

Dynamická blesková koule

Výpočet pravděpodobnosti pro údery blesku do budovy

z německého originálu časopisu *de*, 13–14/2010, vydavatelství Hüthig & Pflaum Verlag GmbH München, upravil Ing. Josef Košťál, redakce Elektro

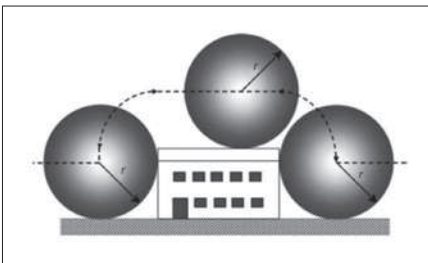
Tento příspěvek, ve kterém je metoda dynamické bleskové koule pravděpodobně poprvé představována široké odborné veřejnosti, by měl ukázat, že lze již s relativně malým počtem jímacích tyčí realizovat velmi účinnou jímací soustavu. V porovnání s klasickou metodou bleskové koule, která je zakotvena v normách, je možné počet jímacích tyčí v některých případech značně snížit. Samozřejmě, že stále dál platí pro projektanty jako standard klasická metoda bleskové koule.

Projektování jímacích zařízení systémů ochrany před bleskem pro stavební objekty lze realizovat podle třech základních metod, které jsou popsány jak v mezinárodních (IEC 62305-1:2006, IEC 62305-3:2006), tak

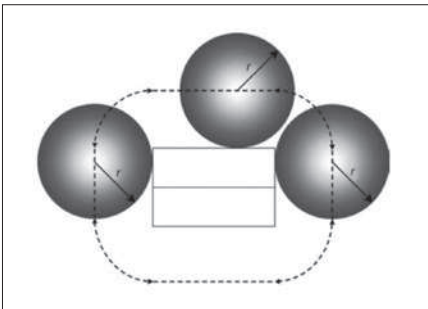
- metoda bleskové koule (elektrogeometrický model),
- z toho odvozená: metoda ochranného úhlu,
- z toho odvozená: síťová metoda pro rovné střešní plochy.

Rozlišují se s ohledem na metodu bleskové koule podle aplikovaného poloměru bleskové koule, který se pohybuje podle třídy ochrany před bleskem od 20 do 60 m.

Poloměrem bleskové koule se kryjí různé nejmenší vrcholové hodnoty přirozených bleskových výbojů, tj. bleskové koule s menšími poloměry se mohou v zásadě vedle jímacích zařízení, které jsou projektovány podle ČSN EN 62305-3, ještě dotýkat chráněné budovy. Mohou tam tedy ještě udeřit proudově slabší blesky.

