

Техника на висок напон 2

АТМОСФЕРСКО ПРАЗНЕЊЕ

М. Тодоровски

Институт за преносни електроенергетски системи
Факултет за електротехника и информациски технологии
Универзитет Св. Кирил и Методиј

`mirko@feit.ukim.edu.mk`
`pees.feit.ukim.edu.mk`

Скопје, 2015

Вовед

За запознавање со следните физички појави поврзани со атмосферските празнења

- Настанување и услови за појава на грмотевици,
- Создавање на облаци,
- Особини на атмосферското празнење, механизам на настанување на атмосферското празнење,
- Типови на атмосферското празнење.

се препорачува да се прочитаат соодветните поглавја од материјалот за предавања (стр. 5-15).

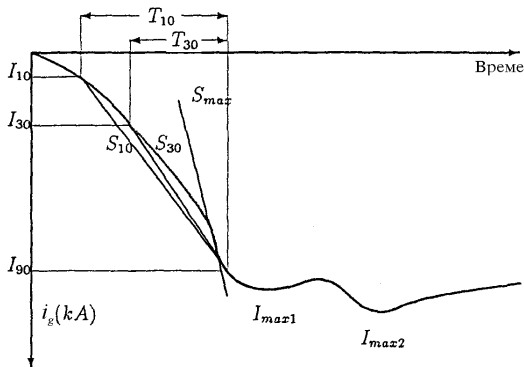
pees.feit.ukim.edu.mk/predmeti/tvn2/tvn2-predavanja.pdf

Електрични параметри

Основни електрични параметри на едно атмосферско празнење се следните:

- амплитудата на струјата на громот I_m ;
- обликот на струјата на громот;
- стрмнината на струјниот импулс S ;
- количеството на електричните полнежи Q што ќе протечат при првиот удар која ќе ги опфати струјата на скоковитиот лидер но и струјата на главното празнење;
- вкупното количество полнежи за време на комплетното празнење Q_Σ ;
- топлинскиот импулс на комплетното празнење A_θ .

Типичен облик на негативен струен импулс на првиот удар



- два максимуми (I_{max1} , I_{max2}),
- индексите се проценти од I_{max1} : $I_{10} = 0.1 \cdot I_{max1}$, ИТН.

Мерења на параметрите на струјата на громот (1)

- Околу 70 години се вршени бројни и систематски мерења на параметрите на струјата на громот во разни земји,
 - ▶ Од 1943 на врвот Монте Сан Салваторе во Швајцарија под раководство на К. Бергер (Karl Berger) 40 години се снимани удари на гром во две високи антени (по ≈ 100 удари годишно).
- Параметрите на струјата на громот не се секаде исти и во голема мерка зависат од
 - ▶ климатските услови,
 - ▶ географската положба,
 - ▶ надморската височина,
 - ▶ конфигурацијата на теренот.

Мерења на параметрите на струјата на громот (2)

- Статистичка обработка на податоците за добивање на веројатностни распределби на параметрите на струјата на громот за примена во инженерската практика,
- Одредени статистички закони за распределба на параметрите на струјата на громот се вградени во стандарди во различни земји.

Експоненцијален закон за распределба на амплитудата на струјата на громот

- Се применуваше во некогашниот СССР, и сè уште се применува во Русија, кај нас и во други источно-европски земји.
- Веројатноста $P(I)$ дека ќе се појави струја на громот чија што амплитуда I_m ќе биде помала или еднаква на струјата I , изнесува:

$$P(I) = 1 - e^{-\frac{I}{a}}, \quad \bar{P}(I) = 1 - P(I) = e^{-\frac{I}{a}}$$

- Величината a има димензија на струја и таа изнесува:
 - ▶ $a = 26,1 \text{ kA}$ за рамни предели и
 - ▶ $a = 13,0 \text{ kA}$ за планински предели.
- Функцијата $P(I)$ уште се нарекува и кумулативна функција на распределба.

Густина на веројатноста на амплитудата на струјата на громот

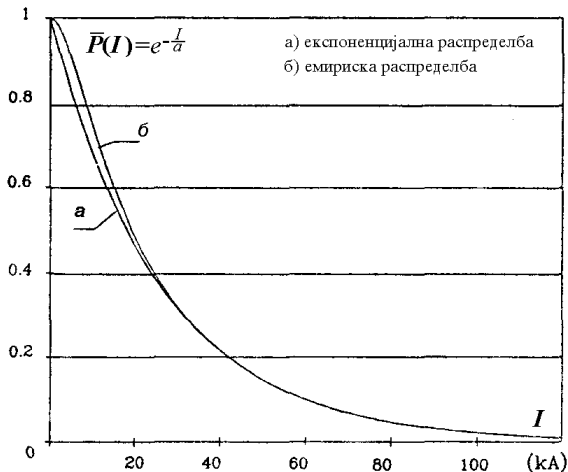
Густината на веројатност е прв извод по струјата на кумулативната функција на распределба

$$f(I) = \frac{\partial P}{\partial I} = \frac{1}{a} \cdot e^{-\frac{I}{a}}$$

врз основа на која произлегува

$$P(I) = \int_{-\infty}^I f(x) \cdot dx = \int_0^I f(x) \cdot dx$$

Споредба на експоненцијалниот закон со експериментални податоци



Логаритамско-нормален закон за распределба на амплитудата на струјата на громот

Функцијата на густината на распределбата на амплитудата на струјата од громот $f(I)$ изнесува:

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

каде што:

- I случајна вредност на амплитудата на струјата на громот,
- I_{sr} средна вредност на амплитудата на струјата на громот,
- $\sigma_{\ln I}$ стандардна девијација на логаритмот на струјата на громот.

