

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ochrana před účinky atmosférických výbojů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek NOVÁK**
Osobní číslo: **E10B0058K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Ochrana před účinky atmosférických výbojů**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zabývejte se teorií vzniku atmosférických výbojů, základními parametry jevu a jeho účinky.
2. Uveďte pravidla pro řízení rizika vzniku škod.
3. Analyzujte strukturu vnější a vnitřní ochrany před bleskem a přepětím.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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


Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

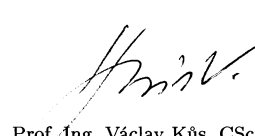
Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Eva Müllerová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se v kapitole 2 zabývá ochranou před atmosférickými výboji, jejich vznikem, druhem bouřek, základními parametry blesku, typy úderů a jim odpovídajícím parametrům bleskových proudů. Následující kapitola 3 pojednává o účinku atmosférického výboje na živé bytosti, stavby a účinku na instalovaná citlivá elektronická zařízení. Dále je v kapitole diskutováno řízení rizika vzniku škod, odhad jeho složek, stanovení úrovně ochrany podle přípustného rizika, ekonomických hledisek a potřebný rozsah zřízení komplexní ochrany před bleskem a přepětím v souladu se zařazením do odpovídající třídy ochrany. Kapitoly 4 a 5 analyzují druhy hromosvodů, jejich technické řešení, strukturu, používané materiály a metody sloužící k dosažení odpovídající vnější a vnitřní ochrany před bleskem a vznikajícím přepětím.

Klíčová slova

atmosférické přepětí, atmosférický výboj, blesk, bleskový proud, bouřka, ochrana před bleskem, řízení rizika, svodič přepětí

Abstract

Novák, Radek. *Protection from lightning impulse effects [Ochrana před účinky atmosférických výbojů]*. Pilsen, 2013. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Electromechanics and Power Electronics. Supervisor: Eva Müllerová

Chapter 2 of the presented bachelor dissertation deals with protection against atmospheric discharges, their origin, the type of storms, the basic lightning parameters, the types of strikes and their corresponding lightning current parameters. The following chapter 3 discusses the effect of atmospheric discharges on living beings and buildings, as well as the effect on installed sensitive electronic equipment. Furthermore, it deals with managing the risk of damage, the estimate of its components, the determination of the protection level according to the acceptable risk and economic aspects. The required range of establishment of comprehensive lightning and surge protection in accordance with the classification in the appropriate class of the lightning protection system is also discussed here. Chapters 4 and 5 analyse the types of conductors, their engineering solution, structure, materials and methods used to achieve adequate external and internal lightning and surge emerging protection.

Keywords

atmospheric surge, atmospheric discharge, lightning, lightning current, storm, lightning protection, risk management, surge protective device

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

Podpis

V Plzni dne 25. května 2013

Radek Novák

Obsah

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	vii
Seznam symbolů a zkratek	viii
1 Úvod	1
2 Vznik atmosférického přepětí	2
2.1 Historie ochrany před atmosférickými výboji	2
2.2 Vznik bouřky a atmosférického výboje	3
2.3 Parametry a účinky atmosférického výboje	5
2.3.1 Tepelné účinky bleskového proudu	9
2.3.2 Mechanické účinky	10
2.4 Druhy úderů blesku	11
2.5 Elektromagnetické přepětíové vazby	12
2.5.1 Vazby galvanické	12
2.5.2 Vazby indukční	13
2.5.3 Vazby kapacitní	14
3 Řízení rizika	15
3.1 Příčiny škod a ztrát	15
3.2 Typy vzniklých škod a ztrát	16
3.3 Stanovení a analýza rizik	17
4 Vnější ochrana	22
4.1 Dostatečná vzdálenost s	23
4.2 Jímací soustava	24
4.2.1 Metoda ochranného úhlu	25
4.2.2 Metoda valící se koule	26
4.2.3 Metoda mřížové soustavy	26
4.3 Svody	27
4.4 Uzemňovací soustava	30

4.5	Materiály používané pro konstrukci LPS	32
5	Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím	34
5.1	Zóny ochrany před bleskem LPZ	34
5.2	Vyrovnání potenciálů	35
5.3	Elektromagnetické stínění	39
5.4	Přepětové ochrany	40
5.4.1	Fyzikální principy přepětových ochran	40
5.4.2	Koordinace přepětových ochran	41
6	Závěr	42
	Reference, použitá literatura	43
	Přílohy	45
A	Možné složky blesků	45

Seznam obrázků

2.1	Divišův hromosvod [11]	2
2.2	Základní druhy zemních výbojů [3]	4
2.3	Definice parametrů krátkého výboje [6]	5
2.4	Definice parametrů dlouhého výboje [6]	5
2.5	Obecné uspořádání dvou vodičů pro výpočet elektrodynamické síly [6] . . .	10
2.6	Směr elektrodynamických sil mezi paralelními vodiči [3]	11
2.7	Základní typy úderů bleskového výboje a průmyslová přepětí [1]	11
2.8	Příklad galvanické vazby mezi dvěma budovami [1]	13
2.9	Nejčastější druhy indukčních vazeb [1]	13
2.10	Příklad kapacitní vazby [1]	14
3.1	Postup pro rozhodnutí o potřebě ochrany [7]	20
4.1	Vnější ochrana před bleskem [3]	22
4.2	Posuzování dostatečné vzdálenosti s [10]	23
4.3	Konstrukce ochranného úhlu jímače [10]	24
4.4	Ochranný prostor svislé jímací tyče [8]	25
4.5	Ochranný úhel odpovídající třídě LPS [8]	26
4.6	Návrh jímací soustavy podle metody valící se koule [8]	27
4.7	Návrh jímací soustavy LPS metodou ochranného úhlu, metodou mřížové soustavy a všeobecným uspořádáním jímacích součástí [8]	28
4.8	Smyčka svodu [8]	29
4.9	Návrh LPS pro převislou část stavby [8]	29
5.1	Koncepce zón ochrany před bleskem LPZ [10]	35
5.2	Příklad umístění ekvipotenciálního pospojování [8]	36
5.3	Začlenění vodivých částí vnitřních systémů do sítě pospojování [9]	38
5.4	Stínění velkých prostor tvořené kovovým armováním a kovovými rámy [9] .	39
A.1	Možné složky sestupných blesků (typické v rovinnatých územích a pro nižší stavby) [6]	45
A.2	Možné složky vzestupných blesků (typické pro exponované a/nebo vyšší stavby) [6]	46

Seznam tabulek

2.1	Výchozí parametry bleskového výboje - výběr z údajů CIGRE [1]	6
2.2	Maximální parametry bleskových výbojů odpovídající jednotlivým ochranným úrovním podle IEC 62305 [1]	7
2.3	Souvislost poloměru bleskové koule a minimální vrcholové hodnoty uvažovaného bleskového proudu [1]	8
2.4	Pravděpodobnost zachycení pro mezní hodnoty parametrů bleskových výbojů [1]	8
3.1	Příčiny poškození, typy škod a typy ztrát podle různých míst úderu [7] . .	17
3.2	Typické hodnoty přípustného rizika R_T [10]	18
4.1	Izolace vnějšího LPS – Hodnoty koeficientů [8]	23
4.2	Poloměr bleskové koule podle zařazení objektu do třídy LPS [10]	26
4.3	Velikost ok mřížové jímací soustavy a propad valivé koule [10]	27
4.4	Typické hodnoty vzdálenosti mezi svody podle třídy LPS [8]	28
4.5	Hodnoty rezistivity půdy [5]	30
5.1	Minimální průřezy vodičů spojujících potenciálové svorkovnice vzájemně nebo s uzemněním [1]	37
5.2	Minimální průřezy vodičů spojujících vnitřní kovové instalace s potenciálovými svorkovnicemi [1]	37
5.3	Přibližné hodnoty ekvivalentních zemních odporů Z_D a Z_Z a jejich závislost na rezistivitě půdy [1]	38

Seznam symbolů a zkratek

AlMgSi	Slitina hliníku.
C_W	Tepelná kapacita [J/kgK].
d	Vzdálenost mezi rovnými paralelními sekcemi vodiče [m].
$di/dt_{30/90\%}$	Strmost proudového impulsu v rozmezí 30 % a 90 % jeho vrcholové hodnoty [kA/ μ s].
di/dt_{max}	Průměrná strmost proudového impulsu [kA/ μ s].
D	Typ škod.
$F(t)$	Elektrodynamická síla [N].
h	Výška [m].
HZS	Hasičský záchranný sbor.
i	Okamžitá hodnota proudu [A].
I	Vrcholová hodnota proudu výboje [kA].
k_c	Koeficient závislý na bleskovém proudu tekoucím jímači a svody.
k_i	Koeficient závislý na zvolené třídě LPS.
k_m	Koeficient závislý na materiálu elektrické izolace.
l	Délka vodičů [m].
L	Typ ztrát.
LPS	Lightning protection system. Systém ochrany před bleskem.
LPZ	Lightning protection zone. Zóna ochrany před bleskem.
n	Počet vodivých částí.
nn	Nízké napětí.
N	Počet nebezpečných událostí.
P	Pravděpodobnost vzniku škod.
PE	Ochranný vodič.
PVP	Přípojnice vyrovnání potenciálů.
q	Plocha průřezu vodiče [m ²].
Q	Náboj [C].
Q_{blesku}	Celkový náboj blesku [C].
Q_{imp}	Náboj proudového impulsu [C].
Q_{long}	Náboj dlouhé proudové vlny [C].
r	Poloměr valící se koule [m].
R	Elektrický odpor [Ω].

R	Velikost rizika.
R_T	Hodnota přípustného rizika.
R_Z	Odpor uzemnění [Ω].
s	Dostatečná vzdálenost [m].
S	Příčina poškození.
SPD	Surge protective device. Přepětové ochranné zařízení.
t	Čas [s].
T_1	Doba čela impulzu [μs].
T_2	Doba půltýlu impulzu [μs].
T_{long}	Doba trvání dlouhé proudové vlny [s].
u	Okamžitá hodnota napětí [V].
$u_{a,c}$	Anodový/katodový úbytek napětí [V].
vn	Vysoké napětí.
W	Energie [J].
W/R	Specifická energie proudového impulzu [kJ/Ω].
Z	Ekvivalentní zemní odpor [Ω].
α	Teplotní součinitel odporu [$1/\text{K}$].
γ	Hustota materiálu [kg/m^3].
$\Delta i/\Delta t$	Střední strmost impulzu [$\text{kA}/\mu\text{s}$].
$\theta - \theta_0$	Oteplení vodičů [K].
μ_0	Magnetická permeabilita vakua [$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$].
ρ_0	Měrný ohmický odpor vodiče při teplotě okolí [Ωm].

1

Úvod

Každoročně zasahují hasičské záchranné sbory České republiky u požárů vzniklých od atmosférických výbojů. V období od roku 1998 až do roku 2007 bylo zaznamenáno v ČR 767 požárů, u kterých byla příčinou bouřková činnost [10]. Pojišťovnám jsou také hlášeny nezanedbatelné majetkové škody, dochází k úrazům a ztrátám životů lidí a zvířat. Těmto událostem nelze plně zabránit, avšak podle výsledků statistik lze snížit riziko vzniku škod na akceptovatelnou hodnotu instalací komplexní hromosvodní soustavy.

Tato ochrana před bleskem musí být navrhována podle nejnovějších znalostí o šíření blesku, jeho účincích a jeho působení na okolí. Přitom nebezpečí nevzniká pouze přímým působením bleskového proudu, ale i vznikajícím elektromagnetickým polem. Proto nezřídíme pouze vnější ochranu před bleskem, ale i vnitřní, chránící před vznikem a šířením elektromagnetických pulzů.

Při sledování vznikajících staveb jsem si všiml, že ne vždy jsou současné poznatky důsledně zaváděny do praxe. Obzvláště je zanedbávána dostatečná vzdálenost, vnitřní ochrana a instalace přepěťových ochran. Při současném množství elektrických a elektronických přístrojů v chráněných stavebních objektech tím mohou vzniknout nemalé finanční škody.

Z výše uvedených důvodů vznikla tato práce, která si klade za cíl shrnout nejnovější poznatky o ochraně před účinky atmosférických výbojů. V úvodu se též krátce zabývá historií jejího vzniku. Práce vychází z knih českých i zahraničních autorů, českých technických norem a poznatků získaných v zaměstnání při projektování hromosvodných soustav.

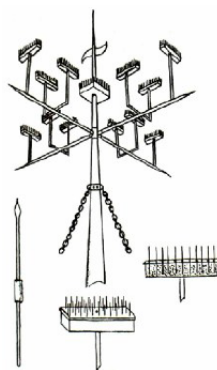
2

Vznik atmosférického přepětí

2.1 Historie ochrany před atmosférickými výboji

V dávných dobách lidé věřili, že blesk je nadpřirozený jev, boží hněv a trest za špatné činy, které spáchali. Až v 17. století si s rozvojem vědy začali uvědomovat elektrickou podstatu tohoto jevu a přemýšleli, jak chránit své životy a majetek. V 18. století zkoumal Benjamin Franklin (1706–1790) souvislost mezi elektrickým proudem a bleskem. Vypustil hedvábného draka připevněného ke konopnému provázku. Draka vyzbrojil kovovým hrotem a na konec provázku připevnil kovový klíč. Když se drak přiblížil k bouřkovému mraku, začaly přeskakovat z klíče jiskry a pocítil účinky elektrického proudu. Tímto pokusem prokázal souvislost mezi bleskem a elektřinou.

V roce 1752 ohlásil Franklin vynález hromosvodu. Protože tento hromosvod nebyl uzemněn, dosahovala jeho účinnost nevelkých hodnot. První uzemněný hromosvod sestavil český kněz Prokop Diviš (1696–1765) roku 1754. Nazval ho "machina meteorologica" (Obr. 2.1). Jeho funkce byla založena na vysátí elektřiny z mraků. Podobnou myšlenku zastával nejprve i Franklin, který v roce 1753 k ní přidal, že jímač odvede blesk bezpečně do země, a tím položil základ pro dnešní princip hromosvodné soustavy [11]. Významnou Franklinovou stavbou byla ochrana majáku Plymouth proti atmosférickému přepětí v roce 1766.



Obr. 2.1: Divišův hromosvod [11]

2.2 Vznik bouřky a atmosférického výboje

Každoročně dochází na zemi k mnoha bouřkám, při nichž dochází k atmosférickým výbojům mezi mraky nebo mezi mrakem a zemí. Jak bouřky vznikají a z jakého důvodu dochází k výbojům?

