

Ochrana objektu před bleskem a jeho účinky

Zdeněk Vítek

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdeněk Vitek**

Osobní číslo: **A11631**

Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Ochrana objektu před bleskem a jeho účinky**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte podrobně problematiku blesku a ochrany před jeho účinky.
2. Popište druhy blesků a jejich odlišnosti.
3. Na základě zjištěného popište historický vývoj ochrany před účinky blesku.
4. Podrobně popište aktuálně používaný princip ochrany před bleskem, včetně jednotlivých funkčních celků.
5. Zabývejte se taktéž legislativou související s touto problematikou.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KUTÁČ, Jiří a Ján MERAŤ. Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců. 1. vyd. Praha, Trenčín: SPBI Ostrava, 2010. ISBN 978-80-7385-081-4.
2. BURANT, Jiří. Blesk a přepětí: Systémová řešení ochran. Praha: FCC Public s.r.o., 2006. ISBN 80-86534-10-3.
3. KLIMŠA, David. Vnější a vnitřní ochrana před bleskem. 1. vyd. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 2009. Dílenská příručka. ISBN 978-80-86230-48-1.
4. KUTÁČ, Jiří, Zdeněk ROUS a Zdeněk HLADNÝ. Hromosvody a zemniče. 2. přepracované vydání. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 2008. Dílenská příručka. ISBN 978-80-86230-48-1.
5. HÁJEK, Jan a Dalibor ŠALANSKÝ. První elektronická knižka o ochraně před bleskem [online]. 2008 [cit. 2014-01-27]. 2.1. Dostupné z: www.kniska.eu
6. ČSN EN 62305-1. Ochrana před bleskem: Část 1: Obecné principy. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
7. ČSN EN 62305-2. Ochrana před bleskem: Část 2: Řízení rizika. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

7. března 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. června 2014

Ve Zlíně dne 7. března 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku ochrany objektů před účinky blesku a přepětí. Úvodní část popisuje vznik, parametry a účinky bleskového výboje. Dále přináší pohled na historický vývoj ochrany před bleskem a na významné osobnosti zabývající se touto problematikou. Rozebrány jsou jednotlivé části systému ochrany před bleskem. Podrobně jsou popsány systémy, které se v současnosti používají. Zmíněna je legislativa (zákony, vyhlášky) a technické normy tohoto oboru. V praktické části je navržena ochrana konkrétního objektu před bleskem a přepětím dle aktuálně platných právních předpisů a technických norem.

Klíčová slova: blesk, přepětí, ochrana před bleskem, svodiče přepětí, řízení rizika, normy

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the issue of protection against lightning and overvoltage. The first chapter describes the origin, parameters and effects of lightning discharge. Furthermore, it brings a view on a historical development of a protection against lightning and important personalities in this field. The thesis also analyses single parts of a protection against lightning. Systems commonly used today are described in detail. Work mentions related legislation (laws, regulations) and technical standards. The practical part designs the protection against lightning and overvoltage for concrete building according to currently valid regulations and technical standards.

Keywords: lightning, overvoltage, lightning protection, surge protective device, risk management, standards

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytl při jejím vypracování.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 VZNIK A ÚČINKY BLESKU.....	11
1.1 VZNIK BLESKU.....	11
1.1.1 Základní druhy bleskových výbojů.....	14
1.1.2 Rozdělení blesků dle vzhledu.....	15
1.1.3 Monitoring bleskových výbojů.....	15
1.2 ÚČINKY PROUDU BLESKOVÉHO VÝBOJE.....	16
1.2.1 Parametry bleskových proudů.....	18
1.2.2 Hladiny ochrany před bleskem.....	22
1.3 ŠKODY A ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ RŮZNYMI TYPY ÚDERŮ BLESKU, VÝPOČET RIZIKA A OCHRANNÁ OPATŘENÍ.....	23
1.3.1 Ochranná opatření pro snížení rizika poškození.....	27
2 HISTORICKÝ VÝVOJ OCHRANY PŘED ÚČINKY BLESKU.....	28
2.1 PROKOP DIVIŠ.....	29
2.2 BENJAMIN FRANKLIN.....	30
2.3 DALŠÍ RANÍ BADATELÉ.....	30
3 AKTUÁLNĚ POUŽÍVANÉ PRINCIPY OCHRANY PŘED BLESKEM.....	31
3.1 VNĚJŠÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM – HROMOSVOD.....	32
3.1.1 Jímací soustava.....	33
3.1.2 Svody.....	36
3.1.3 Uzemňovací soustava.....	39
3.1.4 Ekvipotenciální pospojování.....	41
3.1.5 Vnější izolovaný (oddálený) hromosvod.....	43
3.1.6 Vnější neizolovaný (neoddálený) hromosvod.....	44
3.2 VNITŘNÍ SYSTÉM OCHRANY PŘED BLESKEM.....	45
3.2.1 Ekvipotenciální pospojování proti blesku.....	45
3.2.2 Dostatečná vzdálenost – elektrická izolace od hromosvodu.....	46
3.3 OCHRANA PŘED ELEKTROMAGNETICKÝM IMPULZEM.....	48
3.3.1 Základní ochranná opatření.....	51
3.3.2 Přepětíová ochrana.....	53
3.3.3 Obecná pravidla připojení.....	54
3.4 AKTIVNÍ HROMOSVODY.....	56
3.4.1 Objev včasné emise vstřičného výboje.....	57
3.4.2 Princip činnosti jímačů s včasnou emisí vstřičného výboje.....	58
3.4.3 Co přináší použití aktivních hromosvodů.....	60
3.4.4 Budoucnost hromosvodů.....	62
4 LEGISLATIVA V OCHRANĚ PŘED BLESKEM A PŘEPĚTÍM.....	62

4.1	ZÁKONY, VYHLÁŠKY A NAŘÍZENÍ VLÁDY.....	62
4.2	TECHNICKÉ NORMY.....	63
4.3	JE POVINNOST INSTALOVAT NA STAVBU OCHRANU PŘED BLESKEM?.....	66
4.4	LEGISLATIVA SPOJENÁ S JÍMAČI S VČASNOU EMISÍ VSTRÍCNÉHO VÝBOJE.....	67
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	70
5	POPIS OBJEKTU.....	71
5.1	VÝPOČET RIZIKA.....	72
5.2	ČÍSELNÝ VÝPOČET RIZIKA.....	73
5.3	VNĚJŠÍ OCHRANA OBJEKTU PŘED BLESKEM.....	82
5.4	VNITŘNÍ OCHRANA OBJEKTU PŘED BLESKEM.....	87
	ZÁVĚR.....	94
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	95
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	97
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	102
	SEZNAM TABULEK.....	104

ÚVOD

Blesk jako přírodní úkaz doprovází lidstvo od jeho počátků. Dá se říci, že mu byl i dobrým pomocníkem, neboť od něj člověk zřejmě získal oheň. [23] Dnes s rozvojem elektrotechniky, zejména polovodičové, a později s nástupem výpočetní a telekomunikační techniky narůstá oblast zařízení ohrožených úderem blesku nebo jeho vedlejšími účinky. Vystává zde požadavek na funkčnost, spolehlivost strojů a zařízení, na kvalitu poskytovaných služeb či trvalou dostupnost spojení pokud možno za všech podmínek. Význam ohrožení účinkem bleskového výboje, a to jak přímým úderem, tak přepětím způsobeným vzdálených úderem, zřejmě narůstá s existencí globálního oteplování, kdy s rostoucí teplotou planety dochází k větší bouřkové činnosti. [24]

Praxe ukázala, že ochrana před bleskem koncipovaná na přelomu 60. a 70. let již nevyhovuje dnešnímu stupni rozvoje techniky. V roce 2006 proto v ČR vstupuje v platnost nový soubor norem ČSN EN 62305 Ochrana před bleskem. Vychází z nejnovějších vědeckých poznatků o chování blesku, a zavedením nových metod a postupů staví ochranu před bleskem na kvalitativně vyšší úroveň.

Bakalářská práce přibližuje základy moderního pojetí bleskového výboje [2] a nejnovější poznatky ochrany před ním. Bez těchto znalostí není možné navrhnout funkční a spolehlivý systém ochrany před bleskem a přepětím. Předkládaná práce se snaží svým rozsahem poskytnout ucelený pohled na problematiku ochrany před bleskem a přepětím, což může být užitečné např. pro elektrikáře či elektromontéry.

I. TEORETICKÁ ČÁST

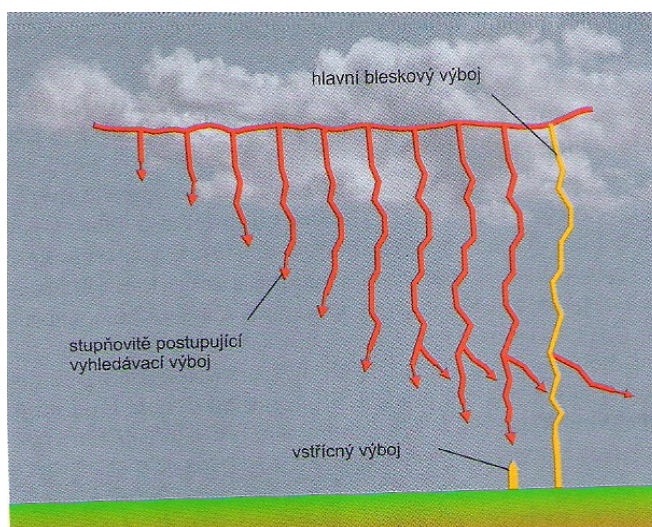
1 VZNIK A ÚČINKY BLESKU

1.1 Vznik blesku

Blesky vznikají uvnitř mraku, mezi mraky, mezi mrakem a zemí. Tento popis se týká většího negativního výboje mrak – země.

Po dosažení intenzity elektrického pole mezi mrakem a zemí 0,5 – 10 kV/m se začíná postupně vytvářet atmosférický výboj. Kritickou hodnotu intenzity ovlivňují především místní dielektrické vlastnosti ovzduší. [2]

Od oblasti záporného náboje ve spodní části mraku je vytvořen ionizací částic vzduchu kanál blesku s tenkým vodivým jádrem, který se stupňovitě blíží k zemskému povrchu. Postupuje asi po 50 metrech s prodlevami mezi jednotlivými kroky asi 50 μ s. Ve vzdálenosti několika desítek metrů od povrchu dochází v místech s vyšším gradientem intenzity elektrického pole k překročení kritické hodnoty elektrické pevnosti vzduchu a z povrchu země začne postupovat opačným směrem tzv. vstřícný výboj. Po jeho spojení s kanálem blesku vznikne celistvá vodivá dráha, po níž postupuje rychlostí blízkou rychlosti světla vstřícný výboj dále vzhůru. Vytváří se vodivý ionizovaný kanál o průměru asi 5 cm v němž dochází k extrémnímu nárůstu proudové hustoty a tedy i teploty, která dosahuje 20 000 – 30 000 °C. Takto se postupně rozvíjí tzv. hlavní bleskový výboj dosahující maxima proudu asi po 50 μ s při době trvání okolo 250 μ s. Při vytváření kanálu blesku postupuje vždy nejdříve tzv. vyhledávací výboj, který vlastně „zkoumá“ nejvodivější dráhu pro další směr rozvoje bleskového výboje [2], jak ukazuje obr. 1.



Obr. 1: Dynamický rozvoj bleskového výboje typu mrak – země [2]

Teplotní extrém v kanále hlavního bleskového výboje je příčinou i dalšího jevu. Výbojem rychle zahřátý vzduch zvýší až stonásobně svůj tlak. Následuje jeho prudké rozpínání, které provází vznik tlakové vlny. Související akustické projevy pak vnímáme jako hrom. [2]

PODSTATA BLESKU

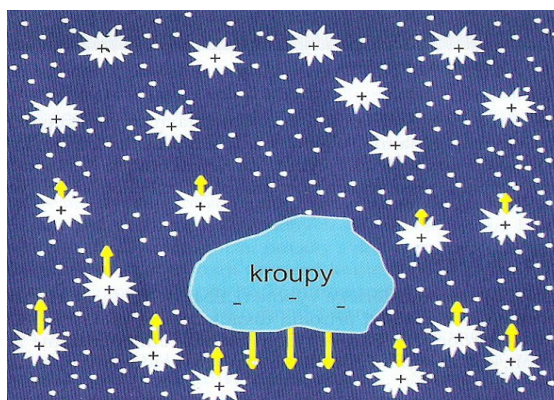
Blesk je silný přírodní elektrostatický výboj o vysokém napětí vznikající v atmosféře během bouřky. Tento bleskový elektrický výboj je doprovázen emisí světla a charakteristickým zvukem hromu.

VZNIK BOUŘKOVÉ AKTIVITY

Blesky vznikají v bouřkových mracích – cumulonimbech (z latiny „dešťový sloupec“). Podle vzniku se rozlišují bouřky:

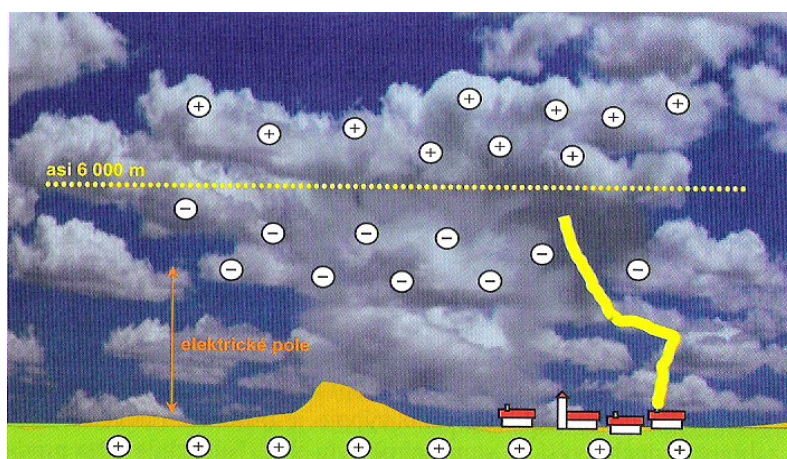
- tepelná bouřka – když se zemský povrch zahřívá slunečním zářením a ohřáté vrstvy vzduchu nad povrchem jako lehčí stoupají vzhůru
- frontální bouřka – při ní následkem postupu studené fronty vytlačuje studený vzduch teplý vzduch směrem nahoru
- orografická bouřka (geografická) – při ní jsou spodní vrstvy teplého vzduchu následkem terénního vyvýšení vytlačovány směrem vzhůru [1]

U všech typů bouřek se vytvoří v mracích bouřkové buňky a stoupající vzduch je ochlazován. Až dosáhne teploty nasycení vodních par, dochází k vytvoření kapek, a při kondenzaci se vzduch znovu ohřeje, takže znovu začíná stoupat. Dalším ochlazováním dochází k poklesu teploty pod nulu, mrznutí znamená nové uvolnění tepla a stoupání vzduchu se dále urychluje až k rychlostem 100 km/h. Přitom dochází ke vzniku a rozdělování elektrických nábojů v kapičkách vody nebo ledu. Kladně nabitě částičky jsou zpravidla „lehčí“ než záporné. To znamená, že se v bouřkovém mraku oddělí oblasti s kladným nábojem nahoře a záporným nábojem uprostřed, což znázorňuje obr. 2. Z fyzikálního hlediska je bouřkový mrak gigantický elektrostatický generátor, kde každá buňka je aktivní asi 30 minut a je schopna produkovat průměrně 2 – 4 blesky za minutu, které vznikají při intenzitě elektrického pole řádově stovky kV/m. [1]



Obr. 2: Typické rozdělení ledových částic a nábojů v bouřkovém mraku [2]

Obr. 3 zobrazuje bouřkový mrak, který se často rozkládá až do výšek přes 10 km, zatímco spodní okraj je 1 – 2 km nad zemí. V horní části buňky se nacházejí kladné náboje na ledových krystalech, zatímco ve spodní části převládají záporné náboje vázané na dešťové kapky. Například mrak o průměru 5 km může obsahovat až 500 000 tun vody. U frontálních a orografických bouřek může být rozložení nábojů odlišné. Vlivem polarizace zledovatělých částic mraku vzniká na zemském povrchu kladný zrcadlový náboj. V případě překročení elektrické pevnosti vzduchu mezi mrakem a zemí pak může dojít ke vzniku vodivého kanálu pro bleskový výboj. [1]



Obr. 3: Rozdělení náboje při negativním výboji mrak – zem [2]

Průměrný počet bouřkových dnů za rok v určité oblasti vyjadřuje tzv. keraunická úroveň. U nás je to 20 – 40 dní. Počet bouřek klesá s rostoucí zeměpisnou šířkou, naopak více je jich v horském terénu a v letních měsících.

1.1.1 Základní druhy bleskových výbojů

Dle směru šíření výboje a polarity bouřkového mraku vzhledem k zemi rozlišujeme tyto druhy bleskových výbojů:

a) negativní sestupný výboj mrak – zem

- tvoří asi 90% všech bleskových výbojů

b) pozitivní sestupný výboj mrak – zem

- oba typy se vyskytují na rovinách a u nízkých budov

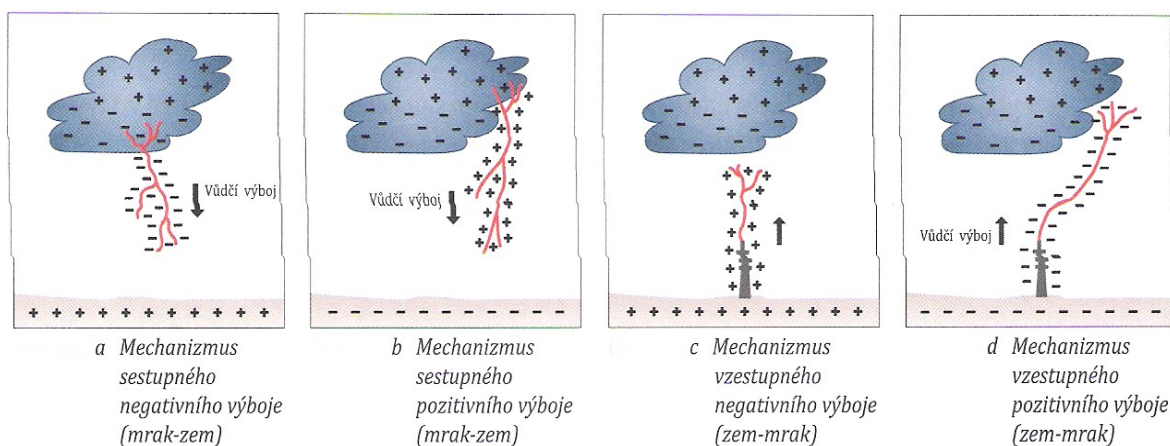
c) negativní vzestupný výboj zem – mrak

d) pozitivní vzestupný výboj mrak – zem

- oba se vyskytují na vysokých kopcích a vysokých budovách

Všechny tyto druhy bleskových výbojů jsou ilustrovány na obr. 4.

Pozitivní výboje tvoří asi 10% z počtu výbojů a v našich geografických podmínkách se s nimi příliš nesetkáváme. Jsou však velmi nebezpečné, neboť jsou proudově silnější než záporné, a trvají desetkrát déle. Přenášejí tedy větší náboj i energii. Jsou nejčastější příčinou lesních požárů. Pozitivní výboje jsou také příčinou tzv. blesku z čistého nebe, kdy blesk udeří v místě, kde vůbec není bouřka.



Obr. 4: Mechanismy bleskových výbojů [1]

Existují i blesky, které míří z horní části mraku vzhůru do ionosféry, tzv. modré výtrsky.

1.1.2 Rozdělení blesků dle vzhledu

a) blesk čárový

- nejčastější forma blesku mezi oblakem a zemí, je tvořen vůdčím a tzv. vstřícným výbojem, jejichž spojením vzniká kanál blesku, v němž se vytváří zpětný výboj, který je již viditelný

b) blesk rozvětvený

- další velmi častá forma blesku, je to vlastně blesk čárový s několika kanály, proto je jeho nebezpečí větší

c) blýskavice

- typ bezhlučného záblesku mezi opačně nabitými centry uvnitř bouřkového mraku

d) blesk růžencový (perlový)

- typ blesku, u kterého je podél hlavního kanálu možno pozorovat řadu světelných kuliček

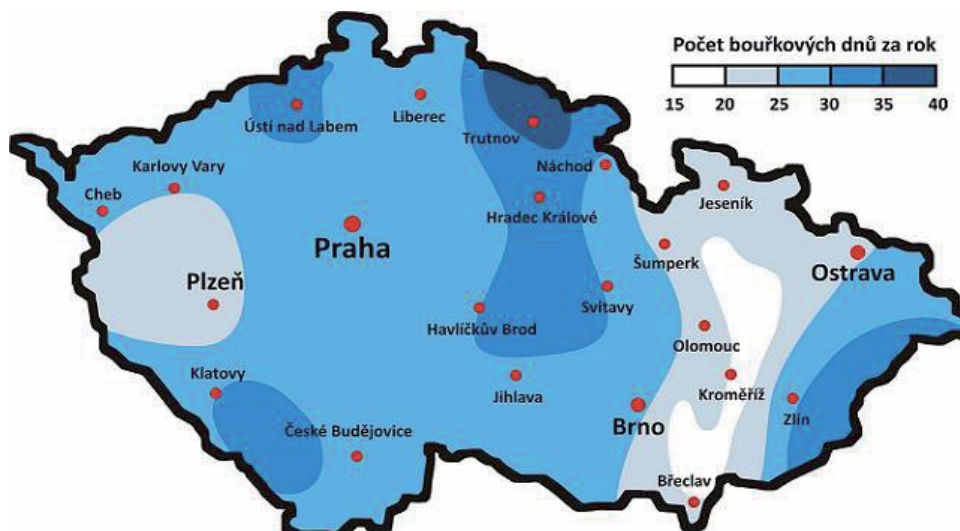
e) blesk kulový

- podstata spočívá v existenci vysoce ionizovaného plynu čili plazmy, má podobu koule o velikosti 10 – 20 cm, vyskytuje se nečekaně a pohybuje se nevyzpytatelně

1.1.3 Monitoring bleskových výbojů

Český hydrometeorologický ústav má od roku 2002 zaveden systém registrace bleskových výbojů na našem území dvěma centry – v Komořanech a v Mohelnici. Využívá se také informací zaměřovacích stanic sousedních zemí. Tento systém umožňuje stanovit místa úderů blesků s přesností 50 m, dobu jejich trvání a nejdůležitější parametry blesku - typ výboje, polaritu, strmost a vrcholová hodnota proudu. Výskyt atmosférických výbojů lze vyhledat v izokeraunické mapě (viz obr. 5), kde se udává počet úderů na km² za rok. U nás je to 2 – 4 údery.

Monitoring je prováděn detekčními čidly rozmístěnými na daném území. Čidla zachycují elektromagnetické záření vyzařované při úderu blesku. GPS provádí lokalizaci a data jsou v reálném čase odesílána ke zpracování.



Obr. 5: Izokeraunická mapa ČR [10]

1.2 Účinky proudu bleskového výboje

Účinek bleskového proudu je možné přirovnat k působení kinetické energie „záplavové vlny“. Tvar této vlny bleskového proudu je definován v ČSN EN 62 305-1 [13].

Ačkoliv blesky obsahují jen relativně nízkou energii, v průměru několik desítek kWh, mohou při úderu v délce trvání 0,001 s vznikat v zařízeních velmi vysoká napětí a protékat bleskové proudy o hodnotě vyšší než 200 kA. Tento proud však nemá konstantní velikost, ale jedná se o pulzy. Jeho chování a účinky jsou obdobné jako u střídavého proudu vysoké frekvence.

Při úderu blesku do objektu může dojít k celé řadě škod – požár (vznícení), mechanická destrukce stavebních částí průraz elektrických izolací, roztavení tenkých vodičů. Tyto škody jsou způsobeny těmito účinky bleskového proudu:

- **tepelné účinky**
 - vznikají průchodem proudu vodiči LPS (Lightning Protection System – systém ochrany před bleskem) a jsou dány jejich průřezem, elektrickým odporem a vrcholovou hodnotou proudu
 - může nastat vznícení materiálu, se kterými se dostal proud do přímého či nepřímého kontaktu

- **mechanické účinky**
 - závisí na vrcholové hodnotě a době trvání průchodu proudu a na pružnostních charakteristikách mechanické konstrukce objektu
 - příkladem může být destrukce vlhkého zdiva či krovu
 - při průchodu bleskového proudu dojde k prudkému zahřátí a následnému vývinu páry, která doslova exploduje a svým tlakem způsobí destrukci materiálu
- **elektrodynamické účinky**
 - jsou způsobeny elektrodynamickými silami vznikajícími mezi vodiči v souběhu nebo vzájemném přiblížení
 - výsledkem jsou uvolněné svorky, vytržené držáky či vedení

Výpočet elektrodynamické síly:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \left(\frac{l}{d}\right) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot i^2(t) \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \quad (1)$$

$F(t)$ – elektrodynamická síla [N]

μ_0 – permeabilita vakua [$4\pi \cdot 10^{-7}$ H · m⁻¹]

i – proud [A]

l – délka vodičů [m]

d – vzdálenost mezi souběžnými vodiči [m]

- **elektromagnetické účinky**
 - vznikají při průchodu bleskového proudu hromosvodní soustavou, tento vyvolá magnetické pole kolem vodičů LPS, změna velikosti proudu (pulzy jdoucí za sebou) způsobí změnu magnetického pole a ve smyčce se indukuje napětí (viz obr. 6)
 - toto indukované napětí je úměrné vzdálenosti od proudové cesty a velikosti smyčky

Výpočet indukovaného napětí:

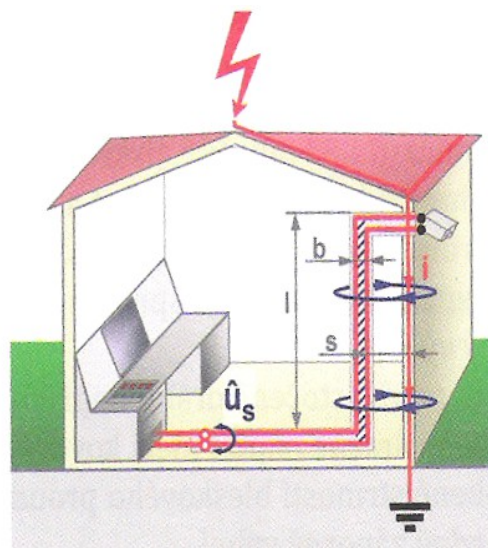
$$\hat{u}_s = k_u \cdot l \cdot \frac{di}{dt} \quad (2)$$

\hat{u}_s - indukované napětí [V]

k_u - činitel smyčky [$\frac{V}{m \cdot kA/\mu s}$]

l - délka souběhu smyčky s vodičem LPS [m]

di/dt - strmost bleskového proudu [kA/ μ s]



Obr. 6: Maximální indukované napětí v instalační smyčce [1]

- **jiskření**

- *tepelné* – způsobeno bleskovým proudem procházejícím přes ostré okraje uvnitř smyčky, intenzita jiskření souvisí se specifickou energií
- *napěťové* – bleskový proud procházející stočenou drahou uvnitř smyčky a indukované napětí překročí průrazné napětí mezi kovovými částmi
- obě jiskření jsou nebezpečná hlavně v hořlavých prostředích

Popsané účinky bleskového proudu působí jednotlivě nebo společně.

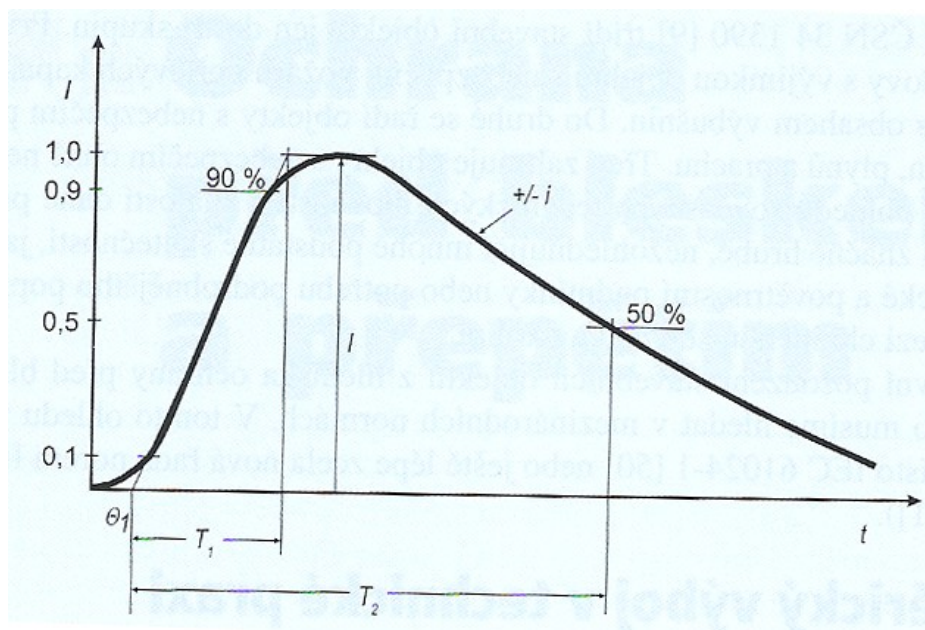
I poměrně malé množství energie má vysoké ničivé účinky, neboť se uvolní ve velmi krátké době. Záleží totiž nejenom na množství energie, ale i na době, za kterou se uvolní.

