



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Vývojová analýza ochran před přímým zásahem objektů bleskem

Evolutionary analysis of the protection against the direct lightning effect in buildings

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Prof. PhDr. Marcela Efmertová, CSc.

Radim Fořt

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Fořt Radim**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Vývojová analýza ochran před přímým zásahem objektů bleskem

Pokyny pro vypracování:

1. Analyzujte vývoj poznatků o bleskovém výboji.
2. Popište formování názorů na možné způsoby ochrany před přímým zásahem objektů bleskem.
3. Proveďte ekonomické zhodnocení významu ochrany objektů chráněných vnějšími prostředky před bleskem, navrhněte rozhodovací a validační metody.

Seznam odborné literatury:

1. Rakov V.A.: Lightning: physics and effects. New York: Cambridge University Press, 2002.
2. ČSN EN 62305-1-4. Ochrana před bleskem: Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
3. Štoll I.: Dějiny fyziky. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009.

Vedoucí bakalářské práce: Prof.PhDr. Marcela Efmertová, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2016/2017

L.S.

Prof.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2016

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou přímých ochran před sekundárními účinky bleskových proudů. Součástí práce je také část, věnující se bleskovým výbojům, jejich vzniku, průběhu a typickým klíčovými fyzikálně-technickým parametřům. V práci je provedena analýza vývoje přímých ochran. Jejich současná řešení jsou v práci popsána podle současně platných norem. Představena jsou i možná moderní řešení přímých ochran. Dále je objasněn postup jak rozhodnout o nutnosti ochrany. Autorem práce jsou navrženy i dvě vlastní rozhodovací metody použitelné pro implementaci ochranných zařízení v komplexních systémech. Poslední část práce se zabývá posouzením ekonomické výhodnosti přímých ochran na konkrétních objektech a zvažuje určitá možná řešení.

Klíčová slova

Blesk, bleskový výboj, úder blesku, ochrana před bleskem, přímá ochrana, hromosvod, analýza rizik, volba ochran

Abstract

This bachelor thesis is about direct protection against secondary effects of lightning currents. As a part of the thesis, there is also chapter about lightning discharges, their origin, process and their typical physical-technical key parameters. There is also an analysis of development of direct protection. Their current solutions are described in thesis according to currently valid standards. Possible modern solutions of direct protections are also presented in the thesis. Further the procedures of deciding whether or not the protection is necessary are clarified. Author of the thesis also presents two of his own decision-making methods which are usable for implementation of protective devices in complex systems. Last part of the thesis is dealing with assessment of the economic advantages of direct protections of specific object, and considering specific possible solutions.

Keywords

Lightning, lightning discharge, lightning strike, protection against lightning, direct protection, lightning conductor, risk analysis, protection option

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce paní prof. PhDr. Marcelle Efmertové, CSc. za odborné vedení, konzultace, cenný čas a podnětné návrhy k práci. Dále panu Ing. Jiřímu Kutáčovi za poskytnutí programu a podkladů pro bakalářskou práci.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Úvod	7
1. Bleskový výboj a škody po úderu bleskem – charakteristika	8
1.1 Bleskový výboj	8
1.2 Průběhy veličin bleskového výboje	11
1.3 Škody po úderu bleskem	14
2. Vývoj zkoumání bleskových výbojů	16
2.1 Počátky zkoumání bleskových výbojů	16
2.2 Uplatnění prvních ochran v českých zemích	18
3. Současné metody přímé ochrany před bleskem	20
3.1 Přímá ochrana před bleskem a její vývoj.....	20
3.2 Přímá ochrana	20
3.3 Moderní řešení	24
3.4 Revize přímých ochran	26
4. Volba přímých ochran	27
4.1 Řízení rizik.....	27
4.2 Geografická poloha.....	32
4.3 Finanční hledisko	35
5. Ekonomický význam přímých ochran, jejich zhodnocení.....	38
5.1 Rekreační objekt.....	39
5.2 Vliv polohy a okolního rázu	41
5.3 Speciální objekty.....	44
Závěr	49
Reference	50
Seznam obrázků	52
Seznám tabulek	53

Úvod

Blesk (atmosférický výboj) je přírodní jev, před kterým se snaží lidé chránit (objekty, infrastruktury, atd.) od počátků existence civilizace. Předkládaná bakalářská práce se zabývá ochranami před přímými účinky bleskových výbojů. Cílem práce je nastínit rozhodovací kritéria pro volbu a implementaci možných ochran před bleskem vedoucím ke snížení škod způsobených po jeho úderu. Výchoziskem práce je definice vzniku sledovaného jevu, popis jeho vlastností a poté charakteristika možných škod po jeho zásahu a popis ochran. Výsledkem práce je ekonomická evaluace metod, které mohou důsledky přímých účinků bleskového výboje snížit, případně eliminovat.

Blesk je atmosférický jev – výboj o velkém impulzním napětí a proudu, který nejenom fascinuje lidi již od počátku civilizace, ale především také působí nedozírné ekonomické a hospodářské ztráty, respektive ztráty na lidských a zvířecích životech. Déle než sto let probíhají exaktní fyzikálně-technická měření, která o tomto obtížně determinovatelném jevu přinášejí přesnější představy. V poslední dekádě 21. století byly pro takto získané výsledky vytvořeny nové soubory norem, prováděcích dokumentů a doporučení, která pomáhají nejenom při praktické instalaci ochranných prostředků, ale také při rozhodování, zda je pro konkrétní typ objektu nebo infrastruktury ochrana vhodná, či nikoliv, respektive zda cenové náklady potřebné pro její realizaci nepřevyšují její případný účinek a význam. Blesk převážně vzniká ve vhodných bouřkových mracích (typ cumulonimbus). Tyto mraky dosahují značných výšek, velikosti v řádu několika desítek kilometrů, a vznikají za specifických klimatických podmínek. V mraku proudí vertikálně částice vody ve všech skupenstvích, a za různých tlakových a teplotních poměrů dochází k separaci elektrických nábojů. Tento náboj se poté vybíjí, jak mezi mrakem a zemí, tak mezi dvěma mraky, v obou možných polaritách, těmito procesy jsou následně definovány jednotlivé typy bleskových výbojů.

Těchto bleskových výbojů proběhne na Zemi podle statistik asi 50 až 100 v každé sekundě. Při bouřkách nad obydlenou částí Země se blesk může stát, a často se také stává nebezpečným pro, život i stavbu, případně síť, ohrožujícím jevem. Pokud blesk způsobí škodu, jedná se většinou o škodu na majetku, staveních či lesních porostech, případně na síťových infrastrukturách. Existují však i případy přímého zásahu člověka, které vedou ke smrtelným úrazům nebo k trvalým zdravotním komplikacím. Pro budovy představuje blesk nebezpečí v mnoha technických ohledech, které je mohou poškodit natolik, že se stanou pro lidi neobyvatelnými (požár), případně mohou ohrozit vnitřní vybavení (elektronika, zabezpečovací soustavy). Tato poškození způsobí buď přímý zásah blesku, nebo následné elektrické přepětí spojené s nepřímým i přímým úderem blesku. Pro elektrickou instalaci může být nebezpečný zásah do blízkého elektrického vedení, po němž se může dostat přepětí až ke spotřebičům v domácnostech. Mezi poškození tedy patří následný požár po zásahu bleskem, dále škody spojené s přepětím, v horších případech úplné zničení spotřebičů a jejich možný požár.

V důsledku těchto možných nebezpečí existuje celá řada ochran, jak přímých (hromosvod), tak nepřímých (svodiče bleskových proudů, přepěťové ochrany) [1]. Pro co možná nejbezpečnější ochranu, je nutné koordinovat kombinaci těchto ochran. Pro přímé ochrany dnes existují matematické modely založené na fyzikálně-technických principech. Pro volbu správné ochrany je to například metoda valící se koule, metoda vrcholového úhlu a následně také metody využívající Faradayova zákona, tedy metody elektrického stínění – mřížových soustav a ochranného pospojování.

Předkládaná studie se věnuje pouze ochranám přímým (vnějším), a to od jejich samotného vzniku, k technickému vývoji, až po současné požadavky, které jsou na ně dle technických norem kladeny. Dále bakalářská práce analyzuje (především podle ekonomických aspektů) i volbu určitého typu a provedení ochran pro konkrétní oblast použití.

1. Bleskový výboj a škody po úderu bleskem – charakteristika

1.1 Bleskový výboj

Bleskový výboj vzniká v bouřkových mracích, které se utváří při vhodných klimatických podmínkách, zejména v letních měsících, při teplém a vlhkém počasí.

Oblasti s výskytem bouřek bychom mohli rozdělit na frontální a nefrontální (nefrontální bouřky vznikají uvnitř vzduchových hmot - lidově též bouřky z tepla). Frontální plochu definujeme jako oblast, kde se střetává relativně chladný s relativně teplejším vzduchem. Dochází zde k vzestupným pohybům, které jsou spolu s dostatečnou vlhkostí a spouštěcím impulsem nutností ke vzniku bouřky. Čím silnější výstupný proud je a čím větší vlhkost se v oblasti nachází, tím silnější mohou být i projevy bouřek. Zejména na studených frontách v letním období se mohou vyskytovat poměrně aktivní bouře s bohatou bleskovou aktivitou většinou na nebo za přízemní čarou studené fronty. Bouřky na výrazných studených frontách bývají i velmi dobře organizované a často se spojují do větších celků, které se označují jako multicely. Na teplých frontách se bouřky vyskytují většinou při dostatečné instabilitě, zejména v létě, a to zpravidla v nočních hodinách. Lokalizujeme je před přízemní čarou fronty. Intenzita se zvyšuje i se zvětšujícím se vlivem návětrné strany pohoří, které způsobuje nucený vzestup vzduchu a bouřka může v této oblasti zesílovat, případně se její postup značně zpomalí. V chladné polovině roku bouřky ve střední Evropě spatříme jen výjimečně z důvodu slabšího oslunění (které způsobuje stoupání teplejšího vzduchu a instabilizuje nejbližší okolí). [16]

Bouřky se dělí do tří typů:

- **Nefrontální bouřka (bouřka z tepla)** – vzduch se nad zemským povrchem ohřívá od slunce, nebo od vyhřátého zemského povrchu, tím se snižuje jeho hustota, stává se lehčím a přirozenou cirkulací stoupá vzhůru.
- **Geografická bouřka** – z důvodů nerovného rozdělení zemského povrchu, je teplý vzduch nucen prouděním podél kopců a hor stoupat do vyšších a studenějších vrstev.
- **Frontální bouřka** – při postupu studené fronty je teplý vzduch vytlačován studeným směrem vzhůru.

Bouřkový mrak má tvar kovářiny (obr. 1), jeho výška dosahuje několika kilometrů. Díky pohybům teplých a studených proudů vzduchu v mracích se uvnitř mraků pohybují drobné částice ledu a vody, tyto částice mají rychlost okolo 5 m/s. Třením si tyto částice předávají elektrický náboj podle gravitační teorie pro nejobvyklejší rozložení náboje, těžší částice jsou nabitě záporně, lehčí kladně. Nejlépe si náboje mezi sebou předávají částice tajícího ledu. Díky proudění vzduchu se tak v mraku vytvoří oblasti s odlišnými elektrickými náboji, kladná oblast prograduje nahoře, část kladných nábojů zůstává v dolní části mraku a prostřední oblast je nabíjena záporně. Takovýto mrak je v podstatě velkým *elektrostatickým generátorem*. Bleskové výboje vznikají při intenzitě elektrického pole okolo stovek kV/m. [2], [4]

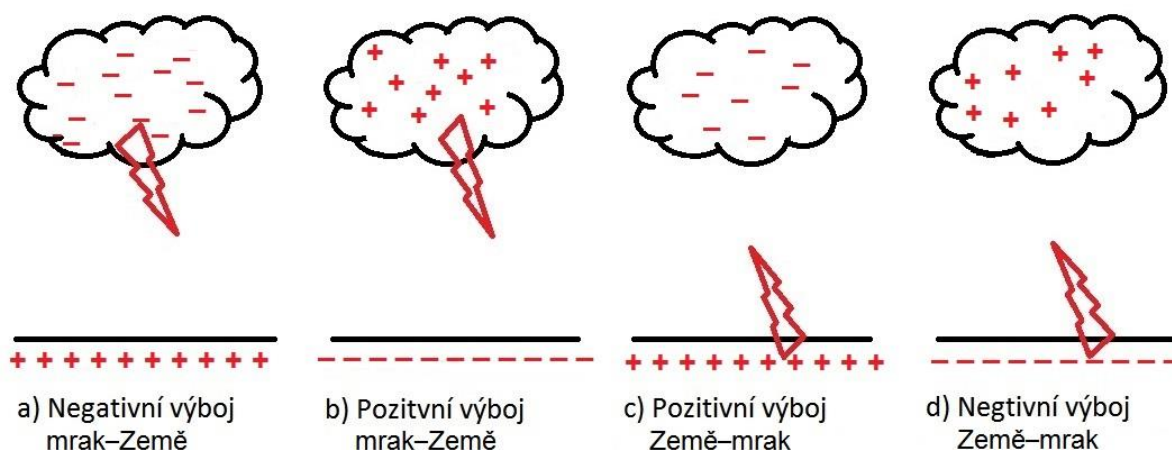


Obrázek 1: Bouřkový mrak (typ cumulonimbus), převzato z [17]

Bleskových výbojů existuje několik typů, dělí se podle smyslu úderu, a také podle jejich polarity. Pro účely této práce – pro studium převážně přímé ochrany před blesky jsem se zaměřil především na bleskové výboje mezi mrakem a zemí.

Bleskové výboje tvoří čtyři základní typy (obr. 2):

- **Negativní výboj mrak–Země**, postupuje směrem od mraku k zemi, přenáší negativní náboj.
- **Negativní výboj Země–mrak**, mrak je nabit vzhledem k zemi záporně, postupuje vzestupně směrem k mraku a přenáší kladný náboj ze zemského povrchu.
- **Pozitivní výboj mrak–Země**, jedná se o sestupný blesk, na zemský povrch přenáší kladný náboj.
- **Pozitivní výboj Země–mrak**, mrak je nabit kladně, vzestupný blesk do mraku přenáší záporný náboj ze zemského povrchu.



Obrázek 2: Typy bleskových výbojů

Vzhledem k tomu, že se na většině území České republiky nachází nepřítliš členitá krajina, můžeme pozorovat převážně výboje typu **mrak–Země**. Výjimkou jsou extrémně vysoké stavby, či hory, kde na jejich vrcholech můžeme pozorovat opačný výboj **Země–mrak**, s jednoznačně převažující negativní polaritou výbojů, podle statistických pozorování až v 90 % výbojů. [4]

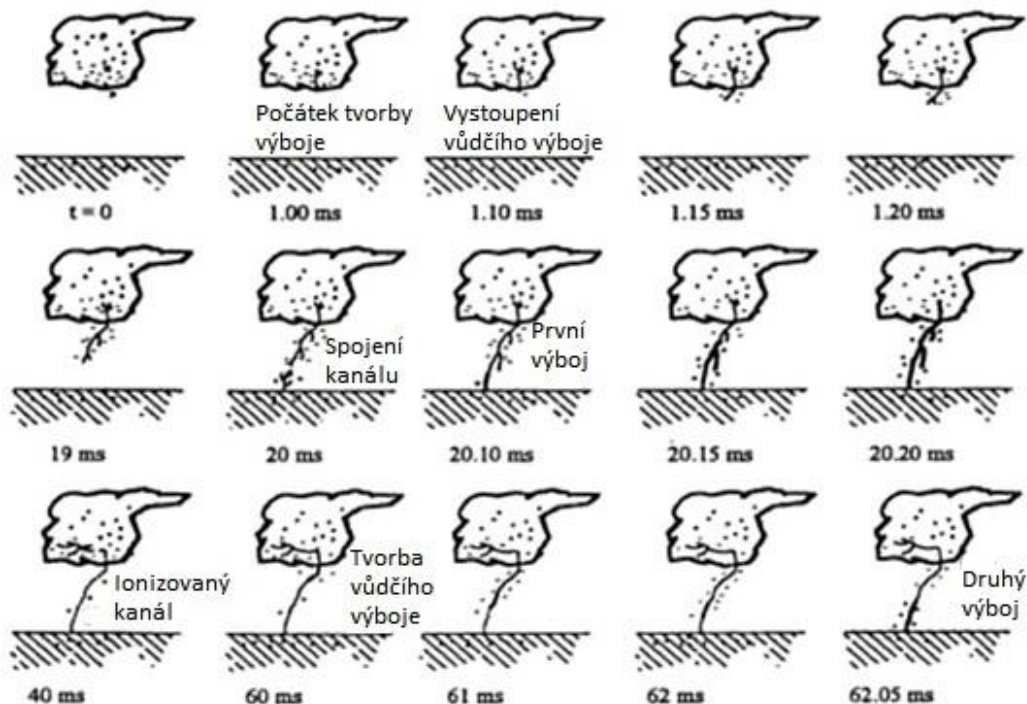
Zajímavý je i samotný rozvoj blesku v čase (obr. 3). Na první pohled se může blesk jevit jako zářící světelná čára, klikatící se po obloze, v určitých případech může i vícekrát zasvítit. Z pohledu fyzikálně-technických měření se jedná o podstatně složitější děj, který dosahuje vrcholové hodnoty proudu od desítek do několika stovek kA.

Situace může být následující: na nebi se plně rozvinul bouřkový mrak. Uvnitř něho probíhá polarizace nábojů, jejich rozložení je podle nejčastějšího typu (v ČR), tj. kladná část výše a záporná níže. Při dosažení intenzity elektrického pole okolo 0,5 až 10 kV/cm se postupně začíná vytvářet atmosférický výboj. Konkrétní kritickou hodnotu intenzity ovlivňují zejména lokální dielektrické vlastnosti ovzduší.

Od spodní (záporné) části mraku se tvoří pomocí ionizace vzduchu vodivý kanál blesku s velmi elektricky vodivým jádrem, který se blíží k zemskému povrchu. Ve výšce několik desítek metrů nad povrchem Země dochází v místech s největším nárůstem intenzity elektrického pole k přerušení elektrické pevnosti vzduchu a z povrchu Země vyráží vzhůru vstřícný výboj. Po spojení vstřícného výboje s vodivým kanálem vzniká celistvá vodivá dráha, po níž postupuje vstřícný výboj dále vzhůru, téměř rychlostí světla. Vytvoří se vodivý ionizovaný kanál, v němž dochází k extrémnímu nárůstu proudové hustoty a teploty, která dosahuje 20 000 °C až 30 000 °C. Tímto způsobem se postupně vytváří bleskový výboj.

Při konstituování bleskového kanálu postupuje vždy nejdříve takzvaný vyhledávací výboj, který v podstatě hledá nejvodivější dráhu pro další rozvoj bleskového výboje. Vyhledávací část lze přirovnat ke kouli, na jejímž obvodu se uskuteční bleskový výboj. Tento popis výboje je v současné době nejpoužívanější a nevhodnější nástroj pro návrh vnější ochrany před přímým zásahem blesku. Jedná se o metodu valící se koule, která bude přiblížena v další části práce. Vysoká teplota ve vodivém kanálu způsobuje termickou ionizaci, která díky tepelné setrvačnosti částic udržuje kanál nadále ionizovaný a může dojít i k více výbojům za sebou, oproti hlavnímu výboji mají menší amplitudu a kratší dobu trvání.