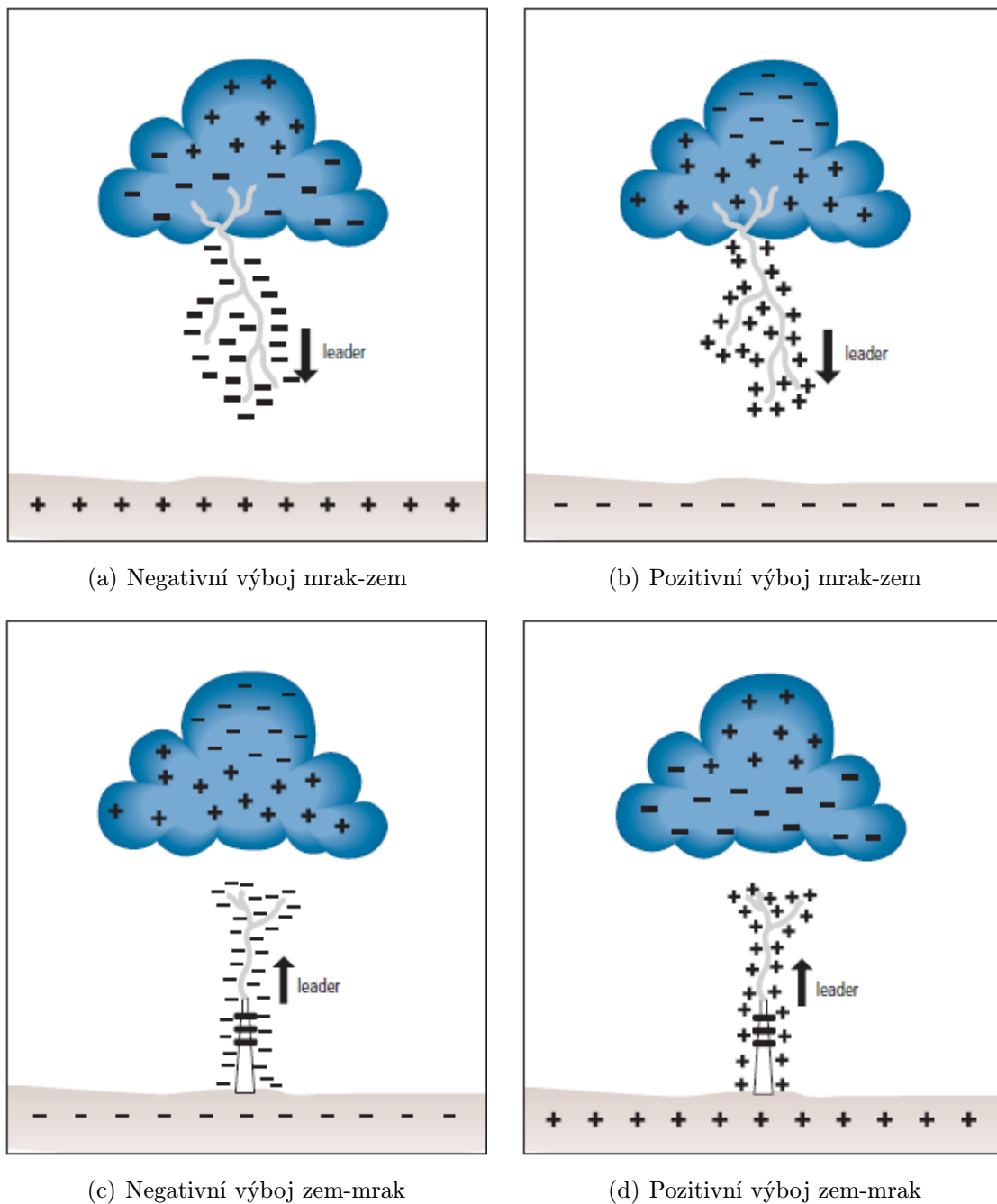
Nejprve rozdělme bouřky podle způsobu jejich vzniku na [4]:

- a) **Bouřky z tepla** – slunečním zářením je od země ohříván vzduch. Stává se lehčím a přirozenou cirkulací stoupá.
- b) **Bouřky frontální** – vlivem studené fronty je vytlačován teplý vzduch do vyšších vrstev.
- c) **Bouřky orografické** – spodní vrstvy vzduchu jsou následkem nerovnosti terénního vyvýšení a větru vytlačovány vzhůru.

Společným důsledkem těchto jevů je vertikální pohyb velkých mas teplého a zároveň vlhkého vzduchu. Jak vzduch stoupá, ochlazuje se a dochází ke kondenzaci vlhkosti a vzniku drobných kapek vody. Kondenzací je uvolňováno teplo a vzduch po ohřátí dále stoupá. Ve vyšších vrstvách troposféry se vlivem nízkých teplot kapky přeměňují v kousky ledu (kroupy) a sněhové vločky. Těžké kroupy sestupují zpět do nižších vrstev. Tím je vytvořen bouřkový mrak cumulonimbus, ve kterém vlivem vzestupných a sestupných proudů vznikají turbulence a dochází vzájemným třením ledových částic, sněhových vloček a kapek vody k oddělování elektrostatického náboje. Lehčí sněhové vločky většinou s kladným nábojem zůstávají ve vyšších vrstvách mraku a kousky ledu většinou se záporným nábojem ve spodní části. Vznik většiny bouřkových mraků bývá 2 až 5 km nad zemí. Výška bouřkového mraku se pohybuje mezi 5 až 12 km a průměr mezi 5 až 10 km [2].

Oddělením náboje v bouřkovém mraku dochází k místním rozdílům potenciálů a vlivem elektrostatických sil ke vzniku zrcadlového náboje na zemském povrchu. Tento náboj má opačnou polaritu než spodní část mraku a rozdíl potenciálu mezi mrakem a zemí může dosáhnout až desítek MV. Pokud intenzita elektrického pole překročí hodnotu kolem 100 kV/m, dochází k elektrickému výboji. Na obrázku 2.2 jsou zobrazeny čtyři možné způsoby vzniku výboje mezi mrakem a zemí. Nejčastějším případem je negativní výboj mrak-zem, proto se v dalším rozboru zaměříme na popis jeho průběhu.

Výboj nevzniká najednou, ale postupně. Nejprve se tvoří ionizací vzduchu vůdčí výboj (leadr), který vyhledává cestu blesku a skokově se blíží s přestávkami asi 50 μ s k zemi. Při dosažení vzdálenosti desítek metrů od zemského povrchu vzniká v místě s nejvyšším gradientem elektrické intenzity pole vstřícný výboj. Po spojení těchto dvou výbojů vznikne ionizovaný kanál, kterým se šíří vstřícný výboj dále k mraku. Průměr kanálu bývá kolem 5 cm, teplota může dosáhnout až 30 000 °C. Hlavní bleskový výboj dosahuje maxima proudu asi po 50 μ s při době trvání okolo 250 μ s [1]. Rozpínáním vzduchu, z důvodu zvyšování teploty, je blesk doprovázen silným zvukovým efektem, zvaným hrom. Po

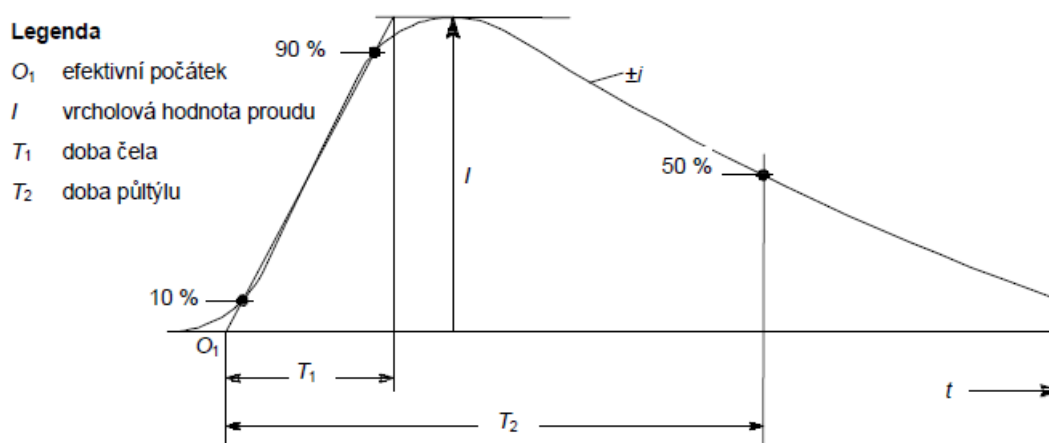


Obr. 2.2: Základní druhy zemiých výbojů [3]

skončení výboje zůstává vzduch stále ionizovaný a vlivem přesunů náboje v mraku dochází k následným výbojům. Jejich počet může dosahovat až několika desítek, mají však menší amplitudu, kratší dobu trvání a přenášejí nižší energii.

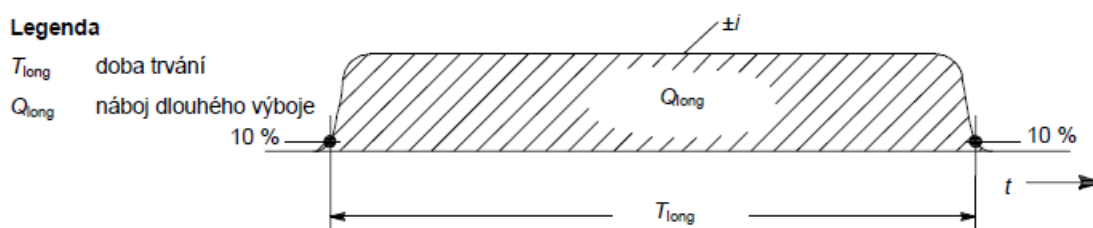
2.3 Parametry a účinky atmosférického výboje

Jednotlivé výboje se ve svých parametrech liší. Hlavní bleskový výboj krátkodobě dosahuje desítek kA, v některých případech až stovek kA. První výboj trvá zpravidla do 2 ms, jeho průběh zobrazuje obrázek 2.3. Následovat může dlouhý výboj o proudu



Obr. 2.3: Definice parametrů krátkého výboje [6]

několika stovek ampér a trvání do 500 ms nebo několik následných krátkých výbojů s nižším proudem, než měl hlavní bleskový výboj. Možné složky blesků zobrazují obrázky A.1 a A.2 v příloze A. Průběh dlouhého výboje zobrazuje obrázek 2.4. Atmosférický výboj lze



Obr. 2.4: Definice parametrů dlouhého výboje [6]

popsat vrcholovou hodnotou proudu I (A), nábojem bleskového výboje Q (C) a specifickou energií W/R (J/ Ω). Velikost náboje atmosférického výboje odpovídá integrálu proudu podle času:

$$Q = \int |i| dt \quad [C] \quad (2.1)$$

Specifická energie závisí na integrálu druhé mocniny proudu podle času:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt \quad [J/\Omega] \quad (2.2)$$

Vybrané výsledky průzkumů parametrů bleskových výbojů Mezinárodní rady velkých elektrizačních soustav (CIGRE, Electra č. 41 nebo č. 69) zobrazuje tabulka 2.1.

Tab. 2.1: Výchozí parametry bleskového výboje - výběr z údajů CIGRE [1]

Veličina	Jednotka	Hodnoty			Hodnota pro třídu ochrany I	Druh výboje
		95%	50%	5%		
I	kA	4	20	90		první záporný výboj
		4,9	11,8	28,6	50	záporný následný výboj
		4,6	35	250	200	první kladný výboj
Q	C	1,3	7,5	40		záporný výboj
		20	80	350	300	kladný výboj
Q_{imp}	C	1,1	4,5	20		první záporný výboj
		0,22	0,95	4		záporný následný výboj
		2	16	150	100	první kladný výboj
W/R	kJ/ Ω	6	55	550		první záporný výboj
		0,55	6	52		záporný následný výboj
		25	650	15000	10000	první kladný výboj
di/dt_{max}	kA/ μ s	9,1	24,3	65		první záporný výboj
		9,9	39,9	161,5		záporný následný výboj
		0,2	2,4	32	20	první kladný výboj
$di/dt_{30/90\%}$	kA/ μ s	4,1	20,1	98,5	200	záporný následný výboj
Q_{long}	C				200	dlouhá proudová vlna
T_{long}	s				0,5	dlouhá proudová vlna
doba čela	μ s	1,8	5,5	18		první záporný výboj
		0,22	1,1	4,5	$T_1=0,25$	záporný následný výboj
		3,5	22	200	$T_1=10$	první kladný výboj
trvání blesku	μ s	30	75	200		první záporný výboj
		6,5	32	140	$T_2=100$	záporný následný výboj
		25	230	2000	$T_2=350$	první kladný výboj

V této tabulce mají veličiny v prvním sloupci následující význam [1]:

I – vrcholová hodnota proudu výboje;

Q – celkový náboj blesku;

Q_{imp} – náboj proudového impulsu;

W/R – specifická energie proudového impulsu;

di/dt_{max} – průměrná strmost proudového impulsu;

$di/dt_{30/90\%}$ – strmost proudového impulzu v rozmezí 30 % a 90 % jeho vrcholové hodnoty;

Q_{long} – náboj dlouhé proudové vlny;

T_{long} – doba trvání dlouhé proudové vlny.

Tab. 2.2: Maximální parametry bleskových výbojů odpovídající jednotlivým ochranným úrovním podle IEC 62305 [1]

Veličina	Jednotka	Veličina bleskového proudu	Úroveň ochrany		
			I	II	III a IV
První proudový impulz					
I	kA	vrcholová hodnota proudu	200	150	100
Q_{imp}	C	náboj proudového impulzu	100	75	50
W/R	kJ/Ω	specifická energie	10000	5600	2500
T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	časové hodnoty	10/350		
Následné proudové impulzy					
I	kA	vrcholová hodnota proudu	50	37,5	25
$\Delta i/\Delta t$	$\text{kA}/\mu\text{s}$	střední strmost	200	150	100
T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	časové hodnoty	0,25/100		
Dlouhá proudová vlna					
Q_{long}	C	náboj dlouhé vlny	200	150	100
T_{long}	s	časové hodnoty	0,5		
Celý bleskový výboj					
Q_{blesku}	C	celkový náboj blesku	300	225	150

Z logaritmickeo-normálního rozložení parametrů bleskových výbojů jsou stanoveny maximální a minimální hodnoty pro čtyři třídy ochrany před bleskem. Od jednotlivých tříd jsou vyžadovány následující procentní energetická pokrytí všech zaregistrovaných výbojů [1]:

I. třída – 99%,

II. třída – 75% první úrovně ochrany,

III. a IV. třída – 50% první úrovně ochrany.

Nejvýznamnější maximální parametry bleskových výbojů pro jednotlivé třídy ochrany uvádí tabulka 2.2. Maximální bleskový proud je důležitý pro dimenzování vnější ochrany před bleskem.

Naproti tomu musí být brány v úvahu i minimální hodnoty z tabulky 2.3, které je nutné respektovat při návrhu ochranných prostorů. Minimální bleskový proud vytvoří vstřícný

výboj z jímací soustavy k vyhledávacímu výboji blesku o délce odpovídající poloměru bleskové koule, uvedené v tabulce 2.3. Vztah pro výpočet poloměru valíci se koule r je [1]:

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \quad [m] \quad (2.3)$$

Například pro ochrannou úroveň první třídy vytvoří proud 2,9 kA vlny 10/350 μ s vstřícný výboj o délce 20 m.

Tab. 2.3: Souvislost poloměru bleskové koule a minimální vrcholové hodnoty uvažovaného bleskového proudu [1]

Označení veličiny	Jednotka	Podmínky zachycení	Úroveň ochrany			
			I	II	III	IV
r	m	poloměr bleskové koule	20	30	45	60
I	kA	nejmenší proud	2,9	5,4	10,1	15,7

Při poměru 10 % kladných a 90 % záporných polarit blesků lze stanovit pravděpodobnost zachycení bleskového výboje pro jednotlivé třídy ochrany. Pravděpodobnost zachycení pro mezní hodnoty parametrů bleskových proudů je uvedena v tabulce 2.4. V našem klimatickém pásmu většina atmosférických výbojů dosahuje vrcholové hodnoty proudu mezi 20 až 40 kA. Proudů nad 100 kA jsou ojedinělé. Tím lze vysvětlit zdánlivý rozpor, že maximální hodnota uvažovaných výbojů mezi první a třetí úrovní ochrany klesá na polovinu. Přitom pravděpodobnost zachycení skutečných bleskových výbojů se zmenšuje jen o několik procent [1].

Tab. 2.4: Pravděpodobnost zachycení pro mezní hodnoty parametrů bleskových výbojů [1]

Pravděpodobnost, že parametry bleskového výboje jsou	Úroveň ochrany			
	I	II	III	IV
menší než maximální hodnoty uvedené v tabulce 2.2	0,99	0,98	0,97	0,97
větší než minimální hodnoty uvedené v tabulce 2.3	0,99	0,97	0,91	0,84

Po úspěšném zachycení bleskového výboje hromosvodnou soustavou nebo při jeho úderu do nechráněného objektu, dojde vlivem protékajícího proudu k následujícím účinkům [10]:

- tepelným;
- mechanickým;
- účinkům elektrodynamických sil;
- kombinovaným účinkům (současné působení tepelných a mechanických);
- jiskření;
- elektromagnetickým.

2.3.1 Tepelné účinky bleskového proudu

Ionizované plazmové jádro bleskového výboje přesahuje teplotu 10000 °C [2]. Teplotní účinky v přípojném bodě bleskového kanálu lze vypočítat podle teoretického modelu anodového nebo katodového úbytku napětí. V tomto modelu se předpokládá, že energetický vstup W v patě oblouku je daný anodovým/katodovým úbytkem napětí $u_{a,c}$ násobeným nábojem Q bleskového proudu [6]:

$$W = u_{a,c} \int_0^{\infty} |i(t)| dt \quad [J] \quad (2.4)$$

Tepelné účinky však nevznikají pouze v bodě styku oblouku se zasaženým objektem, ale vznikají také vlivem ohmického odporu cesty bleskového proudu z jímače do uzemňovací soustavy. Tepelnou energii způsobenou průchodem bleskového proudu lze vyjádřit rovnicí [6]:

$$W = R \int i^2(t) dt \quad [J] \quad (2.5)$$

Protože bleskový výboj trvá velmi krátkou dobu a generované teplo v materiálu se nestačí rozptýlit, považuje se děj za adiabatický [6].

