirani naponi

pojavljuju se unutar instalacija zbog velike promjene strmine struje munje. Ovakva pojava može nastati na svim električnim i telefonskim uređajima. Opasno djelovanje induciranih naboja može se spriječiti povećavanjem razmaka kako bi proboj nastao kroz zrak ili zid, uporabom izolacije veće električne čvrstoće (npr. od PVC materijala) ili ugradnjom zaštitnog iskrišta na slabo izoliranim mjestima koja se spajaju paralelno s uređajima. [1]

#### 7.4.1. Verifikacija i održavanje

Verifikacijom se utvrđuje odgovara li gromobranska zaštita projektu, jesu li svi dijelovi zaštite u dobrom stanju, kako bi mogli izvršiti svoje zadaće, te jesu li svi naknadno dodani dijelovi objekta unutar štíćenog prostora.

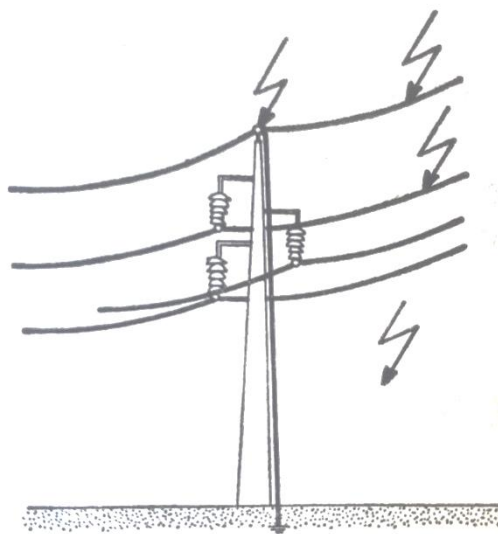
Redoslijed izvođenja verifikacije:

- za vrijeme izvođenja radova na objektu (provjera ukopavanja uzemljivača i drugih dijelova prema projektu)
- nakon izvedene gromobranske zaštite (provjerava se odgovara li zaštita objektu, jesu li svi dijelovi u dobrom stanju te mogu li obavljati uloge zaštite)
- periodične provjere (radi utvrđivanja nastanka korozije, jesu li svi naknadno napravljeni dijelovi objekta u štíćenom području, izvršavaju se periodično ovisno o prirodi zaštićenog objekta i uvjetima vezanim za nastanak korozije)
- dodatne provjere (izvršavaju se ako je došlo do udara groma u objekt)

Kako bi se utvrdilo stanje gromobranske zaštite obavljaju se redovni pregledi koji spajaju u održavanje. Ako postoje nedostaci uočeni pregledom moraju se odmah otkloniti. Stanje utvrđeno redoviti pregledima zapisuje se u izvještaje i moraju biti čuvani kao trajna dokumentacija. Ako postoji potreba za uklanjanjem nedostataka, sve mora biti dokumentirano u pisanoj formi koja sadrži opis radova te vrste i količinu korištenog materijala. [2]

## 8. ZAŠTITA NADZEMNIH VODOVA

U samim počecima razvoja gromobranske zaštite vjerovalo se kako grom ne može direktno udariti u nadzemni vod pa stoga vod nije niti bio šticećen. Razvojem tehnologija i znanja utvrđeno je kako je direktni udar groma itekako moguć. Jedna od mogućnosti zaštite je postavljanje tzv. zaklona koji nastoji spriječiti izravni udar. Zaklon mora imati dobro odvođenje struje groma te dobro izolaciju prema faznim vodičima. Zaklon se postiže kada se na vodovima iznad faznih vodiča postavi uže koje je na svakom stupu uzemljeno. Na slici 8.1. prikazana su moguća mjesta na kojima može udariti grom i dovesti do oštećenja.



Slika 8.1. Moguća mjesta udara groma [1]

Prema slici 8.1. može se zaključiti kako grom može udariti u fazne vodiče, stup, zaštitno uže ili u blizini nadzemnog voda. Kako je prije u radu rečeno, za nadzemni vod se ne može odrediti broj udara tijekom godine ako se zna površina po kojoj se dalekovod proteže. Nadzemni vodovi, kako im i samo ime govori, nalaze se izdignuti iznad zemlje i imaju specifičnu konstrukciju. Zbog toga nije jednostavno odrediti prosječan broj udara groma. Za određivanje broja udara u nadzemni vod uzima se srednja vrijednost tijekom pet godina. Ta srednja vrijednost ovisi o mjestu na kojem se vod nalazi te o kerauničkoj razini toga područja. Također, ovisi i o visini stupova. Srednja vrijednost udara groma u nadzemni vod dana je izrazom (8.1) [1]

$$N_L = \frac{N_i}{H} H^{0,35} \quad (8.1)$$



gdje je:

$N_i$  izokeraunička razina

$H$  visina stupova, [m]

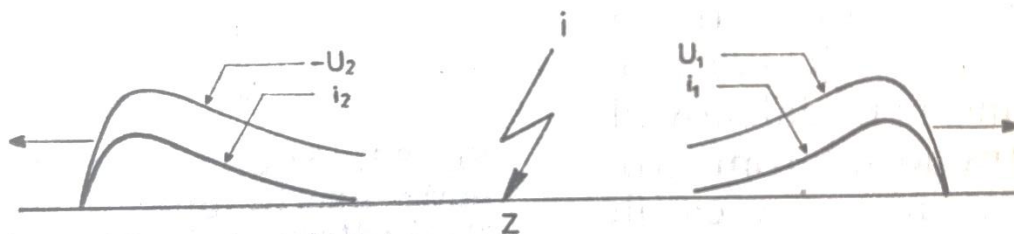
### 8.1. Udar groma u nadzemni vod bez zaštitnog užeta

Ako dođe do udara groma u nadzemni vod bez zaštitnog užeta, struja groma podijelit će se na dva jednaka dijela i širiti će se od mjesta udara, u lijevu i desnu stranu:

$$i_1 = \frac{1}{2}i \quad i_2 = \frac{1}{2}i \quad (8.2.)$$

Može se reći kako će struje  $i_1$  i  $i_2$  na vodu stvarati naponske putne valove čija je vrijednost dana izrazom (8.3):

$$U_1 = \frac{1}{2}i \cdot Z \quad U_2 = -\frac{1}{2}i \cdot Z \quad (8.3)$$



Slika 8.2. Širenje valova kod direktnog udara u fazni vodič [1]

Vrijednosti napona (8.3) su jednake ali suprotnog smjera kretanja. S obzirom na to da imaju isti valni oblik i strmine će biti jednake. Kolika će vrijednost struje groma biti na nekom vodu teško je odrediti i ovisi o mnogo faktora. No, sigurno je da će dio struje groma na pogođenom mjestu biti najveći u trenutku kada otpor na tome mjestu ima najmanju vrijednost. Ako se to ne ostvari, struja groma će samo jednim dijelom teći kroz pogođeno mjesto, a preostali dio struje teći će drugim putevima. Struja groma koja će poteći vodom može se izračunati pomoću izraza (8.4) [1]:

$$i = i_g \frac{Z_0}{Z_0 + Z_k} \quad (8.4)$$

gdje je:

$i_g$  ukupna struja groma

$Z_0$  valni otpor kanala groma

$Z_k$  ukupni otpor pogođenog vodiča

Ako uzmemo da je  $Z_k = (Z/2)$ , zbog toga što se struja dijeli paralelno, i uvrstimo u izraz (8.4), tada vrijednost struje groma glasi [1]:

$$i = i_g \frac{2Z_0}{2Z_0 + Z} \quad (8.5)$$

Iz izraza (8.5) može se dobiti vrijednost napona putnog vala [1]:

$$U_1 = U_2 = \frac{i}{2} \cdot Z = i_g \frac{Z_0 Z}{2Z_0 + Z} = \frac{i_g}{\frac{2}{Z} + \frac{1}{Z_0}} \quad (8.6)$$

Valni otpor voda iznosi  $Z = 400\Omega$ , dok je  $Z_0$  teško odrediti jer oscilira, ali usvojeno je da se u proračunima koristi vrijednost od 200 do 300  $\Omega$ . Izraz (8.6) najviše ovisi o struji groma  $i_g$  zbog toga što se druge vrijednosti u izrazu vrlo malo mijenjaju. Kod direktnog udara groma u fazni vodič najčešće dolazi do pojave zemljospoja, jednopolnog ili trolejnog kratkog spoja. Vrlo je bitno, iz sigurnosnih razloga, koristiti zaštitno uže. Ipak, ponekad se može dogoditi udar groma u fazni vodič iako postoji zaštitni vod. Vjerojatnost takvog udara dana je izrazom (8.7) [1]:

$$\log \Psi = \frac{\varphi^0 \sqrt{H}}{90} - 4 \quad (8.7)$$

gdje je:

$\Psi$  vjerojatnost udara groma u fazni vodič

$\varphi^0$  zaštitni kut dalekovoda

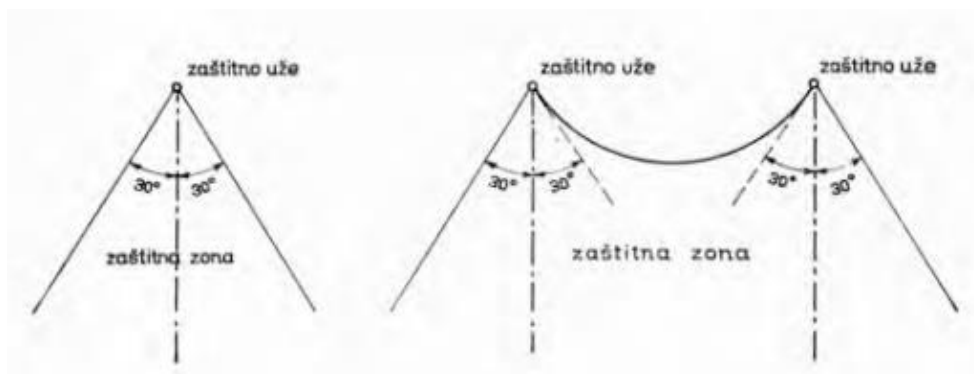
$H$  visina stupa od zemlje do zaštitnog užeta

Ako se u izraz (8.7) uvrsti prosječan kut dalekovoda od  $30^\circ$ , i prosječna visina od 20 m, vjerojatnost udara u fazni vod bit će:

$$\log \Psi = \frac{30\sqrt{20}}{90} - 4$$
$$\Psi = 0,0031 = 0,31\%$$

Vidljivo je da će na 300 udara groma tek jedan pogoditi fazni vodič.

Na slici 8.3. prikazan je zaštitni kut dalekovoda kojeg stvaraju zaštitna užad. Ako se pomoću jednog zaštitnog užeta ne može postići dovoljno veliki kut, upotrebljavaju se onda dva ili u iznimnim slučajevima tri zaštitna užeta. [8]



Slika 8.3. Zaštitni kut dalekovoda [8]

## 8.2. Udar groma u stup ili zaštitno uže

Zaštitno uže služi kako bi zaklonilo fazne vodiče od izravnog udara groma, također uloga mu je prihvaćati struje groma te ih odvoditi u zemlju preko uzemljivača. Za vrijeme trajanja tog odvođenja ne smije doći do pojave preskoka na fazne vodove. Bitno je dobro uzemljenje zaštitnog užeta na svakome stupu, i da otpor uzemljenja ne prelazi  $R = 15\Omega$ . Za svaki dalekovod postoji vrijednost struje grom iznad koje će doći do preskoka na izolatorima. Takva vrijednost naziva se *kritična vrijednost* struje groma  $i_k$ . U tablici 8.1. prikazane su neke kritične vrijednosti struje groma za različite naponske razine. Također, navedene su i vjerojatnosti preskoka, koliko se učestalo može pojaviti vrijednost veća od kritične.

Tablica 8.1. Kritične vrijednosti struja i vjerojatnost preskoka

Nazivni napon [kV]	Kritična struja $i_k$ [kA]	Vjerojatnost preskoka [%]
225	5 ili 6	95
400	8 ili 9	87
750	18 ili 20	62
1000	25 ili 30	48
1300	35 ili 40	35

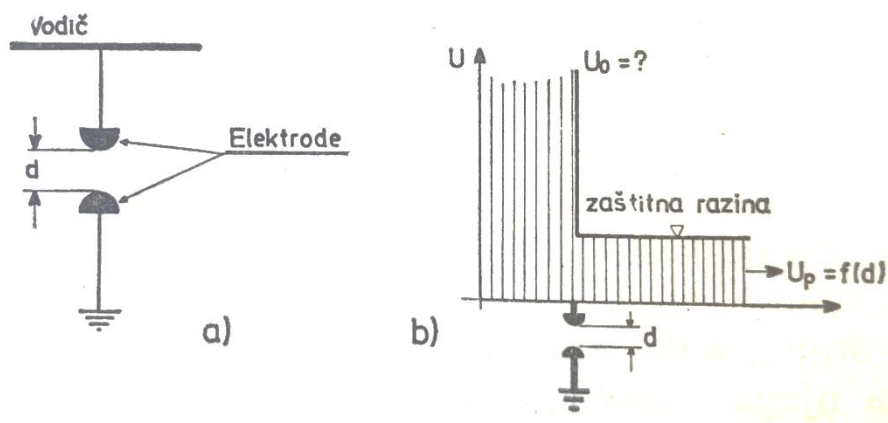
### 8.3. Zaštita nadzemnih vodova 10 i 20 kV

Veliki postotak nadzemnih vodova od 10 kV nalazi se na konstrukciji od drveta. Pošto su 10 i 20 kV vodovi najzastupljeniji postoji velika mogućnost od udara groma u njih. Kada dođe do oštećenja izolacije na njima nastaju ozbiljni problemi u prijenosu električne energije. Vodovi na drvenim konstrukcijama nemaju zaštitni vod, što znači da je svaki udar groma zapravo direktni udar u fazni vodič. Direktni udar groma u fazni vodič uzrokuje preskok na susjedni vodič. Ponekad se događa da grom udari i sami vrh drvene konstrukcije, tada kroz njega protječe jaka struje groma koje dovodi do naglog isparavanja vlage što često dovodi do eksplozije. Najbolja zaštita bilo bi zaštitno uže koje bi direktne udare groma privlačilo na sebe. Kod zaštitnog užeta za 10 i 20 kV vodove postoji problem slabe izolacije. Slaba izolacija nije u stanju izdržati kada bi se pojavili povratni preskoci. Mogla bi izdržati uz uvjet da je otpor uzemljenja vrlo mali, što je u slabo vodljivom tlu jako skupo za izvesti. To znači da bi zaštitno uže odvodilo struju groma uz vrlo visoku cijenu što nije prihvatljivo. Zbog toga se zaštita 10 i 20 kV nadzemnih vodova izvodi tako da se stupovi koji su imali dva oštećenja od udara groma zamjene sa željeznim stupom zbog toga što tada ne dolazi do mehaničkog oštećenja stupa ili do izbijanja na vrhu stupa. Takav stup mora biti dobro uzemljen kako ne bi došlo do povratnih preskoka nakon udara groma.