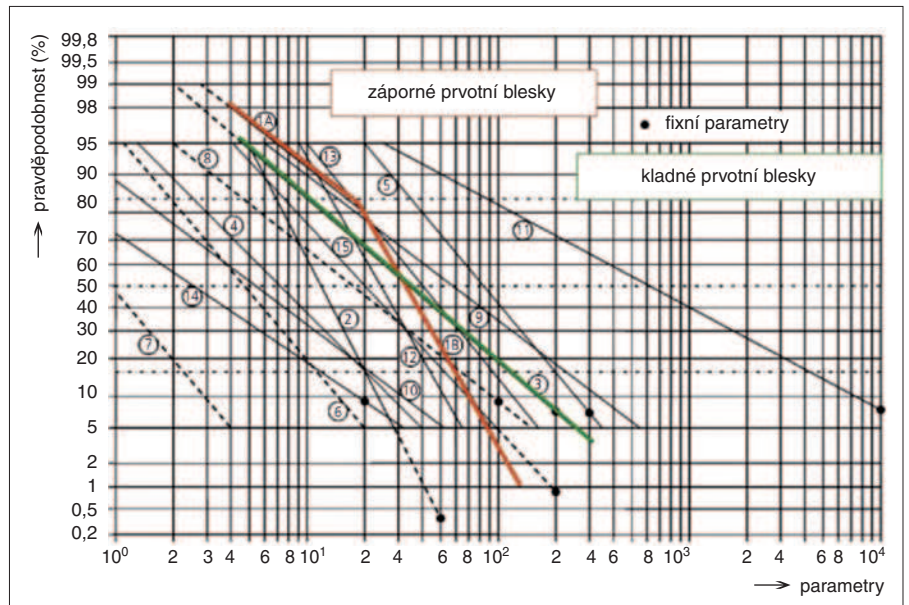


Obr. 1. Budova chráněná metodou bleskové koule (blesková koule s poloměrem r) – pohled z boku



Obr. 2. Budova chráněná metodou bleskové koule (blesková koule s poloměrem r) – pohled shora na střeše

v národních normách pro ochranu před bleskem (ČSN EN 62305-1 ed. 2:2011¹⁾ *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy* a ČSN EN 62305-3:2006²⁾ *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a nebezpečí života*;



Obr. 3. Rozdělení celkové četnosti parametrů bleskového proudu

Klasická metoda bleskové koule

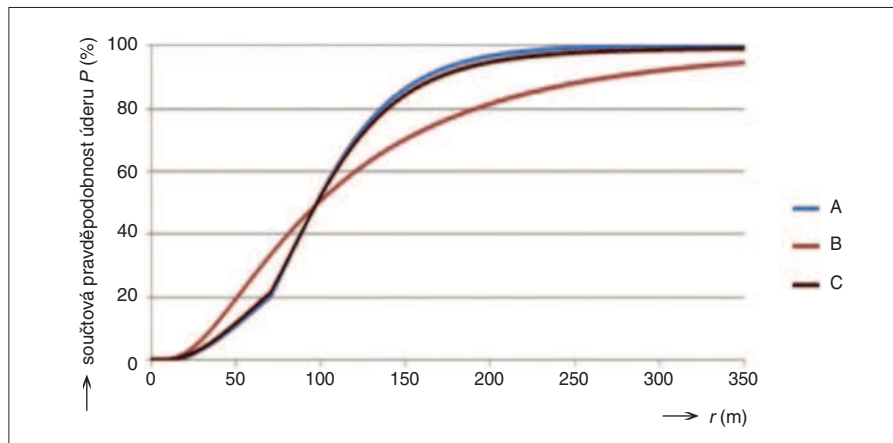
Metoda bleskové koule je základní projektová metoda. Je známa již mnoho let a je vyzkoušená a osvědčená. Pro různé požadavky na systém ochrany před bleskem jsou definovány čtyři ochranné úrovně (PL – *Protection Level*) – viz ČSN EN 62305-1 ed. 2 a na základě toho vytvořené čtyři třídy ochrany před bleskem LPS I až IV (LPS – *Lightning Protection System*) – viz ČSN EN 62305-3.

Při projektování bleskové koule jsou tak získána různá místa možných úderů blesků, na která se umísťují jímací zařízení. Není zde však obsažena žádná informace o pravděpodobnosti úderu blesku do těchto jednotlivých míst.

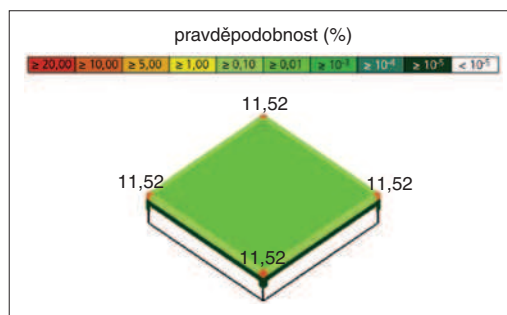
Při pozorování jednoduché budovy ve tvaru kvádra (obr. 1 a obr. 2) lze zjistit, že polohováním bleskové koule může být přiřazen na vodorovné ploše střešky každému potenciálnímu místu úderu blesku vždy jen jeden

¹⁾ ČSN EN 62305-1 ed. 2. Tato část IEC 62305 poskytuje obecné principy, které by měly být respektovány při ochraně staveb před bleskem, včetně jejich instalací a obsahu, stejně jako osob. Tato norma není určena pro železniční systémy, dopravní prostředky, lodě, letadla, námořní instalace, podzemní vysokotlaká potrubí, silnoproudá elektrická a telekomunikační vedení, která nejsou připojena ke stavbám (tyto systémy obvykle podléhají zvláštním předpisům vydávaným různými konkrétními orgány).