K omezení tepelných účinků procházejícím proudem lze z rovnice 2.5 odvodit, že pro části LPS sloužících ke svedení bleskového proudu musíme používat materiály s malou rezistivitou a s dostatečným průřezem. Teplotu vodičů LPS lze vypočítat podle vztahu [6]:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \left(\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_W} \right) - 1 \right] \quad [K] \quad (2.6)$$

kde:

$\theta - \theta_0$ – je oteplení vodičů [K];

α – teplotní součinitel odporu [1/K];

W/R – specifická energie impulsu proudu [J/Ω];

ρ_0 – měrný ohmický odpor vodiče při teplotě okolí [Ωm];

q – plocha průřezu vodiče [m²];

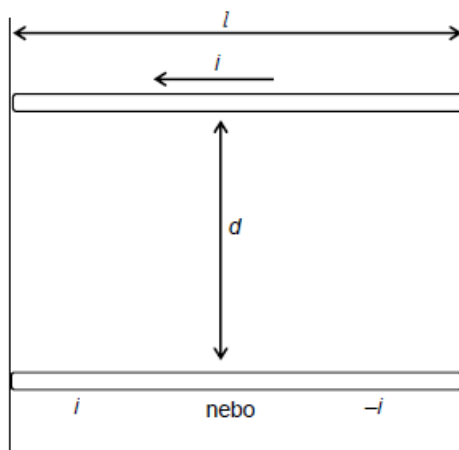
γ – hustota materiálu [kg/m³];

C_W – tepelná kapacita [J/kgK].

Při nedostatečném dimenzování svodů a vzniku velkých přechodových odporů na spojích může dojít k poškození nebo vznícení materiálů, které s bleskem přicházejí podél jeho dráhy do přímého nebo nepřímého kontaktu. Podobné následky dokáže způsobit i vysokofrekvenční složka bleskového proudu o velké amplitudě, která zahřeje materiály se špatnými dielektrickými vlastnostmi [1]. Nebezpečí požáru vzniká též od jiskření a elektrických oblouků.

2.3.2 Mechanické účinky

Při průtoku bleskových proudů strojenými nebo náhodnými svody vznikají v jejich okolí magnetická pole. Vzájemnou interakcí těchto polí, v rozích, smyčkách a souběhu, působí vzájemné magnetické síly. Velikost těchto sil závisí na vrcholové hodnotě proudu, jeho trvání a geometrickém uspořádání obvodu.



Obr. 2.5: Obecné uspořádání dvou vodičů pro výpočet elektrodynamické síly [6]

Elektrodynamické síly vyvolané proudem i protékajícím vodičem, který má dlouhé paralelní sekce o délce l ve vzdálenosti d podle obrázku 2.5, lze vypočítat následujícím přibližným výpočtem [6]:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} \quad [N] \quad (2.7)$$

kde:

$F(t)$ – je elektrodynamická síla [N];

i – proud [A];

μ_0 – magnetická permeabilita volného prostoru (vakua) [$4\pi 10^{-7}$ H/m];

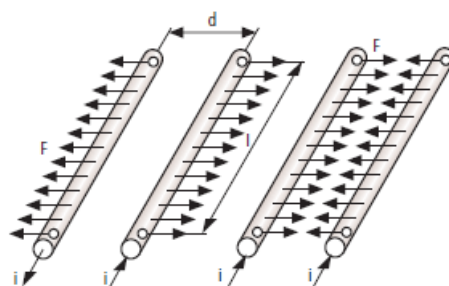
l – délka vodičů [m];

d – vzdálenost mezi rovnými paralelními sekcemi vodiče [m];

Mohou nastat dva možné případy. Vodiče se přitahují, když proudy jimi protékané mají stejný směr, nebo odpuzují při opačných směrech proudů (obr. 2.6). Síla je přímo úměrná velikosti proudů a nepřímo úměrná vzdálenosti vodičů.

Při působení elektrodynamických sil může vzniknout při překročení meze elasticity materiálu, v rozích a smyčkách, trvalá deformace svodů. Také je možné jejich vytržení z úchytů a svorek [1]. Při přeskočení výboje na elektrické rozvody způsobí elektromotorická síla v některých případech vytržení vedení ze zdí.

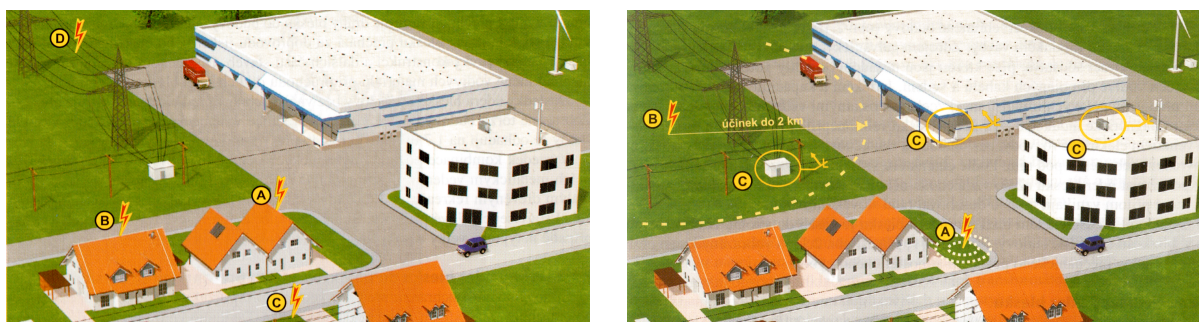
Mechanické účinky vznikají často současně s účinky tepelnými. Po ohřátí se materiál stane měkčím a tím nastávají větší škody zaviněné elektrodynamickou silou.



Obr. 2.6: Směr elektrodynamických sil mezi paralelními vodiči [3]

2.4 Druhy úderů blesku

Údery blesků lze rozdělit na přímé a nepřímé. V částech 2.3.1 a 2.3.2 jsme předpokládali přímý úder blesku do stavby. V praxi však nevznikají škody na objektu a jeho vybavení jen při přímém zásahu. Například při výboji mrak-mrak dochází elektromagnetickou indukcí k přepětím v elektrických rozvodech. Nebezpečné jsou k zavlečení bleskového proudu také údery v blízkosti staveb nebo elektrických vedení. Základní typy úderů ilustruje obrázek 2.7. Možné druhy vzniklých škod a analýza rizik je diskutována v kapitole 3.



(a) Přímý úder

(b) Nepřímý úder a průmyslová přepětí

Obr. 2.7: Základní typy úderů bleskového výboje a průmyslová přepětí [1]

Příklady úderů na obrázku 2.7(a):

- (A) Přímý úder blesku do objektu bez vnější ochrany před bleskem.
- (B) Přímý úder blesku do objektu s vnější ochranou před bleskem.
- (C) Přímý úder blesku do nadzemního vedení nn.
- (D) Přímý úder blesku do nadzemního vedení vn.

Příklady úderů na obrázku 2.7(b):

- (A) Blízký úder blesku.
- (B) Vzdálený úder blesku.
- (C) Přepětí vznikající spínacím procesem.

2.5 Elektromagnetické přepětové vazby

Elektromagnetický impuls vzniklý po přímém nebo nepřímém úderu blesku se šíří do okolí ve formě elektromagnetické vlny a způsobuje přepětí v elektrických a elektronických systémech. Na metalických vedeních vznikají příčná a podélná přepětí. Příčná přepětí vznikají mezi žilami silového nebo sdělovacího kabelu. Podélná přepětí mezi vodiči silového kabelu a uzemněním nebo žilami a stíněním u sdělovacích kabelů [1].

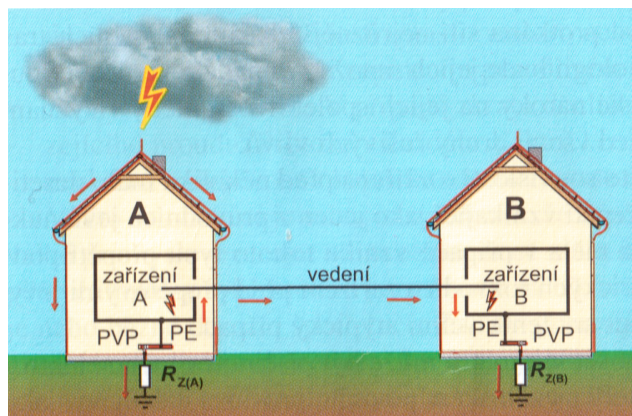
Přenos přepětí je zprostředkován elektromagnetickou vazbou. Základní druhy vazeb jsou:

- galvanická vazba;
- indukční vazba;
- kapacitní vazba.

2.5.1 Vazby galvanické

Přímým vodivým propojením vznikají vazby galvanické. Příkladem této vazby je vzájemné propojení objektů pomocí napájecích a signálových metalických vodičů. Při úderu atmosférického výboje do hromosvodné soustavy objektu A (obr. 2.8) vznikne na odporu uzemnění $R_{Z(A)}$ krátkodobě úbytek napětí. Přes společnou přípojnicí vyrovnání potenciálů PVP_(A) a ochranný vodič PE je úbytek přiveden na kovovou kostru zařízení v objektu A. Rozdíl vzniklých potenciálů může dosahovat desítek až stovek kilovoltů. Galvanickou vazbou přes PVP_(A), zařízení A, vodivé propojovací vedení, zařízení B, PVP_(A) a $R_{Z(B)}$ dojde k přenosu potenciálů a průchodu části bleskového proudu. V případě, že by bylo možné zanedbat impedanci propojovacího vedení a nežádoucí vodivé trasy v obou budovách, dělil by se bleskový proud v poměru [1]:

$$\frac{R_{Z(A)}}{R_{Z(B)}} \quad (2.8)$$

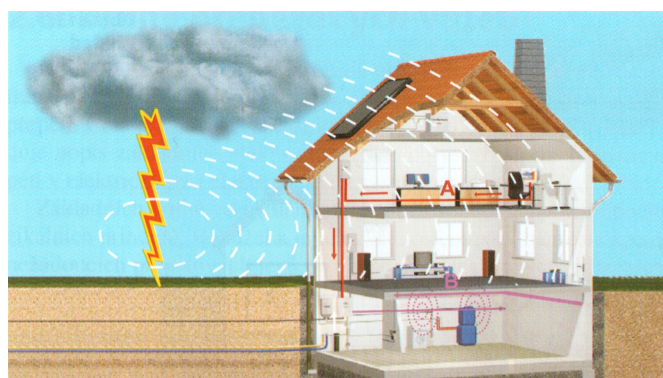


Obr. 2.8: Příklad galvanické vazby mezi dvěma budovami [1]

2.5.2 Vazby indukční

K přenosu energie blesku, i na zcela oddělené systémy, dochází vlivem indukční vazby. Proud procházející vodičem indukuje napětí prostřednictvím elektromagnetického pole v blízkých smyčkách tvořených z metalických vedení. Příklad indukčních vazeb je uveden na obrázku 2.9. Vazba "A" vzniká blízkým nebo vzdáleným úderem blesku, kdy dochází k přímé indukci do elektrických rozvodů. Vazba "B" je důsledkem podélného souběhu metalických vedení ve společné nebo blízké trase. Velikost maximálního indukovaného napětí vlivem parazitních indukčních vazeb závisí především na strmosti změny proudu [1]:

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} \quad (2.9)$$

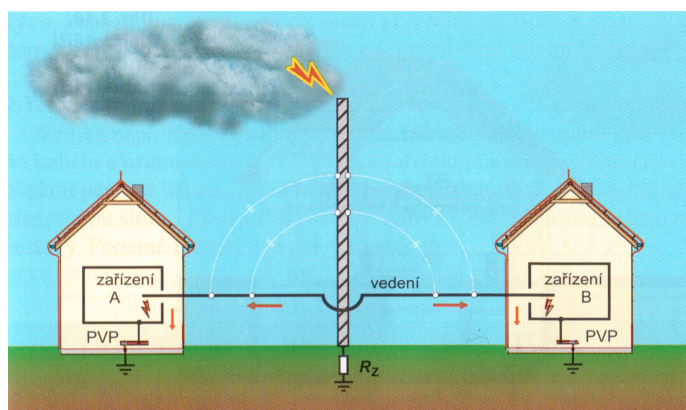


Obr. 2.9: Nejčastější druhy indukčních vazeb [1]

2.5.3 Vazby kapacitní

Mezi blízkými vodivými předměty se vytvářejí kapacitní vazby. Jejich vlivem dochází k průchodu proudu. Příklad kapacitní vazby je zobrazen na obrázku 2.10. Mezi dvojití domů je kovový komínový výdech, do něhož udeřil blesk. Bleskový proud je sveden a rozptýlen do země. Vlivem nenulového odporu uzemnění vznikají místní rozdíly potenciálů. Ty se přenášejí pomocí parazitních kapacitních vazeb do vedení procházejícího v blízkosti výdechu. Vzniklé impulsy ve vodičích vedení mohou dosahovat až desítek ampérů. Průběh napětí vzniklých impulsů ovlivňuje impedance vedení. Velikost maximálního proudu procházejícího parazitní kapacitní vazbou závisí především na strmosti změny napětí [1]:

$$\left(\frac{du}{dt}\right)_{max} \quad (2.10)$$



Obr. 2.10: Příklad kapacitní vazby [1]

Kapacitní vazby mají z elektromagnetických vazeb nejmenší vliv na vznik škod. Nebezpečnější jsou přepětí vzniklá kapacitní a indukční vazbou. Nárůst vzniklých škod se zvyšuje s narůstajícím počtem instalovaných elektronických přístrojů ve stavbách.

3

Řízení rizika

Pravděpodobnost vzniku škod a ztrát na a v objektu vlivem bouřkové činnosti ve sledovaném časovém období závisí na mnoha okolnostech. Jednotlivé stavby mají rozdílné konstrukční provedení, nestejný způsob napojení na inženýrské sítě, odlišnou polohu vůči okolním budovám a terénu, liší se společenskou a kulturní důležitostí. Pobývá a pohybuje se v nich různý počet osob a zvířat.

Také bouřková aktivita není na celém světě stejná, ale závisí na místních geografických podmínkách. Čím je dané území dále od rovníku, tím bouřek ubývá. To lze však přijmout jen v obecné rovině, například v hornatém terénu je častý výskyt geografických bouřek [1].

3.1 Příčiny škod a ztrát

Prvotní příčinou poškození a vzniku ztrát je bleskový proud. Jeho průtokem přes nenulový odpor vznikají rozdíly potenciálů a lokální ohřevy. Osoby a zvířata jsou ohrožovány elektrickým šokem vzniklým krokovým a dotykovým napětím. Vznikají mechanické škody elektrodynamickými silami, dochází k požárům a výbuchům. Instalovaná elektrická a elektronická zařízení jsou ohrožována a rušena přepětím. Příčiny vzniku nebezpečných jevů pro stavbu jsou [7]:

S1 – údery do stavby;

S2 – údery v blízkosti stavby;

S3 – údery do inženýrských sítí;

S4 – údery v blízkosti inženýrských sítí.

Vzniklé škody těmito údery jsou různého typu a závisí na vlastnostech chráněného objektu. Nejdůležitějšími vlastnostmi jsou: typ konstrukce, způsobu využívání a vybavení objektu, použitá ochranná opatření a způsob napojení inženýrských sítí [7].

3.2 Typy vzniklých škod a ztrát

Následkem úderu blesku mohou nastat následující škody [10]:

- D1 – úraz osob a zvířat. Vlivem průchodu bleskového proudu tělem živé bytosti nebo způsobenou panikou při evakuaci budovy může dojít k smrti nebo zranění s trvalými následky;
- D2 – hmotná škoda. Vzniká například vlivem požáru nebo výbuchu, poškozením elektroinstalace. Závisí na způsobu využívání objektu;
- D3 – porucha elektrických a elektronických systémů. V nemocnicích ohrožují záchranu lidských životů. Mohou zapříčinit ztrátu komunikace a dat.

Škoda nemusí vzniknout na celé stavbě, ale třeba jen na její části, nebo se rozšíří na okolní objekty. Také může dojít k ovlivnění životního prostředí [7].

