Zdravko Marjanović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 8115, Zemun

NOVI TEHNIČKI PROPISI I STANDARDI O GROMOBRANSKOJ ZAŠTITI

UDC: 621.316.933:006

Rezime:

U članku je dat kratak prikaz nastanka atmosferskih pražnjenja, efikasnost i nivo zaštite, karakteristične veličine, kao i novi propisi i standardi za projektovanje, izvođenje, održavanje i verifikaciju gromobranskih instalacija objekata opšte namene.

Ključne reči: atmosfersko pražnjenje, udar groma, udarno rastojanje, nivo zaštite, štićena zona, prihvatni sistem, štapna hvataljka, spusni vodovi, uzemljivački sistem.

NEW TECHNICAL REGULATIONS AND STANDARDS ABOUT LIGHTNING PROTECTION

Summary:

In this paper the lightning phenomenon, efficiency and level of protection are given in a brief form. The new regulations and standards for projecting, instalation and verification of lightning instalation of general purpose objects also presented.

Key words: atmospheric discharge, lightning stroke, breakdown distance, level of protection, protection area, air terminals, down conductors, earthing system.

Uvod

Za atmosfersko pražnjenje uobičajen je termin grom ili munja, mada grom predstavlja samo zvučni a munja svetlosni efekat atmosferskog pražnjenja. Zbog toga, iako je termin atmosfersko pražnjenje najpravilniji, u upotrebi su i dalje stari termini kao što su gromobranska instalacija, udar groma, i sl.

Atmosfersko pražnjenje ugrožava okolinu, izaziva požare i oštećuje objekte. Ono može izazvati paniku, eksploziju i ispuštanje opasnih supstanci, kao što su radioaktivni materijal, he-

mijski agensi, otrovne supstance i biološki zagađivači (bakterije i virusi). Posebno su štetne posledice atmosferskih pražnjenja u elektroenergetske, telekomunikacione i računarske sisteme.

Radi smanjivanja posledica atmosferskih pražnjenja, projektuje se i izvodi odgovarajuća zaštita — gromobranska instalacija. Međutim, treba imati u vidu da ona ne može sprečiti nastanak atmosferskog pražnjenja, ali projektovana i izvedena u skladu sa propisima i standardima, znatno smanjuje rizik oštećenja izazvanih udarom groma u štićeni objekat.

U Službenom listu SRJ 11/96 objavljen je Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja (Pravilnik), koji propisuje tehničke normative za projektovanje, izvođenje, verifikaciju i održavanje gromobranskih instalacija za zaštitu objekata od atmosferskih pražnjenja. On se primenjuje na objekte opšte namene, čija visina ne prelazi 60 m, a pripadaju kategoriji opštih objekata [10].

Ovaj Pravilnik se ne primenjuje na objekte kao što su železnička postrojenja i instalacije van objekata, elektroenergetska postrojenja i mreže van objekata, instalacije telekomunikacija van objekata, kao i druge objekte specijalne namene — vozila, brodove, vazduhoplove i platforme na moru.

U Službenom listu SRJ 11/96 objavljen je i Pravilnik o Jugoslovenskim standardima za gromobranske instalacije, čiji su sastavni deo i pet standarda iz ove oblasti, objavljeni kao posebno izdanje Saveznog zavoda za standardizaciju.

Nastanak i vrste atmosferskih pražnjenja i karakteristične veličine

Prve teorije o munji nastale su u XVII veku i objašnjavale su grom kao pojavu koja nastaje padanjem višeg oblaka na niži, kada dolazi do sabijanja vazduha i povećanja temperature, uz pojavu bljeska i grmljavine. U XVIII veku munja je objašnjavana kao hemijski proces sagorevanja sumpornih i masnih isparenja sa Zemljine površine. Definitivno, polovinom XVIII veka utvrđena je električna priroda munje. Brojne teorije i hipoteze i danas nastoje da daju zadovoljavajuću sliku nastanka oluja i munja. Sve se slažu u tome da u uslovima dovoljne vlažnosti i brzih uzlaznih strujanja vaz-

duha postoji mogućnost za elektrizaciju kapljica vode i kristalića leda pri njihovom sudaranju i trenju o molekule vazduha, kao i zbog toga što se nalaze u električnom polju Zemlje. Sa makroskopskog stanovišta, oluje predstavljaju generatore statičkog elektriciteta koji pune veliki kondenzator čije obloge predstavljaju oblaci i površina Zemlje. Polarizacija naboja, kao i njihova separacija na pozitivno i negativno opterećenje u oblaku, nerazjašnjeni su do danas.

