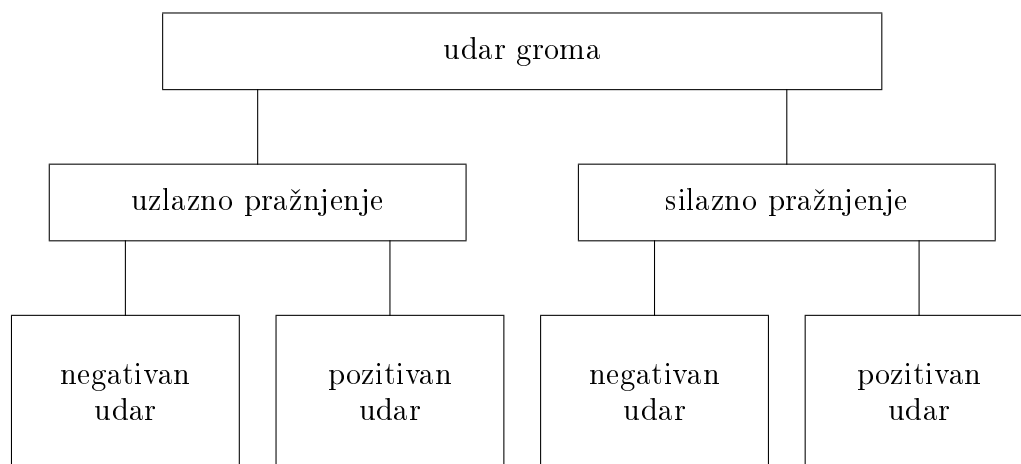


Poglavlje 6

Parametri atmosferskih pražnjenja

6.1 Tipovi atmosferskih pražnjenja

Prema [39] sva atmosferska pražnjenja u uzemljene objekte ili zemlju mogu se podeliti u nekoliko tipova prikazanih na slici 6.1.



Slika 6.1: Podela atmosferskih pražnjenja

Na slici 6.1 su usvojene sledeće konvencije:

- udar je negativan ako je oblak negativno naelektrisan,
- udar je pozitivan ako je oblak pozitivno naelektrisan,

- udar je uzlazni ako se skokoviti lider kreće od zemlje ka oblaku,
- udar je silazni ako se skokoviti lider kreće od oblaka ka zemlji.

6.2 Osnovni parametri atmosferskih pražnjenja

Pri procenjivanju ugroženosti objekata od atmosferskih pražnjenja neophodno je poznavati pojedine električne i meteorološke parametre grmljavinske aktivnosti.

6.2.1 Električni parametri

Osnovni električni parametri atmosferskog pražnjenja su:

- amplituda struje atmosferskog pražnjenja,
- polaritet struje
- oblik struje atmosferskog pražnjenja,
- strmina strujnog talasa,
- udarna količina elektriciteta, koja predstavlja količinu elektriciteta koja protekne za vreme trajanja udarne struje u vremenskom periodu t_{ud} , koji odlikuje veoma brza promena struje i veliki intenzitet,

$$Q_{ud} = \int_{t_{ud}} i dt \quad (6.1)$$

- količina elektriciteta prvog udara,

$$Q = \int i dt \quad (6.2)$$

koja obuhvata i struju skokovitog lidera i struju nakon završetka glavnog pražnjenja,

- ukupna količina elektriciteta kompletnog negativnog pražnjenja,

$$Q_u = \sum_{i=1}^n \int i dt \quad (6.3)$$

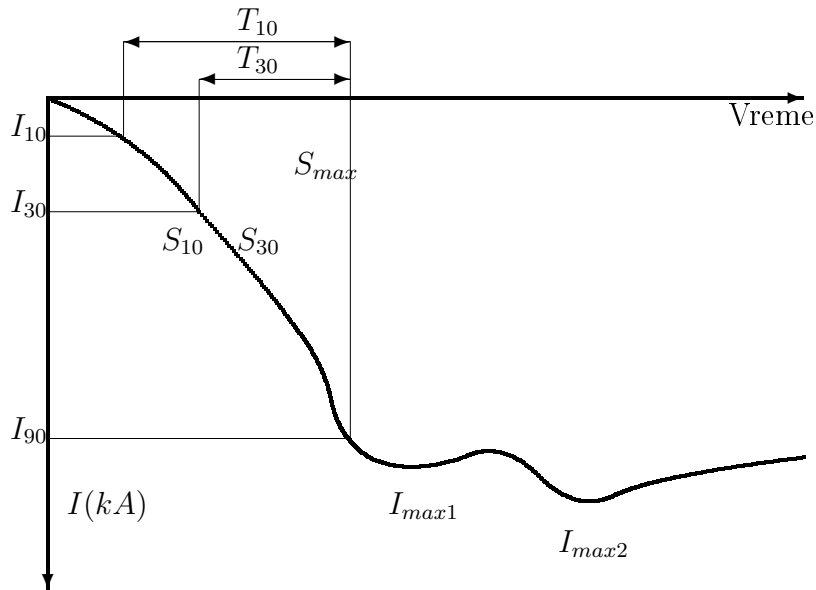
Ova veličina predstavlja ukupnu količinu elektriciteta koja protiče u zemlju u toku svih n udara koji čine jedno kompletno pražnjenje, gde je:

n – broj uzastopnih udara, odnosno broj pojedinačnih udara u jednom kompletnom pražnjenju.