Vysoká teplota kanálu má i další projev, tím je hrom. V důsledku zahřátí kanálu zvýší vzduch až stonásobně svůj tlak, následuje rozpínání jeho objemu a utvoří se tlaková vlna, která způsobí akustický projev. Kromě negativního výboje se může vyskytnout menšinový pozitivní výboj, který je nebezpečný svou velikostí a možností přenášet velké energie. Signalizací pro možný výboj je modré, nebo modro zelené sršení, tzv. Eliášův oheň. Nitkovitý projev s malou energií vznikající například na hrotech stožárů, vrcholcích skal aj. Pro člověka nejsou nebezpečné, signalizují však možný výskyt vstřícného výboje a tedy i možnost úderu blesku. [1], [4]



Obrázek 3: Časový průběh negativního bleskového výboje mrak–Země, převzato z [3]

1.2 Průběhy veličin bleskového výboje

Pro důkladnější popis bleskového výboje je vhodné, mimo fyzikálních principů, znát i typické časové průběhy důležitých veličin, či typické hodnoty těchto veličin a dokázat je, případně matematicky popsat. Za nejdůležitější sledované parametry u bleskových výbojů můžeme posuzovat velikost bleskového proudu a jeho časový průběh. Pomocí této závislosti můžeme určit další důležité parametry, jako specifickou energii W/R , náboj Q nebo strmost nárůstu proudu di/dt . Většina z uváděných a sledovaných veličin byla precizována na základě usnesení sjezdů CIGRE publikovaném v časopise *Electra* v roce 1975 a 1980.

Pro zmíněné parametry platí:

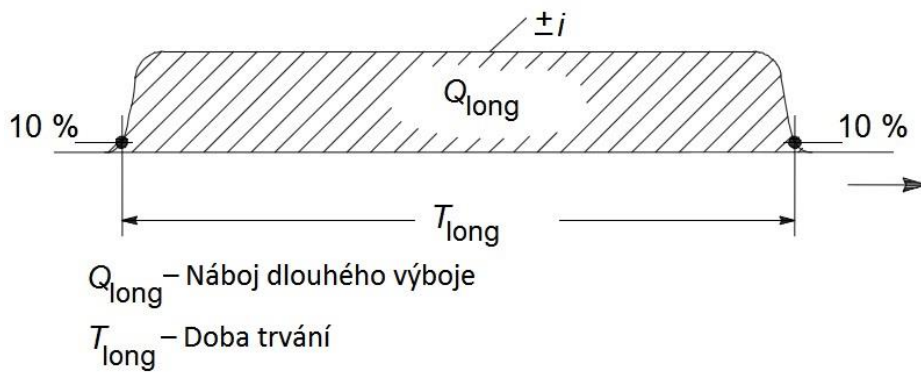
$$Q = \int i dt, \text{ kde je}$$

- Q je náboj [C],
- i hodnota proudu [kA].

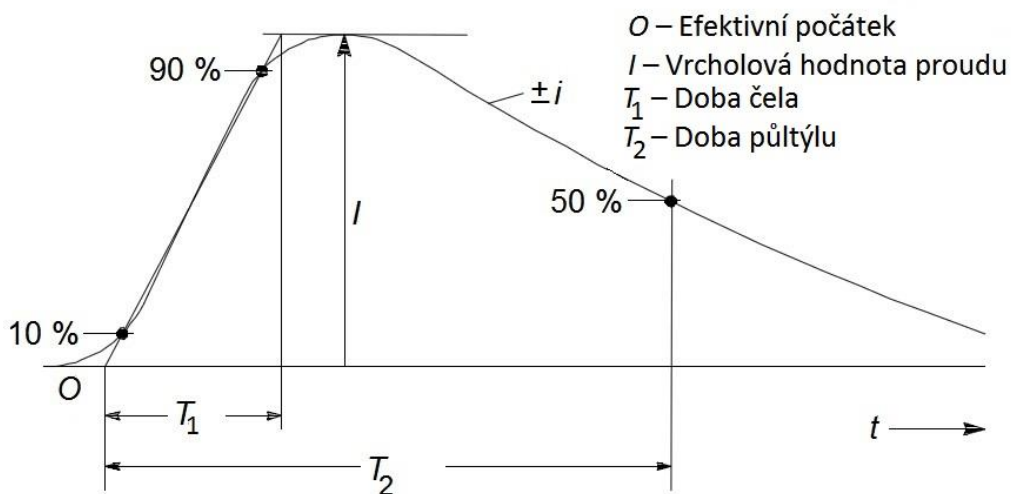
$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt, \text{ kde je}$$

- W/R je specifická energie [kJ/Ohm],
- i hodnota proudu [kA]. [5]

Údery do Země můžeme podle směru šíření rozdělit na dva typy. Jedná se buď o sestupné bleskové výboje, nebo vzestupné bleskové výboje. Co se týká parametrů bleskových výbojů, jsou hodnoty u vzestupných blesků srovnatelné nebo menší než u sestupných, proto stačí zabývat se pouze hodnotami sestupných blesků. Bleskové výboje dále můžeme klasifikovat podle délky jejich trvání. Bleskový výboj se skládá z jednoho nebo více dílčích výbojů, které podle jejich délky můžeme rozdělit na dvě skupiny, a to na výboje s krátkou a dlouhou dobou trvání. U krátkých výbojů se zpravidla pohybujeme s časem do 2 ms, u dlouhých zpravidla s časem větším než 2 ms, ale menším než 1 s. Průběh proudu je znázorněn pro oba případy na následujících obrázcích. [5]

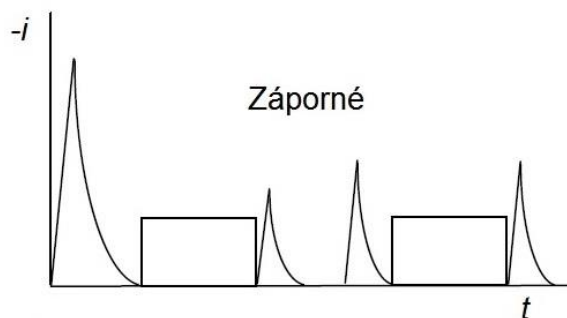


Obrázek 4: Dlouhý výboj, převzato z [5]



Obrázek 5: Krátký výboj, převzato z [5]

Průběh bleskového proudu složeného z několika dílčích výbojů může vypadat následovně:



Obrázek 6: Příklad složeného výboje, převzato [5]

U bleskových výbojů je třeba sledovat jak maximální, tak minimální hodnoty, jelikož oba typy mají svůj význam pro rozvoj bleskového výboje. Maximální parametry mají hlavní vliv na způsobené škody, kde mechanické škody jsou spojené s vrcholovou hodnotou proudu I a specifickou energií W/R . Tepelné škody jsou spojené se specifickou energií W/R nebo nábojem Q . Přepětí a s ním spojené jiskření je závislé na strmosti di/dt čela bleskového proudu. [5]

Minimální parametry jsou klíčové pro účinnost LPS¹, tedy pro zachycení bleskových výbojů. Ta závisí na minimální hodnotě bleskového vrcholového proudu, který odpovídá poloměru valící se koule. Pro daný poloměr valící se koule r je možné předpokládat, že všechny blesky s vrcholovými hodnotami vyššími než je minimální vrcholová hodnota proudu, I budou zachyceny. Poloměr valící se koule, se podle pracovní skupiny IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers–Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství) určuje podle následujícího vztahu:

$$r = 10 * I^{0,65}, \text{ kde je}$$

- r je poloměr valící se koule [m],
- I je vrcholová hodnota proudu [kA]. [5]

V následujících tabulkách jsou uvedeny typické hodnoty parametrů bleskových výbojů pro odpovídající třídy LPL².

Hodnoty parametrů dle třídy	LPL		
	I	II	III–IV
První proudový impulz			
Vrcholová hodnota proudu I [kA]	200	150	100
Náboj proudového impulsu Q [C]	100	75	50
Specifická energie W/R [kJ/Ohm]	10 000	5 600	2 500
Časové hodnoty T_1/T_2 [$\mu\text{s}/\mu\text{s}$]	10/350		
Následné proudové impulzy			
Vrcholová hodnota proudu I [kA]	50	37,5	25
Střední strmlost di/dt [kA/ μs]	200	150	100
Časové hodnoty T_1/T_2 [$\mu\text{s}/\mu\text{s}$]	0,25/100		
Dlouhá proudová vlna			
Náboj dlouhé vlny Q [C]	200	150	100
Časové hodnoty T_{long} [$\mu\text{s}/\mu\text{s}$]	0,5		
Celkový náboj			
Celkový náboj blesku Q [C]	300	225	150

Tabulka 1: Maximální hodnoty bleskových výbojů, převzato z [5], [27], [28]

¹ LPS je **systém ochrany před bleskem** (*lightning protection system*) LPS kompletní technický systém používaný pro snížení hmotných škod způsobených úderem blesku do stavby, skládá se z vnitřního, tak i z vnějšího systému ochrany před bleskem.

² LPL je **hladina ochrany před bleskem** (*lightning protection level*) LPL určuje 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.

Minimální hodnoty dle třídy	LPL			
	I	II	III	IV
Minimální vrcholový proud I [kA]	3	5	10	16
Poloměr valící se koule r [m]	20	30	45	60

Tabulka 2: Minimální hodnoty bleskových výbojů, převzato z [5], [27], [28]

Pro účely vysokonapěťových zkoušek, zejména pro pozorování účinků po zásahu blesku na určité objekty, lze v laboratorních podmínkách vytvořit atmosférický impulz simulující bleskový výboj. Tímto způsobem lze například ověřovat bezpečnost, odolnost či chování určitých zařízení po zásahu bleskem. Atmosférický impulz má časový průběh jako krátký výboj na obr. 5 a parametry, které mohou být nastavené podle požadavků, zda se jedná o první, nebo následný výboj.

1.3 Škody po úderu bleskem

Přímý zásah bleskem může způsobit škody v širokém rozsahu.

Při zásahu člověka je riziko úmrtí či vážného zranění velmi vysoké, avšak pravděpodobnost, že člověka zasáhne blesk v normálních podmínkách, je nízká. Nebezpečí nastává na vyvýšených plochách nebo na volném prostranství, kde je člověk v poloze výše, než jsou okolní části krajiny či budovy. V takových situacích je pro eliminaci rizika zásahu nutné chovat se podle bezpečnostních doporučení, tj. najít vhodný úkryt a zaujmout bezpečnou polohu. Nejvhodnější je sledovat meteorologický vývoj počasí a v době bouřky nebezpečná místa nenavštěvovat.

Další typickou škodou je požár lesního porostu. Ten běžně vznikne zásahem blesku do stromu, ze kterého se rozšíří do okolí. Typická bývají i poškození vzácných dřevin. Jelikož se bouřky vyskytují především v letních měsících, může tento požár vzhledem k častému suchu a parnu nabýt velkých rozměrů, což může způsobit velké škody, jak ekologické, tak ekonomické.

Pro tuto práci a vlastně i z globálního hlediska přímých ochran nemají výše zmíněné škody veliký význam, jelikož jim nejde téměř vůbec systematicky předcházet a chránit se před nimi.

Nejdůležitější oblastí pro uplatnění ochran jsou stavby, kde může zásah blesku způsobit celou řadu dílčích škod. Na tyto škody můžeme nahlížet podle určitých kritérií. Může se jednat o typ materiálu, ze kterého je stavba zhotovena, nebo její význam pro užívání.

Charakteristické vlastnosti staveb můžeme hodnotit podle následujících kritérií:

- podle konstrukce (dřevěná, cihlová, betonová, železobetonová, ocelová skeletová);
- dle účelu stavby (obytný dům, kancelář, zemědělská stavba, divadlo, hotel, škola, nemocnice, muzeum, kostel, vězení, obchodní dům, banka, továrna, průmyslový podnik, sportovní areál aj.);
- podle obsahu stavby a jejich obyvatel (osoby a zvířata, přítomnost hořlavých nebo nehořlavých materiálů, explozivní nebo neexplozivní materiály, elektrické a elektronické systémy s nízkým nebo vysokým výdržným napětím);
- podle připojených inženýrských sítí (silnoproudá elektrická vedení, telekomunikační vedení, potrubí aj.);
- podle existence nebo fungujících připravených ochranných opatření (například na snížení hmotných škod a nebezpečí života, na snížení poruch vnitřních systémů);
- podle míry rozšíření nebezpečí (stavba s problémy evakuace nebo stavby, kde může vzniknout panika, stavby nebezpečné pro okolí, stavby nebezpečné pro životní prostředí). [5]

V následující tabulce jsou vyjmenovány běžné škody pro typické stavby, které jsou rozdělené z hlediska účelu využití nebo obsahu staveb:

Typ stavby z hlediska účelu a (nebo) obsahu	Možné škody po zásahu blesku
Obytný dům	Průraz elektrických instalací, požár a materiální škoda. Škoda je obvykle omezena na objekty exponované v místě úderu nebo na cestě bleskového proudu. Porucha elektrického a elektronického zařízení a instalovaných systémů (například televizorů, počítačů, modemů, telefonů).
Zemědělská stavba	Prvotní riziko požáru a nebezpečná kroková napětí stejně jako hmotné škody. Následné riziko v důsledku ztráty elektrické energie a ohrožení života pro dobytek v důsledku poruchy elektronického řízení větracích a krmicích systémů, atd.
Divadlo Hotel Škola Obchodní dům Sportovní areál	Poškození elektrických instalací (například elektrického osvětlení), které může způsobit paniku. Porucha požární signalizace, která vede k opožděným požárním opatřením.
Banka Pojišťovací společnost Obchodní společnost, atd.	Jak je uvedeno výše a navíc problémy vyvolané ztrátou komunikace, poruchami počítačů a ztrátou dat.
Nemocnice Sanatorium Vězení	Jak je uvedeno výše a navíc problémy lidí s intenzivní péčí a potíže se záchranou nepohyblivých lidí.
Průmysl	Přídavné účinky závisející na výrobní náplni továren, v rozsahu od malých až po nepřijatelné škody a ztráty na výrobě.
Muzeum a archeologická naleziště Kostel	Ztráta nenahraditelného kulturního dědictví.
Telekomunikace Elektrárny	Nepřijatelné ztráty služeb veřejnosti.
Pyrotechnická továrna Muniční závody	Následky požáru a výbuchu na podnik a jeho okolí.
Chemický podnik Rafinerie Jaderná elektrárna Biochemické laboratoře a podniky	Požár a nesprávný chod podniku se zhoubnými následky na místní a globální životní prostředí.

Tabulka 3: Rozdělení objektů z hlediska účelu a (nebo) obsahu, převzato z [5]

Výše zmíněné škody vznikají pomocí určitých základních účinků, které se dají rozdělit na několik typů. Pro problematiku přímých ochran jsou pro nás klíčové tyto účinky:

- Tepelné
- Mechanické
- Elektrodynamické
- Elektrické průrazy [5]

Tepelné účinky – mohou vzniknout dvěma způsoby: jednak předáním tepla generovaného z paty výrazně otepleného kanálu blesku a jednak samozřejmě ohřevem zasaženého materiálu o nenulové rezistivitě způsobené průchodem proudu, jedná se o odporový ohřev. Obě tyto možnosti jsou velice nebezpečné, neboť mohou v okolí průchodu blesku způsobit poškození či vznícení materiálu, který přišel do styku s bleskem, a to jak přímo, tak i nepřímo. Zajímavým projevem může být při zásahu blesku do ne zcela vyschlého materiálu rychlé odpaření vlhkosti. Tato voda se nemá jak odpařit a proto následuje destrukce materiálu (trámy, střešní tašky, stromy). Odporový ohřev se dá vyjádřit pomocí Joulova tepla $Q = R * I^2 * t$, kde

- Q [J] je teplo,
- R odpor [Ohm],
- I velikost proudu [A],
- t čas [s]. [5]

Tento vztah je rozhodující například při zásahu blesku do sítě, zásahu vodiče, nebo při samotném návrhu systému ochrany před bleskem. [2]

Mechanické účinky – jsou způsobeny především elektrodynamickými silami působícími v zasažených materiálech. Při průchodu bleskového proudu může docházet k uvolňování svorek, vytrhávání úchytů a dalším mechanickým destrukcím. Mechanické účinky jsou závislé, jak na velikosti a délce trvání proudu, stejně tak na poloze a pružnosti zasažené mechanické konstrukce. [2], [5]

Elektrodynamická síla – tato síla převážně působí v místech, kde vodič vytváří smyčku, kříží se, nebo je ohnutý. Prochází-li takovým místem vodiče bleskový proud, elektrodynamická síla se snaží tuto smyčku roztáhnout, oblouk narovnat. Elektrodynamická síla se dá vyjádřit pomocí následujícího vzorce:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} * I^2 * \frac{l}{d} = 2 * 10^{-7} * I^2 * \frac{l}{d}, \text{ kde je}$$

- F je elektrodynamická síla [N],
- I je proud [A],
- μ_0 je magnetická permeabilita volného prostoru (vakua) ($4\pi * 10^{-7}$ H/m),
- l délka vodičů [m],
- d vzdálenost mezi rovnými paralelními sekcemi vodiče [m]. [5]

Elektrické průrazy – škody takto způsobené vznikají průrazem izolace, či jiných nevodivých materiálů zasažených bleskem. Při průrazu mohou nastat vážné škody, například požár či další již zmíněná poškození.

Ve skutečnosti při zásahu bleskem vznikají výše uvedené účinky většinou dohromady, například tepelné společně s mechanickými. Při zahřátí vodiče se zvětšuje jeho pružnost a destruktivní mechanické účinky mohou být mnohem větší. V extrémních případech se může vodič dokonce explozivně roztavit a způsobit tak další značné škody.