Zbog povećane mogućnosti od preskoka potrebno je postaviti iskrište. O struji zemljospoja ovisi hoće li biti postavljeno obično ili specijalno iskrište s gašenjem luka. Ako je struja zemljospoja manja od 5 A postaviti će se obično iskrište, a ako je veća od 5 A potrebno je ugraditi specijalno iskrište s gašenjem luka. No, u praksi se kod nadzemne mreže (10 i 20 kV) ne koriste zaštitna užad niti na željeznim stupovima. [1]

### 8.4. Zaštitno iskrište

Zaštitno iskrište je uređaj koji smanjuje amplitudu naponskog vala. Sastavljen je od dvije metalne elektrode i postavlja se između dijelova postrojenja pod naponom i zemlje (*slika 8.4.a*). Iskrište nastoji smanjiti amplitudu upadnog vala  $U_0$  na unaprijed određenu normalnu vrijednost (*slika 8.4.b*). Ta vrijednost naziva se *zaštitna razina iskrišta* i ona je ovisna o razmaku između elektroda. Veći razmak znači da je slabije djelovanje iskrišta, dok je kod manjeg razmaka djelovanje bolje.



Slika 8.4. Zaštitno iskrište [1]

Sve dok je tjemena vrijednost naponskih valova manja od probojnog napona iskrišta ono neće proraditi, već se on ponaša kao izolator. Ako je vrijednost naponskih valova veća od probojnog napona iskrišta nastupa proboj zraku između elektroda iskrišta. Iskrište je izvršilo svoju ulogu kada propusti neopasne naponske valove za izolaciju i kada odvede u zemlju opasne naponske valove.

Razmak između elektroda određuje se tako da se više puta propusti naponski val standardnog oblika od  $1,2/50 \mu\text{s}$ . Ako je preveliki razmak između elektroda neće biti preskoka. Postupno se taj ispitni napon smanjuje sve dok se ne ustale preskoci između elektroda. Taj se iznos napona koji izaziva preskoke između elektroda naziva *100%-tni preskočni napon* ( $U_{100\%}$ ). Drugačiji razmak elektroda ima svoj 100%-tni preskočni napon. Na ovaj način može se dobiti krivulja koja predstavlja karakteristiku određenog iskrišta.

Glavna uloga iskrišta je zaštita od prenapona, no oni se mogu koristiti i za usmjeravanje električnog luka koji može nastati prilikom proboja prema zemlji. Iskrišta mogu poslužiti i za određivanje poželjne raspodjele električnog polja. Tom karakteristikom mogu se spriječiti razne vrste izbijanja (korona).

Pravilan rad svakog iskrišta ponajprije ovisi o dobro odabranom razmaku između elektroda i njihovom smještaju prema izolaciji, te o gradivnom materijalu elektroda. Zbog različitih izvedbi i potreba, iskrišta su standardizirana. Luk koji nastaje između elektroda nepoželjan je za druge uređaje u blizini, zbog toga se iskrišta ugrađuju na otvorenom.

## 8.5. Procjena rizika za građevine spojene na NN mrežu

Rizik od prenapona pri udaru munje za građevine opisan je u normi HRN EN 61643-12:2008 2. Norma pokazuje da postoje dva primjera kako se instalacija opskrbljuje iz NN mreže:

- Instalacija građevine se napaja putem nadzemnog NN voda, a broj grmljavinskih dana na toj lokaciji je već od 25 dana godišnje. U tom primjeru moraju se na ulazu u instalaciju postaviti odvodnici struje munje.
- Ako koji od gornja dva uvjeta nije ispunjen (da je broj grmljavinskih dana manji od 25 ili da se radi o kabelu pod zemljom), onda se mora razmotriti razne kategorije posljedica:
  1. Posljedice za ljudske živote (putem medicinske opreme u bolnicama)
  2. Posljedice koje se odnose na javne sustave opskrbe (gubitak opskrbe za veliki broj ljudi)
  3. Posljedice za poslovne ili proizvodne aktivnosti (gospodarski gubici)
  4. Posljedice za skupine osoba (sigurnost osoba koje nisu izravno pogođene djelovanjima groma, npr. velike stambene zgrade)
  5. Posljedice za osobe (sigurnost osoba koje nisu izravno pogođene djelovanjima groma, npr. u malim uredima)

Za kategorije od 1. do 3. mora se postaviti odvodnike struje groma na ulazu instalacija. Dok za kategorije od 4. do 5. zahtjevi za postavljanje odvodnika ovise o procjeni rizika. [7] Proračun se mora obaviti uz uporabu formula za određivanje dogovorene duljine  $d$  (8.8):

$$d > d_{KRIT} \quad (8.8)$$

gdje je:

$d$  dogovorena duljina (km) opskrbnog voda građevine, a najvećom duljinom se smatra duljina voda od 1 km

$d_{KRIT}$  kritična duljina voda (km) i to:

$$d_{KRIT} = \frac{1}{N_g} \text{ za kategoriju posljedica tipa 4}$$

$$d_{KRIT} = \frac{2}{N_g} \text{ za kategoriju posljedica tipa 5}$$

$N_g$  gustoća udara groma po kvadratnom kilometru godišnje

Broj udara po kvadratnom kilometru godišnje dobije se iz izraza (8.9):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (8.9)$$

gdje je:

$T_d$  broj grmljavinskih dana u godini

Za određivanje rizika važno je odrediti duljinu voda  $d$  koja se onda uspoređuje s kritičnom duljinom voda (8.10):

$$d = d_1 + \frac{d_2}{4} + \frac{d_3}{4} \quad (8.10)$$

gdje je:

$d_1$  duljina nadzemnog NN opskrbnog voda građevine, najveće duljine 1 km

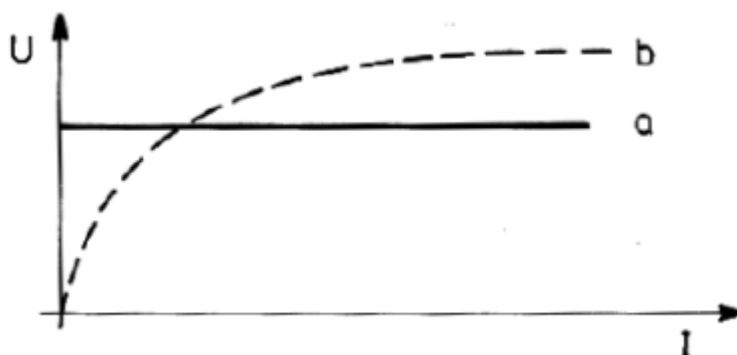
$d_2$  duljina NN podzemnog kabela spojenog na građevinu, duljine najviše 1 km