- toplotni impuls kompletnog pražnjenja.

$$A = \int i^2 dt \quad (6.4)$$

Na slici 6.2 dat je tipičan vremenski oblik negativnog strujnog talasa prvog udara. Na slici su date definicije strmine struje atmosferskog pražnjenja prema [39].



Slika 6.2: Definicija strmine čela za tipičan oblik negativnog silaznog prvog udara

Na slici 6.2 oznake imaju sledeće značenje:

I_{10} —struja koja ima vrednost 10% od prvog maksimuma struje I_{max1} ,

I_{30} —struja koja ima vrednost 30% od prvog maksimuma struje I_{max1} ,

I_{90} —struja koja ima vrednost 90% od prvog maksimuma struje I_{max1} ,

T_{10} —vremenski interval između trenutaka kada nastupa I_{10} i I_{90} ,

T_{30} —Vremenski interval između trenutaka kada nastupa I_{30} i I_{90} ,

S_{max} —maksimalna strmina talasa koja se pojavljuje u bilo kom trenutku na čelu,

S_{10} —srednja strmina talasa u vremenskom intervalu T_{10} :

$$S_{10} = \frac{I_{90} - I_{10}}{T_{10}} \quad (6.5)$$

S_{30} —srednja strmina talasa u vremenskom intervalu T_{30} :

$$S_{30} = \frac{I_{90} - I_{30}}{T_{30}} \quad (6.6)$$

Sa slike 6.2 može se uočiti da strujni talas ima najčešće dva maksimuma I_{max_1} i I_{max_2} . Sve veličine koje definišu oblik talasa sa slike 6.2 određene su u odnosu na prvi maksimum.

Sistematska merenja parametara atmosferskog pražnjenja vršena su u više zemalja (Južna Afrika, Čehoslovačka, Italija, SAD, Meksiko), ali su kao najreprezentativniji usvojeni rezultati registrovanja zbog velikog broja uzoraka mogu smatrati merenja u Švajcarskoj na brdu Monte San-Salvatore na dva televizijska tornja, pod rukovodstvom profesora Bergera. Ovi su rezultati i istorijski značajni jer su prvi rezultti sistematski merenih i registrovanih struja atmosferskih pražnjena.

Danas postoje pokušaji da se objedine rezultati istraživanja više autora i formiraju zakoni raspodele parametara atmosferskog pražnjenja koji mogu da imaju široku primenu u inženjerskoj praksi [1],[42]. Iako postoje teškoće u objedinjavanju rezultata zbog različitih klimatskih, geografskih i lokalnih topoloških uslova na mestu merenja, ipak su ovakvi rezultati pouzdaniji od rezultata istraživanja sa malim brojem uzoraka za dobijanje statističkih pokazatelja koji karakterišu atmosferska pražnjenja. Parametri atmosferskih pražnjenja mogu imati vrednosti u veoma širokom opsegu, pa je zbog toga neophodno statistički obraditi i predstaviti ih odgovarajućim zakonima raspodele.

Danas se koriste rezultati masovnog korišćenja uređaja za lokaciju pražnjenja, koja su široko primenjivana u svetu, kao i kod nas u zemlji. Ovi uređaji daju lokaciju pražnjenja koja se kreće od oko ± 50 m do ± 200 m u zavisnosti od rezolucije uređaja, uz registraciju amplitude, polariteta i broja komponenti udara. Rezultati statističke obrade ovih rezultata ne postoje u našoj zemlji.

U daljem tekstu će biti prikazani neki od zakona raspodela parametara atmosferskih pražnjenja koji se mogu koristiti u inženjerskoj praksi.

Zakon raspodele amplitude struje atmosferskog pražnjenja

Na osnovu velikog broja merenja u više zemalja predloženi su različiti zakoni raspodele verovatnoće amplituda struja atmosferskih pražnjenja.

Danas je u širokoj upotrebi logaritamsko-normalni zakon raspodele amplitude struje groma. Gustina logaritamsko - normalne raspodele verovatnoće može se prikazati u sledećem analitičkom obliku [5]:

$$\omega(I) = \frac{1}{I_{sr}\sigma_{\ln I}\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{\ln I - \ln I_{sr}}{\sqrt{2}\sigma_{\ln I}}\right)^2} \quad (6.7)$$

gde su:

$\omega(I)$ – gustina verovatnoće amplitude struje atmosferskog pražnjenja,

I – slučajna amplituda struje atmosferskog pražnjenja,

I_{sr} – srednja vrednost amplitude struje atmosferskog pražnjenja,

$\sigma_{\ln I}$ – standardno odstupanje logaritma amplitude struje atmosferskog pražnjenja.