Kao posledica grupisanja elektriciteta u oblacima, javljaju se električna polja reda veličine 5—20 MV, pod čijim uticajem dolazi do pražnjenja između oblaka, zona unutar oblaka kao i između oblaka i Zemlje.

Na osnovu snimaka, dobijenih rotacionom kamerom, došlo se do zaključka da se atmosfersko pražnjenje obavlja u odvojenim uzastopnim udarima, u razmacima od nekoliko stotih delova sekunde, pri čemu se svaki naredni udar prostire trasiranim kanalom koji je jonizovan prethodnim udarom. Najraniji događaj — uvodno pražnjenje zove se lider ili silazni traser i on ima stepenastu formu. Pod dejstvom polja kreće se, prelazi određeni put i zastaje (sl. 1-a). Posle 30 do 100 μ s nastavlja put, prelazeći rastojanje od 50 do 100 m (sl. 1-b). Razlika u brzini prostiranja lidera i njegove efektivne brzine (računato sa pauzama) navela je na pretpostavku, a na osnovu registrovane promene jačine polja, o postojanju tzv. pilot-strimera ili uzlaznog trasera (sl. 1-c) sa smerom od zemlje ka oblaku, koji vrši jonizaciju kanala kroz koji će se rasprostrti pomenuti silazni traser i izvršiti pražnjenje oblaka.

Kretanjem ka zemlji lider transformiše okolni vazduh u vrelu plazmu, a približivši joj se dolazi do glavnog pražnjenja sa velikim strujama čiji je red veličine nekoliko desetina kA. Usled visoke temperature u kanalu naglo

Sl. 1 — Pojava atmosferskog pražnjenja

se povećava pritisak vazduha koji do-
vodi do eksplozije i čuje se kao grm-
ljavina. Ekvivalentna šema glavnog
pražnjenja može se aproksimativno
predstaviti kao na sl. 2 gde je:

I_g — struja groma,

Z_g — talasna otpornost kanala li-
dera (oko 3000 Ω),

Z_u — udarna otpornost uzemljiva-
ča gromobranske instalacije,

U_o — potencijal glave lidera.

Kretanje čela silaznog trasera ka
zemlji može se predstaviti kao kreta-
nje fiktivne sfere poluprečnika R , koja

će u jednom momentu istovremeno do-
dirnuti objekat i površinu Zemlje, tj.
tačke jednake verovatnoće udara, iz
kojih će krenuti uzlazni traser. Na sl.
3 je, ilustracije radi, prikazan slučaj u
kome fiktivna sfera dodiruje štapnu
hvataljku (Franklinov štap) u tački A
i zemlju u tački B.

Prostor u osenčenom delu je št-
ćena zona. Njen poluprečnik r (rasto-
janje od podnožja štapne hvataljke do
tačke B) se, za ovaj slučaj, može pro-
računati po obrascu:

$$r = \sqrt{H(2R - H)} \quad (m)$$

Sl. 2 — Ekvivalentna šema glavnog pražnjenja

Atmosferska pražnjenja mogu se podeliti u dve glavne grupe: pražnjenja tipa A i pražnjenja tipa B.

Sl. 3 — Predstavljanje čela silaznog trasera pomoću fiktivne sfere

U pražnjenju tipa A naelektrisani oblak indukuje elektricitet u visokim stacionarnim objektima na Zemlji. Indukovani elektricitet se koncentriše na samom vrhu objekta, zbog čega dolazi

do jonizacije okolnog vazduha i smanjenja njegove dielektrične čvrstoće. Na taj način se stvara pogodna putanja za atmosfersko pražnjenje, koje se vrši od oblaka ka vrhu tih objekata (slika 4).

Pražnjenje tipa B nastaje kada se u blizini zemlje nalaze tri ili više naelektrisanih oblaka. Neka su oblaci 1 i 3 naelektrisani pozitivno a oblak 2 negativno (slika 4). U slučaju da se oblak 1 približi oblaku 2 dolazi do pražnjenja između njih, ali i do istovremenog oslobađanja naelektrisanja oblaka 3 i njegovog pražnjenja prema zemlji. Pražnjenje oblaka 3 prema zemlji nastaje praktično trenutno, nezavisno od visine objekta.

Može se zaključiti da se posledice pražnjenja tipa A mogu smanjiti ako se na vrh objekta instalira prihvatni provodnik (deo gromobranske instalacije), koji je na drugom kraju uzemljen, dok se zaštita od pražnjenja tipa B ne može realizovati.

