

# Je chránený rozsah akejkoľvek zachytávacej sústavy bleskozvodu taký rozsiahly a presný, ako deklaruje IEC 62305 alebo NF C17-102?

David Ruiz<sup>1</sup>  
PhD. Ind. Eng. Electrical  
Technology

Susana Polo<sup>1</sup>  
U.D. in Physic Sciences

Verónica Pomar<sup>1</sup>  
E.D. Industrial Engineering

Pedro Llovera<sup>2</sup>  
PhD. Ind. Eng. Electrical  
Technology

<sup>1</sup> Aplicaciones Tecnológicas S.A. Valencia, Španielsko

<sup>2</sup> Institute of Electrical Technology, Universitat Politècnica de València, Španielsko

## ABSTRAKT

Chránený rozsah akejkoľvek zachytávacej sústavy bleskozvodu je hlavným parametrom, ktorý definuje jeho účinnosť pri inštalácii na konštrukciu vyžadujúcu ochranu. V súčasnosti odrážajú normy v oblasti ochrany pred bleskom, najmä IEC 62305 [1] a NF C17-102 [2] rôzne prístupy. Tieto normy opisujú rôzne typy zachytávacích sústav a metódy ich umiestnenia. Tento dokument zdôrazňuje, že aj keď všetkým prístupom chýba úplný vedecký základ a chránené rozsahy sú zjavne odlišné, čo je zjavná rozporuplnosť, empirické výsledky sú v dobrom súlade s očakávanými výsledkami.

Cieľom tohto článku je analýza tvrdení v práci G. Krescanka [3], kde sú chránené rozsahy pasívnych aj aktívnych zachytávacích sústav porovnávané z hľadiska uplatňovania iba metódy valivej gule (RSM). Toto porovnanie by bolo možné matematicky lepšie prepracovať, ale to je momentálne mimo kontextu, lebo každá zachytávacia sústava by mala byť hodnotená podľa svojej platnej normy, ktorá zohľadňuje nielen fyzikálne aspekty, ale aj empirické a praktické úvahy.

V tomto dokumente posúdime chránené rozsahy podľa schválených noriem v oblasti ochrany pred bleskom so zdôraznením neistôt a neopodstatnenej praxe vo všetkých z nich spolu s tým, ako ich vyriešili korekcie na základe skúseností. Ak pôjdeme nad rámec práce Krescanka, tento dokument kladie tiež tieto otázky:

- Uplatňuje nejaká platná norma túto „čistú“ metódu RSM podľa opisu v úvode citovaného dokumentu?
- Prečo niektoré metódy umiestnenia zachytávacej sústavy (ATPM) normy uznávajú, ak ich chránené rozsahy nie sú kompatibilné?
- A okrem toho, ak nie sú chránené rozsahy kompatibilné, prečo všetky z nich fungujú správne na celom svete a počas dlhého časového obdobia s očividnou absenciou významných škôd?

**Kľúčové pojmy** - normy v oblasti ochrany pred bleskom, chránené rozsahy, vonkajšie systémy ochrany pred bleskom

## 1 ÚVOD

Cieľom zachytávacích sústav systému ochrany pred bleskom (LPS) je predchádzať škodám spôsobeným priamymi údermi blesku do chránenej konštrukcie. Chránený rozsah zachytávacej sústavy závisí od samotnej zachytávacej sústavy; úrovne ochrany pred bleskom (LPL) špecifikovanou riadením rizika [1] a tiež metódou umiestnenia zachytávacích sústav (ATPM), ktorá je praktickou štandardizovanou aplikáciou modelov ochrany pred bleskom (LPM). Existujú najmä tri štandardizované ATPM, konkrétne metóda ochranného uhla (PAM), metóda valivej gule (RSM) a metóda mrežovej sústavy (MM).

Najviac používaným modelom LPM je elektrogeometrický model (EGM) a jeho použitie prostredníctvom RSM. Existujú aj iné druhy LPM, ako sú „fyzikálne modely“, ale nejde o štandardizované metódy. Hlavným dôvodom je to, že tieto metódy neboli empiricky validované s použitím spoľahlivých štatistických údajov. Samozrejme

väčšina z nich vychádza zo silného fyzikálneho a matematického základu napriek tomu, že fyzika blesku vykazuje veľa neistôt z dôvodu náhodného charakteru elektrických výbojov. Preto jediný spôsob ako určiť, či je LPM spoľahlivý, je v súčasnosti pomocou významných štatistík v reálnom poli.

Normy uvádzajú, že PAM má niekoľko obmedzení; MM sa používa pre ploché povrchy a RSM sa odporúča v akomkoľvek scenári. Ale v praxi o požadovanej ATPM a zachytávacej sústave rozhodne projektant. Preto je na projektantovi rozhodnúť o tom, aký je chránený rozsah, ktorý je očividne rozporuplný bez akéhokoľvek fyzikálneho významu.

Tento dokument poukazuje na to, že na zachovanie súladu s empirickými pozorovaniami došlo k úprave akejkoľvek zo štandardizovaných ATPM a následne ich chráneného rozsahu, dokonca aj keď táto úprava nie je v súlade s pôvodným matematickým modelom. Toto tvrdenie sa vzťahuje na všetky chránené rozsahy podľa IEC

62305 a chránený rozsah podľa NF C17-102. Z toho vyplývajú isté zjavné otázky, ako sa uvádza v abstrakte:

1. - *Prečo niektoré metódy umiestnenia zachytávacej sústavy (ATPM) norma uznáva, ak ich chránené rozsahy nie sú kompatibilné?*

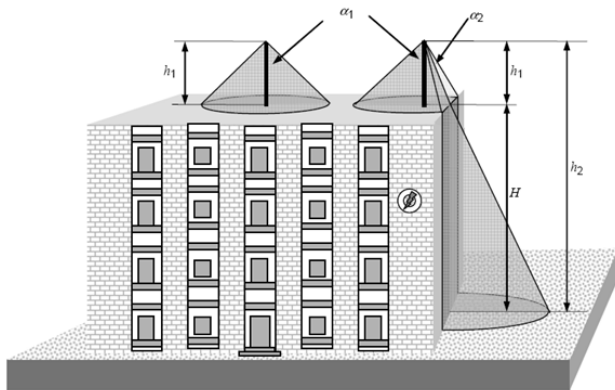
A okrem toho, ak nie sú chránené rozsahy kompatibilné,

2. - *Prečo všetky z nich fungujú správne na celom svete a počas dlhého časového obdobia s očividnou absenciou významných škôd?*

Aby sme našli odpoveď na tieto dve otázky, je potrebné posúdiť rôzne štandardizované ATPM, chránený rozsah odvodený od každej z nich a empirické korekcie a úpravy akejkolvek ATPM v jej histórii.

## 2 STAV ŠTANDARDIZOVANÝCH METÓD UMIESTNENIA ZACHYTÁVACEJ SÚSTAVY

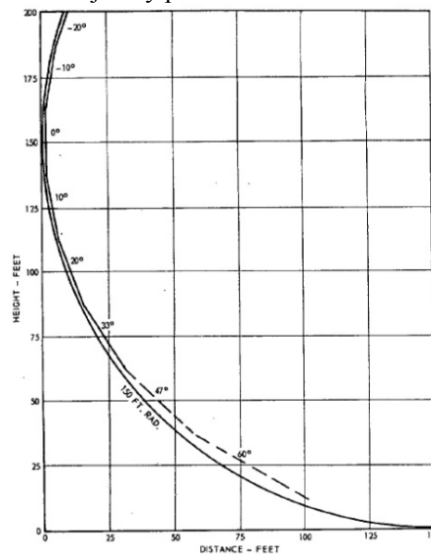
Od úplného začiatku ochrany pred bleskom sa predpokladalo, že zachytávacia sústava alebo bleskozvod zabezpečuje chránený rozsah spočívajúci v kuželi s vrcholom na hrote (Cone of Protection - Uhlová metóda), ako znázorňuje Obr. 1. Za posledných sto rokov došlo k významnej zmene uhla požadovaného pre tento kužeľ, ale základná koncepcia ostala a stále sa odporúča v aktuálnych normách v oblasti ochrany pred bleskom. Tento prístup je známy ako metóda ochranného uhla (PAM).



Obr. 1. Používanie PAM. [5].

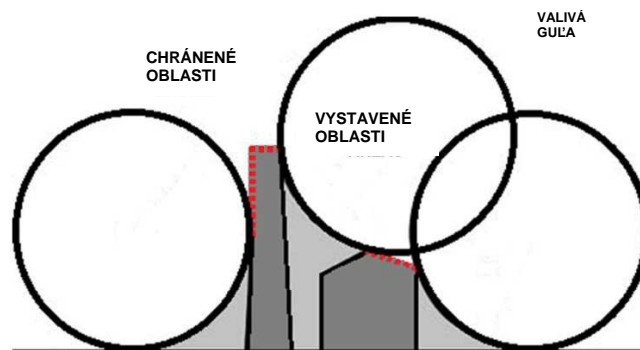
Metóda valivej gule (RSM) je najbežnejšia technika, ktorú normy odporúčajú. RSM vznikla z elektroenergetického priemyslu, t. j. spojenie úderu blesku s fázovým a tieňovým vodičom prenosových vedení [6] [7]. Túto metódu vyvinul R.H. Lee v roku 1978, keď hodnotil predchádzajúce výsledky získané zo strany Whitehead et al. a určil, že pre vodiče sa požadujú menšie ochranné uhly s väčšou výškou nad zemou. Lee použil na vytvorenie profilu ochrannej zóny prístup krok za krokom so zistením, že

kruhový oblúk s polomerom 45,7 m by presne definoval hranicu ochrannej zóny podľa Obr. 2.