2. Vývoj zkoumání bleskových výbojů

2.1 Počátky zkoumání bleskových výbojů

Antická představa o vzniku blesků vzájemným třením mraků byla překonána na počátku 18. století, kdy podobnost elektrické jiskry a blesku neunikla pozornosti mnoha přírodních badatelů. Jako první přišel s myšlenkou, že blesk má analogii v elektrickém výboji, anglický experimentátor (spolupracovník Newtona) *Francis Hauksbee* kolem roku 1710. Jednalo se o průkopníka elektrických vakuových trubec později používaných ve fyzice a technice. Samotný *Newton* si roku 1716 všiml, že elektrická jiskra přeskakující mezi hrotem a zelektrizovaným tělesem představuje malý bleskový

výboj. O této podobnosti se zmiňovali i ostatní badatelé. První, který však začal tuto problematiku zkoumat systematicky, byl *Benjamin Franklin* (1706–1790). Roku 1749 zpozoroval a zapsal 12 rysů podobnosti mezi elektrickou jiskrou a bleskem:

„ 1. Vyzářuje světlo, 2. Má stejnou barvu, 3. Dráha světla je klikatá, 4. Rychle se pohybuje, 5. Lze vést kovy, 6. Provází jej praskot, 7. Proniká vodou a ledem, 8. Rozkládá látky, jimiž prochází, 9. Zabíjí živočichy, 10. Taví kovy, 11. Zapaluje hořlavé látky, 12. Zapáchá po síře.“[3]

Benjamin Franklin patřil k prvním americkým vědcům i osobnostem a politikům, kteří formovali Spojené státy americké. Lze uvést, že byl přímo ztělesněním amerického snu. Jednalo se o vynálezce – experimentátora, který přispěl do mnohých oborů lidské činnosti. Narodil se jako patnáctý ze sedmnácti dětí, jeho otec byl výrobcem svíček a mýdla. Benjamin Franklin se vyučil stejnému řemeslu jako jeho otec, avšak pomáhal a učil se i v tiskařském podniku u staršího bratra. V roce 1723 se odebral do New Yorku, poté do Philadelphie, z které byl po čase vyslán, jakožto zručný tiskař, na cestu do Anglie a po Evropě, kam zavítal nakonec osmkrát. Cesty mu pomohly i při vědeckých výzkumech. Stal se velice úspěšným, zámožným a veřejně uznávaným mužem. Ve svých 40. letech se zaměřil na výzkum tajemných elektrických a magnetických jevů. Za krátkou dobu výzkumů těchto jevů (1747–1754) se zapsal nasmazatelně do dějin fyziky i techniky. [18],[19]

První pokus (obr. 7), pro tuto práci nejzajímavější, s atmosférickou elektřinou provedl v roce 1752, kdy se svým synem vypustil do bouřkového mraku draka se zaostřeným hrotem na provázku, který ve vzduch navlhal (zmokl). Na konci provázku byl uvázán klíč, ke kterému se rukou přibližoval a mezi rukou a klíčem přesakovaly jiskry. Kupodivu tento pokus přežil bez zranění. Při dalším experimentu nabíjel baterie leydenských lahví pomocí na střeše vztyčené neuzemněné tyče. Londýnská vědecká společnost (Royal Society) odmítala publikovat Franklinovy práce, brala ho jako neseriózního muže z kolonie. Své práce šířil tehdy obvyklou formou, a to pomocí dopisů svým přátelům. Jeden z jeho přátel vydal jeho práce v tištěné podobě. Tyto práce (například *Experiments and Observations on Electricity* [9]) vyvolaly po Evropě značný ohlas a odborníci se jim věnují i v současnosti (Leonard Labaree and others.(eds.), *The Papers of Benjamin Franklin*, 39 vols. to date (1959–2008)[7] [8]).

Franklinovy riskantní pokusy s elektřinou napodobovali další experimentátoři, například *Georg Wilhelm Richmann* (1711–1753) v Petrohradu. Zkoušel napodobit Franklinův pokus s nabíjením baterií. Získaný náboj se snažil změřit vlastnoručně zkonstruovaným elektroměrem. Když se přiblížil k aparatuře, udeřil náhle blesk a Richmann byl zabit. Podle dobových svědectví se aparatury nedotkl, avšak jeho zařízení přivedlo po vývodu tyče ohnivou kouli (jednalo se pravděpodobně o stále dnes tajemný kulový blesk). [3]



Obrázek 7: Benjamin Franklin se synem při jednom ze svých pokusů, převzato z [23]

V historii zkoumání atmosférické elektřiny se objevuje i jméno českého premonstrátského kanovníka, faráře v Příměticích na Znojemsku, *Václava Prokopa Diviše* (1698–1765). Známého jako experimentátora s blesky a se stavbami meteorologických strojů. Diviš dne 15. června 1753 dokončil na faře v Příměticích, kde působil jako duchovní, svou *povětrnostní mašinu* [10]. Byla to soustava kovových krabic s mnohačetnými hroty, které měly vysávat atmosférickou elektřinu a svádět ji do Země. Měly uvolňovat napětí z ovzduší a předcházet tak bouřkám. Fakt, že by Diviš znal Franklinovy práce, nejsou doloženy.[18],[19]

Franklin svůj tyčový hromosvod popsal již v roce 1751, první takovýto hromosvod zkonstruoval až roku 1760 ve Philadelphii. I Franklin se domníval, že bude hromosvod vysávat elektřinu z ovzduší a předcházet bleskům. Pak si však uvědomil, že hromosvod spíše ochrání budovy před úderem blesku tím, že jej svede do země či do vody. Diviš a Franklin, pracovali nezávisle na sobě, vycházeli ze zcela odlišných představ, dohady o prvenství postavení hromosvodu jsou proto zbytečné. V době počátků hromosvodu se objevovaly i skeptické názory, že budou blesky spíše přitahovat než před nimi chránit.

Ani v současnosti neposkytují moderní hromosvody 100% ochranu před úderem blesků. Počáteční nechuť proti stavění hromosvodů prosazovala i církev, neboť brala blesk jako božího posla. V minulosti často docházelo k úmrtím zvoníků, kteří při bouřce vyzváněli ve věžích kostelů. [3] Tyto církevní názory se brzy rozplynuly po několika tragédiích, kdy blesky zasáhly zásobárny střelného prachu a následné výbuchy vzaly životy několika tisícům lidí. V Praze byl první instalovaný hromosvod na Vyšehradě, kde se nacházel sklad střelného prachu.

2.2 Uplatnění prvních ochran v českých zemích

První hromosvod v Čechách byl postaven v roce 1775 na zámku v Měšicích u Prahy. Stavitelem byl profesor anatomie na pražské univerzitě *Josef Tadeáš Klínkoš* (1734–1778).

Krátce po těžkých neštěstích, která napáchal blesk v italské Brescii, kde se vznítil střelný prach, výbuchu podlehl šestina města a zahynulo na tři tisíce lidí, musela mít všechna skladiště střelného prachu z nařízení Marie Terezie ochranný hromosvod. V roce 1776 byla chráněna hromosvodem první veřejná budova v Praze – vyšehradská zbrojnice. Pražský Vyšehrad byl chráněn řetězem svedeným do Vltavy. Z dochovaných informací o prvních konstruktérech hromosvodů stojí za zmínku

český přírodovědec a mechanik *Antonín Renner*, učitel na pražské vzorné hlavní škole. Na Kampě, kde bydlel, si vysloužil pro domácí laboratoř vybavenou vývěvami, barometry a elektrickými přístroji pověst černokněžníka. [18]

Dochoval se i první elektrotechnický posudek hromosvodu v českých zemích. Autorem byl *Josef Stepling* a v roce 1778 ho zaslal exjezuitovi Ignáci Musilovi do Hradce Králové. Překlad originálu z latiny poprvé publikoval Karel Čupr v 3. až 5. čísle *Elektrotechnického obzoru* v roce 1946:

Důstojný otče v Kristu, byl jsem dotázán magistrátem (města) Poličky – ten zároveň mně poslal nákres kostela s věží, – kterak hromosvod se má vztyčiti a zaříditi; odpověděl jsem, že onen nákres nestačí, aby se mohl hromosvod správně postavit, nýbrž že je třeba očitě prohlídky místa a okolí. Menší nesnáze se naskýtá při prachárnách, pročez červenou tužkou jsem označil tyče i hromosvody při pohledu s té strany, která se vystavuje na nákrese zrakům divákovým; zároveň zde důstojný Otec má ukázkou způsobu, jakým je hromosvod zřízen na Vyšehradě v Praze; nutno však poznamenati, že jeden ze železných svodů je sveden do Vltavy. Jímače, nahoře zaostřené, nižším způsobem nesmějí spočívat na elektrickém podkladě, jako na pryskyřici, sklu, jak se důstojný Otec domnívá, neboť tak by se elektrina shromažďovala; nýbrž je nutno, aby ke kamenu olovem byly připevněny. Nebezpečno by též mohlo býti svěsti řetěz nebo svod do studny; ten budiž sveden do vlhké zemní vrstvy nebo tekoucí vody.

Ostatně uvedu některá obecná pravidla o hromosvodu:

- 1. Na nejvyšších místech budovy budtež vztyčeny jímače, končící hrotem; tyto hroty budtež pocínovány nebo pozlaceny, aby nerezavěly.*
- 2. Všechny jímače budtež spojeny železnými nebo mosaznými dráty nebo tyčemi, které jdou od dolního konce jednoho jímače k dolnímu konci jiného jímače.*
- 3. Jímače mějtež tloušťku přes půl palce, tyče nebo dráty od konce jímačů vedené, nejméně 1/10 palce; čím silnější, tím bezpečnější.*
- 4. Čím hustěji a souvisleji tyče a dráty od konců jímačů a mezi sebou a mezi jímači budou vedeny, tím lépe; pročez bedlivě jest se vystříhati toho, aby vznikly mezery nebo články, jak je tomu při obyčejných řetězích.*
- 5. Nejenže musí býti jímače mezi sebou spojeny dráty a tyčemi, upevněnými na jejich dolních koncích, nýbrž z týchž konců a místy i z drátů a spojovacích tyčí musí býti vedeny dráty do země, zejména s míst budovy nejvíce vyčnívajících; a nutno dbáti toho, aby žádný z těchto všech drátů nedostal se do styku s dřevěnými součástkami. Jestliže svodným drátům na dolních koncích bude postupně přibývat na tloušťce, bude obzvláště užitečné; tyto části nechť končí ve vlhké zemi nebo v kolem tekoucí vodě; aspoň jeden pak z drátů, když ne všechny, budiž ponořen do vlhké země nebo tekoucí vody; dolní konce svodných drátů budtež vzdáleny několik stop od základů budovy.*

Odporučím se snažně zbožné vzpomínce u oltáře a ze srdce přeji šťastný úspěch tomuto elektrickému podniku.

V roce 1895 začal vycházet v Praze český čtrnáctideník *Epocha* (se zvláštním zřetelem na objevy doby nejnovější). V čísle 2 z roku 1908 se nachází článek o ochraně před bleskem. Pojednává i o upozornění na nebezpečí indukce a influence na elektrickou rovnováhu Země na jejím povrchu již při výboji mezi mraky. To je výše popsáný jev, při němž vznikají v sousedních vodičích a kovových konstrukcích střídavé proudy vysokého napětí, aniž by přitom došlo k přímému úderu blesku do země či objektu. V článku je popsáno jiskřiště jako pojistný ventil sestávající se ze dvou desek nebo hrotů s dostatečnou přeskokovou vzdáleností a hloubkový zemnič, nazývaný rozvaděčem bleskového proudu v zemi.

3. Současné metody přímé ochrany před bleskem

3.1 Přímá ochrana před bleskem a její vývoj

Spory o technickém provedení hromosvodů se vedly v podstatě již od počátků jejich implementací do staveb. Zajímavostí je například spor, který se rozpoutal nejenom v Anglii, o to zda má být konec hromosvodu zaoblený či špičatý. Špičatý konec prosazoval Franklin, avšak představitelé anglických akademiků vyzvali krále, aby nahradil stávající špičaté hroty za zaoblené. Šlo pouze o nesympatie anglických akademiků k Franklinovi. Psal se tehdy začátek druhé poloviny 18. století a další vývoj v oblasti přímých ochran následoval. [3] Pozornost byla zaměřena na technické provedení těchto ochran. Byl kladen důraz na zlepšení funkce sběrných elektrod, tak i svodů. Řešila se i vzájemná kombinace těchto dvou komponentů. Jak podle rozmístění tak, podle jejich počtu. Byly vyslovovány názory, že jímače by se měly nacházet na každém rohu stavby s několika svody. Důvodem pro vývoj v oblasti ochran byly, kromě obecného technického pokroku také události, které se začaly objevovat. Již v 18. století byly zjištěny případy, kdy tehdejší ochrany selhaly a vznikly tak, přes existující ochranu velké škody. Proto se nadále pracovalo na zlepšení systému ochran, byly doporučovány jímací tyče ze železa nebo mědi s pozlacenými hroty, svedeny co nejkratší cestou do země, co nejbliže k úrovni spodní vody nebo do blízkosti vodního zdroje. Již na konci 18. století vznikly první předpisy pro hromosvody. V 19. století, bylo hned několik obchodních společností, které nabízely vylepšené jímací tyče. Ve 20. století, se díky všeobecnému pokroku v elektrotechnice začaly objevovat první myšlenky o aktivních jímačích, myšlenky byly následovány prvními prototypy. Tyto jímače usnadňují cestu bleskovému výboji. Přiblížení těchto jímačů bude provedeno v části 3.3. V následující části této kapitoly 3.2 bude představena technická stránka přímých ochran, tak jak ji popisuje současná evropská norma. Toto provedení se může v různé literatuře objevovat jako pasivní, nebo konvenční. [15], [18], [19]

Dnes používané systémy vnějších ochran vycházejí z původní myšlenky Benjamina Franklina a principiálně se neliší od jeho návrhu. Existuje však celá řada vhodných materiálů, které se liší průřezy a dalšími parametry. Liší se i typy jímačů. Současné hromosvody se, stejně jak tomu bylo od jejich začátků, skládají ze tří částí. Jedná se o jímací soustavu, soustavu svodů a uzemňovací soustavu. [3] Všechny části hromosvodu by měly být vybudovány v souladu se souborem norem ČSN EN 62305. V současné době není v zákoně zanesena povinnost vybudování odpovídajících ochran, jen doporučení řídit se metodou zmíněnou v normě, kterou je řízení rizik. Dle pozorování se ukazuje, že cena vybudování ochran na stavbách je oproti možným škodám vzniklým na nechráněných stavbách mnohonásobně menší, tudíž se existence ochran na stavbách vyplácí.

3.2 Přímá ochrana

Jímací soustava

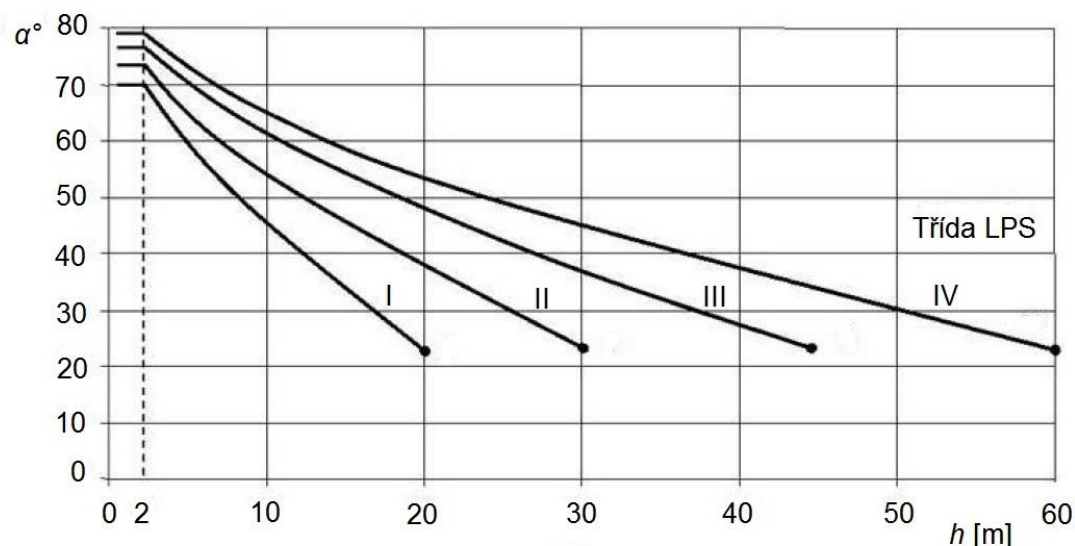
Jedná se o část vnějšího ochranného systému, která má za úkol ochránit budovy od přímého zásahu blesku. Soustavu tvoří jímače a jímací vedení. Ve skutečnosti jímací soustava při správném provedení a instalaci snižuje riziko vniku blesku do stavby. Jímací soustava může být vytvořena pomocí kombinace následujících částí, jedná se o tyče, závěsná lana a mřížové vodiče. Dle platných norem musí být součástí jímací soustavy rozmístěny na místech se zvýšenou pravděpodobností zásahu blesku, to tedy zejména na rozích, exponovaných místech, hranách a hřebenech střech. Můžeme použít **hřebenový systém**, kde je jímací vedení umístěno po hřebenu střechy, nebo například po hřebenu vyvýšené části. Dále je možná **mřížová soustava**, jímací soustava je vedena v podélném i příčném směru tak, že vytvoří mříž, která pokrývá celý objekt. Může se jednat o mříž s otevřenými i uzavřenými oky. Tato metoda je vhodná pro ochranu rovinných ploch. Další možností je **tyčový hromosvod**, ten tvoří jedna nebo více jímacích tyčí umístěných v místech s největší pravděpodobností zásahu. Při návrhu tyčového hromosvodu je důležité ohlídat, zda je chráněný objekt v chráněném prostoru hromosvodu. Existují také **oddálené jímače**, které nejsou připevněny žádnou částí k chráněnému objektu ani nemají žádnou společnou vodivou část. Hlavním významem těchto jímačů je ochrana citlivých či jinak náchylných objektů. Jedná se například o sklady

nebezpečných látek, u kterých při elektrickém jiskření či změně teploty hrozí výbuch, či jiné nebezpečí. Do jímací soustavy se dají použít **náhodné jímače**, to jsou například plechové střechy, zábradlí nebo špiče věží. Aby je bylo možné použít jako jímací součásti, musí splňovat určité podmínky.