Sl. 4 — Vrste atmosferskih pražnjenja

Atmosfersko pražnjenje je aperiodična pojava, a sporadično zabeležena oscilatorna pražnjenja samo su posledica višestrukih refleksija u objektu ili oscilacija u mernim kolima. Registrovana su pozitivna i negativna pražnjenja nadole i nagore, ali statističko pojavljivanje negativnih pražnjenja nadole je najčešće i zato od najvećeg interesa.

Najvažniji parametri impulsa struje groma su:

— maksimalna vrednost struje groma I_g koja se kreće u granicama od 10 do 200 kA, i merodavna je za mehaničke efekte;

— strmina čela struje groma di/dt koja se kreće u granicama od 1 kA/ μ s do 100 kA/ μ s i merodavna je za proračun indukovanih napona;

— količina elektriciteta Q koja se kreće u granicama od 3 do 200 C, i merodavna je za termičke učinke pražnjenja.

Navedeni parametri zavise od geografskog položaja i nadmorske visine, u vezi sa čim su sačinjene i izokerauničke karte. To su posebne karte na kojima je upisan prosečan broj olujnih dana u godini, a koriste se u procesu projektovanja.

Efikasnost i nivo gromobranske zaštite

Gromobranska instalacija treba da zaštiti objekat od direktnog atmosferskog pražnjenja, kao i od sekundarnih uticaja pražnjenja. Spoznaje pokazuju da ne postoji apsolutna zaštita od groma, već da se može definisati samo određena efikasnost zaštite koja se proračunava i u relaciji je sa udarnim rastojanjem R , odnosno strujom groma i to preko izraza:

$$R = 10 \cdot I^{2/3} \quad (\text{m})$$

gde je I temena vrednost struje groma u kA.

Udarno rastojanje je rastojanje između vrha lidera koji se približava Zemlji i objekta na njoj, kada se, pod dejstvom količine elektriciteta u lideru, stvara kritično polje, zbog čega sa objekta ili Zemlje polazi pozitivan strimer, koji će se ubrzo spojiti sa negativnim liderom i dovesti do glavnog pražnjenja.

Pravilnik je uveo, kao novinu, određivanje efikasnosti gromobranske instalacije, čijim proračunom se može pokazati kakva gromobranska instalacija je potrebna za konkretni objekat, odnosno, može se pokazati da za obje-

Tabela 1

Veza nivoa zaštite, efikasnosti, rastojanja i struje pražnjenja

Nivo zaštite	Računska efikasnost	Rastojanje pražnjenja $R(\text{m})$	Struja pražnjenja $I_r(\text{kA})$
I sa dodatnim merama	$E > 0,98$		
I	$0,98 \geq E \geq 0,95$	20	2,8
II	$0,95 \geq E \geq 0,90$	30	5,2
III	$0,90 \geq E \geq 0,80$	45	9,5
IV	$0,80 \geq E \geq 0$	60	14,7

kat nije potrebno predviđati gromobransku zaštitu. Ona se definiše izrazom:

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

gde je:

N_c — procenjena srednja godišnja učestanost tolerisanih udara groma u objekat, koja zavisi od konstrukcije objekta, sadržaja objekta, broja ljudi, itd.,

N_d — srednja godišnja učestanost direktnih udara groma u objekat.

Proračun ovih parametara dat je u standardima [11], a veza efikasnosti zaštite i korespondirajućih nivoa zaštite, temene vrednosti struje groma i rastojanja pražnjenja prikazana je u tabeli 1.

Elementi gromobranske instalacije

Gromobranska instalacija je zaštitni sistem određene efikasnosti koju čine spoljašnja i unutrašnja gromobranska instalacija. Spoljašnja gromobranska instalacija ima zadatak da prihvati atmosfersko pražnjenje i da ga sprovede u zemlju, a unutrašnja gromobranska instalacija ima zadatak da umanji ili eliminiše sekundarne efekte pražnjenja.

Spoljašnja gromobranska instalacija izvodi se kao izolovana ili neizolovana u odnosu na objekat. Izolovana je ona instalacija čiji prihvatni sistem i sistem spusnih vodova nemaju nikakav kontakt sa šticeim objektom. Najčešće je čine stubovi raspoređeni oko objekta ili mreža provodnika iznad objekta, zategnuta na stubovima i postavljena na rastojanju većem od sigurnosnog rastojanja koje se proračunava. Neizolovana gromobranska instalacija postavlja se direktno na objekat, tako da struja atmosferskog pražnjenja može biti u kontaktu sa objektom koji se štiti.