Логаритамско-нормален закон за распределба на амплитудата на струјата на громот

Веројатноста $P(I)$ дека ќе се појави струја на громот чија што амплитуда I_m ќе биде помала или еднаква на струјата I , изнесува

$$P(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} \cdot dt$$

каде што $x = \frac{\ln I - \ln I_{sr}}{\sigma_{\ln I}} = \frac{\ln(I/I_{sr})}{\sigma_{\ln I}}$.

Интегралот не може да се реши во затворена форма, туку неговата вредност се отчитува од соодветни табели.

Вредности на функцијата на нормалната распределба

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} \cdot dt$$

x	-3.0	-2.5	-2.0	-1.8	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0
$F(x)$	0.00135	0.00621	0.02275	0.03593	0.06681	0.08076	0.09680	0.11507	0.13567	0.15866
x	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
$F(x)$	0.18406	0.21186	0.24196	0.27425	0.30854	0.34458	0.38209	0.42074	0.46017	0.50000
x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$F(x)$	0.53983	0.57926	0.61791	0.65542	0.69146	0.72575	0.75804	0.78814	0.81594	0.84134
x	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0
$F(x)$	0.86433	0.88493	0.90320	0.91924	0.93319	0.94520	0.96407	0.97725	0.99379	0.99865

Нумеричка интеграција

Интегралот

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} \cdot dt$$

може да се пресмета нумерички во Matlab со помош на следната функција

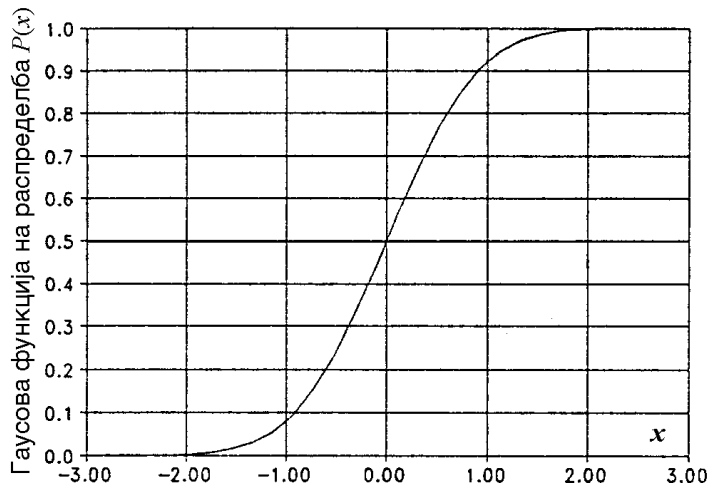
```
1 function F = gauss(x)
2 funkcija = inline('exp(-(t.^2/2))');
3 F = quadl(funkcija,-1000,x)/sqrt(2*pi);
```

Пример:

```
>> F = gauss(1)
```

```
F =  
    0.8413
```

Функција на нормалната (Гаусова) распределба



Вредности на I_{sr} и $\sigma_{\ln I}$

Врз основа на долгогодишните регистрации на амплитудите на струјата на громот е дојдено до податоците од следната табела

Вид на атмосферското празнење	I_{sr} (kA)	$\sigma_{\ln I}$
Прв негативен удар	30	0,53
Последователни нег. удари	12	0,57
Позитивен удар	35	1,21

Распределба на амплитудата на струјата на громот според IEEE

Работна група на американското здружение IEEE пред околу 20 години предложила упростен закон за распределба на амплитудата на струјата на громот во обликот

$$\bar{P}(I) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{31}\right)^{2,6}}$$

кој дава слични резултати како и логаритамско-нормалниот закон на распределба.

Пример

Колкава е веројатноста P да дојде до негативно атмосферско празнење чија амплитуда на струјата на громот I_m ќе ја надмине вредноста $I = 30 \text{ kA}$?

- Според експоненцијалниот закон

$$P = e^{-\frac{30}{26,1}} = 0,317$$

- Според законот на IEEE

$$P = \frac{1}{1 + (30/31)^{2,6}} = 0,521$$

- Според логаритамско-нормалниот закон

$$x = \frac{\ln(I/I_{sr})}{\sigma_{\ln I}} = \frac{\ln(30/30)}{0,53} = 0; \quad F(x) = F(0) = 0,5$$
$$P = 1 - F(0) = 1 - 0,5 = 0,5$$

Важност на стрмнината на струјата

Нека отпорноста на заемјувачот на некој објект е R , додека индуктивноста на врска од објектот до громобранот е L . Тогаш напонот на објектот при удар на гром, грубо посматрано, изнесува

$$U = R \cdot i_g + L \cdot \frac{di_g}{dt}$$

додека неговата максимална вредност приближно ќе биде

$$U_{\max} \approx R \cdot I_m + L \cdot S_{\max}$$

затоа од интерес за оценка на вистинските опасности од атмосферските пренапони е, меѓу другото, и познавањето на големината на стрмнината $S = di_g/dt$.

Експоненцијален закон за распределба на стрмнината на струјата на громот

- Во втората половина на изминатиот век долго време во употреба беше експоненцијалниот закон на распределба според кој, веројатноста дека максималната стрмнина на струјата на громот S_{\max} ќе ја надмине вредноста S изнесува

$$\bar{P}(S) = e^{-\frac{S}{b}}$$

- Параметарот b изнесува:
 - ▶ $b = 15,65 \text{ kA}/\mu\text{s}$ за рамни предели и
 - ▶ $b = 7,8 \text{ kA}/\mu\text{s}$ за планински предели.