Obr. 2. Extrapolácia zo získaných uhlov na guľu [6].

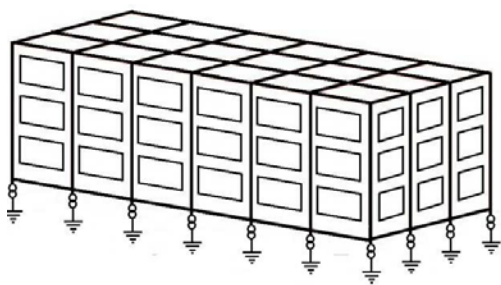
Na použitie metódy RSM v praxi sa okolo konštrukcie valí imaginárna guľa s vopred vybraným polomerom, ktorý sa rovná preskokovej vzdialenosti. Všetky povrchové kontaktné body vyžadujú ochranu, kým neovplyvnené povrchy a rozsahy sú už chránené (Obr. 3).



Obr. 3. Používanie RSM.

Ochrana pred bleskom s použitím metódy mrežovej sústavy (MM) bola vyvinutá v roku 1876 a pozostáva z umiestnenia vodičov priamo na budove s vytvorením mreže s vopred špecifikovanými rozmermi [8], ako znázorňuje Obr. 4. Rozmery mreže sa rôznia podľa vybranej úrovne ochrany pred bleskom, napríklad mreža 5 x 5 m sa používa pre prípady s vyšším rizikom a mreža 20 x 20 m sa používa pre menej náročné scenáre [5].

Ako už mnohí autori uznali dokonca na úrovni štandardizácie [9][10][11][12], medzi touto metódou a predchádzajúcimi dvoma vyššie opísanými metódami neexistuje žiaden vzťah alebo prepojenie.



Obr. 4. Používanie MM [5].

### 3 IEC 62305: KONTROLA, NEOPODSTATNENÉ BODY A EMPIRICKÉ RIEŠENIE

Aktuálna verzia IEC 62305 pozostáva zo 4 častí, ale v minulosti existovali rôzne normy v oblasti ochrany pred bleskom a každá z nich sa zameriavala na konkrétnu časť ochrany pred bleskom; neskôr došlo k ich zjednoteniu a revízii až do aktuálneho vydania.

Predchodcom prvej časti IEC 62305 bola IEC 61024: Ochrana konštrukcií pred bleskom (1990), ktorá na druhej strane bola predtým známa ako IEC 1024. Pridanie čísla 6 v názvosloví normy bolo pravidlo nastolené IEC.

Existovali aj iné odlišné normy, konkrétne IEC 61662: Analýza rizika škôd spôsobených bleskom, IEC 61312: Ochrana pred elektromagnetickými impulzmi spôsobenými bleskom (LEMP), ktorá mala 4 rôzne časti, a IEC 61819: Parametre pre skúšky simulujúce účinnosť prvkov ochrán pred prepätím, kde boli vysvetlené parametre blesku a ktoré boli následne zlúčené do prílohy prvej časti IEC 62305.

V súčasnosti má IEC 62305 analogické normy, ako je EN 62305, NTC 4552,... Tieto normy platia v rôznych častiach sveta a určenie chráneného rozsahu pre tento prístup závisí od rôznych faktorov okrem vybraných ATPM. Najdôležitejšími parametrami sú vybrané LPL určené na základe riadenia rizika a typu zachytávacej sústavy.

V tomto bode budú uvedené hlavné nedostatky a neopodstatnené vyhlásenia v rámci IEC 62305 a jej analogických noriem (EN 62305, NTC 4552, AS 1768 atď.).

#### 3.1 Nedostatok reprezentatívnych štatistík o bleskovom prúde na určenie LPL a jeho dôsledkov

Vybraná úroveň ochrany pred bleskom (LPL) spája fyzikálne parametre blesku a geometrické premenné, ktoré definujú chránený rozsah bez ohľadu na ATPM alebo typ zachytávacej sústavy.

V prípade PAM je geometrickou premennou uvažovaný uhol; v RSM je premennou polomer gule; a pri MM je to maximálne oddelenie medzi vodičmi.

Následkom toho definuje úroveň rizika súvisiaca s konštrukciou očakávané fyzikálne parametre, ktoré je potrebné posúdiť, najmä vrcholný prúd prvého spätného úderu, čím sa popíše návrh vonkajšieho LPS. Obr. 5 znázorňuje minimálne hodnoty bleskového špičkového prúdu pre každú LPL a súvisiacu pravdepodobnosť výskytu.

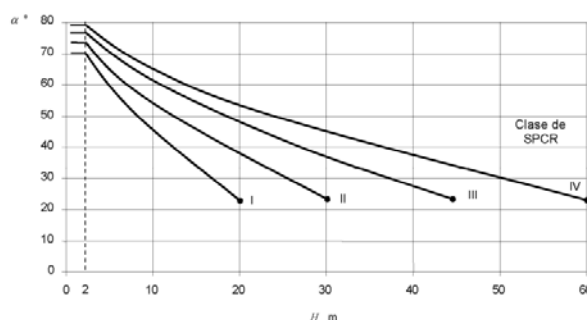
LPL	I	II	III	IV
Hodnota prúdu (kA)	3	5	10	16
Uvažovaná pravdepodobnosť (%)	99	97	91	84

Obr. 5. Minimálne hodnoty prúdu uvažované pre každú LPL a jeho súvisiaca pravdepodobnosť.

Preto sa pre každú LPL definujú geometrické parametre a rozmery, ako znázorňuje Obr. 6.

ATPM	LPL	I	II	III	IV
RSM	Polomer gule (m)	20	30	45	60
MM	Veľkosť mreže (m)	5x5	10x10	15x15	20x20
PAM	Ochranný uhol	Pozri Obr. 7			

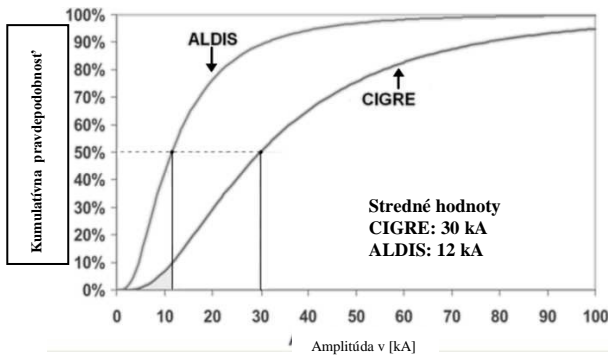
Obr. 6. Geometrické parametre pre každú LMP určené pre LPL podľa [1].



Obr. 7. Ochranný uhol v závislosti od výšky zachytávacej sústavy.[5].

Hlavným problémom súvisiacim s LPL definovaným v normách je, že štatistiky sa hodnotia pomocou hodnôt prúdu, ktoré zverejnila CIGRE v roku 1975 [13]. Tieto sú založené na meraniach, ktoré urobil K. Berger v Monte San Salvatore (Švajčiarsko) na základe monitorovania dvoch konštrukcií umiestnených na hore. Aj keď je známe, že priemerný bleskový prúd vyskytujúci sa na takých miestach je skreslený v porovnaní s vyššími hodnotami než na rovinách, tieto štatistiky neboli opravené použitím nových existujúcich údajov získaných z rôznych štúdií vykonaných v teréne prostredníctvom sietí umiestnenia blesku (LLN).

Obr. 8 znázorňuje porovnanie medzi aktuálne používaným rozdelením pravdepodobnosti (CIGRE) a údajmi ponúkanými v rámci rakúskej siete umiestnenia blesku (ALDIS) [14]. To znamená, že v súčasnosti používané údaje neuvažujú primerane o blesku s nízkou hodnotou.



Obr. 8. Porovnanie medzi údajmi z CIGRE a ALDIS[14].

Ak sú uvažované pravdepodobnosti rovnaké ako tie, ktoré stanovujú súčasné normy, minimálne hodnoty špičkového prúdu by mali byť potom opravené na hodnoty z ALDIS, podľa Obr. 9.

LPL	I	II	III	IV
Uvažovaná pravdepodobnosť (%)	99	97	91	84
Minimálny I špičkový CIGRE (kA)	3	5	10	16
Polomer gule CIGRE (m)	20	30	45	60
Minimálny I špičkový ALDIS (kA)	1,5	3	4	5
Polomer gule ALDIS (m)	13	20	25	30

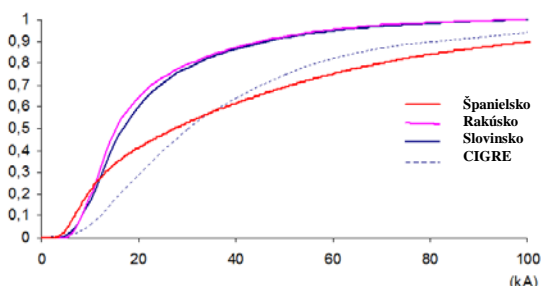
Obr. 9. Hodnoty o minimálnom špičkovom prúde a polomer fiktívnej gule podľa CIGRE a podľa ALDIS.