Umesto u obliku 6.7 zakon raspodele verovatnoće se može prikazati u integralnom (kumulativnom) obliku verovatnoće dostizanja promenljive x :

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (6.8)$$

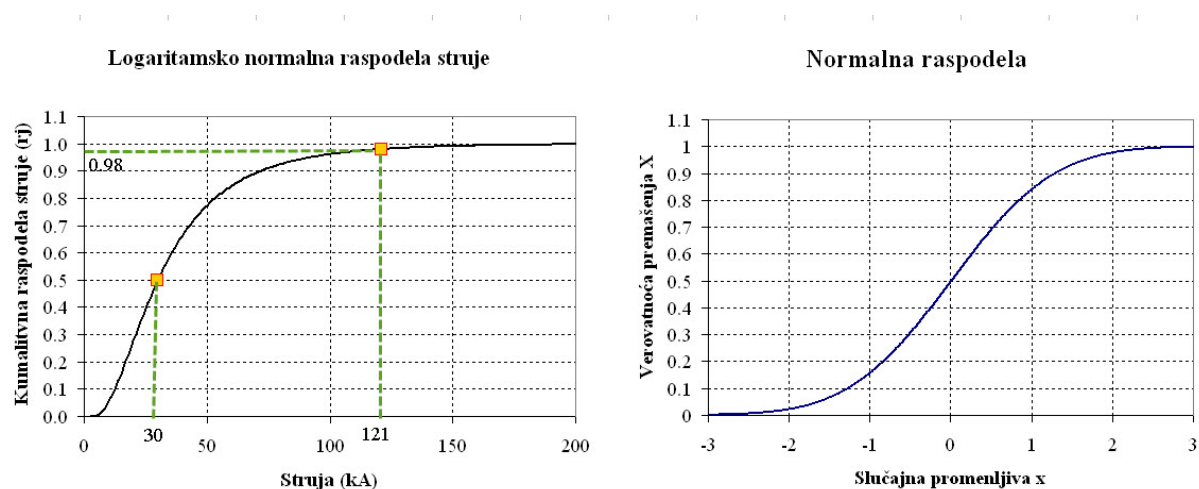
gde je: $x = \frac{\ln \frac{I}{I_{sr}}}{\sigma_{\ln I}}$

Oznake u izrazu 6.8 imaju identično značenje kao u 6.7. Izraz 6.8 daje verovatnoću pojave amplitude struje koja je manja od struje I .

Na slici 6.3 prikazana je logaritamsko-normalna raspodela amplituda struje atmosferskih pražnjenja (levo) prema izrazu 6.7 u integralnom obliku i normalna (Gausova) raspodela slučajne veličine x sa matematičkim očekivanjem $M(x) = 0$ i rasipanjem $\sigma = 1$ (desno) prema izrazu 6.8.

Verovatnoća pojave struje koja je veća od struje I_m (odnosno verovatnoće premašnje) dobija se kao komplementarna verovatnoća, odnosno:

$$\overline{P}(I_m) = 1 - P(I_m) \quad (6.9)$$



Slika 6.3: Logaritamsko-normalna raspodela amplituda struje atmosferskih pražnjenja (levo) u integralnom obliku i normalna (Gausova) raspodela slučajne veličine X (desno)

Pri analizi parametara atmosferskih pražnjenja se po pravilu radi sa kumulativnim verovatnoćama pojave veličina koje su veće od posmatrane veličine x . Krive funkcije raspodele verovatnoće su u ovom slučaju opadajuće od 1 do 0 za rastuću vrednost slučajne promenljive x .

Na slici 6.3 levo označena je struja 121 kA za koju je verovatnoća premašenja svega 2 %, odnosno verovatnoća pojave manje struje 98 %. Ova vrednost je značajna jer se ona koristi pri deterministički proračunima

Rezultati merenja vršenih na više mesta i sistematske obrade podataka daju relativno usaglašene vrednosti za srednju vrednost amplitude struje prvih negativnih udara u opsegu od $I_{sr} = 25 \text{ kA}$ do 34 kA . Standardna odstupanja logaritma struje prvih negativnih udara su znatno manje usaglašena i kreću se u opsegu $\sigma_{\ln I} = 0,39 - 0,9$.

Pored opisane logaritamsko-normalne raspodele u tehničkim proračunima se koristi i raspodela prema [13], [4] i [42], prema kojoj postoji granica od 20 kA. Atmosferska pražnjenja čija je amplituda manja od 20 kA ponašaju se prema jednoj funkciji raspodele, a oni preko 20 kA prema drugoj.

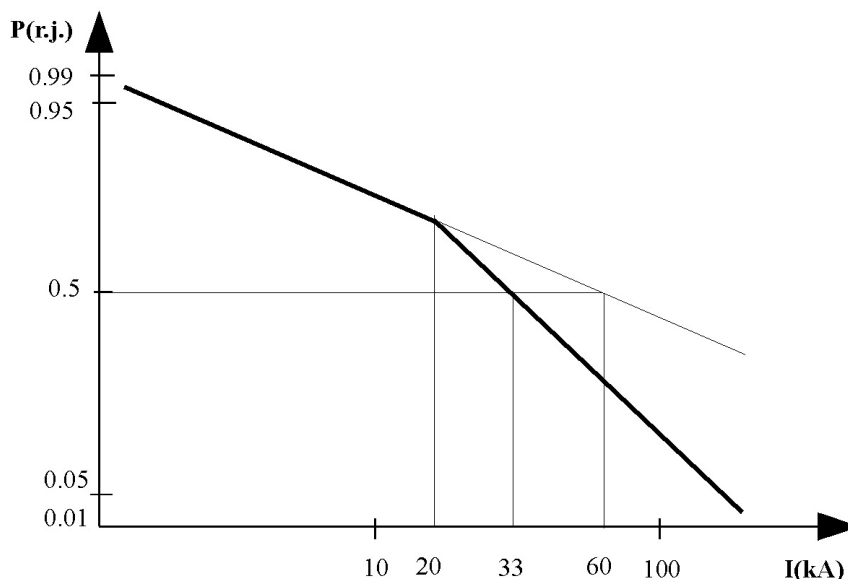
Parametri raspodele su dati u tabeli 6.1 Smatra se da struje $I < 20 \text{ kA}$ spadaju u