Логаритамско-нормален закон за распределба на стрмнината на струјата на громот

Денес во светот сè почесто се применува
логаритамско-нормалниот закон на распределба за
максиамлната стрмнина на струјата на громот кој се смета
за поточен

$$P(S) = F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} \cdot dt; \quad x = \frac{\ln(S/S_{sr})}{\sigma_{\ln S}}$$

Параметрите S_{sr} и $\sigma_{\ln S}$ имаат значење како и соодветните
параметри во законот за распределба на амплитудата на
струјата на громот.

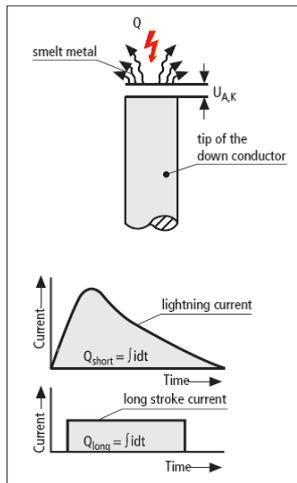
Вредности на S_{sr} и $\sigma_{\ln S}$

Вид на атмосферското празнење	S_{sr} (kA/ μ s)	$\sigma_{\ln S}$
Прв негативен удар	12	0,535
Последователни нег. удари	40	0,76
Позитивен удар	2,4	1,54

Вкупно количество електрицитет на струјата на громот

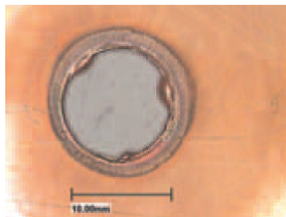
- Во просек количеството електрицитет Q изнесува десетина Кулони (C) иако понекогаш може да достигне и вредност од 300 C,
- На местото на удар на громот преку електричниот лак се ослободува топлина која може да предизвика локално топење на металот,
- Количество топлина W може да се пресмета како производ од количеството електрицитет на громот и катодниот пад на напон $U_{A,K}$ на местото на допирот кој што изнесува околку 10 V: $W = Q \cdot U_{A,K}$,
- За димензионирање на громобранските инсталации при нормалните барања за сигурност се усвојува $Q = 50$ C, но при построги барања за сигурност се зема $Q = 300$ C.

Конверзија на енергијата во точката на ударот на громот

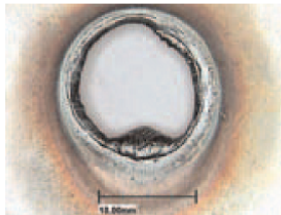


Термички ефекти од струјата на громот

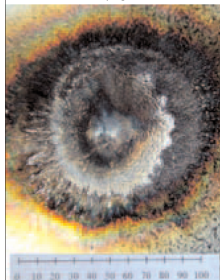
Copper: $d = 0.5 \text{ mm}$; 200 A, 180 ms



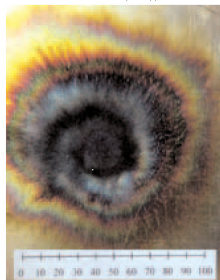
Steel: $d = 0.5 \text{ mm}$; 200 A, 100 ms



100 kA (10/350 μ s) galvanised steel



100 kA (10/350 μ s) copper



Параметри на распределбата на вкупното количество електрицитет

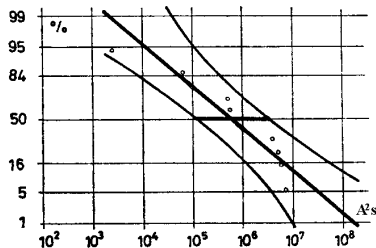
Во табелата се дадени средната вредност Q_{sr} и стандардна девијација на логаритмот $\sigma_{\ln Q}$ на вкупното количество електрицитет Q под претпоставката дека овие случајни величини подлежат на логаритамско-нормалниот закон за распределба.

Вид на атмосферското празнење	Q_{sr} (C)	$\sigma_{\ln Q}$
Прв негативен удар	5,2	0,93
Последователни нег. удари	1,4	1,2
Позитивен удар	80	0,86

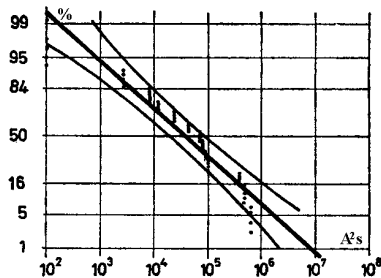
Топлински импулс на струјата на громот

- Топлинската енергија W_θ ослободена во спроводник со отпорност R за време на удар на гром е пропорционална на квадратниот импулс $A_\theta = \int_t i_g^2(t) \cdot dt$,
- Ако за време на течењето на струјата важи $R = \text{const.}$ топлинската енергија ќе биде: $W_\theta = R \cdot \int_t i_g^2(t) \cdot dt = R \cdot A_\theta$,
- Експериментално е утврдено дека A_θ претставува случајна величина која што подлежи на логаритамско-нормалниот закон на распределба,
- Позитивните празнења имаат A_θ кое е 10 пати поголемо отколку кај негативните празнења,
- Бидејќи негативните празнења се многу позачестени од позитивните, загревањето на спроводниците се пресметува со статистичките податоци за негативните празнења.