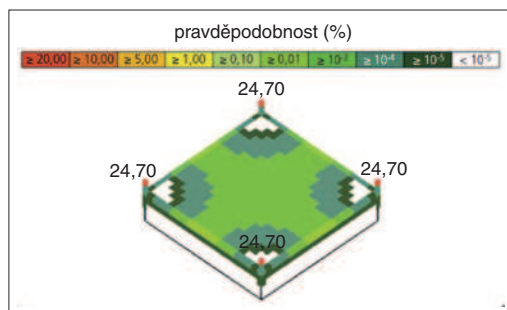
²⁾ ČSN EN 62305-3. Tato část IEC 62305 obsahuje požadavky na ochranu staveb před hmotnými škodami pomocí systému ochrany před bleskem (LPS – *Lightning Protection System*) a pro ochranu proti úrazu živých bytostí dotýkovým a krokovým napětím v blízkosti LPS. Tato norma platí jednak pro projektování, instalaci, revizi a údržbu LPS pro stavby bez omezení s hledem na jejich výšku, jednak pro dosažení ochranných opatření proti úrazu živých bytostí dotýkovými a krokovými napětími.



Obr. 4. Rozdělení celkové četnosti poloměrů bleskové koule podle (1)
Příklad: S poloměrem bleskové koule $r = 150$ m je pokryto ca 85 % všech přirozených bleskových výbojů (rozdělení C); pouze 15 % všech bleskových výbojů má větší poloměr bleskové koule



Obr. 5. Pravděpodobnost úderu blesku pro vzorovou budovu A (plochá střecha 40×40 m, výška 10 m) bez jímacích zařízení



Obr. 6. Pravděpodobnost úderu blesku pro vzorovou budovu B (plochá střecha 40×40 m, výška 10 m) se čtyřmi jímacími tyčemi (výška 4 m) v rozích

střed bleskové koule, zatímco na hranách a rozích střechy se může blesková koule převalovat o 90° . Toto převalování má za následek, že je přiřazeno příslušnému potenciálnímu místu úderu blesku na hraně, avšak především na rohu střechy, podstatně více středů bleskové koule.

Vychází-li se ale z metody bleskové koule, představují jak plochá střecha, tak také hrany a rohy střechy potenciální místa úderů blesků, která je třeba chránit jímacími zařízeními. Toto konstatování je učiněno bez zahrnutí skutečnosti, že úder blesku do hrany a rohu střechy je podstatně pravděpodobnější než úder do vnitřního prostoru ploché střechy.

Dynamizace metody bleskové koule

Metoda, která je zde prezentována, vztahuje pravděpodobnost úderu blesku na konkrétní místo. Tímto způsobem lze jednotlivé ohrožené oblasti lépe porovnávat. Dynamická blesková koule nepracuje na rozdíl od klasické metody bleskové koule s konstantními poloměry, ale spíše s proměnlivým poloměrem bleskové koule. Přitom jsou spolu spojeny dále uvedené, v normách o ochraně před bleskem obsažené bleskově-fyzikální základy a matematické úvahy.

V příloze A normy ČSN EN 62305-1 jsou na obr. A.5 uvedena rozdělení celkové četnosti vrcholových hodnot přirozených bleskových výbojů (obr. 3). Jsou zde zohledněna rozdělení vrcholových hodnot bleskových proudů pro prvotní blesky (křivky 1A/1B) a pro kladné prvotní blesky (křivka 3). Obě tato rozdělení jsou váhově sloučena do společného rozdělení, přičemž podle ČSN EN 62305-1 se vychází z toho, že 90 % přirozených bleskových výbojů má zápornou polaritu a jen 10 % kladnou polaritu. Z těchto rozdělení vyplývá tedy pravděpodobnost, že přirozený prvotní blesk bude vykazovat minimálně přiřazenou vrcholovou hodnotu bleskového proudu.