$d_3$  duljina SN nadzemnog opskrbnog voda kojim se napaja građevina, duljine najviše 1 km

Ako u opskrbi sudjeluje određena duljina SN podzemnog opskrbnog voda taj utjecaj se zanemaruje. Isto tako zanemaruje se i duljina NN podzemnog zaslonjenog voda. [7]

## 9. ODVODNICI PRENAPONA

Odvodnici prenapona najčešće se koriste u transformatorskim stanicama, gdje se priključuju ili na sabirnice ili na ulaz u transformatorsku stanicu. Odvodnici prenapona imaju široku primjenu, pa ih tako osim u transformatorskim stanicama, možemo pronaći na vodovima NN, SN i VN te u kućanstvima, samo su im dimenzije i prekidne moći prilagođene mjestu na kojem se nalaze. Odvodnici prenaponi služe da smanjuju napon vala koji dolazi do razine koja je bezopasna za izolaciju. Postoje različiti odvodnici prenapona, no glavna odlika im je nelinearna karakteristika koje prati promjene napona, što bi značilo da se otpor mijenja sukladno promjenama napona. U-I karakteristika idealnog odvodnika prenapona je linearna (*slika 9.1.a*), dok stvarni odvodnici prenapona imaju nelinearnu karakteristiku (*slika 9.1.b*). [6]



Slika 9.1. U-I karakteristika odvodnika prenapona

### 9.1. Ventilni odvodnici prenapona

Ventilni odvodnici prenapona rade na principu da omogućavaju preusmjerivanje prekomjernih prenapona u zemlju, tako da se koristi ventiliranje, što uvelike pomaže kod zaštite od iskri i potencijalnih požara. Ovakav tip odvodnika priključuje se između vodiča i uzemljenja. Ventilne odvodnike karakterizira promjenjiv otpor ovisno o veličini napona. Što je napon na otporu veći to je jače polje i ionizacija koji omogućavaju veći vodljivi kanal pa je utoliko manji otpor. Vrijedi i obratno, kada se napon na otporu smanjuje, slabi električno polje i ionizacija, što dovodi do smanjenja vodljivog kanala koji utječe na porast otpora. Takva mogućnost promjenjivog otpora u ventilnim odvodnicima prenapona omogućava da u trenutku nailaska vala, smanjujući otpor, odvede jake struje u zemlju. Isto tako vrijedi, da kada naponski val prestane djelovati, odvodnik povećanjem svojeg otpora prekinuti struju koja bi tekla kroz zemlju. Takva se struja koja bi i dalje tekla kroz zemlju naziva popratna ili zaostala struja.



Odnos između napona na odvodniku  $U_V$  i struje koja kroz njega prolazi  $i_V$  prikazan je izrazom (9.1) [1]:

$$U_V = k \cdot i_V^a \quad (9.1)$$

gdje je:

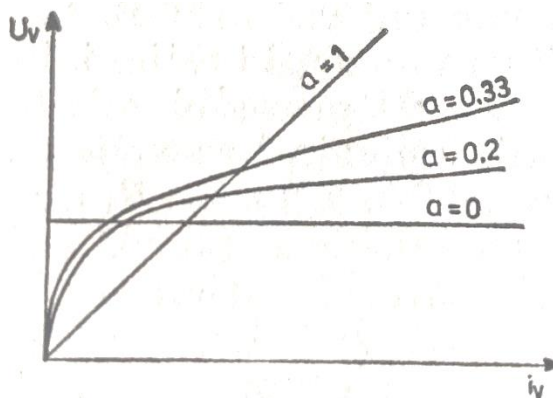
$U_V$  napon na otporima odvodnika

$i_V$  struja kroz odvodnik

$k$  konstanta jednaka naponu na odvodniku kada kroz njega prolazi struja od 1 A

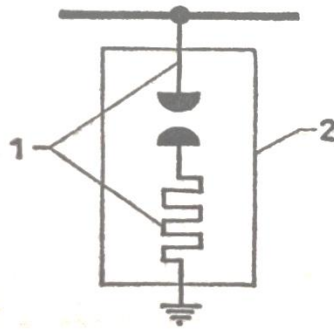
$a$  konstanta nelinearnosti

Konstanta  $a$  određuje ventilna svojstva odvodnika. Ako je  $a = 0$ , radi se o idealnom odvodniku. Na slici 9.2. prikazana su svojstva odvodnika koja ovise o konstanti  $a$  i o struji koja protječe odvodnicima. Idealni ventilni odvodnik je onaj kojemu bi napon ostao ne promijenjen za sve struje. U stvarnosti, ne postoje idealni odvodnici, ali uvijek se pokušava postići da je odvodnik čim bliže idealnom. Želi se postići da povišenje napona na odvodnicima bude što manje dok su opterećeni različitim naponima. Upravo zbog toga želi se postići da je nelinearnost što veća. To se postiže pomoću male vrijednosti konstante  $a$ . Najčešće se uzima  $a = 0,2$ , čija se karakteristika gotovo poklapa s idealnom kao što je vidljivo na slici 9.2. [1]



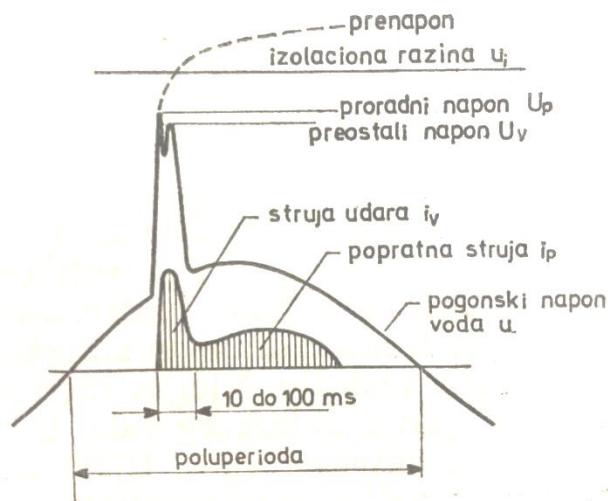
Slika 9.2.  $U - I$  karakteristika ventilnih odvodnika prenapona [1]

Osnovna konstrukcija ventilnih odvodnika sastavljena je od aktivnog i pasivnog dijela. Aktivni dio je onaj koji sudjeluje u odvođenju struje, a pasivni dio je porculansko kućište. Na slici 9.3. prikazana je shema ventilnog odvodnika. Iskrište svojim razmakom osigurava da vod bude izoliran od zemlje, također taj razmak određuje visinu prorađnog napona.



Slika 9.3. Ventilni odvodnik, 1 – aktivni dio, 2 – pasivi dio [1]

Aktivni dio sastoji se i od promjenjivih otpora, čija je zadaća održavanje stalnog napona i prekid popratne struje nakon prenapona. Na slici 9.4. prikazana je krivulja rada ventilnog odvodnika prenapona.