Škody nebo jejich kombinace vyvolávají různé následné typy ztrát závisících na vlastnostech objektu. Uvažují se následující typy přiřazené ke stavbám [7]:

- L1 – ztráty na lidských životech;
- L2 – ztráty na veřejných službách;
- L3 – ztráty na kulturním dědictví;
- L4 – ztráty ekonomické hodnoty (stavby a jejího obsahu).

Ztráty přiřazené k inženýrským sítím [7]:

- L'2 – ztráty na veřejných službách;
- L'4 – ztráty ekonomické hodnoty (inženýrské sítě a ztráta činnosti).

Při vzniku ztráty na lidských životech L1 dochází k úrazu nebo těžkému ublížení na zdraví živých bytostí, vlivem průchodu bleskového proudu jejich tělem. Ke ztrátě může dojít v objektu nebo i v jeho blízkosti přímým úderem nebo zavlečením bleskového proudu z připojených inženýrských sítí. Velikost těchto ztrát závisí na počtu osob a době jejich pobytu vně nebo ve stavbě.

Ztráty na veřejných službách L2 jsou způsobovány nejvíce přerušením dodávek elektřiny, plynu, vody a telekomunikačních služeb. Jejich velikost je přímo úměrná počtu neobsložených osob a roční ztrátě služby.

Při zničení objektů, například muzeí, katedrál, kostelů, hradů, zámků a galerií nebo zničení v nich umístěného inventáře, vzniknou ztráty na kulturním dědictví nebo kulturních památkách L3. Velikost těchto ztrát závisí na celkové hodnotě stavby včetně inventáře. U kulturních památek často jde o nevyčíslitelné hodnoty.

Ztráty ekonomické hodnoty L4 souvisí s hodnotou stavby, jejího vybavení včetně poškození inženýrských sítí a ztrátou její činnosti. O velikosti ztráty rozhoduje celková hodnota stavby včetně jejího vybavení a příslušných aktivit [10].

Tabulka 3.1 shrnuje příčiny poškození staveb a inženýrských sítí, typy škod a typy ztrát podle různých míst úderu bleskového výboje.

Tab. 3.1: Příčiny poškození, typy škod a typy ztrát podle různých míst úderu [7]

Místo úderu	Příčina poškození	Stavba		Inženýrská síť	
		Typ škod	Typ ztráty	Typ škod	Typ ztráty
Přímý úder do stavby	S1	D1	L1, L4 ²⁾		
		D2	L1, L2, L3, L4	D2	L'2, L'4
		D3	L1 ¹⁾ , L2, L4	D3	L'2, L'4
Úder do země v blízkosti stavby	S2	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4		
Přímý úder do napájecího vedení	S3	D1	L1, L4 ²⁾		
		D2	L1, L2, L3, L4	D2	L'2, L'4
		D3	L1 ¹⁾ , L2, L4	D3	L'2, L'4
Úder do země vedle napájecího vedení	S4	D3	L1 ¹⁾ , L2, L4	D3	L'2, L'4

¹⁾ Pouze pro stavby s nebezpečím výbuchu a pro nemocnice nebo jiné stavby, kde porucha vnitřních systémů bezprostředně ohrožuje lidské životy.

²⁾ Pouze pro nemovitosti, kde mohou být ztráty na zvířatech.

3.3 Stanovení a analýza rizik

Pro stavby a inženýrské sítě odhadujeme velikost rizika R , což je hodnota pravděpodobných průměrných ročních ztrát vlivem bleskových výbojů mrak – zem. Rozlišujeme, jde-li o ztráty na veřejných nebo soukromých stavbách. Pro veřejné stavby je stanovena hodnota přípustného rizika, která je pro projektanta závazná a je kontrolována revizním technikem včetně přijatých ochranných opatření. V soukromé výstavbě, u staveb veřejně nepřístupných, určí míru akceptovatelného rizika majitel objektu nebo provozovatel zařízení a tato hodnota je zadáním pro projektanta, který navrhne odpovídající opatření. Revizní technik provádí kontrolu podle tohoto zadání.

Typické hodnoty přípustného rizika R_T jsou uvedeny v tabulce 3.2. Pokud se v objektu nacházejí osoby, nesmí dojít k překročení velikosti přípustného rizika 10^{-5} rok. Pro takový objekt se zřídí hromosvodná ochrana na technické úrovni takové, aby nemohlo dojít ke

zranění nebo smrti osob nacházejících se uvnitř stavby nebo v její těsné blízkosti častěji než jednou za 100 000 let. Zohledňuje se též pobyt nepohyblivých osob a vznik paniky. U hodnoty rizika 10^{-3} rok dojde ke škodě jednou za 1 000 let [10].

Tab. 3.2: Typické hodnoty přípustného rizika R_T [10]

Typy ztrát	R_T (rok ⁻¹)
Ztráty na lidských životech nebo trvalé následky	10^{-5}
Ztráta veřejné služby	10^{-3}
Ztráta kulturního dědictví	10^{-3}

K provedení ocenění rizik nestačí stanovit pouze hodnotu přípustného rizika. Druhým základním údajem je skutečné riziko odpovídající vzniku ztrát, které mohou nastat ve stavbě nebo inženýrské síti.

Ve stavbě mohou být oceňována následující rizika [10]:

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.

V inženýrských sítích [10]:

R'_2 : riziko ztrát na veřejných službách;

R'_4 : riziko ztrát ekonomických hodnot.

Tato rizika se skládají z dílčích součástí souvisejících s příčinou a typem škody. Rozlišujeme následující součásti rizika pro stavbu a inženýrskou síť [7].

Pro stavbu, do které udeřilo:

R_A : součást zahrnující nebezpečí úrazu živých bytostí krokovým a dotykovým napětím až do vzdálenosti 3 m od stavby;

R_B : součást vztahující se k hmotné škodě způsobené požárem nebo výbuchem vlivem nebezpečného jiskření uvnitř stavby;

R_C : součást související s poruchou vnitřních systémů způsobenou atmosférickým přepětím.

Pro stavbu, v jejíž blízkosti udeřilo:

R_M : součást související s poruchou vnitřních systémů způsobenou atmosférickým přepětím.

Pro stavbu při úderu do inženýrské sítě k ní připojené:

R_U : součást zahrnující nebezpečí úrazu živých bytostí krokovým a dotykovým napětím uvnitř stavby;

R_V : součást vztahující se k hmotné škodě způsobené požárem nebo výbuchem vlivem nebezpečného jiskření mezi venkovní instalací a kovovými částmi stavby;

R_W : součást související s poruchou vnitřních systémů způsobenou indukovanými přepětími do vstupních vedení a přenesenými do stavby.

Pro stavbu při úderu v blízkosti inženýrské sítě k ní připojené:

R_Z : součást související s poruchou vnitřních systémů způsobenou indukovanými přepětími do vstupních vedení a přenesenými do stavby.

Pro inženýrskou síť, do které udeřilo:

R'_V : součást zahrnující poruchu vedení a připojených zařízení zaviněnou přepětím indukovaným do vedení;

R'_W : součást vztahující se k závadě připojeného zařízení zaviněné přepětím indukovaným do vedení.

Pro inženýrskou síť, v jejíž blízkosti došlo k úderu:

R'_Z : součást zahrnující poruchu vedení a připojených zařízení zaviněnou přepětím indukovaným do vedení.

Pro inženýrskou síť připojenou ke stavbě, do které udeřilo:

R'_B : součást související s tepelnými a mechanickými účinky protékajícího proudu podél vedení a tím vzniklé hmotné škody;

R'_C : součást zahrnující poruchu připojeného zařízení vznikající přepětím přeneseným odporovou vazbou.

Celkové riziko vzniku škody pro konkrétní stavební objekt nebo pro inženýrskou síť určíme podle následujícího vztahu [1]:

$$R = \sum_x R_x \quad (3.1)$$

Kde R_x jsou jednotlivé dílčí složky rizika. Pro stavbu je celkové riziko R součtem rizik R_1, R_2, R_3, R_4 a pro inženýrskou síť součtem rizik R'_2, R'_4 .

Přitom každou určenou dílčí složku rizika R_x lze vyjádřit součinem počtu nebezpečných událostí N_x , pravděpodobností vzniku škod P_x a následnými ztrátami L_x . Matematicky vyjádřeno [10]:

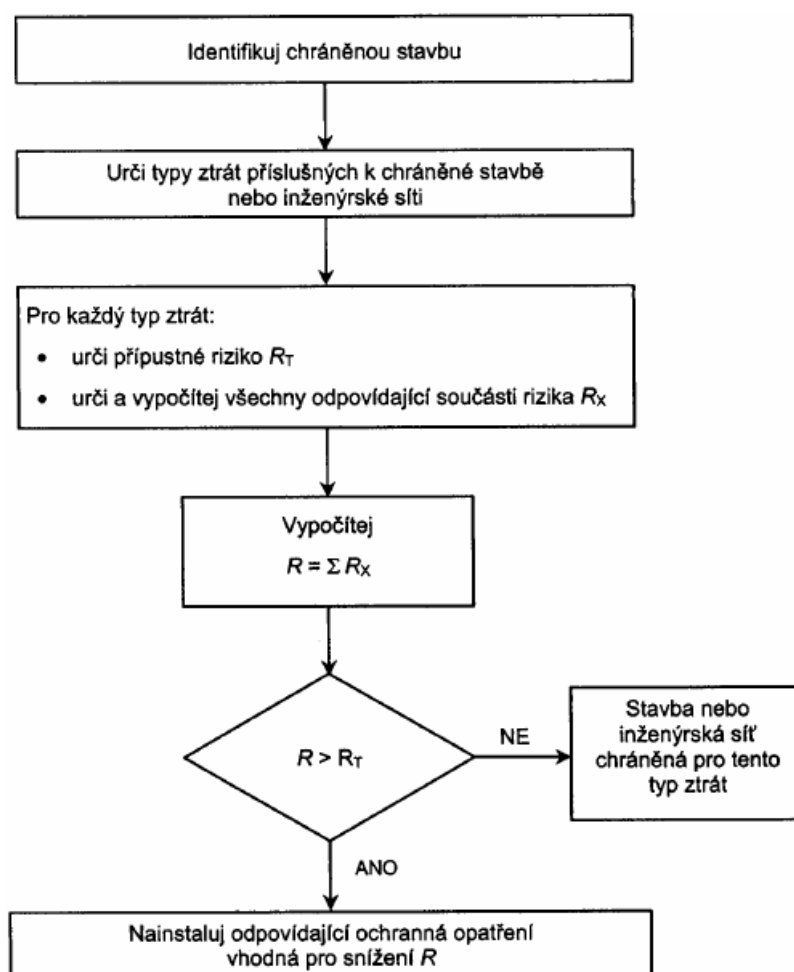
$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (3.2)$$

Pravděpodobnost vzniku škod P určuje typ konstrukce objektu, provedení vnitřních a vnějších pochozích ploch, typ střechy, obsah budovy, provedení rozvodů uvnitř budovy a napojení na inženýrské sítě. Uvažují se též realizovaná ochranná opatření.

Četnost výskytu nebezpečných událostí N závisí na počtu bouřkových dní za rok v daném místě, rozměrech objektu a vlastnostech okolí stavby.

Následné ztráty L vychází z počtu a doby přítomnosti osob v objektu a jeho blízkosti. Způsobu a účelu používání stavby, druhu poskytovaných služeb a kulturního významu budovy a v ní uložených předmětů [1].

Při oceňování rizika zahrnujeme do uvažované stavby vlastní stavbu, instalace ve stavbě, obsah stavby, osoby ve stavbě nebo nacházející se až do 3 m od vnějšku stavby a prostředí ovlivňované poškozením stavby. Inženýrské sítě jsou telekomunikační linky, silnoproudá vedení, potrubní vedení a zařízení na koncích vedení, například multiplexery, výkonové zesilovače, jednotky optických sítí, měřicí zařízení, vypínače, nadproudové systémy, řídicí a bezpečnostní systémy. Nezahrnujeme do nich zařízení uživatelů nebo jakoukoliv stavbu k nim připojenou [10].



Obr. 3.1: Postup pro rozhodnutí o potřebě ochrany [7]

Po výpočtu určených součástí rizika R_x stanovíme celkové riziko R a určíme přípustné riziko R_T . Ke zjištění nutných ochranných opatření použijeme následující nerovnost:

$$R \leq R_T \quad (3.3)$$

Vyjde-li nám celkové riziko menší nebo rovné přípustnému riziku, nemusíme přijímat žádná další ochranná opatření. Naopak vyjde-li nám celkové riziko větší než přípustné riziko, musí být přijata ochranná opatření pro snížení všech rizik, kterým je stavba vystavena. To znamená, že ochranu před atmosférickým výbojem musíme navrhnout na vyšší technické úrovni. Například třídu LPS III nahradíme třídou LPS II [10]. Postup pro rozhodnutí o potřebě ochranných opatření je zobrazen na obrázku 3.1.

Podle tohoto postupu jsou do třídy LPS I zařazovány nemocnice, banky, vodárny, plynárny, čerpací stanice, elektrárny, automobilní průmysl, řídicí dispečinky HZS nebo policie. Do třídy LPS II školy, supermarkety, katedrály, stanice mobilních operátorů. V třídě LPS III jsou navrhovány rodinné domy se standardní výbavou, zemědělské objekty a ve třídě LPS IV objekty a haly bez výskytu osob a vnitřního vybavení, stavby jen se silnoproudou elektroinstalací. Toto zatřídění slouží pouze pro hrubou orientaci [10].

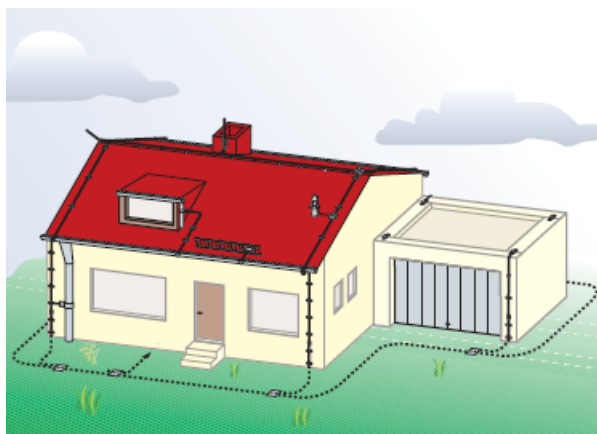
Pro komplexní ochranu před atmosférickým přepětím přijímáme opatření zahrnující hromosvodnou a uzemňovací soustavu, vyrovnání potenciálů, vytvoření stíněných prostorů, použití přepěťových ochran. Přijatá opatření lze rozdělit na vnější a vnitřní ochranu před bleskem, o nichž pojednávají následující kapitoly.

4

Vnější ochrana

Po vzniku atmosférického výboje dochází k postupnému vytvoření bleskového kanálu po nejvodivější dráze k místu vyrovnání potenciálů. Stane-li se součástí této dráhy objekt bez hromosvodné soustavy s nedefinovanou vodivou cestou bleskového proudu, vzniká nebezpečí požáru, jiskření, krokových a dotykových napětí. Z těchto důvodů se zřizuje na objektech vnější ochrana před bleskem (obrázek 4.1), skládající se z jímacího zařízení, svodů a uzemňovací soustavy.

Vnější ochrana před bleskem tedy slouží k zachycení bleskových výbojů, k jejich svedení k zemi po dráze s definovanou vodivostí a k rozptýlení bleskového proudu do země. K jejímu vytvoření lze přistupovat dvojím způsobem. V prvním případě zřídíme jímací zařízení a svody izolovaně od všech vodivých předmětů uvnitř stavby, tento systém nazýváme izolovaný (oddálený) hromosvod. Přitom může být izolovaný hromosvod umístěn bez kontaktu se stavbou nebo se může umístit na stavbě v kontaktu s elektricky izolačními materiály. V druhém případě se hromosvodná soustava elektricky propojí se všemi vodivými předměty uvnitř objektu a vznikne neizolovaný (neoddálený) hromosvod. Obě varianty lze na jednom objektu kombinovat. První způsob by měl být preferován u staveb s hořlavou krytinou, s hořlavými stěnami a s prostředím s nebezpečím výbuchu a požáru [8].