Má-li být zvládnuta tato energie blesku, je nutné navrhnout koncepci ochrany před bleskem a přepětím podle ČSN EN 62 305-4 ed. 2 a nutně nainstalovat svodiče přepětí SPD (Surge Protection Device) typu 1 na přesně určených místech.

1.2.1 Parametry bleskových proudů

V našich geografických podmínkách se pohybují vrcholové hodnoty bleskového proudu mezi 20 – 40 kA, proudy nad 100 kA se vyskytují jen ojediněle.

Pro technickou praxi jsou nejdůležitější především sestupné blesky nesoucí největší energii. Ta je uložena převážně v jejich prvním (hlavním) proudovém impulzu dosahujícím nejvyšší proudové hodnoty. [2] Tento výboj je charakterizován rázovou vlnou tvaru 10/350 μ s. Jeho průběh je zobrazen v obr. 7.



Obr. 7: Základní parametry proudového impulzu [2]

T_1 – doba čela proudového impulzu (10 mikrosekund), virtuální parametr definovaný jako 1,25 násobek časového intervalu mezi okamžiky dosažení 10% a 90% vrcholové hodnoty proudu

T_2 – doba pultýlu proudového impulzu (350 mikrosekund), virtuální parametr definovaný jako časový interval mezi efektivním začátkem O_1 a okamžikem, ve kterém klesne proud na polovinu vrcholové hodnoty (pultýl)

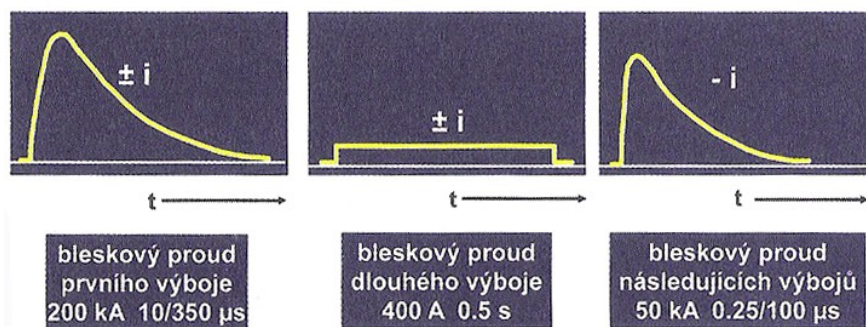
I – vrcholová hodnota impulzního proudu

i – okamžitá hodnota impulzního proudu

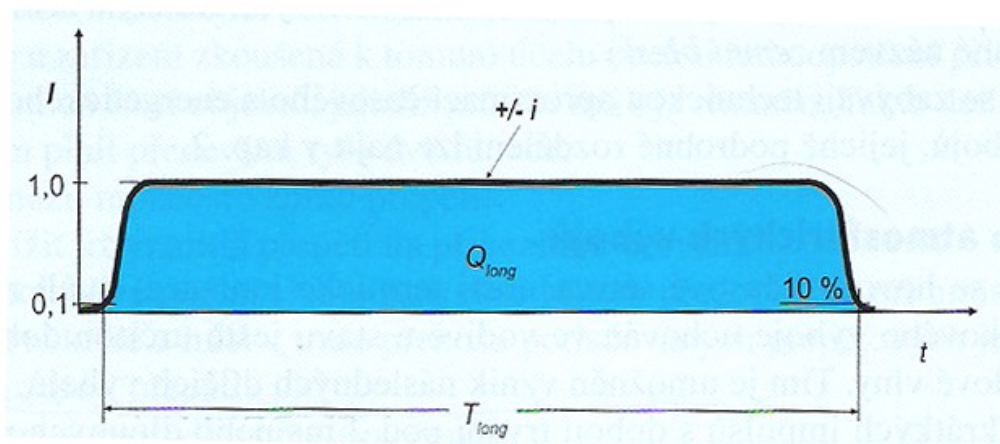
O_1 – počátek proudového impulzu

Této vlně jsou vystaveny všechny části LPS (systém ochrany před bleskem), které mohou být zasaženy přímým úderem blesku.

Vlivem setrvačnosti termické ionizace se asi polovina blesků skládá ještě z následných dílčích výbojů vyobrazených na obr. 8 a 9, které mají podobu krátkých impulzů s dobou trvání pod 2 ms nebo dlouhých proudových vln s dobou trvání přes 2 ms.



Obr. 8: Průběh vln prvního výboje blesku [2]



Obr. 9: Podoba a základní parametry dlouhé proudové vlny ($2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$) [2]

T_{long} – celková doba trvání dlouhé proudové vlny, doba trvání, během které je proud dlouhého výboje mezi 10% vrcholové hodnoty v době nárůstu trvalého proudu a 10% vrcholové hodnoty v době poklesu trvalého proudu

Q_{long} – celkový náboj dlouhé proudové vlny

i – okamžitá hodnota impulzního proudu

I – vrcholová hodnota impulzního proudu

HLAVNÍ PARAMETRY BLESKOVÉHO PROUDU

Atmosférické výboje patří mezi jevy impulzní povahy. Základní parametry popisuje tabulka 1 a jsou to:

a) vrcholová hodnota proudu I [A]

- je stanovena z maximální hodnoty proudu dosažené v průběhu prvního dílčího bleskového výboje [17]
- důležitý parametr pro dimenzování jímací soustavy
- určuje maximální úbytek napětí na odporu uzemnění zasaženého objektu, tzn. zvýšení jeho potenciálu vůči zemi [17]
- z hodnoty lze vypočítat maximální hodnoty krokového a dotykového napětí ohrožující osoby a zvířata v chráněném objektu a v jeho bezprostřední blízkosti

b) náboj bleskového výboje Q [C]

- je roven časovému integrálu proudu podle času:

$$Q = \int i dt \quad (3)$$

- je složen z náboje impulzního proudu Q_s a z náboje dlouhého výboje Q_l [17]
- důležitý parametr pro dimenzování svodičů bleskových proudů
- ovlivňuje výměnu energie bezprostředně v místě úderu blesku a všude tam, kde bleskový proud proniká ve formě oblouku přes izolační vrstvu, tento oblouk způsobuje roztavení a následné rozstříknutí materiálu na jímačích či elektrodách ochranných jiskřišť bleskojistek [17]
- největší podíl na tavení a propalování materiálu má proud dlouhodobého výboje, na základě jeho analýzy určujeme množství vytaveného materiálu i jeho požadovanou minimální tloušťku
- ovlivňuje oteplení svodů a spojů

c) specifická měrná energie W / R [kJ / Ω]

- je rovna časovému integrálu druhé mocniny impulzní části proudu

$$W/R = \int i^2 dt \quad (4)$$

- je energie rozptýlená v jednotkové rezistanci 1 Ω
- je rozhodující pro oteplení a elektrodynamické namáhání vodičů, jimiž protéká bleskový proud [17]
- umožňuje stanovit minimální průřez vodičů

d) doba trvání blesku T [s]

- doba trvání, po kterou v místě úderu protéká bleskový proud

e) průměrná strmost proudu [kA / μ s]

$$di/dt \quad (5)$$

- definuje změnu velikosti proudu za jednotku času
- má vliv na velikost indukovaného napětí v instalačních smyčkách, na jehož základě lze stanovit bezpečnou vzdálenost vodivých instalací od hromosvodu [17]

f) poměr délky trvání čela/ půltýlu [μ s]

$$T_1/T_2 \quad (6)$$

Tabulka 1: Maximální parametry bleskových výbojů v závislosti na úrovni ochrany [2]

Veličina	Jednotka	Veličina bleskového proudu	Úroveň ochrany		
			I	II	III a IV
První proudový impuls					
I	kA	vrcholová hodnota proudu	200	150	100
Q_{imp}	C	náboj proudového impulsu	100	75	50
W/R	kJ/Ω	specifická energie	10 000	5 600	2 500
T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	časové hodnoty	10/350		
Následné proudové impulsy					
I	kA	vrcholová hodnota proudu	50	37,5	25
$\Delta i/\Delta t$	$\text{kA}/\mu\text{s}$	střední strmost	200	150	100
T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	časové hodnoty	0,25/100		
Dlouhá proudová vlna					
Q_{long}	C	náboj dlouhé vlny	200	150	100
T_{long}	s	časové hodnoty	0,5		
Celý bleskový výboj					
Q_{blesku}	C	celkový náboj blesku	300	225	150

Tyto uvedené parametry jsou důležité z hlediska fyzické celistvosti LPS. Každý parametr zdůrazňuje odlišný mechanismus poruchy, jejich působení je individuální i kombinované.

1.2.2 Hladiny ochrany před bleskem

Hladina ochrany před bleskem je číslo vztažené k souboru hodnot parametrů bleskového proudu, odpovídající pravděpodobnosti, že příslušné maximální a minimální návrhové hodnoty nebudou u blesků vyskytujících se v přírodě překročeny. [6]

Aby bylo možné blesk definovat jako škodlivou veličinu, jsou stanoveny ochranné úrovně LPL 1 – 4 (Lightning Protection Level). Pro každou ochrannou hladinu (dle tabulky 2) je třeba znát množinu:

- **maximálních hodnot**
 - kritéria, která jsou nutná pro dimenzování a projektování součástí ochrany před bleskem a přepětím tak, aby odpovídala očekávaným požadavkům (průřez vodičů, tloušťka kovového stínění, proudová zatížitelnost SPD, dostatečná vzdálenost proti nebezpečnému jiskření)
- **minimálních hodnot**
 - kritéria pro určení ochranných prostorů vnější jímací soustavy, aby byla zaručena ochrana před přímými údery blesku (stanovení poloměru valící se koule pro návrh

jímací soustavy a stanovení ochranné zóny před bleskem LPZ 0_B, která nemůže být zasažena přímým úderem). [16] [6]

Tabulka 2: Mezní parametry a pravděpodobnost bleskového proudu [16]

Ochranná úroveň	Maximální hodnoty		Minimální hodnoty		
	kritéria pro dimenzování		kritéria pro svedení bleskového proudu		
	maximální vrcholová hodnota blesk. proudu	pravděpodobnost, že skutečný blesk. proud je menší než max. vrcholová hodnota bl. proudu	minimální vrcholová hodnota bl. proudu	pravděpodobnost, že skutečný blesk. proud je větší než min. vrcholová hodnota bl. proudu	poloměr valicí se koule
I	200 kA	99%	3 kA	99%	20 m
II	150 kA	98%	5 kA	97%	30 m
III	100 kA	97%	10 kA	91%	45 m
IV	100 kA	97%	16 kA	84%	60 m

1.3 Škody a ztráty způsobené různými typy úderů blesku, výpočet rizika a ochranná opatření

PŘÍČINY POŠKOZENÍ

Bleskový proud (proud tekoucí v místě úderu [6]) je hlavní příčinnou poškození objektu a připojení inženýrských sítí. Rozsah a povaha poškození se odvíjí od místa (polohy) úderu blesku vůči stavbě, což objasňuje tabulka 3.

Mohou nastat tyto varianty dle místa úderu:

S1 – úder do stavby (úder blesku, který zasáhl přímo chráněnou stavbu)

S2 – úder v blízkosti stavby (úder blesku, který udeří tak blízko chráněné stavby, že může způsobit nebezpečná přepětí)

S3 – úder do sítí připojených ke stavbě (úder blesku udeří do vedení připojeného k chráněné stavbě)

S4 – úder v blízkosti sítí připojených ke stavbě (úder blesku, který udeří dosti blízko od vedení, připojeného k chráněné stavbě, že to může způsobit nebezpečná přepětí) [7]

Místo úderu je místo, kde blesk udeřil do země či vyčnívající stavby (např. LPS, sítě, stro-
mu). Blesk může mít více než jedno místo úderu. [6]

TYPY ŠKOD

Škody na objektu jako důsledek zásahu atmosférického výboje závisí na místě úderu, konstrukci budovy, typu inženýrských sítí a provedených ochranných opatřeních.

Hmotná škoda je škoda na stavbě (nebo jejím obsahu) nebo inženýrské síti následkem mechanických tepelných, chemických a výbušných účinků blesku. [6]

Základní typy škod:

D1 – úraz živých bytostí elektrickým proudem (úrazy lidí nebo zvířat s trvalými následky včetně ztráty života způsobené elektrickým šokem v důsledku dotykových nebo krokových napětí způsobených bleskem)

D2 – hmotná škoda (požár, výbuch, mechanická destrukce, uvolnění chemikálií) způsobená účinky bleskového proudu včetně jiskření

D3 – porucha elektrických a elektronických systémů způsobená LEMP (Lightning Electro-magnetic Pulse) [6]

TYPY ZTRÁT

Ztráta je průměrný rozsah ztrát (lidských a na materiálu) vyplývající z určitého typu poškození způsobeného nebezpečným jevem vztažený k hodnotě (lidí a majetku) chráněné stavby. [7]

Ztráty jsou způsobeny různými typy škod, a to buď samostatně nebo společně působícími:

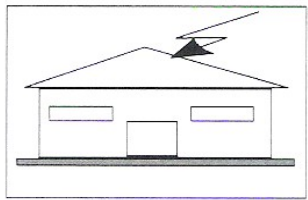
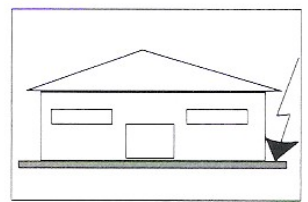
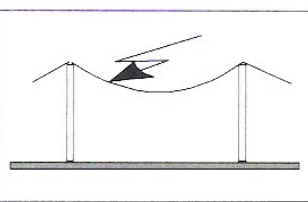
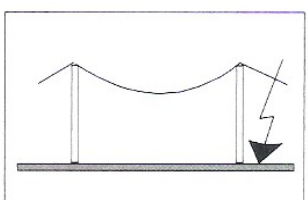
L1 – ztráty na lidských životech (včetně poranění s trvalými následky)

L2 – ztráty na veřejných službách

L3 – ztráty na kulturním dědictví

L4 – ztráty ekonomické hodnoty (stavby, jejího obsahu a ztráta činnosti)

Tabulka 3: Příčiny poškození, typy škod a ztrát podle místa úderu blesku [7]

Úder blesku		Stavba	
Místo úderu	Příčina poškození	Typ škody	Typ ztráty
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
	S2	D3	L1, L2, L4
	S3	D1 D2 D3	L1, L4 L1, L2, L3, L4 L1, L2, L4
	S4	D3	L1, L2, L4

Pro minimalizaci škod je nutno provést ochranná opatření. Jejich potřeba a účinnost se kontroluje podle ČSN EN 62305-2: Řízení rizika.

Postup je následující:

- identifikace chráněné stavby a její charakteristiky
- určení všech typů ztrát ve stavbě a příslušných odpovídajících rizik R (R_1 až R_4)
- stanovení rizika R pro každý typ ztrát R_1 až R_4
- ocenění potřeby ochrany, porovnáním rizika R_1 , R_2 a R_3 pro stavbu s přípustným rizikem R_T

- ocenění efektivnosti nákladů na ochranu porovnáním nákladů na cenu ztráty s ochrannými opatřeními a bez nich [7]

TYPY OCEŇOVANÝCH RIZIK

R_1 – riziko ztrát na lidských životech

R_2 – riziko ztrát na veřejných službách

R_3 – riziko ztrát na kulturním dědictví

R_4 – riziko ztrát ekonomických hodnot

Riziko R je poměrná hodnota pravděpodobných průměrných ročních ztrát. Aby byla oceněna rizika R , musí být definovány a vypočítány odpovídající součásti rizika (dílní rizika). Každé riziko je součtem jeho součástí rizika. Při výpočtu rizika mohou být součásti rizika seskupeny podle příčiny, poškození a typu škody [7].

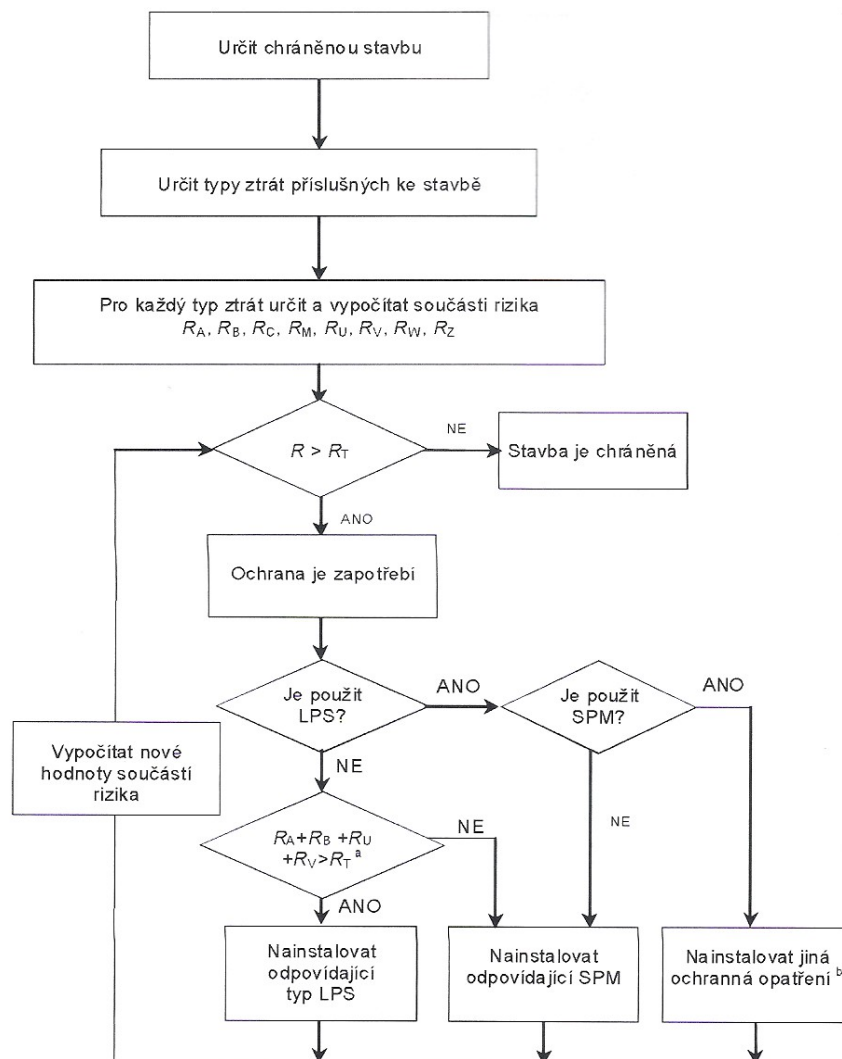
Musí tedy platit, že vypočtené riziko je stejné nebo menší než přípustné ($R \leq R_T$). V tom případě není ochrana nutná. Pokud je vypočtené riziko vyšší než tolerované ($R \geq R_T$), je nutno vykonat ochranná opatření v ochraně před bleskem pro jeho snížení. Hodnota tolerovaného rizika z tabulky 4 nesmí být překročena.

Tabulka 4: Typické hodnoty přípustného rizika [7]

Typy ztrát		$R_T (y^{-1})$
L1	Ztráty na lidských životech nebo trvalé následky úrazů	10^{-5}
L2	Ztráta veřejné služby	10^{-3}
L3	Ztráta kulturního dědictví	10^{-4}

Z této tabulky vyplývá, že např. jednou za tisíc let dojde ke škodě na objektu poskytujícím veřejné služby, i když bych chráněn před bleskem.

Diagram postupu pro výběr ochranných opatření s ohledem na vypočtené riziko se nachází na obr. 10.



Obr. 10: Diagram postupu pro výběr ochranných opatření a potřeby ochrany [7]

1.3.1 Ochranná opatření pro snížení rizika poškození

OCHRANNÁ OPATŘENÍ PRO OMEZENÍ ÚRAZŮ ŽIVÝCH BYTOSTÍ DOTYKOVÝM A KROKOVÝM NAPĚTÍM

- odpovídající izolací nechráněných vodivých částí
- vyrovnáním potenciálu pomocí mřížové soustavy
- fyzickými překážkami a výstražnými tabulkami
- ekvipotenciálním pospojováním (EB)

OCHRANNÁ OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ HMOTNÝCH ŠKOD

a) na stavbách

- systém ochrany před bleskem LPS

b) v inženýrských sítích

- stínící vodiče

OCHRANNÁ OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ PORUCH ELEKTRICKÝCH A ELEKTRONICKÝCH SYSTÉMŮ

a) na stavbách

- opatření pro uzemnění a pospojování
- magnetické stínění
- směrování vedení
- koordinovaný systém přepětových ochran SPD
- izolační rozhraní

b) v inženýrských sítích

- systém přepětových ochran SPD v různých místech podél délky vedení a na konci vedení
- magnetická stínění kabelů

Volba optimálních ochranných opatření závisí na typu a rozsahu škody, velikosti vypočteného rizika škody a na technických a ekonomických parametrech jednotlivých ochranných opatření.

2 HISTORICKÝ VÝVOJ OCHRANY PŘED ÚČINKY BLESKU

Dokud James Wall roku 1708 nepřišel s myšlenkou, že blesk je elektrické podstaty, vycházelo lidstvo při ochraně před bleskem pouze z praktických zkušeností a víceméně náhodně. Takovým příkladem byl i Šalamounův chrám, který měl střechu pokrytu zlatými deskami a systém rour pro svádění dešťové vody do zásobníků. Po dobu jeho existence (925 – 587 př. n. l.) nebyly zaznamenány žádné škody způsobené bleskem, i když se nacházel na blesky velmi exponovaném místě.

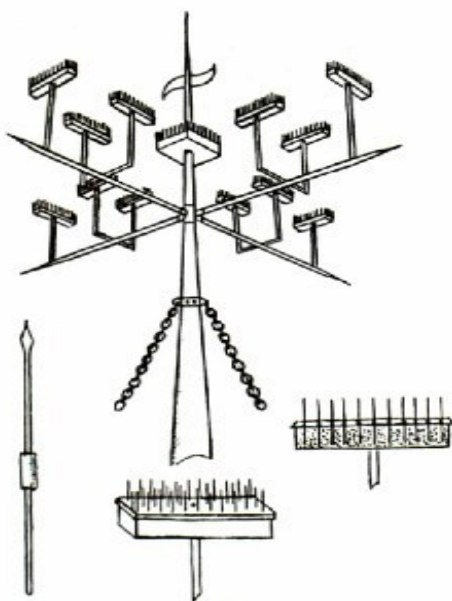
Anglický fyzik Stephen Gray (1670 – 1736) přišel s rozdělením materiálů na vodivé a nevodivé, což následně vedlo ke stavbám prvních hromosvodů na základě fyzikálních principů blesku.

Průkopníky v oboru ochrany před bleskem byli Prokop Diviš a Benjamin Franklin.

2.1 Prokop Diviš

Prokop Diviš (1696 – 1765), vlastním jménem Václav Divíšek, byl český katolický kněz, přírodovědec a experimentátor i s atmosférickou elektřinou. Narodil se v Helvíkovicích u Žamberka. Řádového jména Prokop začal užívat až po vstupu do premonstrátského řádu. Život prožil na jižní Moravě v okolí Znojma. Zde se také rozhodl postavit v Příměticích roku 1754 nejprve 15 metrový a o deset let později 42 metrový meteorologický stroj (machina meteorologica), kterým měl odsáváním elektřiny z mraků zabránit náhodným výbojům, a tím i neštěstí. Jeho konstrukce je zobrazena na obr. 11.

Základem byl vodorovný železný kříž umístěný na dřevěném stožáru. Ramena kříže byla na konci doplněna kolmo vztyčenými kratšími tyčemi s 12 kovovými krabicemi naplněnými kovovými pilinami, z nichž čnělo 400 kovových hrotů. Železná konstrukce byla třemi řetězy spojena se zakopanými železnými kužely. I když záměr, který Diviš sledoval se od ideje hromosvodu lišil, fakticky se jeho stroj s hromosvodem shoduje. Byl to první uzemněný hromosvod. Své experimentální poznatky zobecnil v teoretickém pojednání *Theorie von der meteorologischen Electricite – Magia naturalis* (Teorie meteorologické elektřiny – Přírodní kouzla).



Obr. 11: Machina meteorologica [5]



Obr. 12: Prokop Diviš [5]

2.2 Benjamin Franklin

Benjamin Franklin (1706 – 1790) byl americký myslitel, publicista, přírodovědec a meteorolog. Studoval atmosférickou elektřinu a bouřky. V roce 1750 sestavil hromosvod a je tak považován za jeho vynálezce.

Na základě svých pokusů zjistil dva důležité poznatky:

„... že hroty mohou zajistit bezpečnost domů, lodí, věží, kostelů apod. před úderem blesku. Jestliže budou dřevěné nebo kovové koule umístěné na špici korouhvice na tyčích a na stožárech nahrazeny železnou tyčí 8 nebo 10 stop dlouhou, zaostřenou v hrot, pozlacenou proti zrezivění, a budou elektrický oheň odvádět z mraků klidně, aniž by se mohl přiblížit natolik, aby udeřil.“ [5]

„Tedy jímač buď zabrání úderu z mraku, nebo když nastane úder, odvede jej bezpečně z budovy.“ [5]

Druhý z poznatků se stal technickým základem ochrany objektů, jak jej známe dnes.

Hromosvod se dostal do širšího povědomí, když v roce 1766 Franklin instaloval hromosvod na maják v Plymouthu, kudy vedla obchodní cesta.

2.3 Další raní badatelé

První předpisy pro ochranu před bleskem sepsal J. A. H. Reimarus v roce 1769 – „Popisy škod způsobených bleskem“. A v roce 1796 vydal první „Předpisy pro hromosvody“.

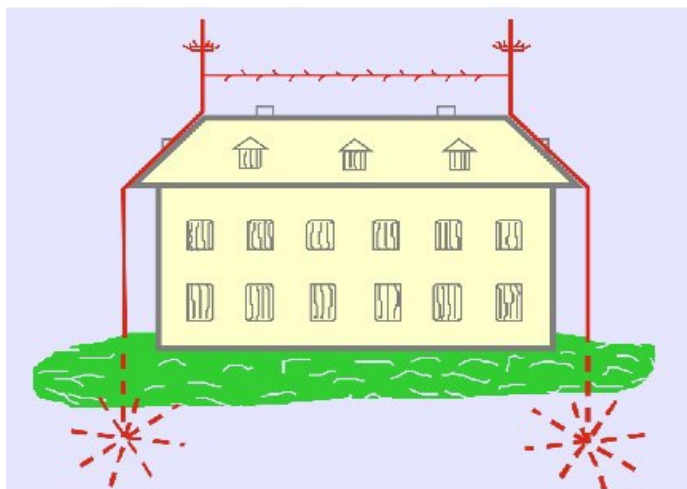
Ph. P. Guden sestavil pravidla pro ochranu před bleskem.

V roce 1778 zveřejnil filozof a experimentální fyzik G. C. Lichtenberg svou publikaci „Pravidla chování při blízké bouřce“. V ní doporučoval jímací tyče ze železa nebo mědi s pozlacenými jímacími špičkami se svody (viz dobový náčrtek na obr. 13), které mají být vedeny do země, co nejbližší k úrovni hladiny spodní vody nebo do blízkosti nějakého vodního zdroje. [5]

G. Buffon a T. F. Dalibard v roce 1752 experimentovali s vysokou kovovou tyčí. Když se bouřkové mraky přiblížily k tyči, bylo mezi tyčí a zemí vidět sršení jisker.

Belgický fyzik Louis Melsens doporučoval svody na všech stranách objektu.

Českými vědci, kteří se zabývali bleskem, byli Josef Stepling, Ignác Musil nebo Josef Tadeáš Klinkoš.