Jímací soustava pak může být tvořena vhodnou kombinací výše zmíněných prvků, pokud je ochranný systém navržen podle jedné nebo více následných metod. Jedná se o metody **ochranného úhlu a), valící se koule b)** a **mřížové soustavy c)**. Třídy LPS (systém ochrany před bleskem – *lightning protection system*) se při použití zmíněných metod, určují dle následující tabulky a grafu (tab. 4, obr. 8). [6], [2]

Třída LPS	Poloměr valící se koule r [m]	Velikost ok w_m [m]
I	20	5x5
II	30	10x10
III	45	15x15
IV	60	20x20

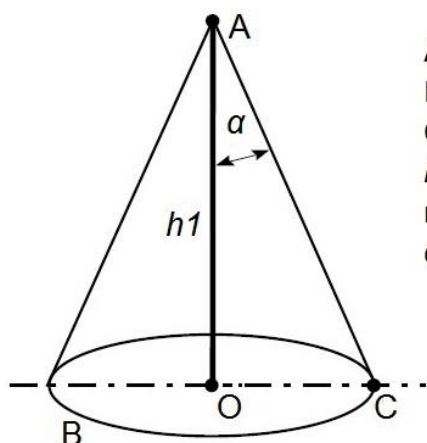
Tabulka 4: Hodnoty pro rozdělení dle tříd LPS, převzato z [6]



Obrázek 8: Graf pro určení třídy LPS (metoda a), převzato z [6]

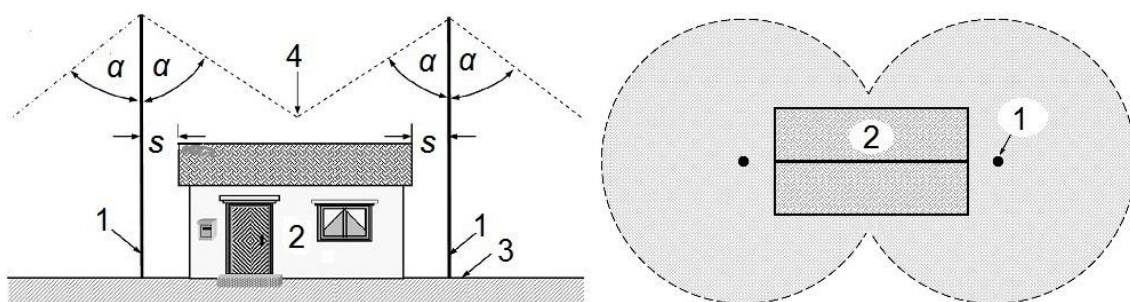
a) Metoda ochranného úhlu

Metoda vhodná pro tvarově nejjednodušší budovy, její použití je omezeno výškou jímací soustavy. Objekt je pomocí této metody chráněn, nachází-li se celý v prostoru chráněném jímací soustavou, tento prostor je vytyčen úhlem α (polovina vrcholového úhlu) a výškou jímací soustavy nad referenční rovinou. Chráněný prostor je dán rotačním kuželem, vzniklým rotací pravoúhlého trojúhelníku AOC kolem osy h_1 (obr. 9, 10). Vrchol A je na špičce jímací tyče. V případě potřeby se může vytvořit větší chráněný prostor pomocí kombinace kuželů, takovým případem může být prostor chráněn vodičovou jímací soustavou. [6]



A – Vrchol jímací tyče
 B – Referenční rovina
 OC – Poloměr ochranného úhlu
 $h1$ – Výška jímací tyče nad referenční
 rovinou chráněného prostoru
 α – Ochranný úhel

Obrázek 9: Princip metody ochranného úhlu, převzato z [6]

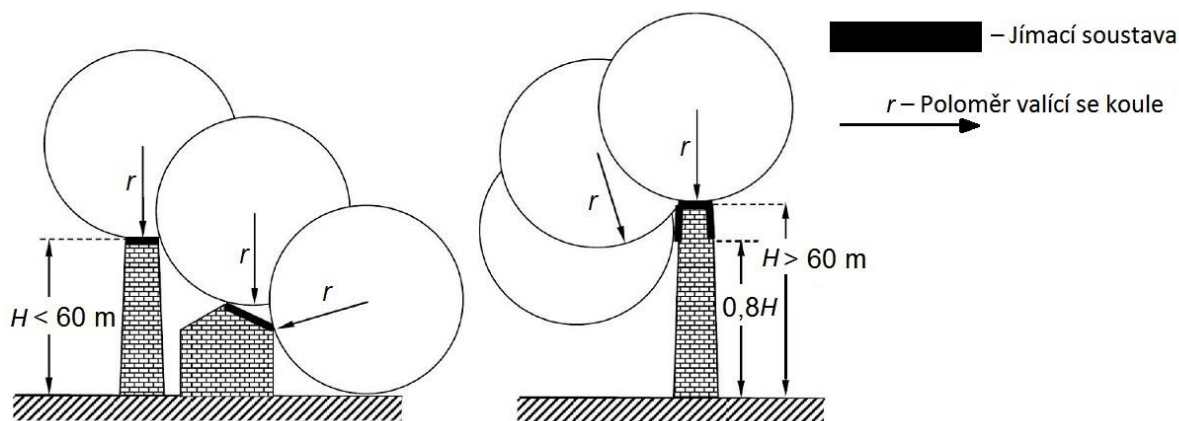


1 – Jímací stožár
 2 – Chráněný objekt
 3 – Úroveň terénu je referenční rovina
 4 – Průsečnice mezi ochrannými kužely
 s – Dostatečná vzdálenost
 α – Ochranný úhel

Obrázek 10: Model chráněného objektu metodou α , převzato z [6]

b) Metoda valící se koule

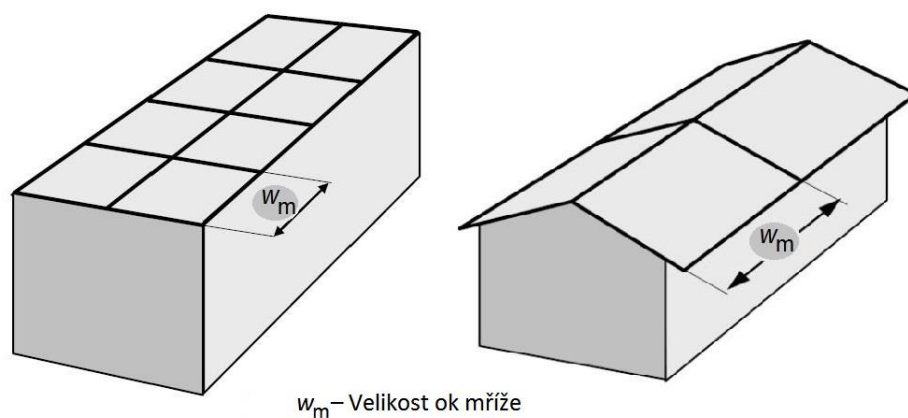
Metoda valící se koule je vhodná pro všechny budovy. Objekt je chráněn, pokud žádná část objektu není v kontaktu s valící se koulí okolo objektu a po něm, ve všech směrech. Koule se smí dotýkat pouze části jímací soustavy, nebo jímací soustavy a země. Velikost poloměru koule odpovídá třídě LPS. Způsob valení koule je naznačen na obrázku 11. [6]



Obrázek 11: Naznačení metody valící se koule, převzato z [6]

c) Metoda mřížové soustavy

Vhodná pro rovinné plochy. Chráněný prostor je definován jako kombinace ochranných prostorů jednotlivých jímacích vodičů spojených do mříže. Daný prostor je ochráněn při splnění následujících podmínek, jímací vodiče jsou umístěny na převiscích a okrajích střechy, na hřebenech v případě je-li sklon větší jak 1/10. Žádné kovové předměty nevystupují nad jímací soustavu. Rozměry ok nejsou větší než hodnoty uvedené v tabulce 4, která určuje třídu LPS. Naznačení je zobrazeno na obrázku 12. [6]



w_m – Velikost ok mříže

Obrázek 12: Naznačení mřížové metody, převzato z [6]

Problém nastává u staveb vyšších než 60 metrů, nebo je-li jejich výška větší než poloměr valící se koule, u těchto staveb připadá v úvahu riziko úderu blesku z boku. Dle specifických výzkumů se ukazuje, že pravděpodobnost úderu do boku u staveb nižších než 60 metrů je zanedbatelná a nemusí se uvažovat při projektování ochrany. U staveb vyšších než 60 metrů je největší pravděpodobnost úder blesku do horní části stavby, proto je nutné ochránit vhodně 20 % na vrcholu stavby, minimálně dle IV. třídy LPS. [6]

Soustava svodů

Soustava svodů musí být konstruována a navržena tak, aby snížila pravděpodobnost způsobení škod zásahem blesku. Musí být zajištěno více paralelních drah proudu. Délka dráhy proudu má být co

nejkratší, měla by být přirozeným pokračováním jímače, bez zbytečných oblouků, svislá. Musí být vytvořeno co nejkratší možné spojení se zemí. Rozmístění svodů na objektu by mělo být rovnoměrné po celém jeho obvodu a odpovídat počtu příslušných zemničů, pokud možno v rozích objektu. Mimo rohy je vhodná poloha co nejdále od oken, dveří a kovových předmětů, které nejsou s hromosvodem spojeny. Svody nesmějí prostupovat balkóny, lodžie či výtahovou šachtou. Nesmí být umístěny ani v okapech, týká se i izolovaných svodů. Na tvarově jednoduchých objektech by měli být umístěny minimálně dva svody, co nejdále od sebe. Stejně jako u jímací soustavy se dají použít vhodné vodivé prvky jako **náhodné svody**. Těmi mohou například být elektrické části, které vyhovují svým technickým provedením potřebám svodů, například železobetonový skelet stavby. V závislosti na vzdálenosti od jednotlivých svodů se podle přiložené tabulky (tab. 5) hodnotí třída LPS. [6], [2]

Třída LPS	Obvyklé vzdálenosti [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tabulka 5: Obvyklé vzdálenosti svodů, převzato z [6]

Uzemňovací soustava

Pro spolehlivou funkci vnější ochrany je důležitá vhodná a dostatečná volba uzemnění. Za každých okolností musí být vytvořen dobrý kontakt se zemí s nejmenším možným zemním odporem, doporučováno je méně než 10Ω , měřeno při nízkém kmitočtu. Důležitým kritériem je tvar a uspořádání zemniče. Měl by být uspořádán tak, aby došlo co nejlépe k rozdělení bleskového proudu s vysokofrekvenčním chováním do země a byla zmenšena nebezpečná přepětí. Pro návrh zemničí soustavy je důležitá naměřená hodnota rezistivity půdy. Pro uzemňovací soustavy se používají dva základní typy uspořádání, typ A a typ B. Soustava **typu A** je tvořena z vodorovných zemničů instalovaných vně stavby, tyto zemniče jsou spojeny s každým svodem, či základovým zemničem, které tvoří uzavřenou smyčku. Celkový počet zemničů nesmí být menší než dva. Horní část zemniče by měla být uložena minimálně 0,5 m pod povrchem a co nejrovnoměrněji rozložena, aby se minimalizovaly účinky elektromagnetické vazby. V uspořádání **typu B** se používá obvodový zemnič vně budovy, který má alespoň 80 % své délky pod zemským povrchem. Druhou možností je základový zemnič tvořící uzavřenou smyčku. Ten může být také doplněn o mřížový zemnič. Počet zemničů by měl být větší než počet svodů, minimálně by měly být dva. Zemnič by měl být uložen nejméně v hloubce 0,5 m a ve vzdálenosti 1 m od budovy. Správně může sloužit i náhodný zemnič. V případě, že jeho parametry nejsou dostatečné, správné, nebo z jiných důvodů není dovoleno ho použít, je nutné použít zemnič strojený. [6],[2]

Všechny tyto součásti LPS musí odolávat elektromagnetickým účinkům bleskových proudů a i dalším náhodným namáháním bez poškození. Toho lze dosáhnout volbou součástí, kde všechny použité součásti vyhovují souboru norem ČSN EN 50164 (Součásti ochrany před bleskem). Jímací soustava a svody musí být uchyceny tak pevně, aby odolávaly mechanickým silám a nedošlo tak k uvolnění nebo poškození vodičů. Počet spojů na svodech musí být omezen na minimum, tyto spoje musí být provedeny spolehlivě. Použité materiály musí být vybrány vzhledem k jejich odolnosti vůči korozi, jejich rozměry musí vyhovovat zkouškám a požadavkům podle souboru norem ČSN EN 50164. [6]

3.3 Moderní řešení

Vývoj v oblasti přímých ochran dnes nabízí pro realizaci hromosvodů i moderní řešení. Počínaje aktivním hromosvodem a izolovanými svody. Oba tyto moderní prvky nachází svoje místo na stavbách, na kterých by klasické provedení hromosvodu znamenalo komplikovanou instalaci, nebo by jímací soustava mohla znehodnotit vzhled stavby.

Aktivní hromosvod

Za aktivní hromosvod označujeme hromosvod s aktivním jímačem. Návrhy na provedení aktivního jímače vznikaly již na začátku 20. století, jednalo se o jímací tyče opatřené o radioaktivní prvky. Tento typ jímače je v mnoha zemích však od roku 1980 zakázán. Stalo se tak díky zpřísnění podmínek pro ochranu před radioaktivním vyzařováním. V současné době existuje další typ aktivního jímače, jedná se o ESE jímač (*Early streamer emission - s urychleným vysláním vstřícného výboje*). Jeho princip spočívá v usnadnění cesty bleskového výboje tím, že jímač při určité hodnotě elektrického pole kolem jímače ionizuje jeho okolí pomocí série elektrických výbojů na horních elektrodách jímače. Díky tomuto principu aktivní jímač vytvoří vyhledávací větev blesku dříve než pasivní jímač. Tento princip má mít údajně větší pravděpodobnost bezpečného svedení výboje i větší ochranný úhel. Z vědeckého hlediska nejsou aktivní jímače podporovaným typem ochrany, neboť série nezávislých vědeckých měření napříč členskými zeměmi IEC a CENELECU neprokázalo, že by aktivní jímače vykazovaly lepší vlastnosti než pasivní. Fyzikální podstata většiny aktivních jímačů spočívá na základě oscilačního obvodu, ve kterém rezonance může, nebo nemusí nastat, zaleží čistě na podmínkách okolního pole a na hodnotách použitých vnitřních součástek. Již negativním faktem je, že vnitřní obvody determinují kmitání elektrického pole na pevném kmitočtu. Na základě tohoto faktu, se aktivní hromosvod může stát lepším hromosvodem, ale také nemusí. I při návrhu ochrany LPS s aktivním hromosvodem je doporučováno použít parametry (výšku jímací soustavy) jako u pasivních. Relevantnosti lepší účinnosti aktivních hromosvodů nepřidává ani ten fakt, že většina technických materiálů o nich, se nachází pouze na stránkách dodavatelů a výrobců. Aktivních hromosvodů je v současné době instalováno v řádech 100 tisíců, včetně významných staveb (chrám sv. Víta, Národní muzeum, obchodní centra). Aktivní jímače nejsou obsaženy v evropské normě ČSN EN 62305, avšak jsou součástí výrobních norem několika států EU, proto je jejich použití u nás možné, avšak revize podléhá evropské normě ČSN EN 62305 (viz Informativní národní příloha k ČSN EN 62305-3). Příklad aktivního jímače ESE je na obrázku 13. [15]



Obrázek 13: Aktivní jímač, převzato z [24]

Izolované svody

Za další moderní prvek v oblasti přímých ochran můžeme považovat izolované svody. V instalacích, kde hrozí riziko zavlečení bleskového proudu do vnitřní elektroinstalace, je vhodné zvážit použití izolovaných svodů. Tyto svody mají velký význam například u dřevostaveb, kde se objevují případy, že svod zavleče bleskový proud do kovové části konstrukce a dojde následně k požáru. Použití je vhodné jak pro skryté svody, tak i pro vnitřní svody. Další použití najdeme v případech, kde estetické hledisko nedovoluje použít klasické metalické svody, lze tedy použít izolované svody a zmírnit tak efekt ochrany na vzhled stavby. Jedná se o silové kabely s velmi kvalitní izolací, tak aby nedocházelo k jejím poruchám a následným škodám. Snazší je instalace těchto svodů, včetně manipulace a dopravy. Při jejich použití lze ušetřit i díky úspoře materiálu. Příklady těchto svodů jsou na obrázku 14. [14]



Obrázek 14: Izolovaný svod, převzato z [25]

3.4 Revize přímých ochran

Aby přímé ochrany poskytovaly nejlepší možnou ochranu, je nezbytné, mimo jejich samotného zhotovení podle platných norem, také v pravidelných časových úsecích provádět revizní prohlídky. Revizní prohlídky se ve svém rozsahu i délce časového intervalu liší podle třídy ochrany LPS. Účelem revizí je zjistit, zda systém LPS odpovídá projektu, který je zhotoven podle platné normy. Dále, že všechny součásti LPS jsou v dobrém technickém stavu, tedy mohou plnit navrhované funkce a nejsou zkorodovány. Další důležitou částí revize je kontrola, že všechny nově přidané inženýrské sítě nebo konstrukce jsou začleněny do LPS. Revizní kontroly by se měly provádět, až na určité výjimky, podle příložené tabulky 6. [6]

Hladina ochrany	Vizuální kontrola [rok]	Úplná revize [rok]	Kritické systémy a),b) úplná revize [rok]
I a II	1	2	1
III a IV	1	4	1

a) Systém ochrany před bleskem v aplikacích zahrnující stavby s rizikem způsobovaným výbušnými materiály by měl být vizuálně kontrolován každých 6 měsíců. Elektrická měření instalace by měla být prováděna ve lhůtách 14 až 15 měsíců tam, kde je účelné provádět měření zemního odporu v různých obdobích roku, aby se získaly údaje o sezonních změnách.

b) Kritické systémy mohou zahrnovat stavby obsahující citlivé vnitřní systémy, kancelářské budovy, obchodní budovy, nebo místa, kde může být přítomno velké množství lidí.

Tabulka 6: Harmonogram revizních prohlídek, převzato z [5]

Z tabulky vyplývá, že LPS by měl být vizuálně kontrolován nejméně jednou za rok. Tam, kde dochází k silným povětrnostním změnám a kde jsou extrémní povětrnostní podmínky, je vhodné podle doporučení provádět častěji vizuální kontrolu, než je uvedeno v tabulce.

1. Vizuální kontrola

Vizuální kontroly by měly být pravidelně prováděny, zjišťujeme zda:

- návrh odpovídá normě;
- LPS je v dobrém stavu;
- neexistují uvolněné spoje, žádná náhodná přerušení vodičů LPS a spojů;
- žádná část systému není poškozena korozí, zvláště na úrovni terénu;
- všechny viditelné uzemňovací přívody jsou nedotčeny (funkční);
- všechny viditelné vodiče a systémové součásti jsou uchyceny na montážní plochy a součásti, které poskytují mechanickou ochranu, jsou neporušeny (funkční) a nacházejí se na správném místě;

- nebyly provedeny žádné další stavební či jiné dodatky, nebo alternativy chráněné stavby, které by vyžadovaly dodatečnou ochranu;
- vodiče pospojování jsou instalovány a nepoškozeny uvnitř stavby (funkční);
- jsou dodržovány dostatečné vzdálenosti;
- jsou kontrolovány a zkoušeny vodiče pospojování, spoje, stínění zařízení, kabelové trasy a SPD. [6]

2. Úplná revize

Revize a měření LPS včetně vizuálních kontrol by měly být provedeny následovně:

- je prováděno průběžné měření, zvláště zkontrolování spojení těch částí LPS, které nemohly být proměřeny během první instalace a později nebyly přístupny žádné vizuální kontrole;
- je prováděno měření zemního odporu uzemňovací soustavy. Měla by být provedena následně jednotlivá a kombinovaná měření za účelem kontroly zemního odporu a výsledky zaznamenány v revizní zprávě LPS. [6]

Při úplné revizi by měl být změřen zemní odpor každého místního zemniče a tam, kde je to prakticky účelné zemní odpor celé uzemňovací soustavy. Každý místní zemnič by měl být měřen jednotlivě, a to u zkušební svorky mezi svody a zemničem v rozpojené poloze (jednotlivá měření). Překračuje-li celkový zemní odpor uzemňovací soustavy 10 Ω , měla by být provedena kontrola. Zvýšila-li se nebo snížila-li se podstatně hodnota zemního odporu, měla by být provedena dodatečná šetření, aby se určil důvod této změny. Dále jsou vyhodnoceny výsledky vizuální kontroly všech vodičů, přívodů a spojů nebo měření jejich elektrického spojení. Není-li uzemňovací soustava provedena podle těchto požadavků, nebo kontrola požadavků není možná z důvodu nedostatků informací, měla by být zlepšena uzemňovací soustava instalací dodatečných zemničů, nebo instalací nové uzemňovací soustavy. Přepětová ochranná zařízení bez vizuálního indikátoru je třeba zkoušet, a to přednostně s využitím pokynů nebo zařízení poskytnutých výrobcem. [6]

Obou postupům těchto kontrol předchází přesná kontrola technické dokumentace, její úplnost, shodnost s normou a shodnost s instalovaným zařízením. [6]

4. Volba přímých ochran

Pro správnou funkci, a tudíž i pro co nejlepší ochranu objektů před škodami, je důležité vybrat odpovídající ochrany. Důležité je zvážit možné škody a důsledky po zásahu blesku a výhody a nevýhody plynoucí z existence přímé ochrany na objektu. Co se týče technického i ekonomického hlediska, pro správnou volbu ochran můžeme uvažovat několik metod, podle kterých můžeme navrhnout vhodnou ochranu, tak aby byla co nejvíce ekonomicky výhodná a zároveň plnila správnou a dostatečnou funkci. Normou doporučený postup evaluace vhodnosti návrhu hromosvodní soustavy je metoda řízení rizik, každá stavba by měla mít oceněná možná rizika, která u ní mohou nastat při zásahu bleskovým výbojem. Na základě výsledků analýzy rizik, je nutné rozhodnout o realizaci ochrany, případně třídy ochrany. V následující kapitole precizují postupy řízení rizika škod, které by mohly vzniknout v rámci zásahu objektu bleskovým výbojem. Kromě těchto standardně používaných metod jsem navrhl vlastní metody vycházející převážně z finančního ohodnocení konceptu ochrany a dalších dostupných statistických údajů o zásahu objektů bleskovým výbojem v konkrétním prostředí a případě.