Obr. 4.1: Vnější ochrana před bleskem [3]

4.1 Dostatečná vzdálenost s

Aby nedošlo k přeskočení bleskového proudu z jímací soustavy nebo soustavy svodů na vodivé předměty nespojené s vnější hromosvodnou soustavou, je nutné dodržet dostatečnou vzdálenost s zajišťující jejich vzájemnou izolaci. Dostatečnou vzdálenost lze vypočítat dle obecné rovnice [8]:

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad [m] \quad (4.1)$$

Kde:

k_i – je koeficient závislý na zvolené třídě LPS (tabulka 4.1 (a));

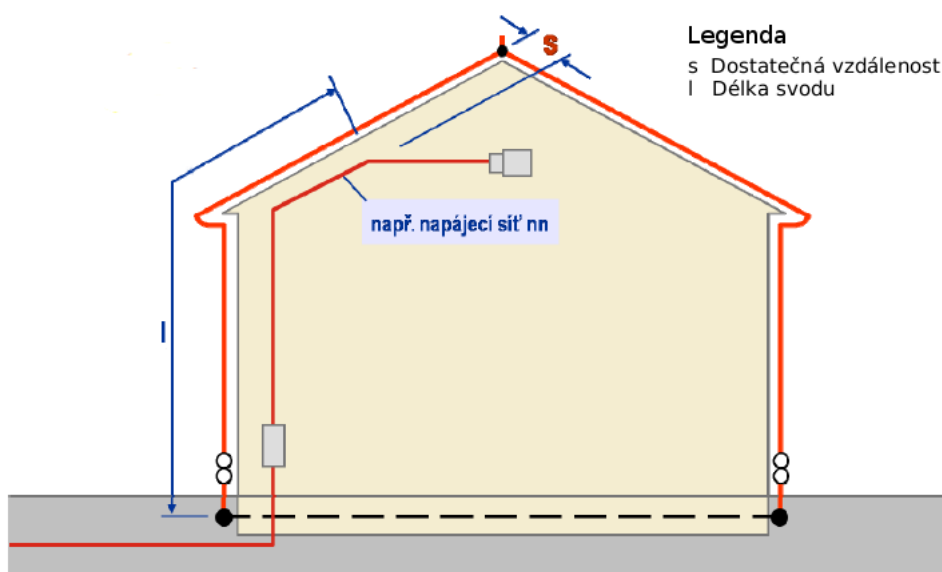
k_m – koeficient závislý na materiálu elektrické izolace (tabulka 4.1 (b));

k_c – koeficient závislý na bleskovém proudu tekoucím jímači a svody (tabulka 4.1 (c));

l – délka v metrech, podél jímací soustavy a svodu (obrázek 4.2).

Tab. 4.1: Izolace vnějšího LPS – Hodnoty koeficientů [8]

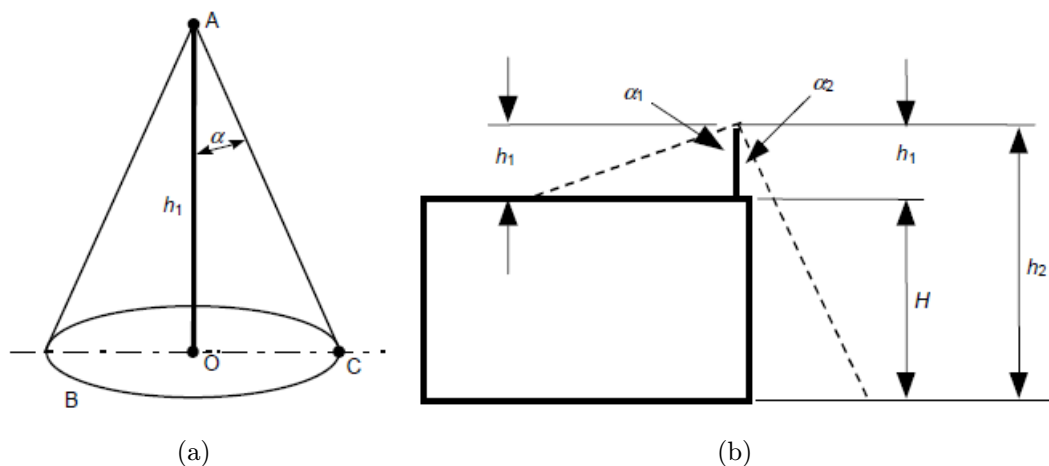
(a) koeficient k_i		(b) koeficient k_m		(c) koeficient k_c	
Třída LPS	k_i	Materiál	k_m	Počet svodů n	k_c
I	0,08	Vzduch	1	1 (pouze izolovaný LPS)	1
II	0,06	Beton, cihla, dřevo	0,5	2	0,66
III až IV	0,04			3 a více	0,44



Obr. 4.2: Posuzování dostatečné vzdálenosti s [10]

4.2.1 Metoda ochranného úhlu

Jde o zjednodušenou metodu určení ochranného prostoru jímacího zařízení. Používá se u jednoduchých staveb s hřebenovou soustavou a u tyčových jímáčů. Příklad jednoduché stavby (rodinného domu) je na obrázku 4.1. Tato metoda klade na projektanta jen malé nároky na představivost.

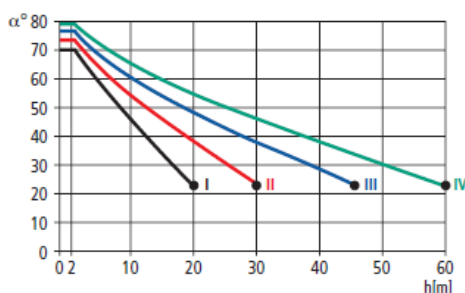


Obr. 4.4: Ochranný prostor svíslé jímací tyče [8]

Výpočet ochranného úhlu vychází z teorie valící se koule opřené o jímáč, ale ochranný úhel není tečnou ke kulové ploše v bodě dotyku valící se koule s jímáčem. Ochranný úhel je sečnou kružnice mezi bodem dotyku s jímáčem a polovinou oblouku tvořeného tímto bodem a bodem dotyku se vztaznou rovinou. Výše napsané ilustruje obrázek 4.3, kde h je výška jímáče nad vztaznou rovinou, r poloměr valící se koule, d vzdálenost průsečíku plochy ochranného úhlu se zemí od roviny procházející jímáčem a α je ochranný úhel. Ochranný prostor vytvořený metodou ochranného úhlu ve svých cca dvou horních třetinách převyšuje ochranný prostor vytvořený valivou koulí o hodnotu x [10].

Stavba je považována za dostatečně chráněnou, pokud je zcela umístěna v ochranném prostoru jímací soustavy. Ochráněný prostor jímací tyče zobrazuje obrázek 4.4 (a) pro referenční rovinu o stejné výšce, kde A je vrchol jímací tyče, B je referenční rovina, OC poloměr ochranného prostoru, h_1 výška jímací tyče nad referenční rovinou chráněného prostoru a α je ochranný úhel. Na obrázku 4.4 (b) je referenční rovina o nestejně výšce, například u jímáčů umístěných na okraji střechy objektu. Ochranný úhel α_1 odpovídá výšce jímáče h_1 , je to výška nad povrchem střechy, a ochranný úhel α_2 odpovídá výšce $h_2 = h_1 + H$, je to výška nad plochou terénu [8].

Na obrázku 4.5 je znázorněna závislost ochranného úhlu α na výšce jímáče h nad referenční rovinou a zařazení objektu do třídy LPS. Metodu ochranného úhlu lze využít jen v oblasti vyobrazených křivek. Například u třídy I lze metodu použít do výšky 20 m, při zařazení objektu do třídy IV až do výšky 60 m [1].



Obr. 4.5: Ochranný úhel odpovídající třídě LPS [8]

4.2.2 Metoda valící se koule

Při vyšetřování ochranného prostoru jímáčů nejlépe respektuje rozvoj blesku pomocí vyhledávacího výboje metoda valící se koule. Tato metoda vyžaduje od projektanta hromosvodné soustavy velkou představivost a je vhodná pro stavby členitého tvaru a objekty v husté zástavbě. Metoda je užívána též při vyšetřování oddálených hromosvodů.

Metoda spočívá v odvalování pomyslné bleskové koule o poloměru daného zařazením vyšetřovaného objektu do třídy LPS (tabulka 4.2). Při jejím odvalování přes a okolo stavby všemi možnými směry dochází k dotykům s vyšetřovanou stavbou. V těchto místech vzájemného dotyku je nebezpečí zásahu stavby bleskovým výbojem. Při konstrukci jímacího zařízení tedy zajišťujeme, aby se povrch bleskové koule dotýkal pouze jímací soustavy a bylo zamezeno přímému dotyku povrchu koule se stavbou.

Tab. 4.2: Poloměr bleskové koule podle zařazení objektu do třídy LPS [10]

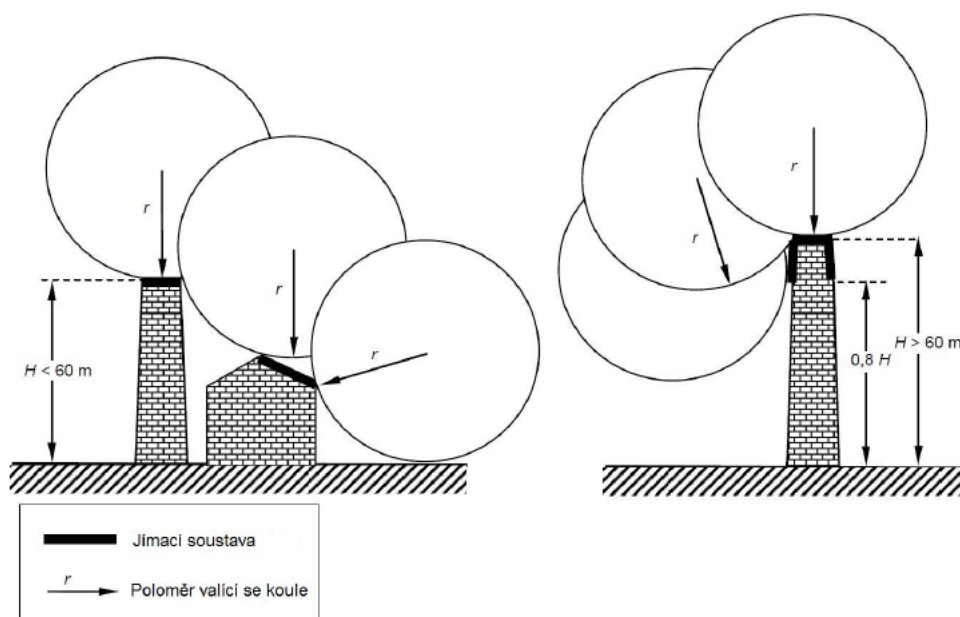
Třída LPS	I	II	III	IV
Poloměr bleskové koule	20 m	30 m	45 m	60 m

Ke stanovení ochranného prostoru lze využít CAD 3–D programů nebo lze použít čistě grafickou a výpočetní metodu. Grafickou metodu zobrazuje obrázek 4.6.

4.2.3 Metoda mřížové soustavy

Metoda mřížové soustavy se nejvíce používá u plochých střech v kombinaci s vertikálními jímáči ve vyvýšených a exponovaných místech. Vyvýšenými místy mohou být anténní a technologická zařízení umístěná na střeše. Mezi exponovaná místa lze zařadit rohy a hrany střechy.

Metoda předpokládá vytvoření vodivé mříže ze vzájemně propojených jímacích vodičů v místech jejich křížení. Tímto propojením vzniká ekonomický kompromis k použití husté Faradayovy klece, který ovšem nezajišťuje stoprocentní účinnost [10]. Velikost ok mřížové soustavy je dána zařazením stavby do třídy LPS (tabulka 4.3). Jímací vodiče se umísťují na hranách střechy, přesazích střechy a při sklonu střechy větším než 1/10 se též jímací



Obr. 4.6: Návrh jímací soustavy podle metody valící se koule [8]

vodiče instalují na hřebenech střechy. U staveb vyšších než 60 m se jímací soustava zřídí na horních 20 % bočních ploch.

Tab. 4.3: Velikost ok mřížové jímací soustavy a propad valivé koule [10]

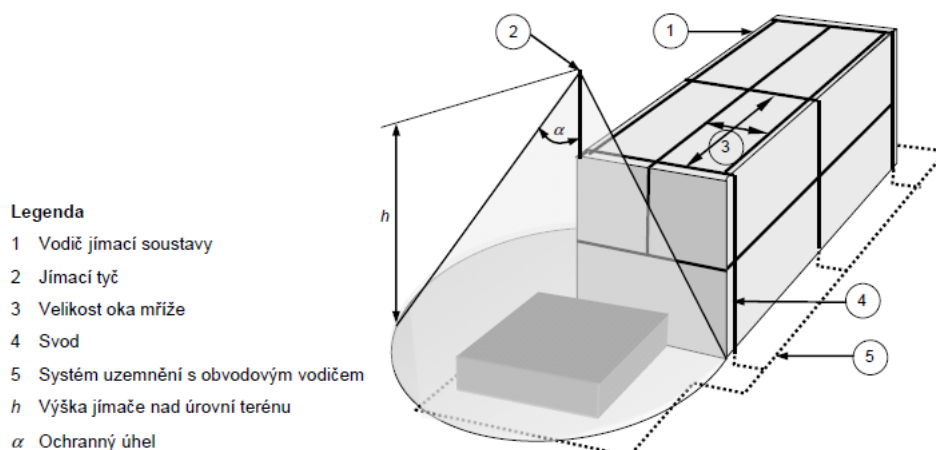
Třída LPS	I	II	III	IV
Velikost ok	5 x 5 m	10 x 10 m	15 x 15 m	20 x 20 m
Propad valivé koule	0,157 m	0,420 m	0,630 m	0,840 m

Při návrhu mřížové soustavy lze využít strojených i náhodných jímačů a lze ji zhotovit jako oddálenou nebo neoddašenou. Ochranný prostor je dán kombinací ochranných prostorů jednotlivých jímacích vodičů spojených do mříže, přitom je potřeba dbát propadu bleskové koule do jejích ok [8]. V tabulce 4.3 je uveden propad valivé koule mezi oky mřížové soustavy. Návrh jímací soustavy LPS metodou ochranného úhlu, metodou mřížové soustavy a všeobecným uspořádáním jímacích součástí zobrazuje obrázek 4.7.

4.3 Svody

Po zachycení atmosférického výboje jímací soustavou svádíme bleskový proud pomocí svodů k zemní soustavě. Při tomto ději nesmí docházet ke vzniku nadměrného oteplení, jiskření a přeskokům na vodivé části uvnitř budovy. Nebezpečné pro zařízení uvnitř stavby mohou být i naindukovaná napětí do vnitřních rozvodů.

Pro zamezení nebo snížení těchto jevů se snažíme rozdělit bleskový proud do více paralelních vodivých cest a tím snížit hodnotu bleskového proudu tekoucího jednotlivými svody. U neoddašené hromosvodné soustavy využíváme k rozdělení proudu i náhodných



Obr. 4.7: Návrh jímací soustavy LPS metodou ochranného úhlu, metodou mřížové soustavy a všeobecným uspořádáním jímacích součástí [8]

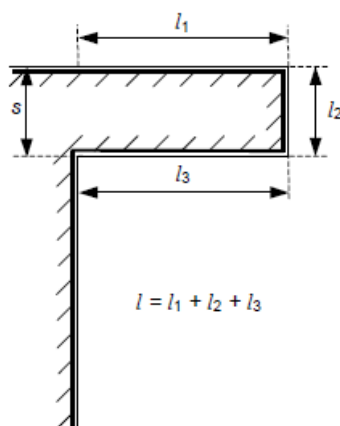
vertikálních svodů tvořených vodivými konstrukčními částmi objektu. Svody vytváříme pokud možno přímé bez zbytečných oblouků a smyček s co nejkratší délkou od jímacího zařízení k zemnicí soustavě a snažíme se je rozmístit pravidelně po obvodu stavby. Typické hodnoty vzdálenosti mezi svody podle třídy LPS uvádí tabulka 4.4, přičemž pro každý neodдалený hromosvod musí být použity alespoň dva svody. Jednotlivé svody jsou číslovány pomocí štítku. Pokud to místní podmínky dovolují, měl by být svod umístěn na každý nechráněný roh budovy [8].

Tab. 4.4: Typické hodnoty vzdálenosti mezi svody podle třídy LPS [8]

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

K připojení svodů na jímací a zemnicí soustavu lze využít svorek k tomuto účelu určených nebo pevných spojů vytvořených svařováním, popřípadě tvrdým pájením. Svody se nesmí ukládat do prostředí se zvýšeným nebezpečím koroze, například okapů, a lze je vytvářet jako vnitřní, vnější nebo skryté [1].