Obr. 13: G. C. Lichtenberg - ochrana objektu (rok 1778)

[5]

V meziválečném období vydal František Běhounek první československou studii „Atmosférická elektřina“.

V 50. letech 20. století byl ústřední postavou hromosvodní ochrany v ČSR inženýr Ladislav Vojtěch Říhánek, autor knihy „Hromosvody“.

3 AKTUÁLNĚ POUŽÍVANÉ PRINCIPY OCHRANY PŘED

BLESKEM

K ochraně před bleskem se používají zařízení souhrnně označované termínem LPS (Lightning Protection System – systém ochrany před bleskem). Tato zařízení mají za úkol snížit hmotné škody (požár, destrukce) způsobené objektu úderem blesku, chránit životy a zdraví lidí a zvířat před dotykovým a krokovým napětím. Třídy LPS a s tím související jednotlivé funkční celky systému jsou popsány dále.

TŘÍDY LPS

Parametry jednotlivých tříd LPS jsou určeny charakteristickými vlastnostmi chráněné stavby a uvažovanou hladinou ochrany před bleskem (LPL). [8] Norma ČSN EN 62305-1 stanovuje 4 třídy LPS (I – IV), které odpovídají hladinám ochrany před bleskem. Začlenění objektů do jednotlivých tříd (viz tabulka 5) se provádí na základě analýzy rizika.

Tabulka 5: Vztah mezi hladinou ochrany LPL a třídou LPS, doporučené třídy LPS

Třída LPS	Hladina LPL	Druh objektu
I	I	Budovy s vysoce náročnou výrobou, energetické zdroje, budovy s nebezpečím výbuchu, provozovny s chemickou výrobou, nemocnice, jaderné elektrárny (+ předpisy KTA), automobilky, plynárny, vodárny, elektrárny, banky, stanice mobilních operátorů
II	II	Supermarkety, muzea, domy s nadstandardní výbavou, školy, katedrály, prostory s nebezpečím požáru, výškové stavby (nad 100 m), operační a provozní pracoviště hasičů a policie, akvaparky
II	III	Rodinné domy, administrativní budovy, obytné budovy, zemědělské stavby
IV	IV	Budovy stojící v ochranném prostoru jiných objektů (bez vlastního hromosvodu), obyčejné sklady apod., stavby a haly bez výskytu osob a vnitřního vybavení

Každá třída LPS je charakterizována:

a) daty závislými na třídě LPS

- parametry blesku, poloměrem valící se koule, velikostí ok a ochranným úhlem, typickými vzdálenostmi mezi svody, oddělovací vzdáleností proti nebezpečnému jiskření, minimální délkou zemničů

b) daty nezávislými na třídě LPS

- ekvipotenciálním pospojováním, minimální tloušťkou kovového oplechování nebo kovového potrubí v jímací soustavě, materiály LPS a podmínkami použití, materiály, uspořádáním a rozměry jímací soustavy, svodů a uzemňovací soustavy, minimálními rozměry spojovacích vodičů [8]

Každý LPS obsahuje vnější a vnitřní část.

3.1 Vnější systém ochrany před bleskem – hromosvod

Jeho úkolem je zachytit přímý úder blesku směřující na objekt a svést ho do země tak, aby nedošlo k poškození stavby vlivem tepelných, mechanických a elektrických účinků atmosférického výboje. Hromosvod primárně slouží jako protipožární ochrana. Hlavními částmi

vnějšího LPS jsou: jímací soustava, svody, uzemňovací soustava a pospojování proti blesku (instalace SPD typu 1). Hromosvodní soustava musí být dimenzována na přímý úder blesku. Vnější LPS může být izolovaný nebo neizolovaný (viz kapitola 3.1.5 a 3.1.6).

Fyzikální podstatou hromosvodu je hrotový efekt. Ten se projevuje při účinku dvou atmosférických výbojů – hrotového výboje a blesku. I za běžných atmosférických podmínek protékají atmosférou nejčastěji vlivem kosmického záření, vertikálně tekoucí proudy. Dochází k přeskupování valenčních elektronů, přičemž působením záření dochází k vytrhávání některých z valenčních elektronů atomových obalů. Ty jsou poté zachyceny jinými elektroneutralními molekulami. Takto vznikají kationty a anionty. Doba od vytržení elektronů z obalu do jeho následného zachycení neutrální molekulou je sice velmi krátká, avšak přeci jenom elektronu trvá určitou dobu, než je zachycen. V dostatečně silném elektrickém poli pak získá elektron značnou pohybovou energii a ačkoliv se jedná z časového měřítka o velmi krátké působení elektrického pole na elektron, může být tato energie dostatečně velká na to, aby tento elektron při srážce s první elektroneutralní molekulou způsobil vyražení jiného elektronu, čímž tuto molekulu ionizuje. V tomto případě mluvíme o ionizaci nárazem. V dalším kroku elektron uvolněný při nárazu z původně neutrální molekuly způsobil opět ionizaci nárazem a počet iontů takto lavinovitě roste. Ionizace nárazem nabývá značných hodnot zvláště v případech zhuštění siločar elektrického pole. Tento jev je možno pozorovat v případech výskytu hrotových uzemněných vodičů jakými mohou být hromosvody, stožáry, sloupy, lodní stěžně nebo vrcholky stromů. Tyto vodiče lze potom v určitém přiblížení považovat za určité náboje, které jsou vodivě spojeny se zemským povrchem a mají tedy s ním stejný potenciál. Okolo zmíněného bodového vodiče se vytváří oblak iontů, z něhož jsou uzemněním odváděny k zemskému povrchu ty částice, jež nesou vzhledem k zemi náboje opačného znaménka. [21]

3.1.1 Jímací soustava

Vytváří ochranný prostor tak, aby v něm byl skryt celý objekt. Správným navržením se snižuje pravděpodobnost vniknutí bleskového proudu do stavby. Musí zachytávat výboje nejen shora, ale i boční a to s vrcholovou hodnotou proudu 3 až 200 kA. Jímače se instalují na místa náchylná úderu - na rohy, římsy, hrany a na nejvyšší body staveb.

Jímací soustava může být tvořena kombinací těchto komponentů:

- tyč nebo soustava tyčí
- zavěšená lana nebo podélné vedení

– mřížová síť

Kromě strojených jímáčů jsou přípustné také náhodné jímáče (kovové stavební konstrukce, zábradlí, potrubí). Musí však být patřičně masivní a trvale kvalitně spojené.

Návrh jímací soustavy se provádí podle těchto metod: metoda valící se koule, metoda ochranného úhlu, metoda mřížové sítě. Parametry jednotlivých metod jsou v tabulce 6.

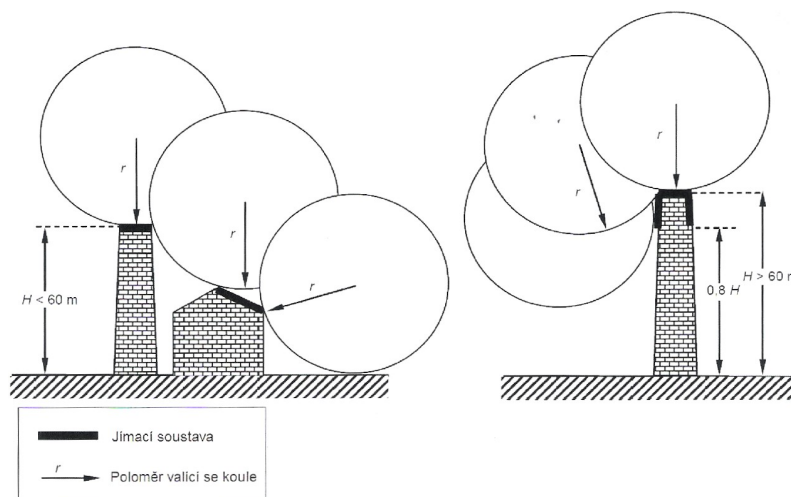
Tabulka 6: Přípustné metody návrhu jímací soustavy podle ČSN EN 62305-3 [11]

metoda	ochranný úhel [°]				valící se koule	mřížová soustava	
	výška objektu h [m]					poloměr koule r [m]	velikost oka mříže [m]
třída LPS (úroveň ochrany)	20 m	30 m	45 m	60 m			
I	25°	*	*	*	20	5 × 5	10
II	35°	25°	*	*	30	10 × 10	10
III	45°	35°	25°	*	45	15 × 15	15
IV	55°	45°	35°	25°	60	20 × 20	20

METODA VALÍCÍ SE KOULE

Metoda vychází ze znalostí rozvoje bleskového proudu, kdy vyhledávací výboj hledá nejvodivější cestu pro další rozvoj bleskového výboje jakoby po obvodu koule. Poloměr koule představuje vstřícný výboj a závisí na třídě LPS. Metoda se pokouší odhadnout cestu výboje blesku od mraků k zemi.

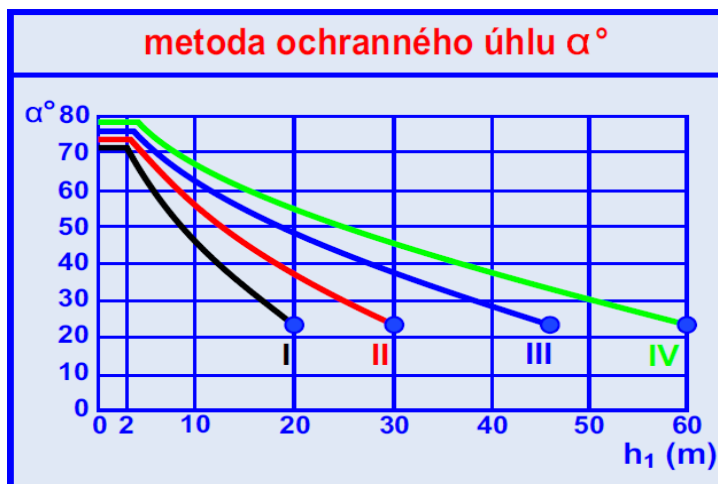
Jak ukazuje obr. 14, koule se převaluje přes objekt ze všech směrů. Principem je, aby se dotýkala pouze jímáčů. Prostor mezi koulí a objektem se považuje za chráněný před přímým úderem. Pokud se dotýká objektu nebo zařízení na střeše, je nutno tato místa doplnit jímáči. Metoda je vhodná pro návrh jímací soustavy geometricky složitějších objektů. Je také přesnější oproti metodě ochranného úhlu a metodě mřížové soustavy, což mnohdy vede k úsporám na zřízení jímací soustavy.



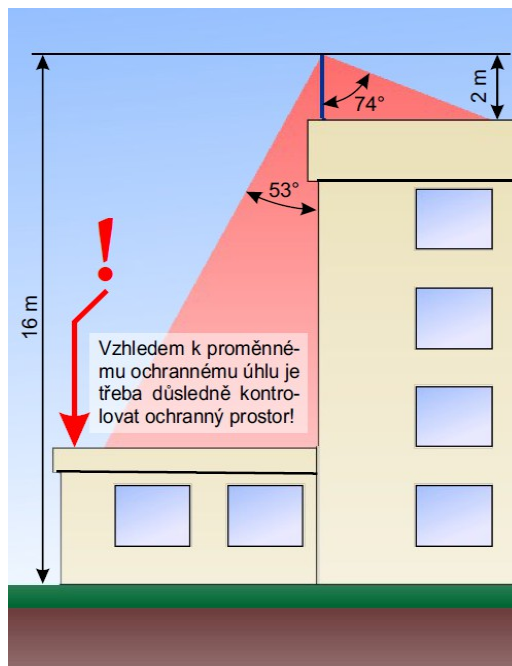
Obr. 14: Metoda valící se koule [8]

METODA OCHRANNÉHO ÚHLU

Návrh touto metodou je vhodný pro jednoduché stavby s tyčovými jímači, hřebenovou nebo kombinovanou hřebenovou jímací soustavou. Kopíruje metodu valící se koule a je omezena výškou jímačů. Chráněný objekt je zcela ukryt uvnitř ochranného prostoru vytvořeného jímací soustavou. Graf na obr. 15 ukazuje velikost vrcholového úhlu α , který závisí na výšce jímače od vztážené roviny a třídě LPS. Může být na každou stranu různý (viz obr. 16).



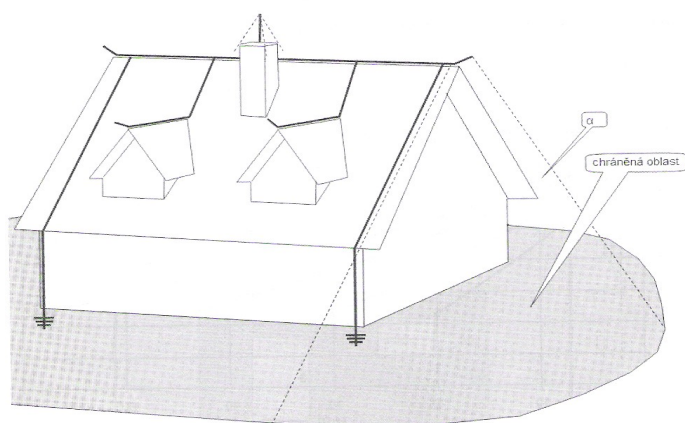
Obr. 15: Velikost ochranných úhlů [5]



Obr. 16: Proměnný ochranný úhel v závislosti na výšce jímače od vztážené roviny pro LPS III [5]

METODA MŘÍŽOVÉ SÍTĚ

Používá se převážně na objektech s plochou střechou. Jímací vodiče se umísťují po obvodu a další tak, aby vytvořily síť s patřičnými rozměry ok (viz tabulka 6). Vodiče se v místě vzájemného křížení spojují svorkami. Síť je tvořena tak, aby bleskový proud mohl téci vždy minimálně dvěma kovovými drahami do uzemňovací soustavy. Žádné kovové instalace nevystupují ven z prostoru chráněného jímací soustavou. Vodiče se kladou co nejkratší a nejpřímější dráhou. Ochranný prostor mřížové sítě je tvořen kombinací ochranných prostorů jednotlivých jímacích vodičů. Příkladem mřížové jímací soustavy je například i hromosvod na hřebenu sedlové střechy (obr. 17). Jen se již další vodorovné vodiče neinstalují.



Obr. 17: Metoda mřížové soustavy na sedlové střechě [3]

3.1.2 Svody

Svody tvoří vodivé spojení mezi jímací a zemnicí soustavou. Pro bezpečné svedení bleskových proudů je nutno:

- vytvořit více paralelních cest, což vede k rozdělení bleskového proudu, zmenšení dynamických sil, slabšímu elektromagnetickému poli kolem svodu a tím i přeskokové vzdálenosti
- zajistit co nejkratší dráhu proudu, svody jsou co nejpřímější
- minimalizovat počet smyček
- svody rozmístit rovnoměrně po obvodu objektu pro zamezení vzniku nebezpečných krokových napětí

Svody mohou být instalovány na povrchu fasády nebo skrytě, uložené do drážek ve zdivu nebo za fasádním obkladem. Hrozí tu však nebezpečí poškození fasády nebo chemické působení stavebních materiálů na materiál vodiče. Hlavně ale dojde ke zmenšení dostatečné vzdálenosti mezi svodem a vnitřními metalickými rozvody a tím zvýšení možnosti přeskočení. U plošně rozlehlých objektů je možné instalovat i svody vnitřní. Zde dochází k zavlečení bleskového proudu dovnitř budovy a možnému přeskočení bleskového proudu na osoby nebo elektrická zařízení. Řešením může být použití HVI vodiče, který zabrání přeskočení, elektromagnetické účinky však zůstávají.

Kromě strojených svodů je vhodné používat i náhodné svody např. kovové armování stěn, konstrukce fasády, profilové lišty, kovové instalace. Opět zde platí požadavek na jejich masivnost a kvalitu spojů.

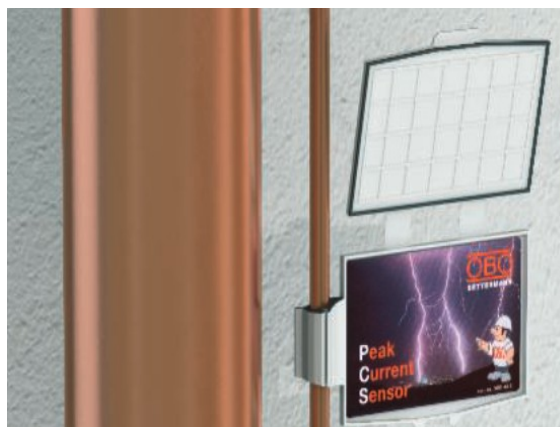
Na každém strojeném svodu musí být nástrojem rozpojovatelná zkušební (měřicí) svorka pro měření zemního odporu zemniče a štítek s číslem svodu.

Do svodu možno také vřadit čítač úderů blesků (obr. 19), což je záznamové zařízení o počtu zásahů blesku do jímací soustavy.

Dalším záznamovým zařízením, které lze instalovat v soustavě svodů, je peak current senzor (obr. 18), který snímá velikost špičkových proudů. Ten zapisuje na magnetickou kartu nejen počet úderů, ale i hodnotu maximálního bleskového proudu.



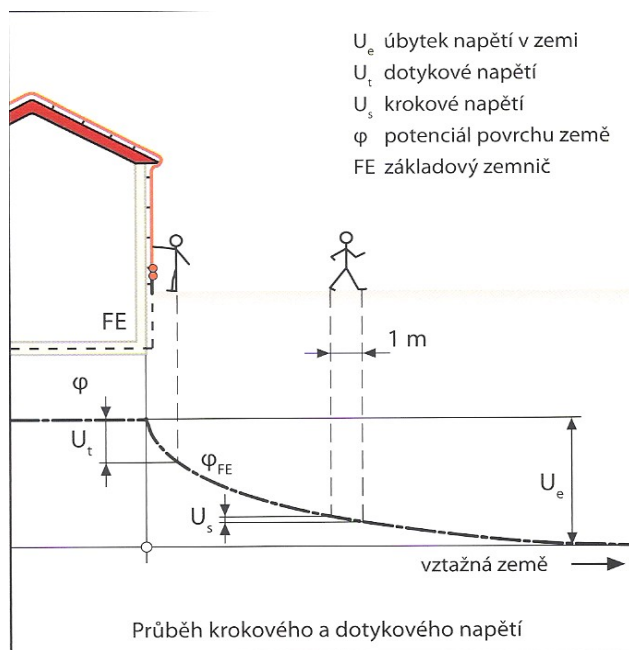
Obr. 19: Počítadlo
bleskových impulzů
[12]



Obr. 18: Peak current senzor [14]

BEZPEČNOST KOLEM SVODŮ

Pohyb v blízkosti svodů, kterými protéká bleskový proud je velmi nebezpečný. Svod je namáhán dynamickými silami a v jeho okolí mohou vznikat nebezpečná dotyková a kroková napětí, jejichž průběh je na obr. 20. Nutnost realizace ochranných opatření se odvíjí především od pravděpodobnosti výskytu osob v bezprostřední blízkosti svodu.



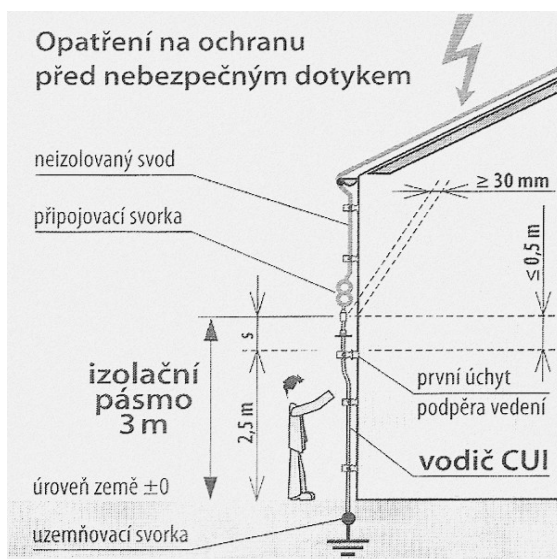
Obr. 20: Průběh krokového a dotykového napětí [11]



Obr. 21: Výstražná tabulka [11]

Opatření proti dotykovým a krokovým napětím:

- umístit svody mimo místa výskytu lidí (mimo chodníky, vstupy do budov)
- zřízení zábrany kolem svodu tak, aby se zabránilo přiblížení k němu
- instalace výstražné tabulky z obr. 21
- opláštění svodu izolací odolávající impulzu 1,2/50 μ s s vrcholovou hodnotou napětí 100 kV, například síťovaný polyethylen tloušťky 3 mm
- použití vodiče HVI do výšky 2,5 m nebo CUI vodiče (viz obr. 22) do výšky 3 m
- izolace povrchu v okruhu 3 m od svodu, pokud povrchový odpor pochůzných ploch není nižší než 5 k Ω /m, to splňuje živичný povrch o tloušťce 5 cm nebo 15 cm vrstva šterku
- řízení potenciálu mřížovou uzemňovací soustavou



Obr. 22: Použití vodiče CUI [11]

CUI vodič je vodič s měděným jádrem o průměru 8 mm a s izolací odolnou impulznímu napětí až do 100 kV pro vlnu 1,2/50 μ s. Používá se pro poslední 3 až 5 m délky svodu tam, kde se vyskytují lidé. Chrání před úrazem nebezpečným dotykovým napětím způsobeným bleskovým proudem. U tohoto vodiče není třeba dodržovat dostatečnou vzdálenost ani připojení jeho izolačního pláště k vodiči PEN nebo PE.

3.1.3 Uzemňovací soustava

Uzemnění je část vnějšího LPS, jehož úkolem je rovnoměrné rozptýlení svedeného bleskového proudu v povrchových vrstvách země bez vzniku nadměrných a nebezpečných rozdílů potenciálů mezi různými místy chráněné stavby.

Pro funkčnost uzemňovací soustavy je důležitá její masivnost, kvalita spojů, vhodný tvar a rozměry. Důležité je také uložení zemniče do nezamrzlé hloubky, neboť vlivem promrzání či vysychání půdy se zhoršuje přechodový odpor zemniče a proud neprojde do země, ale vstoupí do vnitřní instalace přes ekvipotenciální přípojnicí.

Vždy je vhodné zřizovat v objektu jednotnou uzemňovací soustavu pro všechny účely – ochrana před bleskem, ochrana před přepětím, uzemnění instalace nízkého napětí a uzemnění telekomunikačních systémů, ochrana osob (dosažení vhodných podmínek pro vypnutí elektrického zařízení). Uzemnění musí být vždy spojeno se systémem vyrovnání potenciálů. Velikost zemního odporu se doporučuje do 10 Ω .

Druhy zemničů:

- tyčové, trubkové
- páskové, drátové
- deskové
- základové strojené, zabudované v základech
- základové náhodné, kovové výztuže betonu
- kovové výztuže jiných betonových dílů uložených v zemi

Základní typy uspořádání zemničů:

a) uspořádání typu A

- zemnič horizontální, vodorovně uložený paprsek
- zemnič vertikální, svisle zatlučená tyč

Je to hloubkový zemnič instalovaný pro každý jednotlivý svod.

b) uspořádání typu B

- obvodový (kruhový) zemnič, uložený vně stavby 1 m od obvodových zdí a 80 % jeho délky je uloženo v zemi
- základový zemnič, drát nebo pásek tvoří uzavřenou smyčku uloženou 5 cm nad dnem výkopu v betonových základech stavby, spojuje se s armováním základu, beton svými gyroskopickými vlastnostmi chrání zemnič proti korozi, toto uspořádání je doporučováno

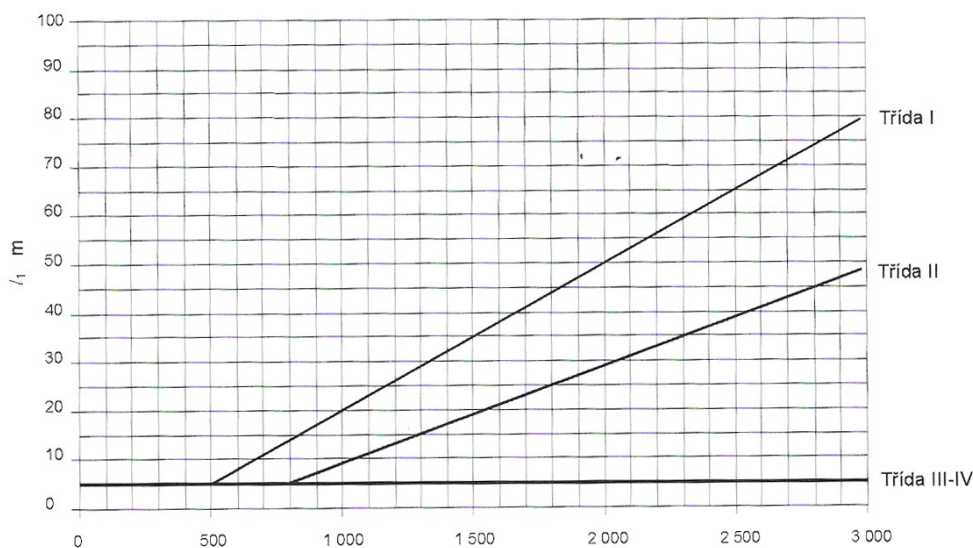
Velkou výhodou zemničů typu B je spojení všech svodů hromosvodu a vytvoření jasně definovaného nulového potenciálu přibližně na úrovni terénu.

Uspořádání zemniče B má podmínku ve výpočtu ekvivalentního poloměru r_e , kdy se plocha S uzavřená základovým zemničem převede na plochu kruhu o poloměru kruhu r_e . Ten se porovná s minimální délkou l_1 uvedenou v tabulce minimálních délek jednotlivých zemničů podle třídy LPS v normě ČSN EN 62305-3 v obr. 23.

$$r_e > l_1 \quad (7)$$

$$r_e = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (8)$$

Pokud tato podmínka není splněna, je nutno zemnič doplnit dodatečným vodorovným paprskem nebo svislým zemničem o patřičné délce.



Obr. 23: Minimální délka zemniče podle třídy LPS [8]

Při výstavbě uzemňovací soustavy je nutno postupovat maximálně zodpovědně, neboť případná porucha je jen velmi obtížně opravitelná či nemožná. Zemniče jsou ohroženy hlavně korozí vlivem chemických podmínek pod stavbou a na přechodech z betonu do půdy, na vzduch či jakkoli jinak. Provedení základového zemniče musí splňovat ČSN 332000-5-54 Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění, ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojování.

3.1.4 Ekvipotenciální pospojování

Ve vnější části LPS to v praxi představuje instalaci svodičů bleskových proudů SPD typ 1.

MODELOVÁ SITUACE PŘI ÚDERU BLESKU DO OBJEKTU

Na zemniči stavby, potažmo na okolní půdě dojde k prudkému nárůstu potenciálu v řádu několika set tisíc voltů. V případě kvalitního pospojení je nám to ale jedno, neboť tento potenciál naroste na všech neživých částech uvnitř domu. A naroste na shodnou velikost. Jenomže na trafostanici vzdálené třeba několik kilometrů od našeho domu zůstal původní potenciál. Tento potenciál plus 3 x 400/230 V je i v napájecím kabelu. To znamená, že v okamžiku úderu blesku je potenciál mezi vodičem PEN a pracovními vodiči 3 x 400/230 V plus několik set tisíc voltů. To nemůže žádná elektroinstalace „přežít“, nemluvě o elektronických zařízeních. V nejslabším místě dojde k průrazu a nekontrolovanému vyrovnání

potenciálů. Tímto průrazem může mžikově protéct několik desítek tisíc ampér. [4]

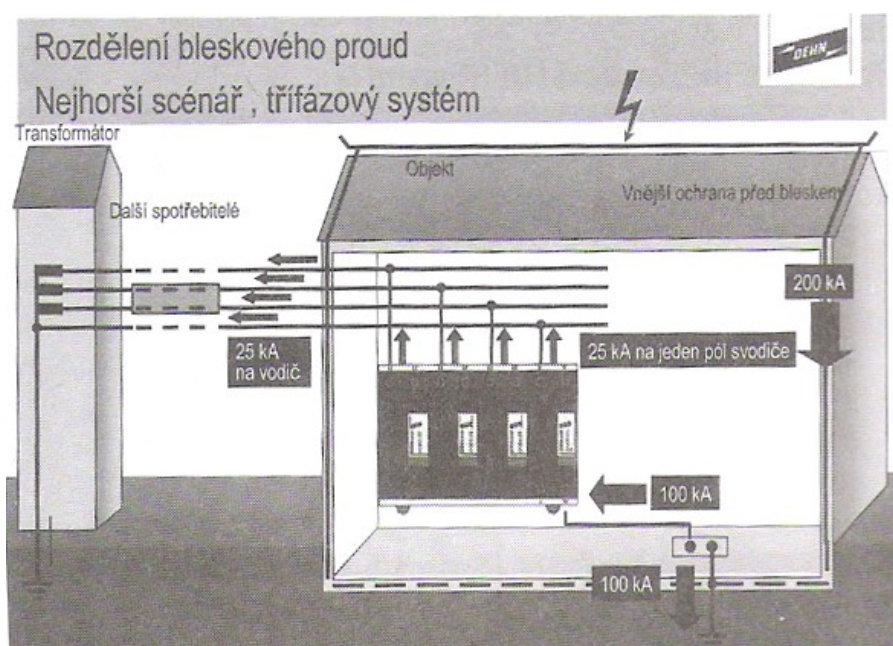
Jediným spolehlivým zařízením, které tento potenciál vyrovná, je kvalitní svodič přepětí SPD typ 1. Bez tohoto prvku skutečně nemůžeme hovořit o ucelené ochraně před bleskem.