Na druhej strane, ak je stanovený minimálny špičkový prúd a polomer gule, potom dochádza k zmene uvažovanej pravdepodobnosti, ako znázorňuje Obr. 10.

LPL	I	II	III	IV
Minimálny I špičkový (kA)	3	5	10	16
Polomer gule (m)	20	30	45	60
Uvažovaná pravdepodobnosť CIGRE (%)	99	97	91	84
Uvažovaná pravdepodobnosť ALDIS (%)	97	88	58	40

Obr. 10. Uvažovaná pravdepodobnosť pre fixné hodnoty minimálneho špičkového prúdu podľa CIGRE a ALDIS.

Tieto údaje ukazujú veľmi rozdielne hodnoty pravdepodobnosti v porovnaní s akceptovanými hodnotami. Aj v iných európskych krajinách je možné nájsť rovnaký typ štúdií ako na Obr. 11, ktorý porovnáva rozdelenie pravdepodobnosti v Španielsku, Rakúsku a Slovinsku s rozdelením podľa CIGRE.



Obr. 11. Rozdelenie bleskového špičkového prúdu v 3 európskych krajinách v porovnaní s rozdelením podľa CIGRE.

V iných umiestneniach existuje viac príkladov, ako sa opisuje v [15] s údajmi zhromaždenými v Brazílii, kde dokonca aj v hornatých oblastiach boli priemerné hodnoty odlišné od hodnôt používaných zo strany CIGRE, čo predstavuje vplyv lokálnych podmienok v parametroch blesku.

### 3.2 Posúdenie zachytávacích sústav uvažovaných v IEC 62305

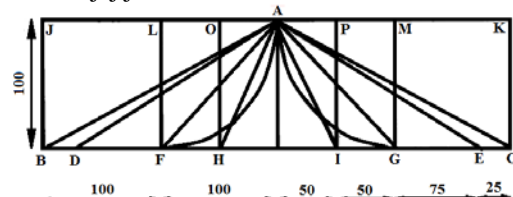
V súčasnosti existujú tieto odlišné typy štandardizovaných zachytávacích systémov: pasívne zachytávacie sústavy, ako sú Franklinove tyče a mrežové vodiče, a aktívne zachytávacie sústavy, ako sú zachytávacie sústavy s včasnou emisiou výboja (ESE). IEC 62305 uznáva konvenčnú ochranu pred bleskom, preto bude vysvetlenie aktívnej zachytávacej sústavy ešte len nasledovať.

Jednoduché Franklinove tyče sa zvyčajne inštalujú s použitím PAM alebo RSM. Niektoré štúdie potvrdzujú, že ostré Franklinove tyče tvoria objem priestorového náboja okolo hrotu, čo následne spôsobuje oneskorenie v tvorbe vzostupného výboja [16]. Normy nevyčísľujú účinok tohto javu. V podstate sa ako zachytávacia sústava akceptuje akýkoľvek kovový prvok, i keď sa odporúča použitie tupých namiesto ostrých bodov.

Mrežové vodiče neriešia problém zachytenia, keďže vodiče sa zvyčajne umiestňujú priamo na konštrukciu. Na to, aby sa vodič stal preferovaným spojovacím bodom úderu blesku, je potrebné vodiče zdvihnúť nad povrch [17]. Mrežové vodiče sa umiestňujú podľa MM, pričom tyče a zdvihnuté horizontálne vodiče sa umiestňujú s použitím PAM alebo RSM.

### 3.3 Chránený rozsah podľa metódy ochranného uhla. Nadmerná ochrana alebo podpriemerná ochrana?

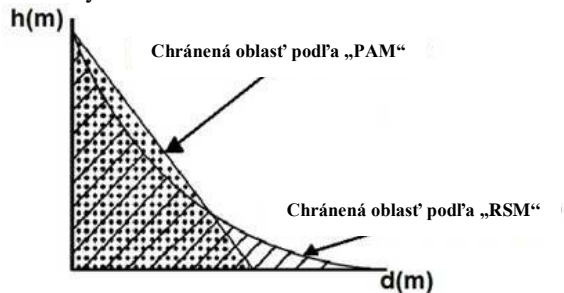
Koncepciu kužeľa s dostatočným uhlom na definovanie chránenej zóny prvýkrát formálne navrhla Akadémia vied v roku 1823 s počiatočným použitím základu v hodnote dvojnásobnej výšky, t. j. uhla s veľkosťou 63°. Po rôznych revíziách (Obr. 12) založených na poruchách, ku ktorým došlo, bol tento uhol zmenený na 45° a v súčasnosti sa stále používa a akceptuje v mnohých krajinách na praktické použitie z dôvodu svojej jednoduchosti.



JBCK, valec, Gay Lussac 1823; BAC, kužeľ, DeFonville 1874; DAE, kužeľ, Paris Commission 1875; LFGM, valec, Chapman 1875; FAG, kužeľ, Adams 1881; OHIP, valec, hypoéza; FAG, špeciálny kužeľ, Preece 1881; HAI, kužeľ, Melsens.

Obr. 12. Revízie z dôvodu uhla ochrany [5].

V súčasnosti normy upravujú uhly PAM tak, aby chránené rozsahy podľa PAM súhlasili s rozsahmi podľa RSM, ako znázorňuje Obr. 13. Tento postup je akceptovaný, ale nie je preukázaný, ani vedecky podložený.



Obr. 13. Ekvivalentné oblasti uplatňujúce PAM a RSM [5].

Dôsledkom tohto prístupu je, že PAM a RSM poskytujú rovnakú hodnotu pre chránený rozsah, ale s rôznymi formami. Ako príklad sa pri oboch prístupoch vykonáva porovnanie ochranného polomeru na úrovni zeme pre jednotlivý stĺp s výškou 10 m. Obr. 9 znázorňuje polomer ochrany na úrovni zeme s využitím oboch ATPM. V každom prípade bol vypočítaný polomer ochrany takto:

PAM:

$$R_{p_{ground}} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(90 - \alpha)} \cdot h \quad (1)$$

RSM:

$$R_{p_{ground}} = \sqrt{h \cdot (2r - h)} \quad (2)$$

Kde h je výška tyče,  $\alpha$  je uhol získaný z Obr. 14 a r je polomer valivej gule.

	LPL	I	II	III	IV
<b>R<sub>p_ground</sub> s PAM (m)</b>	10,3	13,8	18,0	22,5	
<b>R<sub>p_ground</sub> s RSM (m)</b>	17,3	22,4	28,3	33,2	

Obr. 14. Polomer ochrany na úrovni zeme pre jednotlivý tyč s výškou 10 m hodnotený s PAM a RSM.

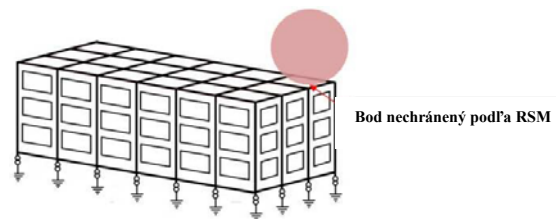
Praktický dopad tohto bodu je, že kým na úrovni zeme je chránená zóna podhodnotená, vo vyšších zónach je chránený rozsah nadhodnotený, ako znázorňuje Obr. 13. V podstate bola táto otázka pôvodom RSM, lebo bolo pozorované, že výška konštrukcií ovplyvňovala ochranný uhol, ako znázorňuje Obr. 2.

### 3.4 Chránený rozsah podľa metódy mrežovej sústavy. Jej určenie na základe skúseností, nie podľa fyziky blesku

Táto metóda bola predmetom rozsiahlych skúmaní a kritiky. Niektoré kritiky sú zhrnuté v [18], keďže mreža zvyčajne nefunguje ako zachytávacia sústava, ale ako

kolektor prúdu. Okrem toho podľa [18] sa účinnosť tejto metódy týka rozdielu medzi vodivosťami kovových prvkov tvoriacich mrežu a izolačnými materiálmi alebo chybnými vodičmi konštrukcie. V bode [8] sa uvádza, že mrežovina iba zriedkavo funguje ako zachytávacia sústava. Skôr funguje ako kolektor prúdu prichádzajúceho z inej časti strechy.

Pokiaľ ide o chránený rozsah, hlavná kritika sa týka potreby zvýšiť mrežu na zabránenie prieniku blesku v chránenej oblasti, ako znázorňuje Obr. 15, kde sú oblasti chránené pomocou MM vystavené v porovnaní s tými, ktoré sú chránené pomocou RSM.

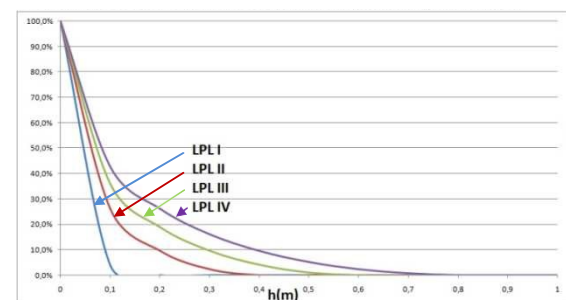


Obr. 15. Povrch nie úplne chránený podľa RSM.