4.1 Řízení rizik

Nejdůležitější metodou, podle které lze rozhodnout o nutnosti ochrany, či jejich třídě, je řízení rizik. Jedná se o komplexní a hlavní prostředek, jelikož je součástí souboru Evropských norem o ochranách před bleskem ČSN EN 62305. Každá zhotovená i navržená chráněná stavba by se tedy podle těchto norem měla řídit (norma, pokud není obsažena odkazem v zákoně či vyhlášce je však pouze

doporučeným postupem, nikoliv nařízením). Pro návrh a zvážení nutnosti ochran z hlediska bezpečnosti je doporučený následující postup.

V závislosti na návrhu ochrany objektu je nezbytné:

1. Identifikovat chráněnou stavbu
2. Určit typy ztrát příslušných ke stavbě
3. Pro každý typ ztrát určit přípustné riziko R_T ³; pro každý typ ztrát určit a vypočítat všechny odpovídající součásti rizika R_X ⁴
4. Sečíst všechny části R_X
5. Porovnat hodnoty R_X a R_T
 - a) Pokud $R_X > R_T$ je nutné nainstalovat odpovídající ochranná opatření pro snížení hodnoty R_X
 - b) Pokud $R_X < R_T$ je stavba chráněna [12]

Pro zvážení nutnosti ochran z finančního hlediska se lze držet podobného postupu jako v předchozím případě.

V závislosti na finančním ocenění ochrany objektu je nezbytné:

1. Určit hodnotu stavby, vnitřních instalací, případně jejího využití
2. Vypočítat všechny odpovídající součásti rizika R_X příslušná k R_4 ⁵
3. Vypočítat roční náklady C_L ⁶ na celkové ztráty a náklady C_{RL} ⁷ na zbytkové ztráty při použití ochranných opatření
4. Vypočítat roční náklady C_{PM} ⁸ na vybraná ochranná opatření
5. Spočítat hodnotu $C_{PM} + C_{RL}$
 - a) Pokud $> C_L$ přijmout ochrany není nákladově efektivní
 - b) Pokud $< C_L$ přijmout ochrany je nákladově efektivní [12]

Riziko R je poměrná hodnota pravděpodobných průměrných ročních ztrát. Pro každý typ ztrát, které mohou nastat ve stavbě, musí být oceněno příslušné riziko. [12]

Samotná výše a význam rizika záleží na několika faktorech, prvním faktorem je příčina poškození, norma rozděluje a označuje typy příčin následovně:

- S1: úder do stavby
- S2: úder v blízkosti stavby
- S3: úder do vedení
- S4: úder v blízkosti vedení [12]

Dalšími faktory, které ovlivňují a způsobují rizika, jsou typy škod a ztrát, norma opět definuje pro každý faktor několik typů a označuje je následovně:

Ztráty:

- L1: ztráty na lidských životech
- L2: ztráty na veřejných službách

³ **Přípustné riziko** (*tolerable risk*) R_T maximální hodnota rizika, kterou lze připustit pro chráněnou stavbu

⁴ Rizika pro jednotlivé typy ztrát, R_1, R_2, R_3, R_4

⁵ Riziko vtahující se k ekonomickým ztrátám

⁶ Náklady na celkové ztráty

⁷ Náklady na zbytkové ztráty

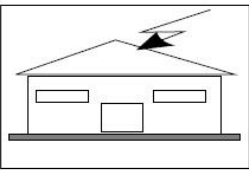
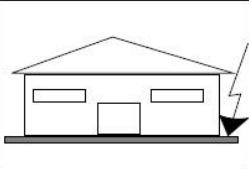
⁸ Roční náklady na ochranná opatření

- L3: ztráty na kulturním dědictví
- L4: ztráty ekonomických hodnot [12]

Škody:

- D1: úraz živých bytostí elektrickým proudem
- D2: hmotná škoda
- D3: porucha elektrických a elektronických systémů [12]

Pro různé typy staveb je nutné zvažovat různé druhy rizik a zahrnout je do výpočtů. Samotná rizika se skládají z dílčích částí, které závisí na typu příčiny a škody. Pro tuto práci jsou nejdůležitější dva typy příčiny škody, a to zásahem přímo do stavby a zásahem vedle stavby. V těchto případech mohou nastat všechny čtyři typy ztrát L v závislosti na typu škod D. Možné kombinace, které mohou nastat, jsou graficky znázorněny v následující tabulce 7.

Úder blesku		Stavby	
Místo úderu	Příčinu úderu	Typ škody	Typ ztráty
	S1	D1 D2 D3	L1, L4 a), L1, L2, L3, L4 L1 b), L2, L4
	S2	D3	L1 b), L2, L4

a) Pouze pro nemovitosti, kde mohou nastat ztráty na zvířatech.
b) Pouze pro stavby s nebezpečím výbuchu a pro nemocnice nebo jiné stavby, kde porucha vnitřních systémů bezprostředně ohrožuje lidské životy.

Tabulka 7: Kombinace možných škod a ztrát, převzato z [12]

Rizika je tedy potřeba uvažovat jako kombinaci, příčin, škod a ztrát. Uvažovány jsou 4 základní typy rizik, které jsou následovné:

- 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 [12]

Tato rizika, jak už bylo zmíněno výše, se skládají s dílčích rizik, které je nutné zahrnout do výpočtů jednotlivých rizik. Každé riziko má tyto součásti odlišné a jsou závislé na významu rizika. Norma definuje několik součástí rizik, která jsou rozdělena v závislosti na místě úderu bleskového výboje podle faktoru S1, S2, S3, S4. Rozlišujeme tedy tyto součásti rizik:

Pro úder do stavby:

- R_A : úrazy živých bytostí způsobeny elektrickým proudem, v důsledku dotykových nebo krokových napětí ve stavbě a mimo stavbu, ve vzdálenosti až 3 m od svodu
- R_B : hmotné škody způsobené nebezpečným jiskřením uvnitř stavby, které způsobuje možný požár nebo výbuch

- R_C : porucha vnitřních systémů způsobená LEMP⁹

Pro úder v blízkosti stavby:

- R_M : porucha vnitřních systémů způsobená LEMP

Pro úder do vedení:

- R_U : úrazy živých bytostí způsobeny elektrickým proudem, v důsledku dotykových nebo krokových napětí ve stavbě, jejichž příčinou jsou proudy injektované do vedení vstupující do stavby
- R_V : hmotné škody způsobené bleskovým proudem přeneseným přes nebo podél vstupujícího vedení
- R_W : porucha vnitřních systémů způsobená indukovaným přepětím vedení vstupujících do stavby

Pro úder v blízkosti vedení:

- R_Z : porucha vnitřních systémů způsobená přepětím indukovaným do vstupních a přenesených vedení do stavby [12]

Z výše zmíněných součástí rizika můžeme určit jednotlivá rizika R_1 až R_4 .

Pro riziko ztrát na lidských životech R_1 platí: $R_1 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$

Pro riziko ztrát na veřejných službách R_2 platí: $R_2 = R_B + R_C + R_M + R_V + R_W + R_Z$

Pro riziko ztrát na kulturním dědictví R_3 platí: $R_3 = R_B + R_V$

Pro riziko ztrát ekonomických hodnot R_4 platí: $R_4 = R_A + R_B + R_C + R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$ [12]

Jednotlivé součásti rizika se dají určit dle obecné rovnice, která vypadá takto:

$R_X = N_X * P_X * L_X$, kde je

- N_X počet nebezpečných událostí za rok,
- P_X pravděpodobnost poškození stavby,
- L_X následné ztráty. [12]

Počet N_X nebezpečných situací je ovlivněn hustotou úderů blesků do Země, jde určit z izokeraunické mapy, která zaznamenává počet bouřkových dní na daném území. Dále je dán fyzickými vlastnostmi stavby, připojených vedení a vlastnostmi půdy. Pravděpodobnost poškození stavby P_X je dána vlastnostmi chráněné stavby, připojených vedení a použitých ochranných opatření. Následné ztráty jsou ovlivněny účelem, pro který je stavba používána, výskytem osob, službami poskytovanými veřejnosti, hodnotou majetku postiženého poškozením a opatřeními pro eliminaci ztrát.

Pro výpočet jednotlivých součástí rizik se stanoví pouze jedna hodnota pro daný parametr, tam kde se dá použít více jak jedna hodnota, musí být vybrána hodnota nejvyšší. Pro výpočet součástí rizik R_X můžeme postupovat dvojím způsobem, buď zvažovat objekt jako jednu zónu, nebo ho rozdělit na více zón. V případě rozdělení na více zón sečteme velikosti odpovídajících rizik v jednotlivých zónách.

⁹ **elektromagnetický impulz vyvolaný bleskem** (*lightning electromagnetic impulse*) LEMP elektromagnetické účinky bleskového proudu přes odporové, induktivní a kapacitní vazby, které vytvářejí a vyzařují elektromagnetická pole

Rozdělení do více zón je vhodné pro objekty s rozdílnými parametry jednotlivých zón, uvažují se tedy specifické vlastnosti části stavby a lze volit nejvhodnější opatření pro danou zónu, celkové náklady tak mohou být o poznání menší než při uvažování objektu jako celku. Toto rozdělení je hlavně důležité pro vnitřní systémy ochrany, pro vnější ochrany nemá význam.

Pro všechny součásti existují specifické postupy výpočtu či typické hodnoty ovlivňujících činitelů, z kterých je možno vycházet, a všechny tyto údaje jsou součástí normy ČSN EN 62305. Těmto postupům a návodům, je v normě věnována poměrně velká část textu. Pro každou součást existuje příloha, včetně vzorových výpočtů, a proto nebude v této části textu dále probírána. Další možností výpočtu rizik pro konkrétní stavby je použití softwaru. Tyto softwary pro výpočet z pravidla vytvářejí firmy zabývající se problematikou ochrany před bleskovými výboji, například výrobci komponentů. [12]

Velmi užitečné je, mimo to zda je použití ochrany nutné pro snížení rizik $R_1 - R_3$, ocenit ekonomickou oprávněnost ochrany pro snížení rizika ekonomických ztrát R_4 . Položky, pro které se provádí určení rizika R_4 , musí být stanoveny z:

- Celé stavby
- Části stavby
- Vnitřní instalace
- Části vnitřní instalace
- Kusu zařízení
- Obsahu stavby [12]

Pro ocenění nákladů na ztráty použijeme postup popsany v úvodu této kapitoly a následující vztahy.

Pro náklady na celkové ztráty C_L :

$$C_L = R_4 * c_t, \text{ kde je}$$

- R_4 riziko vztahující se ke ztrátám hodnot, jestliže nejsou uplatněna ochranná opatření;
- c_t celková hodnota stavby (zvířata, budova, obsah a vnitřní systémy včetně jejich činnosti v penězích).

Pro celkovou cenu zbytkových ztrát C_{RL} :

$$C_{RL} = R'_4 * c_t, \text{ kde je}$$

- R'_4 riziko vztahující se ztrátou hodnot ve stavbě, v níž jsou uplatněna ochranná opatření.

Pro roční náklady na ochranná opatření C_{PM} :

$$C_{PM} = C_P * (i + a + m), \text{ kde je}$$

- C_P celková cena ochranných opatření,
- i úroková míra,
- a odpisová míra,
- m míra údržby.

Pro roční úsporu v peněžích S_M :

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad [12]$$

Ochrana je odůvodněna, jestliže $S_M > 0$. Pro stavby, které jsou pro výpočty rizik rozděleny do více zón, se určí celková hodnota C_{PM} a C_{RL} jako suma dílčích hodnot v jednotlivých zónách. [12]

Pro úplnost této kapitoly je nutné uvést typické hodnoty přípustných velikostí rizik, které norma uvádí následovně, tabulka 8.

Typy ztrát		$R_T (y^{-1})$
L1	Ztráty na lidských životech nebo trvalé následky úrazů	10^{-5}
L2	Ztráta na veřejné služby	10^{-3}
L3	Ztráta kulturního dědictví	10^{-4}
L4	Pro ztráty ekonomické hodnoty L4, existuje postup, který je nutné sledovat, je dán porovnáním * nákladů s přínosem. Princip uveden v části 4.1.	

Tabulka 8: Typické hodnoty velikostí přípustných rizik, převzato z [12]

Jelikož v následující části této kapitoly a také v 5. kapitole bude používáno grafické znázornění vypočtených rizik, které je výstupem použitého programu pro výpočet rizik. Je vhodné představit údaje, které toto grafické znázornění poskytuje. Jedná se o typickou hodnotu rizika a konkrétní vypočteno hodnotu daného rizika. Dále poskytuje grafické vyjádření rizik v procentuální míře, kde jako 100 % je volena hodnotou typického rizika. Na následujícím obrázku je toto znázornění přiblíženo.



Obrázek 15: Vysvětlení grafického znázornění rizika

4.2 Geografická poloha

Jak bylo zmíněno v předchozí části práce, počet nebezpečných událostí způsobených úderem blesku N , je důležitý faktor ovlivňující výběr ochrany. Podle následujícího vztahu, lze za pomoci průměrného ročního počtu bouřkových dnů tento faktor určit:

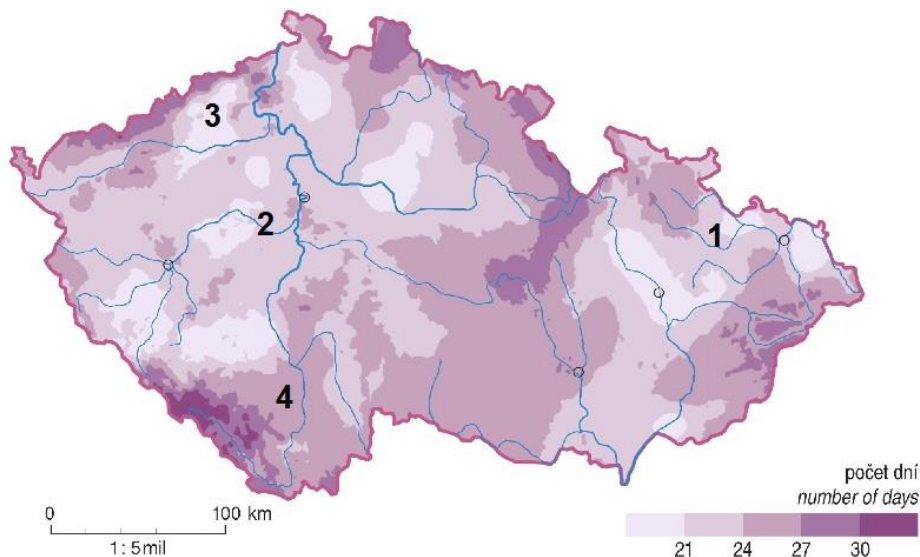
$$N \approx 0,1 * T_D, \text{ kde je}$$

- T_D průměrný počet bouřkových dnů za rok. [12]

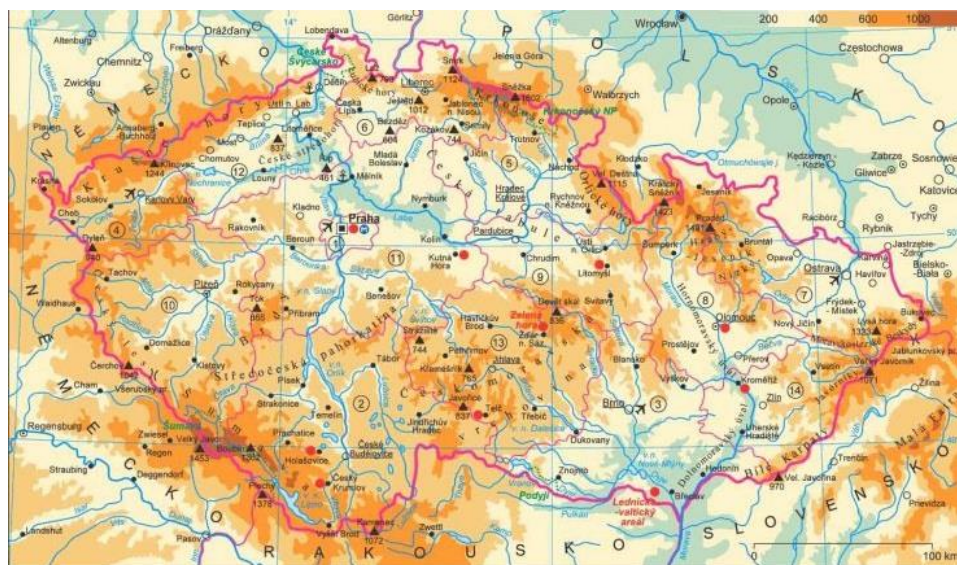
Tento vztah platí pro oblasti mírného podnebného pásu. Ze vztahu vyplývá, že počet N nebezpečných událostí je přímo úměrný počtu bouřkových dnů.

Zaměřme se tedy na počet bouřkových dnů, jako na hlavní parametr v rozhodování o volbě vhodnosti ochrany. Tento parametr lze zjistit z izokeraunické mapy. Tato mapa znázorňuje průměrný roční počet bouřkových dnů nad danou oblastí. Mapa je vytvořena na základě statistického měření a pozorování. Izokeraunické mapy existují pro jednotlivé světové oblasti, v Evropě většinou pro jednotlivé státy. Pro jednotlivé státy se liší svou přesností a zpracováním. Pokud se zaměříme na části Evropy ležící

v mírném podnebném pásu, můžeme sledovat, jaký vliv má geografický ráz krajiny na počet bouřkových dnů. Lze pozorovat, že větší bouřková aktivita je v horských oblastech nebo v jejich blízkosti. Tento fakt lze pozorovat i na území České republiky, která svou poměrně malou rozlohou a ohraničením horami, znamená specifickou oblast. Pro Českou republiku je tento jev znázorněn v následujících obrázcích. (obr. 16, 17)



Obrázek 16: Izokeraunická mapa České republiky, převzato z programu DEHNSupport

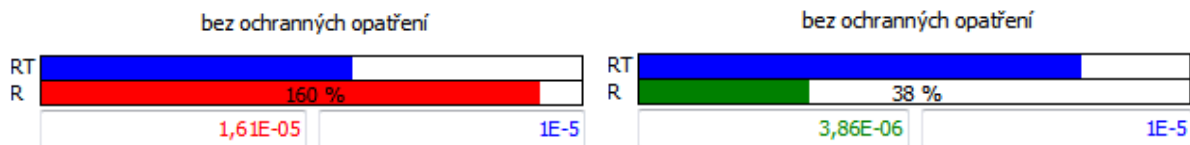


Obrázek 17: Geografická mapa České republiky, převzato z [26]

Lze opravdu pozorovat, že větší bouřková aktivita je ve zmíněných oblastech. Co se týče bouřkové aktivity, ta se díky různorodosti české krajiny, pohybuje v rozmezí od 20 do 30 bouřkových dnů v roce. Což nemůžeme považovat za zvlášť velký rozdíl.