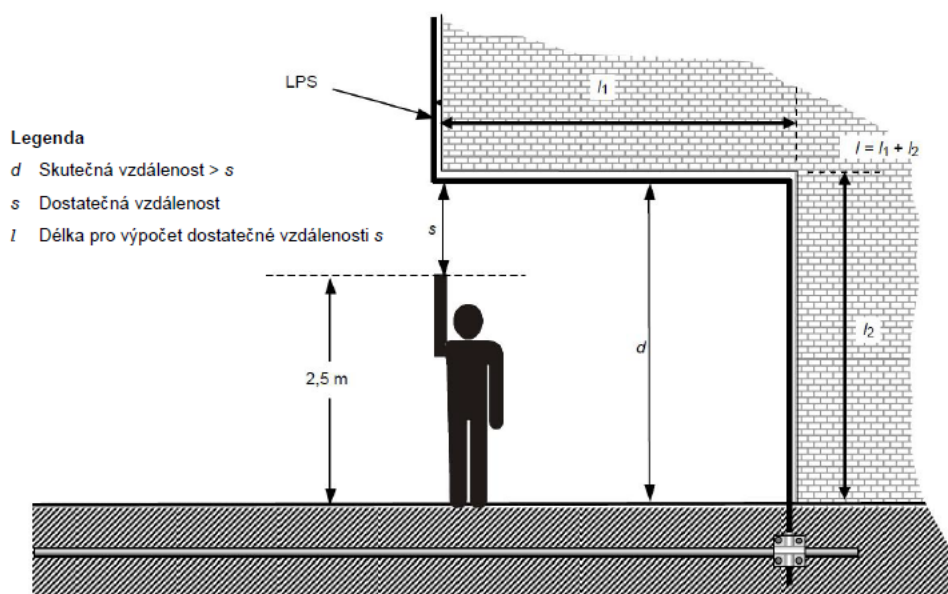
Jak již bylo zmíněno, svody bychom měli vytvářet pokud možno bez instalačních smyček. V praxi se jim však nelze vždy vyhnout. Při přiblížení dvou bodů svodu ve smyčce pod dostatečnou vzdálenost s může dojít k přeskočení bleskového proudu se vším nebezpečím spojeným s hořením oblouku. Dostatečnou vzdálenost s vypočítáme podle podkapitoly 4.1, kde vzdálenost l se určuje podle obrázku 4.8. Také vzniká za bouřky nebezpečí přeskočení bleskového proudu na lidi pohybující se pod převislými částmi staveb, tam kde je vytvořen oblouk svodu. K zamezení přeskočení musí být dodržena minimální



Obr. 4.8: Smyčka svodu [8]

vzdálenost d (obrázek 4.9), která musí vyhovovat následující podmínce [8]:

$$d > 2,5 + s \quad [m] \quad (4.2)$$



Obr. 4.9: Návrh LPS pro převislou část stavby [8]

Další často opomíjená nebezpečí představují kroková a dotyková napětí, vznikající při průchodu bleskového proudu na svodech a v jejich blízkosti. Proto bychom měli navrhovat svody přednostně v místech, kde se nepředpokládá pohyb osob. V opačném případě musí být zabezpečena ochrana před dotykovým napětím oddělením od okolí izolací odolávající zkušebnímu impulzu tvaru $1,2/50 \mu\text{s}$ s vrcholovou hodnotou 100 kV nebo povrchový odpor pochozí plochy ve vzdálenosti do 3 m od svodu je větší nebo roven $5 \text{ k}\Omega/\text{m}$ [1].

Na velikost krokového a dotykového napětí má vliv také hodnota odporu uzemňovací soustavy. Aby bylo možné odpor uzemňovací soustavy změřit, umísťují se na strojené svody zkušební spojky, které musí být možné rozpojit pomocí nářadí. Uzemňovací soustavou se budeme zabývat v následující části této práce.

4.4 Uzemňovací soustava

Po zachycení atmosférického výboje jímačem a svedení bleskového proudu pomocí svodů je požadováno jeho rovnoměrné rozptýlení v zemi s co nejmenším vznikem přepětí a rozdílů potenciálu na různých místech objektu. K tomuto účelu je budována uzemňovací soustava, jejíž účinnost je především dána půdními podmínkami, jejím tvarem a rozměry.

Při návrhu uzemnění se snažíme dosáhnout co nejmenšího odporu přechodu mezi zemničem a zemí. Hlavním parametrem ovlivňujícím odpor uzemňovací soustavy je rezistivita půdy, ve které je zemnič uložen. Rezistivitu vyjadřujeme v Ωm a je to číselné vyjádření elektrického odporu v Ω válce naplněného zeminou, jehož průřez je 1 m^2 a je dlouhý 1 m . Přičemž rezistivita půdy se mění od místa k místu a závisí i na hloubce. Také ji ovlivňuje vlhkost a teplota zeminy a značně se zvyšuje mrazem [5]. Příklad hodnot rezistivity půdy uvádí tabulka 4.5.

Tab. 4.5: Hodnoty rezistivity půdy [5]

Charakter půdy	Rezistivita
Bažinatá půda	Od několika do $30\ \Omega\text{m}$
Naplaveniny	20 až $100\ \Omega\text{m}$
Humus, prst	10 až $150\ \Omega\text{m}$
Vlhká rašelina	5 až $100\ \Omega\text{m}$
Tvárný jíl	$50\ \Omega\text{m}$
Vápenatý a kompaktní jíl	100 až $200\ \Omega\text{m}$
Jurský jíl	30 až $40\ \Omega\text{m}$
Jílovité písky	50 až $500\ \Omega\text{m}$
Křemenné písky	200 až $3000\ \Omega\text{m}$
Holé kamenité půdy	1500 až $3000\ \Omega\text{m}$
Zatrávněné kamenité půdy	300 až $500\ \Omega\text{m}$
Měkký vápenec	100 až $300\ \Omega\text{m}$
Kompaktní vápenec	1000 až $5000\ \Omega\text{m}$
Rozpukaný vápenec	500 až $1000\ \Omega\text{m}$
Břidlice	50 až $300\ \Omega\text{m}$
Mikanitová břidlice	$800\ \Omega\text{m}$
Žula a pískovec podle míry zvětrání	1500 až $10000\ \Omega\text{m}$
Žula nebo velmi zvětralý vápenec (podle míry zvětrání)	100 až $600\ \Omega\text{m}$

Odpor uzemňovací soustavy hromosvodu by měl být maximálně 10Ω a lze ho přibližně vypočítat dle následujících vztahů [5]:

a) Horizontálně uložené zemniče

$$R = 2 \cdot \frac{\rho}{L} \quad [\Omega] \quad (4.3)$$

ρ – je rezistivita půdy [Ωm];

L – je délka výkopu, ve kterém jsou vodiče uloženy [m].

b) Desky uložené v zemi – desky se ukládají vertikálně tak, aby jejich horní okraj byl přibližně v hloubce 1 m.

$$R = 0,8 \cdot \frac{\rho}{L} \quad [\Omega] \quad (4.4)$$

ρ – je rezistivita půdy [Ωm];

L – je obvod desky [m].

c) Vertikálně uložené tyčové zemniče

$$R = \frac{\rho}{L} \quad [\Omega] \quad (4.5)$$

ρ – je rezistivita půdy [Ωm];

L – je délka tyče nebo trubky [m].

d) Kovové sloupy

$$R = 0,366 \cdot \frac{\rho}{L} \cdot \log_{10} \frac{3L}{d} \quad [\Omega] \quad (4.6)$$

L – je délka sloupu v zemi [m];

d – průměr válce opsaného sloupu [m];

ρ – je rezistivita půdy [Ωm].

Pro rovnoměrné rozdělení bleskového proudu v zemi je nejdůležitější velikost a provedení použitých zemničů. Důležité je kvalitní pospojování všech kovových konstrukcí zavedených do stavby a jejich propojení se strojenými i náhodnými zemniči [1]. Rozlišujeme dvě základní uspořádání zemničů.

Uspořádání typu A představuje vodorovné a svislé zemniče netvořící smyčku a instalované vně chráněné stavby. Používá se u starších objektů se zpevněnými přístupovými plochami z důvodu vysokých nákladů pro zřízení zemnicí soustavy typu B [2].

Uspořádání typu B je tvořeno kruhovým zemničem nebo základovým zemničem. U nových staveb je preferován základový zemnič. Tento typ splňuje veškeré požadavky při splnění dostatečného dimenzování, trvalého vzájemného propojení svárem nebo svorkou

a dostatečného počtu vyvedení ze základu v místech pro připojení ekvipotenciálních nadzemních pásů a svodů. Hlavní mříž základového pásového zemniče nemá překročit 20 x 20 m [2].

Pro spolehlivou funkci uzemňovací soustavy musíme zajistit nejen její nízký odpor, vhodný tvar a velikost, ale také odolnost proti korozi. Proto veškeré spoje a přechody mezi různými prostředími, například při přechodu z betonu do země nebo ze země do vzduchu, chráníme nátěry, smršťovacími bužírkami nebo volbou vhodného materiálu, například korozivzdorné oceli. Vhodnými materiály pro použití při konstrukci jednotlivých částí LPS se budeme zabývat v následující kapitole.

4.5 Materiály používané pro konstrukci LPS

V současné době je možné vybírat při stavbě hromosvodné soustavy z více druhů materiálů. Při rozhodování, jaký materiál použijeme na projektovaném objektu a o jaké dimenzi, musíme respektovat normy a zhodnotit různá kritéria.

K hlavnímu návrhovému parametru při výběru materiálu pro zajištění dlouhodobé dobré funkce ochrany před bleskem je vliv okolního prostředí. Zvláště důležité je posoudit korozivní a mechanickou odolnost materiálu. Mezi další rozhodující kritéria patří cena, pracnost montáže a estetické hledisko.

Při použití více druhů materiálů se nevyhneme jejich elektricky vodivému spojení, při něm však může vlivem rozdílných elektrochemických vlastností materiálů docházet k elektrolytické korozi. K jejímu zabránění se používá bimetalických vložek.

Mezi používané materiály pro konstrukci LPS patří zároveň zinkovaná ocel, korozivzdorná ocel, měď, hliník a jeho slitiny. Také jsou používány plasty pro výrobu drobných upevňovacích dílů, průchodek zdí, podpěr jímacích vedení nebo svodů. Plasty jsou využívány pro zhotovení povlaků na kovových materiálech z důvodu zvýšení odolnosti proti korozi [1]. K výrobě podpěr jímačů je též používán mrazuvzdorný beton. V následujícím textu shrneme nejdůležitější vlastnosti, výhody a nevýhody jednotlivých kovových materiálů.

Žárově zinkovaná ocel je klasický materiál, který byl a je hojně využíván pro snadnou dostupnost a relativně nízkou cenu. K jeho nevýhodám patří tuhost, váha materiálu a s tím související pracnost montáže, náročnost na vyrovnání a tvarování. Z hlediska koroze patří pozinkovaná ocel k materiálům s menší odolností a nutností dodatečných antikorozních opatření. Vyhovuje však pro instalaci jak na vzduchu, tak i v zemi nebo betonu. Při vodivém styku s ostatními materiály je ve většině případů vyžadováno ošetření proti elektrolytické korozi. Ocel má menší vodivost než ušlechtilé materiály, a proto dochází k většímu ohřevu při průtoku bleskového proudu vlivem Jouleových ztrát [10].

Nerezová ocel používaná v hromosvodné ochraně je vyráběna ve dvou jakostních třídách označovaných V2A a V4A. Z těchto dvou jakostních tříd je chemicky odolnější v agresivním prostředí třída V4A. Nerezová ocel se převážně používá na zemnění, kde se cení

její korozivní stálost, a spojovací součásti mezi různými materiály. Je mnohem tužší než pozinkovaná ocel a je i cenově nákladnější. Má nejmenší vodivost z používaných materiálů a nejvíce se ohřívá při průchodu bleskového proudu [10].

Standardním materiálem používaným pro ochranu před bleskem je měď. Mezi její nevýhody se řadí vysoká cena při nákupu, ale i relativně vysoká výkupní cena v kovošrotech, pro kterou se stává častým cílem krádeží i již namontovaných a několik let provozovaných součástí hromosvodné soustavy. Měď patří mezi velice ušlechtilé materiály s velkou trvanlivostí na vzduchu. Pro uložení v zemi se však nehodí, jelikož může způsobovat korozi ocelí a hliníku. Při instalaci lze měď dobře tvarovat. Ke spojení s pozinkovanou ocelí nebo hliníkem je nutné používat z důvodu elektrolytické koroze cupalový plech nebo spojovací součásti z korozivzdorné oceli [1].

Za velice perspektivní materiál je v dnešní době považován hliník a jeho slitiny. Jeho rozšíření vděčíme především pro jeho mechanické a korozivní vlastnosti v běžných klimatických podmínkách, nesmí se však dotýkat betonových nebo maltových stěn a nelze jej ukládat do země. Využívá se pro jímací soustavy a svody. Po mědi má největší elektrickou vodivost a pro svou lehkost a vynikající tvarovatelnost je oblíben u montážních firem. Nevýhodou hliníku je jeho teplotní roztažnost, pro kterou je nutné používat na delších vedeních dilatačních prvků. Nejpoužívanější slitina hliníku je označovaná zkratkou AlMgSi. Ta má větší mechanickou pevnost a odolnost proti korozi než samotný hliník [1].

5

Vnitřní ochrana před bleskem a přepětím

V kapitole 4 jsme se zabývali otázkou, jak zachytit bleskový výboj, jak ho svést a rozptýlit v zemi. V této kapitole se zaměříme na vnitřní ochranu před bleskem a přepětím, která má za úkol zamezit vzniku rozdílů potenciálů ohrožujících osoby nacházející se v chráněném objektu. Rozdíl potenciálů může také zapříčinit vznik materiálních škod.

Při vzniku velkých rozdílů potenciálů dochází k jiskření mezi vodiči jímačů a svodů na jedné straně, elektrickými rozvody, elektrickým vybavením a vodivými částmi stavebních objektů a technologických instalací na straně druhé. Tomuto jevu se dá zabránit buďto vzájemným pospojováním vnitřních kovových předmětů s vnější ochranou před bleskem, nebo dodržěním dostatečné vzdálenosti s , jak bylo uvedeno v kapitole 4.1 [1].

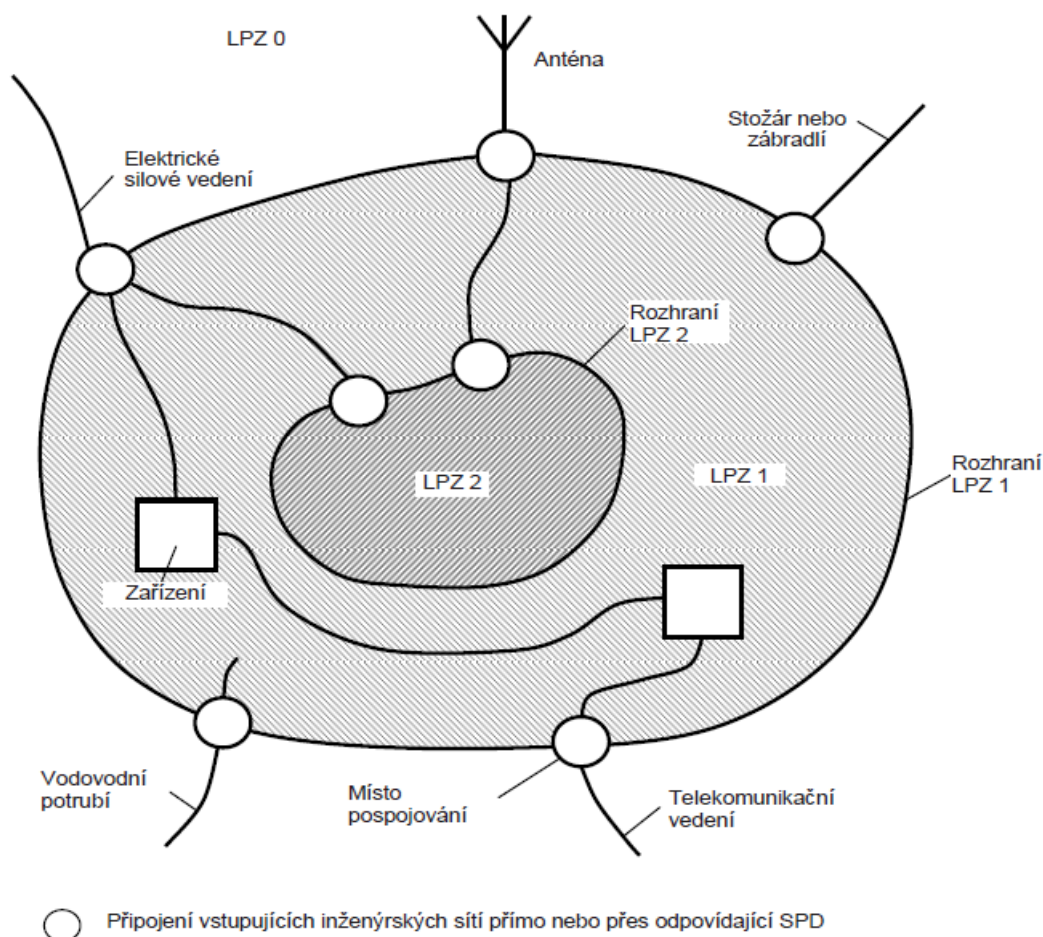
Další nebezpečí pro elektrická a elektronická zařízení představují elektromagnetické impulzy vyvolané bleskem a šířící se po vedeních. Přivedené rázové vlny omezujeme koordinovanými přepětovými ochranami a vzniku elektromagnetických impulzů se bráníme zřizováním stínění vnitřních prostorů. Těmito opatřeními vytváříme zóny ochrany před bleskem s různou úrovní potlačení elektromagnetických účinků.

