

VÝVOJ TROJDIMENZIONÁLNEJ „SÚHRNNEJ HODNOTOVEJ METÓDY“ (Collection volume method –CVM)

Súhrn: Tento článok vysvetľuje základné koncepty a princípy CVM – novej fyzikálnej metódy pre efektívne umiestnenie vzdušných terminálov na budovy. Skúmame originálny model Erikssona a vysvetľujeme ako bola táto metóda založená a rozvinutá pre aplikácie na (3D) konštrukciách.

Kľúčové slová: metóda umiestnenia vzdušného terminálu - zachytávača, vývoj ochrany pred bleskom, CVM

1. ÚVOD-

Okrem technického vybavenia vzdušného terminálu používaného na zachytenie úderov bleskov na konštrukciu a iné uzemnené objekty, má *metóda vývoja projektovania ochrany pred bleskom* (LPDM Lightning protection design method) veľký význam. Optimálne umiestnenie vzdušných terminálov zabezpečí výkonnejší systém ochrany pred bleskom. Definujeme systém ako „výkonnejší“ ak dosiahne požadovanú úroveň ochrany a bezpečnosť pre zákazníka za najnižšiu možnú cenu.

Metóda LPDM sa používa na označenie najvhodnejších miest pre umiestnenie vzdušných terminálov. Niekoľko metód je odporúčaných v rôznych stupňoch ochrany v praktických manuáloch - normách, takých ako Uhlová, Mrežová a Metóda valivej gule (**Cone of Protection, Mesh and Rolling Sphere methods**). Zatiaľ čo sú tieto metódy pojmovovo jednoduché a relatívne ľahko aplikovateľné, veľa vedcov a inžinierov sa zhodlo, že majú sprievodné obmedzenia, ktoré ich robia ťažko aplikovateľnými cez rozsiahlejší systém budov, hlavne tých, ktoré sú vyššie ako 20 metrov.

Teoretické a experimentálne skúmanie bleskov značne pokročilo za posledné desaťročie. Aj rýchly nárast a rozvoj výpočtových metód umožnil vytvorenie numerických metód fyzikálnych procesov relatívne zrozumiteľne. Počítačová simulácia a návrh LPS pomocou výpočtových metód a numerických modelov pre projektantov ochrany pred bleskom, technických poradcov a inštaláčnej spoločnosti taktiež pomohla zjednodušiť metodiku návrhu. Tieto pokroky značne vylepšili aj existujúce metódy. Kvôli širokému okruhu užívateľov je dôležité, že je táto metóda relatívne ľahko aplikovateľná.

Tento článok popisuje novú metódu ochrany pred bleskom, ktorá spĺňa dôležité kritériá:

- poskytuje značné zlepšenie existujúcich metód,
- má vedecký základ,
- bola overená v prevádzke počas viac ako desaťročie a
- podporuje dostatočne jednoduchý prístup pre široký okruh užívateľov.

Táto metóda je známa ako „CVM“. Berie do úvahy typ konštrukcií a rozmery, spolu so všetkými súvisiacimi parametrami blesku, takými ako vodivý náboj a rozvoj blesku, rýchlosť rozvoja blesku, nadmorskú výšku a frekvencia rozloženia úderov blesku. Je flexibilná a prispôsobuje sa rýchlo novým parametrom a výsledkom medzinárodných výskumov. Ďalej v tomto článku popisujeme základné elementy tejto metódy.

2. POČIATKY „CVM“

Erikssonov základný model

„CVM“ metóda pre praktické 3D konštrukcie má pôvod vo výskumoch, ktoré boli robené viac ako desaťročie pred Erikssonom (1,2,3). V koncepte, Eriksson navrhol model vzdialenosti úderu, ktorý závisel od parametrov konštrukcie, a tiež od špičkového prúdu. Predovšetkým, jeho model zbral do úvahy faktor zosilnenia elektrického poľa, K_i ku stavbe o výške h , kde $K_i \propto h^a$. Ak je (uzemnená) stavba namáhaná elektrickým poľom E_o , potom je K_i pomer elektrického poľa na špici konštrukcie k hodnote E_o .

Objekt v jeho pôvodnej analýze bol 60 m vysoký „výskumná veža“.

Ak je okolité pole dostatočne silné, t.j. dole sa rozvíjajúci hlavný bleskový výboj je blízko pri objekte, ústretový výboj bude iniciovaný od objektu. Vzdialenosť dole sa rozvíjajúceho hlavného bleskového výboja k tomu bodu je bežne užívaný pre definovanie úderovej vzdialenosti d_s .