Slika 9.4. Krivulja rada ventilnog odvodnika prenapona [1]

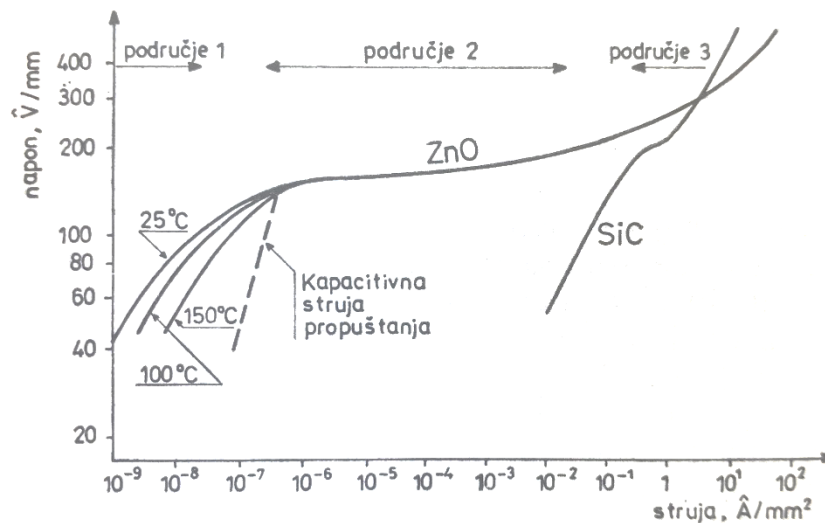
## 9.2. Cink – oksidni odvodnici prenapona

Cink – oksidni odvodnici upotrebljavaju se posljednjih desetak godina. Od klasičnih odvodnika razlikuju se zbog toga što nemaju iskrište, stoga je njihovo funkcioniranje potpuno drugačije. Promjenjiva odlika otpora dobivena je korištenjem cink – oksida koji najčešće dolaze s primjesama bizmuta. Dobivena smjesa sastojaka zatim se miješa s izolacijskim materijalom te preša, potom se dobivaju valjčići koji na visokoj temperaturi dobivaju svoja keramička svojstva. Takav element je prikladan za ugradnju u odvodnike.

Na početku je struja propuštanja kroz odvodnik vrlo mala zbog toga što izolacija cink – oksidnih čestica to ne dopušta (slika 9.5. područje 1). Daljnjim povećanjem napona, izolacijski

materijal odvodnika postaje vodljiv pa se struja povećava. Ovo područje rada povoljno je za zaštitu zbog toga što su je karakteristika odvodnika u ovim trenucima gotovo idealna (slika 9.5. područje 2). Kod još veće struje propuštanja napon bi se značajnije promijenio (slika 9.5. područje 3). Na slici 9.4. prikazana je i karakteristika odvodnika kojem je promjenjivi otpor dobiven od čestica karborunduma (SiC), te je vidljivo kako se napon na ovom tipa odvodnika brže mijenja nego na cink – oksidnom odvodniku.

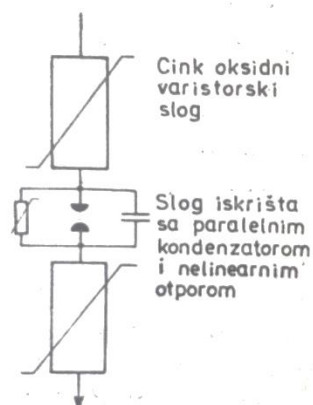
Radna točka odvodnika nalazi se ispod koljena krivulju, između područja rada 1 i 2. Ovdje se cink – oksidni odvodnici ponašaju gotovo kao izolatori pa kroz njih tada protječe slaba kapacitivna struja (slika 9.5).



Slika 9.5. Karakteristika cink – oksidnih odvodnika [1]

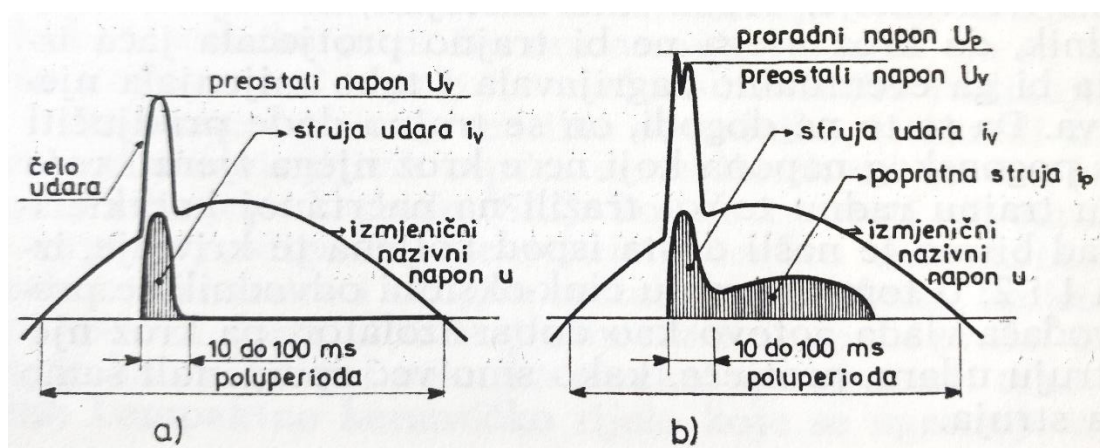
### 9.2.1. Izvedba i rad u pogonu

Cink – oksidni otpori ugrađuju se u kućište, te broj elemenata ovisi o jakosti udarne struje koju treba odvoditi. Ako se koriste za jaku struju treba u odvodnik staviti veći broj otpora i povezati ih paralelno. Novije izvedbe koje moraju održavati vrlo niski preostali napon izvode se s malim brojem iskrišta ali se tada još koriste promjenjivi otpori i kondenzatori koji bolje raspoređuju napon (slika 9.6.). Vrste odvodnika ovise o atmosferskim prilikama i u kakvim pogonima će se primjenjivati.



Slika 9.6. Složeni cink – oksidni odvodnik [1]

Na slici 9.7. prikazana je usporedba rada cink – oksidnog odvodnika (a) i ventilnog odvodnika s iskrištima (b). Na cink – oksidni odvodnik prenapona dolazi val uzrokovan gromom te djeluje nekoliko milisekundi. Prije nailaska vala odvodnikom je tekla mala kapacitivna izmjenična struja, isto se događa i kod klasičnog odvodnika. U trenutku dolaska vala, odvodnik će propustiti udarnu struju (iscrtkano područje na slici). Klasični odvodnik tu će struju propustiti tek kada prorade iskrišta. Nakon što odvodnik odvede struju groma u zemlju, njegovi promjenjivi otpori djeluju kao izolatori i gotovo trenutno prekidaju popratnu struju. Ovo svojstvo vidljivo je i na slici 9.7. Također, razlika je u tome što kod cink – oksidnih odvodnika nema naglih prijelaznih pojava koje postoje kod klasičnih odvodnika zbog djelovanja iskrišta. [1]

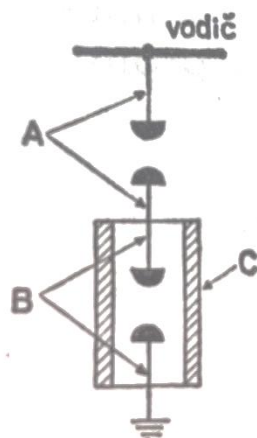


Slika 9.7. Usporedba odvodnika prenapona [1]

### 9.3. Cijevni odvodnici prenapona

Cijevni odvodnici prenapona sastoje se od dva iskrišta i cijevi od fibera (C). Jedno iskrište (B) nalazi se u cijevi, a drugo izvan nje. Oba iskrišta povezana su serijski kao što je prikazano na slici

9.8. Iskrište u cijevi sastoji se od dvije elektrode, gdje je jedna spojena sa zemljom, a druga s elektrodom vanjskog iskrišta (A).