Podle elektrogeometrického modelu lze každé vrcholové hodnotě bleskového proudu přiřadit délku koncové průrazné dráhy (viz rovnice A.1 přílohy A normy ČSN EN 62305-1):

$$r = 10I^{0,65} \quad (1)$$

kde

r je délka koncové průrazné dráhy (= poloměru bleskové koule) v m,
 I vrcholová hodnota bleskového proudu v kA.

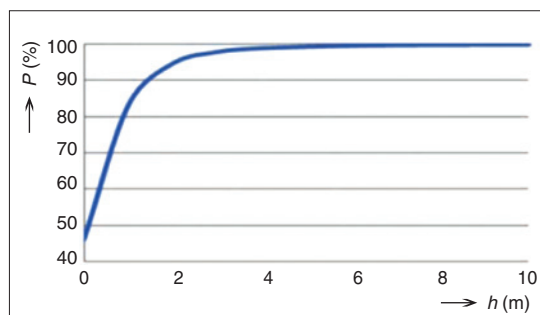
Z rozdělení celkové četnosti podle obr. 3 lze nyní pomocí (1) vypočítat pravděpodobnost pro určitou délku koncové průrazné dráhy, a tím poloměr bleskové koule. Z obr. 4 je patrné, s jakou pravděpodobností kryje daná hodnota určitý poloměr bleskové koule.

Graf na obr. 4 obsahuje tato rozdělení:

- A: pouze záporné prvotní blesky,
- B: pouze kladné prvotní blesky,
- C: záporné prvotní blesky a kladné prvotní blesky v procentuálním poměru 90 : 10.

Celkový povrch chráněného stavebního objektu, včetně jímacích zařízení systému ochrany před bleskem (např. jímací tyče) se prostorově diskretizuje do povrchových bodů.

Prostor nad a po stranách stavebního objektu se rovněž diskretizuje do objemových bodů. Pomocí jednoduché geometrické metody se nyní ke každému objemovému bodu



Obr. 7. Vzorová budova B - součtová pravděpodobnost úderu P do čtyř jímacích tyčí v závislosti na jejich výšce h (m)

stanoví nejbližší položený povrchový bod. Touto matematickou metodou se zde podrobněji zabývat nebudeme. Nicméně výsledkem jsou konkrétní pravděpodobnosti úderu (zásahu) povrchových bodů chráněného stavebního objektu a konečné hodnoty pravděpodobnosti, které se normují na celkovou pravděpodobnost 100 % pro celý stavební objekt.

První příklady použití

Pro zjednodušení jsou zde jako příklady použití definovány tři základní vzorové budovy:

- jednoduchá budova A: výška 10 m, střešní plocha 40×40 m, bez jímacího zařízení;
- jednoduchá budova B: výška 10 m, střešní plocha 40×40 m, čtyři jímací tyče v rozích střechy;
- jednoduchá budova C: výška 10 m, střešní plocha 40×40 m, centrální jímací tyč ve středu střechy.

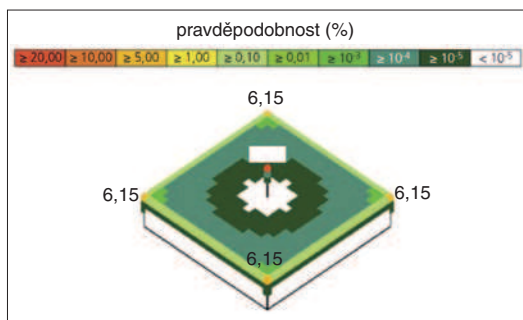
Budova A bez jímacího zařízení

Na obr. 5 je znázorněna vzorová budova A bez jímacích zařízení, resp. se zasmyčkovanou sítí jímacího zařízení pro ploché střechy. Existence takového jímacího zařízení neovlivňuje pravděpodobnost úderu (zásahu) blesku. Z výpočtu vyplývá součtová pravděpodobnost úderu pro všechny čtyři rohy