5.1 Zóny ochrany před bleskem LPZ

Zóny ochrany před bleskem rozlišujeme na vnější a vnitřní. Vnější označujeme LPZ0. V této zóně není tlumeno elektromagnetické pole blesku a vnitřní systémy jsou namáhány plným nebo dílčím impulzním bleskovým proudem.

Zónu LPZ0 dále dělíme na LPZ0_A, kde ohrožení způsobuje přímý úder blesku a plné elektromagnetické pole blesku. Vnitřní systémy namáhá plný impulzní bleskový proud. A LPZ0_B, kde nemůže dojít k přímému úderu blesku, ale ohrožení je způsobeno plným elektromagnetickým polem blesku. Vnitřní systémy jsou namáhány dílčími impulzními bleskovými proudy.

Vnitřní zóny jsou chráněny proti přímému úderu blesku a označujeme je LPZ 1, LPZ 2, LPZ 3 ... n. V LPZ 1 je rozdělením proudu, izolačními rozhraními a přepětovými ochranami na rozhraních omezen impulzní proud. Elektromagnetické pole blesku může být zeslabeno prostorovým stíněním. U dalších zón LPZ 2 ... n dochází k dalšímu omezení rozdělením proudu, izolačními rozhraními a přepětovými ochranami na rozhraních. Elektromagnetické pole blesku mohou zeslabovat další prostorová stínění [9]. Koncept zón ochrany před bleskem LPZ zobrazuje obrázek 5.1.



Obr. 5.1: Koncepte zón ochrany před bleskem LPZ [10]

Na rozhraní zón vyrovnáváme důsledně potenciál a dodržujeme zásady pro stínění. Místa, kde se připojuje k soustavě vyrovnání potenciálů stínění, by neměla být vzájemně vzdálena více než 5 m délky vedení pro vyrovnání potenciálů [1].

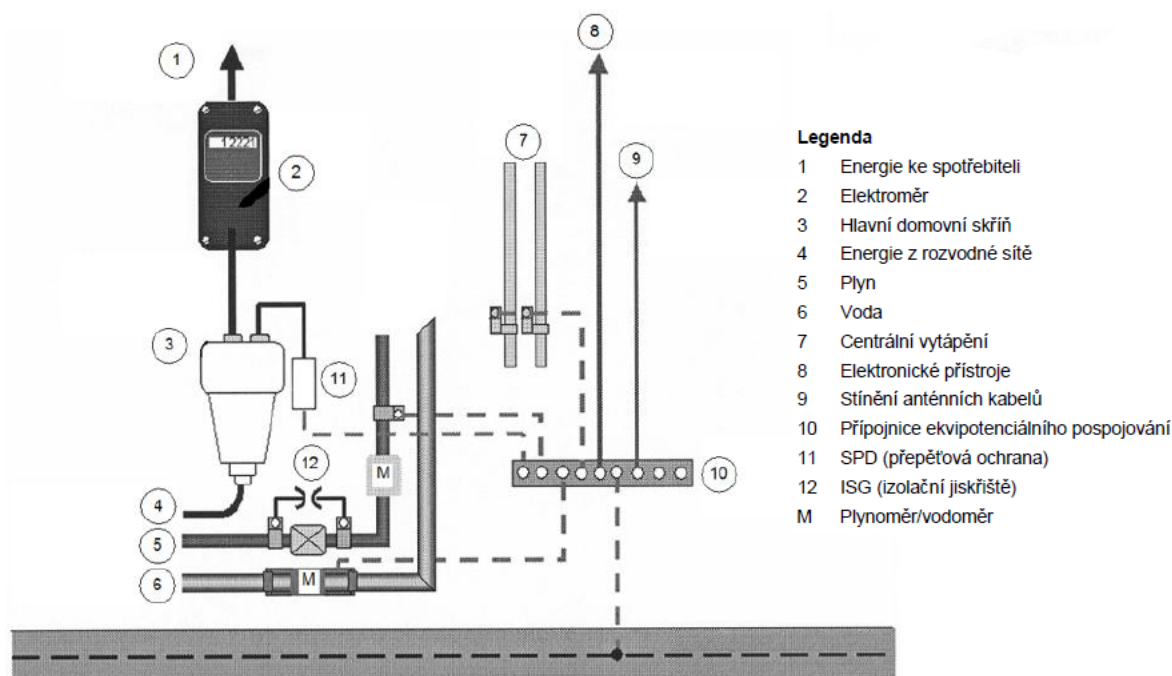
5.2 Vyrovnání potenciálů

Důvodem pro zřizování soustavy pro vyrovnání potenciálů uvnitř chráněné stavby je zabránění nebezpečných rozdílů potenciálů způsobujících jiskření. Principem je propojení vnější ochrany před bleskem s veškerými kovovými konstrukcemi objektu, instalacemi z kovu, vnějšími vodivými částmi, zařízeními připojenými k silovému rozvodu a zařízeními

informační techniky. Tohoto propojení lze dosáhnout vodiči vyrovnání potenciálů nebo přepěťovými ochranami SPD.

Přednostně se používá vodičů vyrovnání potenciálů, tedy galvanické vazby. Tam, kde nelze galvanické spojení použít, například u vodičů silových a signálových vedení, instalují se přepěťové ochrany a ochranná jiskřiště. Tyto prvky zajistí při provozním stavu dostatečnou elektrickou izolaci, pokud dojde ke vzniku přepětí, svedou energii elektromagnetického impulzu k zemi. Ochranná přepěťová zařízení se umísťují a připojují se soustavou vyrovnání potenciálu co nejkratším vedením a co nejbližše vstupu těchto vedení do chráněného objektu [1].

K připojení pospojovaných částí stavby se používá přípojnice vyrovnání potenciálů, nazývané též ekvipotenciální přípojnice. Příklad umístění ekvipotenciálního pospojování ilustruje obrázek 5.3.



Obr. 5.2: Příklad umístění ekvipotenciálního pospojování [8]

Minimální průřezy vodičů pro ekvipotenciální pospojování ukazují tabulky 5.1 a 5.2. Pokud je pospojování využíváno i k jinému účelu, například ochraně před dotykem neživých částí, a odpovídající předpis stanoví větší průřezy vodičů, nelze údaje v tabulkách použít.

Při vyrovnávání potenciálů v chráněném objektu rozmísťujeme připojovací a propojovací body ve sklepě, suterénu nebo na úrovni okolního terénu. Další propojovací místa se instalují tam, kde nesplňujeme požadavek na dostatečnou vzdálenost podle podkapitoly 4.1. Při rozmísťování těchto bodů klademe důraz na jejich přístupnost. Především se zřizuje hlavní přípojnice systému vyrovnání potenciálů, která se připojuje přímo na vývod uzemňovací soustavy. U rozsáhlejších objektů s šířkou nebo délkou větší než 20 m

Tab. 5.1: Minimální průřezy vodičů spojujících potenciálové svorkovnice vzájemně nebo s uzemněním [1]

Materiál vodiče	Průřez vodiče
Měď	16 mm ²
Hliník	25 mm ²
Ocel	50 mm ²

Tab. 5.2: Minimální průřezy vodičů spojujících vnitřní kovové instalace s potenciálovými svorkovnicemi [1]

Materiál vodiče	Průřez vodiče
Měď	6 mm ²
Hliník	10 mm ²
Ocel	16 mm ²

lze instalovat několik vzájemně propojených přípojníc. Pro omezení impedance vloženého vedení musí být veškerá připojení vedena nejkratší možnou cestou [1].

Rozsáhlé kovové stavební části schopné vést bleskový proud vstupující nebo vystupující z chráněného objektu, například trubní rozvody nebo stínění kabelů, připojujeme v blízkosti jejich vstupu do objektu na ekvipotenciální pospojování. Pokud není možné přímé galvanické propojení se soustavou vyrovnání potenciálů, použije se přepěťových ochranných nebo ochranných jiskříšť dimenzovaných na procházející dílčí bleskový proud. Velikost tohoto proudu závisí na počtu vnějších vodivých částí a souvisejících připojovacích vedení, na ekvivalentním zemním odporu dílů uložených v zemi a na ekvivalentním zemním odporu uzemňovací soustavy [1].

Přibližně lze dílčí bleskový proud připadající na každou vnější vodivou část a vedení uložené v zemi (I_D) nebo ve vzduchu (I_H) vypočítat podle následujících vztahů [1]:

$$I_D = I \cdot \frac{Z_Z}{Z_D + Z_Z \left(n_D \cdot n_H \cdot \frac{Z_D}{Z_H} \right)} \quad [A] \quad (5.1)$$

$$I_H = I \cdot \frac{Z_Z}{Z_H + Z_Z \left(n_D \cdot n_H \cdot \frac{Z_H}{Z_D} \right)} \quad [A] \quad (5.2)$$

kde:

Z_Z – je ekvivalentní zemní odpor uzemňovací soustavy [Ω];

Z_D – je ekvivalentní zemní odpor vnějších vodivých částí nebo vedení uložených pod zemským povrchem [Ω];

Z_H – je ekvivalentní zemní odpor vnějších vodivých částí nebo vedení nacházejících se nad zemským povrchem [Ω];

n_D – je celkový počet vnějších vodivých částí a vedení uložených pod povrchem země;

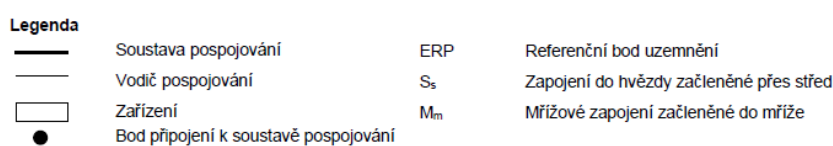
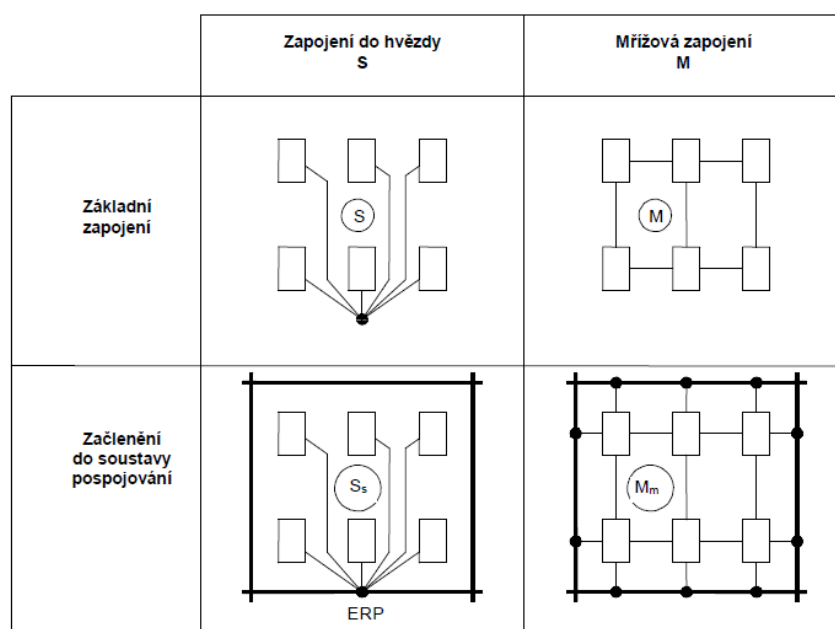
n_H – je celkový počet vnějších vodivých částí a vedení nacházejících se nad povrchem země;

I – je celkový bleskový proud [A], odpovídající úrovni ochrany před bleskem z tabulky 2.2 pro první proudový impuls.

Obvyklé hodnoty ekvivalentních odporů Z_Z a Z_D v závislosti na rezistivitě půdy uvádí tabulka 5.3.

Tab. 5.3: Přibližné hodnoty ekvivalentních zemních odporů Z_D a Z_Z a jejich závislost na rezistivitě půdy [1]

$\rho[\Omega m]$	$Z_D[\Omega]$	Ekvivalentní zemní odpor $Z_Z[\Omega]$ pro třídu ochrany		
		I	II	III a IV
≤ 100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60



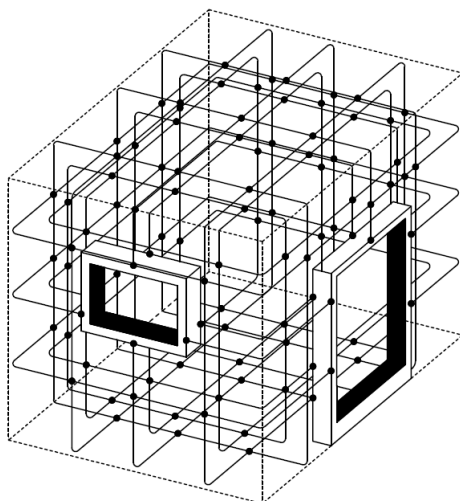
Obr. 5.3: Začlenění vodivých částí vnitřních systémů do sítě pospojování [9]

U rozsáhlých staveb se složitou strukturou přípojných míst je žádoucí se rozhodnout, jaké zvolíme topologické uspořádání soustavy vyrovnání potenciálů. Mezi základní podoby připojovací struktury patří hvězdicové a mřížové uspořádání. Výběr podřizujeme dosažení co nejnižšího odporu mezi povrchem země a připojenými zařízeními [1]. Začlenění vodivých částí vnitřních systémů do sítě pospojování zobrazuje obrázek 5.3.

5.3 Elektromagnetické stínění

Systém uzemnění a pospojování neplní jen dříve popsané ochranné funkce. Vytváří nedokonalou Faradayovu klec se stínícím účinkem a tím snižuje velikost elektromagnetického pole uvnitř chráněného objektu. Toto pole je vytvářeno průtokem dílčích bleskových proudů kovovými částmi hromosvodné soustavy a stavby.

Kdybychom chtěli vytvořit dokonalé stínění, muselo by být celistvé bez otvorů nebo přerušení. To však v praxi není možné z ekonomických i praktických hledisek. K jeho vytváření se používá kovových stavebních částí, jako jsou například betonářské výztuže, nosné i nenosné stavební konstrukce, opláštění fasád a stínění kabelů. Příklad stínění velkých prostor tvořeného kovovým armováním a kovovými rámy ilustruje obrázek 5.4. Nejvyššího stínícího účinku z vyjmenovaných způsobů dosahuje stínění kabelů, které lze vytvořit jejich uložením v kovových stínících trubkách nebo v dobře uzavřených kovových kabelových trasách. Také ho může tvořit vodivé stínění kabelů, které je schopné svést předpokládané dílčí bleskové proudy [1].