Eriksson aplikoval nasledovné predpoklady a kritériá pre stanovenie vzdialenosti úderu:

- sila elektrického poľa ku špici konštrukcii E_s , je stanovená faktorom zosilňovania elektrického poľa K_s na konštrukciu
- hlavnou časťou dole sa rozvíjajúceho hlavného bleskového výboja je vertikálny stĺp o výške h . Zaťaženie je rozložené lineárne (narastajúce od mraku k zemi). Celkový náboj je Q . Priemerná rýchlosť klesania je v_d .
- predpokladaný úder špičkového prúdu z tohto vznikajúceho blesku v spojení s bleskovým nábojom, napr. $I_p = 10,6 Q^{0,7}$ [4].
- možný vplyv mikrogeometrie na okraji konštrukcie je bráný do úvahy aplikovaním „konceptu kritického polomeru“ [5]. V skratke to znamená, že akékoľvek ostré geometrické rysy s polomerom menším ako kritická hodnota v čase, menovite ~ 38 cm, sú „zaokrúhlené“ do tejto hodnoty.
- za predpokladu štandardných atmosférických podmienok, kritériom pre vznik koróny v dôsledku toho dole sa rozvíjajúceho hlavného bleskového výboja je dosiahnutie napätia 3.1 MV/m pri kritickom polomery. Táto hodnota musí byť upravená podľa zmeny hustoty vzduchu, vlhkosti atď.

Aplikácia konceptu kritického polomeru naznačuje, že dole sa rozvíjajúci hlavný bleskový výboj generujúci pole E_m ku špici konštrukcie a zemi je 3.1 MV/m (pri štandardných podmienkach). V závislosti od posunu dole sa rozvíjajúceho bleskového výboja, v určitých etapách, buď na špici konštrukcie alebo nižšie k zemi, výdatne presahuje pole hodnotu E_m , pružne sa však vytvára stúpajúci ústretový výboj a vzniká potenciálny prepojovací bod. Samozrejme, faktor zosilňovania el. poľa objektu určuje, ktorý z týchto sa vyskytne prvý a o aké premostenie dole sa rozvíjajúceho bleskového výboja pôjde.

Dosiahnutie vzniku vodivého poľa je nutná, ale nie je dostatočná podmienka pre pripútanie blesku – negarantuje zachytenie. Eriksson [1] uvádza, že blesk sa prepojí s konštrukciou skôr než zem vytvorí ústretový výboj.

Toto kritérium pridáva značný význam konzervatizmu k definícii „zachytávacieho poľa“ konštrukcie. Samozrejme, to závisí od relatívnej rýchlosti dole sa rozvíjajúcich a ústretových bleskových výbojov, v_d a v_u jednotlivo. Eriksson poukazuje že, ak je polomer kruhu dole sa rozvíjajúceho bleskového výboja malý oproti úderovej vzdialenosti, obmedzujúcim kritériom pre bočnú pozíciu d_c bleskového výboja je riešením tejto rovnice, vkreslenie *parabolickej hodnoty* nad konštrukciu.

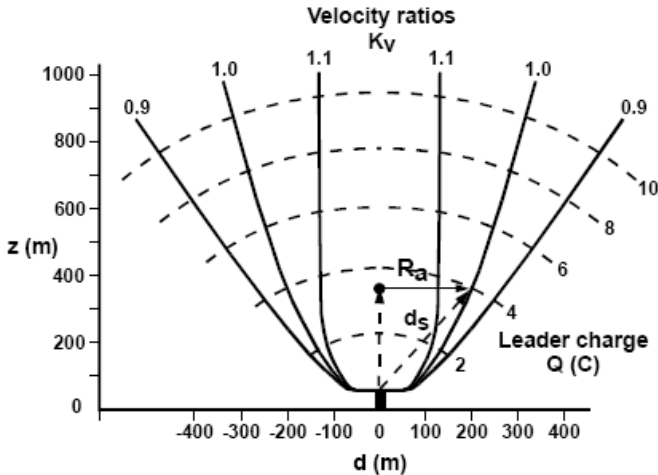
$$d_c = \left[2zH - H^2 - z^2 \left(1 - \frac{1}{K_v^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Kde $K_v = v_d/v_u$. Ak $v_d = v_u$ pre danú konštrukciu výšky H , body (z, d_c) .

Súhrnná hodnota a polomer atraktivity.

Základný model prezrádza že, aj keď ústretový výboj môže byť iniciovaný z konštrukcie, blesk stále skončí na zemi pre bočnú vzdialenosť d medzi približujúcim sa dole rozvíjajúcim hlavným bleskovým výbojom a konštrukciou, ktorá presahuje hraničnú hodnotu d_c . Inými slovami, jednotlivé konštrukcie zachytia iba tie dole sa rozvíjajúce bleskové výboja, ktoré dosiahnu potrebnú **súhrnnú hodnotu (collection volume)**.

Čiastočný rádius súhrnnej hodnoty pre daný náboj výboja (alebo úderovú vzdialenosť) nazývame **polomer príťažlivosti**, R_a budovy - konštrukcie, ako je znázornené na obr. 1. Atraktívny rádius je azda najdôležitejším výstupným parametrom analýzy súhrnnej hodnoty, a potom môže byť použitý na vypočítanie „príťažlivej“ „zachytávacej“ alebo „ochrannej“ oblasti danej stavby, konštrukčného detailu alebo vzdušného terminálu.



Obr. 1: súhrnná hodnota 30 m konštrukcie pre rôzne dole sa rozvíjajúce hlavné bleskové výboje a pomery rýchlostí.