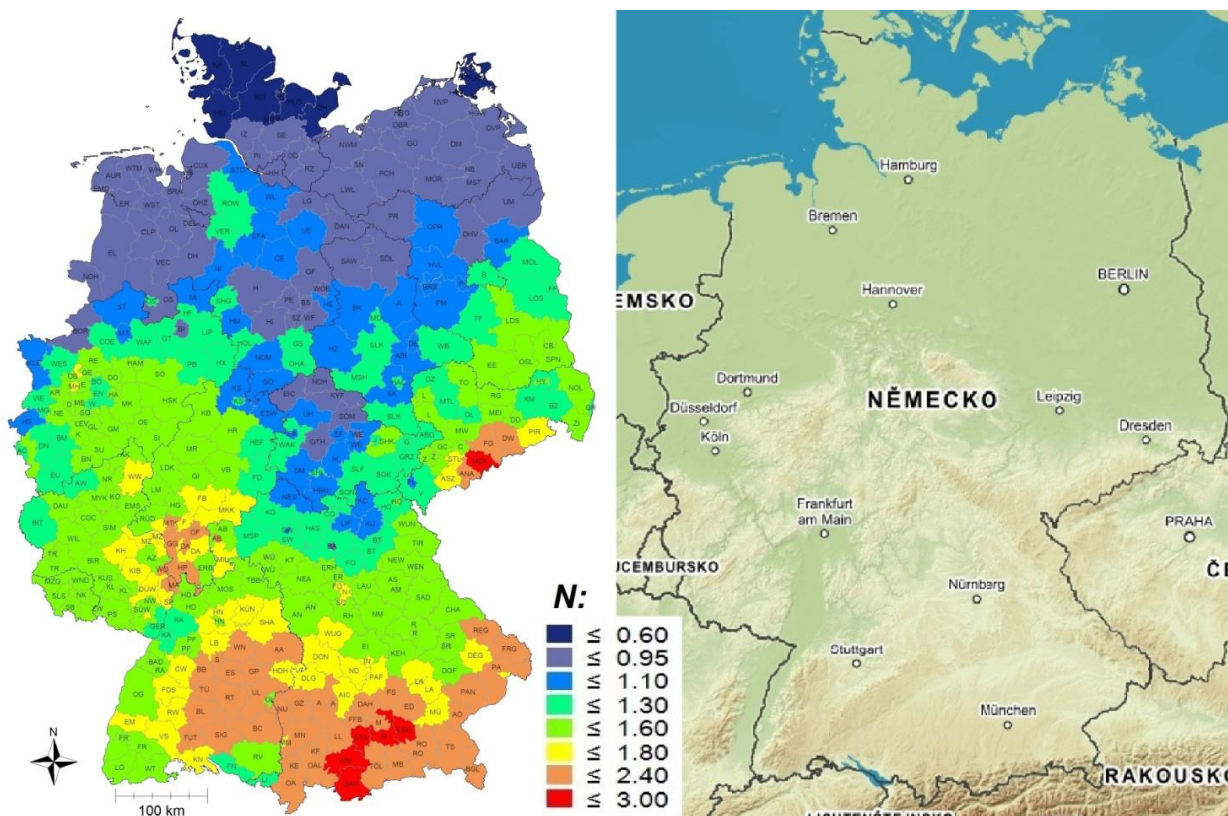
Pokud se však zaměříme na oblast, která je díky své rozloze výrazně méně různorodá než Česká republika. Na oblast, na které se nachází velké monotónní části, můžeme pozorovat podobný jev, avšak s mnohem většími rozdíly. Budeme tento jev deklarovat na území Německa, zde v určitých nížinatých nebo rovinatých oblastech dochází k výraznému snížení bouřkové aktivity. Tato aktivita klesá až k hodnotě $N < 0,6$, což odpovídá méně než 6 bouřkovým dnům za rok. Na následujícím obrázku můžeme pozorovat, jak se změní klíčové riziko R_1 -lidské životy po změně z 25 na 6 bouřkových dnů

v roce. Výpočet je proveden pro rodinný dům, stojící ve vesnickém prostředí s obvyklým rizikem požáru. Na obrázku 18 je vidět, že v oblasti s 6 bouřkovými dny v roce, není nutná ochrana, jelikož hodnota rizika je menší než typická hodnota daná normou.



Obrázek 18: Velikosti rizika při různém počtu bouřkových dnů, převzato z programu DEHNSupport

Toto samozřejmě neplatí 100%, bouřková aktivita je ovlivněna dalšími faktory, jako jsou proudy vzduchu nebo teplota zemského povrchu. Avšak jev je to skutečný, neboť odpovídá jednomu z příčin vytváření bouřky, a to geografické bouřce. Metoda může posloužit jako prvotní přiblížení pro volbu ochrany. Velice jednoduše se dá rozhodnout na základě izokeraunické mapy a přihlednutím do geografické mapy. V určitých oblastech Evropy se může tato metoda jevit jako dostačující. Pro povrch Německa je jev znázorněn na obrázku 19. Rozmezí se například v Německu pohybuje od 6 do 30 dnů, což je změna výraznější.



Obrázek 19: Porovnání geografické a izokeraunické mapy Německa, izokeraunická mapa převzato z programu DEHNSupport, geografická mapa převzata z [29]

Vraťme se zpět na území České republiky. Díky statistickým údajům od České pojišťovny můžeme sledovat pořadí krajů v počtu pojistných událostí po zásahu bleskem. S nahlédnutím do izokeraunické mapy, vidíme, že počet pojistných událostí příliš nezávisí na bouřkové aktivitě, ale spíše na rozloze kraje, nebo jeho hustotě osídlení. Můžeme uvažovat, že s větší rozlohou, roste plocha, kam může blesk udeřit. S rostoucí hustotou osídlení se zvyšuje počet objektů ohrožených zásahem.

V následujících tabulkách můžeme pozorovat počet událostí ve třech nejvíce postižených krajích v roce 2015 a 2014 a také výši jejich škod. Je potřeba dodat, že se jedná o celkové škody, nejsou rozlišeny přímé škody a škody přepětím. Za předpokladu, že Česká pojišťovna pojišťuje průměrně po celém území České republiky, dá se tato statistika použít v celkovém měřítku. V další tabulce jsou uvedeny statistické údaje z jednotlivých krajů. Údaje jsou vybrány a voleny tak, aby měly určitou spojitost s problematikou bleskových zásahů.

Česká pojišťovna 2015:			Česká pojišťovna 2014:			
	Počet PU	Škoda [milion Kč]		Počet PU	Škoda [milion Kč]	Průměrná škoda [Kč]
Celkem	2 267	28	Celkem	4 107	45	11 453
1. Středočeský kraj	382	4,5	1. Středočeský kraj	719	12	
2. Moravskoslezský kraj	270	4	2. Moravskoslezský kraj	570	5	
3. Jihočeský kraj	186	3	3. Ústecký kraj	345	4	

Tabulka 9: Statistika škod Česká pojišťovna

Kraj	Hustota osídlení [obyv./km ²]	Počet obcí	Nejvyšší bod [m.n.m]	Nejnižší bod [m.n.m]	Rozloha [km ²]	Onačení v mapce
Moravskoslezský	224	300	1 491	195	5 427	1
Středočeský	119	1 145	862	158	11 106	2
Ústecký	154	354	1 113	115	5 335	3
Jihočeský	63	623	1 378	330	10 057	4

Tabulka 10: Statistické údaje krajů, převzato z ČSU

4.3 Finanční hledisko

Na rozhodování o nutnosti použití přímých ochranných opatření můžeme také hledět z finančního hlediska. Pro dobré pochopení této volby je vhodné zaměřit se na statistické údaje v dané oblasti a v ní na platné právní předpisy. Dále i postoje pojišťoven, které z finančního hlediska hrají důležitou roli. Jako statistiku škod je vhodné použít statistiku Záchraného hasičského sboru České republiky (HSZČR), mapující počet požárů po zásahu blesku a výše škod po těchto požárech vzniklých.

V následující tabulce můžeme pozorovat dlouhodobou statistiku (HSZČR), kde je i zanesena existence či absence hromosvodu.

ROK	2005-2008		2009		2010		2011		2012		Celkem
Pozorovaná hodnota	Počet požárů	Škoda [milion Kč]	Počet požárů	Škoda [milion Kč]	Počet požárů	Škoda [milion Kč]	Počet požárů	Škoda [milion Kč]	Počet požárů	Škoda [milion Kč]	Průměrná škoda [Kč]
S hromosvodem	13	2,65	12	2	13	3	14	26,2	13	8,9	473 477
Bez hromosvodu	32	8,325	29	14	24	7	31	18,9	30	10,7	
Celkem	45	11	41	16	37	10	45	45,1	43	19,6	

Tabulka 11: Statistika požárů po zásahu bleskem, převzato od HSZČR

Můžeme pozorovat, že počet požárů po zásahu bleskem neznámá ve srovnání s počtem všech pojistných událostí nijak zvlášť veliké číslo. Průměrná škoda však dosahuje hodnoty 473 tisíc Kč, což je oproti všem pojistným událostem zaviněným zásahem blesku velká hodnota. Podle dat poskytnutých pojišťovnami se jedná až o 40násobek, jak je patrné tabulek. Zajímavý je také fakt, že existují případy požárů objektů s hromosvodu, jedná se asi o třetinu až polovinu méně případů oproti objektům bez něj. Tento fakt lze vysvětlit tím, že za příčinou těchto požárů je selhání ochranných opatření. Může se jednat jak o špatné provedení hromosvodu, tak jeho špatnou koncepci. Svůj vliv má také neprovedení pravidelných revizních prohlídek, nebo neodborný stavební zásah do hromosvodové soustavy. Všechny tyto případy odporují normě ČSN EN 62305 O ochraně před bleskem.

Pokud se podíváme na celkové číslo pojistných událostí a zaměříme se na jednotlivé příspěvky do něj. Můžeme pozorovat jistou nesymetrii mezi škodami po přímém zásahu a škodám vzniklých jinak, převážně přepětím. Tento jev můžeme deklarovat na statistice poskytnuté od pojišťovny Allianz, u které jsou škody rozděleny na stavby a domácnosti. Při úvaze, že škody na stavbách jsou zapříčiněny převážně po přímém zásahu bleskem a škody na domácnostech následným přepětím. Tato úvaha nám umožní pozorovat, že škod na domácnostech je přibližně dvakrát více než na stavbách, při podobném počtu pojištěných objektů. Pokud se zaměříme na výši škod, můžeme pozorovat, že škody na objektech jsou průměrně dvojnásobné než na domácnostech. Data, ze kterých se vycházelo, jsou znázorněna v následující tabulce. Jedná se o hodnoty za roky 2008 až 2014.

Typ objektu	Expozice	Počet škod	Plnění [Kč]	Průměrná škoda [Kč]
Budova	1 071 970	480	19 614 335	40 863
Domácnost	1 066 945	1 239	24 054 109	19 414

Tabulka 12: Pojistné události pojišťovny Allianz

Dalším parametrem, na který se můžeme z finančního hlediska zaměřit, je postoj pojišťoven, jak ke škodám po zásahu bleskem, tak k jejich prevenci. Zaměříme se na nekomerční objekty, například na rodinné domy. Tyto objekty je možné pojistit bez hromosvodu, dokonce absence hromosvodu nehraje žádnou roli ve výši pojistného nebo výši pojistného plnění. Důvodem tohoto faktu je, že se jedná o poměrně řídký jev, proto je u většiny pojišťoven pokryt již v základním balíčku. Při sjednávání pojistného se pojišťovny nezabývají okolními stavbami kolem objektu, které mají vliv na riziko. Co se

týče velikostí škod, ty nedosahují takových hodnot jako pro ostatní původce pojistných škod, proto nejsou v celkovém měřítku pro pojišťovny klíčové.

Dalším důvodem pro nevyžadování hromosvodu na pojištěných objektech je fakt, že v České republice není nutnost hromosvodu pevně dána. V objektech, kde hrozí po zásahu blesku do něj určité riziko, je pouze nutné spočítat jeho výši a na tomto základě se rozhodnout. Tento postup byl uveden v předchozí části kapitoly. Může se tedy stát, že pojistíme objekt bez existujícího hromosvodu a budeme po vzniklé škodě požadovat pojistné plnění od pojišťovny. Pokud neprovedeme výpočet rizik a při šetření pojistné události se ukáže, že objekt vykazoval rizika ve výši, při které je nutné objekt chránit, pojišťovna se může obrátit zády a neproplatit nic z pojistného plnění, nebo pouze jeho část. Jedná se v podstatě o objekty postaveny v nesouladu s českou legislativou. Toto zpětné šetření pojistných událostí nemusí být nijak neobvyklou praktikou, nahrává tomu i fakt, že zejména velké škody po zásahu bleskem nejsou tolik časté a pojišťovny mají kapacity tyto pojistné události prošetřit. Existují případy, kdy pojišťovny prověřují, zdali se v dané době na daném místě nacházela bouřka a škoda opravdu vznikla po zásahu bleskem.

U komerčních objektů s větší cenou je postoj jiný, jedná se většinou o pojištění velkých částek, tedy i výše pojištění může mít zajímavou hodnotu.

Asi nejdůležitější součástí rozhodování z ekonomické stránky věci je důležité zvážit výhodnost konkrétní ochrany na konkrétním objektu, tuto problematiku nelze moc dobře zobecnit. Nikdy však nesmí být ekonomická výhodnost nadřazena metodě řízení rizik.

5. Ekonomický význam přímých ochran, jejich zhodnocení

Při posuzování ekonomického významu přímých ochran budeme využívat dva vzorce. První vzorec, který je doporučen v normě ČSN EN 62305. V něm se určuje roční úspora peněz v závislosti na ceně ochranných opatření a celkové ceně objektu. Vzorce, z kterých se vychází, byly již objasněny v části 4.1. Pro přehlednost jsou zmíněny znovu.

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL}) \quad [12], \text{ kde je}$$

- C_L náklady na celkové ztráty,
- C_{PM} roční náklady na ochranná opatření,
- C_{RL} celková cena zbytkových ztrát. [12]

Roční náklady na ochranné opatření C_{PM} se určují z následujícího vzorce:

$$C_{PM} = C_P * (i + a + m), \quad [12] \text{ kde je}$$

- C_P celková cena ochranných opatření,
- i úroková míra,
- a odpisová míra,
- m míra údržby. [12]

Náklady na celkové ztráty C_L a celková cena zbytkových ztrát C_{RL} se určují jako součin celkové ceny objektu c_t s velikostí rizika R_4 a to buď bez ochranných opatření, nebo s ochrannými opatřeními.

Jako druhý vzorec použijeme vzorec pro výpočet *NPV* (*Net present value – čistá současná hodnota*). Jedná se o jedno z nevhodnějších a nepoužívanějších kritérií. Zahrnuje celou dobu životnosti a bere v úvahu časovou hodnotu peněz. Výsledkem je absolutní hodnota přínosu investice v dnešních cenách. Pokud vyjde hodnota *NPV* kladně, je investice přijatelná, pokud záporně je nepřijatelná. Při více přijatelných hodnotách *NPV* investic je výhodnější ta s vyšší hodnotou *NPV*. [13]

NPV se určuje podle následujícího vzorce:

$$NPV = \sum_1^N CF * (1 + r)^{-t} - INV, \text{ kde je}$$

- CF – finanční tok za jednotlivé roky,
- N – doba životnosti projektu,
- R – úroková míra,
- T – počet let,
- INV – počáteční investice. [13]

Jako dobu životnosti projektů budeme uvažovat odhadovanou dobu životnosti ochran: pro soukromé objekty 30 let, pro komerční objekty 20 let. Jako úrokovou míru budeme uvažovat roční míru inflace, její hodnotu budeme používat ve výši 2 %. Nejchoulostivější částí výpočtu bude roční hotovostní tok CF . Jako tento tok budeme používat hodnotu roční úspory peněz S_M , kterou určíme z prvního vzorce. Ve skutečnosti se však nejedná o finanční tok, ale pouze o teoretickou hodnotu, kterou by existence ochran měla ročně uspořit. Jedná se tedy o fiktivní hodnotu, kterou v zájmu výpočtu budeme uvažovat jako skutečný tok CF . Zejména proto, abychom mohli pozorovat, jestli, případně jak moc, se tyto dva vzorce ve výsledcích liší. Jelikož se ve výpočtu roční úspory peněz objevují i náklady na odpisování majetku, bude nutné tam, kde se odpisy vyskytují, tuto hodnotu přičíst k výsledné hodnotě S_M , abychom co nejdříve napodobili finanční tok CF .

Samotný výpočet a určení rizik je poměrně objemný proces, důvodem je jeho rozsáhlost. Je nutné postupně určit nebo znát všechny koeficienty a typické parametry ovlivňující rizika. Všechny tyto hodnoty anebo postupy jsou uvedeny v normě ČSN EN 62305. Pro tvorbu této práce mi byl poskytnut

počítačový program *DEHNsupport*, který v souladu s normou počítá rizika a dokonce umožňuje modelovat objekty. Díky tomu mi bylo umožněno, nezabývat se samotným počítáním rizik, ale zabývat se ekonomickým významem ochran na stavbách, pro objekty s různými vlastnostmi a riziky. Ekonomický význam budeme porovnávat na několika příkladech konkrétních budov. Bude kladen důraz na ekonomickou výhodnost/ztráty v porovnání s riziky lidských ztrát nebo dalších ztrát, pokud se jedná o objekty, které jimi můžou být postiženy. Náhled do prostředí programu DEHNsupport, pro výpočet jednoho z dále použitých příkladů je na následujícím obrázku.

Obrázek 20: Náhled do prostředí programu DEHNsupport

Pro kalkulace cen přímých ochran se vychází ze zdrojů [20], [21] a [22]. Pro komplexní řešení byly použity příklady, které byly poskytnuty panem Ing. Jiřím Kutáčem z firmy DEHN. Příklady a podklady pro ně, byly poskytnuty společně s programem DEHNsupport.

5.1 Rekreační objekt

Pokud se zaměříme na objekty, kde v průběhu roku není tak vysoký časový výskyt osob, zjistíme, že tento časový údaj je velmi důležitý. Podobně, jako počet bouřkových dnů v předchozí části, silně ovlivňuje velikost rizika R_1 . Tento význam je možné předvést na soukromém rekreačním objektu. V konkrétním případě se jedná o chalupu, data jsou použita z existujícího objektu. V následující tabulce jsou uvedeny základní údaje a parametry objektu.

Délka	22 m
Šířka	7 m
Výška	10 m
Okolí	samostatně stojící objekt, na pahorku, samota
Bouřková aktivita	25 dnů v roce
Vedení	1x elektrické, nestíněný kabel
Počet osob	4 osoby
Čas osob v objektu	2 190 h/rok
Čas osob v okolí objektu	2 190 h/rok

Tabulka 13: Parametry rekreačního objektu

Jak je vidět z tabulky jedná se o samostatně stojící objekt na vyvýšeném místě, jeho rozměry jsou podobné většímu rodinnému domu. Bouřková aktivita v lokalitě je z hlediska České republiky průměrná. Výskyt osob je v objektu a kolem něj volen jen pro určitou část roku. Odhadem a s vlastními poznatky byl tento čas odhadnut na čtvrtinu roku. S úvahou využití tohoto objektu převážně v letních měsících. Dalším vcelku důležitým faktorem je vstup jednoho vedení, jedná se o elektrické vedení nestíněným kabelem uloženým v zemi. Při zadání těchto a všech dalších potřebných parametrů pro výpočet je možné určit riziko. Riziko bez jakýchkoliv opatření vychází v hodnotě 86 % typické hodnoty, definované normou ČSN EN 62305. Pro tuto velikost rizika není nutné budovat ochranu.