Ako uvádza [9], chránený rozsah podľa MM bol určený na základe skúseností bez akéhokoľvek teoretického alebo experimentálneho výskumu.

Percento nechránenej oblasti pre každú LPL pri použití RSM na konštrukcii chránenej pomocou MM je možné ľahko určiť prostredníctvom istých jednoduchých číselných výpočtov. Obr. 16 znázorňuje, že na zabezpečenie ekvivalentných chránených zón bude nevyhnutné zvýšiť mrežu o 12 cm pre LPL I, o 40 cm pre LPL II, 60 cm pre LPL III a o 80 cm pre LPL IV.

PERCENTO NECHRÁNENEJ OBLASTI PRI POUŽITÍ RSM NA MREŽI



Obr. 16. Percento nechránenej oblasti pre každú LPL s vodičom zdvihnutým do rôznych výšok.

### 3.5 Chránený rozsah podľa metódy valivej gule. Neopodstatnené body a prispôsobenie na základe skúseností

Metóda RSM je koncepčne jednoduchá dokonca aj pri použití na konštrukciách s komplikovanými tvarmi. Jej praktické použitie však vyžaduje počítačové nástroje, ktoré nemusia byť dostupné pre projektanta, ktorý na zjednodušenie procesu často používa menej fyzikálne

podložené metódy, ako je MM alebo PAM, ktoré nevyžadujú počítačový pomoc.

Okrem toho, keďže ide o zjednodušenie fyzikálneho procesu spojenia blesku s konštrukciou, obsahuje isté obmedzenia spočívajúce v jej pôvode. Rozdelenie výkonu prebieha v podstate najmä v 2D scenári, zatiaľ čo ochrana komplexných konštrukcií si vyžaduje 3D prístup. Táto extrapolácia nebola vykonaná ani na základe odôvodnenia, základu alebo skúseností.

Ďalším obmedzením je, že táto metóda prisudzuje rovnakú schopnosť emisie vzostupného výboja všetkým kontaktným bodom konštrukcie. Neberie sa do úvahy vplyv elektrických polí na emisiu vzostupných výbojov, preto sa nerozlišuje medzi pravdepodobnými a nepravdepodobnými bodmi spojenia úderu blesku. Preskoková vzdialenosť pre daný perspektívny špičkový prúd pri údere je konštantná hodnota. Ako už bolo uvedené vyššie, vychádza z jednoduchého elektrogeometrického modelu (EGM), kde je preskoková vzdialenosť ( $d$ ) definovaná takto:

$$d(m) = 10 \cdot I(kA)^{0.65} \quad (3)$$

Kde  $I$  je špičkový prúd spätného úderu v kA definovaný na základe LPL a  $d$  je preskoková vzdialenosť v metroch [5].

Koeficienty tohto vzorca navrhol Love [21] na základe empirických výsledkov, aj keď nemá žiadnu rozmerovú zhodu alebo fyzikálny zmysel. V každom prípade tieto koeficienty prijala CIGRE WG01 SC 33 [22]. V podstate mnohí autori prezentujú rôzne koeficienty na určenie vzťahu medzi preskokovou vzdialenosťou a špičkovým prúdom spätného úderu s použitím podobného prístupu:

$$d(m) = A \cdot I(kA)^b \quad (4)$$

Obr. 17 znázorňuje nejaké príklady.

Expresiones	Distancia a tierra		Distancia a un cable	
	A	b	A	b
Wagner	14.2	0.32	14.2	0.32
Young	27	0.32	$\beta^b$	0.32
Armstrong	6	0.8	6.7	0.8
Brown	6.4	0.75	7.1	0.75
Anderson	6.4, 8 ó 10	0.65	8	0.65
IEEE 1243-1997	$\beta^2$	0.65	10	0.65
IEEE Std 998-1996				
Love	10.0	0.65	10.0	0.65
IEEE Working Group 1993	8.0	0.65	8.0	0.65
Whitehead	9.4	0.66	9.4	0.66
Suzuki	3.3	0.78	3.3	0.78
Darveniza	$2I + 30(1 - e^{-0.85I})$			
a	$\beta = 3.6 - 1.7 \ln(43 - h) \quad h < 40$			
	$\beta = 5.5 \quad h \geq 40$			
b	$\beta = 12000 / (462 - h) \quad \text{para } \beta > 27.0$			

Obr. 17. Rôzne prístupy na určenie koeficientov pre rovnicu (4) [21]

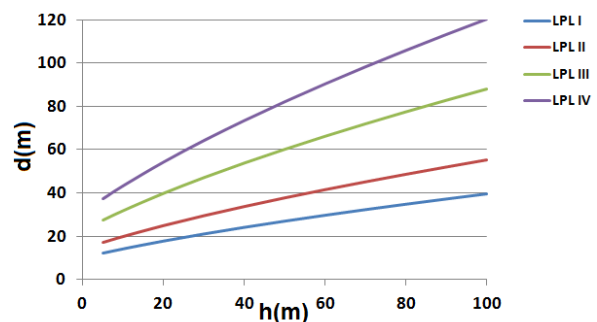
Podľa tohto prístupu je jediným parametrom, ktorý ovplyvňuje preskokovú vzdialenosť, uvažovaný bleskový špičkový prúd, aj keď bolo preukázané, že preskoková vzdialenosť závisí od výšky.

Ako príklad bod [23] uvádza, že preskoková vzdialenosť sa určuje podľa:

$$d(m) = 0.8 \cdot [(h + 15) \cdot I]^{\frac{2}{3}} \quad (5) \quad [23]$$

Kde  $d(m)$  je preskoková vzdialenosť,  $I$  je špičkový prúd spätného úderu v kA a  $h$  je výška v metroch.

Obr. 18 znázorňuje výpočet  $d(m)$  podľa vzorca (5) pre rôzne výšky a pre každú LPL.



Obr. 18. Preskoková vzdialenosť ako funkcia výšky pre každú LPL.

Podľa tohto prístupu by nemal byť polomer valivej gule konštantný, ale mal by závisieť od uvažovanej výšky, preto by mal byť polomer ochrany a chránený rozsah hodnotený pre každú výšku uvažovanej konštrukcie.

Nakoniec okrem chýb vo vyššie uvedenom vedeckom základe RSM, na štandardizovanej úrovni existujú scenáre, kde RSM nie je uplatňovaná úplne, ale je empiricky upravená. Napríklad v prípade budov s výškou < 60 m sa neuvažuje o postranných úderoch, lebo skúsenosti ukazujú, že sú zanedbateľné, dokonca aj keď sa guľa dotýka strany budovy. Pri konštrukciách vyšších než 60 m sa chráni iba vrchných 20% z celkovej výšky pred postrannými výbojmi, lebo empirické údaje ukazujú, že pravdepodobnosť postranných úderov blesku sa s výškou rapídne znižuje [5].

#### 4 NF C17-102:2011: KONTROLA, NEOPODSTATNENÉ BODY A RIEŠENIE NA ZÁKLADE SKÚSENOSTÍ

Francúzska norma NF C17-100 predchádzala prvému vydaniu NF C17-102 (1995). Hoci sa norma NF C17-100 vzťahovala iba na konvenčnú ochranu pred bleskom, vo verzii z roku 1987 [24] bolo uvedené, že (preklad z francúzskeho jazyka):

„Niektoré bleskozvodné tyče, nazývané ionizačné zariadenia, pozostávajú z jednoduchej tyče vybavenej špeciálnym systémom emisií a tvorbou iónov a elektrónov. Oblasť chránená týmito tyčami sa považuje za rozsiahlejšiu než oblasť chránená jednou tyčou s rovnakou výškou”. [24]

Tento text je dôkazom, že už v roku 1987 existovalo štandardizované uznanie na základe skúseností z predchádzajúcich rokov s aktívnymi zachytávacími sústavami.

Prvé vydanie normy NF C17-102 bolo zverejnené v roku 1995 a o rok neskôr bol v Španielsku zverejnený preklad tejto normy aj ako národnej normy (UNE21186:1996). Neskôr bola preložená do portugalského jazyka (NP 4426:2003), slovenského jazyka (STN 34 1391:1998) a iných jazykov. V súčasnosti neexistuje žiadna EN norma týkajúca sa aktívnych zachytávacích sústav, ale v Európe i mimo nej existuje niekoľko národných noriem. V tomto dokumente odkazujeme na francúzsku normu NF C17 102 Ed2:2011, ktorá nie je rovnakým vydaním normy, aké sa používa v dokumente od G. Krescanka [3], lebo slovenská norma vychádza z prvého vydania NF C17 102, ktoré už nie je platné.

Po zverejnení normy EN 62305 v roku 2006 došlo k zrušeniu mnohých noriem týkajúcich sa ochrany pred bleskom (BS 6651, NF C 17 100, UNE21185,...). CENELEC BT136 však vyhlásila, že normy zaoberajúce sa aktívnymi zachytávacími sústavami by mali zostať v platnosti, keďže tieto typy zachytávacích sústav nespádali do rozsahu normy EN62305. BT navrhol aj preskúmanie všetkých európskych národných ESE noriem na zamedzenie nesúladu s EN62305.