Stručne zhrnuté, hranicu súhrnnej hodnoty určuje:

- *náboj dole sa rozvíjajúceho hlavného blesku* alebo možný úder špičkového prúdu, ktorý, v spojení s *výškou konštrukcie (presnejšie, faktor zosilňovania poľa)*, definuje úderovú vzdialenosť k povrchu.
- *pomer rýchlosti dole sa rozvíjajúceho a ústretového blesku*, ktorý určuje hranicu zhody s kritériom prepojenia definujúcim hodnotu „hranicu obmedzenej rýchlosti“.
- *poveternostné podmienky* – sila elektrického poľa potrebná pre priraz súvisí priamo s tlakom vzduchu a vlhkosťou. Preto, pre polohy vo výškach, musí byť kritická hodnota 3.1 MV/m adekvátne redukovaná. Eriksson [3] potvrdzuje CVM vykonávaním série reťazových výpočtov po širokej škále výšok konštrukcií (10 – 200 m) a škály bleskov a potom porovnáva výsledky so skúmaním poľa. Pre úzke konštrukcie, ukázal, že je možné čerpať všeobecné pomery medzi polomerom príťažlivosti, výškou konštrukcie a špičkovým prúdom pre daný pomer rýchlostí. Pre $K_v = 1$, zistil, že

$$R_a = 0.84 I_p^{0.74} H^{0.6} \quad (2)$$

Teda, pre danú konštrukciu, polomer príťažlivosti na základe úderu, závisí od relatívnej intenzity úderu (špičkové prúdy).

Výklad rýchlosti blesku

Nedávno, bola v odbornej literatúre významná diskusia, týkajúca sa priebehu rýchlosti ústretového výboja, napr. Chalmers a iní [6]. Zhodli sa, že *pomer dole sa rozvíjajúceho bleskového výboja k ústretovému výboju* je dôležitejší ak zoberieme do úvahy metódu ochrany pred bleskom a oblasť zachytávania, napr. [6,7,8]. Zdá sa, že ide o tichý súhlas na pomer rýchlostí v rozsahu 1 – 4 cm/μs.

Nesporne, laboratórne výboje sa rozšíria asi okolo 2 cm/μs. Avšak, je tam dostatok priestoru na pripomenutie, že rýchlosť dlhšieho ústretového výboja je prinajmenšom rozsahom väčšia. Allibone [9] získal hodnotu pre negatívne dole sa rozvíjajúce hlavné bleskové výboje v rozsahu 0.05 až 1.3 m/μs, zatiaľ čo pozitívne ústretové výboje od stožiaru dosiahli hodnoty v rozsahu 0.04 až 0.97 m/μs. V poslednom čase, je prirodzená rýchlosť blesku meraná japonskou skupinou výskumníkov [10,11], použitím vysokorýchlostného, opticky digitalizovaného systému (ALPS). Získali podobné hodnoty ako Allibone pri dole sa rozvíjajúcich bleskových výbojoch, zatiaľ čo ústretové rýchlosti výboja boli v rozsahu 0.05 až 1.2 m/μs. Z tohto dôvodu, pomer rýchlostí blízko 1 nie je nereálny.

S ohľadom na rýchlosťou premiestnenú hranicu CVM, vyšší pomer rýchlostí dáva väčší konzervatívny tvar (menší dosah príťažlivosti), ako je znázornené na obr. 1. Avšak, Erikssonove striktné pripomenky, že ústretový výboj musí

prejsť vzdialenosť k dole sa rozvíjajúcemu hlavnému bleskovému výboju pred konečným zvýšením s dosiahnutím zeme znamená, že pomer rýchlosti ~ 1.2 pre vhodný rozsah výšky konštrukcie je v skutočnosti *najkonzervatívnejšia* hodnota, ktorá môže byť použitá. Jasne je to vidieť na obr. 1, kde je rýchlosťou premiestnená hranica v podstate kolmá čiara. V podstate, ak jeden pokus o aplikovanie pomeru 4, rovnica (1) nemá reálne riešenie. Preto, s ohľadom na základný model CVM, nie sú diskusie o rýchlosti blesku a pomeru rýchlostí podstatné.