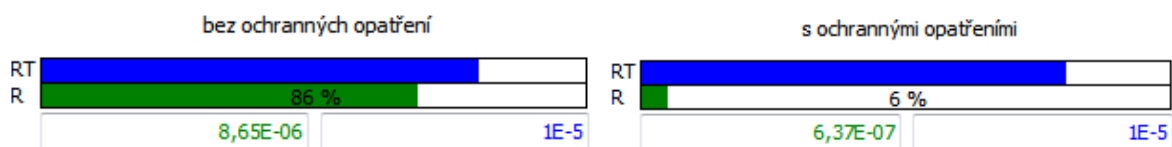
Přestože není nutné z hlediska bezpečnosti budovat ochranu, zaměříme se nyní na volbu ochrany a její ekonomickou výhodnost. Zjistíme, že se pohybuje na hraně oblasti, kde je realizace ochrany vhodná. Bude záležet na ceně ochrany a dalších finančních parametrech s ní souvisejících. S nejlevnější možnou volbou ochrany, tedy třídy LPS IV (Systém ochrany před bleskem LPS IV a pospojování LPL IV nebo III), riziko klesne na hodnotu 6 % typické hodnoty, což můžeme považovat za významný pokles. Cena pro hromosvod tohoto objektu se může pohybovat v rozsahu od 20 do 35 tisíc Kč. Ve výpočtech je použita úroková míra rovna míře inflace 2 %, plánovaná délka existence hromosvodu je 30 let, náklady na roční údržbu činí 2 % z celkové ceny hromosvodu. Jelikož se jedná o soukromý majetek a ani výše ceny hromosvodu nepřevyšuje částku 40 tisíc Kč, bude míra odpisování 0 %, neboť nejsou splněny podmínky pro odpisování. V následující tabulce můžeme pozorovat změnu roční úspory peněz S_M v závislosti na ceně ochrany.

Celková hodnota budovy [Kč]	2 448 000	2 448 000	2 448 000	2 448 000
Cena hromosvodu [Kč]	20 000	25 000	30 000	35 000
Cena celkových ztrát [Kč]	1 517	1 517	1 517	1 517
Cena zbytkových ztrát [Kč]	165	165	165	165
Roční náklady na ochranu [Kč]	800	1000	1200	1 400
Roční úspora peněz [Kč]	552	352	152	-48

Tabulka 14: Roční úspora peněz – rekreační objekt

Můžeme pozorovat, že ve třech ze čtyř příkladů uvedených v tabulce, je ochrana, co se týče parametru roční úspory peněz S_M , ekonomicky výhodná. Hranice výhodnosti ochrany pro tento konkrétní objekt se pohybuje na ceně 33 790 Kč. To je cena, za kterou se rovná S_M nule.

Z hlediska bezpečnosti je objekt v pořádku i bez ochrany a záleží tak na vlastnících objektu, zdali se rozhodnou ochranu aplikovat. Z hlediska snížení rizika se jedná o velký posun, neboť nejzákladnější ochrana omezí hodnotu rizika téměř o 80 %, což je velká změna, která je zobrazena na následujícím obrázku.



Obrázek 21: Rizika pro rekreační objekt, převzato z programu DEHNSupport

Z hlediska normy není z bezpečnostních důvodů nutné ochranu realizovat, z ekonomického hlediska je ochrana výhodná. Pokud se však podíváme na realizaci hromosvodu jako na investici, roční úsporu peněz budeme brát jako roční finanční tok CF , můžeme vyjádřit NPV investice, zde ve všech případech dostaneme záporné NPV, tedy investice je prodělečná.

Investice [Kč]	20 000	25 000	30 000	35 000,00
$S_M = CF_{1rok}$ [Kč]	552	352	152	-48
NPV [Kč]	-7 637	-17 117	-26 596	-36 075

Tabulka 15: NVP – rekreační objekt

Tato nevýhodnost dle parametru NPV je dána poměrně malou roční úsporou S_M oproti pořizovací ceně ochrany.

Jak bylo zmíněno výše, u parametru S_M se nejedná o skutečný finanční tok, tento výpočet a tabulka jsou voleny pouze pro orientační přehled a pro potvrzení výhodnosti dle S_M . V tomto případě není S_M potvrzena o NPV. NPV však vychází ve stejné logice, jako řešení s největší roční úsporou peněz S_M , a to nejlépe u nejnižší ceny.

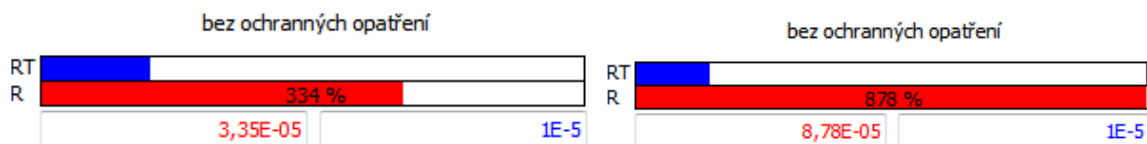
5.2 Vliv polohy a okolního rázu

V této části se zaměříme na rozdíly u dvou objektů, které se neliší svou velikostí ani provedením. Liší se pouze polohou, kde jsou umístěny. Jeden objekt je situován na předměstí, druhý do vesnického prostředí. Těmto rozdílným polohám bude odpovídat i jiné finanční ocenění budov, které dále hraje roli v ekonomické výhodnosti ochrany. Bude jistě zajímavé sledovat, jak se mění velikosti rizik v závislosti na okolních podmínkách objektu, ale také díky rozdílným cenám objektů, které jsou dány oceněním jejich polohy. Vzhledem k totožným parametrům obou objektů je rozdíl pouze v okolí objektů, jejich ceně a počtu vedení. V následující tabulce jsou popsány obecné informace o obou objektech.

	Dům předměstí	Dům vesnice
Délka	15 m	15 m
Šířka	10 m	10 m
Výška	9 m	9 m
Okolí	předměstí, obklopen objekty o stejné výšce, nebo nižšími	vesnické prostředí, samostatně stojící objekt, žádné další objekty v okolí
Bouřková aktivita	25 dnů	25 dnů
Vedení	1x elektrické, 1x telekomunikační, oboje nestíněný kabel v zemi	1x elektrické, 1x telekomunikační, oboje nestíněný kabel v zemi
Počet osob	4 osoby	4 osoby
Čas osob v objektu	2 190 h/rok	2 190 h/rok
Čas osob v okolí objektu	8 760 h/rok	8 760 h/rok
Cena	10 698 000 Kč	4 698 000 Kč

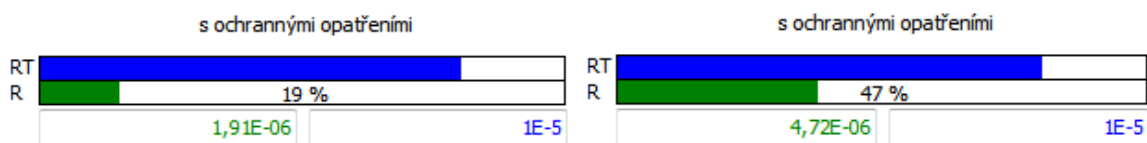
Tabulka 16: Parametry objektu na předměstí a na vesnici

Můžeme pozorovat, že se objekty opravdu liší jen ve třech položkách, těmi jsou: mimo cenu a parametry okolí také rozdílný počet vedení, kde do domu na předměstí vstupuje navíc k elektrickému vedení ještě telekomunikační. Pro oba tyto objekty uvažujeme pouze riziko R_1 - na lidských životech, které pro nechráněné objekty vychází následovně. (riziko pro předměstí vlevo, riziko pro vesnici vpravo)



Obrázek 22: Rizika – předměstí, vesnici, převzato z programu DEHNSupport

Je zřejmé, že oba objekty vyžadují pro splnění právních předpisů realizovat ochranu, při vybudování základní možné ochrany třídy LPS IV (Systém ochrany před bleskem LPS IV a pospojování LPL IV nebo III) se velikosti rizik změní následovně.



Obrázek 23: Rizika – Předměstí, vesnice, s ochranou, převzato z programu DEHNSupport

Je vidět, že tato ochrana je pro oba případy postačující, protože sníží klíčové riziko R_1 pod požadovanou hodnotu. Pokud bychom však chtěli dále snížit riziko R_1 pomocí přímých ochranných opatření, je to možné. V následující tabulce je vidět, jak se mění riziko v závislosti na třídě ochrany LPS pro oba objekty.

Objekt	Předměstí	Vesnice
třída LPS	Riziko	Riziko
IV	19%	47%
III	16%	42%
II	6%	17%
I	3%	8%

Tabulka 17: Změny rizik na základě změn tříd ochranných opatření

Nyní se zaměříme na zhodnocení ekonomické výhodnosti ochranných opatření na objektech. Pro výpočty zvolíme dva typy ochranných opatření, konkrétně třídy LPS IV a LPS I, mezi nimiž jsou největší změny rizika R_1 . Pro oba případy objektů bude uvedeno několik různých cen, které budou sloužit k porovnání výhodnosti. Cena ochranných opatření třídy LPS IV bude volena jako referenční, se kterou budeme porovnávat různé ceny ochranných opatření třídy LPS I. Bude se jednat, jak o úvahy s použitím dražších materiálů, tak speciálních prvků jako je například aktivní jímač. Pro třídu LPS I je zvoleno 5 různých cen ochranných opatření, jedná se o dvě ceny odpovídající skutečným cenám. Dále cena, při které se třída LPS I stane výhodnější než LPS IV, a dvě hraniční ceny, pro které se stává ochrana nevýhodná. V prvním případě podle hlediska S_M , v druhém z hlediska NPV . Pro výpočet S_M se využívá 2% úrok odpovídající roční míře inflace, a 3% náklady na roční údržbu. Odpisová míra je opět jako v minulém případě rovná 0 %, neboť jsou uvažovány soukromé objekty, u kterých není možno odpisovat. Výsledky pak vypadají následovně.

Objekt	Předměstí					
	LPS IV	LPS I				
Třída LPS	10 698 000	10 698 000	10 698 000	10 698 000	10 698 000	10 698 000
Celková hodnota budovy [Kč]	000	000	000	000	000	000
Cena hromosvodu	25 000	35 000	45 000	28 500	80 000	130 000
Roční náklady na ochranu [Kč]	1 250	1 750	2 250	1 425	4 000	6 500
Cena celkových ztrát [Kč]	6 592	6 592	6 592	6 592	6 592	6 592
Cena zbytkových ztrát [Kč]	572	237	237	237	237	237
Roční úspora peněz [Kč]	4 770	4 605	4 105	4 930	2 355	-145

Tabulka 18: Roční úspora peněz – Předměstí

Objekt	Vesnice					
	LPS IV	LPS I				
Třída LPS	4 698 000	4 698 000	4 698 000	4 698 000	4 698 000	4 698 000
Celková hodnota budovy [Kč]	000	000	000	000	000	000
Cena hromosvodu [Kč]	25 000	35 000	45 000	28 500	77 000	150 000
Roční náklady na ochranu [Kč]	1 250	1 750	2 250	1 425	3 850	7 500
Cena celkových ztrát [Kč]	7 673	7 673	7 673	7 673	7 673	7 673
Cena zbytkových ztrát [Kč]	808	455	455	455	455	455
Roční úspora peněz [Kč]	5 615	5 467	4 967	5 792	3 367	-283

Tabulka 19: Roční úspora peněz – Vesnice

Z tabulek je zřejmé, že ochrany jsou, až na jednu výjimku, na objektech vhodné i z hlediska ekonomického. Jedná se o případy, kde je $S_M > 0$, což je podmínkou výhodnosti. Můžeme pozorovat, že pro jeden případ s provedením třídy LPS I je roční úspora peněz S_M dokonce větší než v případě s LPS IV, zde převládlo snížení zbytkových ztrát oproti nákladům na ochranu. V posledním případě je S_M záporná, tuto cenu můžeme považovat za výrazně nadsazenou, v tomto případě slouží k určení hranice, kde se ztrácí ekonomická vhodnost z hlediska S_M .

Co se týče rozdílných cen objektů a velikostí rizik, můžeme tento vliv pozorovat na roční úspoře peněz S_M . Pokud se podíváme na výsledky pro oba objekty, můžeme pozorovat, že u objektu na vesnici je hodnota S_M průměrně o jeden tisíc Kč větší, než u objektu s cenou vyšší o 6 milionů Kč. Pozorujeme tedy, že v tomto případě převyšuje význam škod nad celkovou cenou objektů.

Zdali se aplikace třídy LPS I pro uvažovanou délku životnosti ochrany 30 let opravdu vyplatí, můžeme sledovat v následujících tabulkách, spočítáme-li opět NPV. Pokud se při stejném předpokladu jako v předešlém případě podíváme na ekonomickou efektivnost pomocí NPV, S_M budeme uvažovat jako roční finanční tok CF , roční úrok 2 %, hodnotu investice jako pořizovací cenu hromosvodu, můžeme vypočítat NPV. Pro oba případy objektů, jsou výsledky uvedeny v následujících tabulkách.

NPV objekt	Předměstí					
	LPS IV	LPS I				
Investice [Kč]	25 000	35 000	45 000	28 500	68 000	130 000
S_M [Kč]	4 770	4 605	4 105	4 930	2 955	-145
NPV [Kč]	81 837	68 136	46 938	81 915	-1 818	-133 247

Tabulka 20: NPV – Předměstí

NPV objekt	Vesnice					
LPS	IV	I	I	I	I	I
Investice [Kč]	25 000	35 000	45 000	28 500	77 000	150 000
S_M [Kč]	5 615	5 467	4 967	5 792	3 367	-283
NPV [Kč]	100 750	87 445	66 247	101 224	-1 587	-156 334

Tabulka 21: NPV – Vesnice

Z výsledků je zřejmé, že záleží hlavně na ceně ochrany. Oproti zvážení podle S_M se do záporných čísel dostala další ochrana v hodnotě 77 tisíc Kč pro první a 68 tisíc Kč pro druhý objekt. Těmto ochranám by odpovídala jímací soustava tvořena aktivním jímačem. V tomto případě pořizovací náklady v předpokládané době životnosti přesahují roční úspory peněz. Co se týká ostatních hodnot, NPV potvrdilo, až na jednu výjimku, kritérium S_M . Předpoklad, že by použití třídy LPS I zvýšilo ekonomickou výhodnost, není moc reálný, neboť hodnoty 28 500 Kč jsou spíše teoretické, reálně by jich šlo jen těžce dosáhnout.

5.3 Speciální objekty

Jako poslední případ chráněných objektů se zaměříme na speciální objekty, ve kterých se vyskytují i další rizika, než je ohrožení života osob. Jedná se o riziko na veřejných službách, nebo riziko výbuchu v objektu. I ocenění majetku je zde mnohonásobně větší. Úspory S_M tak zde mohou tvořit velkou částku. Je důležité zmínit, že pro dokonalou ochranu objektu již zde nepostačí přímé ochrany, neboť rizika jsou tak velká, že je přímé ochrany nedokážou zmírnit pod požadovanou hodnotu. Bude zde provedeno porovnání mezi přímou a komplexní ochranou budov a jejich vliv na rizika a ekonomické úspory. V obou případech se jedná o komerční objekty, takže se ve výpočtech musí zvážit odpisy.

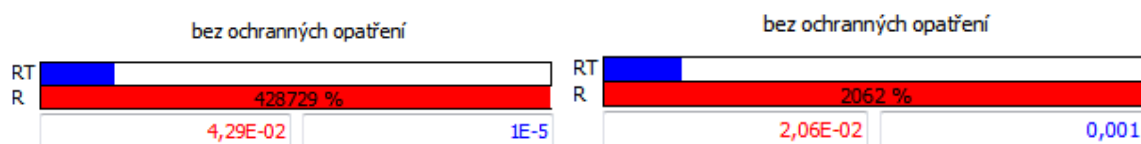
Kompresorovna

Jako první případ bude uvažován provoz kompresorovny, vzhledem k rozsáhlosti celého provozu, uvedeme jen základní informace, jako v předešlých případech.

Délka	42 m
Šířka	25 m
Výška	10 až 12 m
Okolí	samostatně stojící objekt, žádné objekty v sousedství
Bouřková aktivita	22,4 dnů v roce
Vedení	celkem 6, 1x elektrické, 5x telekomunikační, vše kabelové
Osob celkem	14 osob
Speciální rizika	uvnitř výrobní haly zvýšené riziko výbuchu, EX zóna 2
Celková hodnota objektu	315 000 000 Kč

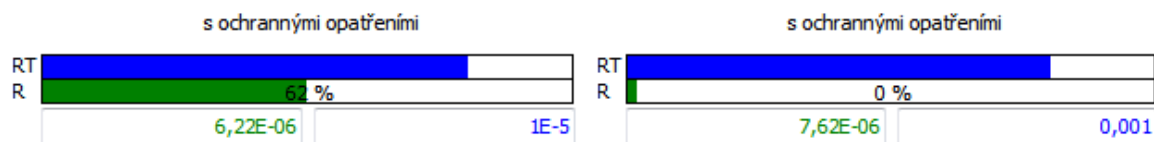
Tabulka 22: Parametry kompresorovny

Pro tuto budovu je nutno zahrnout kromě rizika ohrožení života R_1 (vlevo) také riziko na veřejných službách R_2 (vpravo). Tyto vypočtená rizika pro budovu vychází následovně:



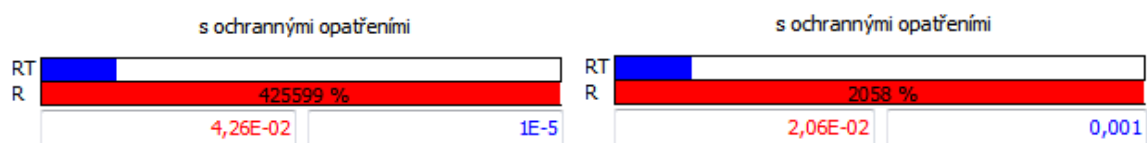
Obrázek 24: Rizika kompresorovny bez ochranných opatření, převzato z programu DEHNSupport

Při použití komplexních ochranných opatření, tedy i včetně přepětových ochran, se podaří snížit obě rizika pod požadovanou mez. Tato ochrana je navržena od specializované firmy, tudíž velmi věrně popisuje skutečné provedení v praxi. Rizika se sníží následovně:



Obrázek 25: Rizika kompresorovny s ochrannými opatřeními, převzato z programu DEHNSupport

Jelikož se překládaná práce zabývá ochranami přímými, je nutné zaměřit se na význam přímé ochrany na objekt. Předpoklad, že použití přímé ochrany bude dostačující jako v předchozích částech 5.1 a 5.2 je mylný. Při použití nejlepší možné ochrany, kterou popisuje norma, lepší než třída LPS I (souvisle vodivě spojená konstrukce stavby a pospojování lepší než LPS I) pozorujeme, jaký vliv má přímá ochrana a jak sníží obě rizika, na následujícím obrázku.



Obrázek 26: Rizika kompresorovny s přímou ochranou, převzato z programu DEHNSupport

Je vidět, že přímá ochrana nemá v tomto případě na obě rizika téměř žádný vliv a snížení je minimální. Obě rizika přesahují velkou částí oblast, kde je nutné zvolit další prostředky k ochraně. Můžeme pozorovat, že převažuje riziko na lidských životech, tento fakt je z důvodu rizika výbuchu

v objektu. Největší vliv mají pro snížení rizik přepětové ochrany a další vnitřní systémy sloužící k dodatečné ochraně.