Vyrovnaní potenciálů bleskového proudu pro elektrická a telekomunikační vedení musí být provedeno tak, že všechny vodiče každého připojeného kabelu k objektu je nutno buď přímo galvanicky (vodičem) nebo v případě živých vodičů přes SPD typ 1 připojit na přípojnicí ekvipotenciálního pospojování. Svodiče bleskových proudů se instalují co nejbližší vstupu metalického vedení do budovy a jejich připojení k hlavní ekvipotenciální přípojnicí musí být co nejkratší.

SPD se montují na přesně určená místa s ohledem na:

- vzájemnou energetickou koordinaci mezi následnými svodiči SPD typ 2 a 3 a koncovými přístroji
- ochrannou úroveň svodiče ve vztahu k izolační pevnosti elektrických a elektronických zařízení [13]

Taková instalace zajistí vyrovnaní potenciálů bleskového proudu na vnější stěně objektu a jeho částečné svedení do země. Nemohou tak vzniknout nebezpečná jiskření mezi různými kovovými částmi. Situace je vyobrazena na obr. 24.



Obr. 24: Použití svodičů bleskových proudů SPD typ 1 [13]

3.1.5 Vnější izolovaný (oddálený) hromosvod

Toto provedení hromosvodu má jímací soustavu a svodu umístěny tak, aby dráha bleskového proudu nebyla v dotyku s chráněnou stavbou.

Rozlišujeme dvě varianty:

- hromosvod tvořený tyčovými jímači na stožárech umístěných mimo stavbu nebo se zavěšenými lany mezi těmito stožáry, používá se v objektech s nebezpečím požáru a výbuchu; jeho zobrazení najdeme na obr. 25
- hromosvod umístěný na objektu

Izolovaný hromosvod je elektricky izolovaný od stavby, tzn. že po celé délce vedení od jímače až po napojení na zemnič je dodržena dostatečná vzdálenost od vodivých částí stavby, nebo je použit HVI vodič. Spojení s vodivými částmi objektu je pouze na úrovni terénu. Oddálený hromosvod se používá pro ochranu kovových a elektrických zařízení umístěných na střechách a vstupujících do budovy před přímým úderem blesku a nežádoucím zavlečením dílčích bleskových proudů do vnitřních instalací budov.

Dostatečnou vzdálenost je nutno dodržet nejen na povrchu střechy, ale i směrem pod střechu, kde se mohou vyskytovat kovové konstrukce pro sádkokarton, pokovené parotěsné fólie či elektrická instalace. Totéž platí i pro instalace v obvodovém zdivu z vnitřní strany (trubky topení). Nedodržení dostatečné vzdálenosti, byť jen v jediné místě, zmaří celý úmysl vybudovat izolovaný hromosvod.

Oddálený hromosvod instalovaný v dostatečné vzdálenosti zabraňuje:

- nežádoucím nekontrolovatelným přeskokům výbojů na chráněné zařízení
- nekontrolovatelnému jiskření
- indukci dílčích bleskových proudů do kovových a elektrických zařízení

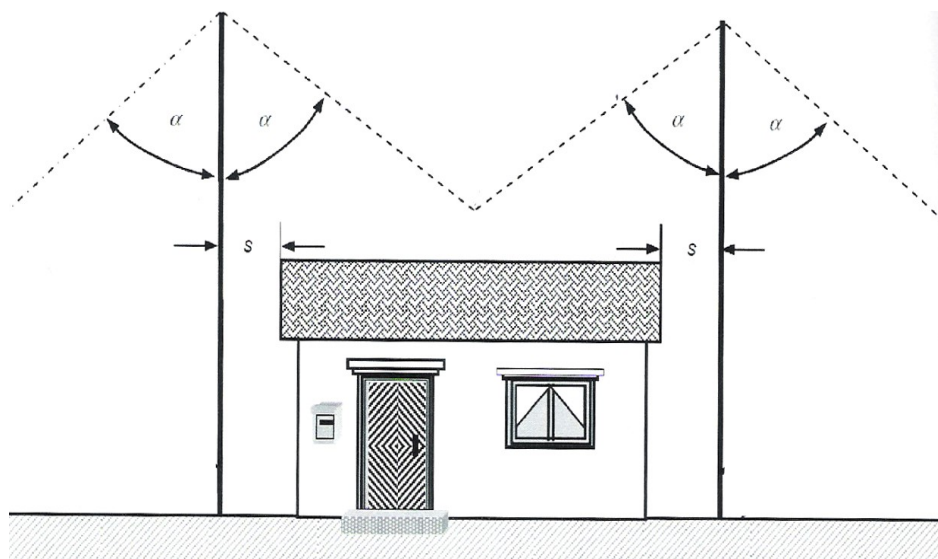
HVI VODIČ (HIGH VOLTAGE ISOLATION)

Vysoká impulzní napětí nad 250 kV způsobují přeskoky jisker mezi povrchy izolantů. Tento efekt je znám jako klouzavý výboj. Dojde-li k překročení hodnoty zapalovacího napětí, je iniciován výboj mezi povrchovými plochami, jehož délka může dosáhnout až několika metrů. [15]

HVI vodič má charakter koaxiálního kabelu. Jeho konstrukce tvoří měděné jádro o průřezu 19 mm² a tlustostěnný izolační materiál odolný proti vysokému napětí a plášť ze speci-

álním polovodivým povrchem, který zabraňuje vzniku klouzavých výbojů. [15]

Plášť vodiče se připojuje k systému vyrovnání potenciálů. Při jeho použití není nutno dodržet dostatečnou vzdálenost od kovových a elektrických částí. Ekvivalentní dostatečná vzdálenost je 0,75 m ve vzduchu a 1,5 m ve zdivu. Instalaci vodičů HVI je zabráněno přímému přeskoku bleskového proudu na vnitřní instalace, účinky elektromagnetického pole však zůstávají.



Obr. 25: Izolovaný (oddálený) hromosvod s jímači na stožárech [8]

3.1.6 Vnější neizolovaný (neoddálený) hromosvod

Pokud není možno jímací soustavu a svody oddálit nebo izolovat od vnitřních instalací a neživých vodivých částí stavby, pak je nutno vzájemné spojení všech těchto částí, tedy instalovat neizolovaný (neoddálený) hromosvod. Vodiče vedoucí bleskový proud jsou upevněny na stavbě a blesková dráha je v dotyku s chráněnou stavbou. Výhodou této varianty je jednoduché provedení a možnost využití vodivých částí stavby (zábradlí, okapy, oplechování) jako náhodné jímače a svody a také slabší elektromagnetické pole, neboť bleskový proud se rozdělí na více cest. Může dokonce dojít k efektu Faradayovy klece. Takovým ideálním případem jsou budovy s celokovovým pláštěm či s betonovými stěnami vyztuženými železným armováním, které zabraňují vniknutí elektromagnetických polí do vnitřních instalací budov. Nevýhodou je zavlečení dílčích bleskových proudů do stavby, a tím nutnost použití kvalitní ochrany proti přepětí.

3.2 Vnitřní systém ochrany před bleskem

Bleskový proud tekoucí hromosvodní soustavou způsobuje různé napěťové hladiny na vnějších i vnitřních vodivých částech stavby. Důsledkem rozdílných úrovní potenciálů je vznik jiskření – přeskoků mezi jímací soustavou nebo svody a:

- vodivými částmi technologických zařízení
- kovovými instalacemi
- elektrickými rozvody
- vnějšími stavebními vodivými částmi objektů

Nebezpečným jiskřením mezi rozdílnými částmi lze zabránit:

- ekvipotenciálním pospojováním – uvedením všech vodivých částí objektu na společný potenciál
- elektrickou izolací vnějšího LPS od vnitřního – zajištění dostatečné vzdálenosti mezi všemi blízkými vodivými částmi

Vnitřní LPS zabraňuje vzniku nebezpečných rozdílů potenciálů uvnitř stavby a předchází ohrožení života, zdraví osob nebo vzniku hmotných škod.

3.2.1 Ekvipotenciální pospojování proti blesku

Důležitým doplňkem hromosvodního systému ochrany před bleskem je jeho spojení s vodivými částmi v objektu a to na úrovni terénu. Díky tomu však může být část bleskového proudu zatažena do vnitřních instalací.

Bleskový proud může vstoupit do vnitřních instalací dvěma způsoby:

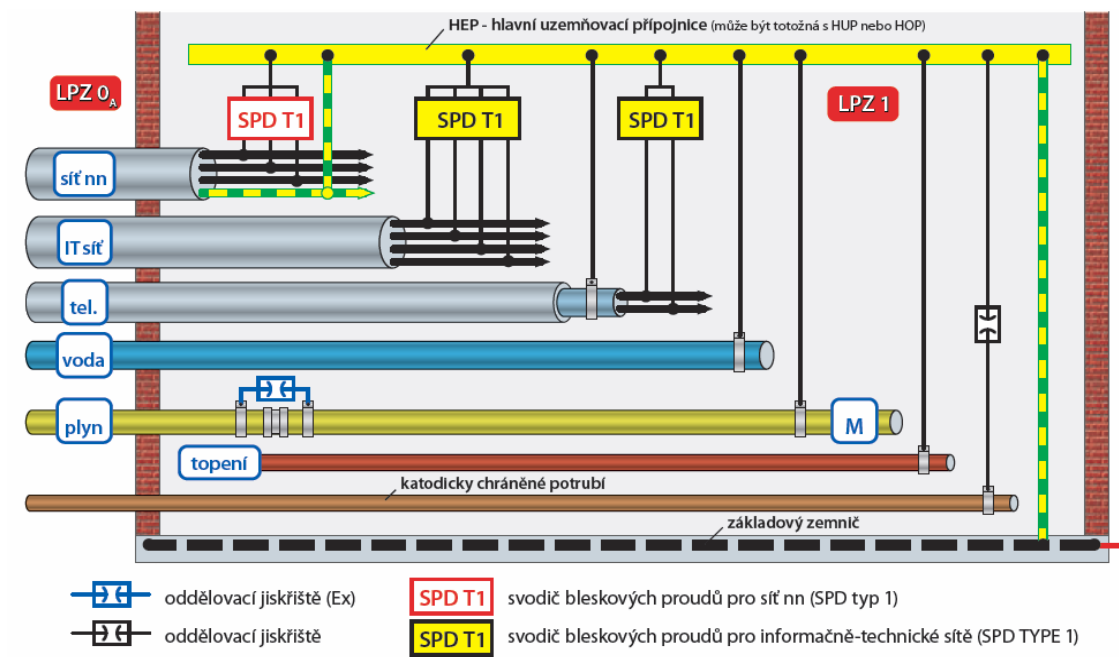
- metalickými inženýrskými sítěmi vstupujícími do stavby
- jímací soustavou, svody, uzemňovací soustavou a uzemňovacími přívody

Takto vzniklé různé napěťové úrovně tímto zkratujeme a napětí držíme na co nejnižší úrovni. Eventuální proud z kovových částí je tak bezpečně odveden do země. Zabrání se tím přeskoku jisker a vzniku požáru.

Vzájemné pospojování dle obr. 26 může být provedeno:

- vodiči pospojování (u kovových částí)
- přepěťovými ochranami SPD (u živých vodičů)

- oddělovacími jiskřišti (u potrubí s vloženými izolačními kusy)



Obr. 26: Systém vyrovnání potenciálů [11]

Druhy ekvipotenciálního pospojování:

a) ekvipotenciální pospojování pro kovové instalace

- veškeré kovové instalace vstupující do stavby (plyn, voda, kanalizace, dálkové parní nebo horkovodní topení)

b) ekvipotenciální pospojování pro vnitřní systémy

- vnitřní rozvody vody, topení, vzduchotechniky, stlačeného vzduchu, armování

c) ekvipotenciální pospojování pro vedení přivedená ke stavbě

- elektrické a telekomunikační vedení vstupující či odcházející z objektu

Provedení ekvipotenciálního pospojování nijak nesouvisí s třídou LPS, do které je objekt zařazen.

3.2.2 Dostatečná vzdálenost – elektrická izolace od hromosvodu

Je nezbytnou podmínkou pro instalaci oddálených hromosvodů. Dostatečná vzdálenost je vzdálenost mezi vodičem, kterým protéká bleskový proud a jinými kovovými částmi a instalacemi budovy, kdy je vyloučena možnost vzniku elektrického oblouku – přeskočku.

Tato skutečnost závisí na velikosti **bleskového proudu**, **délce vedení**, na kterém vzniká úbytek napětí, a **prostředí mezery** (vzduch, beton, cihla). Situaci ukazuje obr. 27.

Jestliže úbytek napětí na vedení překročí elektrickou pevnost mezery mezi svodem a vodivou uzemněnou částí, dojde k přeskočení. Výpočet dostatečné vzdálenosti:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad (9)$$

s – dostatečná vzdálenost [m]

k_i – koeficient třídy LPS (pro LPS I – 0,08; LPS II – 0,06; LPS III a IV – 0,04)

k_c – koeficient určující velikost bleskového proudu svodem (hodnoty z ČSN EN 62305-3)

k_m – koeficient materiálu elektrické izolace mezery (vzduch – 1; beton, cihla – 0,5)

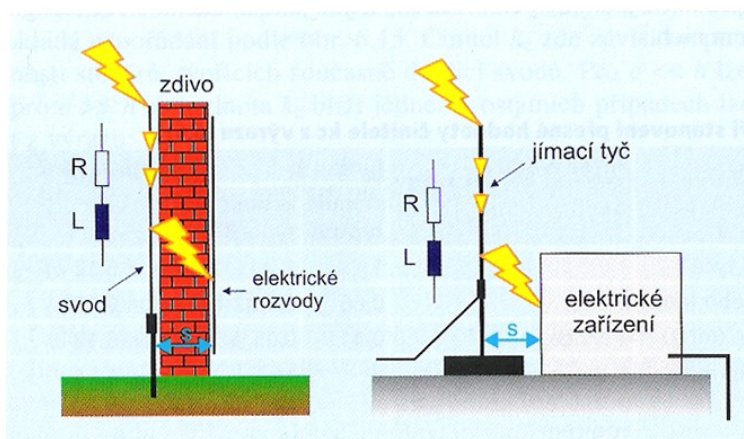
l – délka proudové cesty až k zemniči, vertikální vzdálenost od bodu, v němž se má zjistit s , až po zemnič nebo vyrovnání potenciálů

Velikost dostatečné vzdálenosti bude tím menší, čím:

- více bude svodů
- přímější budou trasy svodů
- blíže k zemi či vyrovnání potenciálů bude místo, ke kterému počítáme s

Tímto místem je nejvyšší bod přiblížení jímací soustavy k vnitřním konstrukcím a instalacím.

Dostatečnou vzdálenost není nutno dodržet ani počítat u neizolovaných (neoddálených) hromosvodů.



Obr. 27: Dostatečná vzdálenost s [2]

3.3 Ochrana před elektromagnetickým impulzem

Hromosvod instalovaný na objektu chrání osoby a zvířata a samotnou stavbu před přímým úderem blesku, avšak nechrání elektrická a elektronická zařízení uvnitř těchto objektů.

LEMP (lightning electromagnetic impulse) neboli elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem jsou všechny elektromagnetické účinky bleskového proudu přes odporové indukční a kapacitní vazby, které generují přepětí a elektromagnetická pole. [9]

LEMP patří mezi přechodná přepětí, ta trvají řádově nanosekundy až milisekundy. Jsou způsobována spínacími pochody a údery blesku.

Přepětí je podle normy ČSN 60 664-1 ed. 2: 2008 jakékoliv napětí, která má špičkovou hodnotu přesahující odpovídající vrcholovou hodnotu nejvyššího ustáleného napětí při normálních provozních podmínkách. [13]

Pod pojmem ochrana před přepětím se rozumí opatření, která mají zabránit rušivým nebo ničivým účinkům přepětí na elektrická zařízení. Dělí se na opatření ke snížení možnosti vzniku přepětí a k omezení již vzniklých přepětí pod přijatelnou mez.

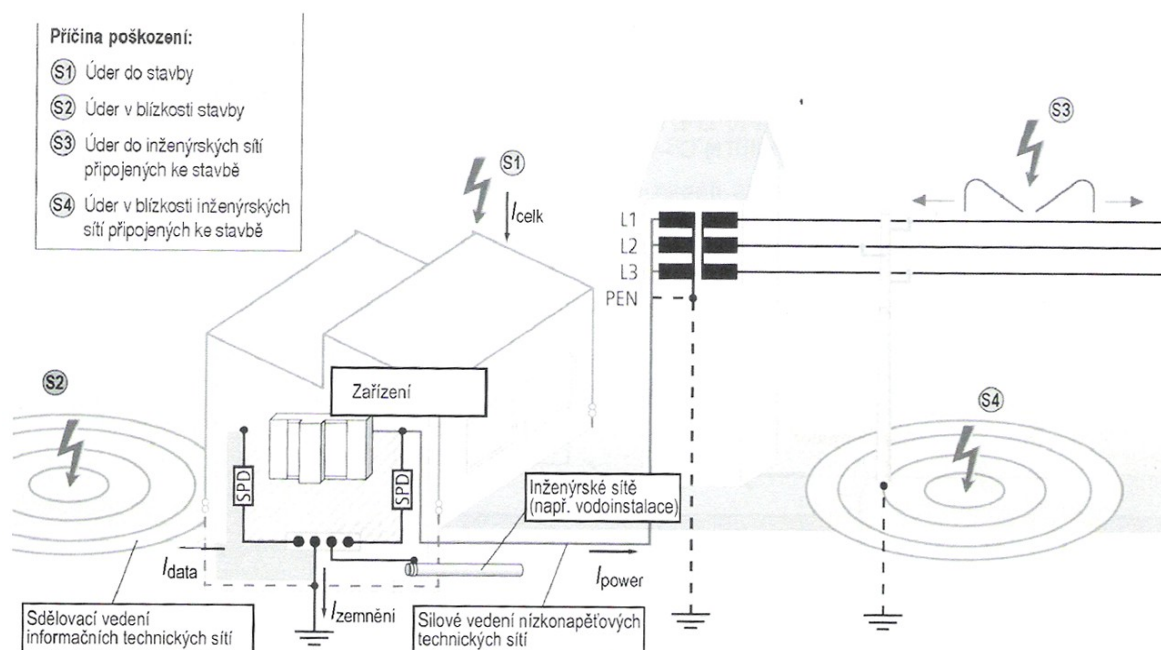
ZDROJE PŘEPĚTÍ

Zdrojem atmosférického přepětí jsou údery blesku při bouřkové činnosti. (viz obr. 28)

Jsou to **přímé nebo blízké údery** blesku do stavby nebo její bezprostřední blízkosti nebo do elektrických vodivých inženýrských sítí. Vznikají přepětí způsobená úbytkem napětí na rázovém zemním odporu, dojde tak ke zvýšení potenciálu budovy vůči okolí. Vzniklý rozdílový proud až 200 kA (10/350 μ s) představuje největší zatížení elektrických zařízení v objektu. Současně také vznikají přepětí vlivem indukcí elektromagnetického pole do elektroinstalace a připojených zařízení. Energie indukovaných přepětí a jimi vyvolaných impulzních proudů (8/20 μ s) je však mnohem nižší.

Vzdálené údery jsou údery blesku do vzdálených objektů, do vedení vn, výboj mrak – mrak. Úroveň ohrožení je několik kA (8/20 μ s).

Spínací přepětí vzniká spínáním a vypínáním induktivních a kapacitních zátěží, zapálením nebo přerušením elektrického oblouku, vypnutím pojistek zkratovým proudem, vypínáním osvětlení nebo transformátorů. Účinky přepětí ze spínacích pochodů jsou simulovány tvarem proudové vlny 8/20 μ s.



Obr. 28: Příčiny poškození stavby a šíření bleskového proudu do distribuční soustavy [9]

Poruchy elektrických a elektronických systémů vlivem LEMP mohou být způsobeny:

- přivedenými nebo indukovanými rázovými vlnami přenesenými do přístroje přívodním vedením
- účinky vyzařovaných elektromagnetických polí ovlivňujících přímo přístroj [9]

Energie přepětové vlny způsobené spínacími pochody v síti je podstatně menší než energie přepětové vlny způsobené úderem blesku. Instalací ochrany proti atmosférickému přepětí zajistíme ochranu i před spínacím přepětím.

Ochranná opatření jsou založena na koncepci zón ochrany před bleskem LPZ (lightning protection zone), do kterých je prostor vně i uvnitř objektu rozdělen. Zóny bleskové ochrany jsou ohraničené prostory s přepětím a elektromagnetickým polem na určité úrovni, jak ukazuje obr. 29.

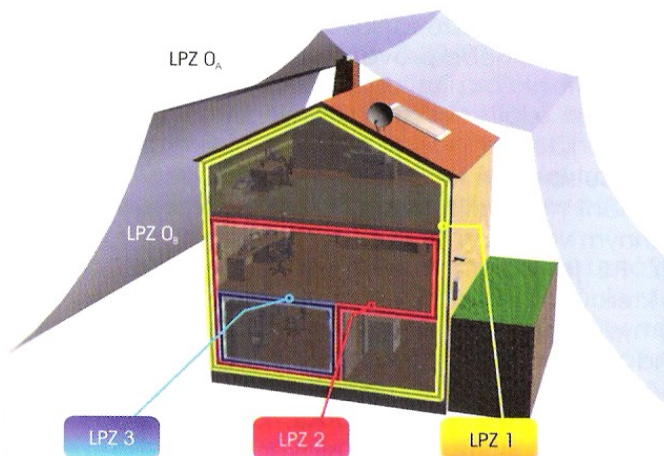
LPZ 0_a – prostor s možným přímým úderem blesku, impulzní proudy jsou maximální, elektromagnetické pole výboje je netlumené

LPZ 0_b – prostor chráněný před přímým úderem, elektromagnetické pole je netlumené, impulzní proudy dosahují jen dílčí hodnoty bleskových proudů

LPZ 1 – prostor za obvodovými zdmi, pod střechou, za svodiči bleskových proudů a prvním stíněním proti elektromagnetickému poli, bleskové proudy jsou rozděleny a omezeny svodiči, elektromagnetické pole je tlumeno prostorovým stíněním

LPZ 2 – prostor za vnitřními stěnami objektu, impulzní proudy jsou více rozděleny a omezeny svodiči, elektromagnetické pole je tlumeno druhým stíněním

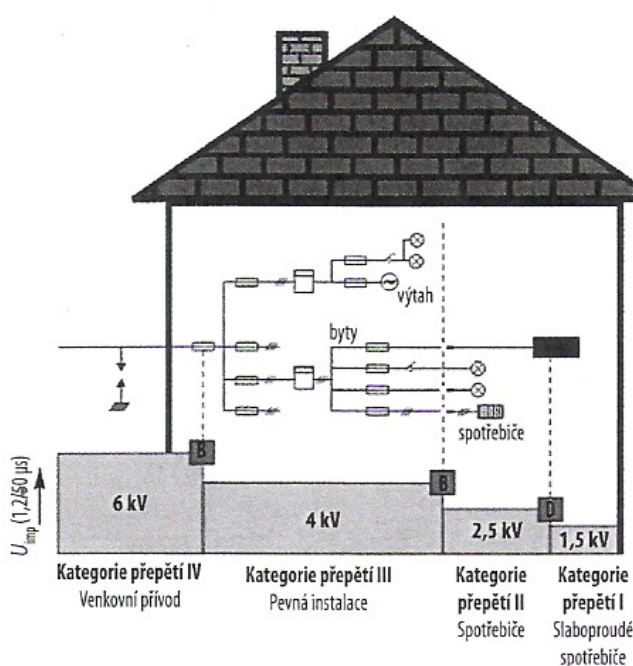
LPZ 3 – prostor pro zvláště citlivá zařízení, elektromagnetické pole a přepětí jsou stále omezenější



Obr. 29: Rozdělení objektu do zón [12]

Na hranicích zón dochází k podstatným změnám elektromagnetických podmínek, musí zde být provedeno ekvipotenciální pospojování a mohou se instalovat stínící opatření.

Základem této koncepce je postupné snižování přepětí na bezpečnou úroveň předtím, než se tato přepětí mohou dostat do koncových přístrojů a poškodit je.



Obr. 30: Kategorie přepětí [10]

Z obr. 30 vyplývá, že elektroinstalace budovy z hlediska odolnosti proti impulznímu přepětí rozdělena do čtyř kategorií. Každému úseku instalace je přiřazena odpovídající rázová odolnost izolace a instalovaných zařízení.

Impulzní výdržné napětí udává nejvyšší vrcholovou hodnotu impulzního napětí předepsaného tvaru a polarity, která za stanovených podmínek nezpůsobí průraz izolace. Hodnoty výdržného napětí pro síť nn 230/400 V a jednotlivé kategorie přepětí jsou uvedeny v ČSN EN 60664-1.

3.3.1 Základní ochranná opatření

SPM (Surge Protection Measures) jsou opatření pro ochranu vnitřních systémů před účinky LEMP. [7]

Uzemnění a pospojování

- uzemnění rozptyluje bleskový proud do země, pospojování omezuje rozdíly potenciálů a může snížit elektromagnetické pole

Magnetické stínění

- zeslabuje elektromagnetické pole šířící se vzduchem pomocí vodivého obalu kolem chráněného prostoru (oplaštění fasád, armování, kovové stavební prvky)
- největšího účinku zeslabení magnetického pole se dosáhne stíněním kabelů (uložení vedení do uzavřených kovových kanálů, trubek a vodivé stínění kabelů)
- rozlišujeme stínění objektu, místnosti, zařízení, kabelů a vedení

Trasy vedení

- vhodným trasováním vnitřních vedení lze eliminovat induktivní smyčky a snižovat vnitřní rázové vlny, také je vhodné elektronické zařízení umístit co nejdále od částí, jimiž protéká bleskový proud

Izolační rozhraní

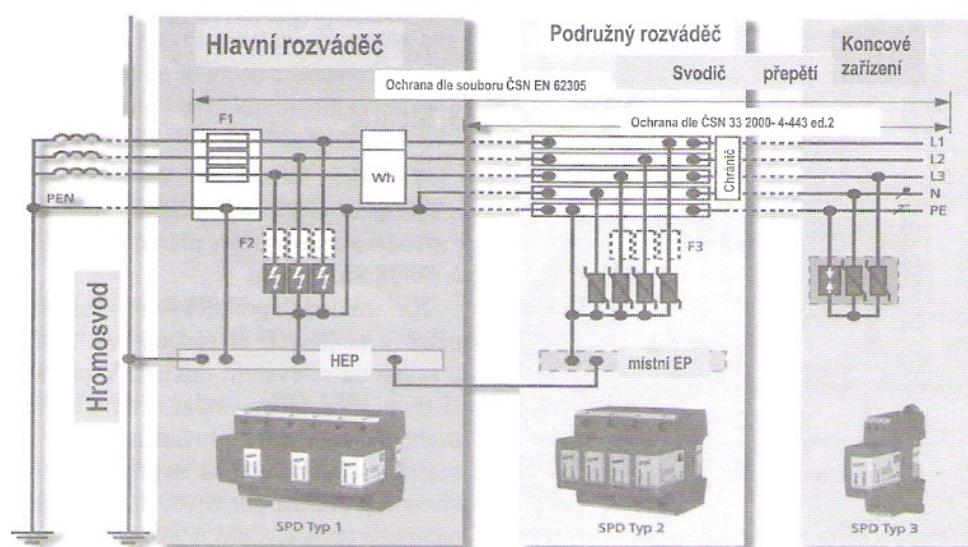
- jsou zařízení schopná snížit indukovaná přivedená přepětí na vstupy vedení LPZ
- jsou to oddělovací transformátory s uzemněným stíněním mezi vinutím, nekovová optická vlákna a optoizolátory [9]

Koordinovaný SPD systém

- omezuje účinky vnějších a vnitřních hrázových vln [9], odvádí přepětí do země a vyrovnává rozdílné potenciály
- je soubor vhodně vybraných SPD koordinovaný a postavený tak, aby se snížila poruchovost elektrických a elektronických systémů [7]
- v objektu pouze se zónou LPZ 1 se SPD umísťují na vstupu vedení do LPZ, pokud je zón více než jedna (LPZ 1, LPZ 2 a vyšší) instalují se SPD na vstupu vedení do každé LPZ

KOORDINACE SPD

Pro správnou funkci přepět'ových ochran v sítích nn je nezbytné dodržet hodnoty omezovacích impedancí, toho lze dosáhnout dodržením výrobcem stanovené minimální délky vedení mezi jednotlivými stupni přepět'ových ochran, neboť žádný svodič nesmí být během svádění přetížen. Mezi SPD typ 1 a SPD typ 2 musí být délka alespoň 10 m. Pokud vzdálenost nejde dodržet, musí se do vedení vsadit tlumivka, která slouží jako náhrada impedance vedení a úbytku na něm. Minimální délka vedení mezi SPD typ 2 a SPD typ 3 je 5 m. Vzdálenost spotřebiče od SPD typ 3 nesmí překročit 5 m. Pokud je dále, je nutné SPD typ 3 opakovat. Čím blíže je ochrana ke spotřebiči, tím lepší ochrana je zajištěna. Příklad instalace koordinované SPD ilustruje obr. 31.