3. APLIKÁCIA CVM DO BEŽNÝCH STAVIEB

Praktická aplikácia

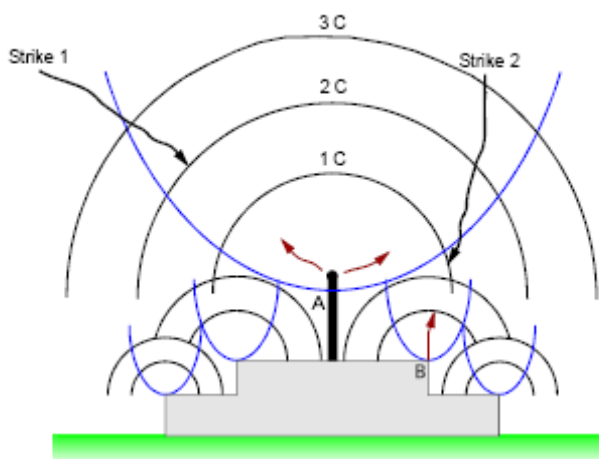
Erikssonov pôvodný model sa zakladal na malej konštrukcii danej výšky, v konkurencii s bodom na zemi pri nejakej bočnej vzdialenosti. Odvtedy, bola CVM úspešne rozvinutá pre aplikácie všeobecných trojdimenzionálnych konštrukcií. Zvyšok tejto časti popisuje, ako to je urobené pre konštrukcie s a bez systému na ochranu pred bleskom. Za prvé, je dôležité zistiť súvislosť základnej CVM teórie a pravdepodobný typ úderov blesku. Takto môžu byť „rizikové analýzy“ uvedené do návrhu ochrany pred bleskom. Úderová vzdialenosť môže byť použitá na poukázanie *ochrannej úrovne* podľa štatistického rizika vynechania súhrnnej hodnoty. Tabuľka 1 znázorňuje viaceré úrovne ochrany založené na typickej frekvencii úderov prúdov blesku.

Tabuľka 1: Analýza rizika a ochranná úroveň podľa štatistiky bleskov.

Leader charge Q (C)	Peak current I_p (kA)	% strikes $> I_p$
0.5	6.5	98
0.9	10	93
1.5	16	88

Tabuľka 1 ukazuje, že 98% všetkých úderov blesku majú špičkový prúd prekračujúci 6.5 kA. Preto, súhrnná hodnotová metóda obmedzená vzdialenosťou úderu ekvivalentná bežnému dole sa rozvíjajúcemu bleskovému výboju ku v priemere 0.5 C, zachytí 98% všetkých úderov. Zvyšné 2% úderov (nízko energetických) nemusia nutne obísť miesta s projektovanou CVM metódou. Smer **prístupu** je rozhodujúci – vysoké riziko je spojené s nepriamo blížiacim sa dole rozvíjajúcim výbojom na okraji súhrnnej hodnoty. Bežná aplikácia CVM je výberom percentuálneho rizika vynechania, ako je uvedené v tabuľke 1. Jednotlivé blesky sú potom použité na výpočet polomeru príťažlivosti R_a vzdušných zachytávačov a konštrukcií ako sú rohy budov, stožiare, antény, atď. Je dôležité vypočítať polomer príťažlivosti všetkých hlavných *konkurenčných zariadení*, t.j. tie zariadenia, ktoré majú najvyššiu pravdepodobnosť generovania ústretového výboja.

Pôdorys oblastí príťažlivosti, πR_a^2 sa javí ako súbor kruhových oblastí zachytávania bleskov. Ak kruhová oblasť bodu (alebo série bodov v prípade usporiadania bleskozvodov) kompletne prekryje všetky iné konkurenčné zariadenia, konštrukcia bude chránená na úrovni špecifikovanej úderovou vzdialenosťou (tabuľka 1). Bežná aplikácia CVM je znázornená na obrázku 2. Predpokladaný úder 1 má vodivosť 2 C. Na základe vzdialenosti úderu 2 C, inicializuje ústretový záchytný výboj od bodu A (stožiar) predtým, než sa vyskytnú kritické podmienky na iných častiach konštrukcie. V údere 2, je vodivosť iba 1 C a musí byť bližší prístup ku konštrukcii. Bod A je obídený, pretože dole sa rozvíjajúci hlavný bleskový výboj je mimo svojej súhrnnej hodnotovej metódy, napriek tomu by mohol eventuálne inicializovať ústretový výboj. Bod B je najpravdepodobnejším bodom úderu.



Obrázok 2: Ilustrácia bežnej aplikácie CVM.

Vysoké konštrukcie

Vysoká konštrukcia je považovaná za vyššiu ako 60 m. Skúsenosti v praxi ukázali, že občasné údery blesku: (i) po stranách týchto konštrukcií, (ii) zemné alebo iné nižšie konštrukcie v rámci tzv. tieniacej zóny konštrukcie. Existujú teoretické dôvody na domnievanie sa, že iba blesky so slabým prúdom sú spôsobilé na preniknutie pod horný diel konštrukcie pre stlačenie bokov alebo konštrukčných detailov na nižšiu úroveň. Žiadna ochrana pred bleskom nie je 100% a tieto vzácne údery z boku sú súčasťou prípustných frekvencií chýb ochrany, napr. 2% (maximum) nízko energetických úderov v 98% protibleskovej ochrany. Pre zníženie pravdepodobnosti úderov na konštrukciu alebo konštrukčné detaily blízko základnej úrovne a v rozsahu predpokladanej tieniacej zóny, „uhol odľahčenia“ môže byť aplikovaný do polomeru prítlačlivosti súhrnnej hodnotovej metódy, t.j. očividné bezpečné prekrytie zachytávacej oblasti v pôdoryse je „odľahčené“ vďaka nadbytočným výškovým rozostupom zachytávacích oblastí. Tabuľka 2 zahŕňa odporúčané uhly odľahčenia pre rôzne ochranné úrovne, založené na štúdiách poľa p. Gorinom a iní [12].