Tabela 6.1: Slika dvokomponentne raspodele struja do 20 kA i preko 20 kA

Parametar	$3 < I < 20 \text{ kA}$	$I > 20 \text{ kA}$
$I_{sr} \text{ (kA)}$	61	33.3
$\sigma_{\ln I} \text{ (rj)}$	1.33	0.605

oblast struja koja izaziva udare mimo zaštitnog užeta, dok struje $I > 20 \text{ kA}$ izazivaju

direktne udare u zaštitno uže ili u fazu ako zaštitno uže ne postoji. Kriva raspodele je prikazana na slici 6.4



Slika 6.4: Raspodela struje sa dvokomponentnom funkcijom raspodele

Pored logaritamsko-normalne raspodele se veoma često preporučuje za zakon raspodele amplituda struja pražnjenja sledeća analitička funkcija:

$$P(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2.6}} \quad (6.10)$$

U programu koji se opisuje koristi se isključivo jedinstvena logaritamsko-normalna raspodela za ceo opseg struja, a verovatnoća prodora kroz zaštitnu zonu se uvažava posebnim postupkom.

Strmina struje atmosferskog pražnjenja

Pored amplitude struje atmosferskog pražnjenja veoma važan parametar za analizu ugroženosti elektroenergetskih objekata od atmosferskih pražnjenja predstavlja strmina struje atmosferskog pražnjenja na čelu talasa. Strmina struje atmosferskog pražnjenja predstavlja takođe slučajnu veličinu koja ima vrlo širok dijapazon vrednosti. Uočeno je da tehnika merenja može da doprinese velikim razlikama u vrednosti statističkih parametara strmine struje atmosferskog pražnjenja.

Danas je u svetu u širokoj primeni logaritamsko-normalni zakon raspodele strmina struja atmosferskog pražnjenja u obliku:

$$P(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (6.11)$$

gde su: $y = \frac{\ln \frac{S}{S_{sr}}}{\sigma_{lnS}}$

S —slučajna maksimalna strmina struje atmosferskog pražnjenja,

S_{sr} —srednja vrednost maksimalne strmine struje atmosferskog pražnjenja,

σ_{lnS} —standardno odstupanje logaritma strmine struje atmosferskog pražnjenja.

Za praktičnu upotrebu je veoma pogodna dvodimenzionalna gustina raspodele amplituda i strmina struja atmosferskog pražnjenja predložena u [5] koja ima sledeći oblik:

$$\omega(x, y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{x^2+y^2-2\rho xy}{2(1-\rho^2)}} \quad (6.12)$$

Oznake u izrazu 6.12 imaju sledeće značenje:

$$x = \frac{\ln \frac{I}{I_{sr}}}{\sigma_{lnI}} \quad (6.13)$$

$$y = \frac{\ln \frac{S}{S_{sr}}}{\sigma_{lnS}} \quad (6.14)$$

I —slučajna amplituda struje atmosferskog pražnjenja,

I_{sr} —srednja vrednost amplitude struje atmosferskog pražnjenja (matematičko očekivanje amplitude struje atmosferskog pražnjenja),

S —slučajna strmina struje atmosferskog pražnjenja (definisana kao maksimalna strmina S_{max} sa slike 6.2),

S_{sr} —matematičko očekivanje maksimalne strmine struje atmosferskog pražnjenja,

σ_{lnI} —standardno odstupanje logaritma struje atmosferskog pražnjenja,

σ_{lnS} —standardno odstupanje logaritma strmine čela struje atmosferskog pražnjenja,

ρ —koeficijent korelacije između amplitude i strmine struje atmosferskog pražnjenja.

Pri statističkoj analizi parametara struje atmosferskog pražnjenja podatak o korelaciji između amplitude i strmine struje atmosferskog pražnjenja se pokazao kao najmanje poznat parametar u analizama raznih autora. Vrlo često se sreće prilaz po kome se amplituda i strmina struje atmosferskog pražnjenja razmatraju kao nezavisne slučajne veličine. U tom slučaju se mogu primenjivati zakoni raspodele amplitude i strmine struje korišćenjem izraza 6.8 i 6.11 nezavisno.

Prema [39] koeficijent korelacije ima pozitivnu vrednost $\rho = 0,49$, što pokazuje da postoji tendencija da struja veće amplitude ima i veću maksimalnu strminu. Prema [40] dobijeni su još veći koeficijenti korelacije.

Brojne vrednosti parametara dvojne raspodele amplitude i strmine struje groma date su u tablici 6.2 prema različitim autorima [39],[5],[42].