Статистичка распределба на топлинскиот импулс A_θ



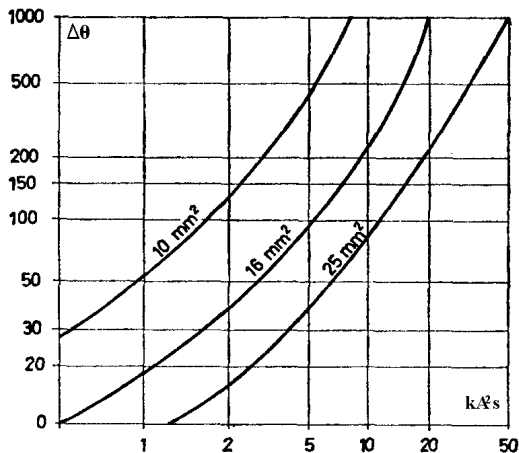
позитивен удар



негативен удар

$$A_{\theta}^{\text{позитивен}} \approx 10 \cdot A_{\theta}^{\text{негативен}}$$

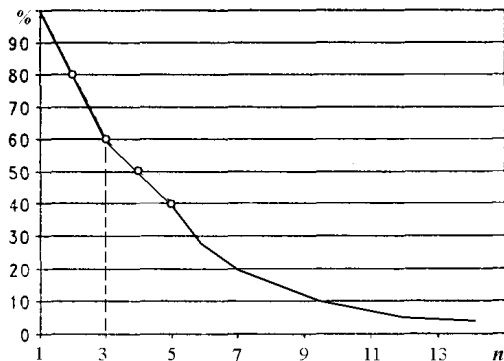
Зависност $\Delta\theta = f(A_\theta)$ за бакарни спроводници



Параметри на распределбата на квадратниот импулс

Вид на атмосферското празнење	$A_{\theta sr} (A^2s)$	$\sigma_{\ln A_{\theta}}$
Прв негативен удар	$5,5 \cdot 10^4$	1,38
Последователни нег. удари	$6,0 \cdot 10^3$	1,38
Позитивен удар	$6,5 \cdot 10^5$	1,94

Број на последователни празнења при удар на гром



Веројатност за надминување на определен број удари на гром

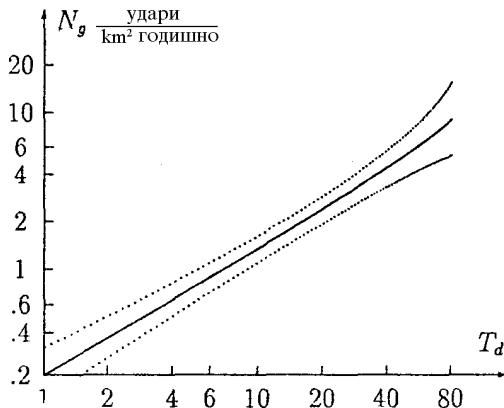
Годишен број на атмосферски празнења на земјата

- Основен показател за интензитетот на атмосферските празнења е „густината на празнењата во земјата“ N_g , т.е. просечен годишен број на удари на гром на 1 km^2 во текот на една година,
- Бројот N_g е цврсто врзан со керауничкото ниво T_d кое е дефинирано како просечен број на денови со грмотевици во една година,
- Керауничкото ниво T_d зависи најмногу од географската ширина на земјата. Во Европа овој број просечно е $20 \div 40$, додека во северните земји (Шведска, Норвешка) тој е $5 \div 10$ дена со грмотевици годишно. Во земјите околу екваторот T_d може да биде и блиску до 200 денови со грмотевици годишно.

Керауничка карта на Република Македонија



Зависност $N_g = f(T_d)$



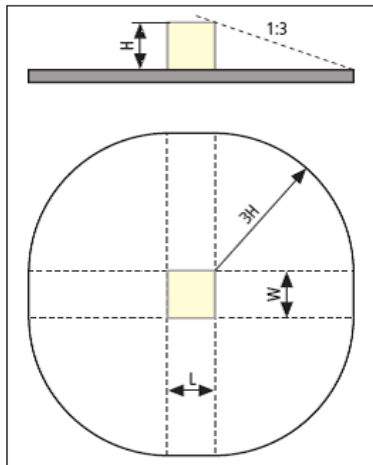
$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25}$$

Пример: $T_d = 40$ денови со грмотевици,
 $N_g = 0,04 \cdot 40^{1,25} = 4,02$ удари/ km^2 , годишно.

Удари на гром во објекти на земјата

- Постапката за определување на бројот на директните удари N_d во објекти на земјата се темели врз препораките на IEC,
- Бројот на директните удари N_d во објекти на земјата зависи од густината на атмосферските празнења N_g и еквивалентна прифатна површина на објектот A_d која уште се нарекува и атрактивна површина,
- Прифатната површина A_d на осамен објект се определува во пресекот на површината на земјата и рамнината што минува низ врвот од објектот, наведната во однос на хоризонталната рамнина во однос 1:3. Со ротирање на косата рамнина околу објектот, во пресекот со тлото се добива геометриско место на точки кое што ја дефинира A_d .

Атрактивна површина за осамен објект со димензии $L \times W \times H$



$$A_d = L \cdot W + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2$$

Годишен број на директни удари на гром во објектот

$$N_d = N_g \cdot A_d \cdot C_d$$

N_g - густина на празнењата во земјата (удари/km², годишно),

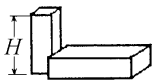
A_d - еквивалентна прифатна површина на објектот (km²),

C_d - коефициент на околината, којшто води сметка за влијанието на околната средина што го опкружува објектот (вид на теренот, присуство на дрвја, други објекти и станбени згради и слично).