Tabuľka 2: CVM uhly odľahčenia pre konštrukcie vyššie ako ~ 60 m.

Protection level (%)	Derating angle
98	25°
93	20°
88	15°

Súhrn kľúčových konceptov

Dva kľúčové body vzhľadom na trojdimenzionálny Erikssonov model môžu byť zhrnuté nasledovne:

(A) 3D modelovanie elektrického poľa: moderné počítače spolu s modelovacím softvérom, ktorý používa metódu konečných prvkov alebo metódy simulovania záťaže, alebo kombináciu oboch napr. [13,14], vytvorili možnosť vypočítať rozdelenie elektrického poľa nad a okolo konštrukcie a jej mikrogeometrie. Dá sa to urobiť v každej 2D XY rovine, 2D RZ rovine alebo plnej 3D, v závislosti na geometrii elementov, ktorú je potrebné modelovať.

Niektoré príklady sú poskytnuté v predchádzajúcich článkoch [15]. Teda:

- Faktory zosilnenia poľa môžu byť vypočítané pre všetky eventuálne miesta úderu alebo konkurenčné zariadenia na stavbe. Táto informácia je potom použitá v analýze CVM pre dosiahnutie polomeru prítlačlivosti.
- Faktory zosilnenia poľa ako funkcia vzdialenosti od eventuálneho miesta úderu, $K_i(x,y,z)$, sú taktiež ľahko dosiahnuteľné a môžu byť aplikované vo viacerých moderných kritériách ako „kritické kritérium zaťaženia“ [16,17].

- Blízke účinky a zložité konštrukcie môžu byť modelované tak, aby boli efekty „tienia“ vyčíslené a vložené do modelu.
- Viacnásobné efekty (z hľadiska zosilňovania poľa) umiestnenia vzdušných zachytávačov na hlavnej konštrukcii, na navrstvených subštruktúrach atď., sú taktiež ľahko modelovateľné a vyčíslené pre presné zistenie polomeru príťažlivosti.

(B) Konkurenčné obrysy: Súhrnná hodnotová metóda je vypočítaná pre každé miesto a obrys objektu, vrátane vzdušných zachytávačov, stožiarov, antén atď. Príslušné oblasti príťažlivosti (pôdorys súhrnnej hodnoty) sú potom v porovnaní so zistením pokrytia ochranného systému nad oblasťami „konkurenčných obrysov“, v stanovenej ochrannej úrovni. Jednoduchá vizuálna obhliadka môže určiť, či niektoré časti objektu nie sú chránené a preto vyžadujú dodatočné vzdušné zachytávače.

Dôkazy CVM so štatistikami poľa

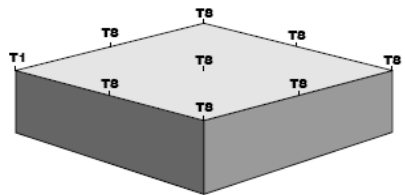
Nepochybne, najlepšou cestou ako schváliť metódu výpočtu, je zmeranie jej „výkonu“ pri prírodných bleskových podmienkach. Jednou možnosťou merania výkonu je vymeranie súčasných úderov zachytených pomocou LPS v súlade s predpokladaným modelom.

CVM teraz bola používaná počas viac ako desaťročia. Veľké percento návrhu inštalácií je v oblastiach náchylných na blesky. V poslednom čase, sa prvé svetové štatistické štúdie pokúsili o zhodnotenie aplikácie CVM pre vhodné umiestnenie vzdušných zachytávačov. Podrobné výsledky tejto štúdie sú predstavené v sprievodných článkoch [18]. Stručne, bolo zistené, že CVM je zvučná technika pre navrhovanie výkonnej ochrany pred bleskom pre široký okruh objektov alebo profilov, výšok a polôh. Zhoda medzi aktuálnymi údajmi blesku a prognózou CVM polomeru príťažlivosti je upokojujúca. Toto je obzvlášť spoľahlivé pre konštrukcie vyššie ako 100 m, ktoré zahŕňajú cca. 50% testovacích inštalácií vo výskume.