Spoljašnja gromobranska instalacija sastoji se od prihvatnog sistema, sistema spusnih vodova i sistema uzemljenja, a unutrašnju gromobransku instalaciju čine instalacije za izjednačenje potencijala.

Prihvatni sistem

Prihvatni sistem izvodi se postavljanjem štapnih hvataljki ili razapete mreže žica (kod izolovane spoljašnje gromobranske instalacije), odnosno mreže provodnika preko objekta (kod neizolovane spoljašnje gromobranske instalacije), ili kombinacijom navedenih načina izvođenja. Raspored elemenata prihvatnog sistema određuje se jednom ili kombinacijom metoda zaštitnog ugla, fiktivne sfere i metoda mreže provodnika preko objekta.

Metoda zaštitnog ugla koristi se kod primene štapnih hvataljki i mreže razapetih žica iznad objekta, a veličina zaštitnog ugla zavisi od visine objekta i izabranog nivoa zaštite. Ova metoda se ne primenjuje za objekte čija je visina veća od 20 m. Na slici 5 prikazan je šticeeni prostor štapne

Sl. 5 — Zaštitna zona štapne hvataljke

hvataljke koji predstavlja zapremina kupe, dok je na slici 6 prikazan štice- ni prostor horizontalno postavljenog užeta između dva stuba, koji predstav-

gromobranske instalacije. Provodnici prihvatnog sistema obrazuju Farade-jev kavez, čije su stranice postavljene u blizini ivica objekta (slika 7).

Sl. 6 — Zaštitna zona horizontalno postavljenih užadi

ljaju dve polukupe i deformisani priz- matični plašt.

Metoda fiktivne sfere može se pri- meniti i za objekte visine veće od 20 m (tj. kada se ne može primeniti metoda zaštitnog ugla), a njen poluprečnik se određuje na osnovu zahtevanog nivoa zaštite. Fiktivna sfera se »kotrlja« sa svih strana objekta (i odozgo), a kon- struktivno se određuju mesta istovre- menog dodira objekta i tla, koja pred- stavljaju mesta najverovatnijeg udara groma. Na mestima dodira sa objek- tom treba predvideti elemente prihvat- nog sistema.

Metoda mreže provodnika prime- njuje se kod neizolovane spoljašnje

Prihvatni sistem je pravilno pos- tavljen kada raspored elemenata zado-

Sl. 7 — Raspored elemenata prihvatnog si- stema po metodi mreže provodnika

voljava uslove iz tabele 2, u kojoj je prikazana veza između nivoa zaštite, paralelnim putevima sprovedu struju pražnjenja do uzemljivača. Raspoređu-

Tabela 2

Uslovi za raspored elemenata sistema

Nivo zaštite	h(m)	20	30	45	60	Širina okca mreže (m)
	R(m)	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* Ne primenjuje se metoda zaštitnog ugla.

visine hvataljki, poluprečnika fiktivne sfere i širine okca mreže.

Iz tabele 2 može se videti da se veličine okca smanjuju sa povećanjem nivoa zaštite.

Kao prihvatni sistem mogu se, uz ispunjenje propisanih uslova, koristiti i komponente objekta, kao što su npr. limeni pokrivači, oluci i slično.

Spusni provodnici

Spusni provodnici (najmanje dva) jesu direktni produžetak prihvatnog sistema i imaju ulogu da što kraćim i

ju se po obimu objekta, a propisno rastojanje između spusnih vodova prikazano je u tabeli 3.

Uzemljivački sistem

Uzemljivački sistem ima ulogu da što brže i bezbednije sprovede struju pražnjenja u zemlju, bez stvaranja opasnih potencijala u sopstvenoj blizi-

Tabela 3

Minimalno rastojanje između spusnih vodova

Nivo zaštite	Srednje rastojanje (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Sl. 8 — Minimalne dužine uzemljivača

ni. S obzirom na kompleksnost zahteva za njegovu realizaciju (heterogenost sredine, prisustvo drugih uzemljivača, impulsni režim pražnjenja, enormno velike energije koje treba odvesti), o-

voj komponenti gromobraanskog sistema treba posvetiti naročitu pažnju.

U odnosu na prethodni u novom pravilniku nije propisana vrednost otpora uzemljenja, već se smatra da će uzemljivač svoju ulogu ispuniti ako se, zavisno od specifične otpornosti tla i nivoa zaštite, realizuje prema dijagramu prikazanom na slici 8.