Tabela 6.2: Brojčane vrednosti parametara dvojne raspodele struje atmosferskog pražnjenja

Raspodela G. Brown 1978					
Tip udara	I_{sr} (kA)	S_{sr} (kA/ μ s)	σ_{lnI} (rj)	σ_{lnS} (rj)	ρ (rj)
Prvi negativni	30	12	0.68	0.55	0.36
Raspodela Berger CIGRE 1991					
Prvi negativni	30	12	0.59	0.61	0.36
Uzastopni negativni	12	40	0.57	0.61	0.11
Pozitivni	35	2.4	1.21	1.54	-
Raspodela IEEE CIGRE 1991					
Prvi negativni	33	24.3	0.484	0.53	0.36
Uzastopni negativni	12.3	40	0.53	0.852	0.11

Parametri za pozitivne udare su najmanje poznati, zato se mogu smatrati nesigurnim.

Smatra se da je broj pozitivnih udara oko 10% u odnosu na negativne udare. Ovaj podatak se mora uzeti u obzir kao orijentacioni.

Dvojna raspodela parametara atmosferskih pražnjenja se pokazuje kao vrlo pogodna za detaljnije procene ugroženosti objekata od atmosferskih pražnjenja, mada se parametri raspodele moraju stalno korigovati u skladu sa novim rezultatima merenja od strane raznih autora.

Amplituda i strmina struje groma su najvažniji parametri za procenu ugroženosti elektroenergetskih objekata. Velika amplituda struje izaziva omski pad napona, posebno na otporu uzemljenja objekata, a struja velike strmine izaziva induktivni pad napona na provodnicima kroz koje protiče, kao i indukovanе napone u magnetski spregnutim konturama. Dalekovodni stub se ponaša kao induktivni elemenat na kome se javlja pad

napona srazmeran strmini talasa. Ostali parametri atmosferskog pražnjenja nisu od tolike važnosti za koordinaciju izolacije elektroenergetskih objekata.

Određivanje maksimalnih parametara struja atmosferskih udara pri determinističkom proračunu

Pri determinističkom proračunu biraju se najkritičniji uslovi koji mogu biti premašeni sa dovoljno malom verovatnoćom. Izbor verovatnoće sa kojom parametri atmosferskog pražnjenja mogu biti premašeni se za slučaj normalne raspodele slučajnog parametra x dati za verovatnoće premašenja 5%, 2% i 1 % u tabeli 6.3

Tabela 6.3: Tabela verovatnoća premašenja slučajne veličine $X > x$ za normalnu raspodelu

x	$F(X > x)$
1.65	0.95
2.05	0.98
2.33	0.99

Slučajna promenljiva x definisana je kao normalizovan logaritam amplitude struje, odnosno

$$x_{max} = \frac{\ln \frac{I_{max}}{I_{sr}}}{\sigma_{\ln I}} \quad (6.15)$$

gde je: I_{max} usvojena maksimalna vrednost struje za koju je verovatnoća premašenja data u tabeli 6.3. Iz izraza 6.15 se može izračunati vrednost struje I_{max} .

$$I_{max} = I_{sr} \cdot e^{(\sigma_{\ln I} x_{max})} \quad (6.16)$$

Maksimalne vrednosti struja koje mogu biti premašene sa zadatom verovatnoćom, za prve negativnih udare, data u tabeli 6.4. Prvi negativni udari se smatraju za najznačajnije za koordinaciju izolacije jer imaju najveću amplitudu struje. Strmina čela struje sa jedne strane povećava induktivne padove napona, ali sa druge strane strmiji naponski talasi teže izazivaju preskok na vazdušnoj izolaciji, pa se ta dva efekta donekle kompenzuju. U svakom slučaju, program omogućava da se proračunava rizik preskoka od svih tipova udara.

Minimalne vrednosti struja se mogu odrediti iz izraza:

$$I_{min} = I_{sr} \cdot e^{(-\sigma_{\ln I} x_{max})} \quad (6.17)$$

U programu GROM koji je razvijen na ETF u Beogradu, mogu se birati raspodele iz tabele 6.2, stim što postoji mogućnost sledećih kombinacija:

Tabela 6.4: Maksimalne vrednosti struja prvih negativnih udara koji mogu biti premašene sa zadatom verovatnoćom

	P(I>)=5%	P(I>)=2%	P(I>)=1%
$\sigma_{ln I}$	I(kA)		
0.59	79	101	119
0.68	92	121	146

Berger1 -Bergerova prirodna raspodela, u kojoj se maksimalna vrednost struje prvih udara, kao i minimalna vrednost, određuje na osnovu izraza 6.16 i 6.17. Raspodela je usvojena na osnovu [39] i [42]

Berger2 - Bergerova raspodela sa ograničenjima, sa parametrima raspodele iz tabele 6.2, ali sa minimalnom strujom limitiranom na $I_{min} = 2$ kA i maksimalnom strujom koja se koristi kod determinističkog proračuna $I_{max} = 121$ kA.

Cigre - raspodela kombinovana rezultatima [39] i [42], sa podacima za pozitivne udare prema [39].

IEEE - parametri raspodele prema rezultatima [5].