Slika 9.8. Cijevni odvodnik prenapona [1]

U trenutku dolaska vala na odvodnik, odmah prorade oba iskrišta i struja krene teći u zemlju kroz ionizirani prostor u odvodniku prenapona. Ta struja kada prolazi kroz cijev stvara visoku temperaturu te u doticaju s cijevi uzrokuje isparavanje manjeg sloja fibera. Tada nastaje plin, koji uzrokuje tlak u cijevi. Na ovaj način dolazi do deionizacije unutar iskrišta čime se gasi luk odnosno prekida se tok popratne struje. Ako se deionizacija nije dobro provela, postoji vrlo velika mogućnost od ponovnog paljenja luka. Glavni nedostatak cijevnog odvodnika prenapona je to što se on neprestano troši, svaki put kada odvodnik proradi i ispari sloj fibera. Tim dolazi do povećanja promjera i promjena u izolaciji. Svi odvodnici prenapona imaju određeni broj prorada, nakon čega ih je potrebno zamijeniti. [1]

## 10. ZAŠTITA ELEKTRIČNIH POSTROJENJA OD PRENAPONA

Elektroenergetska postrojenja rijetko kada su izložena direktnom udaru groma, no ne treba zanemariti njihovu zaštitu. Zaštita za takva postrojenja se najčešće izvodi u obliku šipkastih gromobrana ili uzemljenim zaštitnim užetima. Pri projektiranju zaštite za elektroenergetska postrojenja treba se koristiti postojećim krovovima zgrada, stupovima ili dimnjacima. Kada se odredi broj šipkastih gromobrana i nakon njihovog postavljanja, treba sve gromobrane zajedno s konstrukcijama na koje su postavljeni, spojiti na uzemljenje rasklopnog postrojenja. Kao najvažniji dio postrojenja smatra se transformator, te se njegove izolacija posebno štiti od atmosferskog pražnjenja. Da ne bi došlo do oštećenja izolacije transformatora, treba izbjegavati gromobranksu zaštitu koja je postavljena na njegove portale. Samo kućište transformatora mora biti uzemljeno najmanje 15 m od mjesta gdje je uzemljen gromobran, zbog toga što će tu potencijal biti niži. Ako ipak postoji potreba za ugradnjom šipkastih gromobrana na portale transformatora, tada mora postojati zaštita namota nižeg napona pomoću ventilnih odvodnika. No, ako su transformator i rotacijski strojevi povezani kabelom čiji su plaštevci uzemljeni, nisu potrebni ventilni odvodnici prenapona zbog toga što je veliko širenje valova pod zemljom. [1]

Kod 35 kV postrojenja koja nemaju dobre vodljivost zemljišta teško se dobiva mali otpor uzemljenja i nije moguće lako spriječiti povratne preskoke i proboj izolacije. Tada se mora odvoditi uzemljenje gromobrana i uzemljenje postrojenja (*slika 10.1.*). Udaljenost  $l_z$  između uzemljivača gromobrana i uzemljivača transformatora mora biti tolika da ne dođe do proboja kroz zemlju. Da bi se to postiglo mora vrijediti (10.1) [1]:

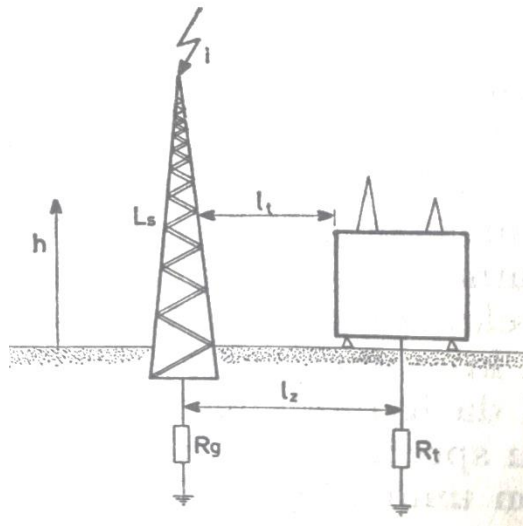
$$i \cdot R_g < E_z \cdot l_z \quad (10.1)$$

gdje je:

$R_g$  otpor uzemljenja gromobrana

$E_z$  srednji probojni napon u zemlji

$l_z$  udaljenost između uzemljivača gromobrana i transformatora



Slika 10.1. Zaštita postrojenja do 35 kV [1]

### 10.1. Zaštita prilaza postrojenju

Zaštita okolnog područja oko postrojenja izvodi se tako da se visokonaponski nadzemni vodovi u krugu od 1 – 2 km oko postrojenja štite zaštitnim užetima. Takva zaštitna užad mora biti postavljena pod malim zaštitnim kutom te da uzemljenje stupova nadzemnih vodova ima što manji otpor. Ovakav način zaštite prilaza naziva se *relativno zaštićeni prilaz*, dok je postrojenje koje se štiti na ovaj način efikasno zaštićeno. Ovako postavljena zaštita prilaza ograničava jaku struju kroz odvodnike u slučaju udara groma, te sprječava da putni valovi velikih strmina dođu do postrojenja. [1]

### 10.2. Klasifikacija prenapona

Naponi i prenaponi klasificirani su prema obliku i trajanju te su podijeljeni u klase i prikazani na slici 10.2 [9]:

1. Trajni napon pogonske frekvencije – ima konstantnu vrijednost i trajno je priključen na opremu
2. Privremeni prenaponi – prenaponi pogonske frekvencije relativno dugog trajanja, frekvencija može biti manja ili veća od pogonske frekvencije
3. Prijelazni prenaponi – prenaponi u trajanju od nekoliko milisekundi ili kraće

3.1. Prenaponi laganog porasta čela: To su prijelazni prenaponi obično jednog polariteta s vremenskim trajanjem čela od  $20 \mu s < T_1 < 5000 \mu s$  i trajanjem hrpta od  $T_2 < 20 ms$ .

3.2. Prenaponi brzog porasta čela: Prenaponi s vremenskim trajanjem čela  $0,1 \mu s < T_1 < 20 \mu s$  i trajanjem hrpta od  $T_2 < 300 \mu s$ .