Obr. 31: Koordinace SPD [13]

3.3.2 Přepět'ová ochrana

Mezinárodní norma EN 61 664-11 označuje svodiče bleskového proudu a svodiče přepětí jednotným termínem SPD (Surge Protection Device). Jsou to zařízení určená k omezení přechodných přepětí nebo svedení impulzních proudových rázů vznikajících a šířících se po metalických vedeních. Obsahují alespoň jednu nelineární součástku (napět'ově závislé odpory – varistory a supresorové diody) a nebo jiskřiště. Při běžném provozu se SPD nijak neprojevují. Pokud přepětí nepůsobí, mají vysokou impedanci, na přepětí reagují náhlou nebo plynulou změnou impedance na nízkou hodnotu.

Ochrana před přepětím spočívá ve vhodném umístění svodičů bleskového proudu SPD typ 1 a svodičů přepětí SPD typ 2 a 3 s ohledem na rozdělení objektu do zón LPZ. SPD se montují na hranice jednotlivých zón.

ROZDĚLENÍ PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN

a) podle reakce na přepětí

- SPD spínající napětí (crowbar types) – jiskřiště, plynové bleskojistky, tyristory, triaky
- SPD omezující napětí (clamping type) – varistory, supresorové diody
- SPD kombinovaného typu – obsahuje prvky spínací i omezující

b) podle použití

- SPD v napájecích sítích nn do 1000 V
- SPD v informačně technických sítích
- oddělovací jiskřiště do uzemňovacích soustav a vytvoření potencionálního vyrovnání

c) podle propustnosti impulzního proudu a ochranného účinku

- SPD typ 1 – svodič bleskových proudů, svádí bleskové proudy nebo jejich podstatnou část, montuje se na rozhraní zón LPZ 0_a a 1 (např. do hlavních rozváděčů nebo na vývody do LPZ 0), proudová zatížitelnost je až 50 kA na pól pro vlnu 10/350 μ s, zbytkové napětí za svodičem $U_p \leq 4$ kV, reakční doba kratší než 100 ns
- SPD typ 2 – instaluje se do podružných rozváděčů, na hranicích LPZ 1 a 2, svádí atmosférická a spínací přepětí za svodiči bleskových proudů, chrání pevnou instalaci, jsou zkoušeny proudovou vlnou 8/20 μ s, maximální impulzní proud až 30 kA,

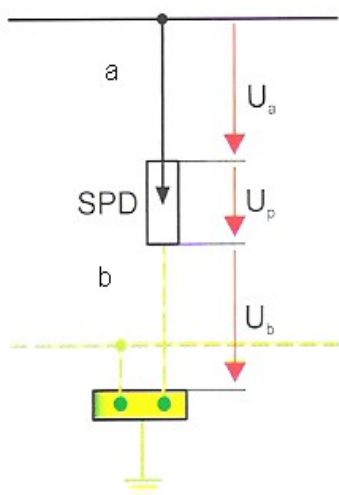
zbytkové napětí $U_p \leq 2 \text{ kV}$, reakční doba menší než 25 ns

- SPD typ 3 – chrání koncová zařízení, umísťují se co nejbližší spotřebiči, obsahuje varistory nebo supresorové diody, používá se do instalačních krabic, chráněných zásuvek, prodlužovacích přívodů či jako zásuvkové adaptéry, impulzní proud do 10 kA pro vlnu 1,2/50 μs , omezují přepětí pod 1,5 kV

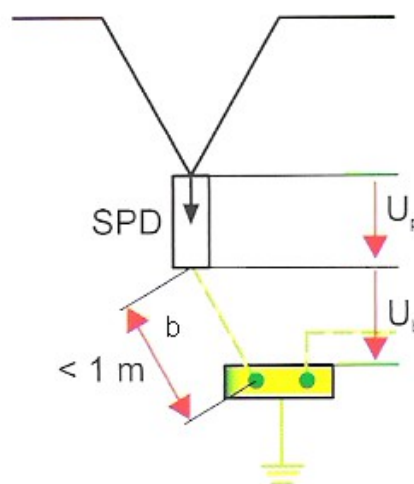
Aby přepět'ové ochrany mohly zcela plnit svůj ochranný účel, je nutno instalovat všechny tři stupně ochrany, použít výrobky od jednoho výrobce a provést instalaci podle montážního návodu výrobce.

3.3.3 Obecná pravidla připojení

ZAPOJENÍ



Obr. 32: Paralelní T-zapojení [10]



Obr. 33: Sériové V-zapojení [10]

Vodiče a, b jsou připojovací vodiče, pro něž platí $a + b < 1 \text{ m}$, neboť i na délce těchto vodičů závisí velikost indukovaného napětí. Průchodem bleskového proudu vznikají na vodičích a, b a na SPD úbytky napětí, jejichž součet ohrožuje připojené zařízení. Platí:

$$U_a + U_b + U_p \leq U_{\text{imp}} \quad (10)$$

U_a, U_b – úbytek na připojovacích vodičích

U_p – ochranná napět'ová hladina přepět'ové ochrany

U_{imp} – impulzní výdržné napětí

Abychom omezili úbytky napětí na přívodních vodičích, použijeme V-zapojení. Vodič a má nulovou délku, neboť je tvořen pouze přípojovací svorkou, zůstává jen vodič b, pro který platí $b < 1$ m. Výsledný úbytek pak tvoří pouze součet $U_b + U_p$.

ROZMÍSTĚNÍ

SPD a přípojovací vodiče je nutno v rozváděči situovat tak, aby:

- se omezily proudové smyčky, neboť ty indukují elektromagnetická pole úměrná své ploše
- nedocházelo ke křížení vodičů před a za ochranou

PRŮŘEZY PŘÍVODNÍCH VODIČŮ

Minimální průřezy předepisuje ČSN 33 2000-5-534. Je vždy lepší umožnit bleskovému proudu cestu na zemní potenciál dostatečně dimenzovaným vodičem, než aby došlo k poškození instalace či zařízení.

JIŠTĚNÍ

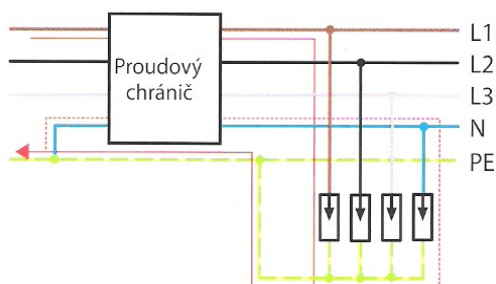
V případě poruchy přepětové ochrany, která má za následek zkrat, je nutno tuto bezpečně odpojit. Pokud jistící prvek na přívodu má menší hodnotu než hodnota předjištění přepětové ochrany, pak předjištění není nutné. V případě, že se jištění použije, musí se volit tak, aby zkrat v obvodu přepětové ochrany nezničil samotnou ochranu nebo při přepětí nevybavil jistící prvek průchodem svodového proudu a tím odpojil a znefunkčnil ochranu. Pro jištění přepětových ochran jsou nejvhodnější pojistky gL/gG nebo rychlejší.

SPD A PROUDOVÉ CHRÁNIČE

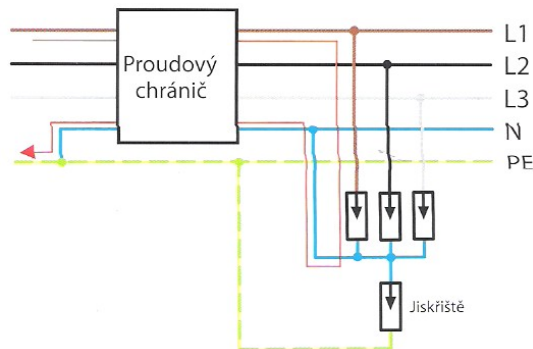
Při zapojení přepětových ochran v obvodech s proudovými chrániči nutno dodržet tyto požadavky:

- před SPD typ 1 nesmí být žádný chránič
- proudový chránič před SPD typ 2 musí být typ selektivní
- proudový chránič před SPD typ 3 musí být typ G (zpožděný)

Při umístění SPD za proudový chránič může u zapojení 4 + 0 docházet k jeho vypínání, neboť hlavní část impulzního proudu protéká přes varistor mezi L a PE, což je mimo obvod proudového chrániče. Tento nedostatek vyřeší zapojení 3 + 1, kdy proud teče mezi L a N, a tedy přes chránič. Při řazení přístrojů přepětových ochran v instalaci se musíme řídit směrem toku impulzního nebo výbojového proudu, ze kterého vstupuje do instalace.



Obr. 34: Zapojení 4 + 0 v obvodu chrániče
[10]



Obr. 35: Zapojení 3 + 1 v obvodu chrániče
[10]

TYPY ZAPOJENÍ SPD V ZÁVISLOSTI NA TYPU SÍTĚ

V síti TNC lze použít zapojení 3 + 0. V síti TN-C-S, TNS se používá 4 + 0. Čtyři prvky jsou zapojeny vždy mezi pracovní vodiče a ochranný vodič. Zapojení 3 + 1 má tři prvky zapojeny mezi fáze a nulový vodič. Čtvrtým prvkem je součtové jiskřiště, které je zapojeno mezi N a PE. Toto zapojení galvanicky odděluje nulový vodič od ochranného.

VÝZNAM SPM

Ochranná opatření před LEMP představují funkční systém, který denně chrání elektroniku před účinky přímého blízkého či vzdáleného úderu blesku, ale i před provozními přepětími, které většinou nezpůsobí poruchu, ale jsou příčinou umělého stárnutí polovodičů, nesprávné funkce zařízení a namáhání izolace. Dále snižují riziko přeskoků z instalace na cizí vodivé části budovy. Tím zajišťují bezpečnost osob, snižuje riziko vznícení stavby a zmenšují hmotné škody. Pravděpodobnost přímého zásahu budovy je statisticky velmi malá. Sečte-li se však sběrná plocha domu pro nepřímý úder, zásah v blízkosti budovy a sběrná plocha připojených inženýrských sítí, zjistíme, že objekt je ohrožen přepětíovou vlnou několikrát ročně.

3.4 Aktivní hromosvody

Tak jako každé technické zařízení i hromosvod prošel za dobu své existence technickým vývojem. Především ve 20. století s rozvojem elektrotechniky dochází k jeho vylepšování. Jednoduchý jímač je doplněn mřížovou soustavou, hřebenovým jímačem, přechází se od tyčových zemničů k deskovým, později obvodovým a základovým. Začíná se používat ekvipotenciální pospojování.

Když v roce 1777 nedaleko Londýna došlo k prvnímu zaznamenanému poškození hromosvodem chráněného objektu bleskem, snažili se lidé o zvýšení účinnosti jímací soustavy. Vylepšené jímače s pozlacenou špičkou se objevily v průběhu 19. století. Snaha o větší účinnost spočívala v usnadnění nástupu vstřícného výboje vůči sestupujícímu lídru za použití jímačů s přídavným zařízením. Začaly vznikat nekonvenční hromosvody.

V roce 1914 navrhl maďarský fyzik Leó Szillárd jímací tyč s radioaktivním prvkem. I když se časem prokázalo, že nijak neovlivňuje dráhu bleskového výboje, během 20. století došlo k jeho rozšíření. Na začátku 80. let dochází vlivem zpřísnění podmínek ochrany před radioaktivním vyzařováním a zákony o kontrole a registraci zářičů k jejich útlumu. Použití radioaktivních jímačů v současné době není u nás dovoleno. Zavedením jímačů s radioaktivním prvkem se hromosvody začaly rozdělovat na **pasivní** (Franklinovy tyče) a **aktivní**, které emitují vstřícné výboje.

Aktivní (ionizační) se dělí na:

- systémy s radioaktivním nuklidem
- systémy s elektronickými obvody

Aktivní jímač se skládá z hrotu, hlavice s iniciačním zařízením nosného prvku a připojení na svod. Fyzický rozdíl oproti klasickému hromosvodu spočívá pouze ve speciální hlavici.

3.4.1 Objev včasné emise vstřícného výboje

V 80. letech minulého století při experimentech ve vysokonapěťové laboratoři společnosti EdF (Electricité de France) byl pozorován vznik vstřícných výbojů, a to jak u pasivních, tak ionizujících jímačů. Bylo zjištěno, že u aktivních nastává vzestupný vstřícný výboj o několik μs dříve. Tento čas se nazývá iniciační předstih Δt .

$$\Delta t = t_{PTS} - t_{ESE} \quad (11)$$

Δt – iniciační předstih [μs]

t_{PTS} – střední doba šíření vzestupné větve pro Franklinův tyčový jímač

t_{ESE} – střední doba šíření vzestupné větve pro jímač s včasnou emisí výboje

Doba předstihu byla až 40 μs . Z toho bylo usouzeno, že tato technologie povede k účinnější ochraně objektu před bleskem větší délkou streameru proti sestupujícímu lídru. Tyto jímače nesou označení ESE (early streamer emission – včasná emise vstřícného výboje).

Ionizující jímače buď vytvářejí spontánní koronu v blízkosti hrotu tyče v důsledku vysokého elektrického pole pod bouřkovým mrakem a sestupujícím lídrem z mraku nebo generují repetující impulzy vysokého napětí v řádu desítek kV mezi malými pomocnými elektrodami a tyčovým jímačem s elektronickým zařízením. [18] Prvně popisovaný princip je na základě vyhodnocení pozorování považován za efektivnější.

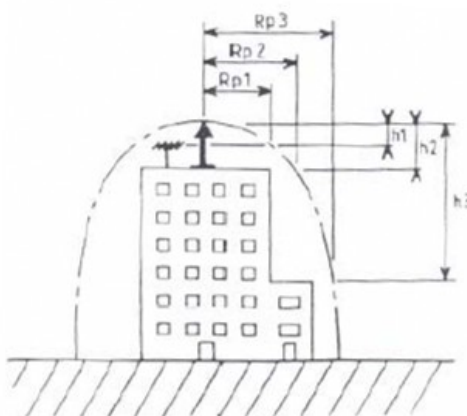
3.4.2 Princip činnosti jímačů s včasnou emisí vstřícného výboje

Při vzniku bouřkových mraků dochází ke zvýšení intenzity okolního elektrického pole na hodnoty 10 – 20 kV. Pokud se v blízkosti nachází jímač ESE, dojde k jeho aktivaci „nasátím“ energie z tohoto elektrického pole. Elektronické zařízení uvnitř hlavice začne vysílat s předstihem před úderem blesku sérii pulzů, které ionizují okolí hrotu jímače. To způsobí emisi streameru proti sestupujícímu vyhledávacímu výboji a nabídne snazší cestu pro hlavní výboj a jeho řízené svedení do jímače. Včasná emise streameru (Δt , iniciační čas, time delay) tak způsobí, že místo úderu blesku (setkání streameru s lídrem) se posune až 60 m nad hrot jímače (viz obr. 36), čímž dojde k jeho relativnímu (virtuálnímu) prodloužení ΔL . Toto znamená větší radius pomyslného ochranného deštníku (ochranného prostoru) nad objektem než poskytuje Franklinův hromosvod. Poloměr ochranného prostoru R_p tak může dosáhnout až 100 m.



Obr. 36: Posunutí místa úderu blesku nad jímač [19]

Chráněný prostor R_p dle obr. 37 je vymezený obálkou kružnic majících shodnou osu jako jímač a definovaných poloměrem působnosti ochrany pro různé uvažované výšky h .



Obr. 37: Ochranný prostor [20]

Výpočet poloměru ochranného prostoru R_p :

$$R_p = h \cdot (2D - h) + \Delta L \cdot (2D + \Delta L) \quad (12)$$

R_p – poloměr ochranného prostoru [m]

h – výška ochrany od špičky hromosvodu k ploše, která má být chráněna

D – úderová vzdálenost s hodnotami – 20 m pro LPS I, 30 m pro LPS II, 45 m pro LPS III a 60 m pro LPS IV

ΔL – délka stoupajícího výboje získaná hromosvodem ESE ve vztahu k pasivnímu [m]

Výpočet relativního prodloužení ΔL :

$$\Delta L = k \cdot v \cdot \Delta t \quad (13)$$

ΔL – relativní prodloužení [m]

k – koeficient bezpečnosti 0,6 – 1

v – rychlost šíření výboje [m/ μ s]

Δt – iniciační předstih [μ s]

Rovnice $\Delta L = v \cdot \Delta t$ je jádrem celého sporu mezi zastánci a odpůrci aktivních hromosvodů. Zastánci uvádějí rychlost vstřícného výboje 10^6 m/s, druhá strana to vidí jako nadsazené, neboť pozorovaná rychlost streameru v přírodě se pohybuje 10^5 m/s, což by zcela nabouralo teorii o zvýšeném ochranném prostoru. Rozdíl rychlosti je způsoben nižším gradientem skutečného blesku v přírodě než při uměle vytvořených dlouhých jiskrách v laboratoři. Rychlost lídru je také zpomalena prostorovým nábojem.

Pro výpočty je časový předstih dán normovými zkouškami v laboratoři a doložen měřicím protokolem. Pohybuje se v rozmezí 15 – 60 μ s dle konkrétního výrobku. Přídavná délka ΔL je bez ohledu na Δt maximálně 60 m.

Metoda ochranného poloměru R_p používaná pro návrh aktivních hromosvodů není podle ČSN EN 62 305 povolena. Lze použít pouze metodu valivé koule nebo ochranného úhlu. U všech jímačů se uvažuje vždy jen fyzická délka jímače, žádné prodloužení ΔL se nepři-pouští.

3.4.3 Co přináší použití aktivních hromosvodů

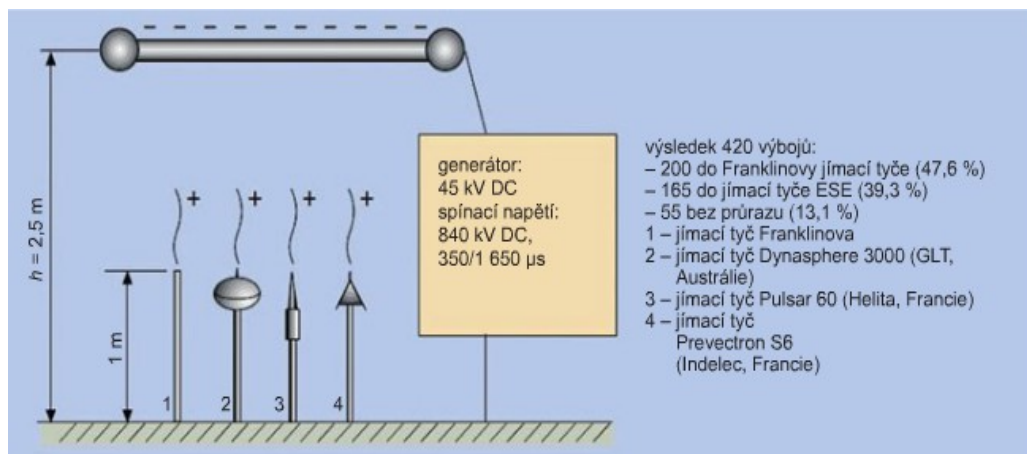
VÝHODY PODLE JEJICH ZASTÁNCŮ

- zajišťuje stejnou úroveň ochrany objektu s menším počtem jímačů, svodů, má celkové jednodušší hromosvodní soustavu
- jednodušší návrh
- úspora materiálu a práce
- delší životnost díky materiálům odolávajícím korozi a povětrnostním vlivům
- vhodné pro znečištěné ovzduší měst
- menší nároky na údržbu
- nevyžaduje napájení, byť potřebuje energii ke své funkci
- vyplatí se pro rozsáhlé, členité či geometricky složité objekty
- neruší architektonický vzhled budov, zejména u památek

NEGATIVA

- měřením nebo testerem nutnost provést funkční zkoušku aktivní části každé 3 roky nebo po úderu blesku
- každá výrobce má svůj vlastní přístroj a měřicí postup
- testování hlavic provádí výrobce bleskovým výbojem pouze do 100 kA, avšak objekty v třídě LPL I musí odolávat proudu 200 kA
- ČHMÚ zaznamenal již blesky s proudem 300 kA, to může vést k poruše hlavice a k znefunkčnění ochrany

- pouze jeden svod u budov do 28 m výšky, bezpečnost budovy závisí na jediném svodu, který se může stát terčem vandalismu, krádeže, poškození
- malý počet svodů způsobí velká elektromagnetická pole kolem svodu a velký úbytek napětí na něm
- nastává problém s velkou hodnotou dostatečné vzdálenosti pro přeskok oblouku, tuto hodnotu je mnohdy nereálné dodržet
- u budov s armováním stěn, s velkým množstvím kovových stavebních prvků použitých jako náhodné svody ztrácí ESE výhodu jednoduchosti instalace
- vyšší pořizovací cena, ta by však měla být vyvážena delší životností a bezúdržbovým provozem
- u hlavic s oscilačním obvodem je pouze 50% pravděpodobnost, že se dostane do rezonance
- funkčnost jímače může být v blízkosti komínů, větráků apod., ze kterých odcházejí horké spaliny, saze, plyny, negativně ovlivněna
- stahuje výboje ze širokého okolí na budovu, které by jinak udeřily jinde
- v nezávislých laboratořích, technických univerzitách a v přírodních laboratořích nebyla při srovnávacích zkouškách prokázána jejich lepší účinnost (např. výsledky měření na univerzitě v Manchesteru jsou uvedeny v obr. 38)
- lepší účinnost nepotvrdilo ani vyhodnocení praktických zkušeností z Malajsie či výzkumů CIGRE, ani ICLP svými teoretickými šetřeními a numerickými simulacemi fyzikálních procesů
- jímače technologie ESE nejsou standardizovány v ČR, EU ani v rámci IEC
- pojišťovny se mohou bránit plnění, jestliže nebylo postupováno podle českých technických norem
- francouzská norma NF C 17-102 je v rozporu ČSN EN 62 305 a byla zřejmě prosazena úzkou zájmovou skupinou
- instalací tohoto výrobku na veřejné budovy s vnitřním shromažďovacím prostorem je podle některých odborníků naplněna skutková podstata obecného ohrožení [25]



Obr. 38: Výsledky měření na univerzitě v Manchesteru [22]

3.4.4 Budoucnost hromosvodů

Realita je taková, že technologii ESE v této podobě nevěří fyzikové, odborníci v oboru ani mezinárodní elektrotechnické organizace. Všechno nasvědčuje, že takto realizovaná myšlenka vstříčného výboje je mylná. To však neznamená, že technologie ESE je úplně mrtvá. Zcela nepochybně má v sobě potenciál k dalšímu rozvoji. Výzkumníci v oboru se pokoušejí o vytvoření ionizačního kanálu pomocí vysokého napětí, mikrovlnného záření, pomocí plamene, laserového paprsku či vystřeleného tenkého drátku do bouřkového mraku. Nejnadějněji se jeví řízené svedení výboje laserem.

4 LEGISLATIVA V OCHRANĚ PŘED BLESKEM A PŘEPĚTÍM

Stále existuje mnoho otázek, zda je nějakým předpisem dána povinnost chránit objekty před účinky blesku a přepětí. V této části je proto uvedena řada zákonů, vyhlášek, nařízení vlády a technických norem, které tuto problematiku řeší.

4.1 Zákony, vyhlášky a nařízení vlády

- Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky

Je to základní předpis pro provádění nejen elektroinstalací, ale vlastně úplně všeho, co se vyrobí, zhotoví či jiným způsobem udělá.

Nařízení vlády k provádění zákona č. 22/1997 Sb.:

- Nařízení vlády 168/1997 Sb. v platném znění dle 281/2000 Sb., o technických požadavcích na elektrická zařízení nízkého napětí je technickým předpisem dle zákona pro elektrická zařízení budov.

- Nařízení vlády č. 616/2007 Sb., o požadavcích na výrobky z hlediska EMC
- Nařízení vlády č. 173/1997 Sb., kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody.

Zákon č. 22/1997 Sb. je upravován dalšími zákony:

- Zákon č. 71/2000 Sb.
- Zákon č. 205/2002 Sb.
- Zákon č. 226/2003 Sb.
- Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).

Jeho provádění upřesňuje vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj č. 268 ze dne 12. srpna 2009 o technických požadavcích na stavby. Tato vyžaduje provést výpočet řízeného rizika dle ČSN EN 62 305-2 pro stavby uvedené v § 36.

- Zákon č. 174/1968 Sb., o státním technickém dozoru nad bezpečností práce

Podle tohoto zákona vyhrazená technická zařízení jsou zařízení se zvýšenou mírou ohrožení zdraví, bezpečnosti, osob a majetku. Tato zařízení podléhají státnímu odbornému dozoru, který vykonávají orgány státního odborného dozoru zřízeného výhradně k tomuto účelu Ministerstvem práce a sociálních věcí.

- Vyhláška č. 73/2010 Sb., o vyhrazených elektrických technických zařízeních, § 2 odst. 1 písm. b)

Zařízeními jsou zařízení určená k ochraně před účinky atmosférické či statické elektřiny. Vyhláška uvádí podmínky pro jejich uvedení do provozu.

4.2 Technické normy

Od listopadu 2006 platí v ČR nový soubor harmonizovaných technických norem ČSN EN 62 305 Ochrana před bleskem. Od 1. února 2009 plně nahradila starou ČSN 34 1390 z roku 1969, která již neodpovídala současnému pojetí vnější ochrany před bleskem. Nezabývala se také vnitřní ochranou, která se s rozvojem elektroniky a výpočetní techniky stala nezbytností.

Technická komise IEC/TC 81 Ochrana před bleskem se na konferenci ve Florencii v roce 2001 usnesla zavést novou organizační strukturu norem pod názvem IEC 62 305 Ochrana před bleskem. Ta měla komplexně řešit vnitřní a vnější ochranu. Soubor norem čerpal z

dlouhodobého celosvětového měření blesku v přírodě, zkoušek a statistik škod způsobených bleskem. Podklady pro tvorbu této normy zpracovával také český odborník Ing. F. Popolanský, když prováděl měření parametrů bleskových proudů na Štramberké Trúbě. Vypracoval také statistiku příčin škod způsobených bleskem.

Norma IEC 62 305 byla schválena CENELEC (Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice) jako evropská. Česká republika jako člen tohoto výboru je povinna této normě dát status národní normy a starou zrušit.

Norma EN 62 305 je vyhotovena ve třech oficiálních verzích (anglicky, německy, francouzsky). Verze přeložená členem CENELEC do jeho vlastního jazyka má status jako oficiální verze. U nás úřední překlad provádí pouze Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Od 13. ledna 2014 platí v ČR ČSN EN 62 305 1 – 4 edice 2. Tato norma platí pro:

- projektování, instalaci, revizi a údržbu LPS pro stavby bez ohledu na jejich výšku
- dosažení ochranných opatření před úrazem živých bytostí dotykovými a krokovými napětími

Soubor norem obsahuje čtyři části. Jejich vzájemné propojení znázorňuje obr. 39.