IEC - parametri raspodele koji su specifični jer daju determinističku vezu između struja i strmine struje, koja će posebno biti opisana,[13].

Mora se naglasiti da pri određivanju logaritma standardnog odstupanja kod logaritamsko-normalne raspodele u nekim radovima (na primer [5]) se daje rasipanje u odnosu na prirodni logaritam $\sigma_{ln I}$, a u [42] se daje kao dekadni logaritam $\sigma_{lg I}$. Odnos između tih veličina je:

$$\sigma_{ln I} = 2.302585 \cdot \sigma_{lg I} \quad (6.18)$$

Kod raspodele prema [13] amplituda struje prvih negativnih udara je usvojena prema raspodeli IEEE CIGRE 1991 iz tabele 6.2. Trajanje čela određeno je sledećom relacijom:

$$T_c = 0.154 \cdot I^{0.624} \quad (6.19)$$

Relacija 6.19 važi za struje veće od 20 kA. Strmina struje se dobija iz izraza:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{I_{max}}{T_c} \quad (6.20)$$

Količina elektriciteta

Količina elektriciteta predstavlja merilo energije koja se prenosi atmosferskim pražnjenjem. Ova veličina je značajna za procenu termičkih efekata radi sprečavanja topljenja

metalnih površina usled udara atmosferskog pražnjenja, a posebno je značajna za određivanje potrebne energetske apsorpcione moći odvodnika prenapona.

U tablici 6.5 prikazane su statističke vrednosti količine elektriciteta prvog udara i ukupne količine elektriciteta kompletnog pražnjenja pod pretpostavkom da su i ove veličine raspoređene po logaritamsko–normalnom zakonu, prema [39].

Pri razmatranju količine elektriciteta atmosferskih pražnjenja razlikuje se **udarna količina elektriciteta** (Q_{ud}) koja se odnosi samo na deo pražnjenja koji se odlikuje brzom promenom struje i **količina elektriciteta pražnjenja** (Q), koja se odnosi na kompletnu količinu elektriciteta pri udaru i obuhvata dugotrajnu struju pražnjenja koja ima znatno manju amplitudu, ali relativno duže trajanje, a može se javiti pre i posle glavnog pražnjenja.

U tablici 6.5 dati su parametri raspodele udarne količine elektriciteta prvih negativnih, pratećih negativnih i pozitivnog kompletnog pražnjenja (koje je uvek jednostruko). U tablici 6.6 dati su parametri raspodele količine elektriciteta prvih negativnih pražnjenja, kompletnih negativnih pražnjenja i pozitivnih udara.

Tabela 6.5: Parametri raspodele udarne količine elektriciteta

	$Q_{ud_{sr}}$ (C)	$\sigma_{lnQ_{ud}}$ (rj)
Prvi negativni udari	4,5	0,87
Prateći negativni udari	0,95	0,87
Pozitivna pražnjenja	16	1,31

Količina elektriciteta kompletnog pražnjenja i zbir količina elektriciteta prvog i uzastopnih negativnih pražnjenja se razlikuju za udeo količine elektriciteta koji protiče kanalom atmosferskog pražnjenja u pauzama između udara, koja takođe može da dodatno opteretiti odvodnik koji je u zagrejanom stanju usled predhodnih udara.

Tabela 6.6: Parametri raspodele količine elektriciteta kompletnog pražnjenja

	Q_{sr} (C)	σ_{lnQ}
Prvi negativni udari	5,2	0,93
Prateći negativni udari	1,4	1,2
Kompletni udari	7,5	1.014
Pozitivna pražnjenja	80	0,89

Oznake u tablicama imaju sledeće značenje:

$Q_{ud_{sr}}$ —srednja udarna količina elektriciteta,

$\sigma_{\ln Q_{ud}}$ —standardno odstupanje logaritma udarne količine elektriciteta.

Q_{sr} —srednja količina elektriciteta,

$\sigma_{\ln Q}$ —standardno odstupanje logaritma količine elektriciteta.

Može se uočiti da je količina elektriciteta pozitivnih udara znatno veća od negativnih.

Korelacija između amplitude struje prvih negativnih udara i količine elektriciteta kompletnog udara je prema [39] data je u tabeli 6.7:

Tabela 6.7: Korelacija između maksimalne struje prve komponente udara i količine elektriciteta

Vrsta udara	Korelacija ρ_{Q-I} (rj)
Negativni udari	0.61
Pozitivni udari	0.62

Na sličan način kao kod određivanja maksimalne struje za determinističke proračune, može se odrediti količina elektriciteta negativnih udara koja može da bude premašena sa verovatnoćom od 2%. Za negativne udare kao merodavna se računa količina elektriciteta kompletnog pražnjenja $Q_{sr_{kom}} = 7.5$ C, koja ima $\sigma_{\ln_{kom}} = 1.05$ rj. Maksimalna količina elektriciteta koja može biti premašena sa verovatnoćom 2% je prema tabeli 6.3:

$$Q_{Max_{kom}} = Q_{sr_{kom}} \cdot e^{(\sigma_{\ln_{kom}} 2.05)} \quad (6.21)$$