Stejně jako v předešlých případech provedeme výpočty a srovnání ochrany. V tomto případě si postačíme pouze se dvěma příklady, jedná se již o zmiňovaná řešení, komplexní ochrana a nejlepší možná přímá. Finanční ukazatele jsou zobrazena v následující tabulce:

Kompresorovna		
Ochrana	Komplexní ochrana	Přímá ochrana
Cena objektu [Kč]	315 000 000	315 000 000
Celkové ztráty [Kč]	2 113 038	2 113 038
Celková cena ochrany [Kč]	1 100 000	200 000
Zbytkové ztráty [Kč]	311	2 101 213
Roční náklady na ochranu [Kč]	99 000	18 000
Roční úspora peněz [Kč]	2 013 726	-6 176

Tabulka 23: Roční úspora peněz – Kompresorovna

Hlavním parametrem k pozorování může být snížení ztrát, při použití komplexní ochrany se jedná o snížení ztrát v hodnotě přes 2 miliony Kč, což hraje v celkovém výsledku velkou roli, neboť roční úspora peněz S_M se pohybuje téměř v této hodnotě. Na rozdíl při použití přímé ochrany se sníží ztráty asi o 10 tisíc Kč. Ušetří se poměrně velká částka na nákladech za ochranu, avšak roční úspora peněz se pohybuje v záporných číslech.

Pokud se zaměříme na výsledky těchto případů pomocí NPV , můžeme vidět, jak se pomyslně zhodnotí investice. V případě komplexní ochrany můžeme získat za 20 let velkou částku, která jen podtrhává význam ochrany. Jako hotovostní tok CF v tomto případě nepoužíváme rovnou hodnotu S_M , ale musíme k této hodnotě přičíst částku odpisů, abychom co nejvěrněji napodobovali CF a NPV .

NPV kompresorovna		
Investice [Kč]	1 100 000	200 000
CF [Kč]	2 068 726	3 824
NPV [Kč]	39 288 684	-125 333

Tabulka 24: NPV – Kompresorovna

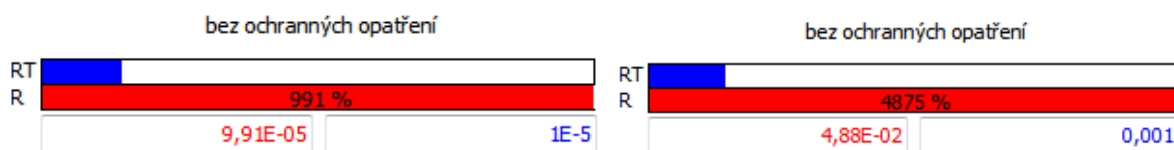
Elektrická rozvodna:

Posledním případem objektu pro zvážení významu ochran bude elektrická rozvodna, která je významná svým rizikem R_2 na veřejných službách. Dobré chránění tohoto objektu je klíčové pro další škody vzniklé po vedení pro ostatní objekty. Stejně, jak v případě kompresorovny, nebude použítí přímých ochran dostačující. Stručný popis základních údajů o objektu je vyjádřen v následující tabulce.

Délka	26 m
Šířka	18 m
Výška	9 až 12
Okolí	samostatně stojící objekt, žádné objekty v sousedství
Bouřková aktivita	22,4 dnů v roce
Vedení	celkem 6, 1x elektrické, 4x telekomunikační, vše kabel. 1x telekomunikační, venkovní vedení
Osob celkem	3-4 osoby
Speciální rizika	vysoké riziko škod po přepětí
Celková hodnota objektu	38 000 000 Kč

Tabulka 25: Parametry elektrické rozvodny

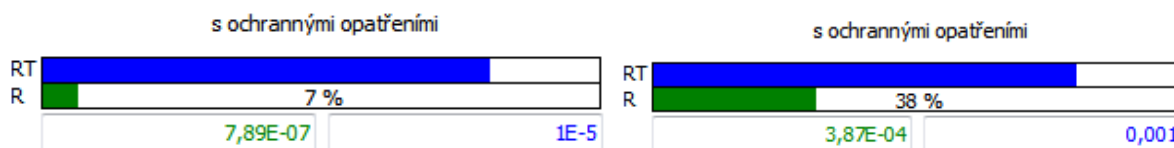
Pokud vypočteme velikosti rizik R_1 (vlevo) a R_2 (vpravo), vyjdou pro tento objekt následovně:



Obrázek 27: Rizika elektrické rozvodny bez ochranných opatření, převzato z programu DEHNSupport

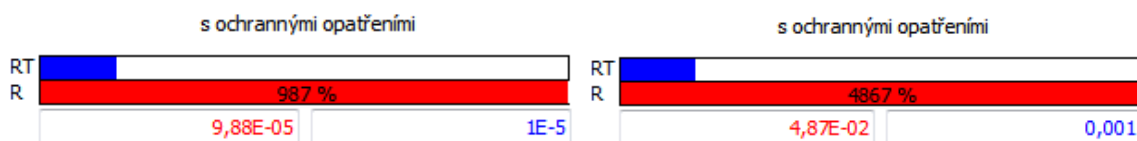
Vidíme, že se jedná opět o velký přesah typické hodnoty. Na rozdíl od kompresorovny, kde bylo riziko výbuchu, zde značně převažuje riziko škod na veřejných službách.

Při použití komplexní ochrany, která je opět navržena specializovanou firmou, se rizika změni následovně.



Obrázek 28: Rizika elektrické rozvodny s ochrannými opatřeními, převzato z programu DEHNSupport

Můžeme pozorovat, že komplexní ochrana opět bezpečně snížila obě rizika pod typické hodnoty udávané normou. Zaměříme se opět na úvahu s použitím pouze přímých ochran, jejich vliv je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 29: Rizika elektrické rozvodny s přímou ochranou, převzato z programu DEHNSupport

Můžeme opět pozorovat, že přímé ochrany nemají téměř žádný vliv na zmenšení rizik. Rizika se stejně jako v minulém případě zmenšila o pár jednotek procent, což vzhledem k celkovým hodnotám není téměř žádný posun.

Pro ekonomický význam obou ochran a jejich porovnání použijeme následující tabulku.

El. rozvodna		
Ochrana	Komplexní ochrana	Přímá ochrana
Cena objektu [Kč]	38 000 000	38 000 000
Celkové ztráty [Kč]	541 327	541 327
Celková cena ochrany [Kč]	1 500 000	200 000
Zbytkové ztráty [Kč]	4 522	519 181
Roční náklady na ochranu [Kč]	135 000	18 000
Roční úspora peněz [Kč]	401 805	4 147

Tabulka 26: Roční úspora peněz – elektrická rozvodna

Pokud se podíváme, jakým způsobem se snížily ztráty při použití jednotlivých ochran, můžeme zvážit jejich vliv i z ekonomického hlediska. Zajímavým faktem je, že z ekonomického hlediska vychází přímá ochrana jako vhodná, neboť S_M vychází kladně. Pokud však vypočteme NPV , můžeme konstatovat, že se jedná o malou úsporu, která nepřevrátí cenu ochrany. Jako v případě kompresorovny použijeme jako CF hodnotu S_M , ke které přičteme částku pro odpisy.

NPV El. rozvodna		
Investice [Kč]	1 500 000	200 000
S_M [Kč]	476 805	14 147
NPV [Kč]	7 808 882	76 192

Tabulka 27: NPV – elektrická rozvodna

V této části kapitoly byly probrány dva případy z oblasti, ve které nejsou přímé ochrany dostačující. Jednalo se o dva komerční objekty, jejichž ceny se pohybují v hodnotách desítek až stovek milionů Kč. Proto jsou výsledky ročních úspor z použití správných ochran významné. Významná jsou i rizika, která tyto objekty bez použití ochran představují.

Závěr

Zájem o ochranu před atmosférickými jevy se objevuje v různých podobách od počátků civilizace. Výrazněji se o blesky začali zajímat experimentátoři v průběhu 17. a 18. století, z nichž nejvýznamnějšími z praktického hlediska byli Benjamin Franklin a Václav Prokop Diviš. Oba odborníci v 50. letech 18. století nezávisle na sobě postavili bleskosvody – hromosvody [2] [11] s účelem ochrany života osob a ochrany majetku. I když tyto pokusy měly mnoho nedostatků, ukázaly, jak je ochrana před atmosférickými jevy nezbytná a ukázaly také, jakým vývojovým směrem se snahy o ochranu budou ubírat. Již koncem 18. století bylo povinností chránit prachárny a strategická místa.

Hromosvod [2] [11] byl a je zařízení, které vytváří umělou vodivou cestu k přijetí a svedení bleskového výboje do Země. Používá se jako ochrana budov a dalších objektů před poškozením tepelnými a mechanickými účinky blesku, tj. před požárem nebo mechanickým poškozením. Tím, že je hromosvod umístěn nad chráněný předmět, zvyšuje se pravděpodobnost, že blesk zasáhne hromosvod (který bezpečně svede potenciál blesku do Země) a nikoli objekt, nacházející se pod hromosvodem. Hromosvody tak tvoří dlouhodobě systém vnější ochrany před bleskem.

Další odborná činnost v této oblasti ochrany před bleskem znamenala zaměření na tři základní metody vnějších ochran, které se používají do současnosti – jsou to metody ochranného úhlu, valící se koule a metoda mřížové soustavy. 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, popřípadě jiných hodnotách, zejména v obrazárně, knihovně, archivu, muzeu, budově, která je kulturní památkou, e) přenesení požáru stavby na sousední stavby, které podle písmen 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. Dále musí být proveden výpočet řízení rizika podle normových hodnot k výběru nejvhodnějších ochranných opatření stavby.

Zásady pro ochranu před bleskem a atmosférickým přepětím jsou v současnosti zakotveny v první řadě v harmonizovaných právních předpisech. Následně pro účely splnění požadavků právních předpisů jsou vypracovány a přijaty harmonizované technické normy, společné pro členské státy *Evropské unie* [5] [6] a členy *Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC)*.

Stejně, jako zásady pro ochranu před bleskem a atmosférickým přepětím, jsou postupy o rozhodování o zřízení ochran zaneseny v harmonizované technické normě, společné pro členské státy *Evropské unie* [12] a členy *Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC)*. O nutnosti ochrany, s bezpečnostního hlediska, se rozhoduje pomocí analýzy rizik. O ekonomické výhodnosti se rozhoduje pomocí vypočtení nákladů na ochranná opatření a nákladů na ztráty.

O významu ochran pro objekty nelze obecně rozhodnout, záleží na konkrétních vlastnostech objektu a jeho okolí. Pro určité objekty ochrana nutná není, některé objekty si vystačí se základní přímou ochranou (třída LPS IV), pro některé tato ochrana postačující není a je nutné chránit je pomocí kombinace přímé a vnitřní ochrany. Tam, kde je ochrana z hlediska řízení rizik vhodná se ve převážné většině případu projevuje výhodná i z hlediska ekonomického.

Reference

- [1] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí: systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006, 252 s. ISBN 80-865-3410-3.
- [2] ROUS, Zdeněk, Wolfgang MARKS a Stanislav SEDLÁČEK. *Hromosvody a zemniče*. Vyd. 1. Praha: STRO.M, 1996, 76 s. Dílenská příručka.
- [3] ŠTOLL, Ivan. *Dějiny fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009, 582 s., [16] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7196-375-2.
- [4] RAKOV, Vladimír a Martin A UMAN. *Lightning: physics and effects*. New York: Cambridge University Press, 2002, 687 s. ISBN 05-215-8327-6.
- [5] ČSN EN 62305-1 ED. 2. *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy*. 2011.
- [6] ČSN EN 62305-3 ED.2. *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života ČSN*. 2012.
- [7] FRANKLIN, Benjamin. *The autobiography*. [S.l.]: Universal library, 212 s.
- [8] FRANKLIN, Benjamin. *The select works of Benjamin Franklin, including his autobiography*. N. York: Derby and Jackson, 1860, 502 s.
- [9] FRANKLIN, Benjamin. *Experiments and Observations on Electricity*. London 1751.
- [10] PELCL, F. M. Prokop Divisch, ein Naturforscher und Erfinder eines Wetterleiters. In *Abbildungen böhmischer und mährischer Gelehrten und Künstler III.*, Prag 1777.
- [11] VEJRUBA, Josef. *Hromosvod a jeho účinky*, Praha, J. Vejtruba, 1881.
- [12] ČSN EN 62305-2 ED. 2. *Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika*. 2012.
- [13] Čistá současná hodnota (NPV - Net Present Value) [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/cista-soucasna-hodnota>
- [14] Izolovaný vodič HVI light. *Elektrika.cz* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/DEHN-izolovany-vodic-hvi-light>
- [15] *Technická podstata hromosvodu* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8374-technicka-podstata-hromosvodu>
- [16] Při jakých podmínkách vznikají bouřky. <http://www.in-pocasi.cz/> [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/vznik-bourky-29.7.2014/>
- [17] A detailed look at Clouds: Cumulonimbus clouds. <http://www.glosweather.com/> [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.glosweather.com/clouds>
- [18] MIKEŠ, Jan, EFMERTO VÁ, Marcela. *Elektrina na dlani: kapitoly z historie elektrotechniky v českých zemích*. Vyd. 1. Praha: Milpo media 2008, s. 13–29. ISBN 978-80-87040-08-9.
- [19] ŘÍHÁNEK, Ladislav V., POSTRÁNECKÝ, Josef. *Bouřky a ochrana před bleskem*. Praha: ČSAV 1957, 507 s.
- [20] Ceník hromosvodní součástí. *DEHN.cz* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: http://www.dehn.cz/pdf/preislisten/DEHN_Hromosvodni_soucasti_2016.pdf

- [21] *Aktivní ochrana před bleskem Ab - TROM: Modelová řešení aktivní ochrany před bleskem* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://a-trom.cz/reseni-na-miru.html>
- [22] *Ceník pro rok 2014 hromosvody-pribram.cz* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://hromosvody-pribram.cz/cenik.php>
- [23] *On This Day, June 5, 1752 - Ben Franklin Plays With Lightning* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://all-len-all.com/on-this-day-june-5-1752-ben-franklin-plays-with-lightning/>
- [24] *Montáže hromosvodů - Hromosvody Uher* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.hromosvodyuher.cz/montaze-hromosvodu>
- [25] *Dehn: Izolovaný svod HVI s vysokonapěťovou izolací* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/dehn-izolovany-svod-hvi-s-vysokonapetovou-izolaci>
- [26] *Základní fyzickogeografická charakteristika ČR* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.regionaldevelopment.cz/index.php/FG.html>
- [27] Anderson, R.B.; Eriksson, A.J.: Lightning parameters for engineering application. *Electra* 69 (1980), S. 65–102.
- [28] Berger, K, R.B. Anderson and H. Kroeninger, “Parameters of lightning flashes”, *Electra*, vol. 41, pp. 23–37, 1975.
- [29] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: www.mapy.cz

Seznam obrázků

Obrázek 1: Bouřkový mrak (typ cumulonimbus), převzato z [17].....	9
Obrázek 2: Typy bleskových výbojů	9
Obrázek 3: Časový průběh negativního bleskového výboje mrak–Země, převzato z [3].....	11
Obrázek 4: Dlouhý výboj, převzato z [5].....	12
Obrázek 5: Krátký výboj, převzato z [5].....	12
Obrázek 6: Příklad složeného výboje, převzato [5]	12
Obrázek 7: Benjamin Franklin se synem při jednom ze svých pokusů, převzato z [23]	18
Obrázek 8: Graf pro určení třídy LPS (metoda a), převzato z [6]	21
Obrázek 9: Princip metody ochranného úhlu, převzato z [6].....	22
Obrázek 10: Model chráněného objektu metodou a, převzato z [6]	22
Obrázek 11: Naznačení metody valící se koule, převzato z [6]	23
Obrázek 12: Naznačení mřížové metody, převzato z [6].....	23
Obrázek 13: Aktivní jímač, převzato z [24]	25
Obrázek 14: Izolovaný svod, převzato z [25].....	26
Obrázek 15: Vysvětlení grafického znázornění rizika	32
Obrázek 16: Izokeraunická mapa České republiky, převzato z programu DEHNsupport	33
Obrázek 17: Geografická mapa České republiky, převzato z [26]	33
Obrázek 18: Velikosti rizika při různém počtu bouřkových dnů, převzato z programu DEHNsupport .	34
Obrázek 19: Porovnání geografické a izokeraunické mapy Německa, izokeraunická mapa převzata z programu DEHNsupport, geografická mapa převzata z [29]	34
Obrázek 20: Náhled do prostředí programu DEHNsupport	39
Obrázek 21: Rizika pro rekreační objekt, převzato z programu DEHNsupport	41
Obrázek 22: Rizika – předměstí, vesnici, převzato z programu DEHNsupport.....	42
Obrázek 23: Rizika – Předměstí, vesnice, s ochrannou, převzato z programu DEHNsupport.....	42
Obrázek 24: Rizika kompresorovny bez ochranných opatření, převzato z programu DEHNsupport ...	45
Obrázek 25: Rizika kompresorovny s ochrannými opatřeními, převzato z programu DEHNsupport ...	45
Obrázek 26: Rizika kompresorovny s přímou ochranou, převzato z programu DEHNsupport	45
Obrázek 27: Rizika elektrické rozvodny bez ochranných opatření, převzato z programu DEHNsupport	47
Obrázek 28: Rizika elektrické rozvodny s ochrannými opatřeními, převzato z programu DEHNsupport	47
Obrázek 29: Rizika elektrické rozvodny s přímou ochranou, převzato z programu DEHNsupport.....	47

Seznám tabulek

Tabulka 1: Maximální hodnoty bleskových výbojů, převzato z [5], [27], [28].....	13
Tabulka 2: Minimální hodnoty bleskových výbojů, převzato z [5], [27], [28]	14
Tabulka 3: Rozdělení objektů z hlediska účelu a (nebo) obsahu, převzato z [5].....	15
Tabulka 4: Hodnoty pro rozdělení dle tříd LPS, převzato z [6]	21
Tabulka 5: Obvyklé vzdálenosti svodů, převzato z [6].....	24
Tabulka 6: Harmonogram revizních prohlídek, převzato z [5]	26
Tabulka 7: Kombinace možných škod a ztrát, převzato z [12]	29
Tabulka 8: Typické hodnoty velikostí přípustných rizik, převzato z [12].....	32
Tabulka 9: Statistika škod Česká pojišťovna.....	35
Tabulka 10: Statistické údaje krajů, převzato z ČSU.....	35
Tabulka 11: Statistika požárů po zásahu bleskem, převzato od HSZČR	36
Tabulka 12: Pojistné události pojišťovny Allianz	36
Tabulka 13: Parametry rekreačního objektu.....	40
Tabulka 14: Roční úspora peněz – rekreační objekt	40
Tabulka 15: <i>NVP</i> – rekreační objekt	41
Tabulka 16: Parametry objektu na předměstí a na vesnici	41
Tabulka 17: Změny rizik na základě změn tříd ochran	42
Tabulka 18: Roční úspora peněz – Předměstí	43
Tabulka 19: Roční úspora peněz – Vesnice	43
Tabulka 20: <i>NPV</i> – Předměstí	43
Tabulka 21: <i>NPV</i> – Vesnice	44
Tabulka 22: Parametry kompresorovny	45
Tabulka 23: Roční úspora peněz – Kompresorovna	46
Tabulka 24: <i>NPV</i> – Kompresorovna.....	46
Tabulka 25: Parametry elektrické rozvodny.....	47
Tabulka 26: Roční úspora peněz – elektrická rozvodna	48
Tabulka 27: <i>NPV</i> – elektrická rozvodna	48