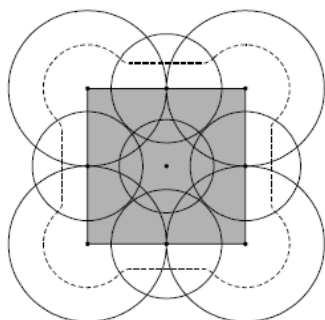
4. PRÍKLADY CVM

4.2 Príklad jednoduchého projektu

V tomto prípade, posudzujeme jednoduchú budovu, ktorá je 20 m vysoká a 50 m široká a hlboká. Budova je chránená bežnými konzolami, každá je 1 m vysoká. Berieme do úvahy zaťaženie zvodu – 0.9 C (~ 10 kA, ~ 45 m valivú guľu) a z toho dôvodu ochrannú úroveň ~ 93% a pomer rýchlosti vzniku blesku $K_v = 1.1$. Teda, predpokladajme, že je konštrukcia na úrovni morskej hladiny, búrkový mrak sa nachádza vo výške 5000 m, zostupné zaťaženie je distribuované lineárne. Koncept kritického rádiusu dosahu bude použitý ako kritérium ústretového výboja, podľa originálneho Erikssonovho modelu. Faktor zosilňovania poľa konzoly umiestnenej blízko uhlu, okraju a stredu tejto konštrukcie je približne 12, 8 a 7 jednotlivo. Obrázok 3 ukazuje konštrukciu a počet konzol nutných po vykonaní CVM analýzy pre potrebnú 93% ochrannú úroveň. Deväť konzol je potrebných pre poskytnutie ochrany v 93% (10 kA) úrovni. Obrázok 4 ukazuje IEC 61024-1 (úroveň ochrany III) zhodný tvar použitím 45 m polomeru valivej gule. V takom prípade, je potrebných všetkých 22 konzol, dávajúcich 99.12% pokrytia najvyššej ploche na konštrukcii.

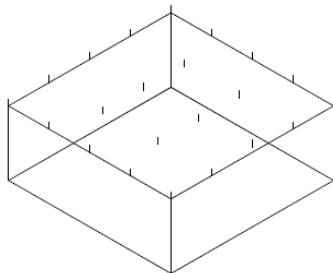


(a) 3D view



(b) Plan view

Obrázok 3: Príklad výsledkov CVM. Ochrana 20 m vysokej budovy a 50 m širokej a hlbkej, použitím bežných konzol (výška 1 m). Oblasť zachytávania bola vypočítaná použitím konceptu kritického dosahu ako kritérium vzniku ústretového výboja, pre ochrannú úroveň 93%.

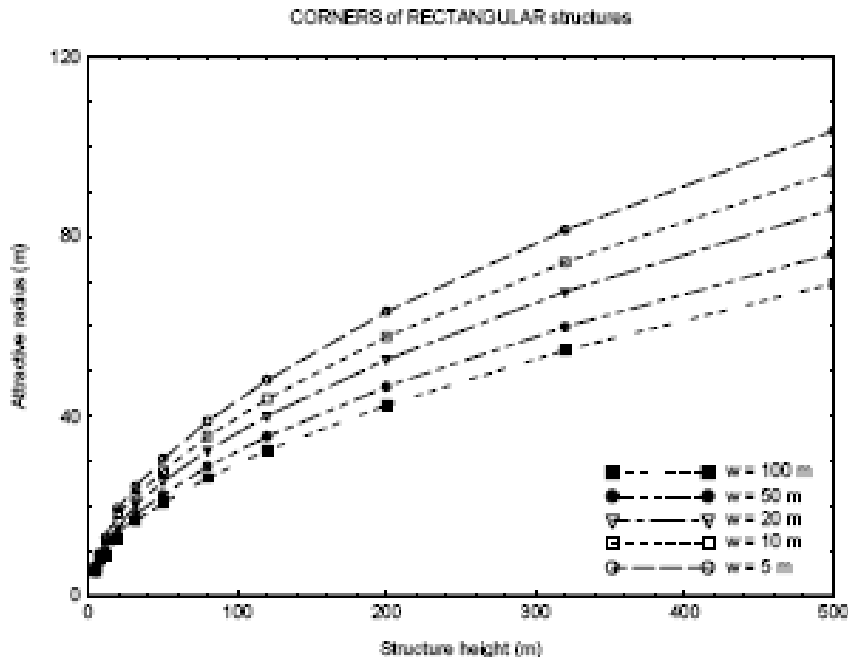


Obrázok 4: IEC 61024-1 (ochranná úroveň III) návrh pre 20 x 50 m budovu použitím 45 m polomeru valivej gule.

Z tohto jednoduchého príkladu môžeme vidieť, že výkonnosť môže byť naprojektovaná priradením vyššej pravdepodobnosti úderov na miesta s vytvorením väčšieho poľa a nižšej pravdepodobnosti na rovnej ploche a to skôr, než priradíme rovnakú úderovú vzdialenosť ku všetkým miestam na konštrukcii.

4.3 Všeobecné projekty

Jednoduché projekty pre „štandardné varianty“ môžu byť vytvorené ručne, použitím regresívnych rovníc alebo zakreslením polomeru príťažlivosti, ktorý má byť odvodený od iteratívnych výpočtov realizáciou CVM. Napríklad, obrázok 5 zakresľuje polomer príťažlivosti uhlov pravouhlých konštrukcií ako funkciu ich rozmerov. Poznamenávame, že tam je závislosť na šírke konštrukcie ako aj na výške.



Obrázok 5: Približné polomery príťažlivosti uhlov pravouhlých konštrukcií. Polomery boli získané za predpokladu: morská hladina, výška mrakov 5000 m, lineárne distribuovaný náboj blesku 0.9 C, pomer rýchlosti 1.1, kritérium kritického dosahu, obvyklá výboj prúdu, $I_p = 10.6Q^{0.7}$.