3.3. Prenaponi vrlo brzog porasta čela: Prenaponi s ukupnim trajanjem  $< 3 ms$

4. Kombinirani prenaponi (prijelazni): Sastavljeni od dvije ili više komponenti istovremeno.

Klasifikacija prenapona prema mjestu nastanka [9]

1. Vanjski prenaponi – izvor im se nalazi izvan strujnog kruga čiju izolaciju promatramo, to su najčešće atmosferski prenaponi.
2. Unutarnji prenaponi – nastaju zbog prijelaznih stanja pogonskih krugova (nagla rasterećenja, zemljospoj)

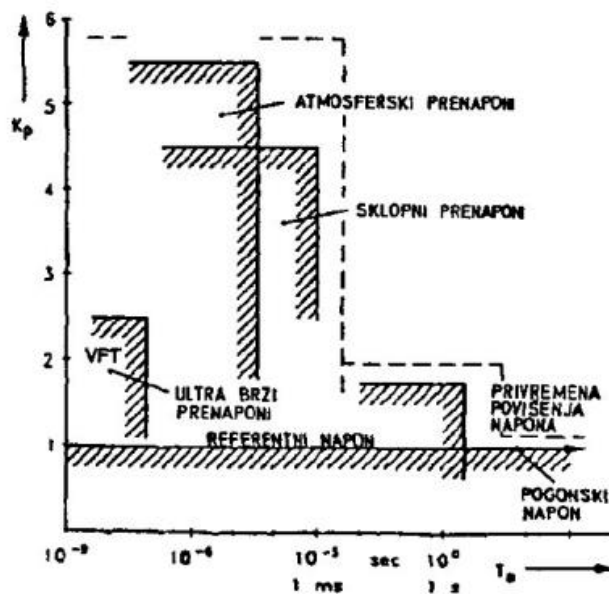
Faktor prenapona dan je izrazom (10.2) [9]:

$$K_P = \frac{U_{max}}{\sqrt{2} \frac{U}{\sqrt{3}}} = 1,225 \frac{U_{max}}{U} \quad (10.2)$$

gdje je:

$U_{max}$  amplituda prenapona

$U$  efektivna vrijednost pogonskog napona



Slika 10.2. Klasifikacija prema trajanju i faktoru prenapona [9]



### 10.3. Mjesto ugradnje odvodnika

Osnovno pravilo vezano za mjesto postavljanja odvodnika prenapona u elektroenergetskim postrojenjima nalaže da se odvodnik prenapona postavlja što bliže štíćenom objektu. U elektroenergetskim postrojenjima osnovni štíćeni objekt je energetska transformator. Transformator je vrlo skup element postrojenja stoga njegova zaštita mora biti vrlo učinkovita. Izolacija transformatora izložena je djelovanju privremenih, sklopnih i atmosferskih prenapona. Neki od najčešćih kvarova transformatora su međufazni kratki spoj u transformatoru te kratki spoj sa zemljom.

Maksimalni dozvoljeni razmak između odvodnika prenapona i energetskog transformatora, tj. štíćenog objekta, naziva se *zaštitna zona odvodnika prenapona* i dana je izrazom (10.3) [9]:

$$l_{max} = \frac{U_I - (U_Z + U_Y)}{2s} \cdot v \quad (10.3)$$

gdje je:

$U_I$  podnosivi udarni napon energetskog transformatora tj. štíćenog objekta

$U_Z$  zaštitna razina odvodnika prenapona

$U_Y$  pad napona na spojnom vodu odvodnika s faznim vodičem i uzemljenjem

$$U_Y \approx L_1 \cdot l_Y \cdot \frac{di}{dt}$$

gdje je:

$L_1$  induktivitet sponog voda

$l_Y$  duljina spojnog voda do faznog vodiča i uzemljenja

$s$  očekivana strmina prenaponskog vala

$v$  brzina rasprostiranja prenaponskog vala

## **11. TEHNIČKI UVJETI ZAŠTITE**

Tehnički uvjeti za izvođenje zaštite na objektima sastavni su dio glavnog projekta gromobranskih instalacija i izvođači su obavezni u potpunosti držati se pravila.

### **11.1. Opći uvjeti**

Izvođač radova mora prije početka bilo kakvih radova temeljito proučiti projekt, te ako postoje nejasnoće na vrijeme potraži objašnjenje projektanta. Ako postoje određene promjene u projektu od strane izvođača, on je dužan nabaviti pismenu suglasnost odgovornog projektanta. Ako izvođač ovu stavku ne poštuje, dogovornost za moguće nastale posljedice snosi sam. Također, tijekom izvođenja radova gromobranske zaštite potrebno je vođenje dnevnika rada koji je propisan važećim pravilnikom. Za vrijeme trajanja radova izvođač treba paziti da ne dođe do oštećenja već postojećih objekata ili instalacija, te je svu načinjenu štetu obavezan nadoknaditi investitoru. Vrlo je važna komunikacija i koordinirano izvođenje radova ukoliko postoje na mjestu izgradnje drugi izvođači kako ne bi došlo do odstupanja. Materijal koji se koristi mora biti najbolje kvalitete i odgovarati standardima. Na kraju radova, izvođač je obavezan pregledati i ispitati postavljene instalacije, te ukoliko postoje nepravilnosti ispraviti ih prema tehničkim propisima. Ispitivanje vanjske gromobranske instalacije podrazumijeva ispitivanje neprekidnosti sustava, odvodnika te sustava uzemljenja kao i ispitivanja uzemljivača gromobranskih instalacija. Ispitivanje unutarnje instalacije izvodi se izjednačavanjem potencijala i provjera uređaja za prenaponsku zaštitu. Učestalost održavanja ovisi o stupnju oštećenja prilikom djelovanja atmosferskih utjecaja i oštećenja nastalih udarom groma. Vrlo je bitno sačuvati svu projektnu dokumentaciju kao i dokumentaciju vezanu za održavanje i popravke. [2]

### **11.2. Uvjeti za izvođenje gromobranskih instalacija**

Za izvođenje gromobranskih instalacija vrlo je bitno koristiti opremu i dijelove koji su prikazani projektom. Sve vodove treba napraviti od što duljih elemenata, s čim manje spojeva ukoliko je to moguće. Također, neophodna je komunikacija između izvođača i stručnjacima za pojedine faze. Konzultacija podrazumijeva podatke o materijalima koji se koriste za gromobranske instalacije, o svim metalnim dijelovima (cijevima, olucima, šinama), o elementima koji se nalaze u blizini objekta i potrebno je izjednačavanje potencijala s gromobranskom zaštitom, o mjestu spajanja armaturno betonske konstrukcije. Vrlo je bitna suradnja između stručnjaka za protupožarnu zaštitu, te osoba stručnih za elektronske sustave i izvođača radova. Bitno je poznavanje gdje su mjesta priključaka ulaznih instalacija u objekt što uključuje TV i radioantene te nosače antena. [2]

### 11.3. Uvjeti za sustave uzemljenja

Osobitu pažnju izvođač mora pridati sustavima uzemljenja kako bi se spriječila pojava prenapona koji mogu biti vrlo opasni. Cjelokupnu gromobransku zaštitu čine zaštita od atmosferskog pražnjenja, zaštita električnih instalacija te instalacije telekomunikacija. Ako se prilikom izvođenja radova pojavi potreba za posebnim sustavima uzemljenja, oni moraju biti međusobno sinkronizirani, te moraju biti izjednačeni potencijali. Tijekom gradnje mogu se koristiti jedan ili više prstenastih uzemljivača, vertikalni uzemljivači, radijalni ili temeljni uzemljivači. Efikasnije postavljanje uzemljivača je na tlima čija specifična otpornost pada s dubinom i čiji je donji sloj male specifične otpornosti. Za sustave uzemljenja potrebno je primijeniti jedan od dva rasporeda uzemljivača, raspored A tipa ili raspored tipa B. Kod rasporeda A tipa koriste se radijalni i vertikalni uzemljivači, dok tip B podrazumijeva prstenaste ili temeljne uzemljivače. Kod postavljanja uzemljivača bitno je da su postavljeni izvan štice područja i da se nalaze najmanje 0,5 m ispod površine. Odabir uzemljivača mora biti takav da se efekt korozije, smrzavanja ili sušenja tla svede na minimum. Kod terene gdje se pretežno nalazi kamen preporuka je polaganje sustava uzemljenja s rasporedom B tipa. [2]

### 11.4. Materijali gromobranskih instalacija

Kod postavljanja pravilne i propisno izvedene gromobranske zaštite moraju isključivo primjenjivati materijali koji odgovaraju standardima i tehničkim normativima propisanim za gromobrane. Korišteni materijali moraju dobro podnositi elektrodinamička naprezanja uslijed djelovanja struje groma. Također, odabrani materijali ovise o mogućnosti nastanka korozije. U *tablici 11.1.* prikazani su materijali tipični za izgradnju gromobranskih instalacija.