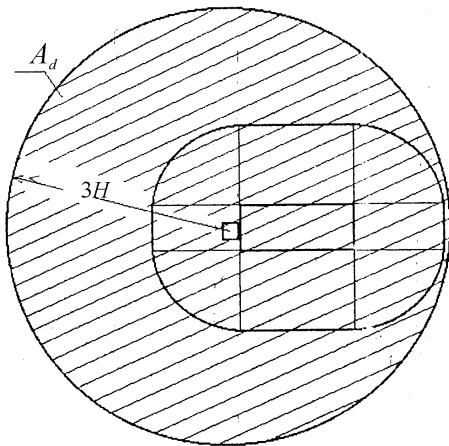
Вредности на коефициентот на околина C_d

Позиција (релативна локација) на објектот	C_d
Објект опкружен со згради или други објекти со иста или поголема височина (дрвја, столбови).	0,25
Објект кој што е опкружен со помали објекти (згради).	0,50
Осамен објект. Нема други објекти во неговата близина на растојание помало од $3H$.	1,00
Осамен објект, поставен на врвот од рид, планина, превој или планински срт.	2,00

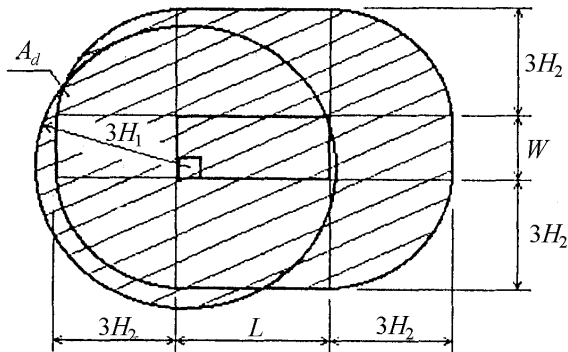
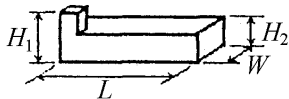
Атрактивна површина за зграда со истакнат дел



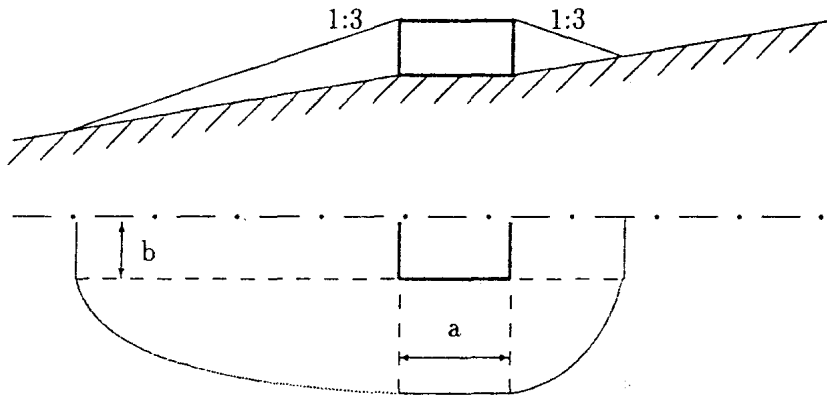
$$A_d = 9\pi H^2$$



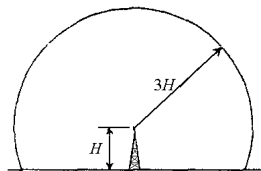
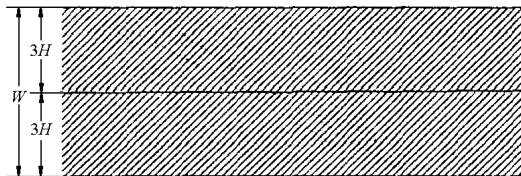
Атрактивна површина за долга зграда со истакнат дел



Атрактивна површина на објект поставен на нерамен терен



Удари на гром во надземните водови



Атрактивна површина изложена на атмосферски празнења кај надземен вод

Во случај кога надземниот вод минува низ релативно рамен терен просечниот годишен број на директни удари на гром е

$$N_L = N_g \cdot L \cdot W$$

N_g - густина на празнењата во земјата (удари/ km^2 , годишно),

L - должина на водот (km),

W - широчина на појасот од кој водот ги прима ударите на гром (km), $W = 6H$.

Широчина на атрактивната површина

$$W = b + 28 \cdot h_{sr.zj}^{0,6}$$

$h_{sr.zj}$ - просечна височина на заштитното јаже/јажиња водејќи сметка и за провесот (m),

b - растојание помеѓу заштитните јажиња (m). За водови со едно заштитно јаже се зема дека е $b = 0$.

Бројот на директни удари на гром во надземниот вод обично се изразуваат во димензија удари на 100 km должина, годишно

$$n_{100 \text{ km, god.}} = 100 \cdot N_g \cdot \frac{b + 28 \cdot h_{sr.zj}^{0,6}}{1000} = 0,1 \cdot N_g \cdot (b + 28 \cdot h_{sr.zj}^{0,6})$$

Пример

Да се пресмета специфичниот број на удари $n_{100 \text{ km, god.}}$ и вкупниот годишен број на удари N_L на гром во надземен вод со две заштини јажиња за кој што се познати следните податоци:

- керамичко ниво $T_d = 40$ дена,
- должина на водот $L = 120 \text{ km}$,
- просечна височина на фазните спроводници во точките на обесување $h_{pr} = 20 \text{ m}$,
- просечна височина на столбовите $H = 28 \text{ m}$
- просечна височина на заштитните јажиња во точките на обесување $h_{zj} = H = 28 \text{ m}$,
- провес на заштитното јаже $f_{zj} = 12 \text{ m}$,
- растојание помеѓу заштитните јажиња $b = 16 \text{ m}$.