Na dosiahnutie tejto úlohy založili Francúzsko, Portugalsko a Španielsko pracovnú skupinu a pripravili spoločný dokument v anglickom jazyku, kde boli upravované normy ESE s predstavením rovnakého výpočtu rizika ako v EN62305 a so zohľadnením ekvipotenciality, uzemnenia. Bola preskúmaná aj téma chráneného rozsahu (pozri bod 4.3).

V tom čase CENELEC BT povzbudila CENELEC TC81X pri dosiahnutí čistej výkonnostnej normy, ktorá obsahuje všetky technológie týkajúce sa ochrany pred bleskom. Na splnenie tejto požiadavky bola zriadená pracovná skupina (WG) a bol vypracovaný prvý dokument. Nanešťastie z hľadiska pokroku v ochrane pred bleskom nebola táto mimoriadne dôležitá iniciatíva CENELEC BT dokončená, lebo niekoľko národných výborov z nepochopiteľných dôvodov tento návrh zrušilo.

#### 4.1 Úroveň ochrany pred bleskom (LPL) podľa IEC 62305

Ako už bolo uvedené vyššie, platné vydanie normy NF C17-102 využíva rovnaké riadenie rizika ako IEC 62305 [4] a následne vykazuje tento bod v norme NF C17 102 nesúlad podľa vyššie uvedeného (t. j. nereprezentatívne štatistiky bleskového prúdu pri určovaní LPL a nepresné určenie pravdepodobnosti ako funkcie bleskového špičkového prúdu).

Týmto spôsobom by sme mohli uviesť dva rovnaké závery so zdôraznením potreby zhodnotiť možnosť používania lokálnych parametrov blesku, ak sú k dispozícii, na získanie spoľahlivejšieho a presnejšieho určenia LPL prispôbeného špecifikám rozmiestnenia.

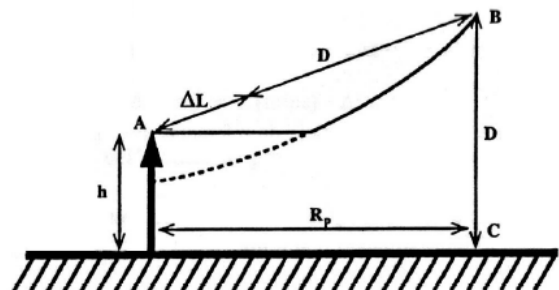
#### 4.2 Posúdenie zachytávacích sústav uvažovaných v NF C17-102

NF C17-102 je špecifická norma týkajúca sa inštalácie LPS na základe aktívnych zachytávacích sústav. Aktívne zachytávacie sústavy alebo zachytávacie sústavy s včasnou inicializáciou výboja sa zameriavajú najmä na prienik blesku. Tieto druhy zachytávačov sa snažia vytvoriť najpriaznivejšie podmienky na vytvorenie vzostupného výboja s cieľom stať sa preferovaným miestom úderu v oblasti, ktoré je významne väčšie než miesto úderu pri jednoduchej tyči.

Norma NF C17-102 definuje výkon aktívnych zachytávacích sústav pomocou testu, ktorý sa vykonáva vo vysokonapäťovom laboratóriu. Po slede mechanických, environmentálnych a elektrických testov vykonávaných na rovnakej vzorke sa hodnotí odozva zariadenia ESE v elektrickom poli simulujúcom podmienky tvorby blesku v porovnaní s jeho odozvou v elektrickom poli pasívnej tyče podľa definície z normy. Výsledok testu ( $\Delta T$ ) charakterizuje zachytávaciu sústavu ESE s uvedením parametra  $\Delta$ , ktorý určuje zvýšený chránený rozsah v porovnaní s Franklinovou tyčou umiestnenou v rovnakom bode.

#### 4.3 Chránený rozsah podľa NF C17-102. Neopodstatnené body a prispôbenie na základe skúseností

Prvé vydanie NF C 17 102 skutočne vychádzalo pri chránenom rozsahu aktívnych zachytávacích sústav plne z RSM, s guľou valiacou sa okolo druhej gule vycentrovanej na hrot zachytávacej sústavy s polomerom rovným  $\Delta L$  metrom. Tento prístup uplatnený v prvom vydaní znázorňuje Obr. 19.



Obr. 19. Prístup uplatnený v prvom vydaní NF C17-102 [28].

Použitý vzorec na určenie polomeru ochrany je:

$$R_p(m) = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta \cdot (2r + \Delta)} \quad (5)$$

Kde  $r$  je polomer valivej gule,  $h$  je uvažovaná výška a  $\Delta L$  je parameter charakterizujúci zachytávaciu sústavu.

$\Delta L$  bol definovaný ako:

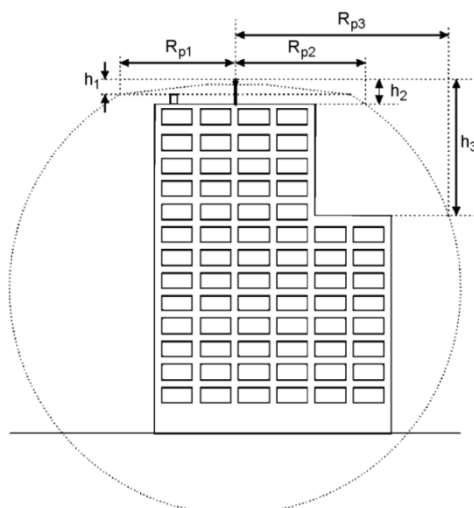
$$\Delta L = v \cdot \Delta t \quad (6)$$

Kde  $v = 1\text{m}/\mu\text{s}$  a  $\Delta T$  bol čas predstihu ( $v \mu\text{s}$ ) získaný vo vysokonapäťovom laboratóriu.

Rýchlosť vzostupného výboja bola vždy považovaná za kontroverzný parameter. Bolo zverejnených mnoho dokumentov s veľmi odlišnými závermi [25][26][27]. Predmetom diskusie bol aj problém referenčnej roviny. Skúsenosti zo stoviek tisícov inštalácií v priebehu všetkých rokov platnosti noriem však boli veľmi dobré, preto ostala metóda výpočtu chráneného rozsahu tak, ako bola.

Vzorec (5) je odvodený od priameho hodnotenia scenára opísaného na Obr. 19, ale chránený rozsah opísaný v platnej norme (2. vydanie) sa tohto čísla netýka. Napriek tomu sa stále používajú tie isté vzorce, keďže skúsenosti z terénu prinášajú dobré výsledky. Tomuto prístupu chýba úplný fyzikálny základ, ale, podobne ako v iných prípadoch, táto úprava bola validovaná na základe skúseností.

V súčasnosti sa chránený rozsah špecifikovaný v NF C17-102:2011 prispôsobuje od počiatočného prístupu spolu s praktickými a empirickými úvahami. Tento chránený rozsah znázorňuje Obr. 20.



Obr. 20. Znáozornenie chráneného rozsahu pre aktívnu zachytávaciu sústavu podľa NF C 17-102:2011[2].

Nikdy nie je možné považovať výpočet chráneného rozsahu pre aktívne zachytávacie sústavy za „iba geometrický“. Tento typ zachytávacej sústavy vytvára špeciálne elektrické podmienky na zlepšenie spojenia s bleskom. Je možné, že predpoklad konvenčnej ochrany

(pravdepodobnosť vplyvu na Franklinovu tyč a na plochú podlahu je rovnaká) je nadsadený a možno by sa mal preskúmať, lebo aj uzemnené kovové body iniciujú výboje a určite nie sú pri blesku také isté ako ploché alebo nevodivé prvky. EN62305 však túto skutočnosť nezohľadňuje.

Ako je možné z vyššie uvedených skutočností odvodiť, všetky štandardizované ATPM majú mnohoročné praktické skúsenosti a všetky z nich vykonali korekcie na základe skúseností na prekonanie nedostatku v základe z praktických dôvodov alebo na zachovanie súladu s pozorovanými výsledkami. Ďalší bod sa bude zaoberať kvantifikáciou skúseností z terénu pre rôzne LPS.

## 5 SKÚSENOSTI Z TERÉNU A VÝSLEDKY V PRAXI

Ochrana pred bleskom je často predmetom kritiky z dôvodu nedostatku štúdií v prírode. „Testovacie pole“ je ale obrovské: na celom svete boli nainštalované stovky tisícov každého z typov LPS opísaných vyššie podľa ich konkrétnych existujúcich noriem bez incidentov. Existuje teda dôkaz, že štandardizované systémy na ochranu pred bleskom fungujú správne. Ale ide o kvalitatívne hodnotenie a nebolo kvantifikované v žiadnom LPS alebo ATPM ani na základe skúseností, ani podľa dobre zavedených princípov. Nahromadené skúsenosti so štandardizovanými LPS sú obrovské a bolo by možné štatisticky vyhodnotiť rôzne štandardizované LPS.

Napríklad, ak sa ekvivalentná oblasť izolovanej konštrukcie považuje za:

$$A_{eq} = \pi \int_0^{\infty} R_g^2(i, h) f(i) di \quad (7)$$

Kde  $f(i)$  je funkcia hustoty rozdelenia bleskového prúdu.