Kada se izračuna, dobija se za kompletna negativna pražnjenja:

$$Q_{Max_{kom}} = 58.2 \text{ C} \quad (6.22)$$

Za pozitivne talase je srednja vrednost opterećenja $Q_{sr_{poz}} = 80$ C, a $\sigma_{\ln_{poz}} 0.86$ rj. Kada se izračuna maksimalna količina elektriciteta kod pozitivnog pražnjenja, dobija se:

$$Q_{Max_{poz}} = 466 \text{ C} \quad (6.23)$$

6.2.2 Meteorološki parametri atmosferskih pražnjenja

Meteorološki parametri atmosferskih pražnjenja daju informaciju o grmljavinskoj aktivnosti na nekom području. Mogu se podeliti na dve grupe:

- Opšti meteorološki parametri pražnjenja,
- Parametri pražnjenja vezani za elektroenergetske objekte.

a) Opšti meteorološki parametri atmosferskih pražnjenja

Jedan od najčešće korišćenih opštih meteoroloških parametara atmosferskih pražnjenja koji služi kao merilo grmljavinske aktivnosti na nekom području je keraunički nivo.

Keraunički nivo T_d se definiše kao prosečan broj dana sa grmljavinom u toku jedne godine na određenom području. Određuje se osmatranjem. Pod grmljavinskim danom se smatra dan kada se bar jedanput začuje grmljavina.

Osnovni nedostatak korišćenja kerauničkog nivoa kao jedinog merila grmljavinske aktivnosti je nedostatak podataka o intenzitetu grmljavinske aktivnosti.

Ovaj podatak se može dobiti na osnovu gustine pražnjenja u zemljinu površinu. Dnevna gustina pražnjenja N_{dn} predstavlja broj atmosferskih pražnjenja u toku jednog grmljavinskog dana u horizontalnu površinu zemlje po km^2 . Godišnja gustina pražnjenja N_G predstavlja broj atmosferskih pražnjenja u zemlju u toku jedne godine po km^2 .

Postoji sledeća veza između godišnje gustine pražnjenja, dnevne gustine pražnjenja i kerauničkog nivoa:

$$N_G = N_{dn} T_d \quad (6.24)$$

Gustina pražnjenja se može određivati osmatranjem, korišćenjem brojača pražnjenja ili postavljanjem stanica za lokalizaciju mesta pražnjenja. Osmatranjem se može dobiti broj pražnjenja samo približno za manju teritoriju dok se sistematskim praćenjem grmljavinske aktivnosti pomoću sistema za lokaciju pražnjenja može dobiti tačna slika o grmljavinskoj aktivnosti na jednoj teritoriji, ukoliko se prati najmanje 6 god.

Stanice za lokalizaciju pražnjenja daju informaciju o mestu na kome se pražnjenje dogodilo, kao i o amplitudi, polaritetu i broju komponenti pražnjenja.

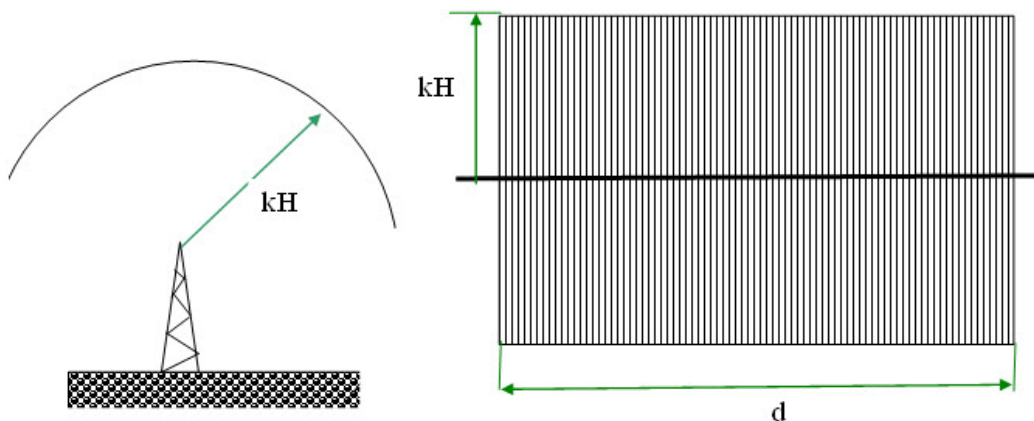
Da bi se dobila informacija o godišnjoj gustini pražnjenja za teritoriju zemlje u kojoj se ne vrši instrumentalno određivanje ovog parametra, može se koristiti približna empirijska formula za dobijanje gustine pražnjenja na osnovu kerauničkog nivoa [68]:

$$N_G = 0,04 T_d^{1,25} \quad (6.25)$$

Ovakve empirijske formule mogu biti od velike koristi pri određivanju ugroženosti pojedinih objekata od atmosferskih pražnjenja, ali ih treba stalno korigovati u skladu sa povećanjem broja uzoraka pri sistematskom praćenju i registrovanju atmosferskih prenapona.

b) Broj pražnjenja u elektroenergetske objekte

Pri proučavanju ugroženosti elektroenergetskih objekata od atmosferskih pražnjenja najvažnije je proceniti očekivani broj pražnjenja u vodove. Pri tome se pretpostavlja da je poznata godišnja gustina pražnjenja u ravnu površinu zemlje $N_G[1/(km^2, god)]$. Prema [69] se može smatrati da je širina zone privlačnog dejstva dalekovoda za atmosferska pražnjenja (širina trase izloženosti) srazmerna visini dalekovoda. Usvaja se da je koeficijent srazmere $k = 3$ za vodove, a za stubove je uvećan za 1.2, odnosno iznosi 3.6. Trasa izloženosti prostire se simetrično na obe strane voda, kao na slici 6.5.