Решение

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} = 0,04 \cdot 40^{1,25} = 4,024 \text{ удари/km}^2, \text{ годишно,}$$

$$h_{sr.zj} = h_{zj} - 2/3 \cdot f_{zj} = 28 - 2/3 \cdot 12 = 20 \text{ m,}$$

$$b + 28 \cdot h_{sr.zj}^{0,6} = 16 + 28 \cdot 20^{0,6} = 184,96 \text{ m,}$$

$$n_{100 \text{ km, god.}} = 0,1 \cdot N_g \cdot (b + 28 \cdot h_{sr.zj}^{0,6})$$

$$n_{100 \text{ km, god.}} = 0,1 \cdot 4,024 \cdot 184,96 = 74,42 \text{ удари/100 km, год.,}$$

$$N_L = n_{100 \text{ km, god.}} \cdot \frac{L}{100} = 89,31 \text{ удари/годишно.}$$

Упростена пресметка

$$W = 6 \cdot H = 6 \cdot 28 = 168 \text{ m} = 0,168 \text{ km}$$

$$N_L = N_g \cdot L \cdot W = 4,024 \cdot 120 \cdot 0,168 = 81,12 \text{ удари/годишно.}$$

Општо за заштита на надземните објекти од атмосферски празнења

- Најпрво треба да се утврди потребата од систем за заштита од атмосферските празнења,
- Доколку постои потреба од систем за заштита, треба да се направи соодветен избор на нивото на заштита на објектите од атмосферските празнења врз основа на
 - ▶ Големината на штетите што ќе бидат предизвикани од директното атмосферско празнење,
 - ▶ Зачестеноста на директните удари на гром во објектот.
- Во многу ситуации се поставува заштита без дискусија: објекти со многу луѓе во голем дел од денот (училишта, болници, кина, театри), објектите каде што се даваат јавни услуги, високи и истакнати објекти, објекти во кои што се чуваат експлозивни и запаливи материјали, незаменливо културно наследство и др.

Избор на нивото на заштита од атмосферско пражење

Изборот на нивото на заштита на одреден објект се базира на споредувањето на два параметра

- очекуваниот год. број на директни удари на гром N_d ,
- прифаливиот год. број на директни удари на гром N_c .

Според постапката на IEC вредноста на N_c се пресметува така што се води сметка за:

- типот на штитениот објект,
- содржината на објектот,
- присуството на луѓе во објектот,
- последиците (технички и економски) од атмосферското пражење.

Пресметка на N_c

Вредноста на прифаливиот годишен број на директни удари на гром во одреден објект се пресметува со изразот

$$N_c = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{C}, \quad \frac{\text{удари}}{\text{годишно}}; \quad C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4.$$

Коефициентите C_1 , C_2 , C_3 и C_4 , зависат од преходно наброените фактори (тип на штитениот објект, содржина на објектот, присуството на луѓе во објектот и последици од ударот на громот) и се определуваат со помош на табели.

Коефициенти C_1 и C_2

Коефициент C_1

Конструкција	Метален покрив	Покрив од обичен материјал	Запаллив покрив
Метал	0,5	1,0	2,0
Вообичаен материјал	1,0	1,0	2,5
Запаллив материјал	2,0	2,5	3,0

Коефициент C_2

Содржина без вредност и незапаллива	0,5
Содржина со стандардна вредност и нормална запалливост	1,0
Содржина со висока вредност или особена запалливост	2,0
Содржина со особена вредност, ненадоместливи штети, мошне лесно запаллива или експозивна содржина	3,0

Коефициенти C_3 и C_4

Коефициент C_3

Во објектот нема присуство на луѓе	0,5
Нормално присуство на луѓе	1,0
Присуство на луѓе. Ризик од паника и тешка евакуација.	3,0

Коефициент C_4

Не се бара континуитет на услугите. Нема последици по околината	1,0
Се бара континуитет на услугите. Нема последици по околината	5,0
Има последици по околината	10,0

Постапка за изборот на нивото на заштита

- Ако е $N_d \leq N_c$ нема потреба од заштита на објектот од директи удари на гром,
- Ако е $N_d > N_c$ се пресметува фактор на ефикасност на заштитата на објектот $E = 1 - \frac{N_c}{N_d}$, а потоа се усвојува нивото на заштита

	Ниво на заштита	I_m (kA)	R_s (m)
$E > 0,98$	I ниво + доп. мерки	/	/
$0,95 < E \leq 0,98$	I ниво	2,8	20
$0,90 < E \leq 0,95$	II ниво	5,4	30
$0,80 < E \leq 0,90$	III ниво	9,5	45
$0 < E \leq 0,80$	IV ниво	14,7	60

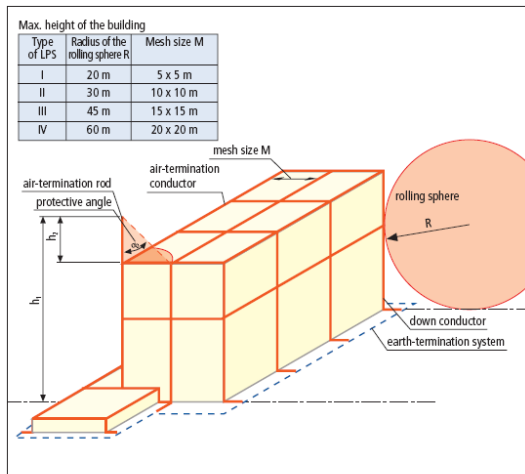
Ударно растојание $R_s = 10 \cdot I_m^{0,67}$ (m); I_m е во kA.