Uzemljivači se izvode kao horizontalni — radijalni, vertikalni, prstenasti ili u temelju objekta.

Projektovanje, održavanje i verifikacija gromobranskih instalacija

Pravilnik i standardi o gromobranskim instalacijama propisuju uslove za projektovanje, održavanje i verifikaciju gromobranskih instalacija. Projekat mora da sadrži osnovne podatke (lokacija, dimenzije, oblik i materijal od kojeg je izrađen objekat, specifičnu otpornost tla, nivo zaštite, klimatske uslove i sl.), da odredi štićeni prostor kao i ostale uslove propisane Pravilnikom, a mora da bude i usklađen sa projektom drugih instalacija.

Izvođenje gromobranskih instalacija mora biti u skladu sa projektom, Pravilnikom i standardima, a eventualne izmene moraju se uneti u osnovni projekat.

Verifikacijom se utvrđuje da li gromobranska instalacija odgovara projektu i da li su sve komponente instalacije u dobrom stanju i obezbeđuju svoju funkciju. Verifikacija se obavlja nakon izgradnje objekta.

Održavanje gromobranske instalacije obavlja se radi očuvanja njene efikasnosti u pogledu nivoa zaštite, a sastoji se od periodičnih provera i opravki. Periodične provere obavljaju se u vremenskim intervalima koji su određeni u zavisnosti od prirode štićenog prostora i problema korozije.

Zaključak

Problem zaštite objekata od atmosferskih pražnjenja je, i pored napretka u spoznajama, i dalje kompleksan i zahteva neprekidna istraživanja. Pri tome, treba polaziti od činjenice da apsolutna zaštita od atmosferskih pražnjenja ne postoji, ali da se u velikoj meri smanjuje rizik oštećenja izazvanih udarom groma u objekat, ukoliko se propišu odgovarajući tehnički uslovi i gromobranska instalacija projektuje, izvede, verifikuje i održava u skladu sa tim uslovima.

Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja i Pravilnik o jugoslovenskim standardima za gromobranske instalacije, sa priloženim standardima, imaju novi pristup ovom problemu.

Izvršena je kategorizacija objekata, definisani su efikasnost i nivoi zaštite i propisana je metoda za proračun efikasnosti.

Pravilnik ne propisuje vrednost otpornosti uzemljenja, već polazi od toga da su za efikasnost zaštite mero-davniji oblik i dimenzije sistema uzemljenja.

Osnovna zamerka koja bi se mogla uputiti je da se Pravilnik odnosi samo na objekte opšte namene, ali ne i objekte čija je visina veća od 60 m, objekte u kojima postoji rizik od požara i eksplozije i druge objekte specijalne namene. Za neke od njih važili su Tehnički propisi o gromobranima, koji su usvajanjem Pravilnika [6] stavljeni van snage. Pošto su propisi za takve objekte ukinuti, a istovremeno nisu usvojeni novi, ova oblast ostaje zakonski nepokrivena, pa su projektanti i izvođači gromobranskih instalacija u dilemi. Zbog toga treba ubrzati rad na izradi i usvajanju propisa za zaštitu specijalnih objekata, tj. objekata na koje se Pravilnik ne primenjuje.

Literatura:

- [1] Dolginov: Tehnika visokih naprjažnjenij, Energija, Moskva, 1968.
- [2] Milanković, Lj.: Tehnika visokog napona, Naučna knjiga, Beograd, 1964.
- [3] Westinghouse priručnik, Građevinska knjiga, Beograd, 1964.
- [4] Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte S. Salvatore bei Lugano, Association Suisse des Electriciens, Zurich, 1975.
- [5] Lightning protection code, 1965.
- [6] Pravilnik o tehničkim propisima o gromobranima, Sl. list SFRJ, br. 13/68.
- [7] Uppal, S.: Electrical Power, Khanna Publishers, Delhi-6, 1988.
- [8] Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja, Sl. list SRJ br. 11/96.
- [9] Utvrđivanje prosečnog broja dana sa grmljavinom, JUS N.B4.803.
- [10] Gromobranske instalacije, Opšti uslovi JUS IEC 1024-1.
- [11] Određivanje nivoa zaštite, JUS IEC 1024-1-1.
- [12] Štapne hvataljke sa kružnim prstenom, JUS N.B4.811.
- [13] Štapne hvataljke sa uređajem za rano startovanje, JUS N.B4.810.
- [14] Zbirka referata sa Savetovanja o gromobranskoj zaštiti, Zlatibor, 1995.