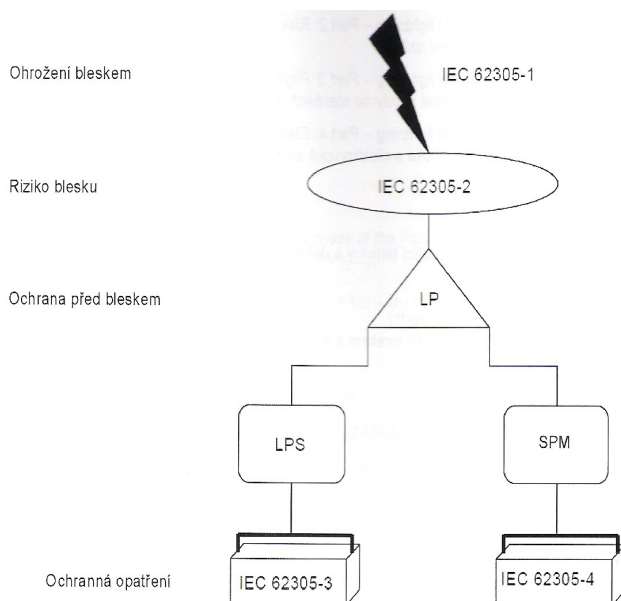
- Část 1: Obecné principy
- Část 2: Řízení rizik
- Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života
- Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách

Soubor norem ČSN EN 62 305 1 – 4 edice 2 je založen na ověřených dlouhodobých vědeckých výzkumech na celém světě. Normy jsou tvořeny na mezinárodní úrovni v jednotlivých odborných komisích a představují dohodu všech národních komitétů.

Kromě uvedené normy se k problematice ochrany před bleskem a přepětím váží i další:

- ČSN EN 60 664 Koordinace izolace zařízení nízkého napětí – Část 1: Zásady, požadavky a zkoušky
- ČSN IEC 61 312-3 Ochrana před elektromagnetickým impulzem vyvolaným bleskem – Část 3: Požadavky na přepět'ová ochranná zařízení (SPD)
- ČSN EN 61 643-11 Ochrana před přepětím nízkého napětí – Část 11: Přepět'ová ochranná zařízení zapojená v sítích nízkého napětí – Požadavky a zkoušky

- ČSN EN 61 643-21 Ochrana před přepětím nízkého napětí – Část 21: Ochrany před přepětím zapojené v telekomunikačních a signalizačních sítích – Požadavky na funkci a zkušební metody
- ČSN EN 61 000-4-5 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)
- ČSN 50 164-1 Součásti ochrany před bleskem (LPC) – Část 1: Požadavky na spojovací součásti
- ČSN 50 164-2 Součásti ochrany před bleskem (LPC) – Část 2: Požadavky na vodiče a zemniče
- ČSN 33 2000-1 Elektrické instalace budov – Část 1: Rozsah platnosti, účel a základní hlediska
- ČSN 33 2000-4-41 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 4: Bezpečnost – Kapitola 41: Ochrana před úrazem elektrickým proudem
- ČSN 33 2000-4-443 Elektrická instalace v budovách – Část 4: Bezpečnost – Kapitola 44: Ochrana před přepětím – Oddíl 443: Ochrana před atmosférickým nebo spínacím přepětím
- ČSN 33 2000-5-54 Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení – Kapitola 54: Uzemnění a ochranné vodiče
- ČSN 33 2000-5-534 Elektrická instalace nízkého napětí – Část 5 – 53: Výběr a stavba elektrických zařízení – Kapitola 534: Přepěťová zařízení



Obr. 39: Propojení mezi různými částmi norem IEC 62 305 [6]

4.3 Je povinnost instalovat na stavbu ochranu před bleskem?

Při výstavbě jakékoliv stavby je stavebník povinen řídit se zákonem č. 183/2006 Sb. (stavební zákon) a prováděcí vyhláškou č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. Stavební zákon v § 36 stanoví stavby a zařízení, kde se musí zřizovat ochrana před bleskem.

§ 36

Ochrana před bleskem

(1) Ochrana před bleskem se musí zřizovat na stavbách a zařízeních tam, kde by blesk mohl způsobit:

a) ohrožení života nebo zdraví osob, zejména ve stavbě pro bydlení, stavbě s vnitřním shromažďovacím prostorem, stavbě pro obchod, zdravotnictví a školství, stavbě ubytovacích zařízení nebo stavbě pro větší počet zvířat,

b) poruchu s rozsáhlými důsledky na veřejných službách, zejména v elektrárně, plynárně, vodárně, budově pro spojová zařízení a nádraží,

c) výbuch zejména ve výrobně a skladu výbušných a hořlavých hmot, kapalin a plynů,

d) škody na kulturním dědictví, případně jiných hodnotách, zejména v obrazárně, knihovně, archivu, muzeu, budově, která je kulturní památkou,

e) přenesení požáru stavby na sousední stavby, které podle písmena a) až d) musí být před bleskem chráněny,

f) ohrožení stavby, u které je zvýšené nebezpečí zásahu bleskem v důsledku jejího umístění na návrší nebo vyčnívá-li nad okolí, zejména u továrního komína, věže, rozhledny a vysílací věže.

(2) Pro stavby uvedené v odstavci (1) musí být proveden výpočet řízení rizika podle normových hodnot k výběru nejvhodnějších ochranných opatření stavby.

(3) Pro uzemnění systému ochrany před bleskem se u staveb přednostně zřizuje základový zemnič.

Je tedy nutno provést analýzu rizik (riziko ohrožení stavby bleskem, vyhodnotit velikost škody, která hrozí) dle ČSN EN 62 305-2. Výsledkem této analýzy by mělo být stanovení, zda je ochrana nutná, a pokud ano, tak na jaké technické úrovni (LPS I, II, III, IV), ale s ohledem na ekonomické náklady instalace a případné ekonomické ztráty v objektu.

Je nezbytné, aby takováto ochrana obsahovala vnější i vnitřní systém ochrany před bleskem a přepětím. Pokud v analýze vyjde riziko zásahu bleskem malé a ochranu není nutno zřizovat, neznamená to však, že do stavby blesk neudeří. Rozumný vlastník jistě nebude riskovat, že se příroda bude řídit teorií pravděpodobnosti, a svůj majetek ochrání. Je-li však vypočtené riziko opravdu minimální, nabízí se možnost místo instalace uzavřít pojistku (s vědomím výše pojištění objektu a spoluúčasti pojištěnce), pokud tuto situaci pojišťovna akceptuje.

Obecně lze říci, že instalace hromosvodu není podmínkou pro uzavření smlouvy o pojištění objektu. Byl-li objekt zkolaudován bez ochrany před bleskem, pojišťovna ji rovněž nepožaduje. V případě, že podle kolaudačního rozhodnutí měl být hromosvod nainstalován, a v době pojistné události tomu tak nebylo, zcela určitě se pojišťovna bude vyplacení pojistného plnění bránit nebo se jej snažit snížit.

Lze říci, že žádnou ochranu před bleskem budovat nemusíme, neboť kdyby byla skutečně nutná, byla by předepsaná zákonem. Předepsaná je pouze tam, kde se jedná o bezpečnost veřejnosti. U soukromých a neveřejných budov je instalace hromosvodu dobrovolným rozhodnutím vlastníka objektu, jinak je nutno řídit se Stavebním zákonem.

České technické normy dle zákona 22/1997 Sb. nejsou obecně závazné, proto při zřizování hromosvodu se můžeme řídit i jiným předpisem. Tento by se neměl v žádném případě odlišovat od mezinárodních norem a být na minimálně stejné nebo vyšší technické úrovni.

4.4 Legislativa spojená s jímači s včasnou emisí vstřícného výboje

Aktivní hromosvody se začaly montovat v ČR od roku 1994 na základě výjimky z dnes již zrušené ČSN 34 1390. Výjimka se týkala ochranného prostoru vytvořeného kuzelem s vrcholovým úhlem 120° nadstaveným na přídavnou výšku jímače a požadovala odpor uzemnění do 10Ω , jeden svod pro budovu do 30 m výšky, dva svody nad 30 m, revizi po 3 letech s proměřením parametrů aktivní části. V současnosti platná ČSN EN 62 305 1 – 4 edice 2 se o aktivních hromosvodech nijak nezmiňuje.

Jedinými normami v Evropě, které řeší ESE jsou francouzská norma NF C 17102 a z ní vycházející (její překlad) slovenská STN 341391 - Aktivne bleskozvody. CENELEC v roce 2010 odmítl zařadit francouzskou normu mezi evropské a ta tak zůstává pouze národní.

Podporovatelé ESE se také zatím neúspěšně snaží zařadit jímače ESE do předpisů americké NFPA (Národní svaz hasičů). Ve Spojených státech také federální okresní soud v

Arizoně na základě znaleckých posudků zakázal prodejci ESE argumentaci větším ochranným prostorem, což označil za klamavou reklamu.

K problematice jímačů ESE byly vydány ÚNMZ v roce 2013 dva dokumenty:

- **Oznámení č. 01/13**

- francouzskou normou NF C 17102 potažmo slovenskou normou STN 34 1391 není dosaženo stejných nebo vyšších technických parametrů, jako kdyby se postupovalo dle českých technických norem ČSN EN 62 305-1 až 4
- národní francouzská a slovenská norma nebyly převzaty do soustavy ČSN, nejsou harmonizovanými normami a nelze je v případě odkazu na normové hodnoty používat pro účely vyhlášky č. 268/2009 Sb.
- pro posouzení hromosvodu se nepoužije zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, po dokončení montáže komponentů je hromosvod podle vyhlášky č. 73/2010 Sb. vyhrazeným technickým zařízením

- **Národní příloha NA ČSN EN 62 305-3 ed. 2**

Vyšla jako praktické doplnění Oznámení č. 01/13 a její vznik podnítily tyto argumenty:

- francouzská a slovenská norma jsou pouze národní normy
- neřeší se v nich vnitřní ochrana
- uvádějí nadnesenou rychlost šíření blesku

Dalšími argumenty byly:

- výška jímače je dána pouze jeho fyzickou délkou
- jímače ESE se berou jen jako jímací tyče
- zkoušky neprokázaly zvýšenou účinnost
- instalací podle těchto norem se porušuje § 102 zákoníku práce o vytváření bezpečného a zdraví neohrožujícího pracovního prostředí

Přesto všechno se i dnes v ČR aktivní hromosvody projektují, montují, revidují a kolaudují podle francouzské normy. Podotýkám, že u nás neexistuje oficiální překlad této normy provedený ÚNMZ, který jako jediný je k tomu oprávněn. Také revizní technici nejsou z této normy přezkušováni.

ROZPOR STANOVISEK ÚNMZ A TIČR

ÚNMZ jednoznačně zastává názor, že aktivní hromosvody jsou u nás v rozporu se souborem norem pro ochranu před bleskem ČSN EN 62 305 a jsou u nás nepřípustné. Technická inspekce České republiky (TIČR) jako orgán státního dozoru nad vyhrazenými zařízeními říká, že možné jsou, neboť to žádný právní předpis nezakazuje, resp. není stanovena obecná povinnost dodržování ČSN.

V dubnu 2013 proběhla na ÚNMZ schůzka mezi subkomisí TNK 97 Ochrana před bleskem a podporovateli (distributory) ESE, kteří byli vyzváni, aby vyložili technické nesoulady a objasnili parametry svých výrobků. Tito však svým nekonstruktivním jednáním schůzku blokovali, a jednání se nikam neposunulo.

Z uvedeného je zřejmé, že legislativní prostředí kolem ESE je nejednoznačné a nachází se v jakési „šedé zóně“. Zdá se, že pozice obchodně zainteresovaných je neobyčejně silná.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

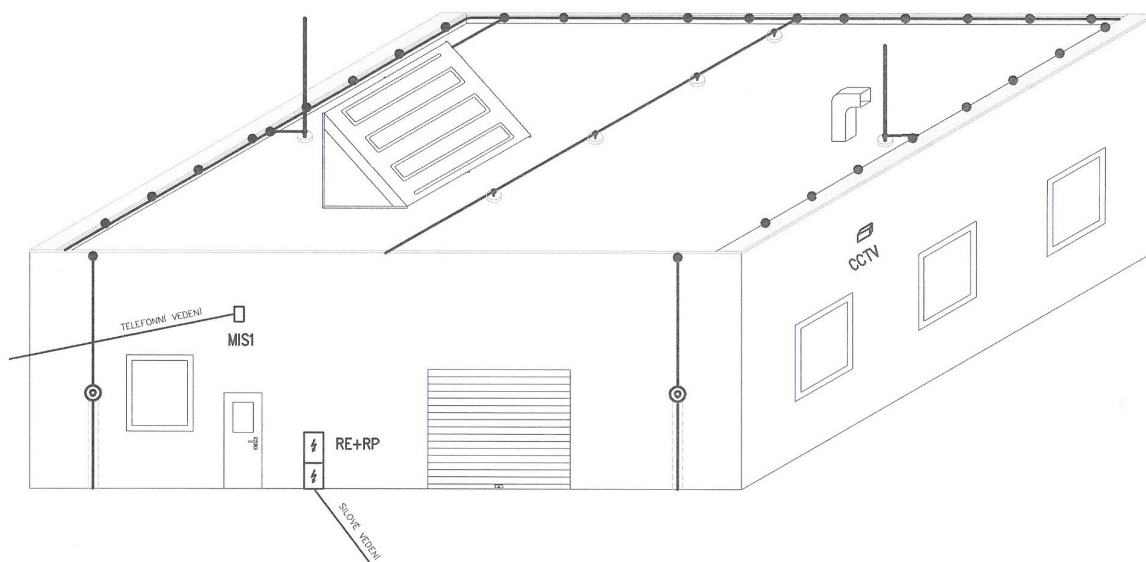
5 POPIS OBJEKTU

Přízemní budova o rozměrech $L = 15\text{ m}$, $W = 10\text{ m}$, $H = 5\text{ m}$ leží na okraji obce v rovinném terénu bez sousedních budov. Je zde vykonávána zámečnická výroba – výroba plotů, bran, zábradlí, vrat. Stavba je zděna z pálených cihelných bloků tloušťky 44 cm, má rovnou střechu z keramikobetonových nosníků a cihelných vložek Miako. Na střeše je položena živičná izolační lepenka. Atika střechy je oplechována. Obvodové zdivo je zatepleno polystyrenem tloušťky 10 cm s finální fasádní omítkou. Podlaha je v celém objektu betonová.

Na střechu je vyvedeno odsávání ze svařovacího boxu v dílně a je zde také termický solární kolektor pro ohřev TUV. Na jižní stěně objektu je umístěna kamera monitorující venkovní sklad materiálu.

Přívodní napájecí vedení nízkého napětí je provedeno zemním kabelem CYKY-J 4x25 mm² do přípojkové skříně a následně elektroměrového rozvaděče na vnější straně obvodového zdiva.

Telekomunikační kabel je natažen vzduchem a ukončen v přípojovací krabici. Uvnitř objektu jsou dva podružné rozvaděče – RP1 pro kancelář a sociální zařízení a RMS1 pro dílnu. Do budovy dále vstupuje horkovodní potrubí pro vytápění.



Obr. 40: Celkový pohled na budovu

5.1 Výpočet rizika

U tohoto typu staveb budeme zjišťovat riziko ztrát na lidských životech (R_1). Vypočtené riziko poté porovnáme s hodnotou tolerovaného rizika R_T . Výsledkem bude zjištění, zda provedená ochranná opatření proti úderu blesku jsou dostatečná.

Rovnice pro výpočet rizika ztrát lidských životů ve stavbě:

$$R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z \quad (14)$$

R_1 je tvořeno jednotlivými součástmi rizika:

R_A – součást rizika (úraz živých bytostí – údery do stavby)

R_B – součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do stavby)

R_C – součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery do stavby)

R_M – součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery v blízkosti stavby)

R_U – součást rizika (úraz živých bytostí – údery do připojeného vedení)

R_V – součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do připojeného vedení)

R_W – součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery do připojeného vedení)

R_Z – součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery v blízkosti připojeného vedení)

Vztahy mezi způsobenou škodou, příčinou poškození a součástmi rizika ukazuje tabulka 7.

Tabulka 7: Součásti rizika pro různé typy škod a jejich různé příčiny [7]

Škoda	Příčina poškození			
	S1 Úder blesku do stavby	S2 Úder blesku v blízkosti stavby	S3 Úder blesku do vstupujícího vedení	S4 Úder blesku v blízkosti vedení
D1 Úraz živých bytostí elektrickým proudem	$R_A = N_D \times P_A \times L_A$		$R_U = (N_L + N_{D,U}) \times P_U \times L_U$	
D2 Hmotná škoda	$R_B = N_D \times P_B \times L_B$		$R_V = (N_L + N_{D,V}) \times P_V \times L_V$	
D3 Porucha elektrických a elektronických systémů	$R_C = N_D \times P_C \times L_C$	$R_M = N_M \times P_M \times L_M$	$R_W = (N_L + N_{D,W}) \times P_W \times L_W$	$R_Z = N_I \times P_Z \times L_Z$

V případě našeho objektu lze rovnici zjednodušit vynecháním některých součástí rizika:

$$R_1 = R_A + R_B + R_U + R_V \quad (15)$$

Vynechané součásti rizika uvažujeme pouze pro stavby s rizikem výbuchu a nemocnice.

Dále je dle ČSN EN 62 305-2 součástí rizika úrazu lidí vně stavby $R_A = 0$, neboť se předpokládá, že vně budovy nejsou žádní lidé během bouřky. Konečná rovnice pro výpočet rizika ztrát lidských životů ve stavbě je:

$$R_1 = R_B + R_U + R_V \quad (16)$$

Součásti R_V a R_U musíme uvažovat pro obě připojená vedení ke stavbě. Rovnice pro tento konkrétní objekt je:

$$R_1 = R_B + R_{U\text{ sil.}} + R_{V\text{ sil.}} + R_{U\text{ tel.}} + R_{V\text{ tel.}} \quad (17)$$

Každá součást rizika může být vyjádřena obecnou rovnicí:

$$R_X = N_X \cdot P_X \cdot L_X \quad (18)$$

N_X – počet nebezpečných událostí za rok

P_X – pravděpodobnost poškození stavby

L_X – následné ztráty

5.2 Číselný výpočet rizika

HUSTOTA ÚDERŮ BLESKU DO ZEMĚ

$$N_G \approx 0,1 \cdot T_D \quad (19)$$

$$N_G \approx 0,1 \cdot 27$$

$$N_G \approx 2,7 \text{ úderů na km}^2 \text{ /rok}$$

T_D – počet bouřkových dnů v oblasti za rok; hodnotu získáme z izokeraunické mapy nebo z Českého hydrometeorologického úřadu

SBĚRNÁ OBLAST STAVBY PRO ÚDERY DO STAVBY

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2 \quad (20)$$

$$A_D = 15 \cdot 10 + 2 \cdot (3 \cdot 5) \cdot (15 + 10) + 3,14 \cdot (3 \cdot 5)^2$$

$$A_D = 1606,5 \text{ m}^2$$

$L = 15$ m (hodnota je dána délkou stavby)

$W = 10$ m (hodnota je dána šířkou stavby)

$H = 5$ m (hodnota je dána výškou stavby)

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY DO STAVBY

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6} \quad (21)$$

$$N_D = 2,7 \cdot 1606,5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_D = 4,33 \cdot 10^{-3} \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 19

A_D – hodnota vypočtena z rovnice 20

C_D – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.1 – Činitel polohy stavby

SBĚRNÁ OBLAST STAVBY PRO ÚDERY V BLÍZKOSTI STAVBY

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (L + W) + \pi \cdot 500^2 \quad (22)$$

$$A_M = 2 \cdot 500 \cdot (15 + 10) + 3,14 \cdot 500^2$$

$$A_M = 81\,000 \text{ m}^2$$

$L = 15$ m (hodnota je dána délkou stavby)

$W = 10$ m (hodnota je dána šířkou stavby)

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY V BLÍZKOSTI STAVBY

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6} \quad (23)$$

$$N_M = 2,7 \cdot 81\,000 \cdot 10^{-6}$$

$$N_M = 2,187 \cdot 10^{-1} \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 19

A_M – hodnota vypočtena z rovnice 22

SBĚRNÁ OBLAST PRO ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$A_{L \text{ sil.}} = 40 \cdot L_L \quad (24)$$

$$A_{L \text{ sil.}} = 40 \cdot 1\,000$$

$$A_{L \text{ sil.}} = 40\,000 \text{ m}^2$$

L_L – délka sekce vedení; pokud délka vedení není známá, předpokládá se $L_L = 1000$ m

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$N_{L.sil.} = N_G \cdot A_{L.sil.} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (25)$$

$$N_{L.sil.} = 2,7 \cdot 40\,000 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_{L.sil.} = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 19

$A_{L.sil.}$ – hodnota vypočtena z rovnice 24

C_I – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.2 – Činitel polohy vedení

C_E – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.4 – Činitel prostředí

C_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.3 – Činitel typu vedení

SBĚRNÁ OBLAST PRO ÚDERY V BLÍZKOSTI SILOVÉHO VEDENÍ

$$A_{I.sil.} = 4\,000 \cdot L_L \quad (26)$$

$$A_{I.sil.} = 4\,000 \cdot 1\,000$$

$$A_{I.sil.} = 4\,000\,000 \text{ m}^2$$

L_L – délka sekce vedení; pokud délka vedení není známá, předpokládá se $L_L = 1000$ m

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY V BLÍZKOSTI SILOVÉHO VEDENÍ

$$N_{I.sil.} = N_G \cdot A_{I.sil.} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (27)$$

$$N_{I.sil.} = 2,7 \cdot 4\,000\,000 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_{I.sil.} = 5,4 \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 19

$A_{I.sil.}$ – hodnota vypočtena z rovnice 26

C_I – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.2 – Činitel polohy vedení

C_E – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.4 – Činitel prostředí

C_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.3 – Činitel typu vedení

SBĚRNÁ OBLAST PRO ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$A_{L \text{ tel.}} = 40 \cdot L_L \quad (28)$$

$$A_{L \text{ tel.}} = 40 \cdot 1\,000$$

$$A_{L \text{ tel.}} = 40\,000 \text{ m}^2$$

L_L – délka sekce vedení; pokud délka vedení není známá, předpokládá se $L_L = 1000 \text{ m}$

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$N_{L \text{ tel.}} = N_G \cdot A_{L \text{ tel.}} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (29)$$

$$N_{L \text{ tel.}} = 2,7 \cdot 40\,000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_{L \text{ tel.}} = 1,08 \cdot 10^{-1} \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 19

$A_{L \text{ tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 28

C_I – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.2 – Činitel polohy vedení

C_E – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.4 – Činitel prostředí

C_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.3 – Činitel typu vedení

SBĚRNÁ OBLAST PRO ÚDERY V BLÍZKOSTI TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$A_{I \text{ tel.}} = 4\,000 \cdot L_L \quad (30)$$

$$A_{I \text{ tel.}} = 4\,000 \cdot 1\,000$$

$$A_{I \text{ tel.}} = 4\,000\,000 \text{ m}^2$$

L_L – délka sekce vedení; pokud délka vedení není známá, předpokládá se $L_L = 1000 \text{ m}$

POČET NEBEZPEČNÝCH UDÁLOSTÍ ZPŮSOBENÝCH ÚDERY V BLÍZKOSTI TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$N_{I \text{ tel.}} = N_G \cdot A_{I \text{ tel.}} \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6} \quad (31)$$

$$N_{I \text{ tel.}} = 2,7 \cdot 4\,000\,000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

$$N_{I \text{ tel.}} = 10,8 \text{ úderů/rok}$$

N_G – hodnota vypočtena z rovnice 18

$A_{I \text{ tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 30

C_I – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.2 – Činitel polohy vedení

C_E – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.4 – Činitel prostředí

C_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka A.3 – Činitel typu vedení

SOUČÁST RIZIKA HMOTNÝCH ŠKOD ÚDERY DO STAVBY

$$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B \quad (32)$$

$$R_B = 4,33 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 10^{-5}$$

$$R_B = 2,17 \cdot 10^{-9} \text{ událostí/rok}$$

N_D – hodnota vypočtena z rovnice 21

P_B – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.3 – Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu

L_B – hodnota vypočtena z rovnice 33

ZTRÁTY VE STAVBĚ SOUVISEJÍCÍ S HMOTNOU ŠKODOU ÚDERY DO STAVBY

$$L_B = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z/n_t \cdot t_z/8760 \quad (33)$$

$$L_B = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$L_B = 10^{-5}$$

r_p – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.4 – Opatření ke zmenšení následků požáru

r_f – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.5 – Riziko požáru stavby

h_z – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.6 – Přítomnost zvláštního rizika

L_F – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.2 – Typická střední hodnota ztráty vztahující se k hmotné škodě pro průmyslový objekt

n_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; počet osob v zóně

n_t – hodnota z ČSN EN 62305-2; celkový počet osob ve stavbě

Jestliže se stavba považuje za jednu zónu, měl by se poměr n_z/n_t rovnat číslu 1.

t_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně; jestliže hodnota není známa, měl by se poměr $t_z/8760$ rovnat číslu 1

SOUČÁST RIZIKA ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$R_{U_{sil.}} = (N_{L_{sil.}} + N_{Dj}) \cdot P_{U_{sil.}} \cdot L_{U_{sil.}} \quad (34)$$

$$R_{U_{sil.}} = (5,4 \cdot 10^{-2} + 0) \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}$$

$$R_{U_{sil.}} = 2,7 \cdot 10^{-9} \text{ událostí/rok}$$

$N_{L_{sil.}}$ - hodnota vypočtena z rovnice 25

N_{DJ} – počet nebezpečných událostí způsobených úderem do sousední stavby

$P_{U_{sil.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 35

$L_{U_{sil.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 36

PRÁVDĚPODOBNOST ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$P_{U_{sil.}} = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (35)$$

$$P_{U_{sil.}} = 10^{-2} \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 1$$

$$P_{U_{sil.}} = 5 \cdot 10^{-4}$$

P_{TU} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.6 – Pravděpodobnost úrazu živých bytostí v důsledku nebezpečných dotykových napětí

P_{EB} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.7 – Pravděpodobnost snížení P_U a P_V

P_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.8 – Pravděpodobnost snížení P_U , P_V a P_W

C_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.4 – Činitelé závislí na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení

ZTRÁTY VZTAHUJÍCÍ SE K ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$L_{U_{sil.}} = r_t \cdot L_T \cdot n_z/n_t \cdot t_z/8760 \quad (36)$$

$$L_{U_{sil.}} = 10^{-2} \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$L_{U_{sil.}} = 10^{-4}$$

r_t – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.3 – Činitel závislosti na typu povrchu půdy nebo podlahy

L_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.2 – Typická střední hodnota ztráty úrazu elektrickým proudem pro všechny typy staveb

n_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; počet osob v zóně

n_t – hodnota z ČSN EN 62305-2; celkový počet osob ve stavbě

Jestliže se stavba považuje za jednu zónu, měl by se poměr n_z/n_t rovnat číslu 1.

t_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně; jestliže hodnota není známa, měl by se poměr $t_z/8760$ rovnat číslu 1

SOUČÁST RIZIKA HNOTNÝCH ŠKOD ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$R_{V \text{ sil.}} = (N_{L \text{ sil.}} + N_{DJ}) \cdot P_{V \text{ sil.}} \cdot L_{V \text{ sil.}} \quad (37)$$

$$R_{V \text{ sil.}} = (5,4 \cdot 10^{-2} + 0) \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-5}$$

$$R_{V \text{ sil.}} = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ událostí/rok}$$

$N_{L \text{ sil.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 25

N_{DJ} – počet nebezpečných událostí způsobených úderem do sousední stavby

$P_{V \text{ sil.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 38

$L_{V \text{ sil.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 39

PRAVDĚPODOBNOST HNOTNÉ ŠKODY ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$P_{V \text{ sil.}} = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (38)$$

$$P_{V \text{ sil.}} = 0,05 \cdot 1 \cdot 1$$

$$P_{V \text{ sil.}} = 5 \cdot 10^{-2}$$

P_{EB} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.7 – Pravděpodobnost snížení P_U a P_V

P_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.8 – Pravděpodobnost snížení P_U , P_V a P_W

C_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.4 – Činitelé závislé na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení

ZTRÁTY VZTAHUJÍCÍ SE K HNOTNÉ ŠKODĚ ÚDERY DO SILOVÉHO VEDENÍ

$$L_{V \text{ sil.}} = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z/n_t \cdot t_z/8760 \quad (39)$$

$$L_{V \text{ sil.}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$L_{V \text{ sil.}} = 10^{-5}$$

r_p – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.4 – Opatření ke zmenšení následků požáru

r_f – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.5 – Riziko požáru stavby

h_z – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.6 – Přítomnost zvláštního rizika

L_F – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.2 – Typická střední hodnota ztráty vztahující se k hmotné škodě pro průmyslový objekt

n_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; počet osob v zóně

n_t – hodnota z ČSN EN 62305-2; celkový počet osob ve stavbě

Jestliže se stavba považuje za jednu zónu, měl by se poměr n_z/n_t rovnat číslu 1.

t_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně; jestliže hodnota není známa, měl by se poměr $t_z/8760$ rovnat číslu 1.