Slika 6.5: Atraktivna zona voda dužine d , prosečne visine H

Na slici 6.5 (desno) prikazana je horizontalna površina zemlje koja je ekranizovana atraktivnim dejstvom dalekovoda. Sva atmosferska pražnjenja koja bi se dogodila u zemlju unutar šrafirane površine završiće se na provodnicima ili zaštitnim užadima dalekovoda.

Na slici 6.5 (levo) prikazan je efekat privlačnog dejstva voda. Smatra se da udar atmosferskog pražnjenja završava na vodu ako se glava skokovitog lidera pred poslednji skok nalazi unutar cilindra poluprečnika kH , gde je H prosečna visina dalekovoda. Ostali udari se odvijaju u zemlju ili okolne objekte. Veličina kH naziva se visinom orijentacije atmosferskog pražnjenja. Usvojen je koeficijent privlačnog dejstva za vod $k = 3$, a za stubove je uvećan 1.2 puta.

Prihvata površina (atraktivna zona) nadzemnog voda je ravna površina zemlje u koju bi se odvijala atmosferska pražnjenja kada ne bi bilo voda. Za horizontalan vod prosečne visine najvišeg provodnika H (zaštitno uže ili najviše faze ako nema zaštitnog užeta), atraktivna površina je:

$$A_{ekv} = 2 \cdot 10^{-3} k \cdot H \cdot d \quad (6.26)$$

gde je:

A_{ekv} -ekvivalentna prihvatna površina u km^2 ,

$k = 3$ - empirijski koeficijent privlačnog dejstva za vod,

H -visina najvišeg provodnika (m),

d -posmatrana dužina voda (km).

Godišnji broj pražnjenja na 100 km voda može se proceniti na osnovu ovakvog prikaza korišćenjem sledećeg izraza:

$$n_{1god,100km} = 0.1 N_G \cdot A_{ekv} \quad (6.27)$$

Ako se usvoji da je poluprečnik atraktivne zone dat izrazom 6.26 prema [70], broj udara na 100 km je:

$$n_{1god,100km} = 2 \cdot k \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot N_G = 0.2 \cdot k \cdot H \cdot N_G \quad (6.28)$$

gde su:

H – prosečna visina voda (m)

N_G – godišnja gustina pražnjenja po km^2 .

Primenom sledećeg empirijskog izraza [39] može se izračunati godišnji prosečan broj udara u vod dužine 100 km :

$$n_{1god,100km} = 0.1 \cdot (b + 2R_a) \cdot N_G \quad (6.29)$$

gde je:

R_a – prosečna veličina privlačnog rastojanja voda u (m),

b – razmak između zaštitnih užadi (m), ako ih ima. Ako nema, tada je $b = 0$.

Privlačno rastojanje voda ne zavisi od amplitude struje pražnjenja

Privlačno rastojanje voda se može izračunati iz izraza za slučaj da atraktivno rastojanje voda R_a ne zavisi od amplitude struje atmosferskog pražnjenja I u sledećem opštem obliku:

$$R_a = K_c \cdot H^{K_2} \quad (6.30)$$

Modifikacija ovog izraza prikazana je u [42],[70].

$$n_{1god,100km} = 0.1 \cdot N_G \cdot (b + 2 \cdot K_c \cdot H^{K_2}) \quad (6.31)$$

Preporučuju se sledeće empirijske konstante:

$$K_c = 14 \quad (6.32)$$

$$K_1 = 28 \quad (6.33)$$

$$K_2 = 0.6 \quad (6.34)$$

Ovaj izraz se koristi za proračun prihvatne površine nadzemnog voda na dužini od 100 km, ako se atraktivno rastojanje R_a izražava u (m), u sledećem obliku.

$$N_L = 0.1 \cdot N_G \cdot (b + K_1 \cdot H^{K_2}) \quad (6.35)$$

Privlačno rastojanje voda zavisi od ampliude struje pražnjenja

Ukoliko se smatra prema elektroteometrijskom modelu koji je opisan u sekciji 8.3 da poslednji skok skokovitog lidera zavisi od struje glavnog udara, u tom slučaju prema [70] se atraktivno rastojanje može odrediti na osnovu sledećeg izraza:

$$N_L = 0.1 \cdot N_G \cdot (b + K_{I1} \cdot I^{K_{I2}} H^{K_{I3}}) \quad (6.36)$$

gde koeficijenti imaju sledeće vrednosti

$$K_{I1} = 0.84 \quad (6.37)$$

$$K_{I2} = 0.74 \quad (6.38)$$

$$K_{I3} = 0.6 \quad (6.39)$$

Preporučuje se strujno nezavisni model za primene u koordinaciji izolacije.