Типични дополнителни мерки на заштита

Во случајот кога е $E > 0,98$ се преземаат следните дополнителни мерки

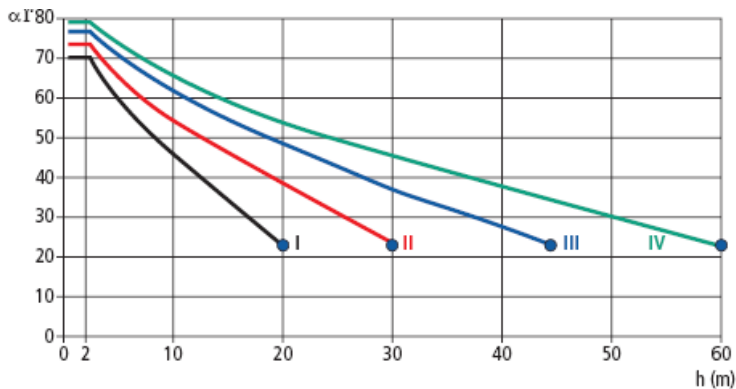
- преземање зафати за намалување на напоните на допир и чекор,
- преземање мерки со кои се спречува ширење на пожар,
- зафати со кои се смалуваат ефектите од индуцираните пренапони предизвикани од атмосферските празнења врз чувствителната опрема во објектот.

Изборот на соодветен систем за заштита од атмосферски празнења - СЗАП

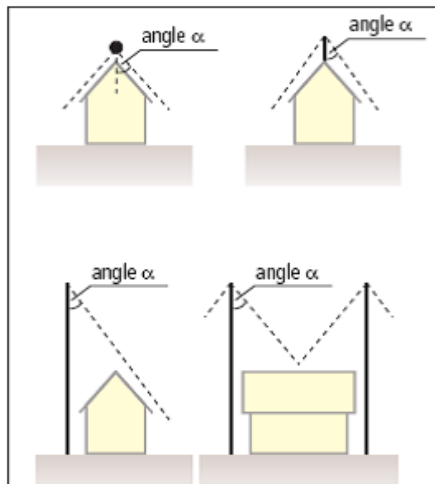


- Заштитен агол на стапести громобрани
- Димензиите на окцата на заштитна мрежа

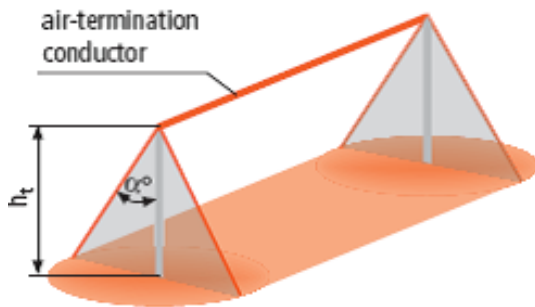
Зависност на заштитниот агол од височината на стапест громобран и од потребното ниво на заштита



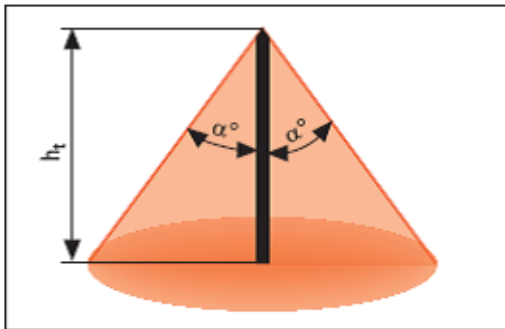
Постапка за избор на заштитниот агол на стапест громобран



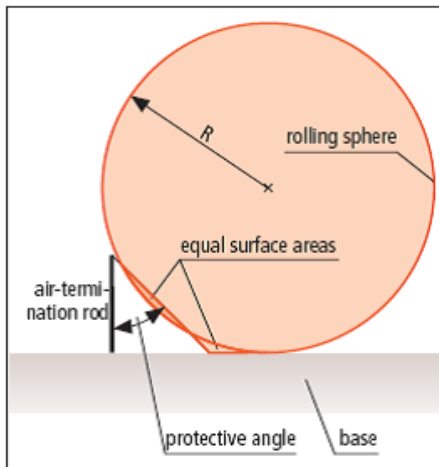
Приказ на зоната заштитена со хоризонтален спроводник



Приказ на зоната заштитена со вертикален стапест громобран



Дефиниција на заштитен агол на громобран според методот на фиктивна сфера



Пример

Облакодер со димензии: $L = 20$ m, $W = 20$ m и $H = 60$ m, е осамен на рамно тло. Керауничкото ниво во областа на објектот изнесува $T_d = 40$ дена ($N_g = 4,02$ удари/ km^2 , год.). Дали е потребна громобранска заштита за овој објект?

$$A_e = L \cdot W + 6H \cdot (L + W) + 9\pi H^2 = 116.588 \text{ m}^2 = 0,116588 \text{ km}^2$$

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_d = 4,02 \cdot 0,116588 \cdot 1 = 0,469 \text{ удари/год.}$$

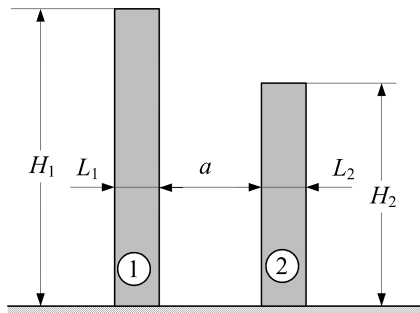
$$N_c = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{C} = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ удари/год.}$$

$$N_d > N_c \Rightarrow E = 1 - \frac{N_c}{N_d} = 1 - \frac{1,83 \cdot 10^{-3}}{0,469} = 0,996$$

$$E = 0,996 \Rightarrow \text{I заштитно ниво + дополнителни мерки.}$$

Пример

Два облакодера со димензии $L_1 = L_2 = 20$ m, $W_1 = W_2 = 20$ m, $H_1 = 60$ m и $H_2 = 50$ m, се сместени еден покрај друг, на растојание $a = 40$ m. Да се пресмета: а) делот од атрактивната површина на понискиот облакодер кој не е покриен од атрактивната површина на повисокиот облакодер, б) вкупната атрактивна површина на двата облакодера.