Podobné zakreslenia sú reprodukovateľné pre valcovité a štítové konštrukcie, vzdušné zachytávače na týchto konštrukciách a subštruktúry navrstvené na hlavných konštrukciách. Kvôli priestorovým obmedzeniam, bude úplná séria záverov prezentovaná v chystaných publikáciách.

5. ĎALŠÍ VÝVOJ

Niektoré výsledky výskumov použité v Erikssonovej CVM sú staré 20 rokov. Väčšina z nich je stále platných v tom zmysle, že poskytujú spoľahlivé a konzervatívne zoradenia kritických parametrov. Hlavnou výhodou CVM je, že môže byť jednoducho aktualizovaná vrátane konceptov a výsledkov z posledných výskumov, pokusov, ak je nutná precíznosť a presnosť.

Jednou jednoduchou zmenou môže byť, ako upgrade, že môže byť zlepšená ochranná úroveň. Posledné koncepty IEC61024-1 umožňujú, pre štyri úrovne ochrany, každá zodpovedajúca zaťaženiu, ktoré je podľa toho vážené, prijatie percentuálneho podielu pozitívnych a negatívnych úderov.

Niektoré komplikované aspekty, ktoré môžu byť hodné ďalšej úvahy zahŕňajú:

- aplikáciu nového modelu dostupného blesku, napr. Petrov & Waters [16]
- skôr numerické ako analytické modelovanie elektrického poľa ústretového výboja a použitie rôznych rozdelení dole sa rozvíjajúcich hlavných bleskových výbojov
- použitie 3D softvéru na modelovanie elektrického poľa, ktorý počíta s orografickými odlišnosťami
- nie vertikálne dole sa rozvíjajúce hlavné bleskové výboje a bočné údery blesku na vysoké konštrukcie
- použitie najnovších modelov pre vykorigovanie sily elektrického poľa, parametrov vzdušného prerušenia, atď. pre rôzne atmosférické podmienky [16,19,20]
- modelovanie efektu pred - úderu priestorového náboja
- výpočet ohraničenia rýchlosti použitím nekonštantného pomeru rýchlosti alebo viacerých podstatných parametrov ako je náboj, elektrické pole alebo vzduchová medzera
- nahradenie konceptu kritického dosahu novším merítkom vzniku zavedenia, napr. „meradlo kritického zaťaženia“ od Petrova & Watersa [16,17], „teória vzniku blesku“ od Rizka [8,21,22] a „stabilizácia poľa“ od Bondiou-Clergerie a iní [23].

Niektoré z týchto aspektov sú už preskúmané a výsledky týchto výskumov budú prezentované v pripravovaných článkoch.

6. ZÁVERY

CVM je zlepšená EGM(elektro geometrický model), ktorý berie do úvahy stupňovanie elektrického poľa na objekt, konštrukčné rysy a vzdušné zachytávače. Je dobre známe, že uhly objektov sú zarovnané na viac ako 80%. Po tom, čo tieto body na konštrukcii poskytnú najvyšší stupeň zvýšenia elektrického poľa, je prirodzené určiť „pravdepodobnosť úderu“ pre predvídanie miest úderu na konštrukcii použitím faktoru zosilnenia poľa ako elementárny parameter. Toto je skutočná situácia vo svete. Táto prognóza taktiež zaručuje, že je v tejto metóde vlastná bezpečnosť.

3D CVM predkladá koncept „polomeru príťažlivosti“ pre každý pravdepodobný bod úderu na konštrukcii, vrátane vzdušných zachytávačov a lokalít im „konkurujúcich“ podľa ich pravdepodobného zachytenia úderu a oba určujú najpravdepodobnejší bod zásahu alebo, ak je inštalované LPS, či je konštrukcia chránená na požadovanej úrovni. Polomer príťažlivosti je stanovený počtom fyzikálnych parametrov, vrátane konštrukcie a rozmerov konštrukčných detailov, je stanovený stupňom zosilnenia elektrického poľa a možných bodov úderu, výbojom dole sa rozvíjajúceho blesku a jeho rozložením, pomerom rýchlosti blesku, nadmorskou výškou a frekvenciou rozloženia bleskových prúdov.

Zatiaľ čo sú niektoré aspekty CVM nevyhnutne komplexnejšie ako RSM (guľovej metódy), poskytujú ďaleko viac presné metódy pre dosiahnutie potrebnej vysokej ochrannej úrovne za nízku cenu. Ako súbor programov, je CVM ľahko aktualizovaná novými informáciami a fyzikálnymi parametrami, ktoré sú doručené z najnovších medzinárodných výskumných programov. Je to možné, pretože táto metóda nie je závislá od akýchkoľvek špecifických kritérií alebo parametrov.

CVM bola overená v prevádzke pre viac ako desaťročie. Fyzikálny základ tejto metódy a jej vlastný konzervatizmus zabezpečia, že koncový užívateľ bude pokračovať v návrhoch na ochranu pred bleskom, ktorá je výkonná a bezpečná. V blízkej budúcnosti, bude CVM k dispozícii vo forme ľahko použiteľného počítačového programu, ktorý si vyžaduje len minimum znalostí v technickej oblasti. To ju urobí prístupnú širokému okruhu užívateľov – projektantom navrhujúcim ochrany pred bleskom, technickým poradcom, inštalátorom, atď.