střechy ca 46 % (tj. na každý roh ca 11,5 %). Podle klasické metody valivé bleskové koule musí ochranný systém chránit střechu proti úderu blesku všude stejně. Z obr. 5 je ale zřejmé, že jsou pravděpodobnosti úderu blesku na střeše rozděleny všelijak, jen ne rovnoměrně. Toto je zvláště patrné na rozích střechy.

Budova B se čtyřmi jímacími tyčemi v rozích střechy

Na obr. 6 je zobrazena situace se vzorovou budovou B, která má stejné parametry jako vzorová budova A, ale je chráněna v rozích čtyřmi stejně vysokými (4 m) jímacími



Obr. 8. Pravděpodobnost úderu blesku pro vzorovou budovu C (plocha střechy 40 × 40 m, výška 10 m) s jednou centrální jímací tyčí umístěnou ve středu střechy

tyčemi. Součtové hodnoty těchto čtyř jímacích tyčí dávají pravděpodobnost úderu 99 % (tj. na každou jímací tyč 24,7 %).

V porovnání s obr. 5 je zde patrná obrovská účinnost jímacích tyčí, která zajišťuje téměř dokonalou ochranu střechy před blesky. Systém ochrany před bleskem s pravděpodobností 99 % zachycení všech blesků odpovídá systému ochrany před bleskem (LPS – Lightning Protection System) třídy I. Navíc platí, že tyto čtyři jímací tyče budou tím účinnější, čím větší budou vrcholové hodnoty bleskového proudu. Vnitřní část střechy tak mohou dosáhnout pouze relativně malé bleskové proudy, které ve skutečnosti mohou mít jen velmi slabé rušivé účinky.

Při posuzování těchto čtyř jímacích tyčí umístěných v rozích střechy podle klasické metody bleskové koule a za předpokladu, že je splněna podmínka pro třídu ochrany před bleskem LPS I (poloměr bleskové koule 20 m), dotýkají se bleskové koule střechy již ve vzdálenosti 12 m. Proto by musely být další oblasti střechy (přibližně 1 200 m², což odpovídá asi 75 % plochy střechy) chráněny dalšími jímacími zařízeními (jímacími tyčemi nebo jímacími vedeními). Informace, že pravděpodobnost úderu blesku do těchto jímacích zařízení je asi 1 %, v klasické metodě projektování ochrany před bleskem chybí.

Nakonec byla měněna výška jímacích tyčí na těchto čtyřech rozích v rozmezí 0 až 10 m. Jak je patrné z obr. 7, již při výšce 2 m udeří 95 % všech blesků do jímacích tyčí. Od výšky 4 m je pravděpodobnost úderu větší než 99 %, takže další zvětšování výšky jímacích

tyčí má již jen zanedbatelný vliv na zlepšení jejich účinnosti (dalším zvětšováním výšky jímacích tyčí se docílí již jen zanedbatelného zlepšení jejich účinnosti).

Budova C s centrální jímací tyčí

Na obr. 8 je znázorněna vzorová budova C, která je chráněna jednou jímací tyčí umístěnou ve středu střechy. Přestože má tato centrální jímací tyč výšku 10 m, pohybuje se u ní hodnota pravděpodobnosti úderu blesku pouze okolo 65 %. Čtyři rohy střechy mají součtovou pravděpodobnost přibližně 24 % (tj. 6,1 % na každý roh).