SOUČÁST RIZIKA ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$R_{U_{tel.}} = (N_{L_{tel.}} + N_{DJ}) \cdot P_{U_{tel.}} \cdot L_{U_{tel.}} \quad (40)$$

$$R_{U_{tel.}} = (1,08 \cdot 10^{-1} + 0) \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}$$

$$R_{U_{tel.}} = 5,4 \cdot 10^{-9} \text{ událostí/rok}$$

$N_{L_{tel.}}$ - hodnota vypočtena z rovnice 29

N_{DJ} – počet nebezpečných událostí způsobených úderem do sousední stavby

$P_{U_{tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 41

$L_{U_{tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 42

PRAVDĚPODOBNOST ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$P_{U_{tel.}} = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (41)$$

$$P_{U_{tel.}} = 10^{-2} \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 1$$

$$P_{U_{tel.}} = 5 \cdot 10^{-4}$$

P_{TU} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.6 – Pravděpodobnost úrazu živých bytostí v důsledku nebezpečných dotykových napětí

P_{EB} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.7 – Pravděpodobnost snížení P_U a P_V

P_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.8 – Pravděpodobnost snížení P_U , P_V a P_W

C_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.4 – Činitelé závislí na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení

ZTRÁTY VZTAHUJÍCÍ SE K ÚRAZU ŽIVÝCH BYTOSTÍ ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$L_{U_{tel.}} = r_t \cdot L_T \cdot n_z/n_t \cdot t_z/8760 \quad (42)$$

$$L_{U_{tel.}} = 10^{-2} \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$L_{U_{tel.}} = 10^{-4}$$

r_t – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.3 – Činitel závislosti na typu povrchu půdy nebo podlahy

L_T – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.2 – Typická střední hodnota ztráty úrazu elektrickým proudem pro všechny typy staveb

n_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; počet osob v zóně

n_t – hodnota z ČSN EN 62305-2; celkový počet osob ve stavbě

Jestliže se stavba považuje za jednu zónu, měl by se poměr n_z/n_t rovnat číslu 1.

t_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně; jestliže hodnota není známa, měl by se poměr $t_z/8760$ rovnat číslu 1

SOUČÁST RIZIKA HMOTNÝCH ŠKOD ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$R_{V\text{ tel.}} = (N_{L\text{ tel.}} + N_{DJ}) \cdot P_{V\text{ tel.}} \cdot L_{V\text{ tel.}} \quad (43)$$

$$R_{V\text{ tel.}} = (1,08 \cdot 10^{-1} + 0) \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-5}$$

$$R_{V\text{ tel.}} = 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ událostí/rok}$$

$N_{L\text{ tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 29

N_{DJ} – počet nebezpečných událostí způsobených úderem do sousední stavby

$P_{V\text{ tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 44

$L_{V\text{ tel.}}$ – hodnota vypočtena z rovnice 45

PRAVDĚPODOBNOST HMOTNÉ ŠKODY ÚDEREM DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$P_{V\text{ tel.}} = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD} \quad (44)$$

$$P_{V\text{ tel.}} = 0,05 \cdot 1 \cdot 1$$

$$P_{V\text{ tel.}} = 5 \cdot 10^{-2}$$

P_{EB} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.7 – Pravděpodobnost snížení P_U a P_V

P_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.8 – Pravděpodobnost snížení P_U , P_V a P_W

C_{LD} – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka B.4 – Činitelé závislé na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení

ZTRÁTY VZTAHUJÍCÍ SE K HMOTNÉ ŠKODĚ ÚDERY DO TELEKOMUNIKAČNÍHO VEDENÍ

$$L_{V\text{ tel.}} = r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z/n_t \cdot t_z/8760 \quad (45)$$

$$L_{V \text{ tel.}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$L_{V \text{ tel.}} = 10^{-5}$$

r_p – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.4 – Opatření ke zmenšení následků požáru

r_f – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.5 – Riziko požáru stavby

h_z – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.6 – Přítomnost zvláštního rizika

L_F – hodnota z ČSN EN 62305-2, tabulka C.2 – Typická střední hodnota ztráty vztahující se k hmotné škodě pro průmyslový objekt

n_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; počet osob v zóně

n_t – hodnota z ČSN EN 62305-2; celkový počet osob ve stavbě

Jestliže se stavba považuje za jednu zónu, měl by se poměr n_z/n_t rovnat číslu 1.

t_z – hodnota z ČSN EN 62305-2; doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně; jestliže hodnota není známa, měl by se poměr $t_z/8760$ rovnat číslu 1

VÝSLEDNÉ RIZIKO ZTRÁT NA LIDSKÝCH ŽIVOTECH

Vypočteme dle rovnice uvedené v kapitole 5.1:

$$R_1 = R_B + R_{U \text{ sil.}} + R_{V \text{ sil.}} + R_{U \text{ tel.}} + R_{V \text{ tel.}} \quad (46)$$

$$R_1 = 2,17 \cdot 10^{-9} + 2,7 \cdot 10^{-9} + 2,7 \cdot 10^{-8} + 5,4 \cdot 10^{-9} + 5,4 \cdot 10^{-8}$$

$$R_1 = 9,127 \cdot 10^{-8} \text{ událostí/rok}$$

Nyní porovnáme vypočtené riziko ztrát na lidských životech R_1 s hodnotou tolerovaného rizika R_T :

$$R_1 = 9,127 \cdot 10^{-8} < R_T = 10^{-5}$$

Tímto srovnáním je ověřeno, že navržená ochranná opatření jsou pro tento objekt dostatečná. Popis těchto ochranných opatření je v kapitole 5.3 a 5.4.

5.3 Vnější ochrana objektu před bleskem

JÍMACÍ SOUSTAVA

Ochrana před bleskem je řešena podle ČSN EN 62305-1 až 4. Vzhledem k charakteru a využití budovy je zařazena do LPL III. Tomu odpovídá třída ochrany před bleskem LPS III. Na objektu je zřízena mřížová jímací soustava. Rozměry ok 10 x 7,5 m (obr. 41) vyhovují

pro danou třídu LPS podle tabulky 6. Komínky odsávání a solární kolektory jsou chráněny oddálenými jímači. Tím se zabrání při úderu blesku do jímače zavlečení bleskového proudu dovnitř objektu. Výška obou jímačů je taková, aby oba kovové prvky byly skryty v jejich ochranném úhlu. Totéž platí pro umístění kamery na zdi budovy, která je v ochranném prostoru jímače 2. Velikosti ochranných úhlů byly určeny metodou ochranného úhlu, jejich hodnoty ukazuje obrázek č. 42. Ochranné prostory jímačů se nachází na obr. 41. Vzhledem k instalaci obou jímačů už mřížová soustava neplní funkci „zachytávače“ blesku, ale pouze rozvádí bleskový proud do více směrů, což je velmi žádoucí. Obvodové vedení z FeZn 8 je přichyceno k oplechování atiky. K oplechování je použito pozinkovaného plechu tloušťky 0,6 mm a je tedy součástí jímací soustavy. Při zásahu blesku proto hrozí průpal plechu, což způsobí zatékání do objektu. Spojovací vedení je uloženo na betonových podpěrách.

SVODY

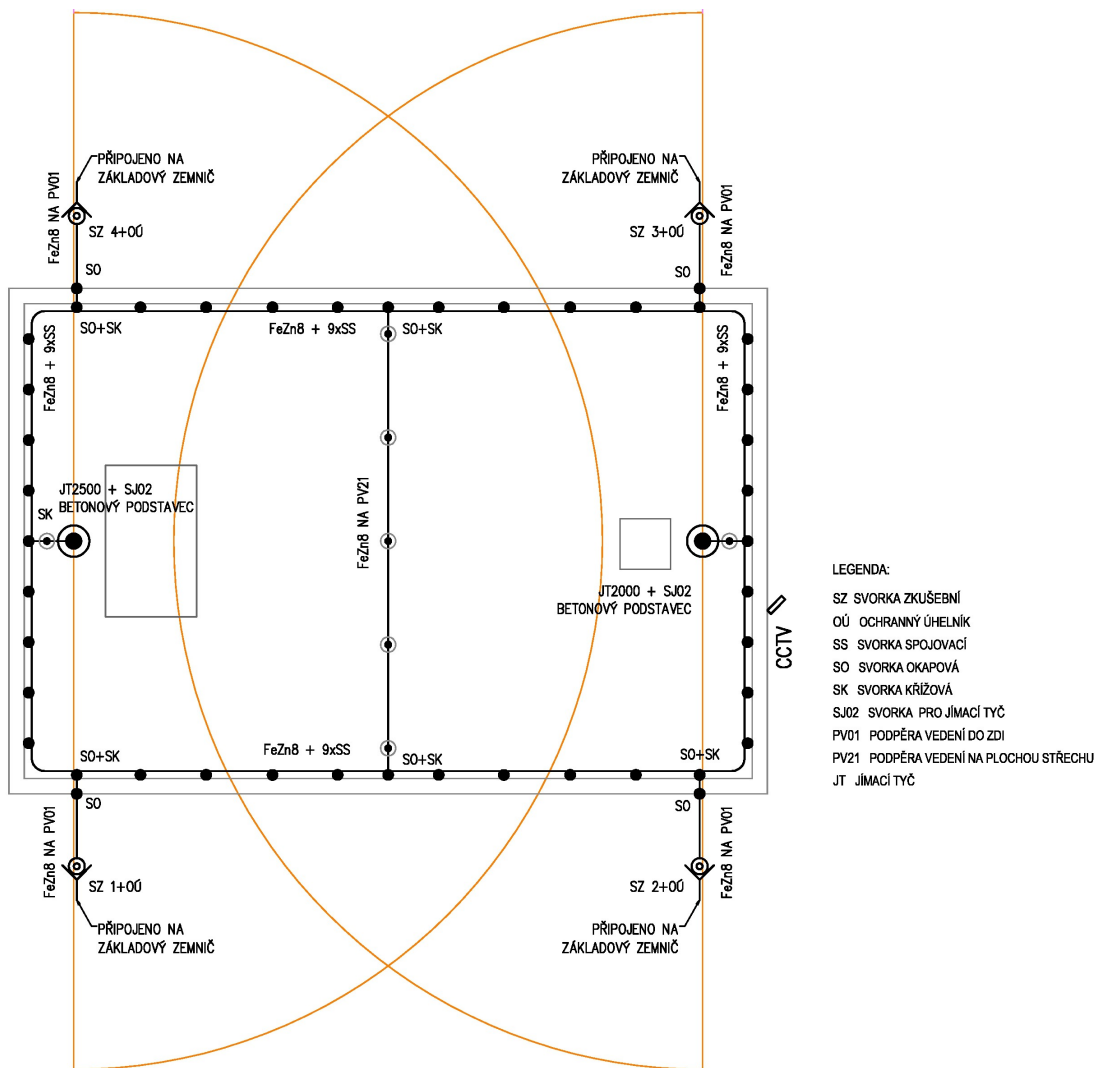
Připojení jímací soustavy k zemniči je v rozích budovy přes měřicí svorky umístěné ve výšce 1,8 m. Svody jsou instalovány na fasádě pomocí podpěr a do výšky 1,8 m nad terénem jsou chráněny profilem FeZn (úhelník, trubka). Počet čtyř svodů odpovídá délce obvodu a třídě LPS objektu.

$$\text{Počet svodů} = \frac{\text{obvod objektu}}{\text{vzdálenost mezi svody}} = \frac{50}{15} = 3,333 \rightarrow \text{použijeme 4 svody}$$

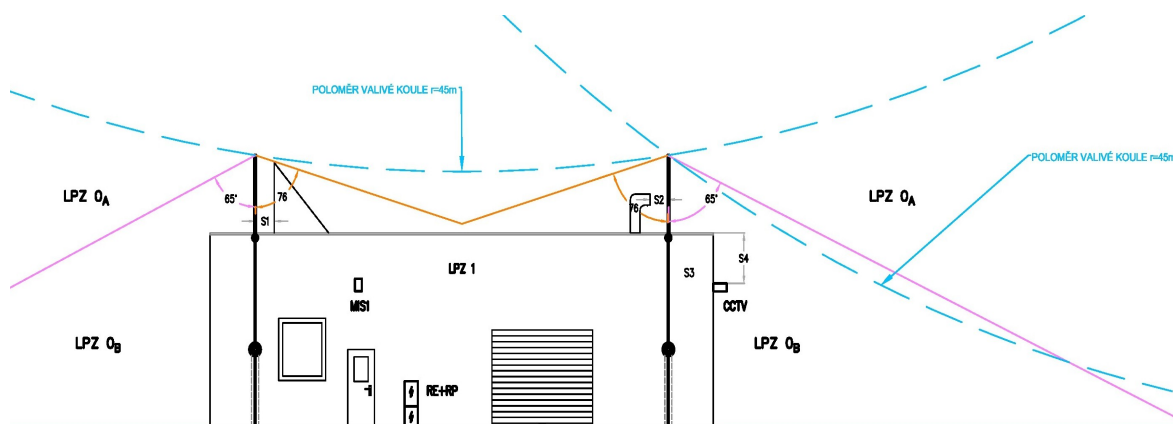
Svod u vrat objektu je opatřen do výšky 3 m síťovaným polyethylenem tloušťky 3 mm jako ochrana před dotykovým napětím a je zde také umístěna výstražná tabulka.

Kolem objektu je položen živičný povrch tloušťky 5 cm, čímž je splněna ochrana před krokovým napětím.

Svody od jímací soustavy se kříží s vnitřními elektrickými rozvody vodorovně uloženými v instalačních lištách ve výšce 4 m nad podlahou. Proto bude nutno zkontrolovat dodržení dostatečné vzdálenosti mezi nimi v tomto místě.



Obr. 41: Jímací soustava a zobrazení ochranných prostorů



Obr. 42: Ochranné úhly jímačů

ZEMNIČ

V objektu je zhotoven základový zemnič typ B (viz obr. 43), který je společný pro ochranu před bleskem i ochranný vodič napájecí soustavy. Pásek FeZn 30 x 4 mm je uložen na výšku v betonu základového pasu, 5 cm nade dnem výkopu. Vodič je propojen s armováním základu i kari sítí v betonové desce podlahy. Pásek tvoří uzavřenou smyčku. Plocha uvnitř obvodového zemniče je protnuta dvěma zemničími pásky napříč plochou a vzniká tak mřížová síť. Čtyři uzemňovací přívody od zemniče pro připojení hromosvodu jsou na rozích budovy. Další přívod je pro přípojnicí ochranného pospojování a vyrovnání potenciálu. Tato se nachází uvnitř budovy pod elektroměrovým rozvaděčem. Všechny uzemňovací vývody jsou ošetřeny proti korozi na přechodech z betonu do země a ze země na vzduch.

Délka zemniče se zkontroluje dle obr. 23 a rovnice $r_e \geq l_1$. Výpočet r_e :

$$r_e = \sqrt{\frac{s}{\pi}}$$

$$r_e = \sqrt{\frac{15 \cdot 10}{\pi}} = 6,91 \text{ m} \quad (47)$$

Hodnota poloměru ekvivalentní kruhové plochy je vyhovující, neboť dle obr. 23 postačuje délka zemniče $l_1 = 5 \text{ m}$.

Zemnič tedy není nutno doplňovat pomocnými paprsky či zemničími tyčemi.

Zemní odpor zemniče závisí na jeho rozměrech a charakteru půdy, ve které je uložen. Jeho hodnota by neměla přesáhnout 10 ohmů. Veškeré přechodové odpory spojující zemniče i hromosvodu musí být menší než 0,2 ohmu. Hodnotu zemního odporu strojených zemničů lze určit ze vzorce v normě ČSN 332000-5-54.

$$R = \frac{\rho}{2D_z} + \frac{\rho}{l} \quad (48)$$

$$R = \frac{200}{2 \cdot 13,8} + \frac{200}{75}$$

$$R = 9,8 \Omega$$

ρ – rezistivita půdy [Ωm]

l – celková délka zemničího vodiče [m]

D_z – hodnota vypočtena z rovnice 49

Výpočet průměru ekvivalentní kruhové plochy:

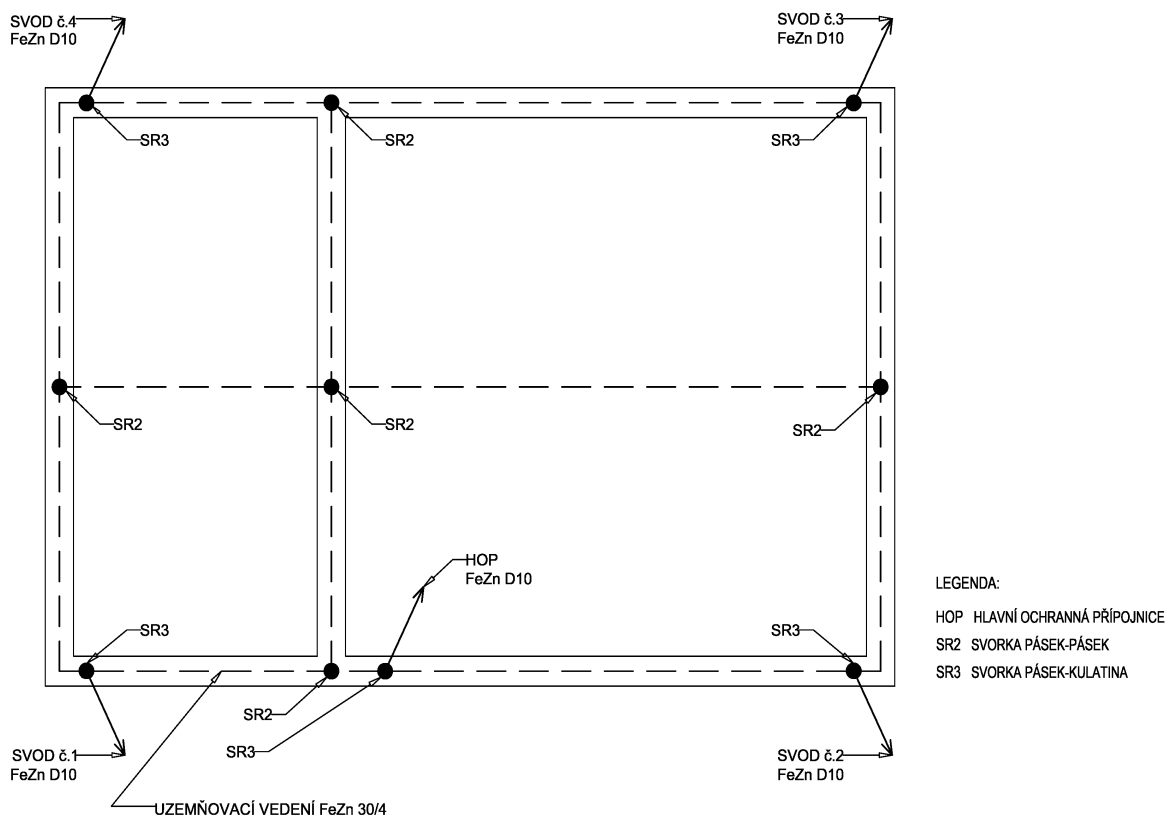
$$D_z = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} \quad (49)$$

$$D_z = \sqrt{\frac{4 \cdot 10 \cdot 15}{\pi}}$$

$$D_z = 13,8 \text{ m}$$

D_z – průměr ekvivalentní kruhové plochy [m]

S – plocha uzavřená zemničem [m²]



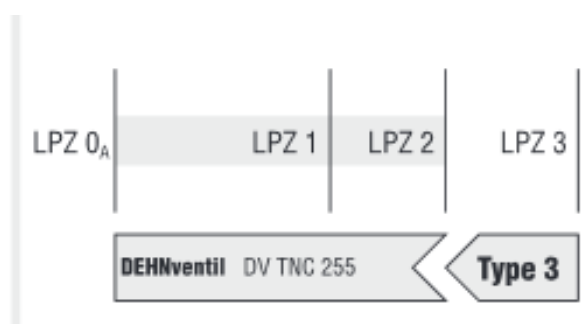
Obr. 43: Základový zemnič

Vypočtená hodnota $9,8 \Omega$ je těsně na hranici doporučené normou. Jelikož zemnič je spojen s kovovým armováním základů, lze předpokládat, že konečná hodnota zemního odporu bude nižší. Přesnou hodnotu lze zjistit až měřením po úplném vyzrání betonu.

5.4 Vnitřní ochrana objektu před bleskem

PŘEPĚŤOVÁ OCHRANA

Nejlepším řešením je umístění SPD typ 1 co nejbližší vstupu přívodního silového vedení do objektu. V elektroměrovém rozvaděči to však nepřipouští přípojovací podmínky distributora (E-ON). Umístění do samostatné skříňky ještě před elektroměrový rozvaděč musí splňovat požadavky PNE 33000-5, a jelikož jde o neměřenou část instalace, tak je potřeba souhlas provozovatele distribuční soustavy. Také instalace SPD přímo do přípojkové skříňky se povoluje pouze ve výjimečných případech.



Obr. 44: Energetická koordinace DEHNventil M TNC 255 [11]

Jelikož přepěťové ochrany jsou ve vlastnictví odběratele, umísťují se standardně až do měřené části zařízení. Proto až RP1 je osazen kombinovaným svodičem SPD typ 1. Jistou výhodou je proto uložení silového kabelu v zemi. Svodič je typ DEHNventil M TNC 255, který do jednoho pouzdra integruje SPD typ 1 a 2 s vnitřním zapojením 3 + 0 pro tří-fázové sítě TN-C se jmenovitým napětím 230/400 V/50 Hz. Jeho zbytkové napětí leží pod úrovní 1,5 kV. Svodový proud 25 kA pro jede pól ve vlně 10/350 μ s je pro tuto elektroinstalaci plně dostačující. DEHNventil je zkoordinovaný se svodiči typu 2 a 3, takže není nutno dodržovat vzdálenost mezi jednotlivými svodiči. Jeho energetická koordinace (viz kapitola 3.3.1) je na obrázku č. 44.

Svodič je instalován v zapojení „T“. Průřez 16 mm² jeho přípojovacích vodičů odpovídá velikosti hlavního jističe v elektroměrovém rozvaděči. S ohledem na tuto skutečnost není také nutno instalovat pojistky pro předjištění tohoto kombinovaného svodiče.

Zásuvky pro připojení výpočetní a kancelářské techniky jsou osazeny svodiči přepětí typ 3 STC 230, které se instalují do instalační krabice pod zásuvku. Tento modul je vybaven

akustickou signalizací poruchy.

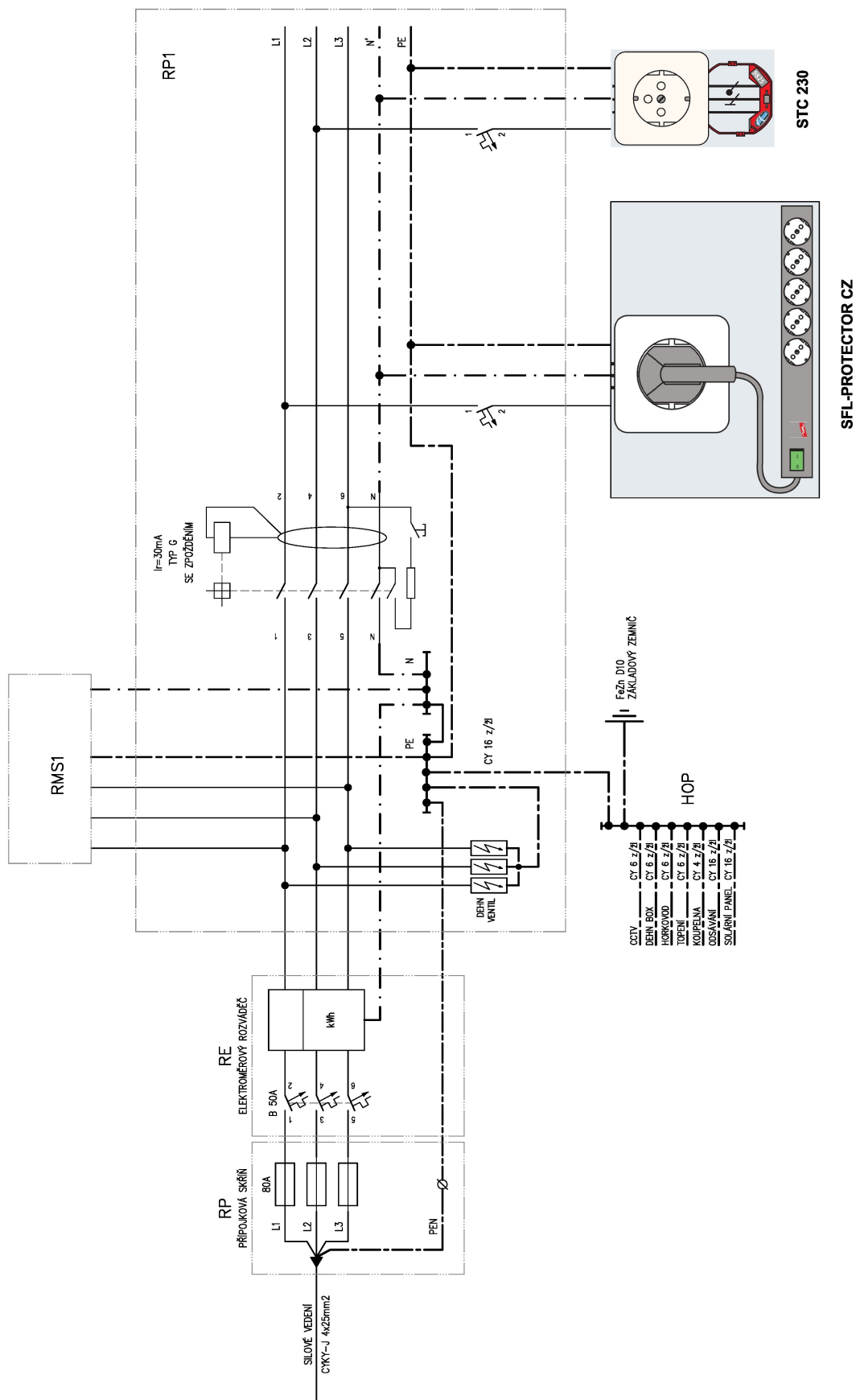
Pokud jsou některá zařízení ve vzdálenosti delší než 5 m od chráněné zásuvky, je možné použít např. SFL protektor, což je zásuvková lišta se zásuvkami chráněnými jemným svodičem přepětí a odrušovacím filtrem.

Přívodní telekomunikační vedení je chráněno svodičem přepětí pro telekomunikace. Jedná se o typ DEHNbox (obr. 45), který se umístí co nejbližší vstupu vedení do budovy. Je vhodný pro domácí i průmyslové použití pro ochranu telekomunikačních sítí. Jeho pracovní napětí je v rozsahu 0 až 180 V.