V súčasnosti normy naďalej využívajú údaje CIGRE a  $f(i)$  sa zvyčajne označuje ako logaritmicke-normálne rozdelenie.

$$f(i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma} \cdot i} \exp \left[ -\frac{(\ln i - \ln \bar{i})^2}{2\sigma^2} \right] \quad (8)$$

$R_a$  je atrakčný polomer, na ktorý existujú rôzne vyjadrenia:

- Eriksson :  $R_a = 0.84 \cdot i_p^{0.74} \cdot h^{0.6}$
- Petrov et al. :  $R_a = 0.56 \cdot [(h + 15) \cdot i_p]^{2/3}$
- Rizk:  $R_a = 25.9 \cdot h^{0.48}$

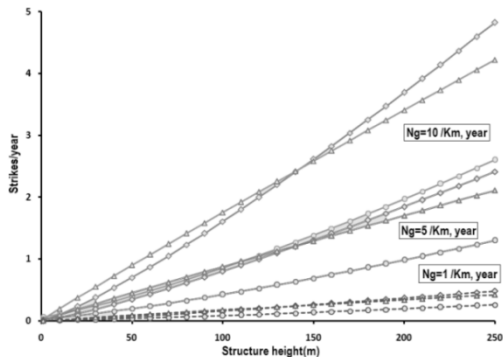
S použitím tohto všeobecného vyjadrenia:

$$N_d = N_g \cdot A_{eq} \quad (9)$$

Rôzne očakávané frekvencie úderov sú tieto:



- $N_d(a) = 640 \cdot 10^{-6} \cdot N_g \cdot h^{1.2}$
- $N_d(b) = 53 \cdot 10^{-6} \cdot N_g \cdot (h + 15)^{4/3}$
- $N_d(c) = 2106 \cdot 10^{-6} \cdot N_g \cdot h^{0.96}$



Obr. 21. Očakávané frekvencie úderov ako funkcia výšky konštrukcie pre rôzne vyjadrenia.

V norme IEC62305-2 [4] sa počet očakávaných úderov blesku vypočíta takto:

$$N_D = N_g \cdot A_{d/b} \cdot C_{d/b} \cdot 10^{-6} \quad (10)$$

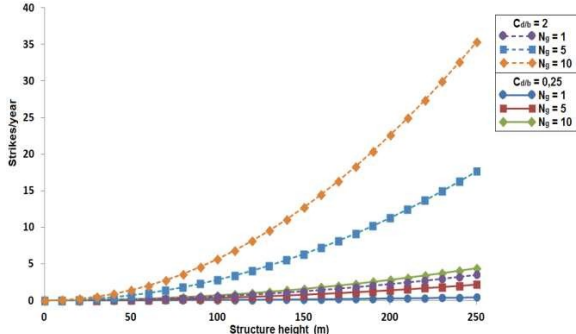
Kde  $N_g$  je hustota výboja,  $A_{d/b}$  je oblasť zberu konštrukcie a  $C_{d/b}$  je faktor umiestnenia.

Ako príklad, ak sa má za to, že ide o generickú konštrukciu, kde je vertikálny rozmer relevantnejší než horizontálny, potom sa má za to, že jeho približná oblasť zberu je určená takto:

$$A_{d/b} = 9\pi \cdot h^2 \quad (11)$$

Kde  $h$  je výška konštrukcie.

Obr. 22 znázorňuje výsledky s využitím vyjadrení z IEC62305-2 [4] a so zohľadnením faktora umiestnenia  $C_{d/b} = 2$  (maximálna hodnota) a  $C_{b/d} = 0,25$  (minimálna hodnota).



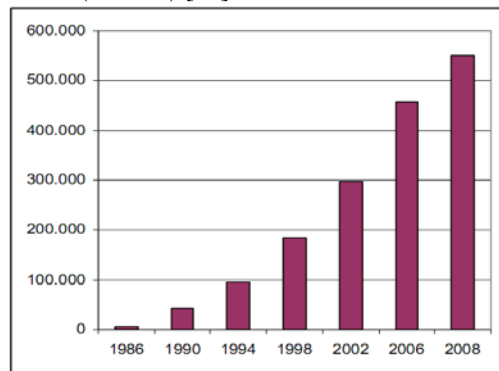
Obr. 22. Očakávané frekvencie úderov ako funkcia výšky konštrukcie podľa IEC62305-2.

Preto, keď vezmeme do úvahy, že často sú LPS inštalované na veľmi vysokých budovách alebo na miestach so zvýšenou hustotou bleskov, z čisto štatistického hľadiska na mnohých z týchto systémov ochrany došlo k jednému alebo

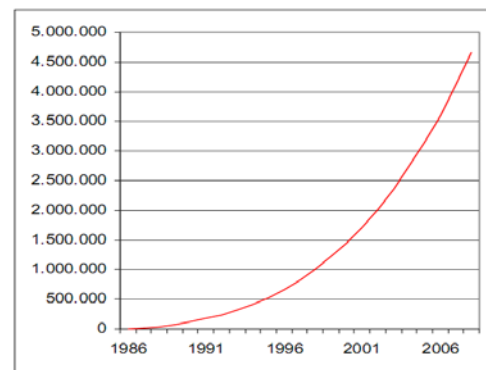
viacerým úderom blesku. Ohlasované incidenty fyzického poškodenia na chránených budovách sú zriedkavé a ak

k nejakým dochádza, ide o malé poškodenia, ako sú zlomené tehly na okrajoch alebo hrebeňoch. Na druhej strane úder blesku na nechránených budovách spôsobujú každý rok početné ekonomické straty (138,7 miliónov \$/ročne ako priemer v období 1989-1993) a niekedy dokonca spôsobia ľudom fyzickú ujmu [29].

Konkrétne podľa Medzinárodnej asociácie na ochranu pred bleskom (ILPA) sú štatistické údaje okolo aktívnych zachytávacích sústav vyrobených v súlade s národnými normami v Európe [29] tieto: v roku 1986 (čo je prvý rok s dostupnými metodikami) bol počet ESE 4 088, pričom v roku 1996 stúpol na 112 412 jednotiek. V roku 2009 bol kumulovaný počet inštalovaných jednotiek 550 000 (Obr. 23). To znamená ekvivalentné akumulované skúsenosti 4 652 000 rokov (Obr. 24) [29].



Obr. 23. Akumulovaný počet inštalovaných zachytávacích sústav do roku 2009



Obr. 24. Akumulované skúsenosti v rokoch do roku 2009 [29].

Pri zohľadnení týchto číselných údajov, ktoré pokrývajú iba časť zachytávacích sústav ESE, keďže neboli zahrnutí výrobcovia z krajín mimo Európy, je zrejmé, že v chránených oblastiach sa očakáva mnoho úderov blesku:

- Celkový počet zachytávacích sústav pri zohľadnení rokov, v ktorých boli inštalované:

$$N_T = 4\,652\,602 \text{ jednotiek} \cdot \text{roky}$$

- Pri zohľadnení typickej oblasti zberu:

$$A_d = 30\,000 \text{ m}^2$$

- Očakávaný počet úderov blesku v typickej oblasti zberu (s  $N_g=2,5$ ;  $C_d=0,5$ ):

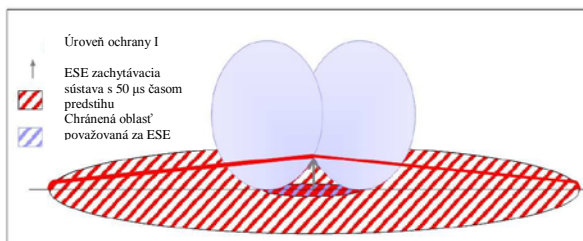
$$N_d = 0,0375 \text{ úderov/rok}$$

- Očakávaný počet úderov blesku na všetkých inštaláciách počas rokov, v ktorých boli inštalované:

$$N_{dT} = 174\,473 \text{ úderov}$$

Ako už bolo vysvetlené vyššie, výsledkami sú približné čísla, ale navodzujú dojem rádovej hodnoty ochrany, ktorá sa očakávala zo strany zachytávacích sústav ESE počas posledných desaťročí.

Napríklad pre LPL I, ak sa má za to, že ak je zachytávací systém ESE s  $\Delta=50$  m na 6 m stĺpe považovaná iba za jednoduchú tyč, chránená oblasť je iba 5 % z vypočítanej oblasti so zohľadnením účinku ESE. Pre iné úrovne ochrany je pomer najviac 9 %.



Obr. 25. Porovnanie chránených oblastí pri zväžení zachytávacích sústav ako ESE alebo ako jednoduchej tyče [29]

To znamená, že ak by zachytávacie systémy ESE nefungovali správne, drvivá väčšina týchto 175 000 úderov by zasiahla konštrukciu a predpokladá sa, že otvorené oblasti sú chránené, čo vedie k tisícim sťažnostiam alebo dokonca k väčšiemu množstvu úvah v zmysle, že na základe trendu z rokov 2009 až 2016 by sa aktuálny počet inštalovaných ESE mohol pohybovať blízko 1 milióna jednotiek ESE so skúsenosťami akumulovaných služieb za viac než 9 miliónov rokov.

Validácia účinnosti štandardizovaných LPS na základe skúseností, pasívnych aj aktívnych typov, sa vykonáva najmä z dôvodu podozrivej absencie významného počtu incidentov alebo sťažností s pozoruhodnými poškodeniami, najmä pri porovnaní s:

- a. Veľkým počtom poškodení nechránených budov.
- b. Veľkým počtom očakávaných úderov blesku, ktoré by zasiahli chránené budovy v priebehu akumulovaných rokov ich systémov ochrany pred bleskom. Ak by tieto očakávané údery blesku neboli

zachytené týmito systémami ochrany pred bleskom, došlo by k niekoľkým desiatkam tisícov incidentov.