Je-li měněna výška této centrální jímací tyče, dosáhne se 50% pravděpodobnosti zachycení blesku při hodnotě ca 8 m (obr. 9). Teprve při nastavení výšky 20 m, která je však v praxi značně nereálná, je dosaženo přibližně 95% pravděpodobnosti, že do této tyče udeří všechny blesky. Účinnost lze znatelně zlepšit, zahrnou-li se do této koncepce také všechny rohy. Umístí-li se např. do středu střechy 10m centrální jímací tyč a k tomu ještě do rohů malé jímací tyče, lze docílit pravděpodobnosti zachycení všech blesků vyšší než 91 % – toto uspořádání by odpovídalo požadavkům na systém ochrany před bleskem třídy III.

V celkovém výsledku je ochrana před bleskem krátkými jímacími tyčemi umístěnými v rozích střechy podstatně účinnější než ochrana jednou extrémně vysokou jímací tyčí umístěnou ve středu střechy.

Komplexní budovy

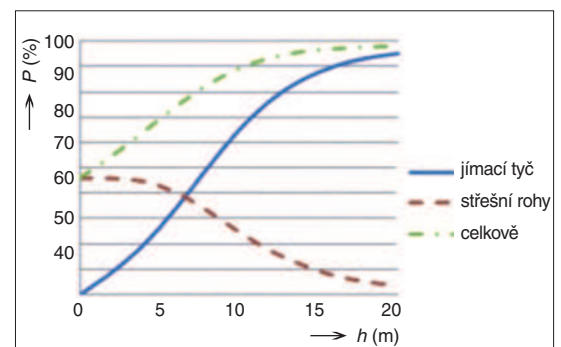
Tato metoda se dá aplikovat také na libovolnou geometrii budovy. Na obr. 10 je zobrazena komplexní geometrie areálu budov (délky, šířky a výšky jsou uváděny v metrech). Předpokládá se, že pro tento areál je požadována třída ochrany před bleskem III, pro kterou platí pravděpodobnost zachycení blesků 91 %, tzn., že 91 % všech úderů blesku do areálu budov musí být zachyceno jímacími zařízeními. Na obr. 10 je znázorněno pro tuto situaci jedno z možných řešení. S použitím pouhých osmi dvou metrových jímacích tyčí (čtyři na každém rohu nejvyšších bloků areálu – na obr. vpravo vzhledu, další čtyři na každém rohu střešní nástavby – vlevo vpredu) lze zachytit dokonce asi 94 % všech úderů blesku.

Jako doplnění k této situaci jsou na obr. 11 zobrazeny maximální průměry bleskové koule a maximální vrcholové hodnoty bleskového proudu, které by se mohly ještě vyskytnout na různých místech budovy. Přitom si zvláštění pozornost zaslouží především nechráněné

oblasti areálu budov. Je patrné, že vedle jímacích zařízení mohou udeřit opět pouze relativně malé, tj. proudově slabé blesky, které mohou v případě úderu způsobit jen nepatrné škody.

Dají-li se dohromady informace z obr. 10 a obr. 11, lze dále snadno a rychle vylepšit pravděpodobnost úderu blesku jímacích zařízení. Čtyři doplňkové jímací tyče na čtyřech ještě nechráněných rozích areálu, na kterých má pravděpodobnost úderu blesku hodnotu ještě větší než 0,1 %, a dvě další jímací tyče na středové ose střechy nejvyššího bloku budov vpravo vzhledu, kde podle obr. 11 je třeba počítat ještě s vrcholovými hodnotami bleskového proudu většími než 40 kA, zvýší celkovou pravděpodobnost úderu blesku na hodnotu přesahující 99 %. Tato konfigurace by dokonce splňovala požadavky systému ochrany před bleskem (LPS) třídy I.