Obr. 45: DEHNbox [11]

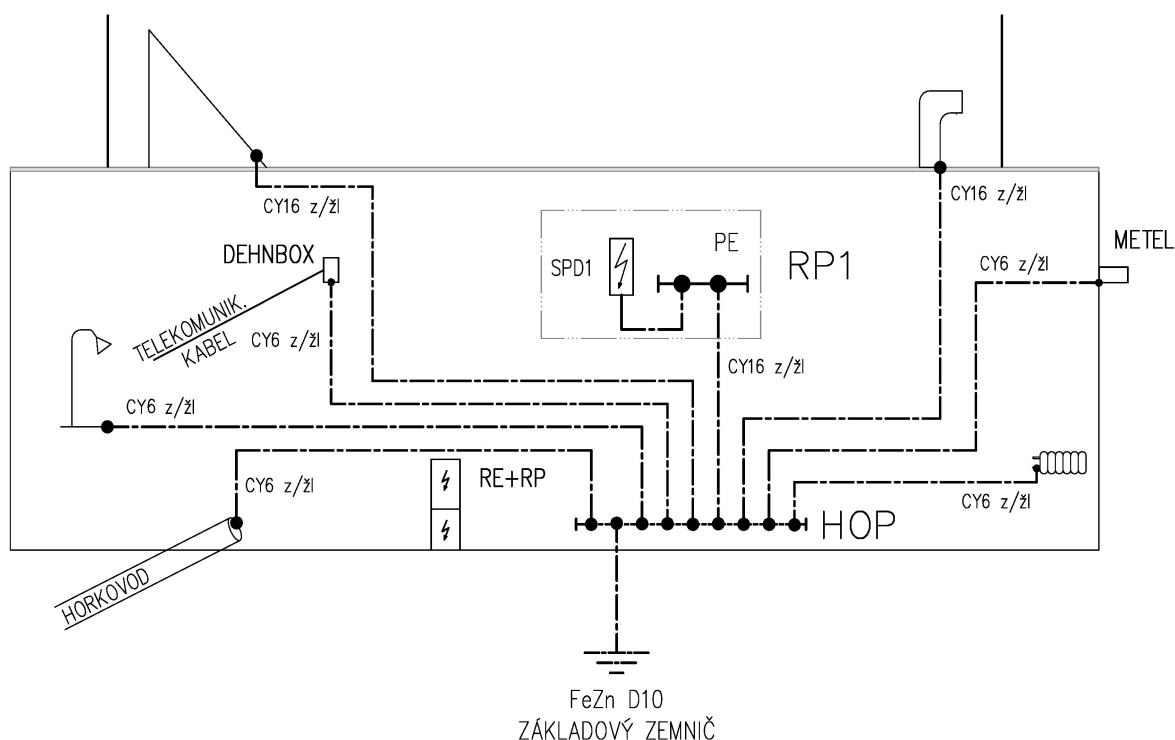
Kamera monitorující venkovní sklad je „obyčejná“ analogová. U této kamery je nutné použít dvě přepět'ové ochrany. Jednu na video-signal a druhou na napájení. Instalovány jsou výrobky od firmy Metel. Pro ochranu video-signálu je to BREAK-COP-1V-DIN a pro dvanáctivoltové napájení OVP-1/12/1-BOX. Oba prvky jsou umístěny do společné instalační krabice na zdi uvnitř objektu co nejbližší kamery. Obě ochrany jsou připojeny na HOP. Schéma zapojení svodičů bleskových proudů a přepětí v elektroinstalaci se nachází na obrázku č. 46.



Obr. 46: Schéma zapojení svodičů bleskových proudů a přepětí v elektroinstalaci

POSPOJOVÁNÍ PROTI BLESKU, VYROVNÁNÍ POTENCIÁLU

Přípojnice HOP je bodem elektroinstalace, kde se setkávají vnitřní a vnější systém ochrany před bleskem. Jsou sem připojeny kovové potrubí horkovodu, plechové odsávání ze svářečského boxu, nosná konstrukce solárního panelu, vnitřní rozvody vytápění, ochranné pospojování v koupelně, přípojnice PE z rozvaděče RP1. K přípojnici jsou dále přivedeny vodiče od jednotlivých přepět'ových ochran na vstupujících vedeních a kabelech pro kameru. Situaci zachycuje obrázek č. 47.



Obr. 47: Schéma hlavního ochranného pospojování

DOSTATEČNÁ VZDÁLENOST

Pro správnou činnost oddáleného hromosvodu je základní podmínkou dodržení dostatečné vzdálenosti. Je to vzdálenost hromosvodní soustavy od chráněných částí a instalací, na které nesmí přeskočit procházející bleskový proud. Zjišťuje se v několika určitých místech elektrické instalace. Tato místa jsou na obrázku č. 48.

s_1 – vzdálenost JT1 od solárního panelu

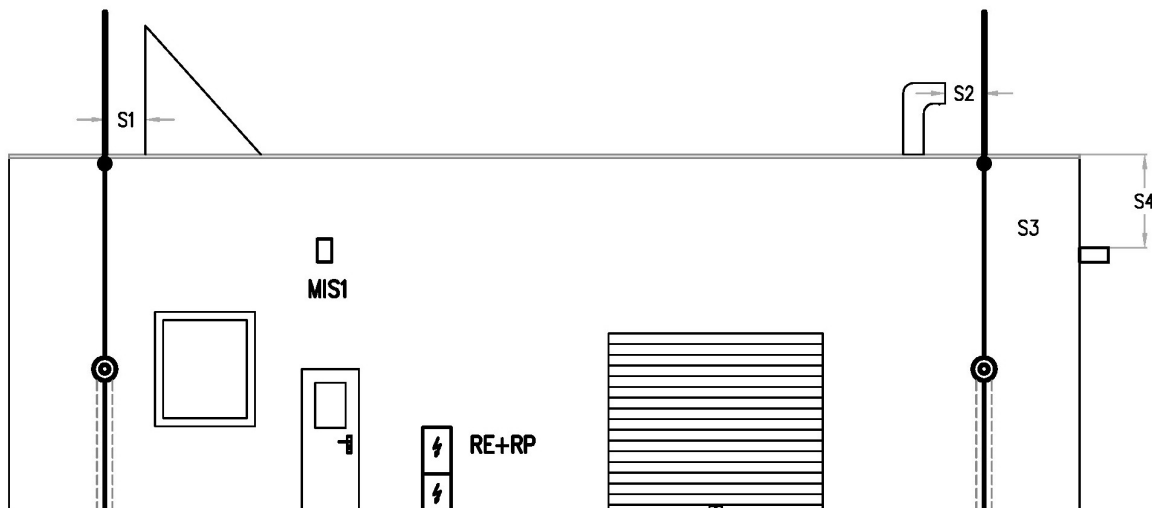
s_2 – vzdálenost JT2 od odsávání

s_3 – vzdálenost svodu od vnitřních rozvodů elektrické instalace ve výšce 4 m

s_4 – vzdálenost kamery od oplechování atiky

Výpočet dostatečné vzdálenosti s_1 mezi jímačem JT1 a kolektorem

Vzdálenost s_1 je dána součtem dílčích vzdáleností s_{11} a s_{12} .



Obr. 48: Jednotlivá místa výpočtu dostatečných vzdáleností

Výpočet dílčí vzdálenosti s_{11} pro délku svodu $l_{11} = 3,5$ m:

$$s_{11} = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_{11} \quad (50)$$

$$s_{11} = \frac{0,04}{1} \cdot 1 \cdot 3,5$$

$$s_{11} = 0,14 \text{ m}$$

Výpočet dílčí dostatečné vzdálenosti s_{12} pro délku svodu $l_{12} = 10$ m:

$$s_{12} = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_{12} \quad (51)$$

$$s_{12} = \frac{0,04}{1} \cdot 0,51 \cdot 10$$

$$s_{12} = 0,205 \text{ m}$$

Výpočet celkové dostatečné vzdálenosti s_1 :

$$s_1 = s_{11} + s_{12} \quad (52)$$

$$s_1 = 0,14 + 0,205$$

$$s_1 = 0,345 \text{ m}$$

Jímací tyč JT1 nesmí být ke kolektoru blíže než 0,345 m.

Výpočet dostatečné vzdálenosti s_2 mezi jímačem JT2 a odsáváním

Vzdálenost s_2 je dána součtem dílčích vzdáleností s_{21} a s_{22} .

Výpočet dílčí vzdálenosti s_{21} pro délku svodu $l_{21} = 2,5$ m:

$$s_{21} = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_{21} \quad (53)$$

$$s_{21} = \frac{0,04}{1} \cdot 1 \cdot 2,5$$

$$s_{21} = 0,1 \text{ m}$$

Výpočet dílčí vzdálenosti s_{22} pro délku svodu $l_{22} = 10$ m:

$$s_{22} = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_{22} \quad (54)$$

$$s_{22} = \frac{0,04}{1} \cdot 0,51 \cdot 10$$

$$s_{22} = 0,205$$

Výpočet celkové dostatečné vzdálenosti s_2 :

$$s_2 = s_{21} + s_{22} \quad (55)$$

$$s_2 = 0,1 + 0,205$$

$$s_2 = 0,305 \text{ m}$$

Vzdálenost jímací tyče JT2 od odsávání nesmí být menší než 0,305 m.

Výpočet dostatečné vzdálenosti s_3 mezi vnitřními kabelovými rozvody a svody ve výšce 4 m

$$s_3 = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_3 \quad (56)$$

$$s_3 = \frac{0,04}{0,5} \cdot 0,51 \cdot 4$$

$$s_3 = 0,16 \text{ m}$$

Minimální vzdálenost svodů od vnitřních kabelových tras musí být 0,16 m.

Obvodové zdivo stavby tloušťky 55 cm toto plně zajišťuje.

Výpočet dostatečné vzdálenosti s_4 mezi kamerou a oplechováním atiky

$$s_4 = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l_4 \quad (57)$$

$$s_4 = \frac{0,04}{1} \cdot 0,51 \cdot 9$$

$$s_4 = 0,18 \text{ m}$$

Vzdálenost analogové kamery od oplechování atiky nesmí být menší než 0,18 m.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo podrobné popsání problematiky ochrany před bleskem a jeho účinky, příslušné legislativy a praktických dopadů s tím souvisejících. Získané poznatky byly demonstrovány v praktické části práce ukázkovým návrhem ochrany před bleskem a přepětím pro zámečnickou dílnu. Vlastnímu návrhu předcházelo seznámení se související legislativou a technickými normami. Tato zahrnovala zejména ČSN EN 62305, zákon č. 22/1997, o technických požadavcích na výrobky, zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu a jeho prováděcí vyhláška č. 268/2009 Sb. Vyhláška č. 268/2009 Sb. stanovuje v § 36 stavby a zařízení, kde je povinnost zřídit ochranu před bleskem. Prvním krokem při návrhu je provedení analýzy rizika. Analýza vychází z lokality, umístění stavby v terénu, jejích rozměrů, druhu a počtu připojení inženýrských sítí, protipožárních opatření a mnoha dalších činitelů. Pro náš typový příklad bylo autorem za pomoci výpočtu ověřeno, že riziko ztrát na lidských životech způsobených úderem do stavby R_1 je pod úrovní normou přípustného rizika. Tudíž provedená ochranná opatření před bleskem jsou dostatečná a odpovídají třídě LPS III, do které je objekt zařazen. V objektu nainstalovaná ochranná opatření před bleskem a přepětím mají tyto základní části: zemnič, svody, jímací soustavu, svodiče bleskových proudů a přepětí, systém ochranného pospojování. Vše je podrobně popsáno v předchozím textu.

Při studiu podkladů a zpracování práce byly zjištěny i některé rozpory v legislativách zemí EU, např. francouzská norma povoluje použití aktivních hromosvodů, což je v rozporu s evropskými normami, které jsou přebrány do české normalizační soustavy.

Je zřejmé, že tvorba návrhu ochrany před bleskem podle současných technických norem je komplexní činností. U složitějších projektů je nezbytná účast kvalifikovaného specialisty z oboru a u nových staveb je žádoucí již návrh projektu přizpůsobit současným požadavkům kladeným na ochranu před bleskem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUTÁČ, Jiří a Ján MERA VÝ. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců*. 1. vyd. Praha, Trenčín: SPBI Ostrava, 2010. ISBN 978-80-7385-081-4.
- [2] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí: Systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public s.r.o., 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [3] KLIMŠA, David. *Vnější a vnitřní ochrana před bleskem*. 1. vyd. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 2009. Dílenská příručka. ISBN 978-80-86230-48-1.
- [4] KUTÁČ, Jiří, Zdeněk ROUS a Zdeněk HLADNÝ. *Hromosvody a zemniče*. 2. přepracované vydání. Praha: IN-EL, spol. s.r.o., 2008. Dílenská příručka. ISBN 978-80-86230-48-1.
- [5] HÁJEK, Jan a Dalibor ŠALANSKÝ. *První elektronická knižka o ochraně před bleskem* [online]. 2008 [cit. 2014-01-27]. 2.1. Dostupné z: www.kniska.eu
- [6] ČSN EN 62305-1. *Ochrana před bleskem: Část 1: Obecné principy*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN EN 62305-2. *Ochrana před bleskem: Část 2: Řízení rizika*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [8] ČSN EN 62305-3. *Ochrana před bleskem: Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] ČSN EN 62305-4. *Ochrana před bleskem: Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [10] OEZ. *Aplikační příručka: Přepětíové ochrany*. Letohrad 2012. P01-2012-C
- [11] DEHN + SÖHNE. *Zkrácený katalog KK*. 2011.
- [12] HAKEL TRADE. *Svodiče přepětí: Katalog SPD*. 25. vydání.
- [13] DEHN + SÖHNE. *Bulletin IP ILPC*. 2013.
- [14] OBO BETTERMANN S.R.O. *TBS Katalog 2010/2011: Systémy ochrany před transientními jevy a blesky*. 2010.

- [15] DEHN + SÖHNE. *Oddálené hromosvody: Spolehlivá řešení ochrany složitých a rozsáhlých zařízení*. 2013.
- [16] KUTÁČ, Jiří. Nové evropské normy v oblasti ochrany před bleskem (2. část). *Elektro*. 2005, č. 2. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26170
- [17] Vše o blesku - nejčastěji kladené otázky a odpovědi. *DEHN* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.dehn.cz/cz/bourky_blesky/tema/tema4.shtml
- [18] POPOLANSKÝ, František. Některé poznatky výzkumné a znalecké činnosti z výzkumu blesku a škod způsobených bleskem. [online]. 2005 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.dehn-cz.com/pdf/seminars/sem09/sborniky/Sbornik_prednasek_2.pdf
- [19] AB-TROM S.R.O. *WAT Franklinplus* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://a-trom.cz/produkty.html>
- [20] Norma pro aktivní hromosvody. VELKOOBCHOD VYSOČINA. *VO Vysočina* [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.vo-vysocina.cz/ke_stazeni/norma.pdf
- [21] *Elektroinstalatér*. Praha: ČNTL - České nakladatelství technické literatury, 2012, roč. 18, č. 1. ISSN 1211-2291. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8374-technicka-podstata-hromosvodu>
- [22] *Elektro*. Praha: FCC Public s.r.o., 2012, roč. 22, č. 5. ISSN 1210-0889. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2012/05/Elektro_05_2012_output/web/Elektro_05_2012_opf_files/WebSearch/page0017.html
- [23] FRAZER, James George. *Mýty o původu ohně*. Praha: Garamond, 2000. ISBN 80-86379-06-X.
- [24] Globální změna klimatu. *Vítejte na Zemi...: Multimediální ročenka životního prostředí* [online]. 2013 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/?p=globalni_zmena_klimatu&site=doprava
- [25] Jan Hájek o aktivních hromosvodech #1, 22.08.2013. In: *Elektrika.cz*. 2013. [cit. 2013-12-11]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/jan-hajek-o-aktivnich-hromosvodech-1>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_D [m ²]	Sběrná oblast stavby pro údery stavby
$A_{I\ sil.}$ [m ²]	Sběrná oblast pro údery v blízkosti silového vedení
$A_{L\ sil.}$ [m ²]	Sběrná oblast pro údery do silového vedení
$A_{L\ tel.}$ [m ²]	Sběrná oblast pro údery do telekomunikačního vedení
A_M [m ²]	Sběrná oblast stavby pro údery v blízkosti stavby
C_E [-]	Činitel prostřední
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
C_I [-]	Činitel polohy vedení
CIGRE	Mezinárodní rada velkých elektrických sítí vysokého napětí
C_{LD} [-]	Činitelé závislé na podmínkách stínění, uzemnění a oddělení
C_P [-]	Činitel polohy stavby
C_T [-]	Činitel typu vedení
CUI	Vodič s izolací odolnou proti vysokému napětí
d [m]	Délka vodičů
D [m]	Úderová vzdálenost
D_z [m]	Průměr ekvivalentní kruhové plochy zemniče
D1	Úraz živých bytostí elektrickým proudem
D2	Hmotná škoda způsobená úderem bleskového proudu
D3	Porucha elektrických a elektronických systémů způsobená LEMP
ESE	Včasná emise vstřícného výboje (early streamer emission)
$F(t)$ [N]	Elektrodynamická síla
h [m]	Výška ochrany od špičky hromosvodu k ploše, která má být chráněna
H [m]	Výška stavby
HOP	Hlavní ochranné pospojování
HVI	Vodič s vysokonapěťovou izolací (high voltage isolation)
h_z [-]	Přítomnost zvláštního rizika
i [A]	Elektrický proud
I [A]	Vrcholová hodnota bleskového proudu
ICLP	Mezinárodní konference o ochraně před bleskem
k [-]	Koeficient bezpečnosti
k_c [-]	Koeficient určující velikost bleskového proudu svodem
k_i [-]	Koeficient třídy LPS
k_m [-]	Koeficient materiálu

k_u	Činitel instalační smyčky
$[V/m \cdot kA/\mu s]$	
l [m]	Délka vodičů
L [m]	Délka stavby
L_B [-]	Ztráty ve stavbě související s hmotnou škodou údery do stavby
ΔL [m]	Délka stoupajícího výboje získaná aktivním hromosvodem ve vztahu k pasivnímu
LEMP	elektromagnetický impuls vyvolaný bleskem (lightning electromagnetic impulse)
L_F [-]	Typická střední hodnota ztráty vztahující se k hmotné škodě pro průmyslový objekt
l_1 [m]	Minimální délka zemniče
L_L [m]	Délka sekce vedení
LPC	Součásti ochrany před bleskem (lightning protection components)
LPL	Úroveň ochrany před bleskem (lightning protection level)
LPS	System ochrany před bleskem (lightning protection system)
LPZ	Zóna bleskové ochrany (lightning protection zone)
L_T [-]	Typická střední hodnota ztráty úrazu elektrickým proudem pro všechny typy staveb
$L_{U \text{ sil.}}$ [-]	Ztráty vztahující se k úrazu živých bytostí údery do silového vedení
$L_{U \text{ tel.}}$ [-]	Ztráty vztahující se k úrazu živých bytostí údery do telekomunikačního vedení
$L_{V \text{ sil.}}$ [-]	Ztráty vztahující se k hmotné škodě údery do silového vedení
$L_{V \text{ tel.}}$ [-]	Ztráty vztahující se k hmotné škodě údery do telekomunikačního vedení
L_X [-]	Následné ztráty
L1	Ztráty na lidských životech
L2	Ztráty na veřejných službách
L3	Ztráty na kulturním dědictví
L4	Ztráty ekonomické
μ_0 [$H \cdot m^{-1}$]	Permeabilita vakua
N_D [$1 \cdot rok^{-1}$]	Počet nebezpečných událostí způsobených údery do stavby
N_{DJ} [$1 \cdot rok^{-1}$]	Počet nebezpečných událostí způsobených údery do sousední stavby
N_G	Hustota úderů do země
$[1 \cdot km^2 \cdot rok^{-1}]$	

$N_{I\ sil.}$	Počet nebezpečných událostí způsobených úderem v blízkosti silového vedení
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$N_{I\ tel.}$	Počet nebezpečných událostí způsobených úderem v blízkosti telekomunikačního vedení
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$N_{L\ sil.}$	Počet nebezpečných událostí způsobených úderem do silového vedení
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$N_M [1 \cdot rok^{-1}]$	Počet nebezpečných událostí za rok způsobených úderem v blízkosti stavby
$n_t [1]$	Celkový počet osob ve stavbě
$N_X [1 \cdot rok^{-1}]$	Počet nebezpečných událostí za rok
$n_z [1]$	Počet osob v zóně
$P_B [-]$	Pravděpodobnost, že úder do stavby způsobí hmotnou škodu
$P_{EB} [-]$	Pravděpodobnost snížení P_U a P_V
$P_{LD} [-]$	Pravděpodobnost snížení P_U , P_V a P_W
$\pi [-]$	Ludolfovo číslo
PNE	Podniková norma energetiky
$P_{TU} [-]$	Pravděpodobnost úrazu živých bytostí v důsledku dotykových napětí
$P_{U\ sil.} [-]$	Pravděpodobnost úrazu živých bytostí úderem do silového vedení
$P_{U\ tel.} [-]$	Pravděpodobnost úrazu živých bytostí úderem do telekomunikačního vedení
$P_{V\ sil.} [-]$	Pravděpodobnost hmotné škody úderem do silového vedení
$P_{V\ tel.} [-]$	Pravděpodobnost hmotné škody úderem do telekomunikačního vedení
$P_X [-]$	Pravděpodobnost poškození stavby
$Q [C]$	Náboj bleskového výboje
$R [\Omega]$	Elektrický odpor zemniče
R_A	Součást rizika (úraz živých bytostí – úderem do stavby)
R_B	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – úderem do stavby)
$r_e [m]$	Poloměr kruhu
$r_f [1 \cdot rok^{-1}]$	Riziko požáru stavby
R_C	Součást rizika (porucha vnitřních systémů – úderem do stavby)
R_M	Součást rizika (porucha vnitřních systémů – úderem v blízkosti stavby)
$\rho [\Omega \cdot m]$	Rezistivita půdy
$R_P [m]$	Ochranný prostor jímače
$r_p [-]$	Opatření ke zmenšení následků požáru
$r_t [-]$	Činitel závislosti na typu povrchu půdy nebo podlahy
$R_U [1 \cdot rok^{-1}]$	Součást rizika (úraz živých bytostí – úderem do připojeného vedení)

$R_{U\ sil.}$	Součást rizika (úraz živých bytostí – údery do silového vedení)
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$R_{U\ tel.}$	Součást rizika (úraz živých bytostí – údery do telekomunikačního vedení)
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$R_V [1 \cdot rok^{-1}]$	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do připojeného vedení)
$R_{V\ sil.}$	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do silového vedení)
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$R_{V\ tel.}$	Součást rizika (hmotná škoda na stavbě – údery do telekomunikačního vedení)
$[1 \cdot rok^{-1}]$	
$R_W [1 \cdot rok^{-1}]$	Součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery do připojeného vedení)
$R_X [1 \cdot rok^{-1}]$	Součást rizika
$R_Z [1 \cdot rok^{-1}]$	Součást rizika (porucha vnitřních systémů – údery v blízkosti připojeného vedení)
$R_1 [1 \cdot rok^{-1}]$	Riziko ztrát na lidských životech
$R_2 [1 \cdot rok^{-1}]$	Riziko ztrát na veřejných službách
$R_3 [1 \cdot rok^{-1}]$	Riziko ztrát na kulturním dědictví
$R_4 [1 \cdot rok^{-1}]$	Riziko ztrát ekonomických hodnot
$s [m]$	Dostatečná vzdálenost
$S [m^2]$	Plocha uzavřená základovým zemničem
SPD	Přepět'ové ochranné zařízení (surge protection device)
SPM	Ochranná opatření pro vnitřní systém ochrany před LEMP (surge protection measures)
S1	Úder blesku do stavby
S2	Úder blesku blízkosti stavby
S3	Úder blesku do sítí připojených ke stavbě
S4	Úder blesku v blízkosti sítí připojených ke stavbě
$t [s]$	Čas
$\Delta t [s]$	Iniciační předstih
$T_D [1 \cdot rok^{-1}]$	Počet bouřkových dnů v oblasti za rok
$t_{ESE} [s]$	Střední doba šíření vzestupné větve pro jímač s včasnou emisí výboje
$t_{PTS} [s]$	Střední doba šíření vzestupné větve pro Franklinův tyčový jímač
$T_1 [s]$	Doba trvání čela proudového impulzu
$T_2 [s]$	Doba trvání půltýlu proudového impulzu
TIČR	Technická inspekce České republiky

TNC	Typ rozvodné sítě
TNC-S	Typ rozvodné sítě
TNK	Technická normalizační komise
TUV	Teplá užitková voda
t_z [h · rok ₁]	Doba v hodinách za rok, po kterou jsou osoby přítomné v zóně
U_a [V]	Úbytek napětí na připojovacích vodičích
U_b [V]	Úbytek napětí na připojovacích vodičích
U_{imp} [V]	Impulzní výdržné napětí
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
\hat{u}_s [V]	Indukované napětí
v [m · s ⁻¹]	Rychlost šíření výboje
W [m]	Šířka stavby
W/R [kJ · Ω ⁻¹]	Specifická měrná energie

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Dynamický rozvoj bleskového výboje typu mrak – zem [2].....	11
Obr. 2: Typické rozdělení ledových částic a nábojů v bouřkovém mraku [2].....	13
Obr. 3: Rozdělení náboje při negativním výboji mrak – zem [2].....	13
Obr. 4: Mechanismy bleskových výbojů [1].....	14
Obr. 5: Izokeraunická mapa ČR [10].....	16
Obr. 6: Maximální indukované napětí v instalační smyčce [1].....	18
Obr. 7: Základní parametry proudového impulsu [2].....	19
Obr. 8: Průběh vln prvního výboje blesku [2].....	19
Obr. 9: Podoba a základní parametry dlouhé proudové vlny ($2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$)[2].....	20
Obr. 10: Diagram postupu pro výběr ochranných opatření a potřeby ochrany [7].....	27
Obr. 11: Machina meteorologica [5].....	29
Obr. 12: Prokop Diviš [5].....	29
Obr. 13: G. C. Lichtenberg - ochrana objektu (rok 1778) [5].....	31
Obr. 14: Metoda valící se koule [8].....	34
Obr. 15: Velikost ochranných úhlů [5].....	35
Obr. 16: Proměnný ochranný úhel v závislosti na výšce jímače od vztažné roviny pro LPS III [5].....	35
Obr. 17: Metoda mřížové soustavy na sedlové střeše [3].....	36
Obr. 18: Peak current senzor [14].....	37
Obr. 19: Počítadlo bleskových impulsů [12].....	37
Obr. 20: Průběh krokového a dotykového napětí [11].....	38
Obr. 21: Výstražná tabulka [11].....	38
Obr. 22: Použití vodiče CUI [11].....	39
Obr. 23: Minimální délka zemniče podle třídy LPS [8].....	41
Obr. 24: Použití svodičů bleskových proudů SPD typ 1 [13].....	42
Obr. 25: Izolovaný (oddálený) hromosvod s jímači na stožárech [8].....	44
Obr. 26: Systém vyrovnání potenciálů [11].....	46
Obr. 27: Dostatečná vzdálenost s [2].....	47
Obr. 28: Příčiny poškození stavby a šíření bleskového proudu do distribuční soustavy [9]....	
49	
Obr. 29: Rozdělení objektu do zón [12].....	50
Obr. 30: Kategorie přepětí [10].....	50

Obr. 31: Koordinace SPD [13].....	52
Obr. 32: Paralelní T-zapojení [10].....	54
Obr. 33: Sériové V-zapojení [10].....	54
Obr. 34: Zapojení 4 + 0 v obvodu chrániče [10].....	56
Obr. 35: Zapojení 3 + 1 v obvodu chrániče [10].....	56
Obr. 36: Posunutí místa úderu blesku nad jímač [19].....	58
Obr. 37: Ochranný prostor [20].....	59
Obr. 38: Výsledky měření na univerzitě v Manchesteru [22].....	62
Obr. 39: Propojení mezi různými částmi norem IEC 62 305 [6].....	65
Obr. 40: Celkový pohled na budovu.....	71
Obr. 41: Jímací soustava a zobrazení ochranných prostorů.....	84
Obr. 42: Ochranné úhly jímačů.....	84
Obr. 43: Základový zemnič.....	86
Obr. 44: Energetická koordinace DEHNventil M TNC 255 [11].....	87
Obr. 45: DEHNbox [11].....	88
Obr. 46: Schéma zapojení svodičů bleskových proudů a přepětí v elektroinstalaci.....	89
Obr. 47: Schéma hlavního ochranného pospojování.....	90
Obr. 48: Jednotlivá místa výpočtu dostatečných vzdáleností.....	91

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Maximální parametry bleskových výbojů v závislosti na úrovni ochrany [2]...	22
Tabulka 2: Mezní parametry a pravděpodobnost bleskového proudu [16].....	23
Tabulka 3: Příčiny poškození, typy škod a ztrát podle místa úderu blesku [7].....	25
Tabulka 4: Typické hodnoty přípustného rizika [7].....	26
Tabulka 5: Vztah mezi hladinou ochrany LPL a třídou LPS, doporučené třídy LPS.....	32
Tabulka 6: Přípustné metody návrhu jímací soustavy podle ČSN EN 62305-3 [11].....	34
Tabulka 7: Součásti rizika pro různé typy škod a jejich různé příčiny [7].....	72