Určite chýba kompletná dobre zdokumentovaná kontrola, aj keď existuje niekoľko štúdií s reálnymi údajmi o účinnosti inštalovaných LPS. Ako sa uvádza v bode [18]:

„Počas prípravy tejto správy sme si všimli niekoľko príležitostí jasnej ukážky účinnosti. Skoršie príklady zahŕňajú citáty programu UL Master Label Program a zákona Lightning Rod Act úradu Ontario Fire Marshal's Office. Tieto citáty využili aj výskumníci v 60. a 70. rokoch.“

Vysvetlenie tohto zjavného nedostatku záujmu o zber reálnych údajov, ktorý údajne spôsobuje nadmerné sebavedomie z dôvodu absencie problémov v chránených budovách, je v bode [18]. Okrem toho autori tejto správy tvrdili, že existujú isté jasné príklady ukazujúce, že ochrana pred bleskom bola veľmi pozitívna [29][31].

Bod [32] uvádza dlhodobú štúdiu vykonanú v teréne s témou úderov blesku do konštrukcií v Hongkongu. V tejto štúdiu neboli k dispozícii žiadne údaje o obchádzke, preto sa analýza obmedzila iba na porovnanie údajov o údere a modeloch „atrakčného polomeru“ spojenia blesku s konštrukciami. V podstate bol porovnaný očakávaný počet úderov a aktuálny počet incidentov s údermi do konštrukcií v štúdiu. Autor zistil vynikajúci súlad medzi predpoveďami účinnosti modelu a pozorovanou frekvenciou úderov.

Správa od INERISu [12] uvádza výsledky prieskumu o 1 581 vysokorizikových priemyselných zariadeniach. Toto skúmanie vykonala v roku 2002 spoločnosť IPSOS, ktorá sa špecializuje na prieskumy a na nezávislé tretie strany, keďže nemá žiadny vzťah so žiadnym subjektom zapojeným do poľa ochrany pred bleskom. Výsledky boli veľmi pozitívne pri každom type zachytávacích sústav: mreží, tyčí alebo ESE. Nedošlo k žiadnym významným incidentom a úroveň spokojnosti medzi používateľmi bola vo všetkých prípadoch veľmi vysoká. Percento používateľov vyhlásených za spokojných alebo veľmi spokojných sa blížilo 100 % (95 % pre Franklinove tyče, 95,7 % pre ESE, 96 % pre mreže a 100 % pre napnuté vodiče, hoci v tomto poslednom prípade išlo o malú vzorku).

Tiež je možné nájsť práce z minulosti, ktoré zdôrazňujú platnosť štandardizovaného LPS, bez ohľadu na jeho nedostatky a zdôrazňujú nevyhnutnosť nepretržitého hodnotenia modelov založených na nových dostupných údajoch. Napríklad dve prednášky [29][33] prinášajú informácie o účinnosti aktívnych LPS. Vo svojich záveroch sa všetky správy zhodujú v uvedení toho, že žiaden z použitých systémov a metód nemá úplne dokázaný a konsolidovaný základ. Napriek tejto

skutočnosti obrovské akumulované skúsenosti s LPS, inštalované podľa ich špecifických noriem, dokazujú ich využiteľnosť. Preto je ich inštalácia nevyhnutná napriek nedostatkom, ktoré by teoreticky mohli existovať, aj keď o zachytení by sa malo uvažovať oveľa opatrnejšie v súlade s novou štatistikou parametrov blesku.

V konkrétnom prípade Slovenska uviedol Slovenský národný výbor vo svojom dokumente BT134/DG7564/DC/SK z apríla 2009 toto: „Na Slovensku bolo inštalovaných viac než 4 000 systémov u spokojných zákazníkov“.

Bolo dokázané, že v určovaní chráneného rozsahu akejkoľvek zachytávacej sústavy a podľa akejkoľvek ATPM existuje mnoho neistôt a nezrovnalostí, ale na druhej strane skúsenosti z terénu jasne naznačujú, že štandardizované LPS vykazujú vysokú úroveň účinnosti.

## 6 DISKUSIA O PRÁCI PREZENTOVANEJ G. KRESCANKOM

Nedávno bol v obehu vyššie citovaný dokument, kde sa kritika aktívnych zachytávacích sústav zamerala nie na pokročilé emisie vzostupného výboja, ale na výpočet ochranného polomeru zachytávacej sústavy. Autorom práce je G. Krescanko [3] a tá vznikla v momente, keď na Slovensku prebieha revízia národnej normy regulujúcej aktívne zachytávacie sústavy.

Ako už bolo uvedené, neexistuje žiadna európska norma (EN) zaoberajúca sa zachytávacími sústavami ESE a všetky snahy na dosiahnutie takej normy boli obmedzené. Existuje však dokument v anglickom jazyku, ktorý si niekoľko európskych krajín preložilo ako svoje národné normy (NF C 17-102 vo Francúzsku; UNE 21186 v Španielsku, NP 4426 v Portugalsku). Slovenská norma aktuálne vychádza z prvého vydania francúzskej normy NF C 17-102 a nie z tohto spoločného dokumentu.

Môže ísť o časť problému, lebo v danom dokumente autor poskytuje istotu, že norma uplatňuje iba RSM na základe elektrogeometrického modelu. Na základe týchto úvah dokument dokazuje, že francúzska norma ho neuplatňuje správne.

Bol vysvetlený pôvod RSM a jej aktuálne používanie podľa rôznych noriem s tým, že ukazuje, ako skúsenosti niekedy prekonávajú čistú teóriu, ktorá, nanešťastie, nie je v oblasti ochrany pred bleskom stále úplne objasnená. K normám sa pridáva prax získaná rokmi skúseností na uľahčenie návrhu systémov ochrany pred bleskom a na optimalizáciu výsledkov.

Okrem týchto všeobecných pozorovaní a zahĺbením sa do prístupu v tomto dokumente je potrebné poznamenať, že IEC 62305 neuvažuje o používaní aktívnych zachytávacích sústav, zatiaľ čo NF C17 102 neponúka postup na výpočet rozsahu chráneného pasívnu zachytávacou sústavou. Napriek tomu tento dokument porovnáva chránený rozsah aktívnych a pasívnych zachytávacích sústav skombinovaním postupov opísaných v rôznych normách. Toto porovnanie by mohlo byť matematicky dobre rozvinuté, ale nie je zrozumiteľné na hodnotenie akéhokoľvek systému, ktorý má vlastnú normu s usmerneniami pre ostatné, kde sa produkt ani neobjaví.

Napríklad v bode [3] sa o pasívnej tyči uvažuje ako o aktívnej tyči s  $\Delta=0$  m. Tento prístup nie je v súlade s NF C17-102:2011, ktorá jasne naznačuje, že zariadenie s  $\Delta T < 10 \mu s$  sa nemôže považovať za aktívnu zachytávaciu sústavu [2], takže chránený rozsah nie je možné vypočítať tak, ako to opisuje norma. Preto nemá toto porovnanie s  $\Delta=0$  m ani žiadny fyzikálny zmysel, ani uznanie podľa noriem.

Okrem toho keby výpočty uvedené v bode [3] predstavovali realistickejší model, potom by došlo k významnému zmenšeniu chráneného rozsahu aktívnej zachytávacej sústavy a následne v skutočných scenároch by bol počet incidentov veľmi vysoký (pozri Obr. 25). Ako už bolo uvedené, dostupné štatistiky jasne naznačujú vysokú účinnosť vo všetkých štandardizovaných LPS v aktívnych alebo pasívnych zachytávacích sústavách. Je zrejmé, že akákoľvek korekcia existujúcich ATPM (alebo akéhokoľvek nového ATPM alebo LPM) by mala byť v súlade s empirickými skúsenosťami, čo sa v tomto prípade nestalo.

## 7 ZÁVERY

Tento dokument skúma štandardizované ATPM, pričom vyvracia závery a vyhlásenia prezentované v dokumente „*Je chránený rozsah bleskozvodných tyčí ESE skutočne taký veľký, ako uvádza francúzska norma NF C 17-102?*“ [3]. Hlavným cieľom tohto dokumentu je vyvrátiť chránený rozsah zachytávacej sústavy ESE, ako sa vypočítava v NF C17-102 s využitím matematického hodnotenia RSM.

Pri zvážení všetkých týchto skutočností sú modely ochrany pred bleskom v súčasnosti neúplné a matematické odvodenie akéhokoľvek z týchto modelov by nemalo upravovať empiricky validované praktiky. V podstate ide o opak: empirické pozorovania sú tým, čo upravuje matematické vyjadrenie fyziky. V prípade ochrany pred bleskom bolo preukázané, že akýkoľvek ATPM bol opravený a validovaný na základe skúseností z terénu.

Výlučne matematické použitie RSM neuplatňuje žiadna platná norma v oblasti ochrany pred bleskom (t. j. úvahy o postranných výbojoch v IEC 62305 sú v súčasnosti empirickým riešením).