Obr. 5.4: Stínění velkých prostor tvořené kovovým armováním a kovovými rámy [9]

Veškerá vstupující a vystupující vedení do stíněného prostoru musí být se stíněním pospojována galvanickou vazbou nebo přes přepěťové ochrany. Stínění nevytváříme jen pro celé stavební objekty, ale také pro jednotlivé místnosti, zařízení, kabely a vedení.

5.4 Přepětové ochrany

Jak jsme se již zmínili, pro zamezení vzniku rozdílů potenciálů je nutné pospojovat veškeré vodivé části stavby. Pokud nelze z provozních důvodů provést galvanické spojení, používají se přepětové ochrany SPD ke svedení energie bleskového proudu nebo elektromagnetického impulzu.

Nežádoucí energii nelze omezit na požadovanou úroveň jediným typem přepětové ochrany. Také elektrické rozvody a na ně připojená elektrická zařízení jsou více odolná přepětí, než elektronická zařízení. Z těchto důvodů zavádíme tři třídy SPD a jim odpovídající kategorie přepětí. V síti nn jsou používány [10]:

SPD typu 1 – pro svedení bleskových proudů;

SPD typu 2 – pro svedení přepětí z důvodu ochrany elektrických rozvodů;

SPD typu 3 – pro svedení přepětí z důvodu ochrany elektronických zařízení.

Svodiče bleskových proudů SPD typu 1 jsou zkoušeny vlnou $10/350 \mu\text{s}$ a svádějí podélná přepětí. Instalují se na rozhraní LPZ 0 a LPZ 1. Na jejich konstrukci je používáno jiskřišť nebo varistorů.

Pro svedení nižší energie než u SPD typu 1 se používá svodičů přepětí SPD typu 2 a SPD typu 3, které jsou zkoušeny vlnou $8/20 \mu\text{s}$. SPD typu 2 se instalují na rozhraní LPZ 1 a LPZ 2. Konstrukčním prvkem je varistor a převážně svádějí podélná přepětí. Na dalších rozhraních LPZ se instalují co nejbližně chráněným zařízením SPD typu 3, které svádějí příčná přepětí. Převážně se u nich používá varistorů v kombinaci s plynovými bleskojistkami.

K ochraně slaboproudých sítí používáme SPD schopné svádět bleskový proud nebo podélná i příčná přepětí. Ke konstrukci těchto SPD je používáno bleskojistik, varistorů, transilů a supresorových diod. Jsou vyráběny také kombinované přepětové ochrany [10].

5.4.1 Fyzikální principy přepětových ochran

Přepětové ochrany mohou pracovat na principu jiskřišť, bleskojistik, varistorů a polovodičových přechodů.

Jiskřiště a plynové bleskojistky mohou svádět bleskové proudy o vysoké energii. Tvoří je elektrody umístěné v komoře naplněné izolačním plynem (u jiskřišť vzduchem). Při překročení zapalovacího napětí, určeného vzdáleností elektrod a vlastnostmi izolačního plynu, dojde mezi elektrodami k zapálení elektrického oblouku a tím k vyrovnání potenciálů. Jejich výhodou je velký izolační odpor v klidovém stavu, rychlé snížení přepětí a dlouhodobě stálé parametry. Nevýhodou je pomalejší reakce a obtížnější zhášení oblouku. V současnosti používáme výhradně jiskřiště v zapouzdrěném provedení.

Varistory jsou napětově závislé rezistory, jejichž odpor závisí na přiloženém napětí. Tato závislost, voltampérová charakteristika, má nelineární průběh. Vyznačují se rychlou reakcí na přepětí, mají omezenou schopnost svádět energii přepětí a jejich parametry

se s časem mění. Výhodou varistorů je samovolné přerušení sváděného proudu při poklesu napětí pod ochrannou úroveň. Mezi nevýhody lze řadit delší dobu trvání snížení přepětí oproti jiskřistím a tekoucí svodový proud i v klidovém stavu. Tento proud může způsobovat vybavování proudových chráničů instalovaných před přepětovými ochranami s varistory.

Mezi polovodičové součástky používané ke svedení přepětí patří transily a supresorové diody. Tyto součástky mají rychlou reakci na přepětí v řádu jednotek pikosekund. Jejich nevýhodou je malá hodnota dovoleného proudu. Používají se proto tam, kde se již nevyskytují dílčí části bleskového proudu [1].

5.4.2 Koordinace přepětových ochran

Při společném zapojení jednotlivých typů přepětových ochran v jedné elektroinstalaci musíme zajistit jejich vzájemnou koordinaci. To znamená, že každá z typů přepětových ochran musí svést maximálně takovou energii, na jakou je dimenzovaná. První stupeň SPD svede bleskový proud a omezí přepětí na úroveň vhodnou pro SPD typu 2 a ta sníží úroveň přepětí na hodnotu vhodnou pro SPD typu 3. K narušení této koordinace může dojít, pokud rychlejší typ přepětové ochrany začne svádět přepětový impulz, při tom dojde ke snížení velikosti napětí v obvodu. Na předchozím stupni, například jiskřisti, není dostatečné zápalné napětí a nedojde k zapálení oblouku. Rychlejší přepětová ochrana svede veškerou energii impulzu a tím může dojít k jejímu poškození. K zamezení tohoto jevu musíme dodržovat vzdálenost jednotlivých stupňů podle doporučení výrobce, nebo mezi jednotlivé stupně vkládáme oddělovací indukčnost (tlumivku). V současnosti jsou vyráběny také koordinované stupně, které toto opatření nevyžadují.

6

Závěr

Cílem práce bylo poukázat na problematiku jevů vznikajících při bouřkách a vytvořit ucelený soubor informací o ochraně před účinky atmosférických výbojů.

Po krátkém seznámení s historií ochrany před bleskem jsme se zabývali v kapitole 2 teorií vzniku bouřek a atmosférických výbojů, základními parametry jevu a jeho tepelnými a mechanickými účinky. Poté jsme diskutovali druhy úderů blesku a vznikající elektromagnetické přepětové vazby.

V následující kapitole 3 jsme se nejprve seznámili s příčinami škod a ztrát vznikajících v chráněných stavebních objektech. Následovalo seznámení s jejich typy a postup stanovení a analýzy rizik. Také byla uvedena pravidla pro řízení rizika vzniku škod.

V kapitolách 4 a 5 jsme analyzovali vnější a vnitřní ochranu před bleskem a přepětím. U vnější ochrany před bleskem jsme se zabývali dostatečnou vzdáleností s , metodami návrhu jímací soustavy, svody a uzemňovací soustavou. Pro vnitřní ochranu jsme stanovili zóny ochrany před bleskem LPZ. Diskutovali jsme možnosti pro vyrovnání potenciálů a možnosti zřízení magnetického stínění.

I přes implementaci všech pravidel pro navrhování a instalaci komplexní ochrany před atmosférickým přepětím, nelze zaručit dokonalou ochranu. Dokonalá ochrana by byla příliš nákladná a prakticky neproveditelná. Proto musíme vždy nést určité riziko vzniku škod u chráněných objektů. I přes toto nebezpečí přináší zhotovení hromosvodní ochrany podstatné potlačení rizika na akceptovatelnou mez a eliminuje škody na majetku, zdraví a lidských životech.

Problematika ochrany před atmosférickými výboji a přepětím je velmi rozsáhlá. Tato práce se nezabývala parametry svodičů přepětí a jejich ochranné úrovni. Pro studium této zajímavé a pro ochranu před přepětím důležité problematiky doporučuji knihu [1].

Literatura

Odborné knihy:

- [1] BURANT, Jiří. *Blesk a přepětí. Systémová řešení ochran*. Praha: FCC Public, 2006. ISBN 80-86534-10-3.
- [2] HUDECZEK, Mečislav, SANTARIUS, Pavel, PANTŮČEK, Edmund, CICHONĚ, Břetislav a SATINSKÝ, Alexej. *Chránění I. Elektrická zařízení do 1000V*. Havířov: IRIS, 2004. ISBN 80-903540-17.
- [3] DEHN + SÖHNE. *lightning protection guide*. Vyd. 2. Neumarkt: DEHN + SÖHNE, 2007. ISBN 3-00-015975-4.
- [4] KUTÁČ, Jiří, MERAUVÝ, Ján. *Ochrana před bleskem a přepětím z pohledu soudních znalců*. Praha, Trenčín: SPBI, 2010. ISBN 978-80-7385-081-4.

Normy:

- [5] ČSN 33 2000-5-54. *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče*. ed.3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [6] ČSN EN 62305-1. *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy*. ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN EN 62305-2. *Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [8] ČSN EN 62305-3. *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [9] ČSN EN 62305-4. *Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

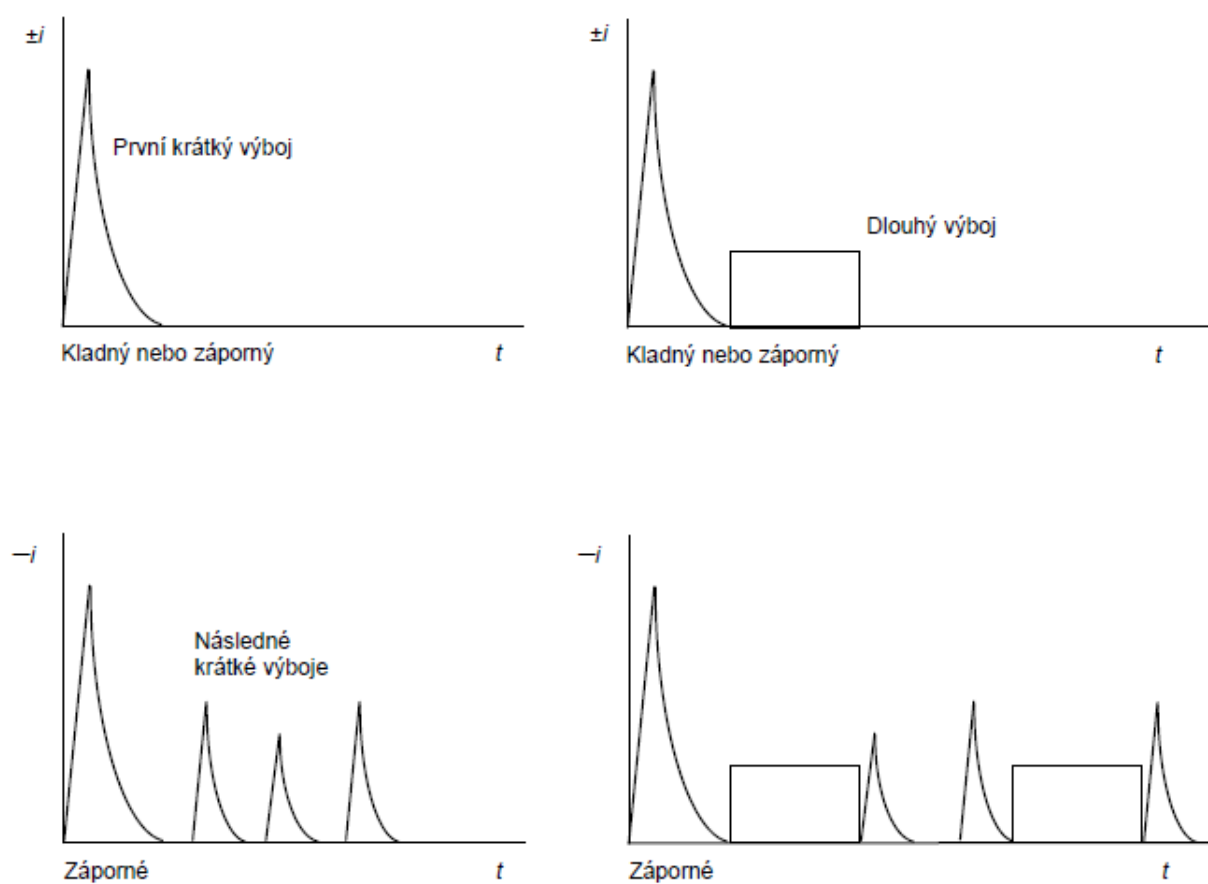
- [10] TNI 34 1390. *Ochrana před bleskem – Komentář k souboru norem ČSN EN 62305-1 až 4*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.

Online dokumenty:

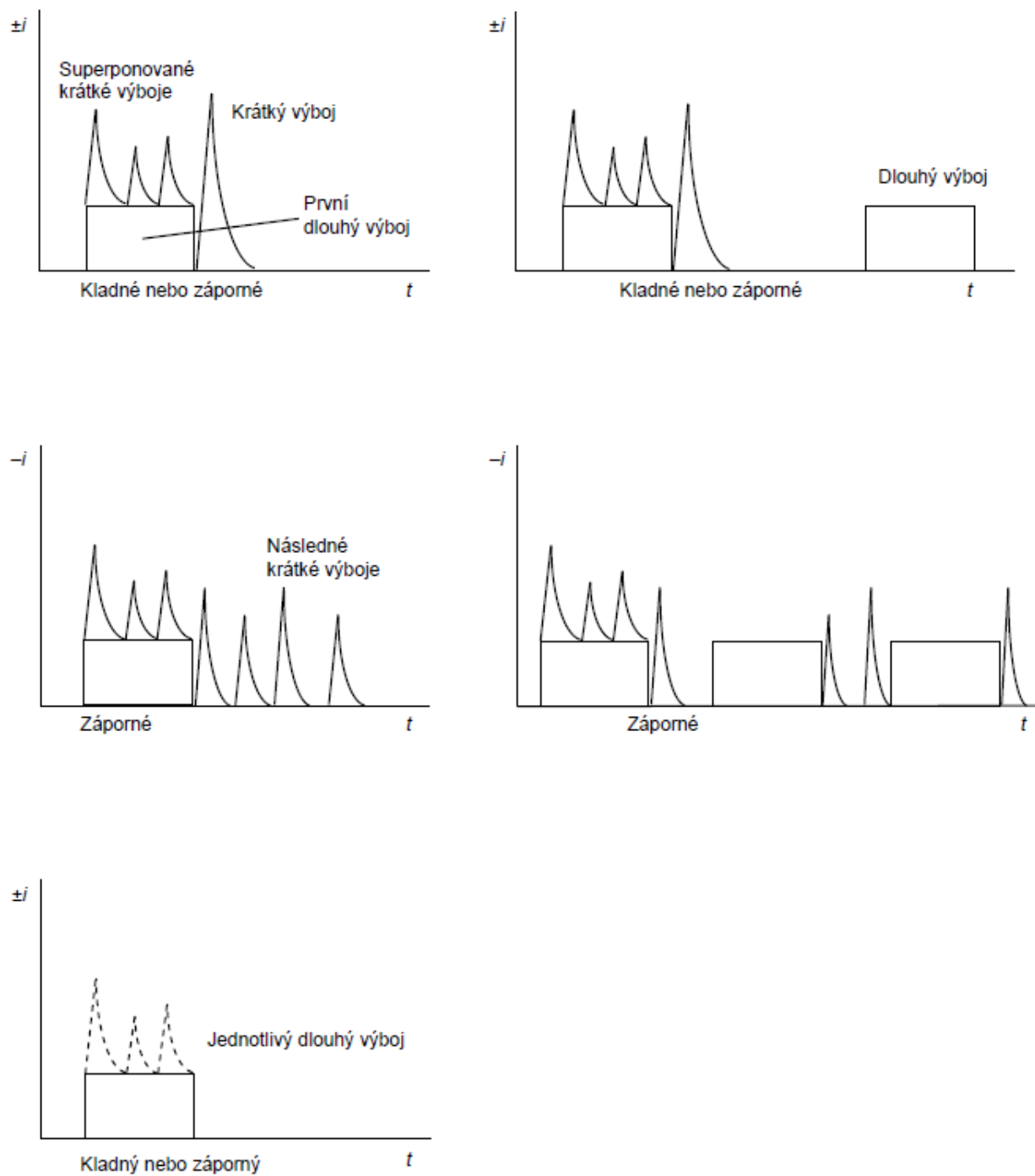
- [11] HÁJEK, Jan, ŠALANSKÝ, Dalibor. *První elektronická kníška o ochraně před bleskem*. [online]. Verze 2.1. [cit. 28.10.2012]. Dostupné z: <http://www.kniska.eu/kniska/kniska.2.1-1>

Příloha A

Možné složky blesků



Obr. A.1: Možné složky sestupných blesků (typické v rovinatých územích a pro nižší stavby) [6]



Obr. A.2: Možné složky vzestupných blesků (typické pro exponované a/nebo vyšší stavby) [6]