Autor článku : **F.D.Alesandro, J.R. Gumley**

Voľný preklad : Kolektív pracovníkov Aetron s.r.o.

Referenčné odkazy

7. REFERENCES

- [1] Eriksson, A.J., 1979, "The lightning ground flash - an engineering study", *PhD thesis*, University of Natal, Pretoria, South Africa (CSIR Special Report ELEK 189).
- [2] Eriksson, A.J., 1980, "Lightning striking distances - an analytical study", *Proc. 6th Int. Conf. Gas Disch. Appl.*, Edinburgh, U.K., pp. 143-146.
- [3] Eriksson, A.J., 1987, "The incidence of lightning strikes to power lines", *IEEE Trans. Pow. Del.*, **PWRD-2**, 859-870.
- [4] Berger, K., 1972, "Methoden and Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den Jahren 1963-1971", *Bull. Schweiz. Elektrotech. Ver.*, **63**, 1403-1422.
- [5] Carrara, G & Thione, L., 1976, "Switching surge strength of large air gaps: A physical approach", *IEEE Trans. Pow. App. Sys.*, **PAS-95**, No. 2, pp. 512-524.
- [6] Chalmers, I.D., Evans, J.C. & Siew, W.H., 1999, "Considerations for the assessment of early streamer emission lightning protection", *IEE Proc. SMT*, **146**, pp. 57-63.
- [7] Dellera, L. & Garbagnati, E., 1990, "Lightning stroke simulation by means of the leader progression model. Part I. Description of the model and evaluation of exposure of free-standing structures", *IEEE Trans. on Power Delivery*, **5**, 2009-2022.

- [8] Rizk, F.A.M., 1994, "Modeling of lightning incidence to tall structures. Part II: Application", *IEEE Trans. Pow. Del.*, **9**, 172-193.
- [9] Allibone, T.E., 1978, "Velocities of leader-strokes to lightning and spark discharges", *J. Franklin Inst.*, **306**, 35-39.
- [10] Yokoyama, S., Miyake, K. & Suzuki, T., 1990, "Winter lightning on the Japan sea coast - development of measuring system on progressing feature of lightning discharge", *IEEE Trans. Pow. Deliv.*, **5**, 1418-1425.
- [11] Miyake, K., 1994, "Development of measuring system on lightning discharge and explication for characteristics of winter lightning", CRIEPI Report No. T36, Japan.
- [12] Gorin, B.N., Levitov, V.I. & Shkilev, A.V., 1976, "Distinguishing features of lightning strokes to high construction", *Proc. 4th Int. Conf. Gas Disch.*, Swansea, U.K., pp. 271-273.
- [13] Abdel-Salam, M., 1990, "Electric Fields", Chapter 2 in *High Voltage Engineering: Theory and Practice*, Dekker, 1990.
- [14] Schmidt, S., Zech, G. & Otto, W., 1996, "Fast and precise computation of electrostatic fields with a charge simulation method using modern programming techniques", *IEEE Trans. Magn.*, **32**, 1457-1460.
- [15] D'Alessandro, F. & Gumley, J.R., 1998, "Electric field modelling of structures under thunderstorm conditions", *Proc. 24th ICLP*, Birmingham, U.K., pp. 457-462.
- [16] Petrov, N.I. & Waters, R.T., 1995, "Determination of the striking distance of lightning to earthed structures", *Proc. R. Soc. Lond. A*, **450**, 589-601.
- [17] Petrov, N.I. & Waters, R.T., 1999, "Striking distance of lightning to earthed structures: attractive zone calculations", preprint.
- [18] Petrov, N.I. & D'Alessandro, F., 2000, "Lightning to earthed structures: Comparison of models with lightning strike data", *Proc. 25th ICLP*, Rhodes, Greece.
- [19] Hartmann, G., 1984, "Theoretical evaluation of Peek's Law", *IEEE Trans. Indust. Appl.*, **1A-20**, No. 6, pp. 1647-1651.
- [20] Davies, A.J., Hameed, R., Ortega, P. & Waters, R.T., 1994, "Air breakdown at high altitude", *Proc. Lightning & Mountains '94*, Chamonix, France, pp. 214-219.
- [21] Rizk, F.A.M., 1989, "Switching impulse strength of air insulation: Leader inception criterion", *IEEE Trans. on Power Delivery*, **4**, 2187-2195.
- [22] Rizk, F.A.M., 1990, "Modeling of transmission line exposure to direct lightning strokes", *IEEE Trans. on Power Delivery*, **4**, 1983-1990.
- [23] Bondiou-Clergerie, A., Lalonde, P., Laroche, P., Willett, J., Davis, D. & Gallimberti, I., 1999, "The inception phase of positive leaders in triggered lightning: Comparison of modeling with experimental data", *Proc. of 11th Intern. Conf. on Atmosph. Electr.*, Alabama, USA, pp. 22-25