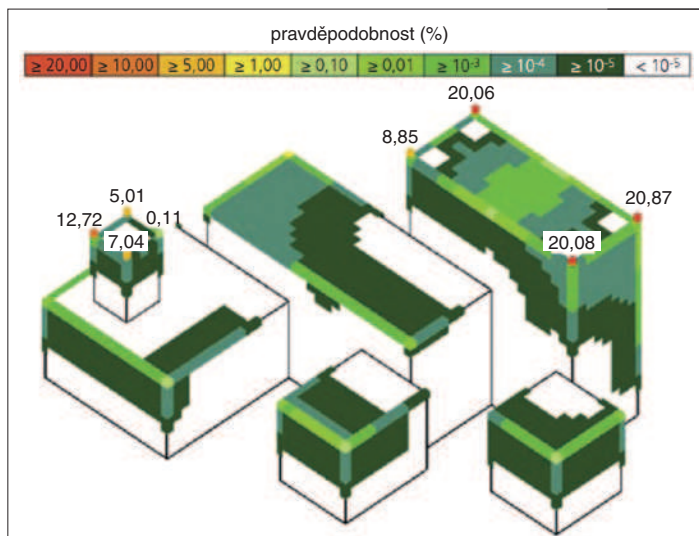
Závěrem je třeba říci, že jímacích zařízení projektovaná podle metody dynamické bleskové koule jsou umísťována pouze podle kritéria pravděpodobnosti úderu blesku. Systém ochrany před bleskem může mít ale také další kritéria, která bude třeba v konkrétním případě splnit. Tak by mohl vzniknout požadavek na instalování dalších jímacích zařízení např. z důvodu ochrany před bleskem pospojováním, dostatečného rozdělení bleskového proudu nebo snížení magneticky indukovaných napětí ve smyčkách.



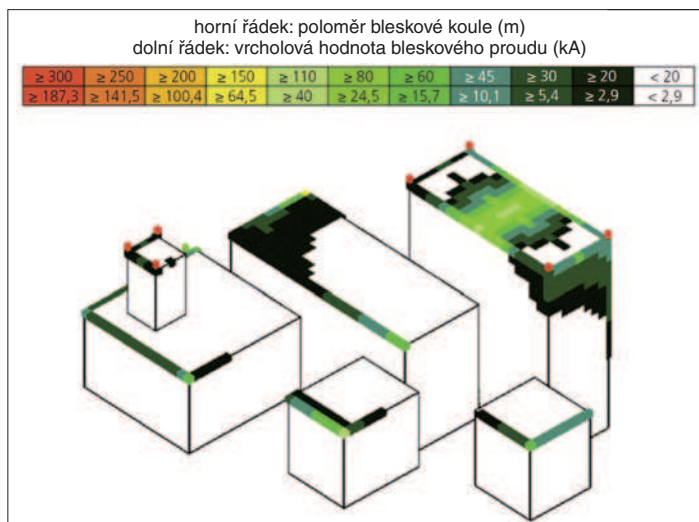
Obr. 9. Vzorová budova C – pravděpodobnosti úderu P pro jednu jímací tyč výšky h, pro součet čtyř rohů střechy a jako celková hodnota pro obě předchozí oblasti

Závěrečné poznámky

Pomocí metody dynamické bleskové koule lze ukázat, že jde realizovat s relativně malým počtem jímacích tyčí ještě účinnější systém jímacích zařízení než podle klasické metody. Oproti klasické metodě bleskové koule, která je popisována v IEC 62305-3:2006, resp. v ČSN EN 62305-3, lze u metody dynamické bleskové koule výrazně snížit počet jímacích tyčí. Důvodem je skutečnost, že klasická metoda bleskové koule je koncipována velmi konzervativně a projektantovi systémů ochrany před bleskem ukazuje všechna možná místa pro úder blesku, avšak bez dalšího bližšího hodnocení v podobě pravděpodobnosti úderu blesku. Na druhé straně toto zna-



Obr. 10. Příklad uspořádání jímácích zařízení (osm jímácích tyčí) na komplexní geometrii areálu budov – údaje pravděpodobnosti úderu blesku



Obr. 11. Příklad uspořádání jímácích zařízení (osm jímácích tyčí) na komplexní geometrii areálu budov – údaje maximálních poloměrů bleskové koule a maximálních vrcholových hodnot bleskového proudu

mená, že projektant, který aplikuje klasickou metodu bleskové koule, bude mít vždy jistotu standardního řešení ochrany před bleskem.