Tablica 11.1. Materijali gromobranskih instalacija [2]

Materijali	Upotreba			Korozija	
	U zraku	Pod zemljom	U betonu	Otporan	Povećava se
Bakar	masivan, upleten, kao prevlaka	masivan, upleten, kao prevlaka	/	prema brojnim materijalima, prema sumporu, prema organskim materijalima	povećanjem koncentracije klorida, prisustvom sumpora, prisustvom organskih materijala
Pocinčani čelik	masivan, upleten	masivan	masivan	čak i u kiselom tlu	/
Nehrđajući čelik	masivan, upleten	masivan	/	prema mnogim materijalima	prisustvom vode i klorida
Aluminij	masivan, upleten	/	/	/	prisustvom bazalnih agenasa
Olovo	masivan, kao prevlaka	masivan, kao prevlaka	/	prema višim koncentracijama sulfata	u kiselom tlu

Minimalni presjeci materijala gromobranske zaštite prikazani su u tablici 11.2.

Tablica 11.2. Minimalni presjeci materijala [2]

Materijal	Prihvatni sustav, mm <sup>2</sup>	Sustav uzemljenja, mm <sup>2</sup>
Bakar	35	50
Aluminij	70	/
Čelik	50	80

Preporuka je izbjegavati aluminij zbog visokog toplinskog istezanja, te skupljanja kod nižih temperatura. Ovo svojstvo izaziva mehanička naprezanja te može doći do oštećenje. Ugradnja alumnija u zemlju nije preporučljiva zbog toga što se aluminij brzo razgradi. Bakar se ne savjetuje za nadzemne vodove zbog nastanka zelenkasto- plavičastog sloja oko njegove površine, što čini dodatni izolacijski sloj te može doći do korozije s vremenom.

## 12. ZAKLJUČAK

Izravni udar groma izaziva pojavu jakih struja koje dovode do visokih napona u elektroenergetskim postrojenjima. Visoki napon opasan je po život ljudi i životinja. Osnovna gromobranska zaštita sastoji se od uzemljivača i zaštitnog užeta, koji smanjuju opasnost od izravnog udara groma u fazni vodič. Gromobranska instalacija sastavljena je od hvataljke, koja se postavlja na vrh štíćenog objekta, odvodnika te uzemljenja. Za određene vrste građevina postoje drugačija pravila postavljanja odvodnika. Hvataljka privlači i hvata grom, zatim prenapon preko odvodnika putuje do sustava uzemljenja. Uloga uzemljenja je izjednačavanje potencijala kako ne bi došlo do oštećenja instalacija ili ozljeda ljudi. Zaštita od atmosferskog pražnjenja vrlo je bitan dio svakog sustava. Nakon svakog udara grom u zaštitne instalacije, treba provesti ispitivanje valjanosti opreme. Ako nije bilo direktnog udara groma u zaštitne instalacije, preporuka je provjeriti stanje svakih tri do pet godina. Tehnički uvjeti za izvođenje zaštite na objektima sastavni su dio glavnog projekta gromobranskih instalacija i izvođači su obavezni pridržavati se pravila. Odvodnici prenapona služe da smanjuju napon vala koji dolazi do razine koja je bezopasna za izolaciju. Postoji nekoliko vrsta odvodnika prenapona, od kojih se najčešće koriste ventilni, cink – oksidni i cijevni odvodnici prenapona. Izokerauničke karte služe za određivanje broja grmljavinskih dana na nekom području. Na tim kartama linijama su označena mjesta koja imaju prosječno jednak broj grmljavinskih dana u godini. Podaci dobiveni pomoću izokerauničke karte vrlo su korisni, zbog toga što služe u proračunima za odabir pravovaljane gromobranske zaštite.

### 13. LITERATURA

- [1] Padelin, M.: "Zaštita od groma", Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [2] Vićović, D.; Hadžić, Z.: "Zaštita objekata od atmosferskog pražnjenja", Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Beograd, 2008.
- [3] Drinčić, V.: "Elektrotehnika i zaštita", skripta, Beograd, 2008.
- [4] "Leidenska boca", s Interneta, <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=35908>, 12. listopada 2023.
- [5] "Izokeraunička karta svijeta", s Interneta, [https://www.researchgate.net/figure/The-keraunic-map-34\\_fig1\\_228904970](https://www.researchgate.net/figure/The-keraunic-map-34_fig1_228904970), 12. listopada 2023.
- [6] Rajaković, V.: "Primjena odvodnika prenapona na nadzemnim vodovima", diplomski rad, Rijeka, 2023.
- [7] Mihalek, E.: "Niskonaponske distribucijske mreže – Uvod u planiranje i zaštitu", Zagreb, 2014.
- [8] "Zaštitni kut dalekovoda", s Interneta, <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/dalekovodi.pdf>, 25. listopada 2023.
- [9] Komen, V.: "Zaštita od prenapona el.en. postrojenja", materijali s kolegija Tehnika visokog napon, Rijeka 2021.

## 14. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U radu je predstavljena zaštita objekata od atmosferskih pražnjenja. U prvome dijelu pojašnjene su značajke groma te njegov nastanak. Opisani su Tehnički uvjeti za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama. Definirane su osnovne karakteristike atmosferskih pražnjenja, zajedno sa posljedicama koje uzrokuje velika energija groma. Također, opisano je uzemljenje i zaštita nadzemnih vodova. Naveden je i primjer vezano za procjenu rizika za građevine spojene na niskonaponske mreže. Konačno, opisan je postupak projektiranja gromobranskih instalacija, njihovih konstrukcijskih dijelova te način određivanja štićenog prostora. Definirani su uređaji za zaštitu od prenapona kako bi se spriječio proboj izolacije električnih instalacija.

### Ključne riječi:

- zaštita od atmosferskog pražnjenja
- struja groma
- uzemljenje
- odvodnici prenapona
- zaštita nadzemnih vodova
- tehnički uvjeti gromobranske zaštite
- procjena rizika

## 15. ABSTRACT AND KEYWORDS

This document presents the protection of buildings against atmospheric discharges. In the first part, the significance of lightning and its origin are explained. Technical requirements for lightning protection systems on buildings are described. The basic characteristics of atmospheric discharges are defined, together with the consequences caused by high lightning energy. Grounding and protection of overhead lines are also described. An example related to risk assessment for buildings connected to low-voltage networks is also given. Finally, the procedure for designing lightning protection installations, their structural parts, and the method of determining the protected area is described. Surge protection devices are defined in order to prevent breakdown of the insulation of electrical installations.

### Keywords:

- protection against atmospheric discharge
- lightning current
- grounding
- surge arresters
- protection of overhead lines
- technical conditions of lightning protection
- risk evaluation