Влезни податоци во Matlab

```
1 function [xy, h] = slucaj_1()
2 xy{1} = [
3     10  10
4     10 -10
5    -10 -10
6    -10  10
7 ];
8 h(1) = 60;
9 xy{2} = [
10     70  10
11     70 -10
12     50 -10
13     50  10
14 ];
15 h(2) = 50;
```

Одредување прифатна зона во Matlab

extendPoly:

mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/21925-accurate-polygon-extension

```
1 function [zona, s] = crtaj_zoni(datoteka)
2 [xy, h] = feval(datoteka);
3 n = length(h);
4 for i = 1:n
5     proverka = xy{i}(1,:) == xy{i}(end,:);
6     if sum(proverka) ~= 2
7         xy{i} = [xy{i}; xy{i}(1,:)];
8     end
9 end
10 zona = cell(n,1); s = zeros(n,1);
11 for i = 1:n
12     plot(xy{i}(:,1),xy{i}(:,2),'-k'); axis equal; hold on
13     izlez = extendPoly(xy{i},3*h(i),pi/180);
14     zona{i} = izlez{1};
15     plot(zona{i}(:,1),zona{i}(:,2),'-k');
16     s(i) = polyarea(zona{i}(:,1),zona{i}(:,2))/1e6;
17     fprintf('s(%i) = %.6f km^2\n',i,s(i));
18 end
19 set(gcf,'Color',[1 1 1]);
20 xlabel('x (m)'); ylabel('y (m)');
```

Одредување пресек на две зони во Matlab

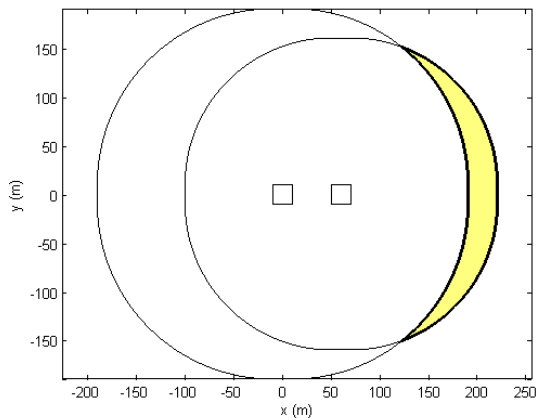
```
1 function [x_eq, y_eq, s_eq] = odzemi_zoni(datoteka,i,j)
2 [zona, s] = crtaj_zoni(datoteka);
3 [x_eq,y_eq] = polybool('subtraction', ...
4     zona{i}(:,1),zona{i}(:,2),zona{j}(:,1),zona{j}(:,2));
5 s_eq = polyarea(x_eq,y_eq)/1e6;
6 fprintf('s_eq = %.6f km^2\n',s_eq);
7 plot(x_eq,y_eq,'-k','LineWidth',2);
8 patch(x_eq,y_eq,'y');
9 p = findobj(gcf,'type','patch');
10 set(p,'facealpha',0.5);
```

Одредување унија на две зони во Matlab

```
1 function [x_eq, y_eq, s_eq] = spoi_zoni(datoteka)
2 [zona, s] = crtaj_zoni(datoteka);
3 x_eq = zona{1}(:,1); y_eq = zona{1}(:,2);
4 n = length(s);
5 for i = 2:n
6     [x_eq,y_eq] = polybool('union',x_eq,y_eq,zona{i}(:,1),zona{i}(:,2));
7 end
8 s_eq = polyarea(x_eq,y_eq)/1e6;
9 fprintf('s_eq = %.6f km^2\n', s_eq);
10 plot(x_eq,y_eq,'-k','LineWidth',2);
11 patch(x_eq,y_eq,'y');
12 p = findobj(gcf,'type','patch');
13 set(p,'facealpha',0.5);
```

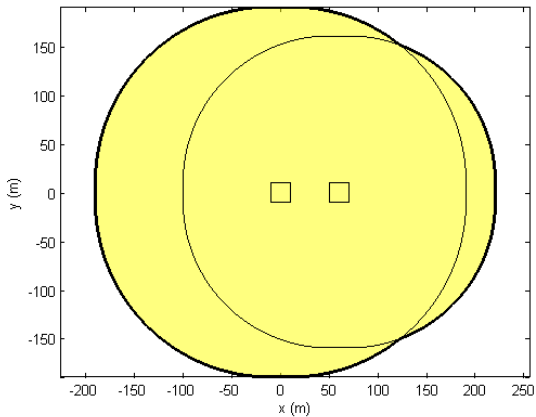
Решение (а)

```
>> [x_eq, y_eq, s_eq] = odzemi_zoni('slucaj_1',2,1);  
s(1) = 0.116582 km^2  
s(2) = 0.083082 km^2  
s_eq = 0.007309 km^2
```



Решение (б)

```
>> [x_eq, y_eq, s_eq] = spoi_zoni('slucaj_1');  
s(1) = 0.116582 km^2  
s(2) = 0.083082 km^2  
s_eq = 0.123891 km^2
```



Зграда со испакнат дел

Основа: $L_1 = 40$ m, $W_1 = 20$ m, $H_1 = 10$ m;

Испакнат дел: $L_2 = 10$ m, $W_2 = 10$ m, $H_2 = 15$ m;

Решение: $S_1 = 0,007227$ km², $S_2 = 0,008261$ km²,
 $S_{eq} = 0,009462$ km².