Dynamická metoda bleskové koule však nyní poskytuje projektantovi řešení právě u geometricky komplexních systémů budov, které umožňuje velmi cílené umístění jímácích zařízení (zvláště jímácích tyčí) tam, kde je jich právě třeba. Tak se lze vyhnout použití velkého počtu jímácích tyčí, které jsou z části zbytečné pro docílení stejného ochranného účinku. Ušetřený kapitál lze investovat do jiných ochranných opatření (např. do přepěťových ochranných apod.).

Výsledky zde popisovaných šetření mohou také napomoci lepšímu chápání často kladené otázky: „Jak účinné jsou vlastně nekonvenční jímácí zařízení ESE, tzv. aktivní hromosvody?“ Zastánci systému ESE (Early Streamer Emission, urychlené vyvolání vstřícného výboje) často argumentují tím, že funkčnost této metody je dostatečně a přímo prokázána velkým počtem instalací těchto systémů a (údajně) nepatrným počtem selhání v zachycování blesků. Tento nepatrný počet selhání je však pochopitelný při pohledu na instalace jímácích zařízení ESE. Jde o vysoké jímácí tyče umísťované na nejvyšších místech stavebních objektů, tedy tam, kde existují také zásadně velké pravděpodobnosti úderu blesku pro bleskové výboje s velkou intenzitou proudu. V těchto místech fungují podle současného aktuálního pojetí mezinárodní technické komise IEC TC 81 stejně jako klasické (Franklinovy) jímácí tyče, a to i bez použití účinné předionizace, tedy bez bleskového spouštěcího efektu. Bylo by tak možné tato jímácí zařízení ESE nahradit jednoduše Franklinovými jímácími tyčemi, aniž by se snížila účinnost této ochrany.

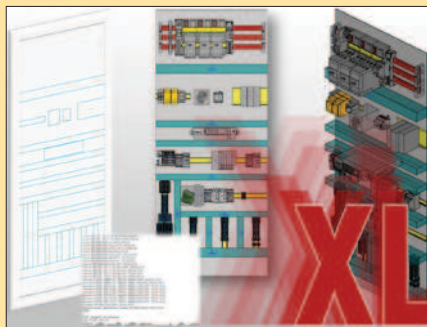
☒

www.odbornecasopisy.cz

**nové webové stránky
s vylepšeným vyhledávačem
a možností stahovat články v PDF**



■ **Zcela přepracovaný EPLAN Pro Panel.** Nová verze programu EPLAN Pro Panel měla svoji premiéru na veletrhu Hannover Messe. Konstrukce, návrh osazení ve 3D, výroba a montáž jsou tak spojeny do jednoho integrovaného softwaru. Interdisciplinární inženýrský nástroj respektuje specifické požadavky všech odvětví průmyslu, jeho výhody ocení automatizační technici stejně jako strojní inženýři nebo technici z oblasti procesní výroby. Integrovaný program zahrnuje konstrukci, prostorový (3D) návrh osazení, výrobu i montáž v jednotné databázi. Klíčovým slovem, sjednocujícím všechny části



EPLAN Platform, je integrace. V návrhu osazení rozváděče mohou být začleněny elektrické i tekutinové komponenty,

a to bez potřeby manuální synchronizace dat. Integrace pokračuje výrobou, montáží a zapojením kabelů. K snadnému průběhu prací v celém procesu konstrukce a vývoje přispívají mj. přímý přenos dat do NC strojů, návrh vedení přípojnic, kabelových žlabů a příprava kabelů. Vytvoření kabelové sítě a propojení jsou intuitivní. Významnou novinkou je rozhraní pro nový systém Rittal Therm 6.1, inženýrský nástroj pro navrhování a dimenzování topení, chlazení a klimatizace. Konfigurator určí, který z přístrojů se má použít, zkompileje data a přenesení je do kusu v systému EPLAN.

aktuality