Okrem toho uvedené hodnotenie zachytávacích sústav v [3] nie je správne, keďže uplatňuje postupy opísané v normách, ktoré nie sú použiteľné pri takých zariadeniach. Preto nemá fyzické alebo štandardizované hľadisko; každý typ zachytávacej sústavy má svoju vlastnú relevantnú normu. Toto hodnotenie napríklad zohľadňuje parametre s hodnotami, ktoré špecifická norma týkajúca sa zachytávacích sústav explicitne nedovoľuje: akékoľvek zariadenie s  $\Delta T < 10 \mu s$  sa nepovažuje za ESE, ako znázorňuje bod 6 tohto dokumentu.

Vývoj blesku ešte stále nie je plne pochopený. Je potrebné získať ďalšie vedomosti o fyzike spojenia s bleskom, ale kým nebude k dispozícii vedeckejšie podložený opis fyziky spojenia s bleskom a jeho odvodená ATPM nebude dostatočne validovaná empiricky, mali by byť platné štandardizované ATPM validované prostredníctvom spoľahlivých štatistík z terénu.

V tomto zmysle sú skúsenosti ESE úplné: viac než tri desaťročia používania v teréne; takmer 1 milión ESE vyrobených v Európe a inštalovaných na celom svete s akumulovanými skúsenosťami počas viac než 9 miliónov rokov vo funkcii. Toto je potrebné považovať za empirickú validáciu natoľko dostatočnú ako empirická validácia podľa IEC62305 s konvenčnou ochranou pred bleskom.

V tomto bode a v zhrnutí môže byť možné odpovedať na dve otázky navrhnuté v úvode tohto dokumentu:

1. - *Prečo niektoré metódy umiestnenia zachytávacej sústavy (ATPM) norma uznáva, ak ich chránené rozsahy nie sú kompatibilné?*

Lebo skúsenosti z terénu ukázali, že systémy ochrany pred bleskom navrhnuté podľa týchto metód sú v praxi veľmi účinné a toto je hlavný cieľ akejkolvek štandardizovanej ATPM nad rámec matematickej koherencie.

2. - *Prečo všetky z nich fungujú správne na celom svete a počas dlhého časového obdobia s očividnou absenciou významných škôd?*

Lebo všetky ATPM boli upravené na základe skúseností na zabezpečenie korekcie očakávaných chránených rozsahov. To znamená, že fyzikálny model špecifikuje prístup, matematika určuje chránené rozsahy a skúsenosti korigujú výsledky na spárovanie empirických pozorovaní.

V súlade s vyššie uvedeným pracujú autori aktuálneho dokumentu na prezentácii nového dokumentu, ktorý sa bude zaoberať týmito otázkami. V tomto budúcom dokumente bude hlavným cieľom prezentácia LPM s pokusom o vysvetlenie, prečo štandardizované ATPM fungujú správne napriek rozporuplnostiam, ktoré medzi nimi existujú.

Čo bolo ukázané v tomto dokumente je objektívne a nestranné; odhalenie nedostatkov dvoch najpoužívanejších a najštandardizovanejších systémov na svete. Príliš dlho sa časť priemyselného odvetvia zaoberajúca sa ochranou pred bleskom snažila využiť svoj vplyv vo výboroch pripravujúcich návrhy noriem, aby zahrnuli do noriem frázy ako technologické prekážky pre konkurentov s jasným cieľom udržať si svoje postavenie na trhu. Týmto druhom problematických praktík sa čas už kráti, lebo aj keď zjavne obidva systémy musia ešte vyriešiť veľa technických otázok a chyba im vedecký výskum, obidva systémy majú ako spoločného menovateľa nasledujúce body:

- Validácia: Empiricky prostredníctvom dobrých praktických výsledkov.
- Počet: Stovky tisícov inštalácií
- Čas: Desaťročia pozitívnych skúseností, ktoré sa premenia na milióny rokov akumulovaných skúseností, ak pridáme vystavenie inštalovaných systémov búrkam.
- Geografická diverzita: stovky tisícov inštalovaných systémov sú distribuované na celom svete.
- Absencia významných incidentov: počet incidentov na chránených konštrukciách vôbec nie je zo štatistického hľadiska významný pri zohľadnení skutočnosti, že každá LPL sa týka istých minimálnych parametrov blesku.

## REFERENCIE

- [1] IEC 62305-1 vydanie 2: 2010-12: Ochrana pred bleskom – Časť 1: Všeobecné princípy.
- [2] NF C 17-102. Vydanie 2: 2011: Ochrana pred bleskom. Bleskozvody s včasnou emisiou výboja.
- [3] G. Krescanko, „Is protected volume of ESE lightning rods really as large as it is declared by French standard NF C 17-102?“, 2016
- [4] IEC 62305-2 vydanie 2: 2010-12: Ochrana pred bleskom – Časť 2: Riadenie rizika.
- [5] IEC 62305-3 vydanie 2: 2010-12: Ochrana pred bleskom – Časť 3: Hmotné škody na stavbách a ohrozenie života.
- [6] Lee, R.H., „Protection zone for buildings against lightning strokes using transmission line practice“, IEEE Trans. on Indust. Appl., 14, pp. 465-470, 1978.
- [7] Lee, R.H., „Lightning protection of buildings“, IEEE Trans. on Indust. Appl., 15, pp. 236-240, 1979.
- [8] R. H. Golde, The lightning conductor, J. Franklin Inst. Vol. 283, No. 6, 1967, pp. 451-477.
- [9] Horváth, T., „Standardization on lightning protection. Based on the physics or on the tradition?“, Proc. 26th ICLP, Crakow, Poland, pp. 791-796, 2002.
- [10] Szczerbinski, M. „Attachment process models for the meshwork external protection.“ 25th International Conference on Lightning protection, Rhodos, Greece., 2000.

- [11] Szczerbinski, M. "Lightning protection with the mesh method: some models for the effectiveness analysis". *Journal of Electrostatics* 64 pp. 283-288, 2006.
- [12] Gruet, P., 2001, "Study of Early Streamer Emission Lightning Conductors – ESE", INERIS Report, October 2001.
- [13] K.Berger, R.B. Anderson and H. Kroninger, "Parameters of Lightning Flashes", *Electra*, No. 41, pp. 23-37, Jul 1975.
- [14] G.Diendorfer. "Blitzstrommessung am Sender Gaisberg". *Schriftenreihe der Forschungim Verbund*, Band 89. Jun 2005.
- [15] Visacro S, Soares JA, Schroeder LC, Cherchiglia L, de Sousa VJ. "Statistical analysis of lightning current parameters: Measurements at Morro do Cachimbo Station". *J Geophys Res* 2004; 109: 1105-11:
- [16] Berger G; Hadaji R; "Lightning attachment physics". *International Symposium on Lightning Protection* 5. 1999.
- [17] Darveniza, M., "The placement of air terminals to intercept lightning in accordance with standards – Revisited", *Proc. 26th ICLP, Cracow, Poland*, pp. 803-808, 2002.
- [18] Tobias, J. et al, "The basis of Lightning Protection Technology", *Report of the Federal Interagency Lightning Protection User Group*, June 2001.
- [19] Tobias, J. "The Basis of Conventional Lightning Protection Systems" *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 40, NO. 4, pp. 958-962. Jul/Aug 2004
- [20] Golde, R.H. (ed.), "Lightning. Vol II: Lightning Protection", Academic Press, N.Y, 1977.
- [21] CIGRE Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltages and Insulation Coordination), "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines," CIGRE Brochure 63, 1991.
- [22] CIGRE Working Group 01 (Lightning) of Study Committee 33 (Overvoltage and Insulation Coordination), "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines," CIGRE Brochure 63, 1991.
- [23] V.Cooray, V. Rakov, N. Theethayi. "The lightning striking distance—Revisited". *Journal of Electrostatics* 65 (2007) 296–306.
- [24] NF C17-100. "Protection contre la foudre. Installations de paratonnerres" Feb.1987
- [25] M. Becerra, V. Cooray, "On the velocity of lightning upward connecting positive leaders" IX SIPDA. Nov. 2007, Brazil
- [26] M. Miki, T. Miki, A. Asakawa, and T. Shindo, "Characteristics of negative upward stepped leaders in positive upward lightning", ICAE 2014 Conference, Norman OK, O-03-04 (Jun. 2014)
- [27] D. Wang et al. "Lightning Attachment Process Parameters Measured by Using LAPOS". 33th ICLP. Portugal. 2016
- [28] UNE 21186:1996. "Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals". 1996
- [29] V. Pomar, S. Polo, S. Fauveaux. "Effectiveness of worldwide existing ESE lightning Protection Systems manufactured in Europe". *International Lightning Protection Association (ILPA). ILPS 2011.*
- [30] R.Kithil; "Lightning's social and economic costs".*International Aerospace and Ground Conference*. Sept 1995.
- [31] McEachron, K.B., "Lightning Protection since Franklin's Day", *J. Frankl. Inst.*, 253, pp. 441-470, 1952.
- [32] Petrov, N.I. & D'Alessandro, F., "Assessment of protection system positioning and models using observations of lightning strikes to structures", *Proc. Roy. Soc. Lond. A*, 458, pp. 723-742, 2002.
- [33] Polo, S; Pomar, V. Llovera, P. "Effectiveness empirical study on Early Streamer Emission lightning protection installations in Spain", *ILPS 2011.*